



SURAT KETERANGAN MELAKSANAKAN PENELITIAN

No: **2690**/UN18.F6/EP/2023

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Dekan Fakultas Teknik Universitas Mataram,

Nama : Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP : 197202221999031002
Jabatan Fungsioonal : Lektor Kepala
Pangkat/Golongan : Pembina/IVa

Menyatakan bahwa dosen yang namanya disebutkan dibawah ini:

Nama : Dr. Ngudiyono, ST., MT.
NIP : 197405051999031003
Jabatan Fungsioonal : Lektor Kepala
Pangkat/Golongan : Pembina/IVa

Pernah mendapatkan beberapa hibah penelitian yang bersifat kompetitif dengan nilai total sebesar: **Rp. 184.680.000,-** sebagai Ketua Peneliti, dengan perincian sebagai berikut:

No	Judul Penelitian	Sumber Dana	Jumlah Dana
1	Metode Perbaikan Kapasitas Geser Dan Daktilitas Joints Balok Kolom (Beam Column Joints) Tahan Gempa Dengan Beton Fiber Bendrat Tahap I	Penelitian Hibah Bersaing TA 2009. Sumber Dan DIPA Unram No. Kontrak: 026-SP.PHB/H18.12.2/PL/2009	Rp. 45.000.000,-
2	Metode Perbaikan Kapasitas Geser Dan Daktilitas Joints Balok Kolom (Beam Column Joints) Tahan Gempa Dengan Beton Fiber Bendrat Tahap II	Penelitian Hibah Bersaing TA 2010. Sumber Dan DIPA Unram No. Kontrak: 06-SP.PHB/H18.12/PL/2010	Rp. 43.000.000,-
3	Kajian Ekperimental dan Numerik Creep Tekan dan Tarik Bambu Laminasi	DRPM Dirjen PRPP Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi TA 2018 No Kontrak: 065/SP2H/LT/DRPM/2018	Rp. 56.680.000,-
4	Aplikasi Model Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Untuk Memprediksi Kuat Lekat Tulangan Beton Memadat Sendiri (<i>Self Compacting Concrete</i>)	Penelitian Peningkatan Kapasitas, Sumber Dana DIPA BLU (PNBP) Unram TA 2020 Kontrak Penelitian: No 2700/UN.18.L1/PP/2020	Rp. 12.500.000,-



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MATARAM

FAKULTAS TEKNIK


Jl. Majapahit No. 62 Mataram 83125 Telp (0370)636126-Fax. (0370)636523
Web : <https://ft.unram.ac.id>

5	Pengaruh Kebakaran Pada Struktur Beton Bertulang Terhadap Laju Korosi Dan Tegangan Lekat (<i>Bond Stress</i>) Tulangan Baja	Penelitian Peningkatan Kapasitas, Sumber Dana DIPA BLU (PNBP) Unram TA 2021 Kontrak Penelitian: No 2916/UNI8.L1PP/2021	Rp. 15.000.000,-
6	Pemanfaatan Limbah Serat Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) Sebagai Tulangan Mikro Balok Beton Bertulang Secara Parsial	Penelitian Peningkatan Kapasitas, Sumber Dana DIPA BLU (PNBP) Unram TA 2022 Kontrak Penelitian: No 1651/UNI8.L1/PP/2022	Rp. 12.500.000,-
Total			Rp. 184.680.000,-

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Mataram, 12 April 2023
Dekan,




Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197202221999031002

LAMPIRAN I

**HIBAH BERSAING TAHAP I
TAHUN 2009**



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL R.I.
UNIVERSITAS MATARAM
LEMBAGA PENELITIAN

Jl. Pendidikan No.37 Mataram NTB, Tlp.(0370) 641552, 638265
Fax. (0370) 638265, e-mail: lemlit_unram@yahoo.com

**SURAT PERJANJIAN KERJASAMA
PELAKSANAAN HIBAH PENELITIAN HIBAH BERSAING
TAHUN ANGGARAN 2009**

Nomor : 026-SP.PHB/H18.12.2/PL/2009

Pada hari ini **Sabtu** tanggal **delapan belas** bulan **April** tahun **dua ribu sembilan**, kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. Prof. Ir. Yusuf A. Sutaryono, Ph.D. : Dalam hal ini bertindak selaku Ketua Lembaga Penelitian Universitas Mataram selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**
2. Ngudiyono, ST.MT : Dalam hal ini bertindak selaku Ketua Pelaksana Penelitian, selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Kedua belah pihak bersama-sama telah sepakat mengadakan perjanjian pelaksanaan Penelitian Hibah Bersaing, dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

Pasal 1

LINGKUP KEGIATAN

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan dan sebagai penanggung jawab pelaksanaan penelitian yang berjudul : **"Metode Perbaikan Kapasitas Geser dan Daktilitas Joints Balok Kolom (Beam Column Joints) Tanah Gempa Dengan Beton Fiber Bendrat"**.
- (2) Pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1), mengacu pada Proposal Penelitian yang telah disetujui oleh Lembaga Penelitian Universitas Mataram sebagaimana tercantum dalam lampiran dan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari surat perjanjian ini.

Pasal 2

PEMBIAYAAN

- (1) **PIHAK PERTAMA** menghibahkan dana untuk kegiatan sebagaimana dimaksud pada pasal 1 sebesar **Rp. 45.000.000,-** (Empat puluh lima juta rupiah) yang dibebankan kepada DIPA P2T eks. Pembangunan Universitas Mataram Tahun Anggaran 2009 Nomor 0234.0/023-04.2/XXI/2009, Tanggal 31 Desember 2008.
- (2) Pembayaran dana penelitian sebagaimana dimaksud pada pasal 2 ayat (1) oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** dilakukan secara berangsur melalui 2 (dua) tahap sebagai berikut:
 - a. Tahap pertama **70% x Rp. 45.000.000,- = Rp. 31.500.000,-** (Tiga puluh satu juta lima ratus ribu rupiah) setelah Surat Perjanjian ini ditanda tangani oleh kedua belah pihak;

- b. Tahap kedua $30\% \times \text{Rp. } 45.000.000,- = \text{Rp. } 13.500.000,-$ (Tiga belas juta lima ratus ribu rupiah) setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan-laporan pelaksanaan kegiatan kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 3
KEWAJIBAN PAJAK

Segala sesuatu yang berkaitan dengan Pajak berupa PPh dan/atau PPh menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA dan harus disertorkan ke kas Negara sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pasal 4
JANGKA WAKTU PELAKSANAAN KEGIATAN

Jangka waktu pelaksanaan kegiatan sampai selesai 100% ditetapkan selama 8 (delapan) bulan kalender, terhitung sejak ditandatangani Perjanjian Kerjasama pada tanggal 18 Maret 2009 dan berakhir sampai dengan tanggal 30 November 2009;

Pasal 5
TATA CARA PENGELOLAAN DANA BANTUAN PENELITIAN

- (1) Pengelolaan dana bantuan penelitian dilakukan secara swakelola oleh PIHAK KEDUA dan berpedoman pada prinsip-prinsip pengelolaan *block grant*, yaitu:
- a. Menerapkan prinsip keterbukaan, jujur, demokratis, akuntabel, efektif dan efisien;
 - b. Pertanggungjawaban keuangan harus sesuai dengan peraturan yang berlaku;
 - c. Pembukuan dana bantuan penelitian harus tersendiri yang tidak disatukan dengan pembukuan keuangan lainnya;
 - d. Pembukuan dana bantuan berisi semua transaksi keuangan menurut urutan tanggal transaksi;
 - e. Menyusun rekapitulasi penggunaan dana, termasuk pajak-pajak yang harus dibayarkan kepada kas Negara, dalam bentuk Laporan Penggunaan Dana Penelitian disertai bukti-bukti pembayaran kuitansi yang asli dan syah; dan
 - f. Laporan Penggunaan Dana Penelitian harus ditandatangani oleh PIHAK KEDUA dan diketahui/disyahkan oleh PIHAK PERTAMA.
- (2) Laporan Penggunaan Dana Penelitian harus disampaikan kepada PIHAK PERTAMA dengan pengaturan sebagai berikut:
- a. Menyerahkan kepada tim pemantau yang ditunjuk oleh PIHAK PERTAMA pada saat pelaksanaan monitoring dan evaluasi (monev) terhadap pelaksanaan kegiatan penelitian;
 - b. Menyerahkan kepada PIHAK PERTAMA bersama-sama dengan Laporan Akhir Hasil Penelitian sesuai waktu yang ditentukan.

Pasal 6
HAK DAN KEWAJIBAN

- (1) Hak dan Kewajiban PIHAK PERTAMA
1. Hak PIHAK PERTAMA
 - a. Memperoleh data dan informasi yang diperoleh dari hasil kegiatan penelitian yang dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA;

- b. Meminta dan menerima laporan-laporan secara periodik mengenai pelaksanaan kegiatan penelitian yang dilakukan oleh PIHAK KEDUA.
2. Kewajiban PIHAK PERTAMA
 - a. Menyalurkan bantuan dana penelitian kepada PIHAK KEDUA, sesuai Pasal 2 di atas;
 - b. Mengawasi, memantau dan mengevaluasi kegiatan penelitian yang dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA.
- (2) Hak dan Kewajiban PIHAK KEDUA
1. Hak PIHAK KEDUA adalah menerima bantuan dana dari PIHAK PERTAMA sesuai dengan Pasal 2 di atas dan kesepakatan kedua belah pihak;
 2. Kewajiban PIHAK KEDUA
 - a. Melaksanakan dan menyelesaikan kegiatan sesuai dengan jadwal dan batas waktu yang telah ditetapkan dalam Perjanjian Kerjasama ini;
 - b. Bertanggungjawab terhadap penggunaan dana bantuan penelitian yang telah diterima dari PIHAK PERTAMA sesuai dengan Perjanjian Kerjasama ini dan peraturan perundangan yang berlaku;
 - c. Mempublikasikan hasil penelitiannya dalam jurnal internasional atau sekurang-kurangnya dalam jurnal Nasional terakreditasi. Hasil penelitian harus dipublikasikan selambat-lambatnya pada tahun kedua sejak penelitian dimulai. Selain itu, PIHAK KEDUA harus mengupayakan, dan/atau menindaklanjuti penelitiannya untuk menghasilkan : (1) proses dan produk ipteks (metode, blue print, prototype, system kebijakan atau model); dan/atau (2) HKI; dan/atau (3) bahan ajar, dan/atau (4) teknologi tepat guna;
 - d. Melaporkan kepada PIHAK PERTAMA tentang perkembangan publikasi artikel ilmiah dan/atau perolehan paten secara periodik 1 (satu) kali dalam 3 (tiga) bulan sejak berakhirnya pelaksanaan penelitian;
 - e. Mempresentasikan hasil penelitiannya pada seminar yang akan dilaksanakan oleh PIHAK PERTAMA dan/atau Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional;
 - f. Memberikan data, informasi, dan keterangan secara benar dan jujur kepada Tim Monitoring dan Evaluasi (monev) yang berasal dari Lembaga Penelitian Universitas Mataram dan/atau Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Depdiknas.;
 - g. Mentaati teguran/peringatan tertulis yang disampaikan oleh PIHAK PERTAMA; dan
 - h. Menyampaikan laporan-laporan kepada PIHAK PERTAMA sesuai yang termaktub dalam Pasal 7 Perjanjian Kerjasama ini;

Pasal 7 PELAPORAN

- (1) Laporan terdiri atas:
 - a. Laporan Perkembangan Pelaksanaan Kegiatan;
 - b. Laporan Penggunaan Dana Penelitian; dan
 - c. Laporan Akhir Hasil Penelitian.
- (2) Laporan Perkembangan Pelaksanaan Kegiatan (Laporan Kemajuan Pelaksanaan Penelitian):
 - a. Disusun berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan penelitian;
 - b. Laporan harus menggambarkan tentang keseluruhan proses pelaksanaan kegiatan dan hasil-hasil penelitian yang telah dicapai;
 - c. Laporan yang disampaikan harus sesuai dengan proposal yang sudah disepakati;
 - d. Laporan disusun sesuai dengan format yang ditentukan oleh PIHAK PERTAMA; dan

- e. Laporan diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 4 (empat) eksemplar 3 (tiga) bulan setelah PIHAK KEDUA menerima dana penelitian tahap pertama.
- (3) Laporan Penggunaan Dana Penelitian:
- Laporan disusun dengan berpedoman pada prinsip-prinsip pengelolaan *block grant* sebagaimana disebutkan dalam Pasal 5 ayat (1) Perjanjian Kerjasama ini;
 - Laporan diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 3 (tiga) eksemplar;
 - Waktu penyerahan laporan oleh PIHAK KEDUA kepada PIHAK PERTAMA sebagaimana diatur pada Pasal 5 ayat (2) Perjanjian Kerjasama ini; dan
 - Apabila PIHAK KEDUA tidak melakukan sebagaimana disebutkan pada Pasal 7 ayat (3) butir a, b dan c di atas, maka PIHAK PERTAMA berhak memotong 15% dari total dana penelitian PIHAK PERTAMA untuk pembayaran pajak yang akan disetorkan ke kas Negara.
- (4) Laporan Akhir Hasil Penelitian:
- Disusun berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan penelitian;
 - Laporan harus menggambarkan tentang keseluruhan proses pelaksanaan kegiatan dan hasil-hasil penelitian yang telah dicapai;
 - Laporan yang disampaikan harus sesuai dengan proposal yang sudah disetujui oleh PIHAK PERTAMA;
 - Laporan disusun sesuai dengan format yang ditentukan oleh PIHAK PERTAMA, yaitu:
 - Bentuk/ukuran kertas A4;
 - Warna cover (sampul) oranye;
 - Di bagian bawah cover (sampul) ditulis:

**Dibiayai dengan Dana DIPA P2T eks. Pembangunan Universitas Mataram
Tahun Anggaran 2009 Nomor: 0234.0/023-04.2/XXI/2009, Tanggal 31
Desember 2008.**
 - Laporan Akhir Hasil Penelitian harus diserahkan oleh PIHAK KEDUA kepada PIHAK PERTAMA selambat-lambatnya tanggal 30 November 2009 yang terdiri atas:
 - Laporan dalam bentuk *hard copy* sebanyak 8 (delapan) eksemplar dan dalam bentuk *soft copy* (CD dalam format MS Word) sebanyak 2 (dua) keping CD;
 - Ringkasan/Summary (abstrak) dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris sebanyak 2-3 halaman; dan
 - Copy artikel ilmiah yang telah dikirimkan ke jurnal nasional/internasional disertai bukti kirim ke alamat jurnal dimaksud, sebanyak 2 (dua) eksemplar.

Pasal 8

PERUBAHAN PENELITIAN

- Apabila PIHAK KEDUA, karena satu dan lain hal bermaksud merubah pelaksanaan, judul, jangka waktu, lokasi penelitian, dan/atau Tim Peneliti dari pelaksana penelitian yang telah disepakati dalam Surat Perjanjian ini, PIHAK KEDUA harus mengajukan permohonan perubahan tersebut kepada PIHAK PERTAMA;
- Perubahan Pelaksanaan Penelitian tersebut pada Pasal 8 ayat (1) dalam Surat Perjanjian ini dapat dibenarkan bila telah mendapat persetujuan lebih dahulu dari PIHAK PERTAMA; dan
- Dalam hal Ketua Pelaksana Penelitian tidak dapat menyelesaikan pelaksanaan penelitian ini sepenuhnya, maka PIHAK KEDUA harus menunjuk penggantinya yang berasal dari anggota tim peneliti atau yang berkompoten dalam bidang ilmu tersebut atas persetujuan PIHAK PERTAMA.

Pasal 9

HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian ini, diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku;
- (2) Dalam hal terjadi tuntutan dari pihak lain atas penggunaan suatu teknologi tertentu oleh PIHAK KEDUA dalam rangka pekerjaan berdasarkan Perjanjian Kerjasama ini, maka PIHAK PERTAMA terbebas dari segala tuntutan pihak lain tersebut.

Pasal 10

PERALATAN ILMIAH DAN BARANG INVENTARIS

- (1) Peralatan ilmiah dan barang inventaris pengadaannya dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA, yang berpedoman pada Peraturan Perundangan yang berlaku;
- (2) Semua hasil pengadaan peralatan ilmiah dan barang inventaris yang diperoleh melalui anggaran DIPA Universitas Mataram diserahkan kepada Universitas Mataram, setelah pemutusan dan/atau berakhirnya Perjanjian Kerjasama ini.

Pasal 11

KEADAAN KAHAR (*FORCE MAJEURE*)

- (1) Keadaan kahar (*force majeure*) adalah suatu keadaan yang terjadi di luar kehendak kedua belah pihak yang mempengaruhi pelaksanaan Perjanjian Kerjasama ini sehingga PEKERJAAN yang telah ditentukan dalam Perjanjian Kerjasama ini menjadi tidak dapat dipenuhi.
- (2) Hal-hal yang termasuk keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) Pasal ini adalah peperangan, kerusakan, revolusi, bencana alam (banjir, gempa bumi, badai, gunung meletus, tanah longsor, wabah penyakit dan angin topan), pemogokan, kebakaran dan gangguan industri lainnya, serta keadaan lainnya sesuai dengan Peraturan Perundangan yang berlaku.
- (3) Keterangan tentang kebenaran adanya keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) Pasal ini harus dibuat oleh instansi/pejabat yang berwenang.
- (4) Apabila terjadi keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) Pasal ini, maka PIHAK KEDUA wajib memberikan laporan tertulis kepada PIHAK PERTAMA paling lambat 14 (empat belas) hari kalender setelah terjadinya keadaan kahar tersebut, untuk kemudian ditindaklanjuti oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 12

SANKSI

- (1) Apabila batas waktu habisnya masa Penelitian ini PIHAK KEDUA belum juga menyerahkan hasil pekerjaan seluruhnya kepada PIHAK PERTAMA, maka PIHAK KEDUA dikenakan denda sebesar 1/1000 (satu permil) setiap hari keterlambatan terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan sampai setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai surat perjanjian pelaksanaan penelitian;
- (2) Bagi pelaksana penelitian yang tidak menyerahkan laporan hasil penelitian dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka sisa biaya yang bersangkutan, yang belum sempat dicairkan dinyatakan hangus dan dikembalikan ke kas Negara;
- (3) Dalam hal PIHAK KEDUA tidak dapat memenuhi Perjanjian Pelaksanaan Penelitian ini hingga tanggal 10 Desember 2009, maka PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana

- penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan kembali ke Kas Negara
- (4) Apabila waktu penelitian seperti tersebut pada Pasal 4 tidak dapat dipenuhi, maka untuk selanjutnya PIHAK PERTAMA akan mempertimbangkan usul-usul penelitian berikutnya yang berasal dari PIHAK KEDUA;
 - (5) Apabila di kemudian hari terbukti bahwa judul penelitian sebagaimana tersebut pada pasal 1 terdapat duplikasi, maka penelitian tersebut dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetor kembali ke Kas Negara.

Pasal 13
PERUBAHAN ISI PERJANJIAN

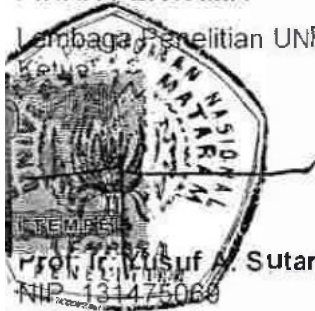
Perubahan isi Perjanjian Kerjasama ini dapat dilakukan sesuai kesepakatan kedua belah pihak, yang akan dituangkan dalam suatu Amandemen, yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Perjanjian Kerjasama ini.

Pasal 14
PENUTUP

- (1) Surat Perjanjian Kerjasama ini dibuat rangkap 3 (tiga), 2 (dua) rangkap dibubuhi meterai Rp.6000,- (enam ribu rupiah) yang biaya meterainya dibebankan kepada PIHAK KEDUA;
- (2) Hal yang belum diatur dalam Perjanjian Kerjasama ini, akan diatur kemudian oleh kedua belah pihak secara musyawarah.

PIHAK PERTAMA

Lembaga Penelitian UNRAM



Prof. Dr. Yusuf A. Sutaryono, Ph.D.

NIP. 131475068

PIHAK KEDUA

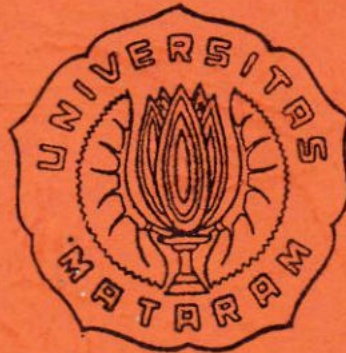
Ketua Pelaksana Penelitian,

Ngudiyono, ST.MT

NIP. 132240255

TEKNOLOGI

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



**METODE PERBAIKAN KAPASITAS GESER DAN DAKTILITAS
JOINTS BALOK KOLOM (*BEAM COLUMN JOINTS*)
TAHAN GEMPA DENGAN BETON FIBER BENDRAT**

Oleh

Ngudiyono
Fatmah Mahmud

Dibiayai dengan Dana DIPA P2T eks. Pembangunan Universitas Mataram
Tahun Anggaran 2009 Nomor : 0234.0/023-04.2/XXI/2009, Tanggal 31 Desember 2008

UNIVERSITAS MATARAM
DESEMBER, 2009

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR TAHUNI

1. Judul Penelitian : Metode Perbaikan Kapasitas Geser dan Daktilitas Joints Balok Kolom (Beam Column Joints) Tahan Gempa dengan Bcton Fiber Bendrat
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Ngudiyono, ST., MT.
 - b. Jenis Kelamin : L
 - c. NIP : 197405051999031003
 - d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - e. Jabatan Struktural : -
 - f. Bidang Keahlian : Teknik Sipil (Struktur)
 - g. Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Sipil
 - h. Perguruan Tinggi : Universitas Mataram
 - i. Tim Peneliti

No	Nama & Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas /Jurusan	Perguruan Tinggi
1	Fathmah Mahmud, ST.	Teknik Sipil	Teknik /TeknikSipil	UNRAM

3. Pendanaan dan Jangka Waktu Penelitian :
- a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 tahun
 - b. Biaya total yang diusulkan : Rp 89.590.000,-
 - c. Biaya yang disetujui tahun 1 : Rp 45.000.000,-

Mataram, 5 Desember 2009

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



(Fathmahan, ST., MT.)
NIP. 196612311994031018

Ketua Peneliti

(Ngudiyono, ST., MT.)
NIP. 197405051999031003

Menyetujui

Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Mataram



(Prof. Ir H. Yusuf Akhyar Sutaryono, Ph.D)
NIP. 19611021985031003

RINGKASAN

METODE PERBAIKAN KAPASITAS GESER DAN DAKTILITAS JOINTS BALOK KOLOM (*BEAM COLUMN JOINTS*) TAHAN GEMPA DENGAN BETON FIBER BENDRAT^{*)}

Oleh : Ngudiyono ^{**)}, Fathmah Mahmud ^{**)}

Tahun/Jumlah halaman : 2009/25

Pada bangunan bertingkat dari beton bertulang, joints balok kolom merupakan bagian yang kritis. Ketika gempa berlangsung bagian ini akan menerima gaya geser yang sangat besar. Oleh karena itu joints balok kolom harus direncanakan dan dibuat lebih kuat serta berperilaku daktail daripada daerah yang lain. Agar tujuan tersebut tercapai ACI (1999), SNI (2002) menyarankan agar pada daerah tersebut diperkuat dengan tulangan pengekang yang cukup dan detail yang cermat. Peraturan ini sulit diaplikasikan dilapangan, terutama untuk daerah yang memiliki tenaga kerja terampil terbatas. Salah satu cara untuk merubah joints balok kolom berperilaku daktail dan mudah pelaksanaan di lapangan adalah dengan menambahkan fiber bendrat pada campuran beton.

Penelitian ini merupakan penelitian ekperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Mataram. Fiber bendrat ditambahkan pada campuran beton dengan prosentase volume fiber (V_f) 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% dan 2%. Selanjutnya dibuat benda uji berbentuk silinder berukuran 150 x 300 mm untuk uji kuat tekan (f'_c) dan kuat tarik (f_t), serta benda uji berbentuk double L untuk uji tegangan geser interface (τ). Dari analisa data pengujian akan diperoleh volume optimum fiber bendrat dan rumus empiris hubungan antara volume fiber (V_f), tegangan geser interface (τ), kuat tekan (f'_c) dan kuat tarik (f_t).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fiber bendrat pada campuran pada prosentase volume fiber 0,5%, 1%, 1,5%, 2% mampu meningkatkan kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik dan tegangan geser interface). Akan tetapi penambahan volume fiber lebih dari 2% justru akan menurunkan kekuatannya. Volume fiber

^{*)} Dibiayai dengan Dana DIPA P2T eks. Pembangunan Universitas Mataram Tahun Anggaran 2009

Nomor : 0234.0/023-04.2/XXI/2009, Tanggal 31 Desember 2008

^{**)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mataram

optimum tercapai pada prosentase 1%. Beberapa rumus empiris beton fiber bendrat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$f'_{cf} = f'_{co} + 4,6196V_f - 1,929V_f^2$$

$$f_{if} = f_{io} + 0,708V_f - 0,331V_f^2$$

$$\tau_f = \tau_o + 2,472V_f - 0,876V_f^2$$

$$f_t = (-0,0414V_f^2 + 0,0844V_f + 0,5521) \sqrt{f'_c}$$

$$\tau = (-0,1313V_f^2 + 0,3646V_f + 0,8973) \sqrt{f'_c}$$

$$V_{cf} = \tau b d = (-0,1313V_f^2 + 0,3646V_f + 0,8973) \sqrt{f'_c} b d$$

$$V_{if} = 1,0A_j \sqrt{(-1,929V_f^2 + 4,619V_f + 30,645)}$$

SUMMARY

IMPROVEMENT METHOD OF SHEAR CAPACITY AND DUCTILITY BEAM COLUMN JOINTS EARTHQUAKE RESISTANCE WITH BENDRAT FIBER CONCRETE^{*)}

By : Ngudiyono^{**)}, Fathmah Mahmud^{**)}

Year/Page : 2009/25

In the multistory building of reinforced concrete, beam column joints are a critical region. When the earthquake took place this region will receive, a shear force is very large. Therefore, the beam column joints must planned and made more strong and ductile behavior than other regions. To have achieved that goal ACI (1999), SNI (2002) suggested that the area must strengthening with enough closed ties and high detailing. Regulation applied field is difficult, especially for areas with limited skilled labor. One way to change the beam column joints behavior ductile and easy implementation in the field is to add bendrat fiber to the concrete mixture.

This research is an experimental research to conduct in Materials and Structures Laboratory Faculty of Engineering, University of Mataram. Bendrat fiber added to the concrete mix with a percentage fiber volume of 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2%. Further, specimens was made cylindrical shape with size 150 x 300 mm for compressive strength test (f_c) and tensile strength (f_t), as well as specimen double L shape with size 150 x 300 x 200 mm for interface shear stress test. From the analysis of test data will be obtained percentage fiber volume of optimum bendrat fiber and empirical formula relationship between percentage fiber volume (V_f), concrete interface shear stress (τ), compressive strength (f_c) and the tensile strength (f_t).

The result shows that additional bendrat fiber to the concrete mix with a percentage fiber volume of 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2% increase strength of concrete (compression strength, tensile strength and interface shear stress). Then addition volume of fiber more than 2% decrease strength of concrete. Percentage volume of fiber optimum achieves 2%. Some empirical formula fiber bendrat concrete that showed in the research as follow:

^{*)} Sponsored with DIPA Fund P2T Eks, The Building of Mataram University Budget Year 2009

Number : 0234.0/023-04.2/XXI/2009, date 31st December 2009

^{**)} Academic staff Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mataram

$$f_{cf} = f_{co} + 4,6196V_f - 1,929V_f^2$$

$$f_{ff} = f_b + 0,708V_f - 0,331V_f^2$$

$$\tau_f = \tau_o + 2,472V_f - 0,876V_f^2$$

$$f_t = (-0,0414V_f^2 + 0,0844V_f + 0,5521) \sqrt{f_c}$$

$$\tau = (-0,1313V_f^2 + 0,3646V_f + 0,8973) \sqrt{f_c}$$

$$V_{cf} = \tau b d = (-0,1313V_f^2 + 0,3646V_f + 0,8973) \sqrt{f_c} b d$$

$$V_{cf} = 1,0A_f \sqrt{(-1,929V_f^2 + 4,619V_f + 30,645)}$$

PRAKATA

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT (Tuhan Yang Maha Esa) karena berkat Rahmat-Nyalah penulisan laporan penelitian hibah bersaing ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Penelitian hibah bersaing ini berjudul **Metode Perbaikan Kapasitas Geser Dan Daktilitas Joints Balok Kolom (*Beam Column Joints*) Tahan Gempa Dengan Beton Fiber Bendrat.**

Tujuan utama dari penelitian hibah bersaing tahap I ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan fiber bendrat pada campuran beton dengan prosentase volume fiber (V_f) 0,5%, 1%, 1,5%, 2% terhadap kuat tekan (f'_c), kuat tarik (f_t) dan tegangan geser interface (τ), menentukan prosentase volume fiber (V_f) optimum pada campuran beton dan mengembangkan rumus empiris hubungan antara prosentase fiber (V_f), kuat tekan (f'_c), kuat tarik (f_t) dan tegangan geser interface (τ) pada beton fiber bendrat.

Disadari penulisan laporan ini jauh dari sempurna, oleh karena itu segala kritik yang membangun untuk perbaikan sangat diharapkan. Semoga laporan penelitian dapat bermanfaat bagi pembaca yang berminat dalam bidang ini. Tak lupa terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi melalui Direktur Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, DP3M atas bantuan dana yang telah diberikan untuk melaksanakan kegiatan penelitian ini.

Mataram 5 Desember 2009

Ketua Peneliti,

Ngudiyono, ST., MT.

DAFTAR ISI

	Halaman :
HALAMAN PENGESAHAN	i
RINGKASAN DAN SUMMARY	ii
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Joint Balok-Kolom	3
2.2 Beton Fiber Bendrat.....	3
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	5
3.1 Tujuan Penelitian.....	5
3.2 Manfaat Penelitian.....	5
BAB IV. METODE PENELITIAN	6
4.1 Bagan Alir Penelitian.....	6
4.2 Penjelasan Bagan Alir Penelitian	7
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	13
5.1 Bahan.....	13
5.2 Kuat Tekan	16
5.3 Kuat Tarik.....	18
5.4 Tegangan Geser Interface	18
5.5 Pengembangan Rumus Kuat Geser Beton Fiber	22
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	23
6.1 Kesimpulan.....	23
6.2 Saran.....	23
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

		Halaman :
Tabel 4.1	Rencana Benda Uji.....	7

DAFTAR GAMBAR

	Halaman:
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian Tahap I 6
Gambar 4.2	Benda Uji Kuat Tekan dan Kuat Tarik 7
Gambar 4.3	Benda Uji Tegangan Geser Interface 8
Gambar 4.4	Proses Pencampuran Beton 9
Gambar 4.5	Setting Up Alat Uji Kuat Tekan 10
Gambar 4.6	Setting Up Alat Pengujian Kuat Tarik Belah 11
Gambar 4.7	Setting Up Alat Pengujian Tegangan Geser Interface 12
Gambar 5.1	Grafik Gradasi Pasir Rencana 14
Gambar 5.2	Grafik Gradasi Kerikil Rencana 15
Gambar 5.3	Grafik Campuran Pasir dan Kerikil 16
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Volume Fiber (V_f) dan Kuat Tekan Beton (f'_c) 17
Gambar 5.5	Grafik Hubungan Volume Fiber (V_f) dan Kuat Tarik Beton (f_t) 18
Gambar 5.6	Grafik Hubungan Kuat tarik, Kuat Tekan dan Volume Fiber (V_f) 20
Gambar 5.7	Grafik Hubungan Volume Fiber (V_f) dan Tegangan Geser Interface (τ) 18
Gambar 5.8	Grafik Hubungan Kuat Tekan, Tegangan Geser Interface, dan Volume Fiber (V_f) 22

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman :

Lampiran 1	Hasil Pengujian Agregat Kasar dan Halus	26
Lampiran 2	Perhitungan Perancangan Adukan Beton (Mix Design).....	35
Lampiran 3	Hasil Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik, Tegangan Geser.	38
Lampiran 4	Foto-foto Pelaksanaan Penelitian	41
Lampiran 5	Riwayat Hidup Peneliti	43
Lampiran 6	Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian.....	46
Lampiran 7	Draft Artikel Ilmiah	52
Lampiran 8	Sinopsis Penelitian Lanjutan	65

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bangunan bertingkat dari beton bertulang, joints balok kolom merupakan bagian yang kritis. Ketika gempa berlangsung bagian ini akan menerima gaya geser yang sangat besar. Kekuatan joints balok-kolom sangat cepat menurun jika bekerja beban gempa dan jika daerah tersebut mengalami kerusakan maka secara keseluruhan bangunan tersebut akan runtuh, selain itu kerusakan pada bagian tersebut juga sulit diperbaiki. Oleh karena itu joints balok kolom harus direncanakan dan dibuat lebih kuat serta berperilaku duktail daripada daerah yang lain. Peraturan-peraturan di luar negeri (misal ACI 318 M, 1999) maupun peraturan di Indonesia (SNI 03-1726, 2002) telah mengatur desain joints balok kolom secara khusus. Di dalam peraturan tersebut disebutkan bahwa untuk menjamin joints balok-kolom berperilaku duktail maka pada daerah tersebut harus diperkuat dengan tulangan pengekang yang cukup dan detail yang cermat. Peraturan ini sulit diaplikasikan di lapangan, terutama untuk daerah yang memiliki tenaga kerja terampil terbatas. Beberapa kejadian gempa di Indonesia menunjukkan bahwa struktur gedung bertingkat dari beton bertulang yang runtuh akibat gempa, karena joints balok kolom tidak bekerja sesuai dengan harapan (berperilaku duktail), hal ini juga membuktikan bahwa peraturan yang ada belum sepenuhnya diaplikasikan di lapangan. Salah satu cara untuk merubah joints balok kolom berperilaku duktail dan mudah pelaksanaan di lapangan adalah dengan menambahkan fiber pada campuran beton. Pemakaian fiber sebagai bahan tambah pada campuran beton terutama pada joints balok kolom telah dilakukan oleh Filiatrault dkk., 1994; Filiatrault dkk., 1995; Gencoglu dan Eren, 2002, hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan beton fiber baja (*steel fiber*) mampu meningkatkan kapasitas geser, momen lentur, disipasi energi lebih baik dan duktilitas joints balok kolom meningkat daripada joints balok kolom konvensional (tanpa fiber).

Di Indonesia konsep pemakaian fiber baja (*steel fiber*) pada adukan beton untuk struktur bangunan sipil belum banyak dan belum dipakai dalam praktek. Salah satu sebabnya adalah tidak tersedianya fiber baja di Indonesia dan harganya yang mahal. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dicari alternatif bahan

lokal yang mudah di dapat di Indonesia dan harganya murah, salah satunya adalah kawat bendrat. Kawat bendrat adalah kawat yang selama ini banyak digunakan sebagai pengikat tulangan besi memanjang dan tulangan geser (sengkang). Jika kawat tersebut dipotong-potong dengan ukuran panjang 60 mm dan diameter 1 mm akan berbentuk seperti fiber yang kemudian disebut sebagai fiber bendrat. Penelitian tentang beton fiber dengan memanfaatkan kawat bendrat telah dilakukan oleh Suhendro, 1991; Wahyono, 1996; Wahyono dan Wiryawan, 2000. Dari penelitian tersebut telah dibuktikan bahwa penggunaan fiber bendrat mampu memperbaiki sifat-sifat mekanik pada beton (kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur daktilitas, ketahanan terhadap kejutan dan abrasi).

Selanjutnya Ngudiyono dan Mahmud, 2006; Ngudiyono dan Eniarti, 2007, telah melakukan studi pendahuluan dengan memanfaatkan fiber bendrat untuk memperbaiki kuat geser dan tegangan geser beton, hasil penelitian menunjukkan fiber bendrat mampu meningkatkan kuat geser dan tegangan geser beton secara signifikan serta mampu merubah pola keruntuhan dari getas menjadi daktil. Namun demikian penelitian-penelitian tersebut belum mengaplikasikan fiber bendrat pada joints balok kolom.

BAB II. STUDI PUSTAKA

2.1 Joint Balok Kolom

Titik pertemuan balok dan kolom dalam portal gedung bertingkat adalah joints balok kolom, yang berfungsi mentransfer gaya-gaya pada ujung balok ke dalam kolom (MacGregor, 1997). Joints balok kolom harus direncanakan sedemikian sehingga cukup kuat dan mampu menahan gaya geser (horizontal dan gaya vertical terfaktor sebagai akibat dari terbentuknya sendi plastis pada ujung balok, ketika gaya gempa bekerja (ACI 318, 1999; SNI 03-1726, 2002). Kerusakan pada joints balok kolom pada saat dilanda gempa, dapat menyebabkan keruntuhan total bangunan, sehingga joints harus direncanakan dengan cermat, benar dan cukup kuat untuk menahan beban siklis gempa. ACI dan SNI menyarankan pada daerah tersebut harus diperkuat dengan tulangan pengekang (tulangan sengkang tertutup) yang cukup dan detail yang cermat.

Karayanis dkk, 2005, memperbaiki kapasitas joints balok kolom menahan gempa dengan menggunakan pemasangan tulangan spiral pada kolom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mampu meningkatkan kapasitas menahan gempa, penyerapan energi dan daktilitas joints balok kolom secara signifikan. Hasil ini masih sulit diaplikasikan di lapangan karena masih memerlukan tenaga kerja yang terampil. Untuk mengatasi masalah tersebut selanjutnya Filiatrault dkk., 1994; Filiatrault dkk., 1995; Gencoglu dan Eren, 2002, menggantikan tulangan baja dengan fiber baja (*steel fiber*) pada joints balok kolom, hasil penelitian menunjukkan bahwa beton fiber baja mampu meningkatkan kapasitas geser, momen lentur, disipasi energi lebih baik dan daktilitas joints balok kolom meningkat daripada joints balok kolom konvensional (tanpa fiber).

2.2 Beton Fiber Bendrat

Di Indonesia konsep pemakaian fiber baja (*steel fiber*) pada adukan beton untuk struktur bangunan sipil belum banyak dan belum dipakai dalam praktik. Salah satu sebabnya adalah tidak tersedianya fiber baja di Indonesia dan harganya yang mahal. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dicari alternatif bahan

lokal yang mudah di dapat di Indonesia dan harganya murah, salah satunya adalah kawat bendrat. Penelitian tentang beton fiber dengan memanfaatkan kawat bendrat telah dilakukan oleh Suhendro, 1991; Wahyono, 1996; Wahyono dan Wiryawan, 2000. Dari penelitian tersebut telah dibuktikan bahwa penggunaan fiber bendrat mampu memperbaiki sifat-sifat mekanik pada beton (kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur daktilitas, ketahanan terhadap kejut dan abrasi).

Selanjutnya Ngudiyono dan Mahmud, 2006; Ngudiyono dan Eniarti, 2007, telah melakukan studi pendahuluan dengan memanfaatkan fiber bendrat untuk memperbaiki kuat geser dan tegangan geser beton, hasil penelitian menunjukkan fiber bendrat mampu meningkatkan kuat geser dan tegangan geser beton secara signifikan serta mampu merubah pola keruntuhan dari getas menjadi daktil. Namun demikian penelitian-penelitian tersebut belum mengaplikasikan fiber bendrat pada joints balok kolom.

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan tahap I dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penambahan fiber bendrat pada campuran beton dengan prosentase volume fiber (V_f) 0,5%, 1%, 1,5%, 2% terhadap kuat tekan (f'_c), kuat tarik (f_t) dan tegangan geser interface (τ).
2. Menentukan prosentase volume fiber (V_f) optimum pada campuran beton.
3. Mengembangkan rumus empiris hubungan antara prosentase fiber (V_f), kuat tekan (f'_c), kuat tarik (f_t) dan tegangan geser interface (τ) pada beton fiber bendrat.

3.2 Manfaat Penelitian

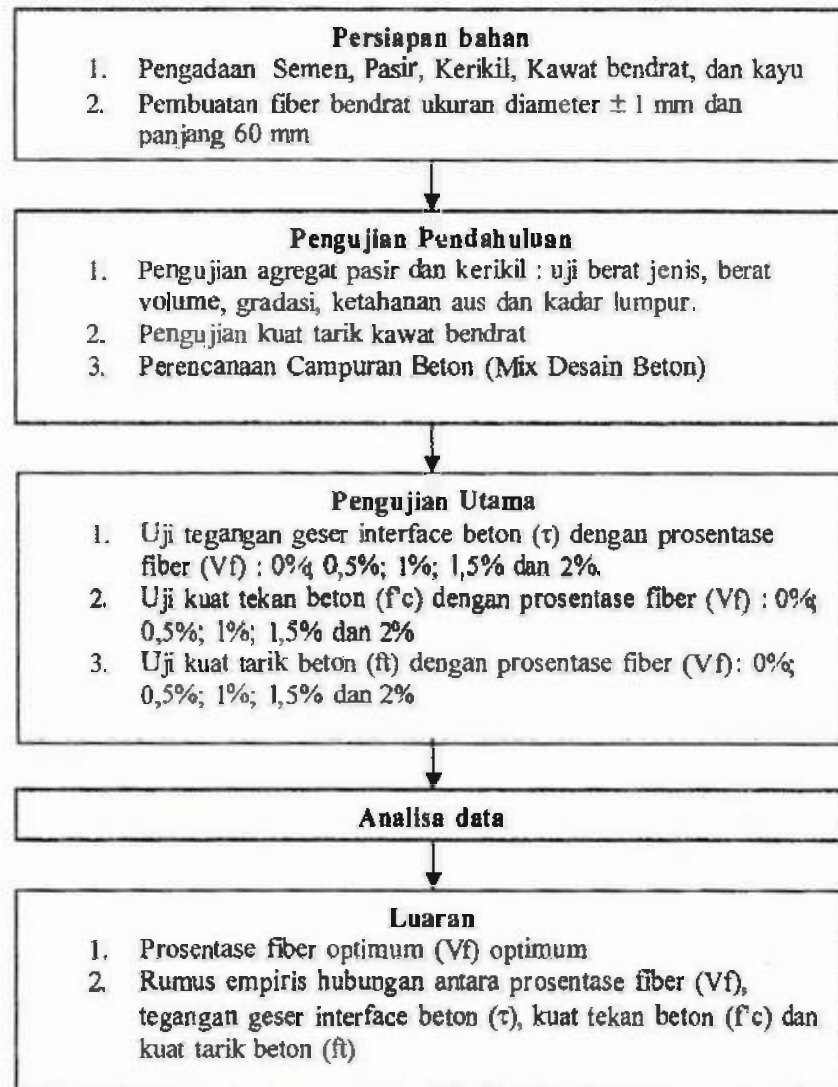
Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif pilihan bahan lokal yang dapat digunakan untuk membuat struktur beton tahan gempa.
2. Meningkatkan nilai ekonomi dan manfaat fiber lokal dalam hal ini kawat bendrat yang selama ini hanya digunakan sebagai bahan tali dalam pembuatan atau perakitan tulangan besi beton

BAB IV. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian ekperimental yang akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Mataram, penelitian tahun I ini dapat dijelaskan dengan bagan alir sebagai berikut:

4.1 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian Tahun I

4.2 Penjelasan Bagan Alir Penelitian

1. Perencanaan Mix Desain Beton

Perencanaan perbandingan campuran beton normal menggunakan metode DOE (*Department Of Environment*) yang dimuat dalam buku standar No. SK SNI T-15-1990-03 dengan nilai kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah sebesar 20 Mpa, maka diperoleh nilai faktor air semen (fas) sebesar 0,48 dan kebutuhan bahan berdasarkan *mix design* untuk 1 m³ beton (berat beton 2350 kg) sebesar: 225 ltr air : 468,75 kg semen: 645,94 kg Pasir: 1010,31 kg kerikil.

Untuk beton fiber bendrat di tambahkan kawat bendrat bergeometri lurus (*straight*), dengan diameter $\pm 1,0$ mm dan panjang 60 mm sesuai dengan prosentase yang direncanakan.

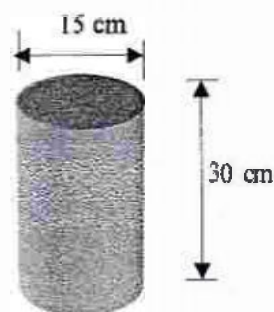
2 Rencana Benda Uji

Benda uji dibuat sesuai dengan rencana campuran beton dengan prosentase fiber bendrat 0%; 0,5%; 1%; 1,5% dan 2%, rencana benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1.

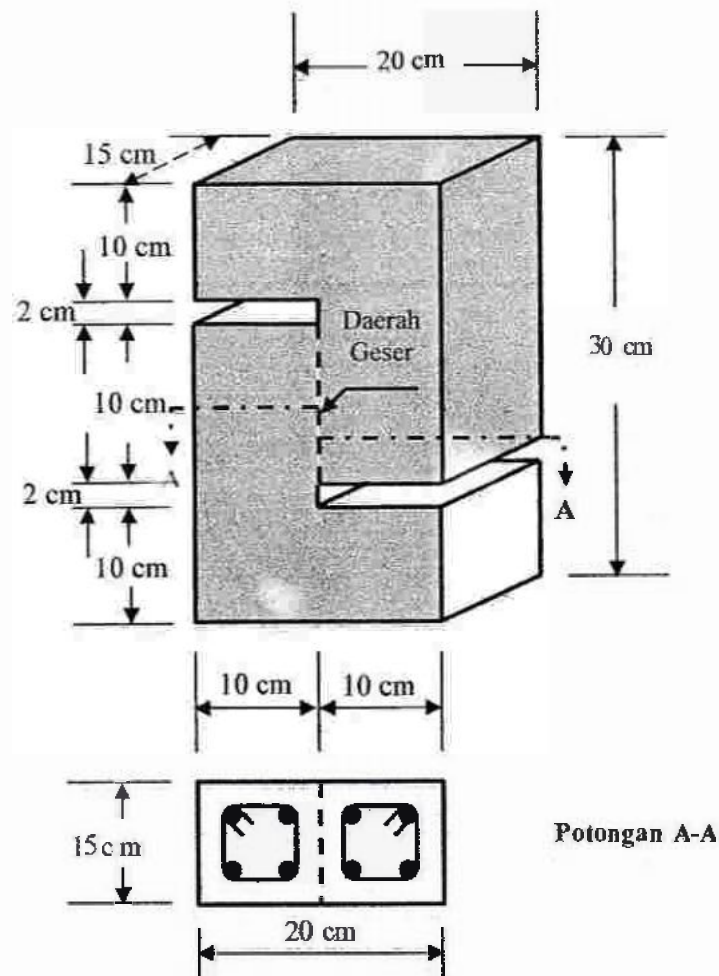
Tabel 4.1. Rencana benda uji

No	Jenis Pengujian	Bentuk & Ukuran Benda Uji	Jumlah Benda Uji				
			0 %	0,5%	1%	1,5%	2%
1	Kuat tekan (f_c)	Silinder 15 x 30	5	5	5	5	5
2	Kuat tarik (f_t)	Silinder 15 x 30	5	5	5	5	5
3	Tegangan geser interface beton (τ_c)	Double L 15 x 20 x 30	5	5	5	5	5

Detail masing benda uji dapat dilihat pada Gambar di bawah ini:



Gambar 4.2 Benda Uji Kuat Tekan dan Tarik



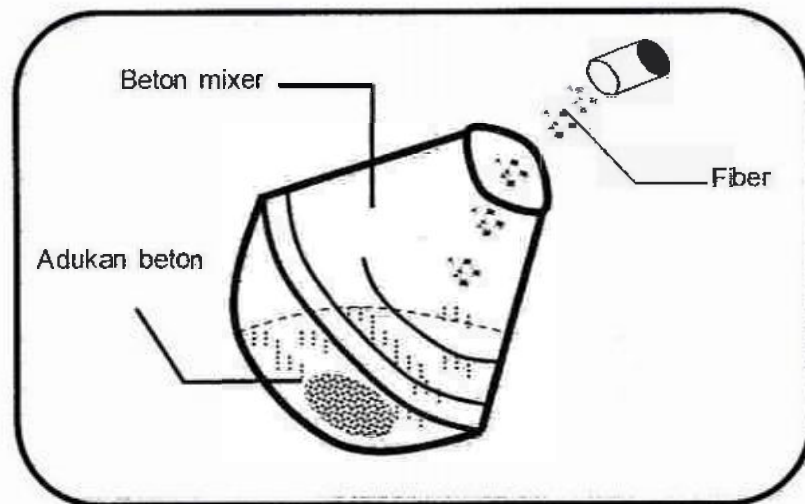
Gambar 4.3 Benda Uji Tegangan Geser Interface

3. Pembuatan Benda Uji

Untuk membuat benda uji dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Membuat fiber geometri lurus (*straight*) dengan diameter $\pm 1,0$ mm dan panjang 60 mm.
- b. Pengadaan material pasir, kerikil dan semen.
- c. Mempersiapkan cetakan masing-masing benda uji
- d. Menyiapkan dan menimbang bahan yang digunakan dengan proporsi yang telah ditentukan sesuai dengan hasil hitungan perencanaan campuran (*mix design*).
- e. Mengaduk campuran dengan menggunakan molen dan memasukkan bahan-bahan secara bertahap hingga campuran tersebut merata.

- f. Untuk pencampuran fiber dilakukan dengan cara fiber ditaburkan secara merata kedalam *concret mixer* (yang masih berputar dengan kecepatan normal) yang didalamnya telah terlebih dahulu, secara bertahap dicampurkan adukan beton normal (lihat Gambar 4.4). Penaburan fiber dilakukan dengan tangan dan secara hati-hati sehingga setiap fiber dapat masuk kedalam adukan secara sendiri-sendiri. Dengan demikian diharapkan tidak terjadi penggumpalan fiber.



Gambar 4.4 Proses pencampuran beton

1. Bahan yang telah dicampur dimasukkan kedalam cetakan yang telah disiapkan.
2. Setelah beton berumur satu hari, cetakan dibuka dan beton direndam selama 28 hari terhitung saat beton selesai dicetak.

4. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji mengacu pada aturan SK SNI M-62-1990-03. Perawatan beton adalah suatu upaya untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras pada umur yang direncanakan.

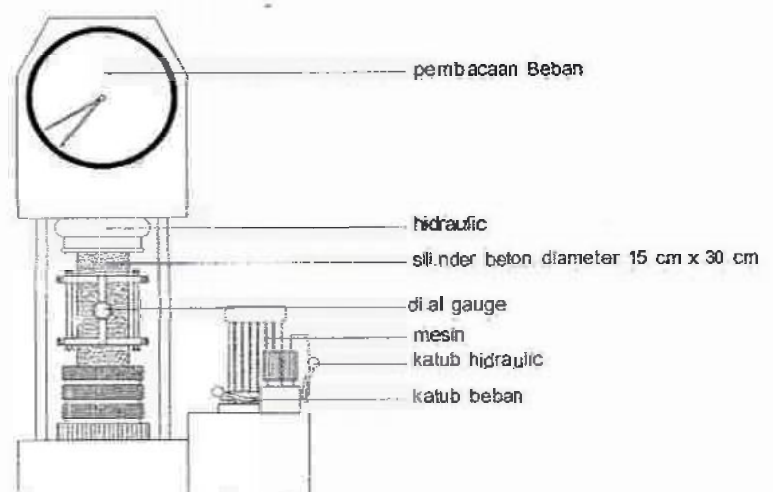
Dari beberapa metode perawatan yang ada, pada penelitian ini dipilih perawatan dengan cara merendam benda uji sampai waktu pengujian 28 hari, agar proses hidrasi semen dan pasir tidak mengurangi mutu beton/tidak menyebabkan retak beton. Selain itu kelembaban permukaan beton akan menambah daya tahan beton terhadap cuaca dan lebih kedap air.

5. Pengujian Benda Uji

5.1. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari beton itu sendiri. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C 39-99 dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine (CTM)* seperti pada Gambar 4.5, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu benda uji diratakan permukaannya (*capping*) dengan menggunakan belerang.
- Setelah benda uji silinder ditimbang dan diukur dimensinya, kemudian benda uji dipasangkan *dial gauge* yang berbentuk lingkaran, mengelilingi permukaan samping silinder
- Alat *dial gauge* distel dengan cara memutar baut pada alat sedemikian rupa agar lingkaran yang mengelilingi silinder sejajar dengan permukaan samping silinder dan tepat berada ditengah-tengah terhadap tinggi silinder.
- Meletakkan benda uji pada alas pembebanan mesin uji tekan beton *Compression Testing Machine (CTM)* jarak permukaan silinder dengan bagian atas mesin kurang dari 5 cm. Kemudian jarum penunjuk distel pada angka nol.
- Pembebanan diberikan secara berangsur-angsur sambil dicatat perubahan panjang atau pemendekan tiap skala pembebanan tertentu. Besar perubahan penolok ukur panjang dicatat pada setiap kenaikan tertentu sampai mencapai pembebanan maksimum.

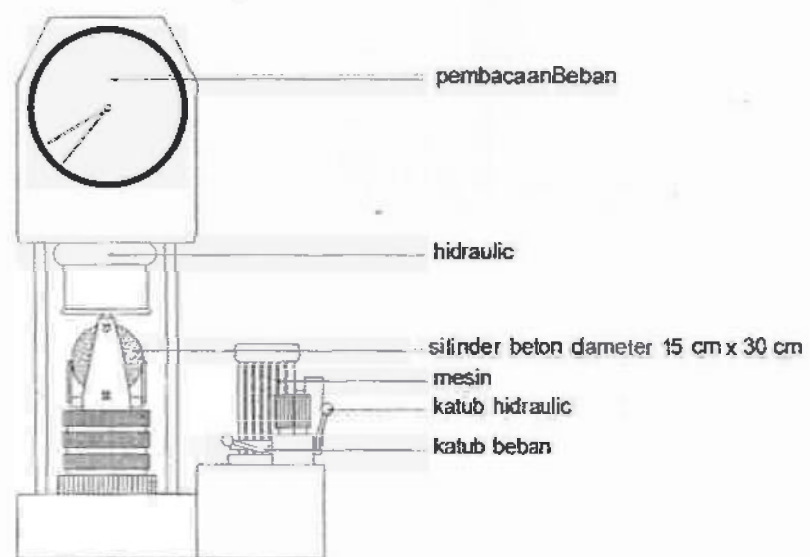


Gambar 4.5 Setting up alat uji kuat tekan

5.2. Uji Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan dengan cara pengujian kuat tarik belah beton, berdasarkan ASTM C496-96, dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine (CTM)*, seperti pada Gambar 4.6, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

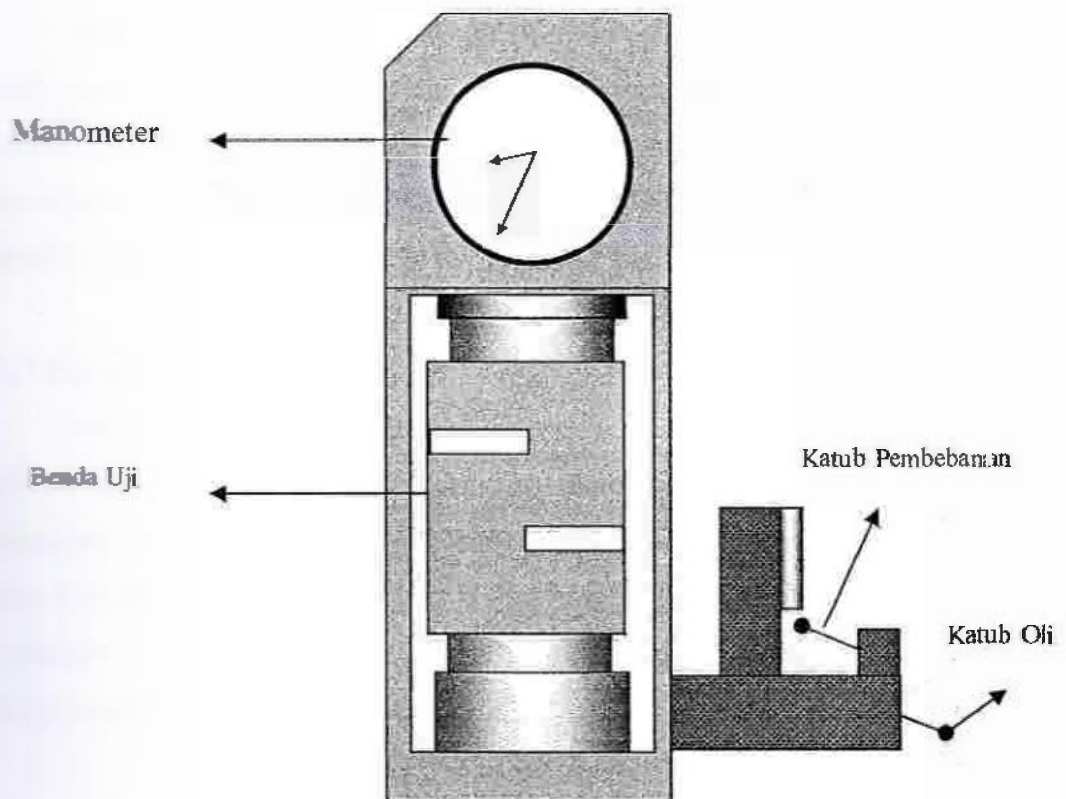
- a. Setelah benda uji silinder ditimbang dan diukur dimensinya, kemudian benda uji diletakkan pada sisinya di atas mesin uji dan beban (P) dikerjakan secara merata dalam arah diameter disepanjang benda uji.
- b. Arloji ukur diatur pada cincin beban dan arloji pengukur regangan pada pembacaan nol.
- c. Mesin digerakkan perlahan sampai pelat bagian atas menyentuh sisi benda uji.
- d. Pembebanan diberikan secara berangsur-angsur mulai dari nol (tanpa beban) hingga benda uji silinder terbelah dua (tidak dapat menerima beban lagi) besar beban dicatat sesuai dengan jarum penunjuk pembebanan beserta regangan yang terjadi.
- e. Beban maksimum dibaca pada manometer alat uji, kemudian dicatat



Gambar 4.6 Setting up pengujian kuat tarik belah.

5.3. Uji Tegangan Geser Interface

Pengujian tegangan geser interface dilakukan terhadap pada benda uji balok *double L*. Balok *double L* diletakkan pada posisi vertikal, pada alat *Compression Testing Machine*, seperti terlihat pada Gambar 4.7. Pembacaan lendutan dilakukan secara bertahap dengan interval beban 10 KN sampai balok tersebut runtuh. Kondisi ini ditandai dengan tidak bertambahnya beban dan lendutan vertikal terus bertambah.



Gambar 4.7 Setting up pengujian tegangan geser interface

BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Bahan

Dari hasil pemeriksaan bahan-bahan pembuat beton yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, diperoleh hasil sebagai berikut:

5.1.1 Berat satuan agregat

Hasil Pemeriksaan menunjukkan berat satuan lepas rata-rata $1,428 \text{ gr/cm}^3$ untuk pasir dan $1,276 \text{ gr/cm}^3$ untuk kerikil, sedangkan untuk berat satuan padat rata-rata $1,576 \text{ gr/cm}^3$ untuk pasir dan $1,356 \text{ gr/cm}^3$ untuk kerikil. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua material ini termasuk dalam jenis agregat normal yang memiliki berat satuan antara $1,2 - 1,6 \text{ gr/cm}^3$ (Tjokrodimuljo, 1996)

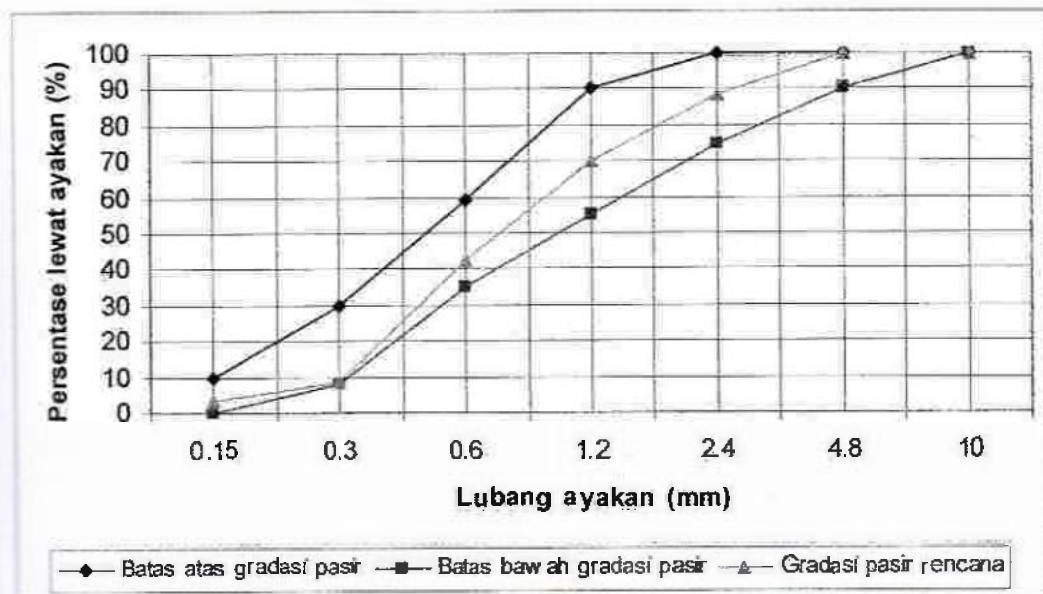
5.1.2 Berat Jenis agregat

Hasil pemeriksaan menunjukkan berat jenis pasir kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,697 sedangkan berat jenis kering rata-rata 2,639 sedangkan pada pemeriksaan berat jenis kerikil pada kondisi SSD rata-rata diperoleh nilai 2,626 dan berat jenis dalam kondisi kering sebesar 2,563. Hasil ini menunjukkan bahwa pasir sungai dan kerikil yang digunakan termasuk jenis agregat normal yang memiliki berat jenis antara 2,5 – 2,7 (Tjokrodimuljo, 1996).

5.1.3 Gradasi agregat

Hasil analisis gradasi agregat pasir diperoleh pasir yang digunakan termasuk pada zone II yaitu pasir agak kasar, dimana pasir dalam kondisi ini banyak digunakan sebagai material penyusun beton, hal ini disebabkan karena kondisi pasir zone I cenderung beton segar mengalami *segregasi* dan pasir zone IV cenderung beton segar mengalami *bleeding*. Dari analisis gradasi yang telah dilakukan didapat modulus kehalusan butiran dimana persentase kumulatif tinggal ayakan berbanding dengan persentase tertinggal ayakan, sehingga didapat modulus kehalusan butiran sebesar 2,871. Dapat dilihat pada grafik gradasi pasir

rencana pada Gambar 4.1 bahwa semua agregat halus yang melewati lubang ayakan berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi pasir.

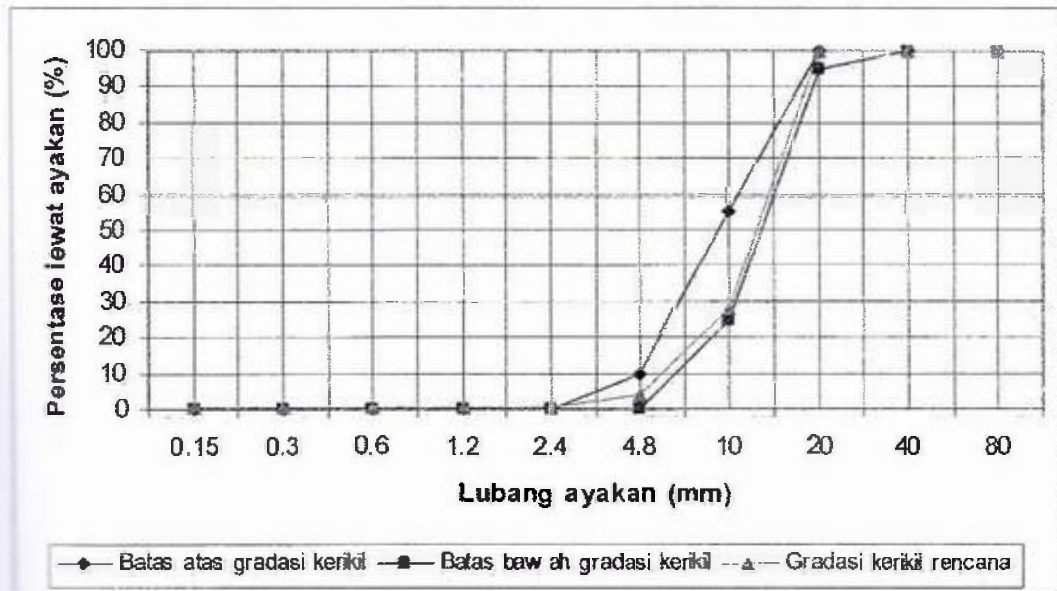


Gambar 5.1 Grafik gradasi pasir rencana

Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 2,871 maka pasir ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 1,5-3,8 (Tjokrodimuljo, 1996). Makin besar nilai modulus halus butiran menunjukkan semakin besar ukuran butir-butir agregatnya.

Melalui prosedur yang sama seperti gradasi pada pasir, hasil pemeriksaan kerikil menunjukkan modulus kehalusan butiran sebesar 6,65 dengan diameter butiran maksimum yang digunakan 20 mm. dapat dilihat pada grafik gradasi kerikil rencana (Gambar 5.2), bahwa semua agregat kasar yang melewati lubang ayakan berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi kerikil.

Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 6,65 maka pasir ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 5-8 (Tjokrodimuljo, 1996). Seperti yang telah dikatakan sebelumnya makin besar nilai modulus halus butiran menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir-butir agregatnya. Untuk modulus halus butiran kerikil diatas termasuk dalam butiran yang tidak memiliki ukuran yang besar namun tidak juga memiliki ukuran yang kecil.

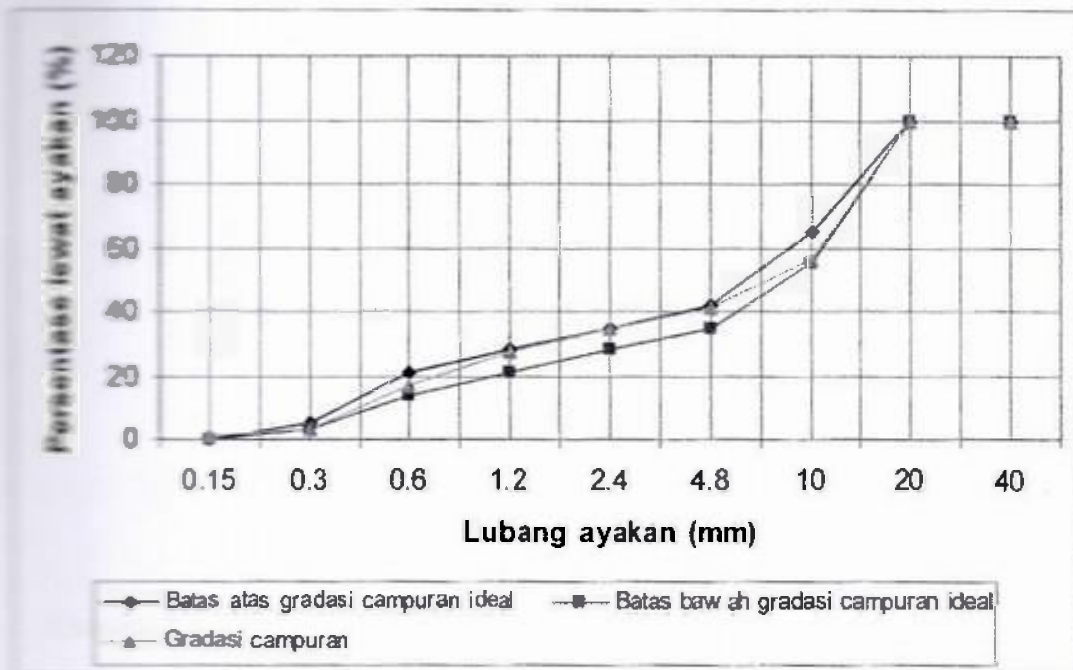


Gambar 5.2 Grafik gradasi kerikil rencana

Dalam membuat campuran diperlukan suatu proporsi pasir dan kerikil dengan perbandingan tertentu agar gradasi campuran dapat masuk di dalam kurva standar seperti yang terlihat pada Gambar 5.3. hal ini dimaksudkan agar diperoleh beton yang baik, mudah dikerjakan, faktor air semen yang sesuai, tidak terjadi *segregasi* dan *bleeding* dan yang terpenting adalah memberikan kekuatan yang besar pada beton.

Untuk mendapatkan gradasi campuran maka dicari persentase pasir terhadap campuran dan persentase kerikil terhadap campuran. Dari hasil perhitungan diperoleh 39% untuk pasir dan 61% untuk kerikil. Persentase inilah yang akan digunakan untuk perhitungan gradasi campuran. Bila hasil gradasi yang diperoleh tidak masuk di dalam kurva maka nilai banding antara pasir dan kerikil diteliti, dengan nilai banding yang lebih baik. Demikian dilakukan berulang-ulang sehingga diperoleh grafik gradasi yang memenuhi standar.

Dalam Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa garis gradasi campuran masuk dalam wilayah batas atas gradasi campuran dan batas bawah gradasi campuran. Maka persentase dari grafik gradasi campuran dapat dipakai untuk perhitungan mix design.



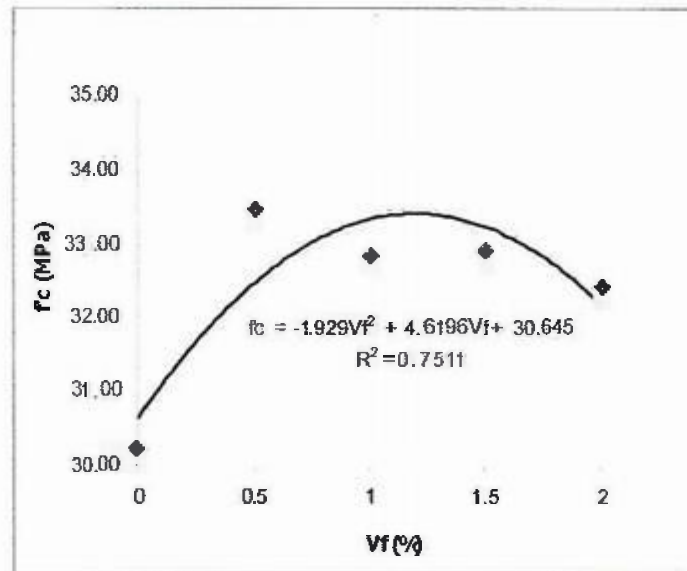
Gambar 5.3 Grafik campuran pasir dan kerikil

4.4.4 Pemeriksaan kadar lumpur

Dari hasil pemeriksaan menunjukkan kadar Lumpur pasir sungai sebesar 1,42%, sehingga pasir tersebut memenuhi standar sebagai bahan penyusun beton dan tidak perlu dilakukan pencucian. Syarat kadar Lumpur agregat adalah kurang dari 5% dari berat agregat (Tjokrodinuljo, 1996).

5.2 Kuat Tekan

Kuat tekan beton fiber bendrat dipengaruhi oleh komposisi dan kualitas bahan penyusunnya serta volume fiber yang ditambahkan. Hasil pengujian benda uji kuat tekan dengan variasi volume fiber (V_f) 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% disajikan pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4. Grafik hubungan volume fiber (V_f) dan kuat tekan beton (f_c)

Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan fiber bendrat antara 0,5% sampai dengan 2% dari volume adukan beton mampu meningkatkan kuat beton sekitar 7% – 10 % dibandingkan dengan beton normal (tanpa fiber bendrat). Presentase optimum terjadi pada penambahan fiber bendrat sekitar 1%. Hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ravichandran dkk (2009), dengan menambahkan *fiber polyolefin* dan *steel fiber* dengan volume antara 0,5% - 2% dari volume adukan beton, kuat tekan beton mutu tinggi meningkat antara 0,65% - 14,1% dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa fiber. Hal ini disebabkan adanya fiber pada beton akan menambah lekatan dalam beton semakin kuat beton karena lekatan antara fiber dengan pasta semen.

Akan tetapi ada kecenderungan peningkatan volume fiber di atas 2% justru akan menurunkan kuat tekan beton, seperti yang ditunjukkan pada garis trendline grafik di atas. Hal ini kemungkinan disebabkan karena meningkatnya volume fiber akan mengurangi tingkat workability pada adukan beton, sehingga beton sangat sulit di padatkan sehingga beton menjadi keropos.

Dari grafik di atas juga dapat ditentukan rumus umum untuk memprediksi kuat tekan beton dengan penambahan fiber bendrat adalah sebagai berikut :

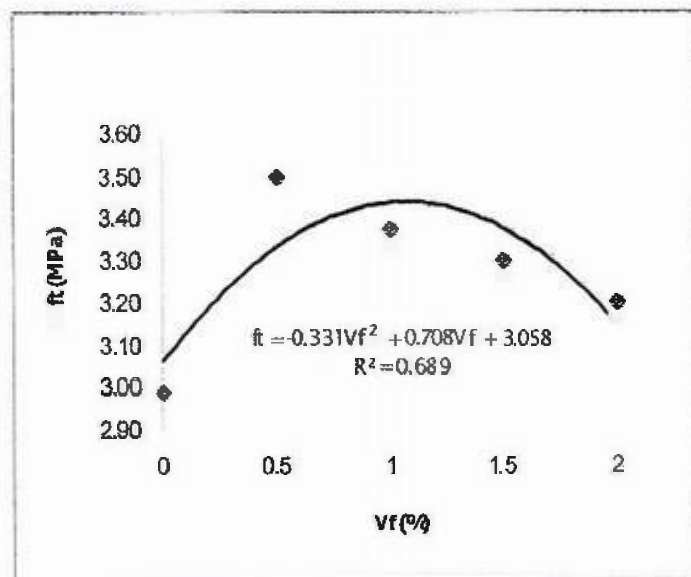
$$f_c = -1.929V_f^2 + 4.619V_f + 30.645 \quad (5.1)$$

Jika $V_f = 0\%$ maka kuat tekan beton normal (tanpa fiber) $f'_{co} = 30,645$ MPa, maka kuat tekan beton fiber bendrat (f'_{cf}) dapat dihitung dengan rumus:

$$f'_{cf} = f'_{co} + 4,6196V_f - 1,929V_f^2 \quad (5.2)$$

5.3 Kuat Tarik

Kuat tarik beton sangat dipengaruhi oleh lekatan antara pasta semen dengan agregat penyusunnya. Penambahan fiber kawat bendrat diharapkan mampu meningkatkan nilai kuat tarik beton. Hasil pengujian benda uji kuat tarik beton dengan volume fiber bendrat (V_f) 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% ditunjukkan pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.5. Grafik hubungan volume fiber (V_f) dan kuat tarik beton (f_t)

Dari grafik di atas terlihat bahwa penambahan fiber bendrat antara 0,5% sampai dengan 2% dari volume adukan beton mampu juga mampu meningkatkan kuat tarik beton sekitar 7% – 17 % dibandingkan dengan beton normal (tanpa fiber bendrat). Prosentase optimum tercapai pada penambahan fiber bendrat sekitar 1%. Hal ini disebabkan adanya fiber pada beton akan menambah ikatan dalam beton semakin kuat beton karena lekatan antara fiber dengan pasta semen, sehingga kuat tekannya meningkat yang akan diiringi dengan meningkatnya kuat tarik beton. Selain itu penambahan fiber bendrat pada beton

juga dapat berfungsi sebagai tulangan mikro yang akan mencegah retak-retak yang terlalu dini, baik yang disebabkan oleh beban yang bekerja.

Serupa dengan kuat tekan beton, meningkatnya volume fiber di atas 2% justru akan menurunkan kuat tarik beton, seperti yang ditunjukkan pada garis trendline grafik di atas. Hal ini kemungkinan disebabkan karena meningkatnya volume fiber akan mengurangi tingkat workability pada adukan beton, sehingga beton segar sulit di padatkan sehingga beton menjadi keropos dan fungsi fiber sebagai tulangan mikro kurang maksimal.

Dari grafik di atas juga dapat ditentukan rumus umum untuk memprediksi kuat tarik beton dengan penambahan fiber bendrat adalah sebagai berikut :

$$f_t = -0.331V_f^2 + 0.708V_f + 3.058 \quad (5.3)$$

Jika $V_f = 0\%$ maka kuat tarik beton normal (tanpa fiber) $f_{t0} = 3,058$ MPa, sehingga kuat tarik beton fiber bendrat (f_{tf}) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

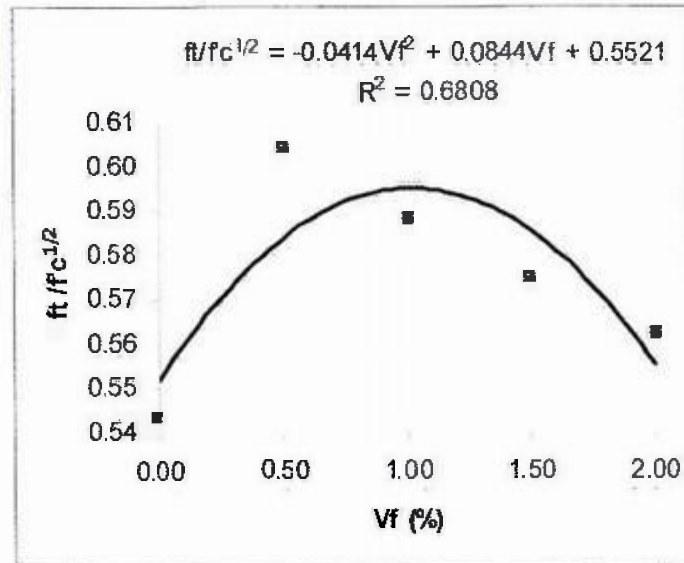
$$f_{tf} = f_{t0} + 0.708V_f - 0.331V_f^2 \quad (5.4)$$

Kuat tarik beton merupakan fungsi dari koefisien k dikalikan dengan $\sqrt{f_c}$, nilai k beton normal antara 0,5 – 0,6. ACI menyarankan kuat tarik beton adalah $0.59\sqrt{f_c}$. Mengingat beton fiber bendrat berbeda dengan beton normal, maka koefisien k juga akan dipengaruhi oleh variabel baru yaitu volume fiber (V_f).

Dari hasil regresi hubungan antara kuat tarik, kuat tekan dan volume fiber (V_f) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6, dapat di formulasikan sebagai berikut :

$$f_t = (0.0414V_f^2 + 0,0844V_f + 0,5521) \sqrt{f_c} \quad (5.5)$$

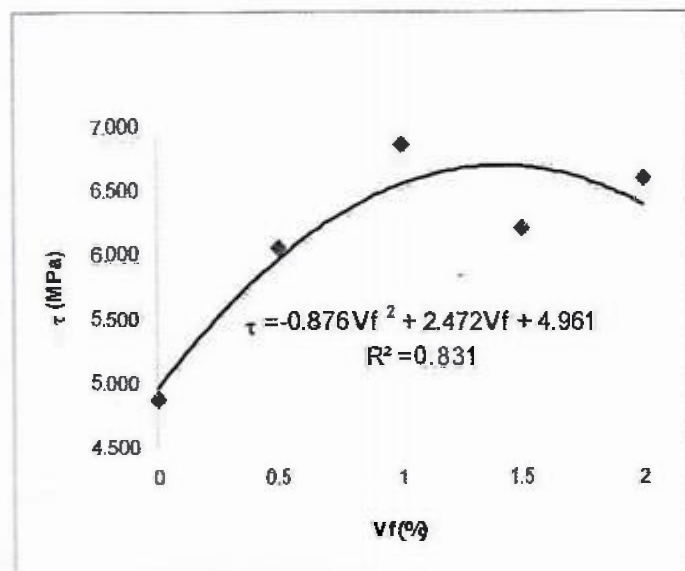
Jika $V_f = 0\%$ yang berarti ini adalah beton normal maka $f_t = 0,5521 \sqrt{f_c}$, rumus ini tidak jauh berbeda dengan rumus yang disarankan oleh ACI.



Gambar 5.6. Hubungan Kuat Tarik, Kuat Tekan dan Volume Fiber (V_f)

5.4 Tegangan Geser Interface

Tegangan geser interface beton dipengaruhi kondisi lekatan antar material penyusun beton. Pengaruh penambahan fiber bendrat dengan volume fiber (V_f) pada 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% ditunjukkan pada Gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5.7. Grafik hubungan volume fiber (V_f) dan tegangan geser interface (τ)

Peningkatan nilai kuat tekan dan kuat tarik beton akibat penambahan fiber bendrat juga diikuti oleh naiknya tegangan geser interface beton fiber bendrat. Ini membuktikan bahwa pada prosentase fiber bendrat antara 0,5% sampai dengan 2% lekatan antar material beton semakin baik di bandingkan dengan beton normal

(tanpa fiber). Selain itu peningkatan tegangan geser ini kemungkinan juga disebabkan karena adanya *dowel action* fiber bandrat pada campuran.

Hal yang sama juga terjadi pada nilai tegangan geser interface, dari garis trendline terlihat meningkatnya volume fiber di atas 2% justru akan menurunkan tegangan geser interface beton, yang kemungkinan disebabkan karena meningkatnya volume fiber akan mengurangi tingkat workability beton segar, sehingga beton segar sulit di padatkan sehingga banyak meninggalkan rongga (poros).

Hubungan tegangan geser interface (τ) dan volume fiber (V_f) dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\tau = -0,876V_f^2 + 2,472V_f + 4,961 \quad (5.6)$$

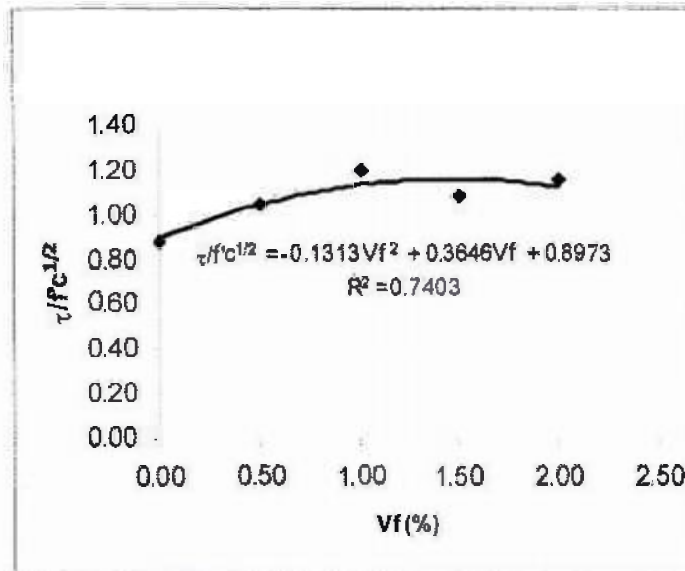
Jika $V_f = 0\%$ maka tegangan geser interface beton normal (tanpa fiber) $\tau_0 = 4,961$ MPa, maka tegangan geser beton fiber bendrat (τ_f) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\tau = \tau_0 + 2,472V_f - 0,876V_f^2 \quad (5.7)$$

Serupa dengan kuat tarik beton, tegangan geser merupakan fungsi dari koefisien k dikalikan dengan $\sqrt{f_c}$, nilai k untuk beton normal dari beberapa referensi bervariasi, Mirsayah dan Banthia (2002) nilai k yang dihasilkan adalah kemudian Khallo dan Kim (1997) nilai k adalah 0,65. Mengingat beton fiber bendrat berbeda dengan beton normal, maka nilai koefisien k juga akan dipengaruhi oleh variabel baru yaitu volume fiber (V_f). Dari hasil regresi hubungan antara tegangan geser, kuat tekan dan volume fiber (V_f) yang ditunjukkan pada Gambar 5.8, dapat di formulasikan sebagai berikut:

$$\tau = (-0,1313V_f^2 + 0,3646V_f + 0,8973)\sqrt{f_c} \quad (5.8)$$

Jika $V_f = 0\%$ merupakan beton normal maka $\tau = 0,8973\sqrt{f_c}$, koefisien k yang digunakan pada penelitian hampir sama dengan peneliti sebelumnya. Selanjutnya rumus tersebut akan digunakan untuk mengembangkan rumus empiris kuat geser beton fiber bendrat.



Gambar 5.8. Grafik hubungan kuat tekan, tegangan geser interface dan volume fiber (Vf)

5.5 Pengembangan Rumus Kuat Geser Beton Fiber

Pada balok beton gaya geser yang bekerja pada balok akan ditahan oleh kekuatan geser dari beton (V_c) itu sendiri, yang merupakan sumbangan gaya geser bagian tekan beton (V_{cc}), interlocking antar agregat (V_{aa}) dan dowel action (V_{ad}) sumbangan memanjang. Kuat geser menurut SNI dapat dihitung dengan rumus:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b d \quad (5.9)$$

Dari penjelasan sebelumnya disebutkan bahwa penambahan fiber bendrat dengan volume tertentu mempengaruhi tegangan geser interface beton, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 5.6, sehingga kuat geser persamaan 5.9 perlu dikoreksi akibat penambahan fiber bendrat dan dapat dihitung dengan rumus :

$$V_c = \tau b d = (-0,1313V_f^2 + 0,3646V_f + 0,8973) \sqrt{f'c} b d \quad (5.10)$$

Sedangkan kuat geser joints balok kolom menurut SNI (2002) hanya dipengaruhi oleh kuat tekan beton ($f'c$) dan luasan inti joint (A_j) dan dapat dihitung dengan rumus :

$$V_j = L O A_j \sqrt{f'c} \quad (5.11)$$

Jika memasukkan persamaan 5.1 ke persamaan 5.11 maka kuat geser joints balok kolom fiber bendrat adalah :

$$V_j = L O A_j \sqrt{(-1,929V_f^2 + 4,619V_f + 30,645)} \quad (4.11)$$

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari uraian-uraian pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan fiber bendrat pada campuran pada prosentase volume fiber 0,5%, 1%, 1,5%, 2% mampu meningkatkan kuat tekan, kuat tarik dan tegangan geser interface beton.
2. Volume fiber optimum tercapai pada prosentase 1%.
3. Beberapa rumus empiris beton fiber bendrat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$f_{cf} = f_{co} + 4,6196 V_f - 1,929 V_f^2$$

$$f_{ct} = f_{co} + 0,708 V_f - 0,331 V_f^2$$

$$\tau = \tau_0 + 2,472 V_f - 0,876 V_f^2$$

$$\bar{\alpha} = (-0,0414 V_f^2 + 0,0844 V_f + 0,5521) \sqrt{f_c}$$

$$\tau = (0,1313 V_f^2 + 0,3646 V_f + 0,8973) \sqrt{f_c}$$

$$V_{cf} = \tau b d = (-0,1313 V_f^2 + 0,3646 V_f + 0,8973) \sqrt{f_c} b d$$

$$V_f = 1,0 A_j \sqrt{(-1,929 V_f^2 + 4,619 V_f + 30,645)}$$

6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan demi sempurnanya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam melakukan pengecoran sebaiknya dilakukan dengan lebih hati-hati, agar fiber bendrat tercampur dengan merata pada adukan beton (tidak menggumpal)
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi faktor air semen (fas) dan mutu beton yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318 M**, 1999, *Building Peraturan Requirements of Structural Concrete and Commentary : (318 RM-99)*, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- ACI Committee 544**, 1982, *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, Report: ACI 544-IR-82, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- ACI Committee 544**, 1982, *Guide for Specifying, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*, ACI Journal, Vol. 81, No. 2, March-April.
- ASTM C39-99**, 1999, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohochen.
- ASTM C469-94**, 1994, *Standard Test Method for Static Modulus Elasticity and Poisson Ratio of Concrete in Compression*, ASTM International, West Conshohochen.
- ASTM C496-96**, 1996, *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohochen.
- Bianchi, A., Ladicani, K., dan Massicotte, B.**, 1994, *Seismic Performance of Peraturan Designed Fiber Reinforced Concrete Joints*, ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 4, September-October.
- Bisra, A., Pineau, S., dan Houde, J.**, 1995, *Seismic Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete Interior Beam Column Joints*, ACI Structural Journal, Vol. 93, No. 4, September-October.
- Çelebi, M., dan Eren, I.**, 2002, *An Experimental Study on the Effect of Steel Fiber Reinforced Concrete on the Behaviour of the Exterior Beam-Column Joints Subjected to Reversal Cyclic Loading*, Turkish Journal Engineering Environmental Science, 493-502.
- Karamanis, C., Sirkelis, G., Mavroeidis, P.**, 2005, *Improvement of Seismic Capacity of External Beam-Column Joints Using Rectangular Spiral Shear Reinforcement*, Conference on Earthquake Resistance Engineering Structure, Skiathos, Greece.
- Kurtin, M., Stojadinovic, B., Goel, S. C.**, 1999, *Shear Strength of Normal and High Strength Fiber Reinforced Concrete Beam without Stirrups*, ACI Structural Journal, Vol. 96, No. 2.
- Quinn, A. R., Kim, N.**, 1997, *Influence of Concrete and Fiber Characteristic on Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete under Direct Shear*, ACI Material Journal, Vol. 94, No. 6.
- Wahyuni, T.**, 2004, *Upaya Perbaikan Kuat Geser Beton Menggunakan Serat Sirkelis*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 5, No. 1, Oktober.

- McGregor, J., G., 1997, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA
- Mirsayah, A. A. dan Banthia, N., *Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete*, ACI Journal, Vol. 99, No 5, September-Oktober.
- Ngudiyono, Mahmud, F., 2006, Pemanfaatan Fiber Lokal (Kawat Bendrat) Sebagai Tulangan Geser Mikro (*Micro Shear Reinforcement*) Pada Balok Beton Bertulang, Laporan Penelitian Dosen Muda, DP2M DIKTI, Jakarta.
- Ngudiyono, Eniarti, M., 2007, Perbaikan Tegangan Geser Beton Dengan Penambahan Fiber Lokal Bendrat, Laporan Penelitian, Universitas Mataram, Mataram.
- SNI 03-2847, 2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, LPMB Dep. Pekerjaan Umum RI, Bandung.
- SNI 03-1726, 2002, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, LPMB Dep. Pekerjaan Umum RI, Bandung.
- Suhendro, B., 1991, Pengaruh Fiber Kawat Pada Sifat-Sifat Beton dan Beton Bertulang, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian UGM, Detjen DIKTI, Yogyakarta.
- Wahyono, A., 1996, Pengaruh Fiber Bendrat Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang, Thesis, Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Wahyono, A., Wirawan, S., 2000, Pengaruh Penambahan Fiber Bendrat Pada Kuat Geser Balok Beton Bertulang Tanpa Sengkang dan Karakteristik Dinamiknya, Laporan Akhir Penelitian DCRG, Universitas Atmajaya, Yogyakarta.
- Widodo, 2007, Kerusakan Bangunan Pada Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006: Akibat Kebelum Jelasan Peraturan, Sosialisasi atau Pelaksanaan, Seminar dan Pameran HAKI-Konstruksi Tahan Gempa, Jakarta.

LAMPIRAN II

HIBAH BERSAING TAHAP II

TAHUN 2010



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL R.I.
UNIVERSITAS MATARAM
LEMBAGA PENELITIAN

Jl. Pendidikan No.37 Mataram NTB, Tlp.(0370) 641552, 638265
Fax. (0370) 638265, e-mail: lemlit_unram@yahoo.com

**SURAT PERJANJIAN KERJASAMA
PELAKSANAAN PENELITIAN HIBAH BERSAING LANJUTAN
TAHUN ANGGARAN 2010**

Nomor : 06-SP.PHB/H18.12/PL/2010

Pada hari ini **Senin** tanggal **tiga** bulan **Mei** tahun **dua** ribu **sepuluh**, kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. **Prof.Ir. Yusuf A. Sutaryono, Ph.D** : Dalam hal ini bertindak selaku Ketua Lembaga Penelitian Universitas Mataram selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**
2. **Ngudiyono, ST.MT** : Dalam hal ini bertindak selaku Ketua Pelaksana Penelitian, selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Kedua belah pihak bersama-sama telah sepakat mengadakan perjanjian pelaksanaan Penelitian Hibah Bersaing Lanjutan, dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut :

Pasal 1

LINGKUP KEGIATAN

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan dan sebagai penanggung jawab pelaksanaan penelitian yang berjudul : "**Metode Perbaikan Kapasitas Geser dan Daktilitas Joints Balok Kolom (Beam Column Joints) Tahan Gempa Dengan Beton Fiber Bendrat**".
- (2) Pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1), mengacu pada Proposal Penelitian yang telah disetujui oleh Lembaga Penelitian Universitas Mataram sebagaimana tercantum dalam lampiran dan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari surat perjanjian ini.

Pasal 2

PEMBIAYAAN

- (1) **PIHAK PERTAMA** menghibahkan dana untuk kegiatan sebagaimana dimaksud pada pasal 1 sebesar **Rp. 43.000.000,-** (Empat puluh tiga juta rupiah) yang dibebankan kepada DIPA Universitas Mataram Tahun Anggaran 2010 Nomor : 0164/023/04.2/XXI/2010, Tanggal 31 Desember 2009.
- (2) Pembayaran dana penelitian sebagaimana dimaksud pada pasal 2 ayat (1) oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** dilakukan secara berangsur melalui 2 (dua) tahap sebagai berikut :
 - a. Tahap pertama **70% x Rp. 43.000.000,- = Rp. 30.100.000,-** (Tiga puluh juta seratus ribu rupiah) setelah Surat Perjanjian ini ditanda tangani oleh kedua belah pihak;

- b. Tahap kedua $30\% \times \text{Rp. } 43.000.000, = \text{Rp. } 12.900.000,-$ (Dua belas juta sembilan ratus ribu rupiah) setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan-laporan pelaksanaan kegiatan kepada PIHAK PERTAMA.
- (3) Penyaluran dana oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA akan dilaksanakan dengan system Pembayaran Langsung (LS) melalui Kantor Pelayanan Perbendaharaan Negara (KPPN) Mataram yang ditujukan kepada rekening ketua peneliti (PIHAK KEDUA) atas nama Ngudiyono pada Bank BNI 46 Mataram dengan nomor rekening 0041245228.

Pasal 3

KEWAJIBAN PAJAK

Segala sesuatu yang berkaitan dengan Pajak berupa PPn dan/atau PPh menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA dan harus disertorkan ke kas Negara sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pasal 4

JANGKA WAKTU PELAKSANAAN KEGIATAN

Jangka waktu pelaksanaan kegiatan sampai selesai 100% ditetapkan selama 8 (delapan) bulan kalender, terhitung sejak ditandatangani Perjanjian Kerjasama pada tanggal 3 Mei 2010 dan berakhir sampai dengan tanggal 15 Desember 2010;

Pasal 5

TATA CARA PENGELOLAAN DANA BANTUAN PENELITIAN

- (1) Pengelolaan dana bantuan penelitian dilakukan secara swakelola oleh PIHAK KEDUA dan berpedoman pada prinsip-prinsip pengelolaan *block grant*, yaitu:
- Menerapkan prinsip keterbukaan, jujur, demokratis, akuntabel, efektif dan efisien;
 - Pertanggungjawaban keuangan harus sesuai dengan peraturan yang berlaku;
 - Pembukuan dana bantuan penelitian harus tersendiri yang tidak disatukan dengan pembukuan keuangan lainnya;
 - Pembukuan dana bantuan berisi semua transaksi keuangan menurut urutan tanggal transaksi;
 - Menyusun rekapitulasi penggunaan dana, termasuk pajak-pajak yang harus dibayarkan kepada kas Negara, dalam bentuk Laporan Penggunaan Dana Penelitian disertai bukti-bukti pembayaran kuitansi yang asli dan syah; dan
 - Laporan Penggunaan Dana Penelitian harus ditandatangani oleh PIHAK KEDUA dan diketahui/disyahkan oleh PIHAK PERTAMA.
- (2) Laporan Penggunaan Dana Penelitian harus disampaikan kepada PIHAK PERTAMA dengan pengaturan sebagai berikut:
- Menyerahkan kepada tim pemantau yang ditunjuk oleh PIHAK PERTAMA pada saat pelaksanaan monitoring dan evaluasi (monev) terhadap pelaksanaan kegiatan penelitian;
 - Menyerahkan kepada PIHAK PERTAMA bersama-sama dengan Laporan Akhir Hasil Penelitian sesuai waktu yang ditentukan.

Pasal 6

HAK DAN KEWAJIBAN

- (1) Hak dan Kewajiban PIHAK PERTAMA

1. Hak PIHAK PERTAMA

- Memperoleh data dan informasi yang diperoleh dari hasil kegiatan penelitian yang dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA;

- b. Meminta dan menerima laporan-laporan secara periodik mengenai pelaksanaan kegiatan penelitian yang dilakukan oleh PIHAK KEDUA.
2. Kewajiban PIHAK PERTAMA
- Menyalurkan dana penelitian kepada PIHAK KEDUA, sesuai Pasal 2 di atas;
 - Mengawasi, memantau dan mengevaluasi kegiatan penelitian yang dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA.
- (2) Hak dan Kewajiban PIHAK KEDUA
- Hak PIHAK KEDUA adalah menerima dana penelitian dari PIHAK PERTAMA sesuai dengan Pasal 2 di atas dan kesepakatan kedua belah pihak;
 - Kewajiban PIHAK KEDUA
- Melaksanakan dan menyelesaikan kegiatan sesuai dengan jadwal dan batas waktu yang telah ditetapkan dalam Perjanjian Kerjasama ini;
 - Bertanggungjawab terhadap penggunaan dana penelitian yang telah diterima dari PIHAK PERTAMA sesuai dengan Perjanjian Kerjasama ini dan peraturan perundangan yang berlaku;
 - Mempublikasikan hasil penelitiannya dalam jurnal internasional atau sekurang-kurangnya dalam jurnal Nasional terakreditasi. Hasil penelitian harus dipublikasikan selambat-lambatnya pada tahun kedua sejak penelitian dimulai. Selain itu, PIHAK KEDUA harus mengupayakan, dan/atau menindaklanjuti penelitiannya untuk menghasilkan : (1) proses dan produk ipteks (metode, blue print, prototype, system kebijakan atau model); dan/atau (2) HKI; dan/atau (3) bahan ajar, dan/atau (4) teknologi tepat guna;
 - Melaporkan kepada PIHAK PERTAMA tentang perkembangan publikasi artikel ilmiah dan/atau perolehan paten secara periodik 1 (satu) kali dalam 3 (tiga) bulan sejak berakhirnya pelaksanaan penelitian;
 - Mempresentasikan hasil penelitiannya pada seminar yang akan dilaksanakan oleh PIHAK PERTAMA dan/atau Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional;
 - Memberikan data, informasi, dan keterangan secara benar dan jujur kepada Tim Monitoring dan Evaluasi (monev) yang berasal dari Lembaga Penelitian Universitas Mataram dan/atau Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian;
 - Mentaati teguran/peringatan tertulis yang disampaikan oleh PIHAK PERTAMA; dan
 - Menyampaikan laporan-laporan kepada PIHAK PERTAMA sesuai yang termaktub dalam Pasal 7 Perjanjian Kerjasama ini;

Pasal 7 PELAPORAN

- (1) Laporan terdiri atas:
- Laporan Perkembangan Pelaksanaan Kegiatan;
 - Laporan Penggunaan Dana Penelitian; dan
 - Laporan Akhir Hasil Penelitian.
- (2) Laporan Perkembangan Pelaksanaan Kegiatan (Laporan Kemajuan Pelaksanaan Penelitian):
- Disusun berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan penelitian;
 - Laporan harus menggambarkan tentang keseluruhan proses pelaksanaan kegiatan dan hasil-hasil penelitian yang telah dicapai;
 - Laporan yang disampaikan harus sesuai dengan proposal yang sudah disepakati;
 - Laporan disusun sesuai dengan format yang ditentukan oleh PIHAK PERTAMA; dan

- e. Laporan diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 4 (empat) eksemplar 3 (tiga) bulan setelah PIHAK KEDUA menerima dana penelitian tahap pertama.
- (3) Laporan Penggunaan Dana Penelitian:
- Laporan disusun dengan berpedoman pada prinsip-prinsip pengelolaan *block grant* sebagaimana disebutkan dalam Pasal 5 ayat (1) Perjanjian Kerjasama ini;
 - Laporan diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 3 (tiga) eksemplar;
 - Waktu penyerahan laporan oleh PIHAK KEDUA kepada PIHAK PERTAMA sebagaimana diatur pada Pasal 5 ayat (2) Perjanjian Kerjasama ini; dan
 - Apabila PIHAK KEDUA tidak melakukan sebagaimana disebutkan pada Pasal 7 ayat (3) butir a, b dan c di atas, maka PIHAK PERTAMA berhak memotong 15% dari total dana penelitian PIHAK PERTAMA untuk pembayaran pajak yang akan disetorkan ke kas Negara.
- (4) Laporan Akhir Hasil Penelitian:
- Disusun berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan penelitian;
 - Laporan harus menggambarkan tentang keseluruhan proses pelaksanaan kegiatan dan hasil-hasil penelitian yang telah dicapai;
 - Laporan yang disampaikan harus sesuai dengan proposal yang sudah disetujui oleh PIHAK PERTAMA;
 - Laporan disusun sesuai dengan format yang ditentukan oleh PIHAK PERTAMA, yaitu:
 - Bentuk/ukuran kertas A4;
 - Warna cover (sampul) oranye;
 - Di bagian bawah cover (sampul) ditulis :

Dibiayai dengan Dana DIPA Universitas Mataram Tahun Anggaran 2010
Nomor : 0164/023/04.2/XXI/2010, Tanggal 31 Desember 2009.
 - Laporan Akhir Hasil Penelitian harus diserahkan oleh PIHAK KEDUA kepada PIHAK PERTAMA selambat-lambatnya tanggal 15 Desember 2010 yang terdiri atas:
 - Laporan dalam bentuk *hard copy* sebanyak 8 (delapan) eksemplar dan dalam bentuk *soft copy* (CD dalam format MS Word) sebanyak 2 (dua) keping CD;
 - Ringkasan/Summary (abstrak) dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris sebanyak 2-3 halaman; dan
 - Copy artikel ilmiah yang telah dikirimkan ke jurnal nasional/internasional disertai bukti kirim ke alamat jurnal dimaksud, sebanyak 2 (dua) eksemplar.

Pasal 8

PERUBAHAN PENELITIAN

- Apabila PIHAK KEDUA, karena satu dan lain hal bermaksud merubah pelaksanaan, judul, jangka waktu, lokasi penelitian, dan/atau Tim Peneliti dari pelaksana penelitian yang telah disepakati dalam Surat Perjanjian ini, PIHAK KEDUA harus mengajukan permohonan perubahan tersebut kepada PIHAK PERTAMA;
- Perubahan Pelaksanaan Penelitian tersebut pada Pasal 8 ayat (1) dalam Surat Perjanjian ini dapat dibenarkan bila telah mendapat persetujuan lebih dahulu dari PIHAK PERTAMA; dan
- Dalam hal Ketua Pelaksana Penelitian tidak dapat menyelesaikan pelaksanaan penelitian ini sepenuhnya, maka PIHAK KEDUA harus menunjuk penggantinya yang berasal dari anggota tim peneliti yang berkompeten dalam bidang ilmu tersebut atas persetujuan PIHAK PERTAMA.

Pasal 9

HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian ini, diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku;
- (2) Dalam hal terjadi tuntutan dari pihak lain atas penggunaan suatu teknologi tertentu oleh PIHAK KEDUA dalam rangka pekerjaan berdasarkan Perjanjian Kerjasama ini, maka PIHAK PERTAMA terbebas dari segala tuntutan pihak lain tersebut.

Pasal 10

PERALATAN ILMIAH DAN BARANG INVENTARIS

- (1) Peralatan ilmiah dan barang inventaris pengadaannya dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA, yang berpedoman pada Peraturan Perundangan yang berlaku;
- (2) Semua hasil pengadaan peralatan ilmiah dan barang inventaris yang diperoleh melalui anggaran DIPA Universitas Mataram diserahkan kepada Universitas Mataram, setelah pemutusan dan/atau berakhirnya Perjanjian Kerjasama ini.

Pasal 11

KEADAAN KAHAR (*FORCE MAJEURE*)

- (1) Keadaan kahar (*force majeure*) adalah suatu keadaan yang terjadi di luar kehendak kedua belah pihak yang mempengaruhi pelaksanaan Perjanjian Kerjasama ini sehingga PEKERJAAN yang telah ditentukan dalam Perjanjian Kerjasama ini menjadi tidak dapat dipenuhi.
- (2) Hal-hal yang termasuk keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) Pasal ini adalah peperangan, kerusakan, revolusi, bencana alam (banjir, gempa bumi, badai, gunung meletus, tanah longsor, wabah penyakit dan angin topan), pemogokan, kebakaran dan gangguan industri lainnya, serta keadaan lainnya sesuai dengan Peraturan Perundangan yang berlaku.
- (3) Keterangan tentang kebenaran adanya keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) Pasal ini harus dibuat oleh instansi/pejabat yang berwenang.
- (4) Apabila terjadi keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) Pasal ini, maka PIHAK KEDUA wajib memberikan laporan tertulis kepada PIHAK PERTAMA paling lambat 14 (empat belas) hari kalender setelah terjadinya keadaan kahar tersebut, untuk kemudian ditindaklanjuti oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 12

SANKSI

- (1) Apabila batas waktu habisnya masa Penelitian ini PIHAK KEDUA belum juga menyerahkan hasil pekerjaan seluruhnya kepada PIHAK PERTAMA, maka PIHAK KEDUA dikenakan denda sebesar 1/1000 (satu permil) setiap hari keterlambatan terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan sampai setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai surat perjanjian pelaksanaan penelitian;
- (2) Bagi pelaksana penelitian yang tidak menyerahkan laporan hasil penelitian dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka sisa biaya yang bersangkutan, yang belum sempat dicairkan dinyatakan hangus dan dikembalikan ke kas Negara;
- (3) Dalam hal PIHAK KEDUA tidak dapat memenuhi Perjanjian Pelaksanaan Penelitian ini hingga tanggal **30 Desember 2010**, maka PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan kembali ke Kas Negara.

- (4) Apabila waktu penelitian seperti tersebut pada Pasal 4 tidak dapat dipenuhi, maka untuk selanjutnya PIHAK PERTAMA akan mempertimbangkan usul-usul penelitian berikutnya yang berasal dari PIHAK KEDUA;
- (5) Apabila di kemudian hari terbukti bahwa judul penelitian sebagaimana tersebut pada pasal 1 terdapat duplikasi, maka penelitian tersebut dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetor kembali ke Kas Negara.

Pasal 13

PERUBAHAN ISI PERJANJIAN

Perubahan isi Perjanjian Kerjasama ini dapat dilakukan sesuai kesepakatan kedua belah pihak, yang akan dituangkan dalam suatu Amandemen, yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Perjanjian Kerjasama ini.

Pasal 14

PENUTUP

- (1) Surat Perjanjian Kerjasama ini dibuat rangkap 3 (tiga), 2 (dua) rangkap dibubuhi meterai Rp. 6.000,- (enam ribu rupiah) yang biaya meterainya dibebankan kepada PIHAK KEDUA;
- (2) Hal yang belum diatur dalam Perjanjian Kerjasama ini, akan diatur kemudian oleh kedua belah pihak secara musyawarah.

PIHAK PERTAMA

Lembaga Penelitian UNRAM



PIHAK KEDUA

Ketua Pelaksana Penelitian,

Ngudiyono, ST.MT
NIP. 19740505 199903 1 003

TEKNOLOGI

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



**METODE PERBAIKAN KAPASITAS GESER DAN DAKTILITAS
JOINTS BALOK KOLOM (*BEAM COLUMN JOINTS*)
TAHAN GEMPA DENGAN BETON FIBER BENDRAT**

Oleh

**Ngudiyono
Fatmah Mahmud**

Dibiayai dengan Dana DIPA Universitas Mataram Tahun Anggaran 2010
Nomor : 0164/023/04.2/XXI/2010, Tanggal 31 Desember 2009

**UNIVERSITAS MATARAM
DESEMBER, 2010**

PERPUSTAKAAN
Masuk Tgl : 21 06 2011
No. Induk : 196611/2011
No. Gc/Kias : _____

TEKNOLOGI

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



METODE PERBAIKAN KAPASITAS GESER DAN DAKTILITAS JOINTS BALOK KOLOM (*BEAM COLUMN JOINTS*) TAHAN GEMPA DENGAN BETON FIBER BENDRAT

Oleh

Ngudiyono
Fatmah Mahmud



Dibiayai dengan Dana DIPA Universitas Mataram Tahun Anggaran 2010
Nomor: 0164/023/04.2/XXI/2010, Tanggal 31 Desember 2009

UNIVERSITAS MATARAM
DESEMBER, 2010

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR TAHUNII

1. Judul Penelitian : Metode Perbaikan Kapasitas Geser dan Daktilitas Joints Balok Kolom (*Beam Column Joints*) Tahan Gempa dengan Beton Fiber Bendrat
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Ngudiyono, ST., MT.
 - b. Jenis Kelamin : L
 - c. NIP : 197405051999031003
 - d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - e. Jabatan Struktural : -
 - f. Bidang Keahlian : Teknik Sipil (Struktur)
 - g. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Sipil
 - h. Perguruan Tinggi : Universitas Mataram
 - i. Tim Peneliti

No	Nama & Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas /Jurusan	Perguruan Tinggi
1	Fathmah Mahmud, ST., MT	Teknik Sipil	Teknik /TeknikSipil	UNRAM

3. Pendanaan dan Jangka Waktu Penelitian:
- a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 tahun
 - b. Biaya total yang diusulkan : Rp 89.590.000,-
 - c. Biaya yang disetujui tahun II : Rp 43.000.000,-

Mataram, 10 Desember 2010

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



(Fathurahman, ST., MT.)
NIP. 196612311994031018

Ketua Peneliti

(Ngudiyono, ST., MT.)
NIP. 197405051999031003

Menyetujui
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Mataram



(Dr. Ir. Hirwan Hamidi, M.Si.)
NIP. 19610524 987031002

RINGKASAN

METODE PERBAIKAN KAPASITAS GESER DAN DAKTILITAS JOINTS BALOK KOLOM (*BEAM COLUMN JOINTS*) TAHAN GEMPA DENGAN BETON FIBER BENDRAT*

Oleh : Ngudiyono**), Fathmah Mahmud**

Tahun/Jumlah halaman : 2010/33

Pada bangunan bertingkat dari beton bertulang, joints balok kolom merupakan bagian yang kritis. Ketika gempa berlangsung bagian ini akan menerima gaya geser yang sangat besar. Oleh karena itu joints balok kolom harus direncanakan dan dibuat lebih kuat serta berperilaku daktail daripada daerah yang lain. Agar tujuan tersebut tercapai ACI (1999), SNI (2002) menyarankan agar pada daerah tersebut diperkuat dengan tulangan pengekang yang cukup dan detail yang cermat. Peraturan ini sulit diaplikasikan di lapangan, terutama untuk daerah yang memiliki tenaga kerja terampil terbatas. Salah satu cara untuk merubah joints balok kolom berperilaku daktail dan mudah pelaksanaan di lapangan adalah dengan menambahkan fiber bendrat pada campuran beton.

Penelitian ini merupakan penelitian ekperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Mataram. Fiber bendrat ditambahkan pada campuran beton dengan prosentase volume fiber (V_f) sebesar 1.0%. Selanjutnya dibuat benda uji berbentuk silinder berukuran 150 x 300 mm untuk uji kuat tekan (f'_c) dan kuat tarik (f_t). Kemudian dibuat benda uji joint balok kolom normal (tanpa fiber bendrat) dengan jarak sengkang 150 mm (JBN15), joint balok kolom beton fiber bendrat dengan variasi jarak sengkang 150 mm (JBF15), 200 mm (JBF20) dan tanpa sengkang (JBF0). Selanjutnya benda uji joint balok kolom diberikan beban gempa statik dan siklik. Dari analisa data pengujian dapat diketahui kemampuan menahan kapasitas geser joints balok kolom dan kemampuannya dalam menyerap atau mendisipasikan energi serta pola retak yang terjadi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fiber bendrat sebesar 1% dari volume beton pada joint balok kolom mampu meningkatkan kapasitas geser joint balok kolom sebesar 7,69% untuk benda uji JBF15 dan 11,54% untuk benda uji JBF20.

¹ Dibiayai dengan Dana DIPA Universitas Mataram Tahun Anggaran 2010
Nomor : 0164/023/04.2/XXI/2010, Tanggal 31 Desember 2009

^{**} Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mataram

Walaupun sengkang utama dihilangkan, benda uji JBF0 masih mampu menahan geser sebesar kemampuan JBN15. Selain itu penambahan fiber bendrat sebesar 1% dari volume beton juga mampu meningkatkan daktilitas dan *Dissipation Energy*, serta merubah dan memperlambat pola retak ke arah kolom.

SUMMARY
IMPROVEMENT METHOD OF SHEAR CAPACITY AND DUCTILITY BEAM
COLUMN JOINTS EARTHQUAKE RESISTANCE WITH BENDRAT FIBER
CONCRETE^{*)}

By : Ngudiyono^{)}, Fathmah Mahmud^{**}**

Year/Page : 2009/33

In the multistory building of reinforced concrete, beam column joints are a critical region. When the earthquake took place this region will receive, a shear force is very large. Therefore, the beam column joints must planned and made more strong and ductile behavior than other regions. To have achieved that goal ACI (1999), SNI (2002) suggested that the area must strengthening with enough closed ties and high detailing. Regulation applied field is difficult, especially for areas with limited skilled labor. One way to change the beam column joints behavior ductile and easy implementation in the field is to add bendrat fiber to the concrete mixture.

This research is an experimental research to conduct in Materials and Structures Laboratory Faculty of Engineering, University of Mataram. Bendrat fiber added to the concrete mix with a percentage fiber volume (vf) 1.0%. Further, specimens was made cylindrical shape with size 150 x 300 mm for compressive strength test (f_c) and tensile strength (f_t). Then made the beam column joint specimens without fiber bendrat (plain concrete) with spacing stirrup 150 mm (JBN15), beam column joint bendrat fiber concrete with stirrup spacing variation 150 mm (JBF15), 200 mm (JBF20) and without stirrup (JBF0). The beam column joint specimens were given an earthquake of static and cyclic loads. From the analysis of testing data can be known ability to withstand shear capacity beam column joints and its ability to absorb or dissipation energy and fracture patterns.

The result showed that the addition of fiber bendrat 1% of the volume of concrete at the beam column joint can improve the shear capacity of beam column joint at 7.69% for specimens JBF15 and 11.54% for specimen JBF20. Although the main stirrup removed, specimens were still able to withstand shear JBF0 of ability JBN15. Besides the addition of fiber bendrat 1% of the volume of concrete is also able to

⁾ Sponsored with DIPA Fund Mataram University Budget Year 2010
Number : 0164/023/04.2/XXI/2010, date 31st December 2009

^{**)} Academic staff Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mataram

increase ductility and dissipation energy, and to change and slow the crack pattern in the direction column.

PRAKATA

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT (Tuhan Yang Maha Esa) karena berkat Rahmat-Nyalah penulisan laporan penelitian hibah bersaing ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Penelitian hibah bersaing ini berjudul **Metode Perbaikan Kapasitas Geser Dan Daktilitas Joints Balok Kolom (*Beam Column Joints*) Tahan Gempa Dengan Beton Fiber Bendrat**.

Tujuan utama dari penelitian hibah bersaing tahap II ini adalah untuk mengetahui peningkatan kapasitas geser, daktilitas prototipe joints balok kolom terhadap beban gempa statik dan siklik. Selain itu juga untuk mengetahui kemampuan joints balok kolom menyerap atau mendisipasikan energi dan pola retak yang terjadi.

Disadari penulisan laporan ini jauh dari sempurna, oleh karena itu segala kritik yang membangun untuk perbaikan sangat diharapkan. Semoga laporan penelitian dapat bermanfaat bagi pembaca yang berminat dalam bidang ini. Tak lupa terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi melalui Direktur Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, DP3M atas bantuan dana yang telah diberikan untuk melaksanakan kegiatan penelitian ini.

Mataram 10 Desember 2010

Ketua Peneliti,

Ngudiyono, ST., MT.

DAFTAR ISI

	Halaman :
HALAMAN PENGESAHAN.....	
RINGKASAN.....	ii
SUMMARY.....	iv
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN.....	
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Joint Balok-Kolon.....	3
2.2 Beton Fiber Bendrat.....	3
2.3 Kuat Tekan Beton.....	4
2.4 Kuat Tarik Belah Beton.....	5
2.5 Kapasitas Joints Balok Kolom.....	6
2.6. Daktilitas.....	9
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	11
3.1 Tujuan Penelitian.....	11
3.2 Manfaat Penelitian.....	11
BAB IV. METODE PENELITIAN.....	12
4.1 Lokasi Penelitian.....	12
4.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	12
4.3 Pemeriksaan Bahan Susun Beton.....	13
4.4 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	15
4.5 Perencanaan Benda Uji.....	15
4.6 Pembuatan Benda Uji.....	16
4.7 Perawatan Benda Uji.....	17
4.8 Pengujian Benda Uji.....	17

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
5.1 Hasil Pengujian Bahan.....	23
5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan. 	24
5.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik	25
5.4 Hasil Pengujian Joints Balok Kolom	26
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	31
6.1 Kesimpulan 	31
6.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

		Halaman:
Tabel 4.1	Rencana Benda Uji Joint Balok Kolom	15
Tabel 5.1	Nilai Daktilitas dan Dissipitasi Energi Joint Balok Kolom..	29

DAFTAR GAMBAR

		Halaman:
Gambar 2.1	Uji Kuat Tarik Belah.....	5
Gambar 2.2	Tipe Joint Balok Kolom.....	6
Gambar 2.3	Panjang Kaitan (<i>Hook</i>) dalam Joint Balok Kolom .	7
Gambar 2.4	Mekanisme Tahanan Geser pada Joint Balok Kolom .	8
Gambar 2.5	Idealisasi Kurva Kapasitas (ATC, 2004) .	10
Gambar 4.1	Setting Up Alat Uji Kuat Tekan.....	18
Gambar 4.2	Setting Up Alat Pengujian Kuat Tarik Belah .	19
Gambar 4.3	Setting Up Pengujian Joint Balok Kolom .	20
Gambar 4.4	Riwayat Pembebanan Gempa Siklik .	20
Gambar 5.1	Grafik Gradasi Pasir Rencana .	22
Gambar 5.2	Grafik Gradasi Kerikil Reneana .	23
Gambar 5.3	Grafik Campuran Pasir dan Kerikil .	24
Gambar 5.4	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (f_c) ..	25
Gambar 5.5	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton (f_t) .	25
Gambar 5.6	Grafik Hasil Pengujian Beban Statik Joint Balok Kolom	26
Gambar 5.7	Grafik Hysteresis Loop Pengujian Beban Siklik Joint Balok Kolom .	28
Gambar 5.8	Pola Retak Joint Balok Kolom .	30

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman:
Lampiran 1 Hasil Pengujian Agregat Kasar dan Halus	34
Lampiran 2 Perhitungan Perancangan Adukan Beton (Mix Design).....	44
Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik	47
Lampiran 4 Hasil Pengujian Joint Balok Kolom	48
Lampiran 5 Foto-foto Pelaksanaan Penelitian	58
Lampiran 6 Riwayat Hidup Peneliti.....	60
Lampiran 7 Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian.....	63

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bangunan bertingkat dari beton bertulang, jointts balok kolom merupakan bagian yang kritis. Ketika gempa berlangsung bagian ini akan menerima gaya geser yang sangat besar. Kekuatan jointts balok-kolom sangat cepat menurun jika bekerja beban gempa dan jika daerah tersebut mengalami kerusakan maka secara keseluruhan bangunan tersebut akan runtuh, selain itu kerusakan pada bagian tersebut juga sulit diperbaiki. Oleh karena itu jointts balok kolom harus direncanakan dan dibuat lebih kuat serta berperilaku daktail daripada daerah yang lain. Peraturan-peraturan di luar negeri (misal ACI 318 M, 1999) maupun peraturan di Indonesia (SNI 03-1726, 2002) telah mengatur desain joints balok kolom secara khusus. Di dalam peraturan tersebut disebutkan bahwa untuk menjamin jointts balok-kolom berperilaku daktail maka pada daerah tersebut harus diperkuat dengan tulangan pengekang yang cukup dan detail yang cermat. Peraturan ini sulit diaplikasikan di lapangan, terutama untuk daerah yang memiliki tenaga kerja terampil terbatas. Beberapa kejadian gempa di Indonesia menunjukkan bahwa struktur gedung bertingkat dari beton bertulang yang runtuh akibat gempa, karena jointts balok kolom tidak bekerja sesuai dengan harapan (berperilaku daktail), hal ini juga membuktikan bahwa peraturan yang ada belum sepenuhnya diaplikasikan di lapangan. Salah satu cara untuk merubah jointts balok kolom berperilaku daktail dan mudah pelaksanaan di lapangan adalah dengan menambahkan fiber pada campuran beton. Pemakaian fiber sebagai bahan tambah pada campuran beton terutama pada jointts balok kolom telah dilakukan oleh Filiatrault dkk., 1994; Filiatrault dkk., 1995; Gencoglu dan Eren, 2002, hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan beton fiber baja (*steel fiber*) mampu meningkatkan kapasitas geser, momen lentur, disipasi energi lebih baik dan daktilitas jointts balok kolom meningkat daripada jointts balok kolom konvensional (tanpa fiber).

Di Indonesia konsep pemakaian fiber baja (*steel fiber*) pada adukan beton untuk struktur bangunan sipil belum banyak dan belum dipakai dalam praktek. Salah satu sebabnya adalah tidak tersedianya fiber baja di Indonesia dan harganya yang mahal. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dicari alternatif bahan

lokal yang mudah di dapat di Indonesia dan harganya murah, salah satunya adalah kawat bendrat. Kawat bendrat adalah kawat yang selama ini banyak digunakan sebagai pengikat tulangan besi memanjang dan tulangan geser (sengkang). Jika kawat tersebut dipotong-potong dengan ukuran panjang 60 mm dan diameter 1 mm akan berbentuk seperti fiber yang kemudian disebut sebagai fiber bendrat. Penelitian tentang beton fiber dengan memanfaatkan kawat bendrat telah dilakukan oleh Suhendro, 1991; Wahyono, 1996; Wahyono dan Wiryawan, 2000. Dari penelitian tersebut telah dibuktikan bahwa penggunaan fiber bendrat mampu memperbaiki sifat-sifat mekanik pada beton (kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur daktilitas, ketahanan terhadap kejut dan abrasi).

Selanjutnya Ngudiyono dan Mahmud, 2006; Ngudiyono dan Eniarti, 2007, telah juga telah memanfaatkan fiber bendrat untuk memperbaiki kuat geser dan tegangan geser beton, hasil penelitian menunjukkan fiber bendrat mampu meningkatkan kuat geser dan tegangan geser beton secara signifikan serta mampu merubah pola keruntuhan dari getas menjadi daktil. Hasil penelitian yang juga dilakukan oleh Ngudiyono dan Mahmud, 2009 juga telah membuktikan bahwa penambahan fiber bendrat pada campuran pada prosentase volume fiber 0,5%, 1%, 1,5%, 2% mampu meningkatkan kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik dan tegangan geser interface). Akan tetapi penambahan volume fiber lebih dari 2% justru akan menurunkan kekuatannya. Volume fiber optimum tercapai pada prosentase 1%. Selain itu juga dihasilkan beberapa rumus empiris beton fiber bendrat.

BAB II. STUDI PUSTAKA

2.1 Joint Balok Kolom

Titik pertemuan balok dan kolom dalam portal gedung bertingkat adalah jointts balok kolom, yang berfungsi mentransfer gaya-gaya pada ujung balok ke dalam kolom (MacGregor, 1997). Jointts balok kolom harus direncanakan sedemikian sehingga cukup kuat dan mampu menahan gaya geser (horizontal dan gaya vertical terfaktor sebagai akibat dari terbentuknya sendi plastis pada ujung balok, ketika gaya gempa bekerja (ACI 318, 1999; SNI 03-1726, 2002). Kerusakan pada jointts balok kolom pada saat dilanda gempa, dapat menyebabkan keruntuhan total bangunan, sehingga jointts harus direncanakan dengan cermat, benar dan cukup kuat untuk menahan beban siklis gempa. ACI dan SNI menyarankan pada daerah tersebut harus diperkuat dengan tulangan pengekrang (tulangan sengkang tertutup) yang cukup dan detail yang cermat.

Karayanis dkk, 2005, memperbaiki kapasitas jointts balok kolom menahan gempa dengan menggunakan pemasangan tulangan spiral pada kolom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mampu meningkatkan kapasitas menahan gempa, penyerapan energi dan daktilitas jointts balok kolom secara signifikan. Hasil ini masih sulit diaplikasikan di lapangan karena masih memerlukan tenaga kerja yang terampil. Untuk mengatasi masalah tersebut selanjutnya Filiatrault dkk., 1994; Filiatrault dkk., 1995; Gencoglu dan Eren, 2002, menggantikan tulangan baja dengan fiber baja (*steel fiber*) pada jointts balok kolom, hasil penelitian menunjukkan bahwa beton fiber baja mampu meningkatkan kapasitas geser, momen lentur, disipasi energi lebih baik dan daktilitas jointts balok kolom meningkat daripada jointts balok kolom konvensional (tanpa fiber).

2.2 Beton Fiber Bendrat

Di Indonesia konsep pemakaian fiber baja (*steel fiber*) pada adukan beton untuk struktur bangunan sipil belum banyak dan belum dipakai dalam praktek. Salah satu sebabnya adalah tidak tersedianya fiber baja di Indonesia dan harganya yang mahal. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dicari alternatif bahan lokal yang mudah di dapat di Indonesia dan harganya murah, salah satunya adalah

kawat bendrat. Penelitian tentang beton fiber dengan memanfaatkan kawat bendrat telah dilakukan oleh Suhendro, 1991; Wahyono, 1996; Wahyono dan Wiryawan, 2000. Dari penelitian tersebut telah dibuktikan bahwa penggunaan fiber bendrat mampu memperbaiki sifat-sifat mekanik pada beton (kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur daktilitas, ketahanan terhadap kejut dan abrasi).

Selanjutnya Ngudiyono dan Mahmud, 2006; Ngudiyono dan Eniarti, 2007, telah juga telah memanfaatkan fiber bendrat untuk memperbaiki kuat geser dan tegangan geser beton, hasil penelitian menunjukkan fiber bendrat mampu meningkatkan kuat geser dan tegangan geser beton secara signifikan serta mampu merubah pola keruntuhan dari getas menjadi daktil. Hasil penelitian yang juga dilakukan oleh Ngudiyono dan Mahmud, 2009 juga telah membuktikan bahwa penambahan fiber bendrat pada campuran pada prosentase volume fiber 0,5%, 1%, 1,5%, 2% mampu meningkatkan kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik dan tegangan geser interface). Akan tetapi penambahan volume fiber lebih dari 2% justru akan menurunkan kekuatannya. Volume fiber optimum tercapai pada prosentase 1%. Selain itu juga dihasilkan beberapa rumus empiris beton fiber bendrat.

2.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan sifat utama yang umumnya harus dimiliki beton, sebab beton yang tidak cukup kekuatannya menurut tujuan konstruksi tertentu menjadi tidak berguna. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat dan berbagai jenis campuran.

Kuat tekan beton dinotasikan dengan $f'c$, yaitu tegangan tekan maksimum yang didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu pada benda uji siliinder beton sampai runtuh (Dipohusodo, 1994). Tegangan tekan maksimum $f'c$ dihitung dengan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

dengan :

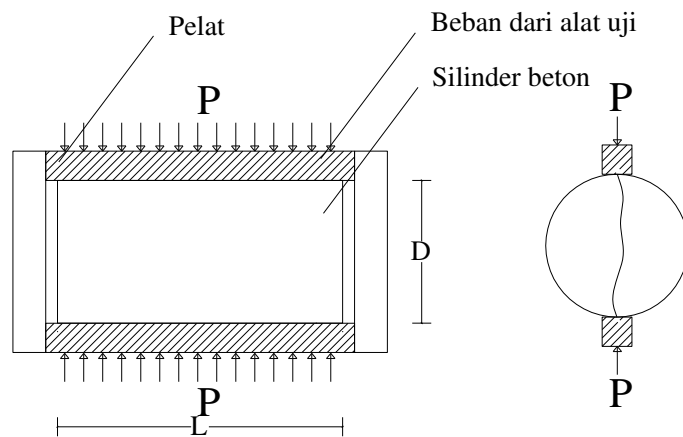
$f'c$ = Kuat tekan (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas bidang tekan (mm^2)

2.4. Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton dapat ditentukan melalui pengujian *split cylinder*. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0,5 sampai 0,6 kali $\sqrt{f'c}$, sehingga untuk beton normal digunakan $0,57\sqrt{f'c}$. Pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton yang berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, yang diletakkan pada arah memanjang diatas alat penguji, kemudian beban tekan P diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh tinggi silinder. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah tersebut sebagai *split cylinder strenght* dan persamaannya sebagai berikut :



Gambar 2.1 Sketsa Gambar Kuat Tarik Belah

$$f_t = \frac{2P}{\pi L D} \quad (2.2)$$

Dimana :

f_t = Kuat tarik belah (Mpa)

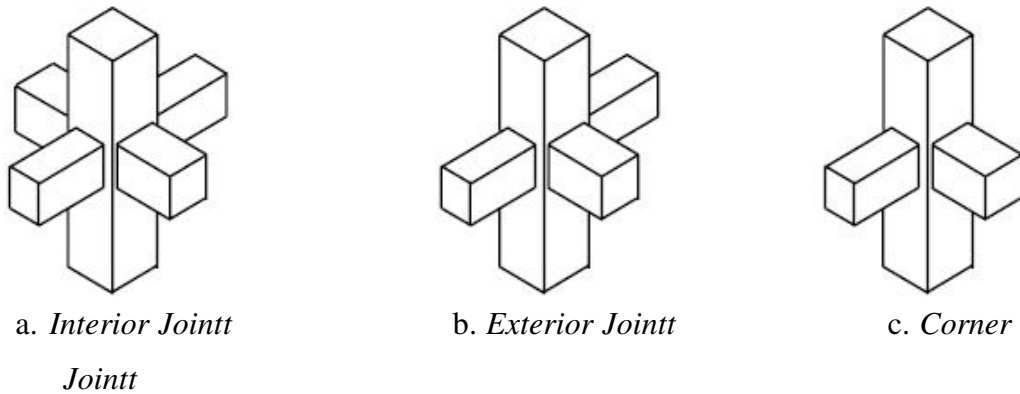
P = Beban maksimum yang diberikan (N)

L = Panjang benda uji silinder (mm)

D = Diameter benda uji silinder (mm)

2.4. Kapasitas Geser Joint Balok Kolom

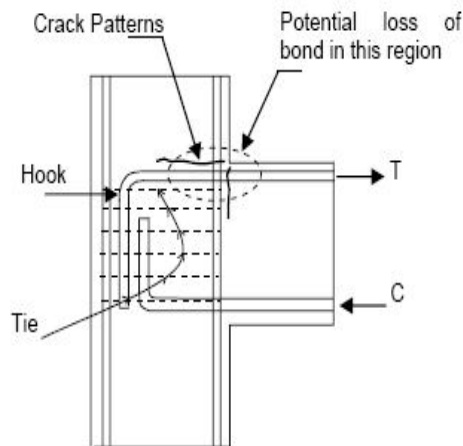
Yang dimaksud dengan joint balok kolom adalah bagian dari kolom yang masuk kedalam bagian tinggi balok yang membentuk rangka dengan kolom tersebut. Dalam sebuah portal terdapat tiga buah joint yaitu *interior jointt*, *exterior jointt*, dan *corner jointt* seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.3 Tipe Jointt Balok Kolom

Dalam jointt eksterior tulangan longitudinal dari balok berakhir di dalam inti joint yang bersangkutan. Setelah beberapa siklus pembebanan inelastis, degradasi lekatan ditandai dengan terjadinya *yield penetration* pada permukaan kolom dan retak-retak yang merambat menuju ke inti jointt. Beban siklik akan memperparah keadaan dan sebuah kehilangan lekatan yang kompleks mulai terjadi pada bagian tulangan yang dibengkokkan. Tulangan longitudinal yang dipotong lurus akan tertarik keluar dan akan mengalami kehilangan lekatan yang progresif. Keruntuhan akibat tertariknya tulangan balok menyebabkan kehilangan kekuatan lentur yang kompleks. Jenis keruntuhan ini tidak boleh terjadi pada setiap tingkat. Oleh karena itu, penjangkaran tulangan longitudinal balok yang tepat merupakan bagian yang terpenting.

Keruntuhan akibat terlepasnya tulangan ini dapat dicegah dengan penetapan panjang kaitan (*hooks*) atau dengan pemasangan sejumlah angker/jangkar. *Hooks* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 berfungsi untuk menyediakan kekuatan penjangkaran yang cukup. *Hooks* terdiri dari panjang lewatan horizontal yang cukup dan sebuah kait (bengkokan) pada ujungnya.

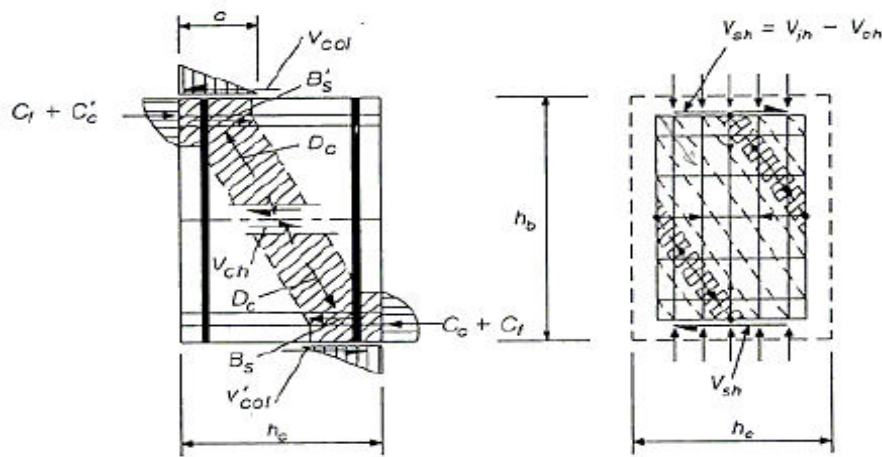


Gambar 2.4 Panjang Kaitan (*Hooks*) dalam Jointt Eksterior

Karena kemungkinan terjadinya *yield penetration* dalam inti jointt, panjang lewatan dipertimbangkan efektif dari daerah kritis melewati zone *yield penetration*. Oleh sebab itu, ukuran dari tiap-tiap bagian harus disesuaikan dengan mempertimbangkan panjang lekatan dan kemungkinan terjadinya *yield penetration*. Pada saat menerima beban tekan, kait pada bagian ujung *hooks* tidak banyak membantu dalam menyediakan kebutuhan panjang lewatan tekan. Namun, ikatan horizontal dalam bentuk tulangan transversal pada joint akan memberikan tumpuan yang lebih efektif daripada *hooks* ketika tulangan balok menerima beban tekan.

Kuat geser joint balok kolom sangat ditentukan oleh interaksi dua mekanisme seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Pertama, beban tekan lentur yang bekerja pada keempat komponen struktur yang berdekatan (Gambar 2.5 a) secara bersama-sama membentuk suatu strat diagonal sepanjang joint. Apabila sendi-sendi plastis dibatasi terjadinya pada balok-balok yang bersebelahan dan tegangan geser nominal joint tidak begitu besar, seperti yang biasa terjadi, maka tegangan-tegangan diagonal tekan pada inti joint menjadi tidak terlalu besar dan masih dapat ditahan. Fungsi mekanisme yang kedua, seperti tampak pada Gambar 2.5 b adalah untuk mengimbangi jumlah gaya lekat yang harus disalurkan oleh tulangan balok dan kolom kepada beton pada inti joint. Tampak disini bahwa setelah terjadi retak diagonal, maka *shear flow* di sekeliling penampang membentuk daerah-daerah tekan diagonal. Strat- strat diagonal seperti tampak

pada Gambar 2.8 b akan segera memikul tegangan– tegangan tekan apabila gaya – gaya kekang vertikal dan horisontal pada tepi–tepi inti joint dapat dijamin bekerja. Untuk itu diperlukan tulangan geser horisontal guna menjamin adanya gaya kekang horisontal pada tepi joint. Sementara gaya kekang vertikal pada joint dijamin oleh adanya gaya tekan kolom. Pada joint tidak ada gaya tekan kolom yang berarti yang memerlukan tulangan geser vertikal. Kegagalan terjadinya mekanisme kedua akibat keruntuhan lekatan tulangan utama dapat mengakibatkan hanya berfungsinya mekanisme pertama. Ini berarti akan menjadi kendur (*slack*).



(a) Strat Diagonal

(b) Medan Kompres Diagonal

Gambar 2.5 Mekanisme Tahanan Geser pada Joint Balok Kolom

Pada balok beton beton gaya geser yang bekerja pada balok akan ditahan oleh kekuatan geser dari beton (V_c) itu sendiri, yang merupakan sumbangan gaya dari bagian tekan beton (V_{cc}), interlocking antar agregat (V_{aa}) dan dowel action (V_d) tulangan memanjang. Kuat geser menurut SNI dapat dihitung dengan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b d \quad (2.3)$$

Untuk kuat geser untuk balok beton fiber bendrat dapat dihitung dengan rumus yang diusulkan oleh Ngudiyono & Mahmud (2009) sebagai berikut :

$$V_{cf} = \tau b d = (-0,1313V_f^2 + 0,3646V_f + 0,8973) \sqrt{f'c} b d \quad (2.4)$$

Sedangkan kuat geser jointts balok kolom menurut SNI (2002) hanya dipengaruhi oleh kuat tekan beton (f'_c) dan luasan inti joint (A_j) dan dapat dihitung dengan rumus :

$$V_j = 1,0A_j\sqrt{f'_c} \quad (2.5)$$

Untuk kuat geser joints balok kolom fiber bendrat dapat dihitung dengan rumus yang diusulkan oleh Ngudiyono & Mahmud (2009) sebagai berikut :

$$V_{jf} = 1,0A_j\sqrt{(-1,929V_f^2 + 4,619V_f + 30,645)} \quad (2.6)$$

2.5. Daktilitas

Daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Daktilitas struktur gedung (μ) adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan (δ_u) dengan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama (δ_y). Nilai simpangan di atas dapat ditentukan berdasarkan kurva kapasitas usulan ATC 2004, seperti pada Gambar 2.7 dan daktilitas yang tersedia pada struktur dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

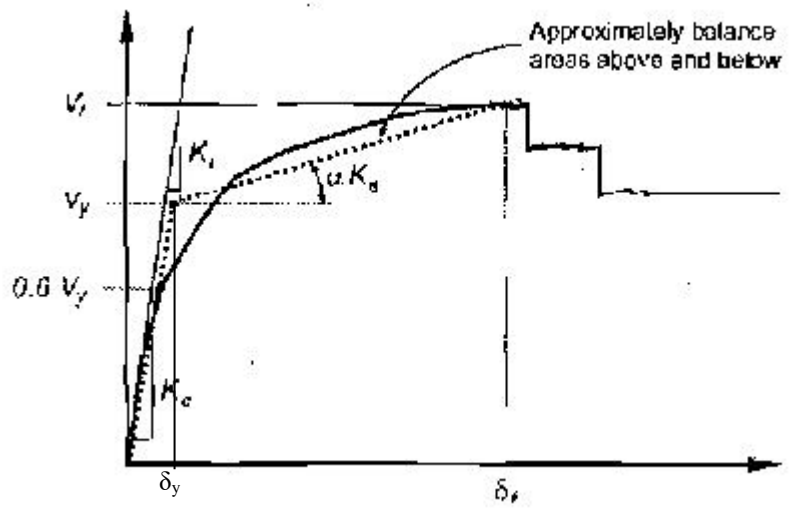
$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (2.7)$$

dengan :

μ = daktilitas struktur

δ_u = defleksi struktur saat beban mencapai maksimum (mm)

δ_y = defleksi struktur saat leleh (mm)



Gambar 2.6 Idealisasi Kurva Kapasitas (ATC, 2004)

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan tahap II dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui peningkatan kapasitas geser, daktilitas prototipe joints balok kolom terhadap beban gempa statik dan siklik.
2. Untuk mengetahui kemampuan joints balok kolom menyerap atau mendisipasikan energi dan pola retak serta pola keruntuhan yang terjadi.

3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif pilihan bahan lokal yang dapat digunakan untuk membuat struktur beton tahan gempa.
2. Meningkatkan nilai ekonomi dan manfaat fiber lokal dalam hal ini kawat bendrat yang selama ini hanya digunakan sebagai bahan tali dalam pembuatan atau perakitan tulangan besi beton

BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram dengan metode eksperimen.

4.2 Bahan dan Alat Penelitian

4.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Semen, semen yang digunakan Semen Portland tipe 1 merk Tiga Roda
2. Agregat kasar, yaitu batu pecah diameter maksimum 20 mm.
3. Agregat halus, yaitu pasir sungai.
4. Air bersih.
5. Papan dan kayu begisting.
6. Besi tulangan Ø 8 untuk sengkang dan Ø 10 untuk tulangan pokok pada kolom dan balok.
7. Kawat ikat tulangan (kawat bendrat).
8. Fiber bendrat, yaitu menggunakan kawat bendrat bergeometri lurus (*straight*) diameter ± 1 mm yang dipotong-potong sepanjang 60 mm.

4.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Timbangan, untuk mengukur berat bahan dan benda uji.
2. Gelas ukur, untuk menakar air.
3. Ember, untuk mengangkut air dan hasil pengecoran.
4. Piknometer, untuk menguji berat jenis pasir.
5. Kerucut abrams, untuk menguji nilai *slump*.
6. Oven, untuk mengeringkan material uji.
7. Cetakan silinder ukuran 150 mm x 300 mm.
8. Molen, untuk mencampur adukan beton.
9. Selang, untuk mengalirkan air.
10. Artco, untuk mengangkut material.
11. Sekop, untuk mengaduk dan menyekop material.

12. Mistar dan jangka sorong, untuk mengukur nilai *slump* dan dimensi benda uji.
13. Bak air, untuk merendam benda uji selama perawatan.
14. Karung goni, untuk menyelimuti benda uji joint balok kolom pada saat perawatan.
15. Tongkat penumbuk, untuk memadatkan benda uji pada saat pengecoran.
16. Vibrator, untuk memadatkan benda uji joint balok kolom pada saat pengecoran.
17. *Compression testing machine*, untuk kuat uji tekan dan kuat tarik belah beton.
18. *Hidraulic jack*, untuk uji kapasitas geser joint balok kolom.
19. *Universal testing machine*, untuk uji kuat tarik baja.
20. Dan alat – alat bantu lainnya.

4.3 Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui spesifikasi bahan yang akan digunakan sebagai bahan penyusun beton. Adapun bahan–bahan tersebut, yaitu :

1. Air

Air yang digunakan adalah air bersih dari jaringan air Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Mataram akan tetapi tidak dilakukan pengujian terhadap air, karena secara visual air tersebut cukup bersih untuk digunakan sebagai material penyusun beton.

2. Semen Portland

Pemeriksaan laboratorium terhadap semen tidak lagi dilakukan karena dianggap telah memenuhi Standar Uji Bahan bangunan 1986, yaitu SH 0013-81. Pemeriksaan yang dilakukan hanya terhadap kantong kemasan dan kehalusan butiran semen secara visual dan semen yang akan digunakan tidak menggumpal. Semen sebagai bahan pengikat adukan semen Portland tipe 1 merk Tiga Roda dengan kemasan kantong 50 kg. Semen yang dipilih dalam keadaan tertutup rapat dan kemasannya tidak rusak, bahan butirnya halus dan tidak terjadi penggumpalan yang diamati secara visual.

3. Agregat

Pemeriksaan agregat ini meliputi sifat-sifat fisis dan kandungan bahan organik. Adapun pemeriksaan agregat tersebut, yaitu :

- a. Pemeriksaan agregat kasar
 1. Pengukuran berat satuan agregat kasar.
 2. Pemeriksaan berat jenis agregat kasar.
 3. Analisis gradasi agregat kasar.
 4. Analisa ketahanan aus kerikil.
- b. Pemeriksaan agregat halus
 1. Pengukuran berat satuan agregat halus.
 2. Pemeriksaan berat jenis agregat halus.
 3. Analisis gradasi agregat halus.
 4. Pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir (cara ayakan nomor 200).

4. Baja tulangan

Pemeriksaan spesifikasi baja tulangan yang akan digunakan sebagai tulangan joint balok kolom meliputi pemeriksaan terhadap kondisi permukaan tulangan besi beton dan pengujian tarik. Pemeriksaan terhadap kondisi permukaan tulangan besi beton cukup dilakukan dengan melihat kebersihan permukaan tulangan, apabila terdapat karat maka akan dibersihkan dengan menggunakan amplas besi sehingga permukaan besi beton bebas dari karat. Sebelum baja digunakan diadakan uji tarik untuk masing-masing diameter nominal sebanyak 3 buah benda uji dengan panjang 30 cm, untuk mengetahui nilai tegangan leleh, regangan leleh dan modulus elastisitas baja hasil uji tarik yang akan digunakan dalam analisis beban teoritis.

Uji kuat tarik tulangan baja pada benda uji menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) yang bekerja secara otomatis dengan tenaga listrik. *Universal Testing Machine* ini dilengkapi dengan *load cell* dan *extensiometer* yang dihubungkan dengan komputer yang mencatat perkembangan beban dan lendutan. Selanjutnya data yang diperoleh ditampilkan pada monitor berupa diagram tegangan-regangan.

5. Fiber bendrat

Pemeriksaan fiber bendrat meliputi pemeriksaan kawat bendrat yang akan diujikan apakah dalam kondisi baik seperti tidak berkarat, sehingga pengujian nantinya dapat diperoleh hasil yang baik.

4.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan perbandingan campuran beton normal menggunakan metode DOE (*Departement Of Environment*) yang dimuat dalam buku standar No. SK SNI T-15-1990-03 dengan nilai kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari adalah sebesar 20 Mpa, maka diperoleh nilai faktor air semen (fas) sebesar 0,48 dan kebutuhan bahan berdasarkan *mix design* untuk 1 m³ beton (berat beton 2350 kg) sebesar : 225 ltr air : 468,75 kg semen : 645,94 kg Pasir : 1010,31 kg kerikil.

Untuk beton fiber bendrat di tambahkan kawat bendrat bergeometri lurus (*straight*), dengan diameter \pm 1,0 mm dan panjang 60 mm sesuai dengan prosentase sebesar 1% atau 66,8 kg.

4.5 Perencanaan Benda Uji

Dalam penelitian ini akan dibuat benda uji silinder beton untuk pengujian kuat tekan dan joint balok kolom beton untuk uji kapasitas geser dan daktilitas joint balok kolom. Benda uji silinder beton yang akan dibuat dikelompokkan menjadi 2 jenis dengan jumlah masing–masing 3 benda uji, yaitu silinder beton tanpa bahan tambah fiber lokal (BN) dan silinder beton dengan bahan tambah fiber lokal (BF). Benda uji joints balok kolom dibuat sebanyak 4 variasi dengan jumlah masing-masing variasi 2 benda uji, kode dan detail benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Rencana benda uji joints balok kolom

Kode	Ukuran Kolom (cm)	Ukuran Balok (cm)	Ø Tul. Pokok		Ø tul. Sengkang di joint		Jumlah
			Kolom	Balok	Kolom	Balok	
JBN15	20 x 20	20 x 30	8Ø10	6Ø10	Ø8-150	Ø8-150	2
JBF15	20 x 20	20 x 30	8Ø10	6Ø10	Ø8-150	Ø8-250	2
JBF20	20 x 20	20 x 30	8Ø10	6Ø10	Ø8-200	Ø8-200	2
JBF0	20 x 20	20 x 30	8Ø10	6Ø10	-	-	2

Keterangan :

JBN15 = Joints Balok Kolom tanpa fiber bendrat dengan sengkang jarak 150 mm

JBF15 = Joints Balok Kolom fiber bendrat dengan sengkang jarak 150 mm

JBF20 = Joints Balok Kolom fiber bendrat dengan sengkang jarak 200 mm

JBF0 = Joints Balok Kolom fiber bendrat tanpa sengkang

4.6 Pembuatan Benda Uji

Adapun langkah-langkah dalam pembuatan benda uji yaitu :

- a. Benda uji silinder beton
 1. Membuat fiber bendrat geometri lurus (*straight*) dengan diameter ± 1 mm dan panjang 60 mm.
 2. Pengadaan material pasir, kerikil dan semen.
 3. Mempersiapkan cetakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
 4. Menyiapkan dan menimbang bahan yang digunakan dengan proporsi yang telah ditentukan sesuai dengan hasil perhitungan perencanaan campuran (*mix design*).
 5. Untuk pencampuran fiber dilakukan dengan cara fiber ditaburkan secara merata kedalam alat molen yang didalamnya telah terlebih dahulu, secara bertahap, dicampurkan adukan beton biasa. Penaburan fiber bendrat dilakukan dengan tangan dan secara hati-hati, sedemikian sehingga setiap fiber bendrat dapat masuk kedalam adukan secara merata. Dengan demikian diharapkan tidak terjadi penggumpalan fiber bendrat.
 6. Bahan yang telah dicampurkan kemudian dimasukkan kedalam cetakan sesuai dengan cetakan benda uji yang akan dibuat dan ditusuk-tusuk dengan tongkat sebanyak 27 kali untuk memadatkan dan meratakan benda uji.
 7. Setelah beton berumur satu hari, cetakan dibuka dan beton direndam selama 28 hari terhitung saat beton selesai dicetak.
- b. Benda uji joint balok kolom
 1. Sebelumnya dilakukan perakitan tulangan joint balok kolom dan pembuatan begisting joint balok kolom.
 2. Setelah tulangan selesai dirakit dan cetakan/begisting join balok kolom dibuat, bahan kemudian dicampurkan/diaduk dengan molen dan setelah itu

dimasukkan kedalam cetakan sesuai dengan bentuk cetakan/begisting dan dipadatkan/diratakan dengan mesin penggetar atau tongkat pemadat agar campuran beton menjadi rata/padat.

3. Setelah beton berumur 1 hari, cetakan/begisting dibuka dan beton diselimuti dengan karung basah selama 28 hari terhitung saat beton selesai di cetak.

4.7 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji mengacu pada aturan SK SNI M-62-1990-03. Perawatan beton adalah suatu upaya untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras pada umur yang direncanakan.

Perawatan beton dalam penelitian ini dilakukan dengan cara merendam benda uji sampai waktu pengujian 28 hari untuk benda uji silinder dan diselimuti dengan karung basah untuk benda uji joint balok kolom, agar proses hidrasi semen dan pasir tidak mengurangi mutu beton/tidak menyebabkan retak beton.

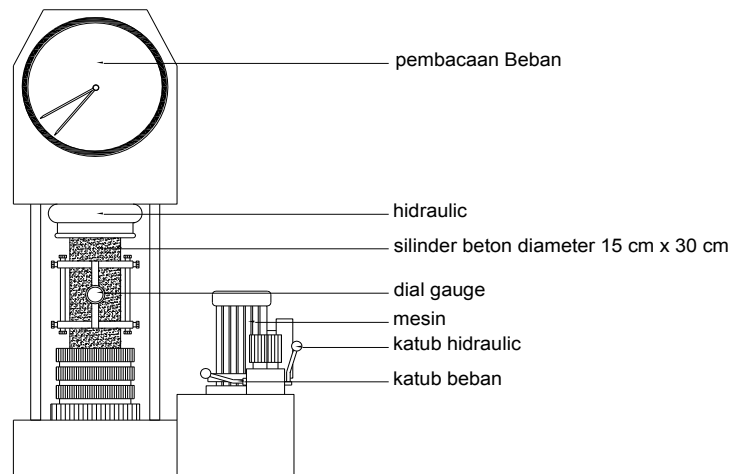
4.8 Pengujian Benda Uji

4.8.1. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari beton itu sendiri.. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C 39-99 dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine (CTM)* seperti pada Gambar 4.1, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu benda uji diratakan permukaannya (*capping*) dengan menggunakan belerang.
- b. Setelah benda uji silinder ditimbang dan diukur dimensinya, kemudian benda uji dipasangkan *dial gauge* yang berbentuk lingkaran, mengelilingi permukaan samping silinder
- c. Alat *dial gauge* distel dengan cara memutar baut pada alat sedemikian rupa agar lingkaran yang mengelilingi silinder sejajar dengan permukaan samping silinder dan tepat berada ditengah-tengah terhadap tinggi silinder.

- d. Meletakkan benda uji pada alas pembebanan mesin uji tekan beton *Compression Testing Machine (CTM)* jarak permukaan silinder dengan bagian atas mesin kurang dari 5 cm. Kemudian jarum penunjuk distel pada angka nol.
- e. Pembebanan diberikan secara berangsur-angsur sambil dicatat perubahan panjang atau pemendekan tiap skala pembebanan tertentu. Besar perubahan penolak ukur panjang dicatat pada setiap kenaikan tertentu sampai mencapai pembebanan maksimum.



Gambar 4.1 Setting up alat uji kuat tekan

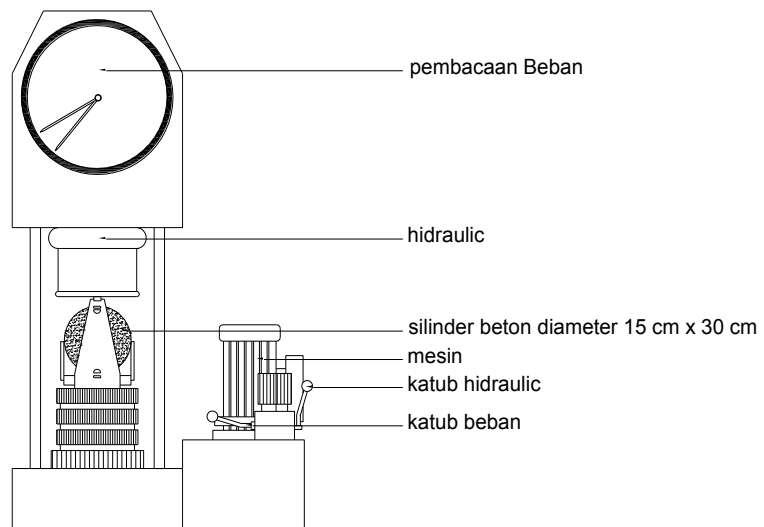
4.8.2. Uji Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan dengan cara pengujian kuat tarik belah beton, berdasarkan ASTM C496-96, dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine (CTM)*, seperti pada Gambar 4.2, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Setelah benda uji silinder ditimbang dan diukur dimensinya, kemudian benda uji diletakkan pada sisinya di atas mesin uji dan beban (P) dikerjakan secara merata dalam arah diameter disepanjang benda uji.
- b. Arloji ukur diatur pada cincin beban dan arloji pengukur regangan pada pembacaan nol.
- c. Mesin digerakkan perlahan sampai pelat bagian atas menyentuh sisi benda uji.
- d. Pembebanan diberikan secara berangsur-angsur mulai dari nol (tanpa beban) hingga benda uji silinder terbelah dua (tidak dapat menerima beban lagi) besar

beban dicatat sesuai dengan jarum penunjuk pembebanan beserta regangan yang terjadi.

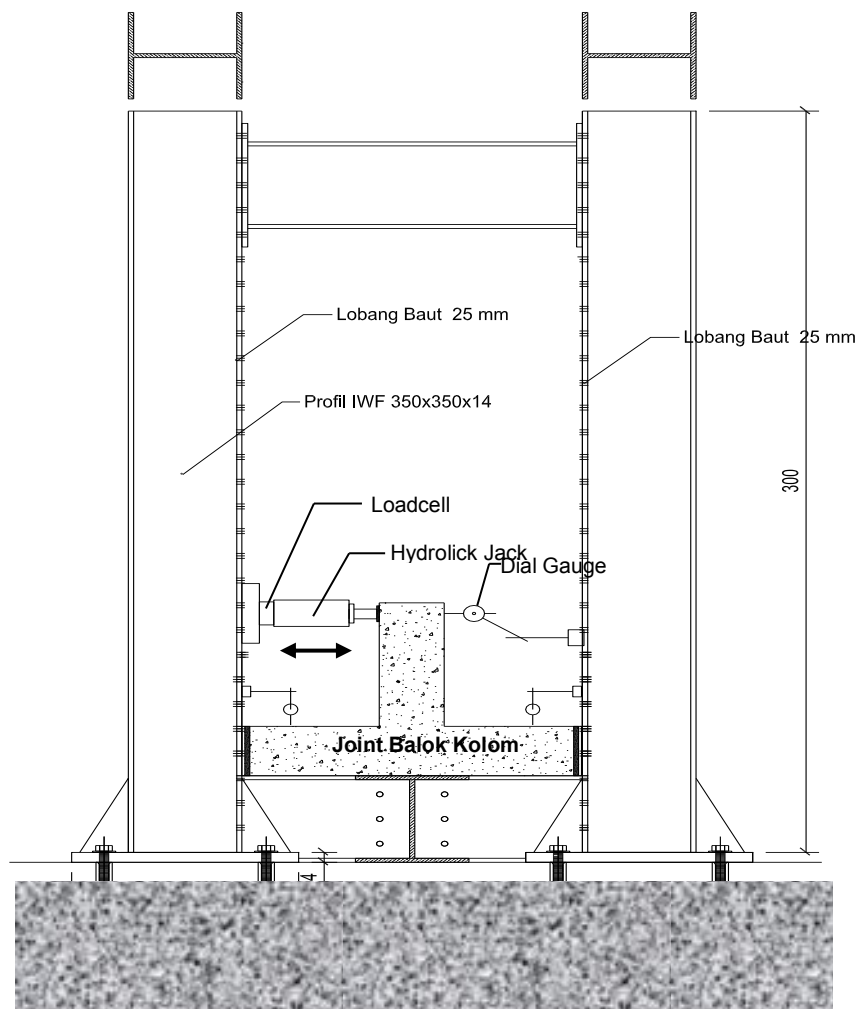
- e. Beban maksimum dibaca pada manometer alat uji. kemudian dicatat



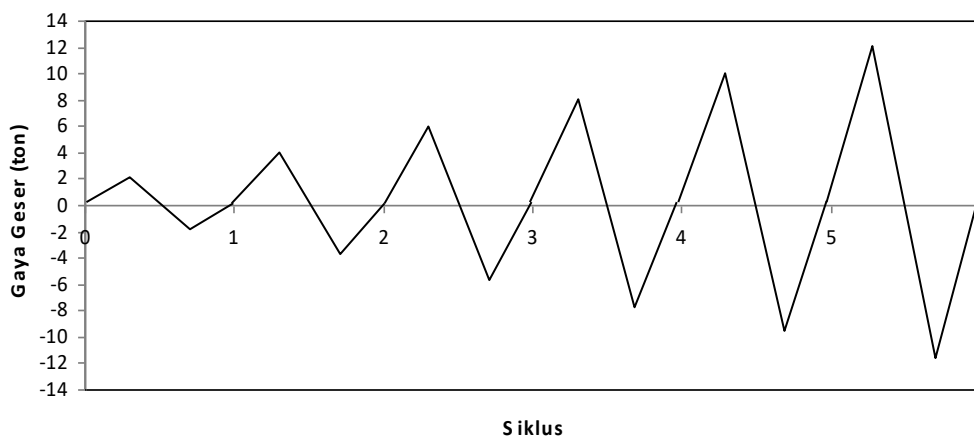
Gambar 4.2 Setting up pengujian kuat tarik belah.

4.8.3. Uji Kapasitas Geser Joint Balok Kolom

Setup pengujian joints balok kolom dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pembebanan dilakukan terhadap beban statik dan siklik. Untuk pengujian statik pembebanan dilakukan hanya pada satu arah, beban diberikan secara bertahap dengan interval tiap 2 ton hingga joint balok kolom runtuh, dan besarnya lendutan yang terjadi dicatat. Untuk pengujian siklik dilakukan berdasarkan *load controlled*. Riwayat pembebanan gempa siklis dapat dilihat pada Gambar 4.4. Pertama beban lateral ditetapkan besarnya, kemudian diamati besar lendutan yang terjadi. Tiap siklus terdiri dari satu putaran pembebanan. Selanjutnya besaran beban diperbesar dan dilakukan pembacaan lendutan dan seterusnya hingga joints balok kolom runtuh.



Gambar 4.3 Setup Pengujian Joints Balok Kolom



Gambar 4.4. Riwayat pembebanan gempa siklik

BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Bahan

Dari hasil pemeriksaan bahan-bahan pembuat beton yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, diperoleh hasil sebagai berikut :

5.1.1 Berat satuan agregat

Hasil Pemeriksaan menunjukkan berat satuan lepas rata-rata $1,428 \text{ gr/cm}^3$ untuk pasir dan $1,276 \text{ gr/cm}^3$ untuk kerikil, sedangkan untuk berat satuan padat rata-rata $1,576 \text{ gr/cm}^3$ untuk pasir dan $1,356 \text{ gr/cm}^3$ untuk kerikil. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua material ini termasuk dalam jenis agregat normal yang memiliki berat satuan antara $1,2 - 1,6 \text{ gr/cm}^3$ (Tjokrodimuljo, 1996)

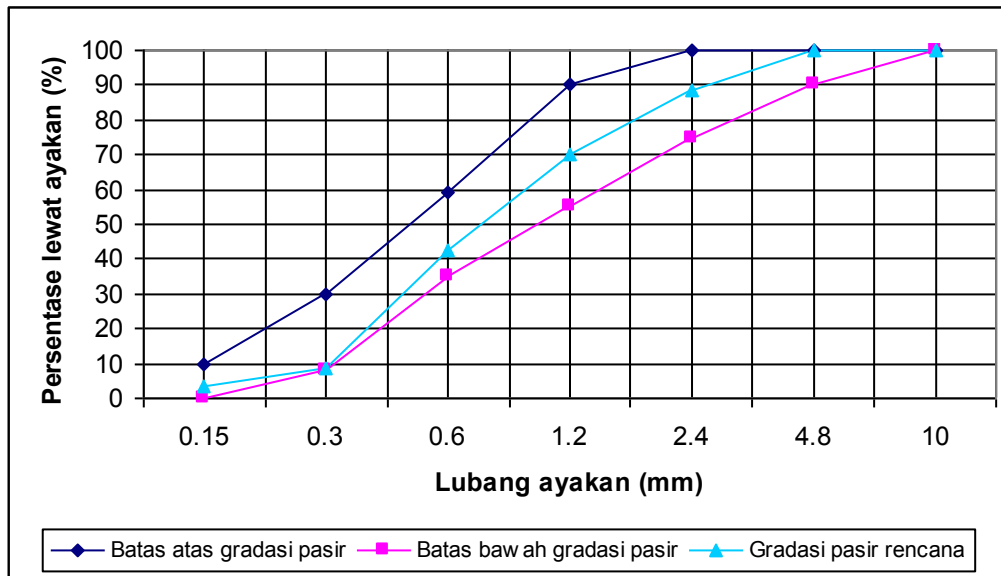
5.1.2 Berat Jenis agregat

Hasil pemeriksaan menunjukkan berat jenis pasir kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,697 sedangkan berat jenis kering rata-rata 2,639 sedangkan pada pemeriksaan berat jenis kerikil pada kondisi SSD rata-rata diperoleh nilai 2,626 dan berat jenis dalam kondisi kering sebesar 2,563. Hasil ini menunjukkan bahwa pasir sungai dan kerikil yang digunakan termasuk jenis agregat normal yang memiliki berat jenis antara $2,5 - 2,7$ (Tjokrodimuljo, 1996).

5.1.3 Gradasi agregat

Hasil analisis gradasi agregat pasir diperoleh pasir yang digunakan termasuk pada zone II yaitu pasir agak kasar, dimana pasir dalam kondisi ini banyak digunakan sebagai material penyusun beton, hal ini disebabkan karena kondisi pasir zone I cenderung beton segar mengalami *segregasi* dan pasir zone IV cenderung beton segar mengalami *bleeding*. Dari analisis gradasi yang telah dilakukan didapat modulus kehalusan butiran dimana persentase kumulatif tinggal ayakan berbanding dengan persentase tertinggal ayakan, sehingga didapat modulus kehalusan butiran sebesar 2,871. Dapat dilihat pada grafik gradasi pasir

rencana pada Gambar 4.1 bahwa semua agregat halus yang melewati lubang ayakan berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi pasir.

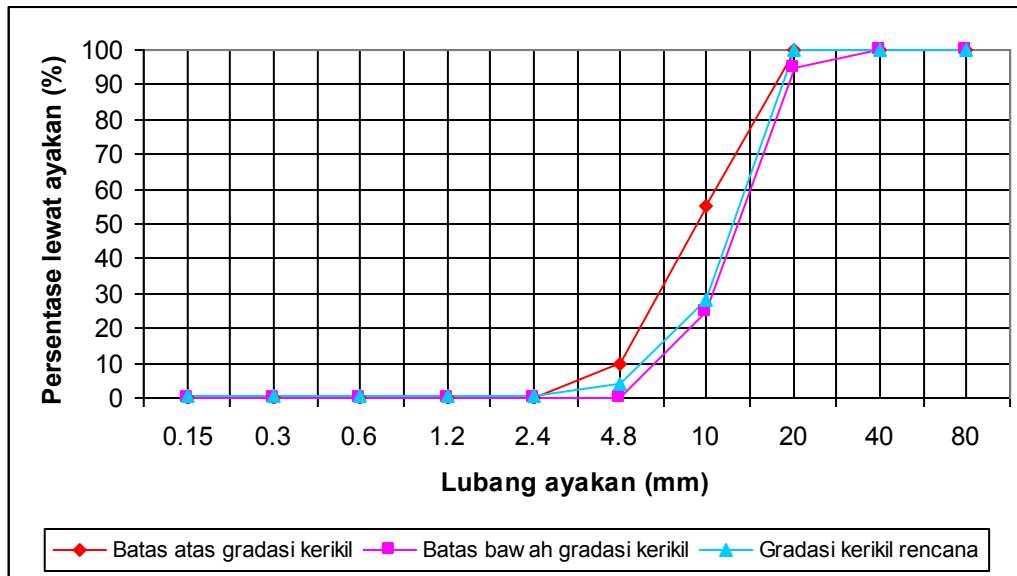


Gambar 5.1 Grafik gradasi pasir rencana

Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 2,871 maka pasir ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 1,5-3,8 (Tjokrodimuljo, 1996). Makin besar nilai modulus halus butiran menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir-butir agregatnya.

Melalui prosedur yang sama seperti gradasi pada pasir, hasil pemeriksaan kerikil menunjukkan modulus kehalusan butiran sebesar 6,65 dengan diameter butiran maksimum yang digunakan 20 mm. dapat dilihat pada grafik gradasi kerikil rencana (Gambar 5.2), bahwa semua agregat kasar yang melewati lubang ayakan berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi kerikil.

Dengan nilai modulus halus butiran sebesar 6,65 maka pasir ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 5-8 (Tjokrodimuljo, 1996). Seperti yang telah dikatakan sebelumnya makin besar nilai modulus halus butiran menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir-butir agregatnya. Untuk modulus halus butiran kerikil diatas termasuk dalam butiran yang tidak memiliki ukuran yang besar namun tidak juga memiliki ukuran yang kecil.

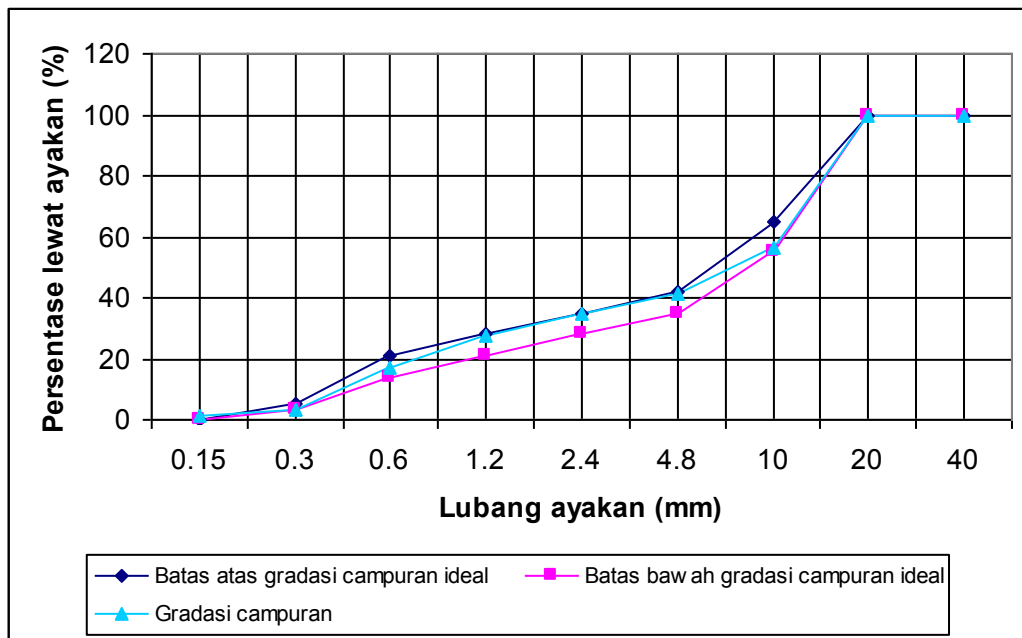


Gambar 5.2 Grafik gradasi kerikil rencana

Dalam membuat campuran diperlukan suatu proporsi pasir dan kerikil dengan perbandingan tertentu agar gradasi campuran dapat masuk di dalam kurva standar seperti yang terlihat pada Gambar 5.3. hal ini dimaksudkan agar diperoleh adukan beton yang baik, mudah dikerjakan, faktor air semen yang sesuai, tidak terjadi *segregasi* dan *bleeding* dan yang terpenting adalah memberikan kekuatan yang besar pada beton.

Untuk mendapatkan gradasi campuran maka dicari persentase pasir terhadap campuran dan persentase kerikil terhadap campuran. Dari hasil perhitungan diperoleh 39% untuk pasir dan 61% untuk kerikil. Persentase inilah yang akan digunakan untuk perhitungan gradasi campuran. Bila hasil gradasi yang diperoleh tidak masuk di dalam kurva maka nilai banding antara pasir dan kerikil diulangi, dengan nilai banding yang lebih baik. Demikian dilakukan berulang-ulang sehingga diperoleh grafik gradasi yang memenuhi standar.

Dalam Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa garis gradasi campuran masuk dalam wilayah batas atas gradasi campuran dan batas bawah gradasi campuran. Maka persentase dari grafik gradasi campuran dapat dipakai untuk perhitungan *mix design*.



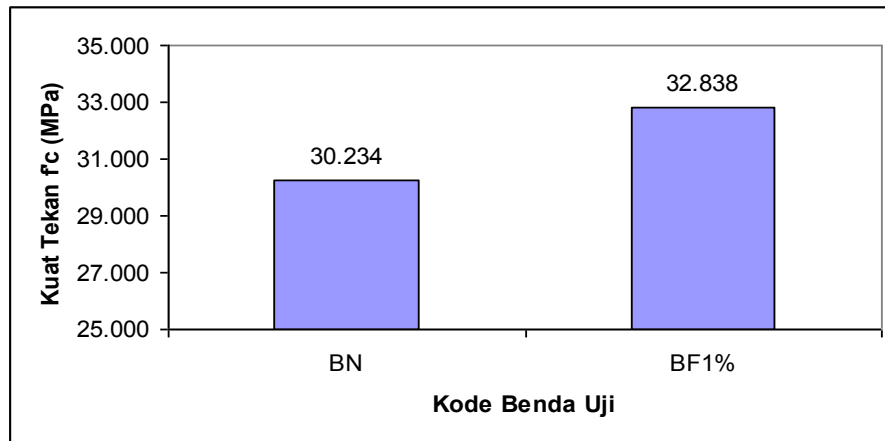
Gambar 5.3 Grafik campuran pasir dan kerikil

5.1.4 Pemeriksaan kadar lumpur

Dari hasil pemeriksaan menunjukkan kadar Lumpur pasir sungai sebesar 1,421%, sehingga pasir tersebut memenuhi standar sebagai bahan penyusun beton dan tidak perlu dilakukan pencucian. Syarat kadar Lumpur agregat adalah kurang dari 5% dari berat agregat (Tjokrodinuljo, 1996).

5.2 Kuat Tekan

Kuat tekan beton fiber bendrat dipengaruhi oleh komposisi dan kualitas bahan penyusunnya serta volume fiber yang ditambahkan. Hasil pengujian benda uji kuat tekan beton normal dan beton fiber dengan prosentase 1% disajikan pada Gambar 5.4 berikut ini.

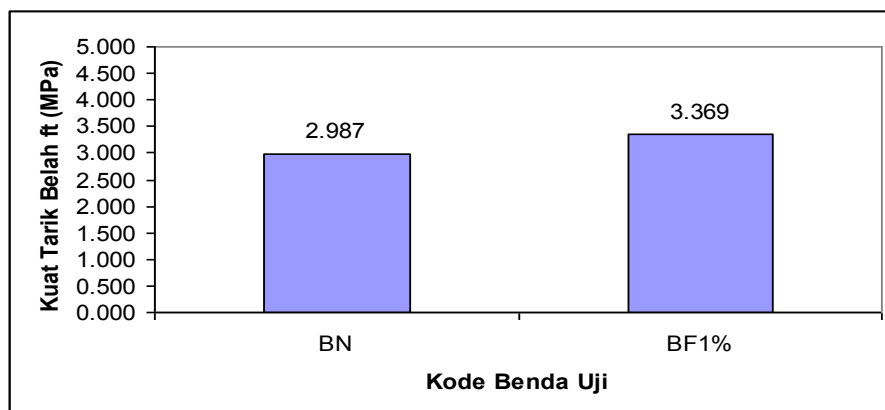


Gambar 5.4. Grafik hasil pengujian kuat tekan beton (f'_c)

Berdasarkan Grafik 5.4, terlihat bahwa nilai kuat tekan silinder beton yang mengandung fiber bendrat 1 % (BF1%) memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi sebesar 32,838 Mpa dibandingkan dengan silinder beton normal (BN) sebesar 30,234 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 8,61%. Peningkatan tersebut di sebabkan karena pengaruh penambahan fiber bendrat yang dicampurkan dalam adukan beton yang berfungsi sebagai tulangan–tulangan mikro sehingga mengurangi terjadinya segregasi atau pemisahan campuran dari bahan penyusunnya dan meminimalkan terjadinya retak dini pada beton.

5.3 Kuat Tarik

Kuat tarik beton sangat dipengaruhi oleh lekatan antara pasta semen dengan agregat penyusunnya. Penambahan fiber kawat bendrat diharapkan mampu meningkatkan nilai kuat tarik beton. Hasil pengujian benda uji kuat tarik belah dengan volume fiber bendrat 1% ditunjukkan pada Gambar 5.5 berikut ini.



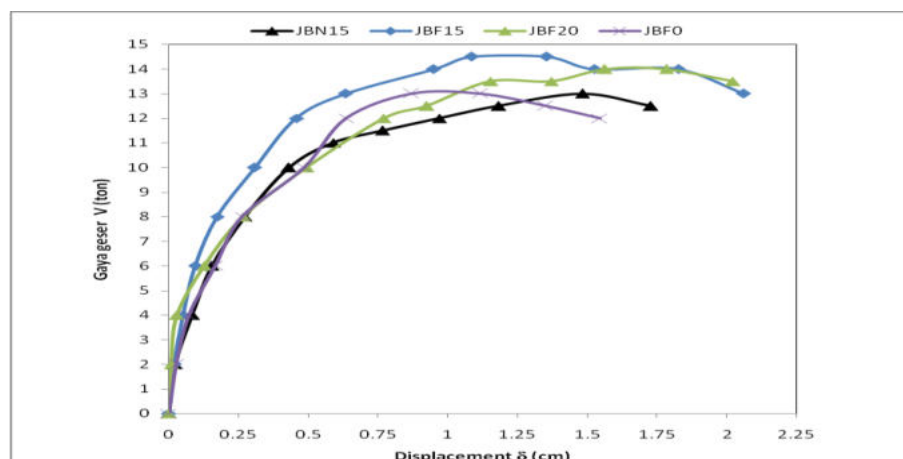
Gambar 5.5. Grafik hasil pengujian kuat tarik (ft)

Dari Grafik 5.5 terlihat bahwa penambahan fiber bendrat sebesar 1% dari volume beton mampu meningkatkan kuat tarik beton dari 2,987 Mpa menjadi 3,369 Mpa atau naik sebesar 12.80%. Hal ini disebabkan adanya fiber pada beton akan menambah ikatan dalam beton semakin kuat beton karena lekatan antara fiber dengan pasta semen, sehingga kuat tekannya meningkat yang akan diiringi dengan meningkatnya kuat tarik beton. Selain itu penambahan fiber bendrat pada beton juga dapat berfungsi sebagai tulangan mikro yang akan mencegah retak-retak yang terlalu dini, maupun karena beban yang bekerja.

5.4 Pengujian Joint Balok Kolom

5.4.1 Perilaku terhadap beban statik

Pengujian beban statik ini dilakukan dengan cara memberikan beban pada joint balok kolom untuk mensimulasikan beban gempa statik, dengan tujuan mengetahui kapasitas geser dan daktilitas joint balok kolom beton normal dengan jarak sengkang 150 mm (JBN15), beton fiber dengan jarak sengkang 150 mm (JBF15), beton fiber dengan jarak sengkang 200 mm (JBF20) dan beton fiber tanpa sengkang (JBF0). Selanjutnya dibuat grafik hubungan beban dan lendutan untuk masing-masing benda uji seperti terlihat pada Gambar 5.6 dibawah ini :



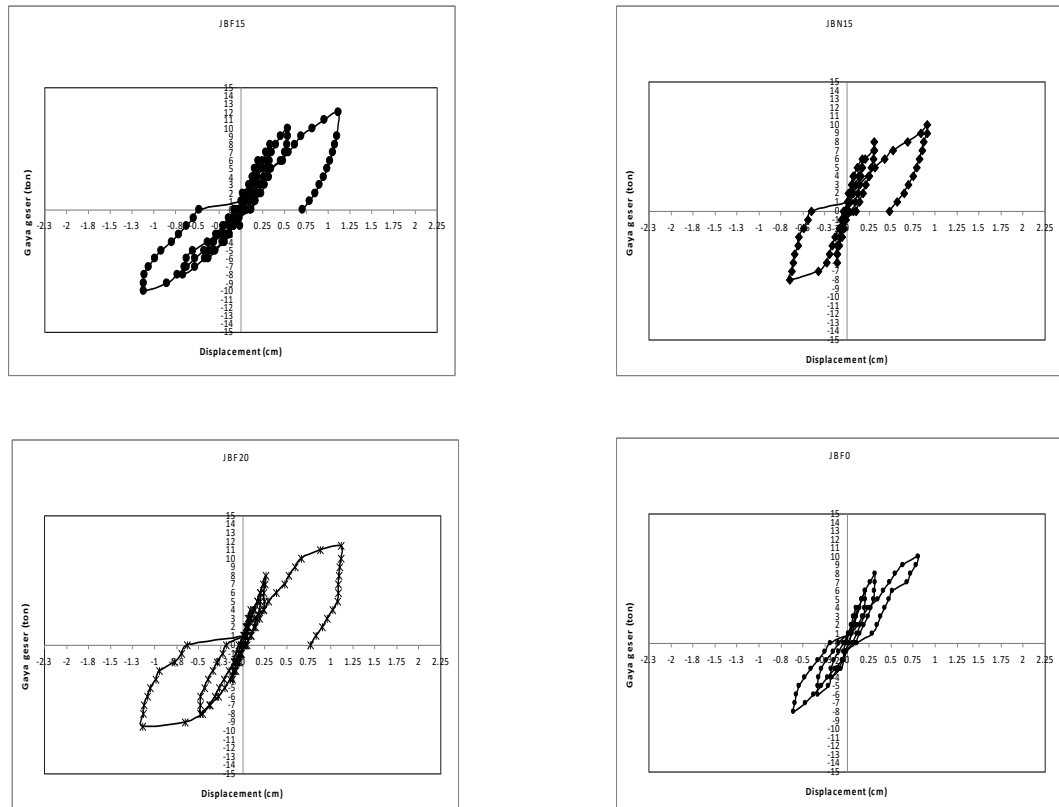
Gambar 5.6. Grafik hasil pengujian beban statik Joint Balok Kolom

Dari Grafik 5.6 terlihat bahwa penambahan fiber ke dalam beton mampu meningkatkan kapasitas geser joint balok kolom dibandingkan dengan joint balok kolom beton normal (JBN15). JBN15 mengalami keruntuhan setelah mencapai

beban geser mencapai 13 ton. Setelah diberikan bahan fiber bendrat peningkatan kapasitas geser terjadi pada joint balok kolom beton fiber dengan jarak sengkang 150 mm (JBF15) dan joint balok kolom beton fiber dengan jarak sengkang 200 mm (JBF20) berturut-turut sebesar 14 ton dan 14,5 ton atau meningkat sebesar 7,69% dan 11,54%. Selanjutnya jarak sengkang dihilangkan atau tanpa diberikan tulangan geser pada benda uji joint balok kolom JBF0, sengkang dipasang hanya untuk mengikat tulangan memanjang atau utama, dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana kontribusi fiber bendrat dalam menahan gaya geser. Hasil pengujian menunjukkan, bahwa ternyata kemampuan menahan geser benda uji JBF0 masih mampu menyamai kapasitas geser JBN15 sebesar 13 ton, ini membuktikan bahwa fiber bendrat mampu menggantikan tulangan geser pada joint balok kolom. Peningkatan kapasitas geser ini kemungkinan disebabkan karena adanya peningkatan nilai kuat tekan, kuat tarik dan tegangan geser beton serta adanya *dowel action* fiber bendrat pada beton.

5.4.2 Perilaku terhadap beban siklik

Pengujian beban siklik terhadap joint balok kolom beton normal dengan jarak sengkang 150 mm (JBN15), beton fiber dengan jarak sengkang 150 mm (JBF15), beton fiber dengan jarak sengkang 200 mm (JBF20) dan beton fiber tanpa sengkang (JBF0) untuk mensimulasikan beban gempa siklik yang lebih mendekati kenyataan, dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan benda uji dalam menyerap atau mendisipasikan energi. Hasil pengujian kemudian dibuat Grafik hysteretic loop untuk masing-masing benda uji seperti terlihat pada Gambar 5.7 dibawah ini :



Gambar 5.6. Grafik hysteresis loop pengujian beban siklik Joint Balok Kolom

Dari Gambar 5.6 di atas terlihat bahwa joint balok kolom beton fiber bendrat menunjukkan perilaku yang lebih baik terhadap beban siklik jika dibandingkan dengan joint balok kolom beton normal (tanpa fiber). Joint balok kolom JBF15, JBF20 dan JBF0 mampu bertahan terhadap beban siklik hingga ke 5, sedangkan JBN15 hanya mampu bertahan pada siklus ke 4. Akan tetapi kapasitas geser untuk semua benda uji mengalami penurunan jika dibandingkan dengan pengujian statik. Untuk JBF15 dan JBF20 kapasitas geser mencapai 12 ton dan 12,5 ton, sedangkan JBF0 dan JBN15 mencapai 10 ton. Penurunan kapasitas geser ini kemungkinan disebabkan joint balok kolom mengalami kelelahan akibat beban siklik yang bekerja.

5.4.3 Daktilitas dan Dissipati Energi (*Dissipation Energy*)

Daktilitas suatu struktur ditandai dengan kemampuan untuk mengalami lendutan yang besar walaupun beban leleh balok tersebut sudah terlampaui hingga struktur tersebut mengalami keruntuhan. Daktilitas juga menunjukkan

kemampuannya menyerap energi selama proses pembebanan berlangsung, semakin besar nilai daktilitas suatu struktur maka semakin besar kemampuan struktur tersebut untuk menyerap energi (*Dissipation Energy*) selama proses pembebanan. Nilai daktilitas dapat dihitung dengan persamaan 2.7 dan *Dissipation Energy* didefinisikan sebagai luasan pada grafik *hysteresis loop* pengujian siklik joint balok kolom pada Gambar 5.6 di atas. Masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.1.

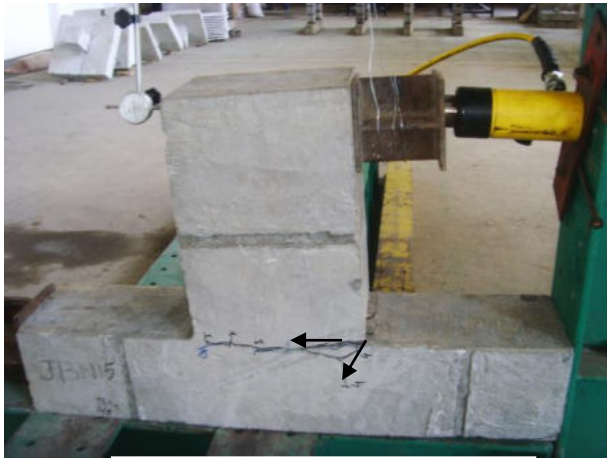
Tabel 5.1. Nilai daktilitas dan dissipitasi energi Joint Balok Kolom

Kode Benda Uji	δu (cm)	δy (cm)	Daktilitas $\mu = \delta u / \delta y$	<i>Dissipation Energy</i> (ton cm)
JBN15	0,16	1,48	9.56	7,11
JBF15	0,17	1,83	10.49	11,41
JBF20	0,13	1,78	13.93	14,94
JBF0	0,17	1,12	6.69	3,77

Dari tabel di atas terlihat bahwa penambahan fiber bendrat pada joint balok kolom mampu meningkatkan daktilitas, disertai dengan meningkatnya kemampuan joint balok kolom beton fiber bendrat dalam menyerap energi (*Dissipation Energy*). Peningkatan daktilitas dan dissipitasi energi terjadi pada JBF15 dan JBF20, sedangkan untuk JBF0 (joint balok kolom beton fiber bendrat tanpa sengkang) daktilitas maupun dissipitasi energi masih belum mampu menyamai joint balok kolom beton normal dengan jarak sengkang 150 mm (JBN15).

5.4.4 Pola Retak

Retak pertama (*first crack*) untuk benda uji joint balok kolom JBN15, JBF15 dan JBF0 terjadi pada beban geser sebesar 6 ton, sedangkan untuk JBF15 mencapai 8 ton. Rata-rata retak pertama terjadi pada bagian muka kolom atau pada interface antara kolom dan balok. Selanjutnya retak pada JBN15 merambat ke arah bagian interface dan ke arah kolom, sedangkan JBF15, JBF20 dan JBF0 perambatan retak ke arah kolom tidak terjadi. Bentuk pola retak selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 5.7 di bawah ini.



(a) Pola Retak JBN15



(b) Pola Retak JBF15



(c) Pola Retak JBF20



(b) Pola Retak JBFO

Gambar 5.7. Pola Retak Joint Balok Kolom

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari uraian-uraian pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa :

1. Penambahan fiber bendrat sebesar 1% dari volume beton pada joint balok kolom mampu meningkatkan kapasitas geser joint balok kolom sebesar 7,69% sampai 11,54%
2. Penambahan fiber bendrat sebesar 1% dari volume beton juga mampu meningkatkan daktilitas dan *Dissipation Energy*, serta merubah dan memperlambat pola retak ke arah kolom.

6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan demi sempurnanya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam melakukan pengecoran sebaiknya dilakukan dengan lebih hati-hati, agar fiber bendrat tercampur dengan merata pada adukan beton (tidak menggumpal)
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan untuk joint balok kolom interior dengan pola pembebanan yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318 M, 1999, Building Peraturan Requirements of Structural Concrete and Commentary : (318 RM-99), American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- ACI Committee 544, 1982, *State of the Art Report on Fiber Reonforced Concrete*, Repot : ACI 544.IR-82, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- ACI Committee 544, 1982, *Giude for Specifying, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*, ACI Journal, Vol. 81, No. 2, March-April.
- ASTM C39-99, 1999, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* , ASTM International, West Conshohochen.
- ASTM C469-94, 1994, *Standard Test Method for Static Modulus Elastiscity and Poison Ratio of Concrete in Compression*, ASTM International, West Conshohochen.
- ASTM C496-96, 1996, *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohochen.
- ATC, 2004, FEMA 440-Improvmnt of Nonlinear Statik Seismic Analysis Procedure, Applied Technology Councel, California
- Filiatrault, A., Ladicani, K., dan Massicotte, B., 1994, *Seismic Performance of Designed Fiber Reinforced Concrete Jointts*, ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 4, September-October.
- Filiatrault, A., Pineau, S., dan Houde, J., 1995, *Seismic Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete Interior Beam Column Jointts*, ACI Structural Journal, Vol. 93, No. 4, September-October.
- Gencoglu, M., dan Eren, I., 2002, *An Experimental Studi on the Effect of Steel Fiber Reinforced Concrete on the Behaviour of the Exterior Beam-Column Jointtss Subjected to Reversal Cyclic Loading*, Turkish Journal Engineering Environmental Science, 493-502.
- Karayannis, C., Sirkelis, G., Mavroeidis, P., 2005, *Improvement of Seismic Capacity of External Beam-Column Jointtss Using Rectangular Spiral Shear Reinforcement*, Conference on Earthquake Resistance Engineering Structure, Skiathos, Greece.
- Kunthia, M., Stojadinovic, B., Goel, S. C., 1999, *Shear Strength of Normal and High Strength Fiber Reinforced Concrete Beam without Strirups*, ACI Structural Journal, Vo. 96, No. 2.

- Khaloo, A. R., Kim, N, 1997, *Influence of Concrete and Fiber Characteristic on Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete under Direct Shear*, ACI Material Journal, Vol. 94, No. 6.
- Mulyono, T., 2004, Upaya Perbaikan Kuat Geser Beton Menggunakan Serat Sinitis, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 5, No. 1, Oktober.
- McGregor, J., G., 1997, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Prentice-Hall Inct, New Jersey, USA
- Mirsayah, A. A, dan Banthia, N., *Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete*, ACI Journal, Vol. 99, No 5, September-Oktober.
- Ngudiyono, Mahmud, F., 2006, Pemanfaatan Fiber Lokal (Kawat Bendrat) Sebagai Tulangan Geser Mikro (*Micro Shear Reinforcement*) Pada Balok Beton Bertulang, Laporan Penelitian Dosen Muda , DP2M DIKTI, Jakarta.
- Ngudiyono, Eniarti, M., 2007, Perbaikan Tegangan Geser Beton Dengan Penambahan Fiber Lokal Bendrat, Laporan Penelitian , Universitas Mataram, Mataram.
- Ngudiyono, Mahmud, F., 2009, Metode Perbaikan Kapasitas Geser dan Daktilitas Joints Balok Kolom (Beam Column Joints) Tahan Gempa Dengan Beton Fiber Bendrat , Laporan Penelitian Hibah Bersaing Tahap I, Universitas Mataram, Mataram.
- SNI 03-2847, 2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, LPMB Dep. Pekerjaan Umum RI, Bandung.
- SNI 03-1726, 2002, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, LPMB Dep. Pekerjaan Umum RI, Bandung.
- Suhendro, B., 1991, Pengaruh Fiber Kawat Pada Sifat-Sifat Beton dan Beton Bertulang, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian UGM, Detjen DIKTI, Yogyakarta.
- Wahyono, A., 1996, Pengaruh Fiber Bendrat Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang, Thesis, Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Wahyono, A., Wirawan, S., 2000, Pengaruh Penambahan Fiber Bendrat Pada Kuat Geser Balok Beton Bertulang Tanpa Senggang dan Karakteristik Dinamiknya, Laporan Akhir Penelitian DCRG, Universitas Atmajaya, Yogyakarta.
- Widodo, 2007, Kerusakan Bangunan Pada Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 : Akibat Kebelum Jelasan Peraturan, Sosialisasi atau Pelaksanaan, Seminar dan Pameran HAKI-Konstruksi Tahan Gempa, Jakarta.

LAMPIRAN III

**PENELITIAN DISERTASI DOKTOR
TAHUN 2018**



KONTRAK PENELITIAN
PENELITIAN DISERTASI DOKTOR
Tahun Anggaran 2018
Nomor:717/UN18.L1/PP/2018

Pada hari ini **Senin** tanggal **Lima** bulan **Februari** tahun Dua Ribu Delapan Belas, kami yang bertandatangan di bawah ini :

1. **Muhamad Ali, Ph.D.** : Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Mataram, berkedudukan di Jl. Pendidikan No. 37 Mataram, untuk selanjutnya disebut PIHAK PERTAMA;
2. **Ngudiyono, ST., MT.** : Dosen Fakultas Teknik Universitas Mataram, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul serta sebagai Ketua dan anggota Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2018, untuk selanjutnya disebut PIHAK KEDUA.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA, selanjutnya disebut PARA PIHAK secara bersama-sama bersepakat untuk mengikatkan diri dalam suatu Kontrak PENELITIAN DISERTASI DOKTOR Tahun Anggaran 2018 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

Pasal 1

- 1) PIHAK PERTAMA memberi pekerjaan kepada PIHAK KEDUA dan PIHAK KEDUA menerima pekerjaan, untuk melaksanakan dan menyelesaikan **PENELITIAN DISERTASI DOKTOR** Tahun Anggaran 2018 dengan judul **"Kajian Ekperimental dan Numerik Creep Tekan dan Tarik Bambu Laminasi."**
- 2) Berdasarkan Proposal yang diajukan, nama-nama anggota tim dari PIHAK KEDUA adalah sebagai Berikut:
 1. Ngudiyono, ST., MT. Ketua

Pasal 2

- (1) Dana untuk melaksanakan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah sebesar Rp. 56.680.000,- (Lima puluh enam juta enam ratus delapan puluh ribu rupiah) sudah termasuk pajak.
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor SP DIPA-042.06.1.401516/2018, tanggal 05 Desember 2017.

Pasal 3

- (1) PIHAK PERTAMA akan membayarkan Dana Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) kepada PIHAK KEDUA dengan ketentuan sebagai berikut:
- Pembayaran sebesar 100% dari total dana penelitian yaitu 100% x Rp. 56.680.000,- (Lima puluh enam juta enam ratus delapan puluh ribu rupiah), setelah PIHAK KEDUA melengkapi proposal penelitian yang memuat judul penelitian, pendekatan dan metode penelitian yang digunakan, data yang akan diperoleh, anggaran yang akan digunakan, dan tujuan penelitian berupa luaran yang akan dicapai.
 - Dokumen tambahan yang harus dipersiapkan berupa surat keterangan status studi Karya Siswa dari Dekan.
 - PIHAK KEDUA bertanggung jawab mutlak dalam penggunaan dana tersebut pada ayat (1) sesuai dengan proposal yang disetujui
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA melalui rekening bank sebagai berikut:

Nama : Ngudiyono
Nomor Rekening : 0041245228
Nama Bank : Bank BNI Cab Mataram

- (3) PIHAK PERTAMA tidak bertanggung jawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan PIHAK KEDUA dalam menyampaikan data peneliti, nama bank, nomor rekening, dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

Pasal 4

Langka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah terhitung sejak Tanggal 4 Februari 2018 dan berakhir pada Tanggal 16 November 2018.

Pasal 5

- 1) PIHAK KEDUA harus mencapai target luaran wajib penelitian berupa Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional : accepted/published .
- 2) PIHAK KEDUA diharapkan dapat mencapai target luaran tambahan penelitian berupa Disertasi : draft.
- 3) PIHAK KEDUA wajib melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada PIHAK PERTAMA.
- 4) PIHAK PERTAMA memantau pengunggahan ke laman simlitabmas dokumen sebagai berikut ;
 - a. Catatan harian pelaksanaan penelitian
 - b. Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian
 - c. Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan
 - d. Surat pertanggung jawaban mutlak

Pasal 6

- 1) Hak dan Kewajiban PIHAK PERTAMA:
 - a. PIHAK PERTAMA berhak mendapatkan luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 dari PIHAK KEDUA;
 - b. PIHAK PERTAMA wajib memberikan dana penelitian kepada PIHAK KEDUA dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.
- 2) Hak dan Kewajiban PIHAK KEDUA:
 - a. PIHAK KEDUA berhak menerima dana penelitian dari PIHAK PERTAMA dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
 - b. PIHAK KEDUA wajib menyerahkan luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam pasal 5 kepada PIHAK PERTAMA;
 - c. PIHAK KEDUA wajib bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
 - d. PIHAK KEDUA wajib menyampaikan laporan penggunaan dana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 7

- 1) PIHAK KEDUA harus menyampaikan kepada PIHAK PERTAMA laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh PIHAK PERTAMA yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh PIHAK PERTAMA;
- 2) PIHAK KEDUA harus menyerahkan *hardcopy* dan *soft copy* Laporan kemajuan daftar luaran wajib dan tambahan yang akan divalidasi PIHAK PERTAMA dan Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi kepada PIHAK PERTAMA paling lambat 30 Agustus 2018;

- (3) PIHAK KEDUA harus mengunggah :
- Laporan Kemajuan pelaksanaan penelitian
 - Catatan harian penelitian
 - Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) atas dana yang telah ditetapkan
 - Daftar luaran penelitian yang sudah divalidasi oleh PIHAK PERTAMA ke SIMLITABMAS paling lambat 8 September 2018.
- (4) PIHAK KEDUA harus menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dibuktikan dengan pengunggahan pada laman SIMLITABMAS.
- Catatan harian dan laporan komprehensif pelaksanaan penelitian pada tanggal 07 November 2018 (bagi peneliti *on-going*.)
 - Laporan Akhir, capaian hasil, poster, artikel ilmiah dan profil pada tanggal 07 November 2018 bagi penelitian tahun terakhir.
- (5) PIHAK KEDUA harus menyerahkan hardcopy ke PIHAK PERTAMA paling lambat 16 November 2018 berupa :
- Laporan penelitian sebanyak 3 (tiga) eksemplar
 - Bukti fisik luaran penelitian.
 - Laporan penggunaan keuangan penelitian 100%, dalam bentuk *hard copy* sebanyak 2 (dua) eksemplar (satu yang asli dan satu fotocopy);
 - Buku Catatan Harian Penelitian (*logbook*) sebanyak 2 (dua) eksemplar (fotocopy); dan
 - Satu keping CD yang berisi file elektronik (format word) Laporan Tahunan/Akhir dan (butir a, dan b) di atas.
- (6) Laporan hasil Penelitian dimaksud pada ayat (5) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
- Bentuk/ukuran kertas A4;
 - Format font Times New Roman ukuran 12 spasi 1,5;
 - Di bawah bagian cover ditulis:

Dibiayai oleh:
Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018
Nomor:065/SP2H/LT/DRPM/2018

Pasal 8

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2018 setelah PIHAK KEDUA mengunggah laporan kemajuan pelaksanaan kegiatan ke lama Simlitabmas dengan berpedoman kepada prinsip dan kaidah program penelitian sebelum pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi eksternal oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

Pasal 9

Penilaian luaran penelitian dilakukan oleh Komite Penilai/Reviewer Luaran sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Apabila dalam penilaian luaran khususnya luaran tambahan yang tidak tercapai maka dana tambahan yang sudah diterima oleh peneliti harus disetorkan kembali ke kas negara.

Pasal 10

Apabila setiap ketua pelaksana peneliti tidak dapat menyelesaikan pelaksanaan penelitian, maka PIHAK KEDUA wajib menunjuk pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim setelah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan. Apabila ketua peneliti mengundurkan diri sebagai ketua harus diganti dengan anggota tim sesuai dengan syarat ketentuan yang ada, jika tidak ada dana dikembalikan ke kas negara. Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disimpan oleh PIHAK PERTAMA

Pasal 11

- 1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan kontrak penelitian telah berakhir, PIHAK KEDUA belum menyelesaikan tugasnya dan atau terlambat mengirim Laporan Kemajuan dan atau terlambat mengirim Laporan Akhir dan tidak dapat memenuhi luaran lainnya maka PIHAK KEDUA dikenakan sanksi administratif berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu 2 (dua) tahun berturut-turut.
- 2) Peneliti/pelaksana penelitian yang tidak hadir dalam kegiatan pemantauan dan Evaluasi serta Seminar Hasil penelitian yang dilaksanakan oleh PIHAK PERTAMA dan atau Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Kementerian Ristek, Teknologi dan Pendidikan Tinggi tanpa pemberitahuan sebelumnya kepada PIHAK PERTAMA dan atau Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat dengan alasan yang dapat dipertanggung jawabkan maka PIHAK KEDUA tidak berhak menerima sisa dana penelitian tahap kedua. Dan apabila dana penelitian tahap kedua telah diterima oleh PIHAK KEDUA maka PIHAK KEDUA harus mengembalikan dana penelitian tersebut ke kas negara;
- 3) Apabila dalam penilaian luaran terdapat luaran tambahan yang tidak tercapai maka dana tambahan yang sudah diterima harus disetorkan ke kas negara

Pasal 12

- 1) Apabila dikemudian hari terhadap judul Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau dilakukan oleh PIHAK KEDUA, maka perjanjian Penelitian ini dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada PIHAK PERTAMA yang selanjutnya akan disetor ke Kas Negara.
- 2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 13

- PIHAK PERTAMA berkewajiban memungut dan menyetor pajak ke kantor pelayanan pajak setempat yang berkenaan kewajiban pajak berupa :
1. Pembelian barang dan jasa dikenakan PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%
 2. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan berlaku

Pasal 14

- 1) Hak kekayaan intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan.
- 2) Setiap publikasi, makalah dan atau ekspose dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini wajib mencantumkan Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi sebagai pemberi dana.
- 3) Hasil penelitian berupa peralatan dan/atau peralatan yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik negara, dan harus dihibahkan kepada institusi atau lembaga melalui berita acara serah terima (BAST)
- 4) Apabila terdapat hal-hal lain yang belum diatur dalam kontrak penelitian ini dan memerlukan pengaturan, maka akan diatur kemudian oleh PARA PIHAK melalui Amandemen Kontrak Penelitian dan atau melalui pembuatan perjanjian tersendiri yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Kontrak Penelitian ini

Pasal 15

- 1) PARA PIHAK dibebaskan dari tanggungjawab atas keterlambatan atau kegagalan dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam kontrak penelitian disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian diluar kekuasaan PARA PIHAK yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (force majeure)
- 2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa (force majeure) dalam kontrak penelitian ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade peledakan, sabotase,

revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan kontrak penelitian ini.

Apabila terjadi keadaan memaksa (force majeure) maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lain secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (force majeure), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib dan PARA PIHAK dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

Pasal 16

- Apabila terjadi perselisihan antara PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila penyelesaian secara musyawarah dan mufakat tidak tercapai, maka penyelesaian dilakukan melalui jalur hukum, dengan memilih domisili hukum di Pengadilan Negeri Mataram.
- Hal-hal yang belum diatur dalam Kontrak penelitian ini dan jika dipandang perlu untuk diatur lebih lanjut, akan dilakukan perubahan oleh PARA PIHAK dalam bentuk perjanjian tambahan (adendum) yang akan menjadi satu kesatuan dan merupakan bagian tidak terpisahkan dari Perjanjian ini

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA

PPM UNRAM
Ketua,



Muhammad Ali, Ph.D
NIP. 197207271999031002

PIHAK KEDUA

Tim Pelaksana Penelitian,
Ketua,



Ngudiyono, ST., MT.
NIP. 19740505 199903 1 003

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN DESERTASI DOKTOR**



**KAJIAN EXPERIMENTAL DAN NUMERIK *CREEP*
TEKAN DAN TARIK BAMBU LAMINASI**

Disusun Oleh

**Nama : Ngudiyono, ST., MT
NIDN : 0005057406**

Dibiayai oleh :

**Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018
Nomor : 065/SP2H/LT/DRPM/2018**

**UNIVERSITAS MATARAM
NOPEMBER, 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Kajian Eksperimental dan Numerik Creep Tekan dan Tarik
Bambu Laminasi

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : NGUDIYONO, S.T, M.T
Perguruan Tinggi : Universitas Mataram
NIDN : 0005057406
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Sipil
Nomor HP : 08123736955
Alamat surel (e-mail) : ngudiyono@gmail.com

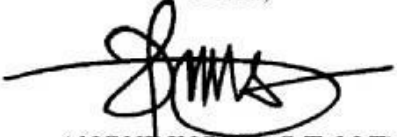
Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 56,680,000
Biaya Keseluruhan : Rp 56,680,000

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik Unram



(Akmaludin, S.T., M.Sc(Eng.), Ph.D.)
NIP/NIK 196812311994121001

Kota Mataram, 7 - 11 - 2018
Ketua,



(NGUDIYONO, S.T, M.T)
NIP/NIK 197405051999031003

Menyetujui,
Ketua LPPM Unram



(Muhammad Ali, S.Pt., M.Si., Ph.D)
NIP/NIK 197207271999031002

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan Khusus Penelitian	2
1.4. Urgensi Penelitian.....	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	3
2.1. Bambu dan Bambu Laminasi.....	3
2.2. <i>Creep</i>	4
2.3. <i>Creep</i> Kayu, Bambu, Bambu Laminasi	5
2.4. Modelling <i>Creep</i>	6
2.4.1. Model Burger	6
2.4.2. Pemodelan <i>Creep</i> dengan Program ABAQUS CAE.....	9
BAB 3. METODE PENELITIAN	13
3.1. Bagan Alir Penelitian.....	13
3.2. Bahan Penelitian	14
3.2.1. Bambu	14
3.2.2. Bahan perekat.....	14
3.2.3. Bambu Laminasi	14
3.2.3. Ruang Pengujian <i>Creep</i>	15
3.4. Pengujian Penelitian Pendahuluan.....	15
3.4.1. Pengukuran temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH).....	15
3.4.2. Pengukuran Kadar Air	16
3.4.3. Pengujian Kuat Tekan Ultimit Bambu Laminasi	16
3.4.4. Pengujian Kuat Tarik Ultimit Bambu Laminasi	17
3.5.1. Pengujian <i>Creep</i> Tekan.....	18

3.5.2. Pengujian <i>Creep</i> Tarik	20
BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	22
4.1. Temperatur (T) dan Kelembaban Relatif (RH).....	22
4.2. Kadar Air Bambu Laminasi	23
4.3. Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Bambu Laminasi	23
4.4. Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Bambu Laminasi.....	24
4.5. Kuat Lentur Balok Bambu Laminasi	25
4.6. Creep Tekan dan Tarik	26
4.7. Studi Numerik Perilaku <i>Creep</i> Lentur Bambu Laminasi	28
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	32
5.1. Kesimpulan	32
5.2. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Sifat mekanik kayu	3
Tabel 2. 2. Sifat mekanik bambu petung	3
Tabel 4. 1. Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Bambu Laminasi.....	24
Tabel 4. 2. Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Bambu Laminasi	25
Tabel 4. 3. Kuat Lentur Balok Bambu Laminasi.....	26
Tabel 4. 4. Parameter Viskoelastik Model Burger Bambu Laminasi	28
Tabel 4. 5. Parameter Prony Series Tekan dan Tarik Bambu Laminasi.....	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Elemen Mekanik Model Burger (Findley dkk, 1976)	8
Gambar 2. 2. Typical Creep dan Relaxation Model Burger (Findley dkk, 1976)	8
Gambar 2. 3. Elemen Prony Series Model Maxwell	9
Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian.....	13
Gambar 3.2. Layout ruang pengujian creep	15
Gambar 3.2. Elitech RC-4HA/C Mini Temperature and Humidity Data Logger	16
Gambar 3.4. Moisture-meter	16
Gambar 3.5. Benda uji tekan (ASTM D143, 2002).....	17
Gambar 3.6. Setup Pengujian Kuat Tekan	17
Gambar 3.7. Benda uji tekan (ASTM D143, 2002).....	18
Gambar 3.8. Setup Pengujian Kuat Tarik.....	18
Gambar 3.9. Set-up pengujian creep tekan.....	19
Gambar 3.10. Set-up pengujian creep tarik	21
Gambar 4.1. Temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH) di lingkungan pengujian (Indoor).....	22
Gambar 4.2. Temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH) di Ruangan Terkontrol	23
Gambar 4.3. Hubungan Tegangan Regangan dari Uji Tekan Bambu Laminasi	24
Gambar 4.4. Hubungan Tegangan Regangan dari Uji Tarik Bambu Laminasi	25
Gambar 4.5. Hubungan Lentutan dan Beban Lentur dari Uji Lentur Balok Bambu Laminasi	26
Gambar 4.6. Hubungan Waktu dan Regangan Creep Tekan dan Tarik Bambu Laminasi..	27
Gambar 4.7. Hubungan Waktu dan Relative Creep Tekan dan Tarik Bambu Laminasi	27
Gambar 4.8. Laju Creep Tekan dan Tarik Bambu Laminasi.....	28
Gambar 4.9. Model Balok Bambu Laminasi	29
Gambar 4.10. Hubungan waktu dan lendutan arah sumbu 2 (U_2), di tengah bentang balok bambu laminasi akibat beban konstan	30
Gambar 4.11. Kontur lendutan arah sumbu 2 (U_2 balok bambu laminasi akibat beban konstan $P = 4$ kN	30
Gambar 4.12. Kontur lendutan arah sumbu 2 (U_2 balok bambu laminasi akibat beban konstan $P = 6$ kN	31
Gambar 4. 13. Kontur lendutan arah sumbu 2 (U_2 balok bambu laminasi akibat beban konstan $P = 8$ kN	31

RINGKASAN

Bambu juga merupakan *green building, renewable, sustainable* dan *biodegradable material*. Dengan teknologi laminasi, bambu dapat dibuat menjadi bambu laminasi (*glued laminated bamboo*) dengan cara melekatkan beberapa elemen bambu berpenampang persegi dengan bahan perekat. Bambu laminasi banyak diaplikasikan pada elemen struktur bangunan antara lain pada rangka, kolom dan balok, akan menerima beban tekan dan tarik. Beban tersebut dalam jangka panjang (*long term*) akan menyebabkan deformasi rangkai (*creep deformation*). Deformasi *creep* ini berpotensi akan mempengaruhi umur layan (*service life*), dapat merubah karakteristik material dan sifat mekanik dari elemen struktur, akan menimbulkan P- Δ efek yang akan mengakibatkan kegagalan struktur bangunan. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian secara mendalam tentang *creep* tekan dan tarik pada bambu laminasi. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk mengetahui model konstitutif, parameter viskoelastik *creep* tekan dan tarik bambu laminasi dan mengetahui perilaku *creep* bambu laminasi pada balok secara numerik.

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian *creep* tekan dan tarik dengan alat uji *creep* yang dibuat khusus sehingga dapat memberikan beban tekan dan tarik pada benda uji yang dibuat sesuai standar ASTM D143. Strain gauge dipasang pada benda uji untuk mengukur regangan yang terjadi. Benda uji diletakkan pdi ruangan terkontrol dengan temperatur rata-rata 26,4⁰C dan kelembaban relatif (RH) rata-rata 75,70%. Waktu pengujian ditetapkan 30 hari, level beban yang akan diberikan adalah 30% beban ultimit. Dari hasil pengujian *creep* akan diperoleh data regangan tekan dan tarik benda uji, kemudian dilakukan analisa viskoelastik untuk mengetahui parameter dan model konstitutif *creep* tekan dan tarik. Selanjutnya dilakukan analisa numerik perilaku *creep* balok bambu laminasi dengan metode elemen hingga menggunakan program ABAQUS CAE.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air benda uji bambu laminasi 10,149%, kuat tekan bambu laminasi sejajar serat rata-rata 48,67 MPa dan modulus elastisitas tekan sebesar 11111,111 MPa. Kuat tarik rata-rata sebesar 160,677 MPa dan modulus elastisitas tarik rata-rata sebesar 16853,575 MPa. Kuat lentur (MoR) balok bambu laminasi rata-rata sebesar 50,20 MPa. Hasil analisis viskoelastik dengan menggunakan persamaan konstitutif model Burger diperoleh parameter viskoelastik *creep* tekan yaitu $E_M = 11230,769$ MPa, $E_K = 33,273$ MPa, $\eta_m = 888,943$ MPa/Hari, $\eta_k = 41,141$ MPa/Hari dan parameter viskoelastik *creep* tarik $E_M = 15937,500$ MPa, $E_K = 695,195$ MPa, $\eta_m = 240776,540$ MPa/Hari, $\eta_k = 596,386$ MPa/Hari. Hasil analisis numerik dapat ditunjukkan perilaku *creep* balok bambu laminasi bahwa seiring dengan meningkatnya level beban dan waktu pembebanan lendutan yang terjadi juga semakin besar. Lendutan balok pada hari ke 30 pada level beban 4 kN, 6 kN dan 8 kN adalah 181,92 mm, 272,51 mm dan 363,10 mm.

SUMMARY

Bamboo is a green building, renewable, sustainable and biodegradable material. By using laminated technology, bamboo can be made as glued laminated bamboo by gluing several elements of square section bamboo with glue material. Bamboo laminates are widely applied to building structural elements, including the frame, columns, and beams will apply compressive and tensile loads. Under long-term load will cause creep deformation. This creep deformation has the potential to affect service life, can change the material characteristics and mechanical properties of the structural elements, which will cause an $P-\Delta$ effect that will lead to the failure of the building structure. Therefore it is necessary to study comprehensive of compressive and tensile creep. The specific objective of this study was to determine constitutive models, viscoelastic parameters of compressive and tensile glued laminated bamboo and to determine the behavior of glued laminated bamboo beams numerically.

In this research, compressive and tensile creep tests have been carried out with specially made creep test, so that it can provide compressive and tensile loads on the specimens made according to ASTM D143 standard. The strain gauge is installed on the specimens to measure the strain that occurs. The specimens are placed in a controlled room with an average temperature of 26,40C and an average relative humidity (RH) of 75,70%. The time of the testing is set to 30 days, the level of load to be applied 30% ultimate load. From the results of the creep test, compressive strain and tensile test data will be obtained, then a viscoelastic analysis is performed to determine parameters and constitutive model of compressive and tensile creep. Then a numerical analysis of the behavior of glued laminated bamboo beam creep was carried out with the finite element method using the ABAQUS CAE software.

The results showed that the moisture content of glued laminated bamboo specimens was 10,149%, the average compressive strength and compressive elastic modulus of glued laminated bamboo parallel to grain were 48,67 MPa and 11111,111 MPa. The average tensile strength and tensile modulus were 160,677 MPa and 16853.575 MPa. The average flexural strength (MOR) of glued laminated bamboo beams was 50.20 MPa. The results of the viscoelastic analysis using the constitutive equation of the Burger model obtained compressive and tensile viscoelastic creep parameters was $EM = 11230,769$ MPa, $EK = 33,273$ MPa, $\eta_m = 888,943$ MPa/Day, $\eta_k = 41,141$ MPa/Day and $EM = 15937,500$ MPa, $EK = 695,195$ MPa, $\eta_m = 240776,540$ MPa/Day, $\eta_k = 596,386$ MPa/Day respectively. The results of the numerical analysis can be shown that the creep behavior of glued laminated bamboo beam is when the load level and the time increasing, the deflection that occurs also increases. Deflection of the beam on 30 days at apply load levels 4 kN, 6 kN and 8 kN is 181,92 mm, 272,51 mm and 363,10 mm respectively.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material kayu selama ini telah banyak digunakan bahan konstruksi bangunan. Kayu dengan ukuran besar dan kualitas baik saat ini semakin terbatas persediaannya, oleh karena itu perlu dicarikan material lain pengganti kayu salah satunya adalah bambu. Bambu memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang serupa dengan kayu. Bambu juga merupakan material konstruksi yang ramah lingkungan (*green building material*), material yang dapat diperbarui (*renewable*), dapat dibudidayakan secara berkelanjutan (*sustainable*) dan jika menjadi bahan limbah yang dapat terurai oleh organisme hidup (*biodegradable*). Bambu dapat tumbuh dengan mudah dan memiliki pertumbuhan cepat dibandingkan dengan kayu, dengan umur tanam yang relatif pendek yaitu sekitar 3–5 tahun. Kelemahan dari batang bambu di alam adalah memiliki bentuk penampang lingkaran *hollow* dengan ukuran yang terbatas.

Dengan memanfaatkan teknologi laminasi, bambu dapat dibuat menjadi bambu laminasi (*glued laminated bamboo*) dengan cara melekatkan beberapa elemen bambu berpenampang persegi dengan bahan perekat. Bambu laminasi bambu telah banyak diaplikasikan pada elemen struktur bangunan antara lain pada rangka, kolom dan balok. Sebagai elemen struktur tersebut akan menerima beban tekan dan tarik. Beban tersebut dalam jangka panjang (*long term*) akan menyebabkan deformasi rangkai (*creep deformation*).

Efek *creep* berpotensi akan mempengaruhi umur layan (*service life*) pada struktur bangunan yang terbuat dari bambu laminasi. Permasalahan lain yang akan timbul adalah kemampuan dalam merubah karakteristik material dan sifat mekanik dari elemen struktur yang pada akhirnya jika *creep* terjadi secara berlebihan akan mengakibatkan kegagalan struktur. *Creep* tekan dan tarik sangat penting dalam desain struktur, selama ini *creep* belum diperhitungkan dalam desain struktur bambu laminasi, oleh karena itu perlu dilakukan kajian secara mendalam tentang *creep* tekan dan tarik pada bambu laminasi

1.2. Perumusan Masalah

Kayu atau bambu laminasi merupakan salah satu material bersifat viscoelastik, karena tersusun atas material yang bersifat padat dan cair, dimana material ini rentan terhadap deformasi *creep*. Faktor-faktor yang mempengaruhi *creep* antara lain adalah waktu, level beban, kadar air yang terkait dengan kelembaban relatif (RH) dan temperatur.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dikaji sejauh mana pengaruh waktu, level beban terhadap perilaku *creep* bambu laminasi, khususnya *creep* tekan dan tarik. Waktu ditetapkan 30 hari, level beban yang akan diberikan adalah 30% beban ultimit. Sedangkan untuk mengkondisikan iklim tropis di Indonesia, maka pada pengujian *creep* akan dilakukan di suatu ruangan dengan temperatur 28 ± 3 °C dan kelembaban relatif (RH) $72\pm 5\%$.

Dari hasil pengujian *creep* akan diperoleh parameter dan model konstitutif *creep* tekan dan tarik bambu laminasi. Selanjutnya dilakukan analisa numerik perilaku *creep* balok dengan metode elemen hingga menggunakan program ABAQUS CAE.

1.3. Tujuan Khusus Penelitian

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. untuk mengetahui model konstitutif *creep* tekan dan tarik bambu laminasi;
- b. untuk mengetahui parameter viskoelastik *creep* tekan dan tarik bambu laminasi;
- c. untuk mengetahui perilaku *creep* bambu laminasi pada balok secara numerik;

1.4. Urgensi Penelitian

Bambu laminasi bambu jika diaplikasikan pada elemen struktur bangunan antara lain pada rangka, kolom dan balok, akan menerima beban tekan dan tarik. Beban tersebut dalam jangka panjang (*long term*) akan menyebabkan defrormasi rangkak (*creep deformation*). Deformasi *creep* ini berpotensi akan mempengaruhi umur layan (*service life*) pada struktur bangunan, dapat merubah karakteristik material dan sifat mekanik dari elemen struktur, deformasi *creep* terjadi secara berlebihan pada balok maka akan menimbulkan P- Δ efek yang akan mengakibatkan kegagalan struktur bangunan.

Selama ini dalam desain struktur bambu laminasi hanya didasarkan pada kekuatan, sementara kenyamanan yang terkait umur layan (*service life*) akibat parah deformasi *creep* belum pernah dipertimbangkan. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian secara mendalam tentang *creep* tekan dan tarik pada bambu laminasi

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Bambu dan Bambu Laminasi

Potensi bambu didunia cukup melimpah banyak tumbuh di daerah tropis seperti Asia, Amerika Latin dan Afrika, ada sekitar 1100 – 1500 spesies bambu, masing-masing memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda (van der Lugt dkk., 2006). Di negara-negara Asia seperti di Indonesia, Thailand dan Vietnam banyak bangunan rumah menggunakan bambu sebagai material utama (Mulyanto dkk., 2015).

Bambu memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang serupa dengan kayu (beberapa sifat mekanik kayu disajikan pada Tabel 2.1) bahkan lebih kuat daripada kayu, sehingga berpotensi dapat menggantikan kayu sebagai material konstruksi. Irawati dan Saputra (2012) telah melaporkan hasil analisis statistik dari beberapa penelitian sifat mekanik bambu petung (*Dendrocalamus asper*) yang banyak digunakan sebagai bahan bangunan di Indonesia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 1. Sifat mekanik kayu

Jenis Kayu	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tekan (MPa)
Sitka spruce (UK)*	32,8	19,7	29,5
Douglas fir (UK)*	35,7	21,4	32,1
Spruce/pine/fir (Canada)*	43,9	26,3	39,5
Norway spruce (Baltic)*	50,9	30,5	45,8
Keruing batu (Indonesia)**	86,5	n/a	42,7
Meranti Kuning (Indonesia)**	88,7	n/a	41,9

*Sumber : Dinwoodie (2000)

** Sumber : Indris dkk. (2008)

Tabel 2. 2. Sifat mekanik bambu petung

Sifat Mekanik	Nilai Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi (MPa)	Koefisien Variasi (%)
Kuat lentur	134,972	42,389	31,4
Kuat tarik sejajar serat	228	94,458	41,4
Kuat tekan sejajar serat	49,206	10,986	22,3
Kuat tekan tegak lurus serat	24,185	18,837	77,9
Kuat geser sejajar serat	9,505	2,846	29,95
Modulus elastisitas lentur	12888,477	4891,824	37,96

Sumber : Irawati dan Saputra (2012)

Salah satu kelemahan dari batang bambu di alam adalah memiliki bentuk penampang lingkaran *hollow* dengan ukuran yang terbatas (Janssen, 2000). Sebagai contoh bambu petung (*Dendrocalamus asper*) memiliki diameter luar 6–15 cm, tebal dinding 10–15 mm (Morisco, 1999). Teknologi laminasi memungkinkan ukuran dan bentuk bambu

dapat dibuat sesuai dengan keinginan. Teknologi laminasi juga dapat diterapkan pada material bambu menjadi bambu laminasi (*glued laminated bamboo*) yaitu dengan cara batang bambu yang telah dipotong-potong, dibelah dan dibentuk menjadi elemen-elemen dengan penampang persegi panjang dengan ukuran tertentu, kemudian elemen-elemen ini diolesi dengan perekat dan dikempa sehingga menjadi elemen balok, kolom, pelat dan sebagainya (Irawati dkk., 2014; Sinha dkk., 2014; Li dkk., 2016).

Verma dkk. (2014) menunjukkan bahwa kekuatan mekanik bambu laminasi lebih baik daripada kayu lunak (*soft wood*) dan sebanding dengan kayu keras (*hard wood*). Hasil penelitian diperkuat oleh Sharma dkk.(2014, 2015) yang mempresentasikan penelitian-penelitian sebelumnya bahwa kuat tekan, kuat tarik, MoE dan MoR bambu laminasi sejajar serat lebih besar daripada kayu cemara dan laminasi kayu cemara. Kapasitas balok bambu laminasi juga lebih baik dibandingkan dengan kayu Cypress (Kariuki dkk., 2014).

Li dkk. (2013) melakukan pengujian tekan skala penuh bambu laminasi dengan ukuran penampang 100 mm x 100 mm x 300 mm, yang dibuat dari bagian pertumbuhan (ruas) batang bambu yang berbeda-beda (pangkal, tengah dan atas). Hasil penelitian menunjukkan bambu laminasi yang dibuat dari bambu bagian atas menghasilkan kuat paling tinggi rata-rata sebesar 62,7 MPa, disusul dari bagian tengah 61,2 MPa, dan dari bagian pangkal 57,9 MPa. Nor Itang Setyo dkk. (2013) juga menguji kuat tekan sekaligus angka poisson bambu laminasi dengan benda uji lebih kecil 50 mm x 50 mm x 200 mm tanpa memperhitungkan bagian ruas bambu, menghasilkan kuat tekan sejajar serat antara 48,230 MPa – 57,603 MPa dan angka poisson longitudinal radial rata-rata 0,189 dan angka poisson longitudinal tangensial rata-rata 0,225.

Penelitian-penelitian tentang bambu dan bambu laminasi tersebut diatas belum mengkaji perilaku bambu laminasi akibat beban konstan jangka panjang (*long term*), yang akan menyebabkan deformasi *creep*.

2.2. Creep

Creep adalah deformasi secara terus menerus (*continuous*) secara perlahan pada suatu material yang diakibatkan oleh beban konstan (Findley dkk., 1976). *Creep* biasanya terjadi pada material yang bersifat viskoelastik polimer, plastik, kayu, bambu atau bambu laminasi, logam yang diberikan temperatur tinggi dan beton. Material-material tersebut bersifat viskoelastik karena tersusun atas material yang bersifat padat dan cair (Kaboarani dkk., 2013). Material viscoelastik rentan terhadap deformasi *creep*. Waktu merupakan faktor penting dalam perilaku material viscoelastik (Findley dkk. 1976). Faktor lain yang

mempengaruhi *creep* khususnya pada material kayu atau bambu diantaranya adalah level beban, kadar air yang terkait dengan kelembaban relatif (RH) dan temperatur (Morlier and Palka, 1994).

Perilaku material yang bersifat viscoelastik saat beban konstan awal diberikan, material segera mengalami deformasi elastis dan selanjutnya dalam jangka waktu tertentu mengalami deformasi viscoelastik. Ketika beban dihilangkan (*unloaded/removed*), proses *recovery* atau relaksasi akan terjadi sampai periode waktu tertentu. Jika proses *recovery* tidak terjadi secara sempurna, maka akan menghasilkan deformasi sisa atau deformasi permanen (*viscos deformation*), jika deformasi permanen ini berlebihan maka akan menyebabkan P - Δ efek yang akan mengakibatkan kegagalan struktur bangunan.

2.3. *Creep* Kayu, Bambu, Bambu Laminasi

Penelitian tentang *creep* kayu lebih banyak dilakukan dengan uji *creep* lentur, seperti yang dilakukan oleh Shen dan Gupa (1997); Ranta-Maunus dan Kortessmaa (2000); Amino (2005) ; Tsubaki dan Nakano (2010); Pecenko dkk. (2012); Kaboorani dkk. (2013); Ma dkk (2014); Gotron dkk (2014); Xiao dkk (2014); Ma dkk (2016). Pengujian *creep* lentur memberikan *properties* elemen strukturnya bukan *creep* material *properties*nya (Holzer dkk., 1984), sehingga kurang tepat jika digunakan untuk analisa numerik, oleh karena itu perlu dilakukan pengujian *creep* tekan dan tarik.

Bazant dan Meiri (1985) melakukan pengujian *creep* tekan kayu untuk mengembangkan model konstitutif *creep* kayu yang jumlah masih terbatas. Pengujian *creep* dilakukan untuk melihat pengaruh kelembaban relative (*relative humidity/RH*) pada kondisi basah 100% dan kering 50%. Hasil penelitian membuktikan bahwa *creep* tekan mengalami peningkatan cukup besar, akibat perubahan kelembaban secara simultan. Selanjutnya Soltis dkk. (1989) melaporkan pengujian *creep* kayu dengan beban tarik dan tekan konstan, pada temperatur dan kelembaban konstan (75⁰F dan 50% RH). Hasil penelitian menunjukkan bahwa relatif *creep* akibat tarik dan tekan relatif sama, akan tetapi laju *creep* akibat tekan lebih besar.

Li dan Xiao (2015) melakukan pengujian *creep* tekan, tarik bambu laminasi (glulam) dan menganalisis *creep* lentur balok glulam yang diperkuat dengan CFRP. Uji *creep* tekan dan tarik dengan beban tegangan konstan yang diberikan adalah 0,2; 0,4; dan 0,6 dari nilai rata-rata kuat tekan glulam. Uji *creep* berlangsung selama satu tahun (365 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa deformasi *creep* berkembang cepat pada tahap primer (*primary creep*) tetapi laju deformasi *creep* terus menurun, beberapa kurva fluktuasi

karena kondisi lingkungan berfluktuasi lingkungan selama musim semi dan panas di Changsha. Deformasi *creep* untuk kasus tekan dan tarik pada dasarnya berbeda pada tahap primer (*primary creep*), di mana *creep* tekan menunjukkan periode deformasi jauh lebih pendek daripada *creep* tarik. Pada penelitian benda uji ditempatkan pada lingkungan tidak terkontrol (temperatur dan kelembaban relatif fluktuatif), sehingga perlu ditinjau perilaku *creep* tekan dan tarik pada lingkungan terkontrol.

Penelitian terbaru dilakukan oleh Ounjaijom dan Rangsri (2016) melakukan pengujian *creep-recovery* tekan bambu arah transversal. Dimensi spesimen 10 mm arah longitudinal, 10 mm arah radial dan 10 mm arah tangensial. Jenis bambu *Dendrocalamus hamiltonii* umur kira-kira 3 – 4 tahun. Pengujian *creep* tekan dilakukan menggunakan air panas suhu $90 \pm 2^{\circ}\text{C}$, dengan 5 level beban 10,20,30,40,50 % beban ultimit (8,25 MPa). Pengujian *creep* dilakukan selama 1,2,3,4 jam dan *recovery* 1,2,3,4 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bambu menunjukkan perilaku viscoelastik dimana regangan *creep* meningkat secara gradual seiring waktu dan level beban. Dari penelitian terlihat bahwa waktu dan level beban memberikan pengaruh terhadap perilaku *creep* bambu, meningkatkan bambu laminasi tersusun dari elemen-elemen bambu maka perlu dilakukan kajian secara mendalam perilaku *creep* bambu laminasi terutama *creep* tekan dan tarik.

2.4. Modelling Creep

2.4.1. Model Burger

Elemen model Burger ditunjukkan pada Gambar 2.1, dimana model Maxwell dan Kelvin dihubungkan secara seri. Persamaan konstitutif dapat diturunkan dengan mempertimbangkan respon regangan yang dibebani tegangan konstan. Regangan total pada waktu t diperoleh dengan menjumlahkan regangan pada 3 elemen.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (2.1)$$

Dimana ε_1 adalah regangan pada *spring*,

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E_1} \quad (2.2)$$

ε_2 adalah regangan pada *dashpot*,

$$\dot{\varepsilon}_2 = \frac{\sigma}{\eta_1} \quad (2.3)$$

dan ε_3 regangan Kelvin unit, yang dapat diturunkan serupa dengan persamaan (2.4),

$$\dot{\varepsilon}_3 + \frac{E}{\eta_2} \varepsilon_3 = \frac{\sigma}{\eta_2} \quad (2.4)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2.2 – 2.4) pada persamaan (2.1), menghasilkan persamaan konstitutif model Burger sebagai berikut :

$$\sigma + \left(\frac{\eta_1}{E_1} + \frac{\eta_1}{E_2} + \frac{\eta_2}{E_2} \right) \dot{\sigma} + \frac{\eta_1 \eta_2}{E_1 E_2} \ddot{\sigma} = \eta_1 \dot{\varepsilon} + \frac{\eta_1 \eta_2}{E_2} \ddot{\varepsilon} \quad (2.5)$$

Perilaku *creep* model Burger dibawah tegangan konstan (σ_0) dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan (2.5) yang merupakan *second ODE* dengan dua kondisi awal (*initial condition*) sebagai berikut :

$$t = 0, \varepsilon_1 = \frac{\sigma_0}{E_1}, \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0 \quad (2.6)$$

$$t = 0, \dot{\varepsilon} = \frac{\sigma_0}{\eta_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_2} \quad (2.7)$$

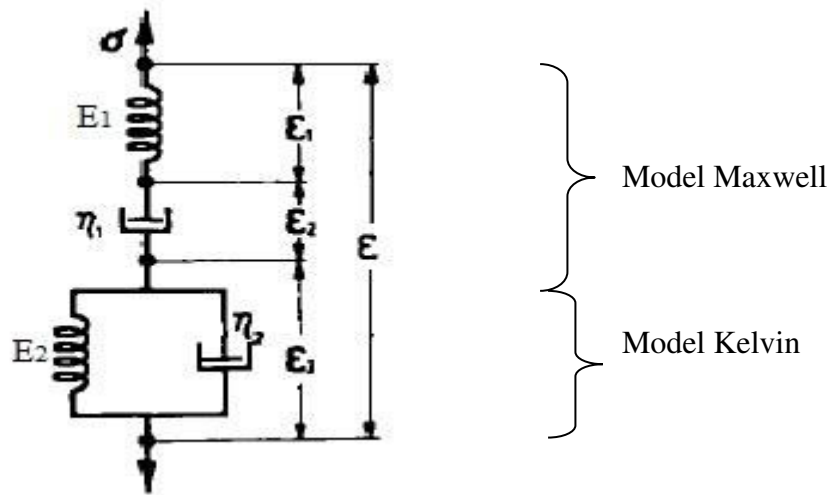
Dengan metode Tranformasi Laplace, *second ODE* di atas dapat diselesaikan, sehingga,

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_1} t + \frac{\sigma_0}{E_2} (1 - e^{-(E_2/\eta_2)t}) \quad (2.8)$$

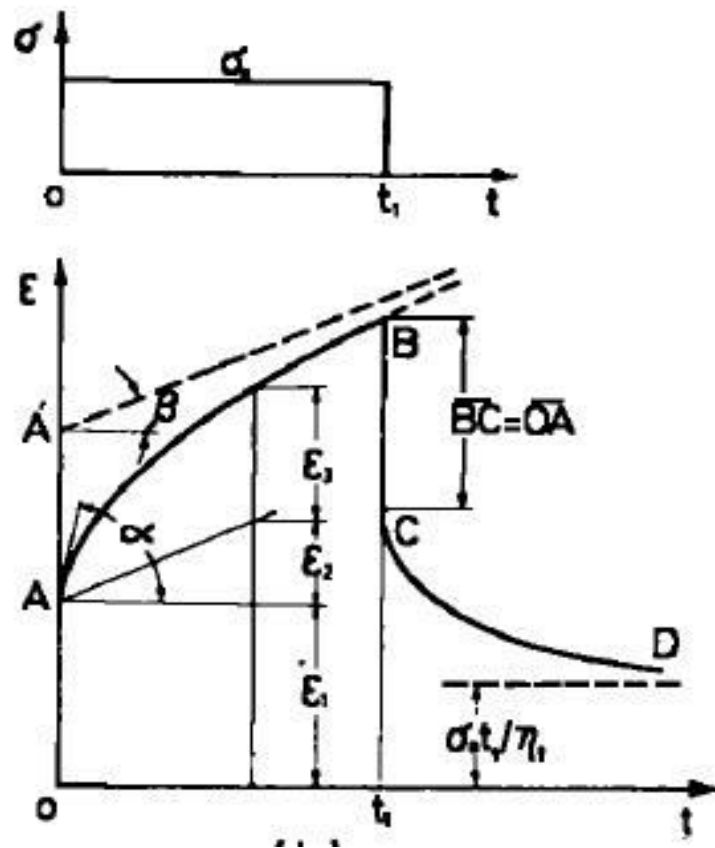
Jika pada waktu $t = t_1$ beban dihilangkan ($-\sigma_0$) regangan untuk $t > t_1$ selama *recovery* dengan prinsip superposisi dapat dinyatakan,

$$\varepsilon(t) = + \frac{\sigma_0}{E_2} (e^{(E_2/\eta_2)t_1} - 1) e^{-(E_2/\eta_2)t} + \frac{\sigma_0}{\eta_1} t_1 \quad (2.9)$$

Typical creep dan relaxation model Burger ditunjukkan pada Gambar 2. 2.



Gambar 2. 1. Elemen Mekanik Model Burger (Findley dkk, 1976)



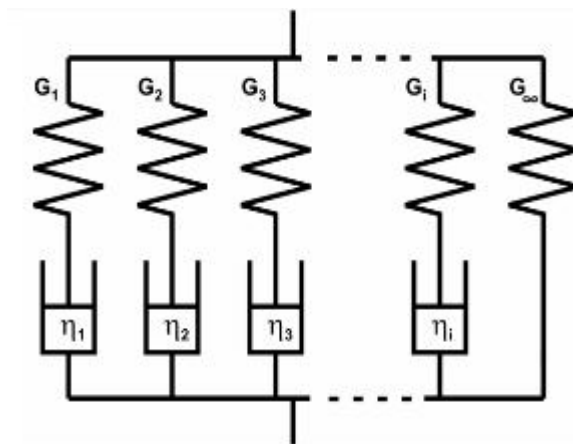
Gambar 2. 2. Typical Creep dan Relaxation Model Burger (Findley dkk, 1976)

2.4.2. Pemodelan *Creep* dengan Program ABAQUS CAE

ABAQUS merupakan salah satu program berbasis metode elemen hingga yang dapat menyelesaikan permasalahan suatu struktur baik secara linier maupun nonlinier. ABAQUS dapat memodelkan geometri hampir semua struktur apapun seperti dalam bidang teknik mesin, teknik sipil, *bioengineering* dan lain lain. ABAQUS juga dapat mensimulasikan perilaku sebagian besar bahan teknik seperti baja, komposit, beton bertulang, tanah, batuan, kayu, bambu dan lain lain.

ABAQUS saat ini mempunyai produk utama yaitu ABAQUS CAE (*Complete Abaqus Environment*) yang dapat digunakan untuk memodelkan, mengatur, memonitoring analisis dan memvisualisasikan, ABAQUS STANDARD untuk analisis elemen hingga yang memiliki fungsi umum, ABAQUS EXPLICIT untuk analisis elemen hingga yang memiliki fungsi khusus serta menggunakan skema integrasi secara jelas untuk menghasilkan sistem nonlinear dengan banyak kontak yang kompleks seperti getaran, gempa, temperatur dan lain lain, ABAQUS CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk analisis dinamika fluida dan ABAQUS ELECTROMAGNETIC untuk memecahkan masalah-masalah elektromagnetik.

Pada penelitian ini akan digunakan program ABAQUS CAE untuk analisis perilaku *creep* bambu laminasi. Untuk memodelkan perilaku *creep* suatu material linier viscoelastik pada program ABAQUS CAE, dapat dimodelkan sebagai prony series model Maxwell yang dipasang secara paralel, ditambah elemen elastik tunggal G_{∞} (Gambar 2.3).



Gambar 2. 3. Elemen Prony Series Model Maxwell

Pada program metode elemen hingga ABAQUS CAE prony series dapat ditulis dengan pernyataan modulus geser (G) sebagai berikut:

$$G(t) = G_\infty + \left(\sum_{i=1}^n g_i G_0 e^{(-t/\tau_i)} \right) \quad (2.10)$$

dimana

t : waktu, $\tau_i = \eta_i/E_i$: waktu relaksasi, $G_0 = \frac{E}{2(1+\nu)}$: modulus geser awal, $g_i = G_i / G_0$, pada

t = 0, $G_\infty = G_0(1 - \sum_{i=1}^n g_i)$ sehingga prony series dapat ditulis kembali menjadi:

$$G(t) = G_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n g_i \right) + \left(\sum_{i=1}^n g_i G_0 e^{(-t/\tau_i)} \right) \quad (2.11)$$

Kon dan Yuan (2010) telah menfomulasikan perubahan Model Burger menjadi Prony Series. Dari hubungan konstitutif Model Burger pada persamaan 2.5 :

$$\sigma + p_1 \dot{\sigma} + p_2 \ddot{\sigma} = q_1 \dot{\epsilon} + q_2 \ddot{\epsilon} \quad (2.12)$$

p_1, p_2, q_1, q_2 diekpresikan sebagai modulus elastisitas,

$$p_1 = \frac{\eta_M E_M + \eta_M E_K + \eta_K E_M}{E_M E_K}, \quad p_2 = \frac{\eta_M \eta_K}{E_M E_K},$$

$$q_1 = \eta_M, \quad q_2 = \frac{\eta_M \eta_K}{E_K} \quad (2.13)$$

Jika,

$$E_M \Rightarrow 2G_M, E_K \Rightarrow 2G_K, \eta_M \Rightarrow 2\eta'_M, \eta_K \Rightarrow 2\eta'_K$$

maka,

$$p_1 = \frac{\eta'_M G_M + \eta'_M G_K + \eta'_K G_M}{G_M G_K}, \quad p_2 = \frac{\eta'_M \eta'_K}{G_M G_K},$$

$$q_1 = 2\eta'_M, \quad q_2 = 2 \frac{\eta'_M \eta'_K}{G_K} \quad (2.14)$$

dimana,

$$G_M = \frac{E_M}{2(1+\mu_M)}, G_K = \frac{E_K}{2(1+\mu_K)},$$

$$\eta'_M = \frac{\eta_M}{2(1+\mu'_M)}, \eta'_K = \frac{\eta_K}{2(1+\mu'_K)} \quad (2.15)$$

Jika tidak memperhatikan deformasi viskoelastik dalam jumlah besar, dimana :

$$\mu_K = \mu'_M = \mu'_K = 0.5$$

Mengubah model Burger pada Transformasi Laplace,

$$\bar{Y}_{(s)} = \frac{q_1 s + q_2 s^2}{s(1 + p_1 s + p_2 s^2)} = \frac{1}{p_2} \left\{ \left[\frac{q_1}{(s+\alpha)(\beta-\alpha)} + \frac{q_1}{(s+\beta)(\alpha-\beta)} \right] + \left[\frac{q_2 \alpha}{(s+\alpha)(\alpha-\beta)} + \frac{q_2 \beta}{(s+\beta)(\beta-\alpha)} \right] \right\} \quad (2.16)$$

$$\alpha, \beta = \frac{p_1 \mp \sqrt{p_1^2 - 4p_2}}{2p_2}$$

Jika Invers Transformasi Laplace diaplikasikan pada persamaan (2.16) menjadi,

$$Y_{(t)} = \frac{q_2}{p_2(\alpha - \beta)} \left[\left(\alpha - \frac{q_1}{q_2} \right) \cdot e^{-\alpha t} + \left(\frac{q_1}{q_2} - \beta \right) \cdot e^{-\beta t} \right] \quad (2.17)$$

Substitusi persamaan (2.13 – 2.13) ke persamaan (2.17), modulus geser relaksasi menjadi,

$$G_{(t)} = \frac{G_M}{(\alpha - \beta)} \left[\left(\frac{G_K}{\eta_K} - \beta \right) \cdot e^{-\beta t} + \left(\alpha - \frac{G_K}{\eta_K} \right) \cdot e^{-\alpha t} \right] \quad (2.18)$$

Dalam bentuk Prony Series,

$$G_{(t)} = G_{\infty} + \sum_{i=1}^n G_i \cdot e^{-t/\tau_i} \quad (2.19)$$

Seri persamaan (2.19) dapat dikembangkan menjadi dua item atau n = 2,

$$G_{(t)} = G_{\infty} + G_1 \cdot e^{-t/\tau_1} + G_2 \cdot e^{-t/\tau_2} \quad (2.20)$$

$$G_{\infty} = 0, \quad G_1 = \frac{G_M}{(\alpha - \beta)} \left(\frac{G_K}{\eta'_K} - \beta \right),$$

$$G_2 = \frac{G_M}{(\alpha - \beta)} \left(\alpha - \frac{G_K}{\eta'_K} \right), \quad \tau_1 = \frac{1}{\beta}, \quad \tau_2 = \frac{1}{\alpha}$$

Jika

$$g_{(t)} = \frac{G_{(t)}}{G_0}$$

$$G(t) = G_{\infty} + G_0 \cdot (g_1 \cdot e^{-t/\tau_1} + g_2 \cdot e^{-t/\tau_2}) \quad (2.21)$$

$$G_0 = G_M, \quad g_1 = \frac{1}{(\alpha - \beta)} \left(\frac{G_K}{\eta'_K} - \beta \right),$$

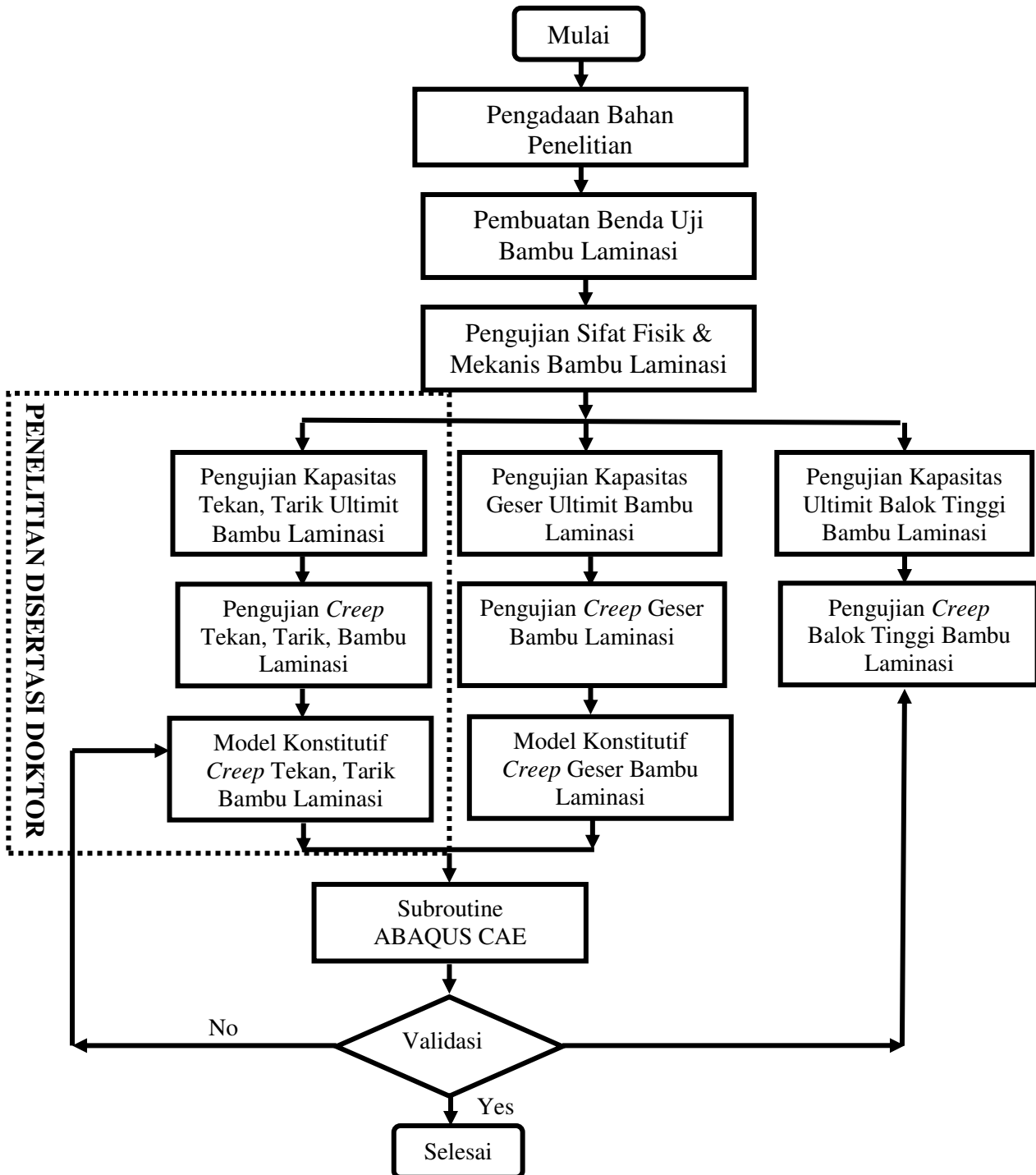
$$g_2 = \frac{1}{(\alpha - \beta)} \left(\alpha - \frac{G_K}{\eta'_K} \right) \quad (2.22)$$

$E_M, \mu_M, g_1, g_2, \tau_1, \tau_2$ adalah parameter model Burger yang dapat digunakan di program ABAQUS CAE

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini disajikan pada Gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian yang diusulkan ini merupakan bagian dari penelitian disertasi peneliti dengan judul perilaku *creep* geser bambu laminasi. Dari hasil pengujian *creep* akan diperoleh parameter dan model konstitutif *creep* tekan dan tarik bambu laminasi, yang merupakan salah satu luaran dari penelitian disertasi. Selanjutnya dilakukan analisa numerik perilaku *creep* balok dengan metode elemen hingga menggunakan program ABAQUS CAE dibuat untuk memvalidasi model konstitutif *creep* tekan dan tarik.

3.2. Bahan Penelitian

3.2.1. Bambu

Bambu yang akan digunakan pada penelitian ini adalah bambu petung (*Dendrocalamus asper*) berumur 3 – 4 tahun. Ruas bambu yang digunakan dalam pembuatan balok bambu laminasi diambil dari ruas-ruas yang berjarak lebih dari satu meter di atas pangkal pohon bambu. Selanjutnya batang pohon bambu tersebut dipotong menjadi beberapa bagian dengan panjang 1 m. Untuk membuat elemen-elemen penyusun balok bambu laminasi, potongan bambu dibilah-bilah dengan ukuran lebar 20 mm dan tebal sekitar 10-15 mm (sesuai dengan ketebalan bambu), selanjutnya bilah bambu dilakukan proses pengawetan dengan larutan borax kadar 5%. Bilah bambu yang telah diawetkan selanjutnya dikeringkan dengan sinar matahari (*oven*) hingga tercapai kadar air kira-kira 18%. Kemudian dibuat elemen-elemen penyusun bambu laminasi dengan ukuran lebar 15 mm dan tebal sekitar 5 mm.

3.2.2. Bahan perekat

Bahan perekat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Polyvinyl Acetate (PVA)*.

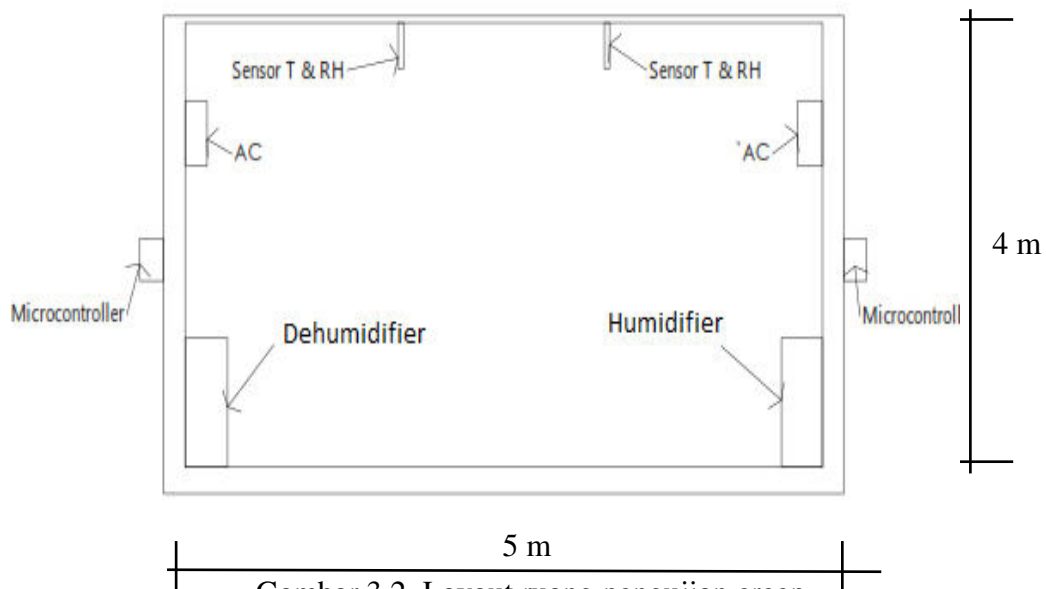
3.2.3. Bambu Laminasi

Bambu laminasi dibuat dengan merekatkan bilah bambu berbentuk persegi ukuran penampang 120 mm x 60 mm, sesuai dengan ukuran bambu laminasi yang direncanakan. Perekat yang telah dipersiapkan dilaburkan pada permukaan bilah bambu. Selanjutnya bambu laminasi tersebut dikempa dengan tekanan kempa 2 MPa selama minimal 6 jam. Setelah dilakukan proses pengempaan bambu laminasi yang dihasilkan kemudian dibiarkan selama satu minggu untuk proses penyesuaian dengan kondisi lingkungan, dan selanjutnya dilakukan *finishing* (perapian) untuk memperoleh ukuran bambu laminasi yang diinginkan.

3.2.3. Ruang Pengujian *Creep*

Ruang pengujian *creep* dibuat dengan tujuan agar kondisi kelembaban relatif (RH) dan temperatur relatif stabil. Pada penelitian ini ruang pengujian akan digunakan untuk mensimulasikan kondisi iklim tropis di Indonesia yaitu pada temperatur dan RH rata-rata 28 ± 3 °C dan $72 \pm 5\%$ (Niken dkk., 2013).

Ruangan dengan ukuran 5 m x 4 m dilengkapi dengan Air Conditioner (AC) kapasitas 1 PK untuk mengatur temperatur udara dan *Humidifier* kapasitas 2 liter untuk menambahkan uap air jika RH mengalami penurunan. Kelembaban relatif (RH) akan dikontrol dengan *micro-controller* yang terhubung dengan *Humidifier* dan sensor RH (Gambar 3.2).



Gambar 3.2. Layout ruang pengujian creep

3.4. Pengujian Penelitian Pendahuluan

3.4.1. Pengukuran temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH)

Tujuan pengukuran ini adalah untuk mengetahui kondisi temperatur dan kelembaban relatif (RH) di lingkungan pengujian indoor dan ruang pengujian *creep*. Alat yang digunakan adalah *Elitech RC-4HA/C Mini Temperature and Humidity Data Logger* (Gambar 3.3).



Gambar 3.3. *Elitech RC-4HA/C Mini Temperature and Humidity Data Logger*

3.4.2. Pengukuran Kadar Air

Tujuan pengukuran kadar air ini adalah untuk mengetahui kadar air benda uji bambu laminasi sebelum dan selama pengujian. Alat yang digunakan adalah *moisture-meter* (Gambar 3.4).

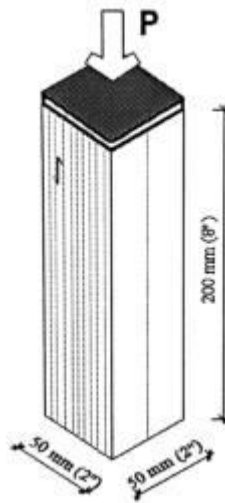


Gambar 3.4. *Moisture-meter*

3.4.3. Pengujian Kuat Tekan Ultimit Bambu Laminasi

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kuta tekan ultimit bambu laminasi. Benda uji mengacu pada standar ASTM D 143, dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 200 mm (Gambar 3.5). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Beban tekan diberikan secara bertahap hingga mencapai beban maksimum,

sedangkan perpindahan yang terjadi diukur dengan dial gauge dengan ketelitian 0,001 mm (Gambar 3.6).



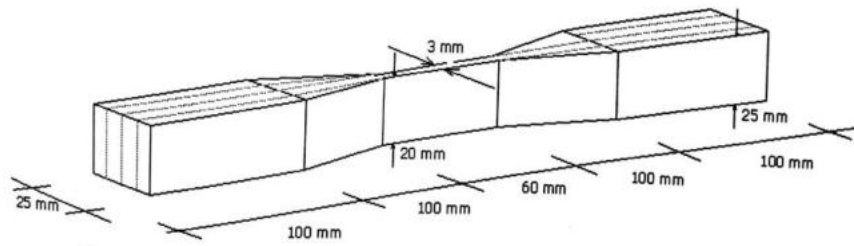
Gambar 3.5. Benda uji tekan (ASTM D143, 2002)



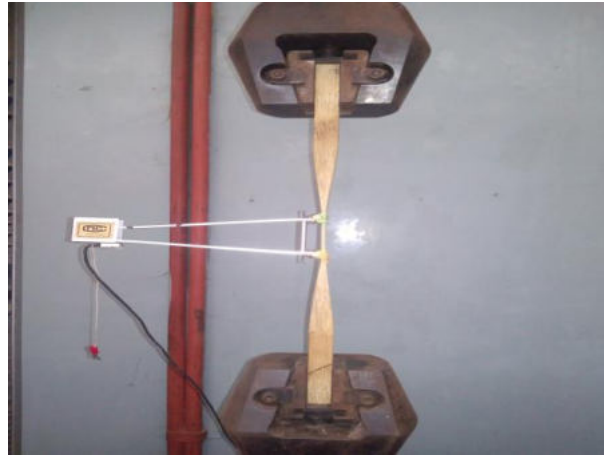
Gambar 3.6. Setup Pengujian Kuat Tekan

3.4.4. Pengujian Kuat Tarik Ultimit Bambu Laminasi

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kuta tarik ultimit bambu laminasi. Benda uji mengacu pada standar ASTM D 143 yang telah dimodifikasi oleh Eratodi (2014) dengan ukuran luas bagian tengah $3 \times 20 \text{ mm}^2$ (Gambar 3.7). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* yaitu dengan cara memberikan beban aksial tarik hingga benda uji mengalami beban ultimit. Perpanjangan yang terjadi diukur dengan *extensometer* yang ditempatkan ditengah-tengah benda uji (Gambar 3.8).



Gambar 3.7. Benda uji tekan (ASTM D143, 2002)

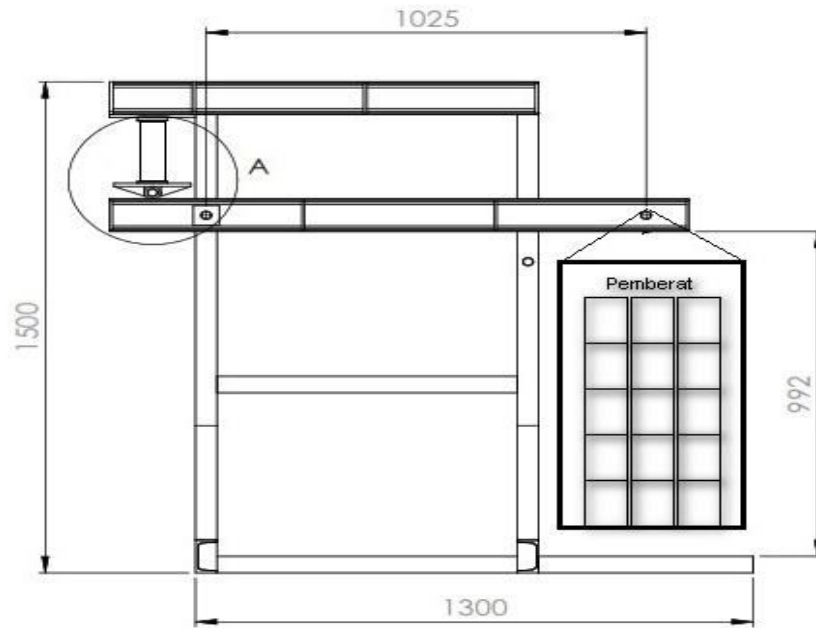


Gambar 3.8. Setup Pengujian Kuat Tarik

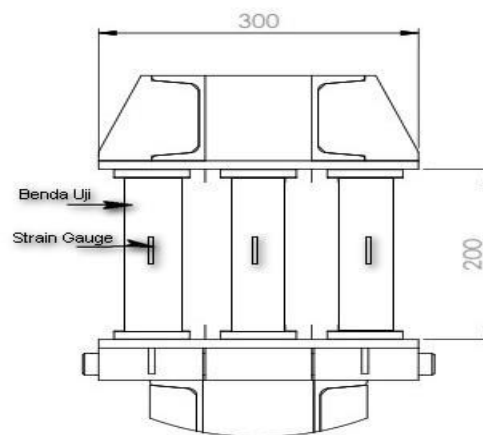
3.5. Pengujian Penelitian *Creep*

3.5.1. Pengujian *Creep* Tekan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui perilaku *creep* tekan pada bambu laminasi. Benda uji *creep* tekan sama dengan benda uji untuk uji kuat tekan yaitu dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 200 mm. *Set-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Potongan Memanjang



Detail A

Gambar 3.9. *Set-up* pengujian *creep* tekan

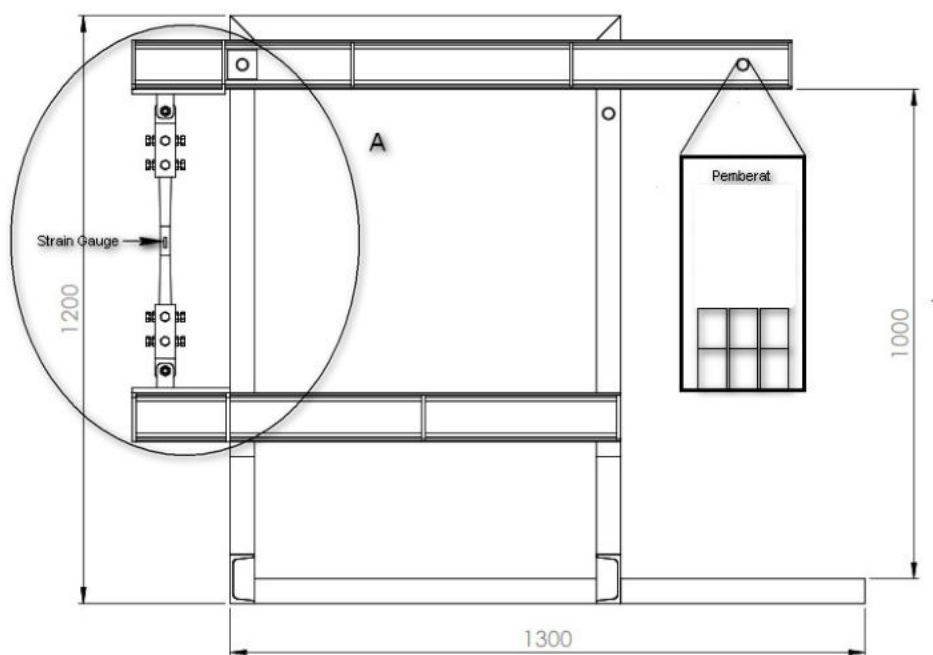
Langkah-langkah pengujian *creep* tekan bambu laminasi adalah sebagai berikut :

- a. Alat dan benda uji *creep* tekan ditempatkan pada ruangan terkontrol dengan temperatur dan RH rata-rata 28 ± 3 °C dan $72 \pm 5\%$ dan pada ruangan tidak terkontrol (*indoor*).
- b. Letakkan benda uji *creep* tekan yang sudah terpasang strain gauge pada alat uji *creep* tekan.

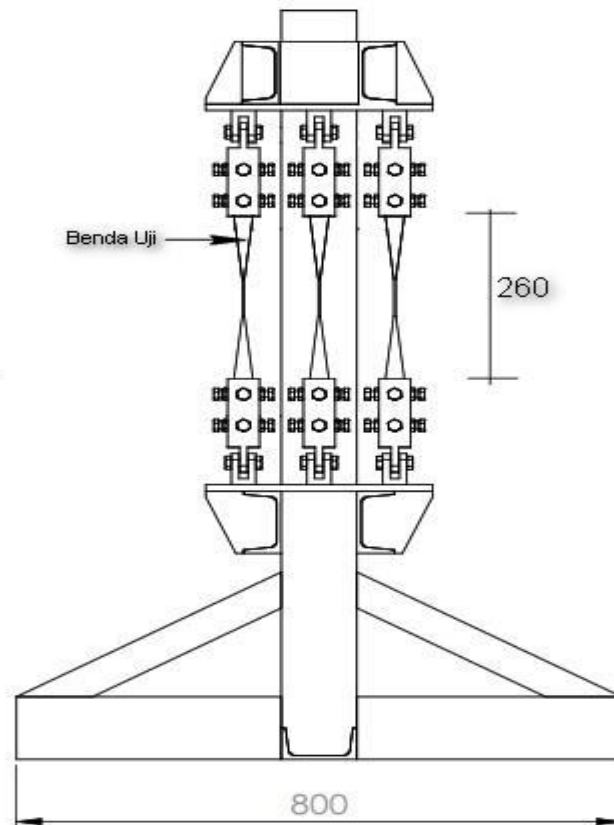
- c. Letakkan pemberat besi sebesar 30% beban ultimit pada tranfer beban, kemudian pada bagian bawah pemberat ditahan dengan dongkrak hidrolis, sebelum pembebanan diberikan.
- d. Pembebanan diberikan dengan cara melepas dongkrak hirdolik secara perlahan-lahan hingga beban pemberat bekerja. Beban tekan yang bekerja pada benda uji (P) = (Beban pemberat x lengan)/(jarak dari as benda uji ke as tumpuan sendi)
- e. Setelah 2 menit beban diberikan, pencatatan terhadap regangan yang terjadi dilakukan, kemudian beban tersebut dipertahankan selama 30 hari.

3.5.2. Pengujian *Creep* Tarik

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui perilaku *creep* tarik pada bambu laminasi. Benda uji *creep* tarik sama dengan benda uji untuk uji kuat tarik dengan luas penampang bagian tengah $3 \times 20 \text{ mm}^2$. *Set-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Potongan Memanjang



Detail A

Gambar 3.10. *Set-up* pengujian *creep* tarik

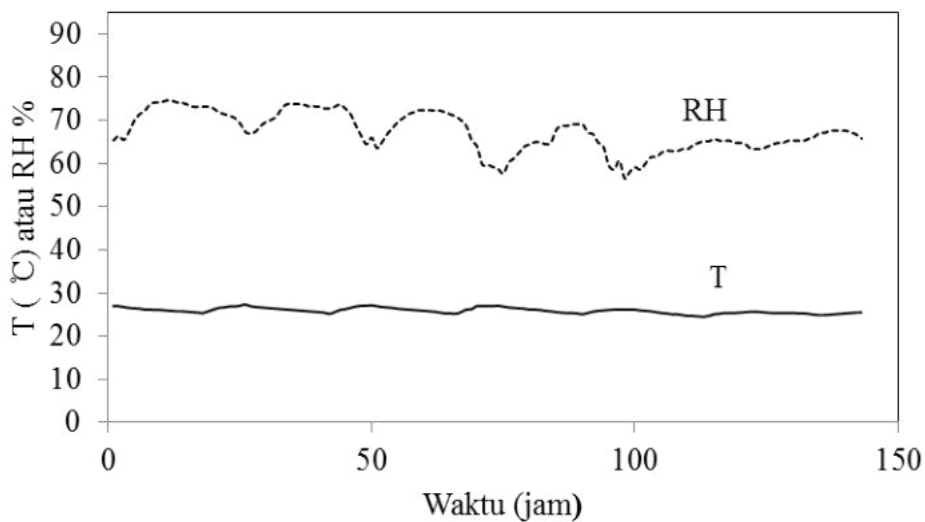
Langkah-langkah pengujian *creep* tarik bambu laminasi adalah sebagai berikut :

- a. Alat dan benda uji *creep* tarik ditempatkan pada ruangan terkontrol dengan temperatur dan RH rata-rata 28 ± 3 °C dan $72 \pm 5\%$ dan pada ruangan tidak terkontrol (*indoor*).
- b. Letakkan benda uji *creep* tarik yang sudah terpasang strain gauge pada alat uji *creep* tarik.
- c. Letakkan pemberat blok beton sebesar 30% beban ultimit pada tranfer beban, kemudian pada bagian bawah pemberat ditahan dengan dongkrak hidrolik, sebelum pembebanan diberikan.
- d. Pembebanan diberikan dengan cara melepas dongkrak hirdolik secara perlahan-lahan hingga beban pemberat bekerja. Beban tarik yang bekerja pada benda uji (T) = (Beban pemberat x lengan)/(jarak dari as benda uji ke as tumpuan sendi)
- e. Setelah 2 menit beban diberikan, pencatatan terhadap regangan yang terjadi dilakukan, kemudian beban tersebut dipertahankan selama 30 hari.

BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

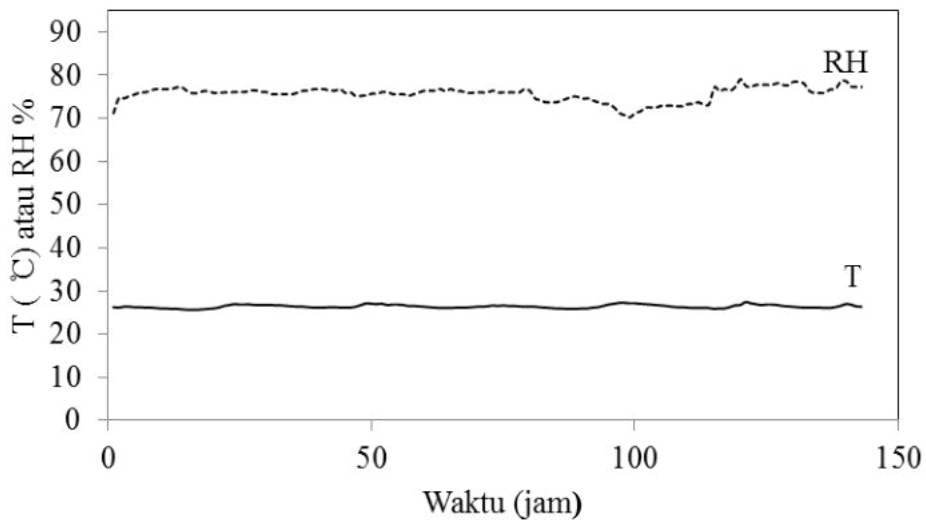
4.1. Temperatur (T) dan Kelembaban Relatif (RH)

Hasil perekaman data temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH) di lingkungan pengujian (*indoor*) selama 7 hari yaitu dimulai pada tanggal 30 Juli 2018 sampai dengan 5 Agustus 2018 disajikan pada Gambar 4.1, terlihat bahwa temperatur yang terjadi relatif stabil, dimana temperatur minimum 24,5 °C, maksimum 27,4 °C dan rata-rata 25,9 °C. Sedangkan kelembaban relatif (RH) fluktuatif dimana RH minimum 56,7 %, maksimum 74,7 % dan rata-rata 67,1 %.



Gambar 4.1. Temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH) di lingkungan pengujian (*Indoor*)

Sedangkan hasil perekaman data temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH) di ruangan terkontrol selama 7 hari yaitu dimulai pada tanggal 8 Agustus 2018 sampai dengan 14 Agustus 2018 disajikan pada Gambar 4.2, temperatur juga relatif stabil, dimana temperatur minimum 25,7 °C, maksimum 27,5 °C dan rata-rata 26,4 °C. Sedangkan kelembaban relatif (RH) lebih stabil, dimana RH minimum 70,3 %, maksimum 79,2 % dan rata-rata 75,7 %.



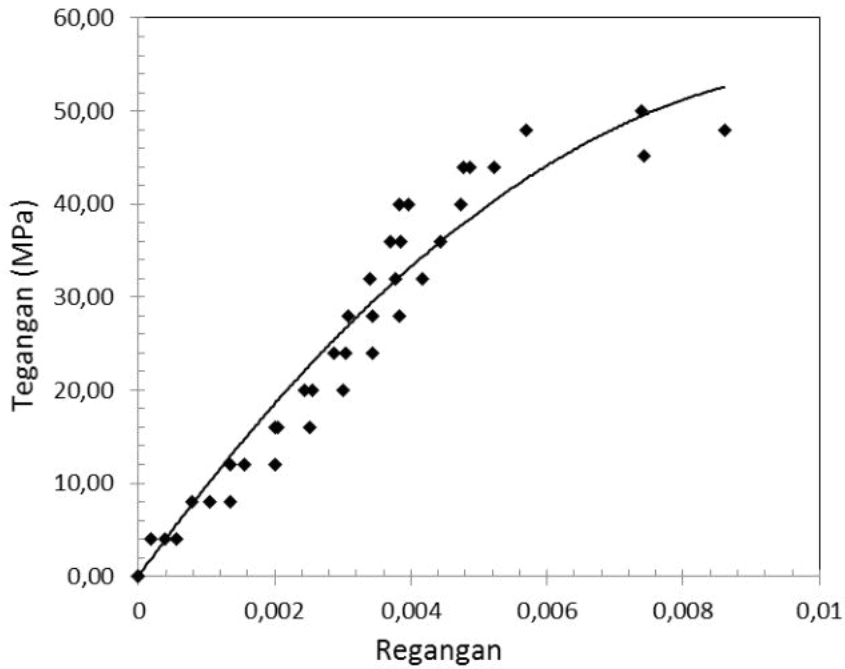
Gambar 4.2. Temperatur (T) dan kelembaban relatif (RH) di Ruang Terkontrol

4.2. Kadar Air Bambu Laminasi

Hasil pengujian kadar air benda uji rata-rata adalah 10,49% dengan standar deviasi 0,63. Kadar air bambu laminasi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar yaitu perubahan temperatur dan kelembaban relatif (RH), sehingga pada penelitian ini kadar air benda uji akan selalu dicek pada waktu pada waktu tertentu untuk meninjau sejauh mana pengaruhnya terhadap perilaku creep bambu laminasi.

4.3. Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Bambu Laminasi

Hasil pengujian kuat tekan bambu laminasi sejajar serat dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan data-data pengujian tekan pada tabel tersebut diketahui bahwa kuat tekan bambu laminasi sejajar serat antara 48 – 50 MPa dan rata-rata 48,67 MPa, dari hasil pengujian tersebut juga dapat digambarkan grafik hubungan tegangan regangan (Gambar 4.3) dan dapat diperoleh nilai modulus elastisitas tekan bambu laminasi sebesar 11111,111 MPa. Hasil pengujian tersebut hampir sama dengan hasil pengujian bambu laminasi yang dilakukan oleh Eratodi (2014) dimana kuat tekan rata-rata sejajar serat yang dihasilkan adalah 55,03 MPa dan modulus elastisitas 11840,000 MPa.



Gambar 4.3. Hubungan Tegangan Regangan dari Uji Tekan Bambu Laminasi

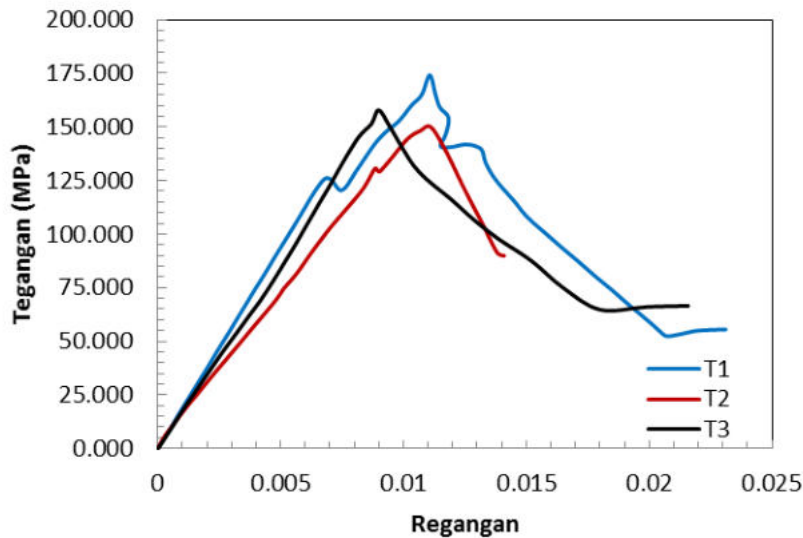
Tabel 4. 1. Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Bambu Laminasi

No	Ukuran Benda Uji	Luas Penampang (A) (mm ²)	P _{max} (N)	$\sigma_{tk} = P_{max}/A$ (MPa)	Modulus Elastisitas (E)
1	50x50x200	2500	125000	50	10000
2	50x50x200	2500	120000	48	10000
3	50x50x200	2500	120000	48	13333
Rata-rata				48,67	11111,111

4.4. Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Bambu Laminasi

Hasil pengujian kuat tarik bambu laminasi sejajar serat diperoleh kuat tarik bambu laminasi sejajar serat antara 150,091 – 174,150 MPa dan rata-rata sebesar 160,677 MPa. Kuat leleh berkisar antara 75,960 - 100,960 MPa, dan rata-rata sebesar 89,713 MPa, sedangkan regangan leleh sebesar 0,005. Adapun modulus elastisitas tarik berkisar antara 14413,662 Mpa – 18941,839 MPa, dan rata-rata sebesar 16853,575 MPa. Grafik hubungan tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar 4.4. Data-data hasil pengujian kuat tarik bambu laminasi selengkapnya disajikan pada Tabel 4.2. Hasil pengujian tersebut tidak jauh

berbeda dengan hasil pengujian bambu laminasi yang dilakukan oleh Eratodi (2014) dimana kuat tarik rata-rata sejajar serat yang dihasilkan 109,32 MPa – 192,86 MPa dan rata-rata sebesar 147,09 MPa dan modulus elastisitas tarik berkisar antara 16550,00 – 25,450 MPa, dan rata-rata sebesar 19,71 MPa.



Gambar 4.4. Hubungan Tegangan Regangan dari Uji Tarik Bambu Laminasi

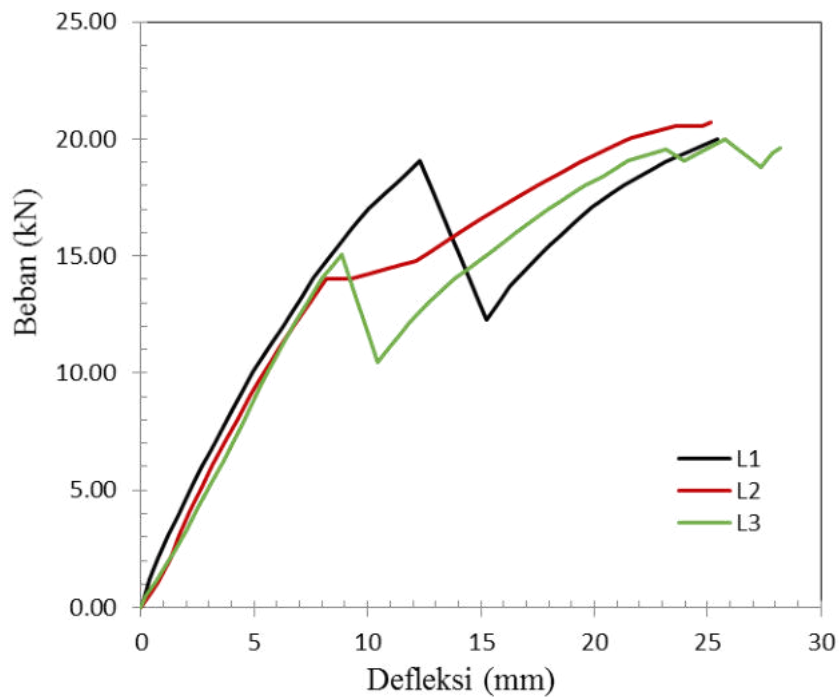
Tabel 4. 2. Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Bambu Laminasi

Benda Uji	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Leleh (MPa)	Regangan Leleh	Modulus Elastisitas (MPa)
1	174,150	100,960	0,005	18941,839
2	150,091	75,960	0,005	14413,662
3	157,790	92,220	0,005	17205,224
Rata-Rata	160,677	89,713	0,005	16853,575

4.5. Kuat Lentur Balok Bambu Laminasi

Hasil pengujian kuat lentur balok bambu laminasi dimensi penampang 50 mm x 120 mm dan bentang 1200 mm dengan beban terpusat di tengah bentang, diperoleh beban lentur ultimit (P_{max}) yang mampu ditahan balok bambu laminasi adalah 19,54 kN – 20,70 kN dan rata-rata sebesar 20,08 kN dengan kuat lentur (MoR) 48,85 MPa – 71,75 MPa dan rata-rata sebesar 50,20 MPa. Lendutan maksimum yang terjadi pada balok bambu laminasi akibat beban lentur adalah antara 25,14 mm – 28,23 mm dan rata-rata 26.27 mm. Grafik

hubungan lendutan dan beban lentur dapat dilihat pada Gambar 4.5. Data-data hasil pengujian kuat lentur balok bambu laminasi selengkapnya disajikan pada Tabel 4.3



Gambar 4.5. Hubungan Lendutan dan Beban Lentur dari Uji Lentur Balok Bambu Laminasi

Tabel 4. 3. Kuat Lentur Balok Bambu Laminasi

Benda Uji	Ukuran Benda Uji	Lendutan max (mm)	P_{max} (N)	MoR (MPa)
1	50x120x1200	25,43	20,00	50,00
2	50x120x1200	25,14	20,70	51,75
3	50x120x1200	28,23	19,54	48,85
Rata-Rata		26,27	20,08	50,20

4.6. Creep Tekan dan Tarik

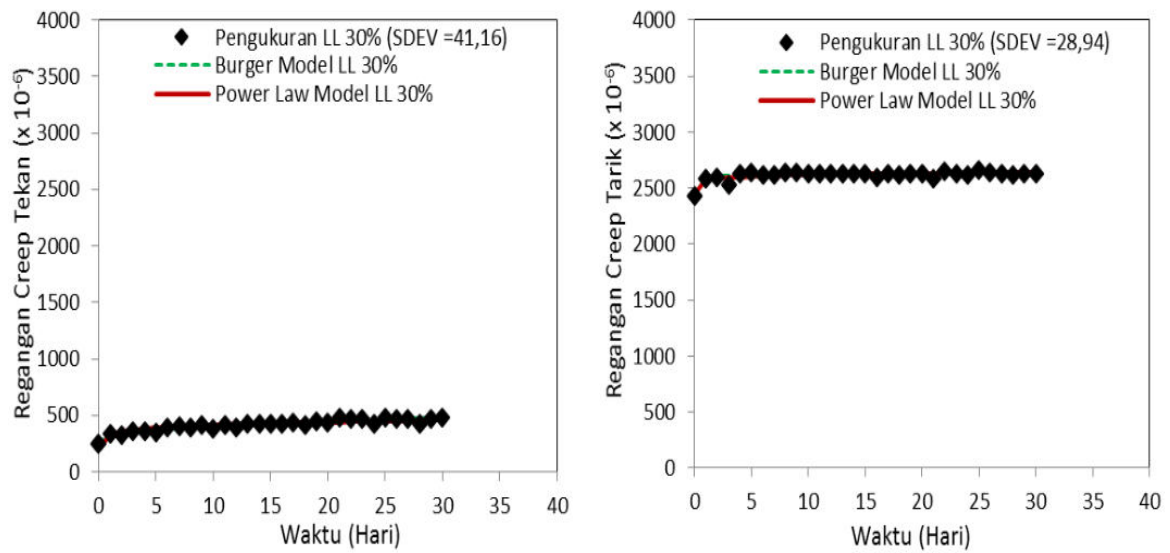
Hasil pengujian creep tekan dan tarik dengan beban tetap sebesar 30% dari beban ultimit bambu laminasi adalah berupa data regangan yang terjadi seiring dengan bertambahnya waktu. Selanjutnya data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan waktu dan regangan tekan dan tarik (Gambar 4.6). Untuk membandingkan data eksperimen dengan pengujian sebelumnya atau sumber lain, lebih mudah jika data eksperimen

didefinisikan dengan relative creep C_r (Bodig dan Jayne, 1982) dimana $C_r = \frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$,

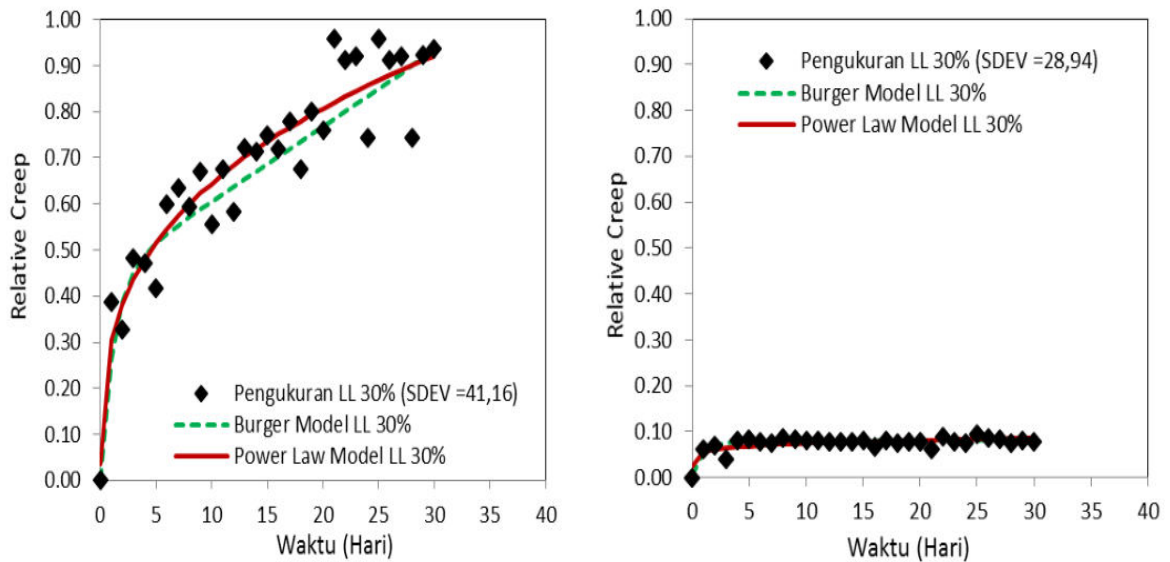
dengan $\varepsilon(t)$ = regangan pada waktu t dan ε_0 = regangan segera (*instantaneous strain*).

Grafik hubungan waktu dan relative creep tekan dan tarik ditunjukkan pada Gambar 4.7.

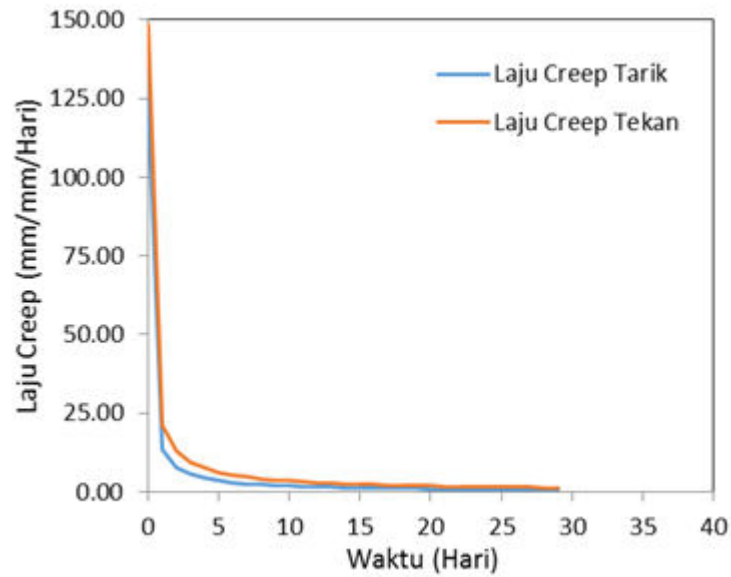
Sedangkan laju creep tekan dan tarik ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.6. Hubungan Waktu dan Regangan Creep Tekan dan Tarik Bambu Laminasi



Gambar 4.7. Hubungan Waktu dan Relative Creep Tekan dan Tarik Bambu Laminasi



Gambar 4.8. Laju Creep Tekan dan Tarik Bambu Laminasi

Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat bahwa regangan segera (*instantaneous strain*) tekan yang terjadi mencapai nilai 246×10^{-6} dan regangan segera tarik yang terjadi mencapai nilai 2434×10^{-6} , selanjutnya regangan creep cenderung meningkat. Laju creep menurun seiring dengan bertambahnya waktu, dari Gambar 4.8 juga terlihat bahwa laju creep tekan lebih tinggi dibandingkan dengan laju creep tarik.

Dari pengujian creep tekan dan tarik diperoleh parameter viskoelastik material bambu laminasi, yang akan digunakan untuk melakukan studi numerik perilaku creep balok bambu laminasi. Hasil analisis parameter viskoelastik dengan menggunakan model Burger (Gambar 4.6) disajikan pada Tabel 4.4.

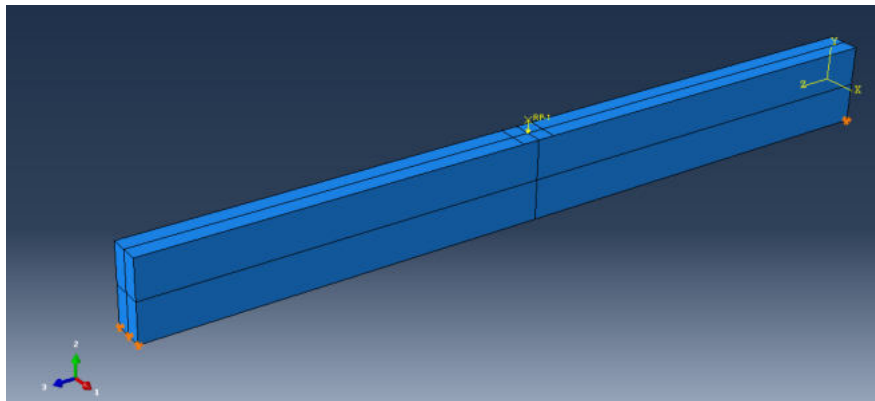
Tabel 4. 4. Parameter Viskoelastik Model Burger Bambu Laminasi

Parameter	Satuan	Tekan	Tarik
E_M	MPa	11230,769	15937,500
E_K	MPa	33,273	695,195
η_m	MPa/Hari	888,943	240776,540
η_k	MPa/Hari	41,141	596,386

4.7. Studi Numerik Perilaku *Creep* Lentur Bambu Laminasi

Struktur yang akan dimodelkan pada penelitian ini adalah benda uji balok bambu laminasi pada pengujian lentur, dimana balok diletakkan pada tumpuan sederhana (sendi) kemudian diberikan beban tetap sebesar 4 kN, 6 kN dan 8 kN di tengah bentang, dimensi

penampang 50 mm x 120 mm dan bentang (L) 1200 mm, model balok dapat dilihat pada Gambar 4.9. Pada pemodelan perilaku *creep* lentur bambu laminasi material ini dimodelkan sebagai material linier isotropik viskoelastik dengan model prony series. Parameter material viskoelastik dari model Burger pada pemodelan ini akan digunakan parameter hasil pengujian *creep* tekan dan tarik bambu laminasi yang disajikan pada Tabel 4.4, dengan poison rasio (ν) = 0,2. Selanjutnya parameter *creep* model Burger tersebut diubah menjadi model prony series dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.6.

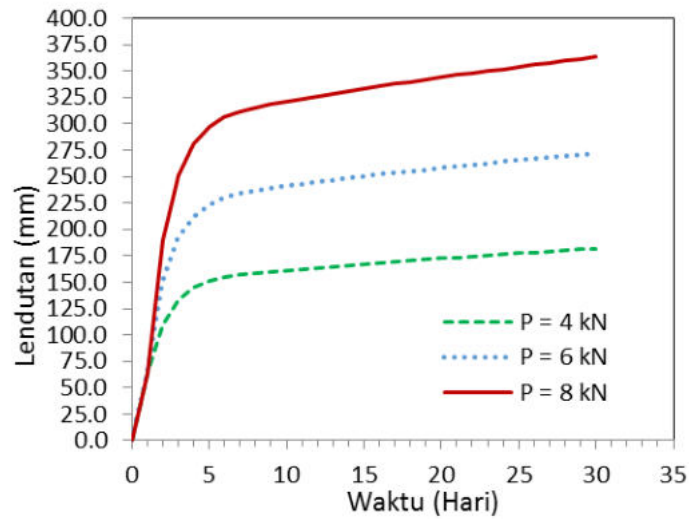


Gambar 4.9. Model Balok Bambu Laminasi

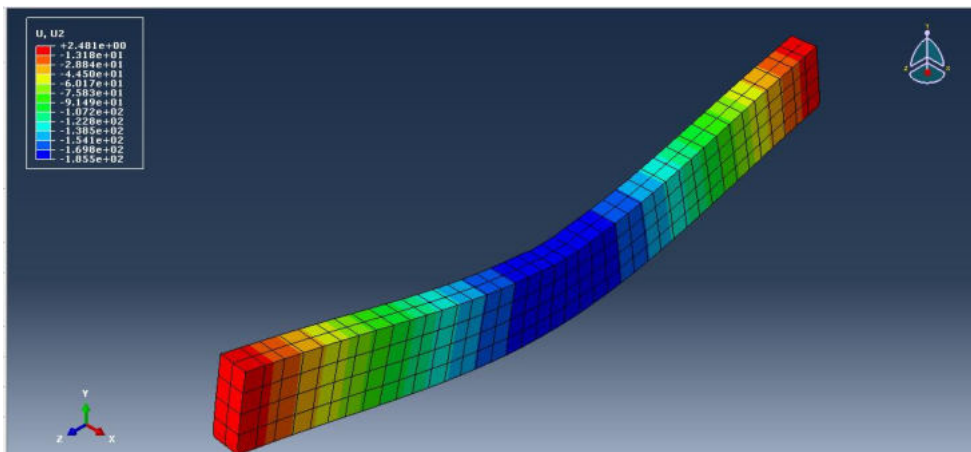
Tabel 4. 5. Parameter Prony Series Tekan dan Tarik Bambu Laminasi

Parameter	Tekan	Tarik
g_1	0,002	0,041
τ_1	28,028	362,273
g_2	0,997	0,958
τ_2	0,0035	0,035

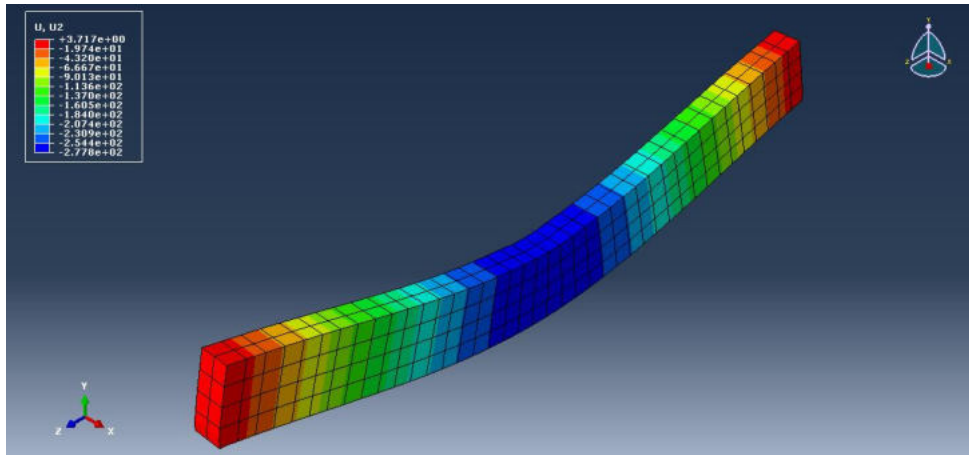
Pada pemodelan ini tipe elemen yang digunakan adalah C3D20R (20-node quadratic brick, reduced integration), dengan jumlah elemen 320. Tipe analisis yang digunakan adalah visco analisis dengan time periode 30 hari, increment 1 dan error toleransi 1×10^{-6} . Hasil analisis visco yaitu hubungan waktu dan lendutan arah sumbu 2 dengan variasi beban konstan $P = 4$ kN, 6 kN dan 8 kN ditunjukkan pada Gambar 4.10. Kontur lendutan arah sumbu 2 balok bambu laminasi akibat beban konstan $P = 4$ kN, 6 kN dan 8 kN dapat dilihat pada Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13.



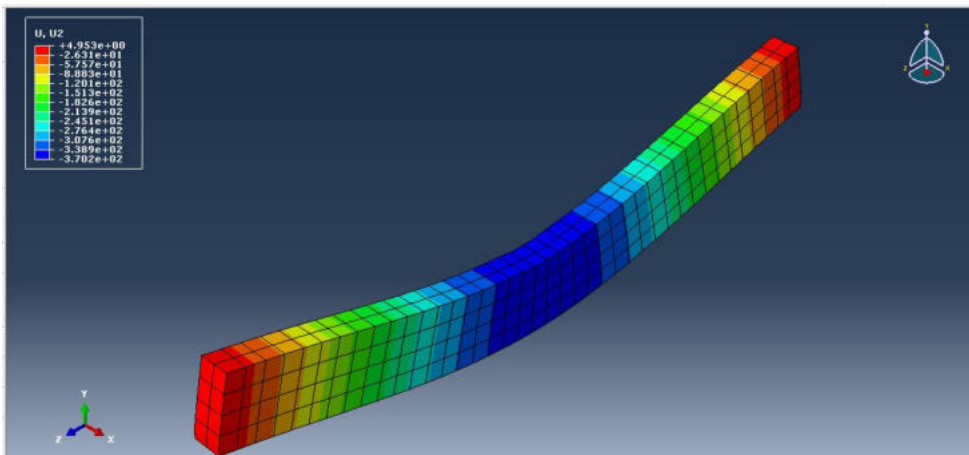
Gambar 4.10. Hubungan waktu dan lendutan arah sumbu 2 (U_2), di tengah bentang balok bambu laminasi akibat beban konstan



Gambar 4.11. Kontur lendutan arah sumbu 2 (U_2) balok bambu laminasi akibat beban konstan $P = 4$ kN



Gambar 4.12. Kontur lendutan arah sumbu 2 (U_2 balok bambu laminasi akibat beban konstan $P = 6$ kN



Gambar 4.13. Kontur lendutan arah sumbu 2 (U_2 balok bambu laminasi akibat beban konstan $P = 8$ kN

Hasil analisa numerik menunjukkan level beban dan waktu mempengaruhi perilaku creep balok bambu laminasi, lendutan bertambah seiring dengan meningkatnya level beban dan waktu (lihat Gambar 4.10). Hasil analisis visco dengan asumsi material bersifat isotropik viskoelastik dengan model proney series, lendutan yang terjadi pada balok hari ke 30 pada level beban 4 kN, 6 kN dan 8 kN adalah 181,92 mm, 272,51 mm dan 363,10 mm (lihat Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13).

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Temperatur (T) di lingkungan pengujian (*indoor*) yang terjadi relatif stabil rata-rata 25,9 °C. Sedangkan kelembaban relatif (RH) fluktuatif dimana RH minimum 56,7 %, maksimum 74,7 % dan rata-rata 67,1 %. Sedangkan kondisi pada ruangan terkontrol temperatur juga relatif stabil rata-rata 26,4 °C. Sedangkan kelembaban relatif (RH) juga relatif stabil rata-rata 75,7 %.
2. Dengan kadar air 10,149%, kuat tekan bambu laminasi sejajar serat rata-rata 48,67 MPa dan modulus elastisitas tekan sebesar 11111,111 MPa. Kuat tarik rata-rata sebesar 160,677 Mpa dan modulus elastisitas tarik rata-rata sebesar 16853,575 MPa. Kuat lentur (MoR) balok bambu laminasi rata-rata sebesar 50,20 MPa.
3. Hasil analisis viskoelastik dengan menggunakan persamaan konstitutif model Burger diperoleh parameter viskoelastik creep tekan yaitu $E_M = 11230,769$ MPa, $E_K = 33,273$ MPa, $\eta_m = 888,943$ MPa/Hari, $\eta_k = 41,141$ MPa/Hari dan untuk parameter viskoelastik creep tarik $E_M = 15937,500$ MPa, $E_K = 695,195$ MPa, $\eta_m = 240776,540$ MPa/Hari, $\eta_k = 596,386$ MPa/Hari
4. Hasil analisis numerik dapat ditunjukkan perilaku creep balok bambu laminasi bahwa seiring dengan meningkatnya level beban dan waktu pembebanan lendutan yang terjadi juga semakin besar. Lendutan balok pada hari ke 30 pada level beban 4 kN, 6 kN dan 8 kN adalah 181,92 mm, 272,51 mm dan 363,10 mm.

5.2. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk kelanjutan penelitian ini adalah :

1. Untuk memvalidasi hasil numerik perlu dilakukan pengujian creep balok bambu laminasi.
2. Waktu pengujian creep perlu diperpanjang minimal 90 hari, pada lingkungan alami atau lingkungan terkontrol, untuk mengetahui pengaruh kelembaban relatif (RH).

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D143, 2002, *Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber*, Annual Book of ASTM Standart, Vol. 4, No. 10, West Conshojocken, PA.
- Abaqus Version 6.4, 2003, *Abaqus/CAE User's Manual*, Pawtucket, Rhode Island, USA.
- Amino, Y., 2005, *Bamboo-Precocious Wood Composite Beams : Bending Capacity for Long-Term Loading*, *Journal Bamboo and Rattan*, Vol. 4, No. 1, pp. 55-70.
- Bodig, J. dan Jayne, B. A., 1982, *Mechanical of Wood and Wood Composites*, Kriger Publishing Company, Malabar Florida.
- Bazant, Z. P. dan Meiri, S., 1985, *Measurements of Compression Creep of Wood at Humidity Changes*, *Wood Sci. Technol.* 19: 179-182.
- Dinwoodie, J. M., 2000, *Timber : Its nature and behavior*, Published by E & F Spon, London and New York.
- Findley, M. N., Lai, J. S., Onaran, K., 1976, *Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Material with Introduction to Linear Viscoelastic*, Dover Publication, Inc., New York.
- Gotron, J., Harries, K. A., Xu, Q., 2014, *Creep Behavior of Bamboo*, *Contruction and Building Material* 66, pp. 79-88.
- Holzer, S. M., Loferski, J. R., and Dillard, D. A., 1989, A Review of *Creep* in Wood : Concepts Relevant to Develop Long-Term Behavior Predictions for Wood Structures, *Wood and Fiber Science*, 21(4), pp. 376-392.
- Indris, M. M., Rachman, O., Pasaribu, R. A., Roliadi, H., Hadjib, N., Muslich, M., Jasni, Ruliaty, S., Siagian, R. M., 2008, *Petunjuk Praktis Sifat Sifat Dasar Jenis Kayu Indonesia*, PT. Pusaka Semesta Pusada.
- Irawati, I. S., dan Saputra, A., 2012, *Analisis Statistik Sifat Mekanik Bambu Petung*, *Proceeding Simposium Sinar Bambu I*, Yogyakarta.
- Irawati, I. S., Suhendro, B., Saputra, A., Prayitno, T. A., 2014, *Initial Approximation for Newton-Raphson Iteration to Calculate the Neutral Axis Position of Glulam Bamboo*, *ASEAN Engineering Journal Part C*, December, Vol. 3 No. 2.
- Janssen, J. J. A., 2000, *Designing and Building with Bamboo*, Beijing, China, INBAR.
- Kong, J., Yuan, J., 2010, *Application of Linear Viscoelastic Differential Constitutive Equation in ABAQUS*, *International Conference On Computer Design And Appliations (ICCCA)*.
- Kaboorani, A., Blanchet, P., Laghdir, A., 2013, *A Rapid Method to Asses Viscoelastic and Mechanosorptive Creep in Wood*, *Wood and Fiber Science*, 45 (4), pp. 370-382.

- Kariuki, J., Shuaibu, R. A., Nyomboi, T., Mumenya, S., 2014, *Flexural Strength of Laminated Bamboo Beams*, International Journal of Advances in Engineering & Technology, November, Vol. 7, Issue 5, pp. 1531-1538.
- Li, L., dan Xiao, Y., 2015, *Creep Behavior of Glulam and CFRP-Enhanced Glulam Beams*, Journal of Compositers for Construction, Juni 10, pp 1-11.
- Li, H., Zhang, Q., Huang, D., Deeks, A. J., 2013, *Compressive Performance of Laminated Bamboo*, Composites : Part B 54, pp. 319-328.
- Li, H., Deeks, A. J., Zhang, Q., Wu, G., 2016, *Flexural Performance of Laminated Bamboo Lumber Beams*, *BioResources* 11(1), pp. 929 – 943.
- Morlier, P., dan Palka, L. C., 1994, *Basic Knowledge, Creep in Timber Structures*, Published by E & F Spon, London and New York.
- Morisco, 1999, *Rekayasa Bambu*, Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S., Sulistyono, D., 2014, *Determinant of Critical Distance of Bolt on Bamboo Connection*, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 69:6, pp. 111–115
- Ma, X., Wang, G., Jiang, Z., Xian, Y., Li, H., 2014, *Comparison of Bending Creep Behavior of Bamboo-Based Composites Manufactured by Two Types of Stacking Sequences*, *BioResources* 9 (3), pp. 5461-5472.
- Mulyanto, A. R., Syamsudin, H., Widagdo, D., 2015, *Mechanical Behavior Analysis of Apus Bamboo (Gygantochloa sp) Thin Plate Composite Due to Adhesive Joint and Water Absorption Using Experimental and Finite Element*, Advanced Material Research, Vol. 1125, pp. 89 – 93.
- Ma, X., Jiang, Z., Tong, L., Wang, G., Jeng, H., 2015, *Development of Creep Models for Glued Laminated Bamboo Using the Time-Temperature Superposition Principle*, Wood and Fiber Science, April, Vol. 47 (2), pp. 1-6.
- Ma, X., Liu, X., Jiang, Z., Fei, B., Wang, G., 2016, *Flexural Creep Behavior of Bamboo Culm (Phyllostachys pubescens) in Its Radial Direction*, Journal Wood Science.
- Nor Itang Setyo, H., Satyarno, I., Sulistyono, D., Prayitno, T. A., 2013, *Kuat Tekan dan Angka Poison Bambu Petung Laminasi*, Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7), 24-26 Oktober, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ni, L., Zhang, X., Liu, H., Sun, Z., Song, G., Yang, L., Jiang, Z., 2016, *Manufacture and Mechanical Properties of Glued Bamboo Laminates*, Glued Bamboo Lumber, *BioResources* 11(2), pp 4459 – 4471.
- Ounjaijom, T., dan Rangsi, W., 2016, *Numerical and Experimental Study of the Transverse Creep-Recovery Behavior of Bamboo Culm (Dendracalamus hamiltonii)*, Walailak Journal Science & Technology, 13(4), pp 615 – 629.
- Pecenko, R., Hozjan, T., Pazlar, T., Turk, G., 2012, *Experimental and Numerical Analysis of the Long Term Behavior of Glued Laminated Timber*, Proceeding of the Eighth

- International Conference on Engineering Computational Technology, B.H.V. Topping (Editor), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland.
- Ranta-Maunus, A., dan Kortessmaa, M., 2000, *Creep of Timber during Eight Years in Natural Environments*, World Conference on Timber Engineering, 31 July – 3 August, Whistler Resort, British Columbia, Canada.
- Soltis, L. A., Nelson, W., Hillis, J. L., 1989, *Creep of Structural Lumber*, Proceeding 3d Joint ASCE/ASME Mechanics Conference, Juli 9-12, San Diego, New York.
- Shen, Y., dan Gupta, R., 1997, *Evaluation of Creep Behavior of Structural Lumber in a Natural Environment*, Forest Product Journal, Vol. 47, No. 1, pp. 89-96.
- Sinha, A., Way, D., Mlasko, S., 2014, *Structural Performance of Glued Laminated Bamboo Beams*, Journal Structural Engineering, 19 January.
- Sharma, B., Gato, A., Bock, Mulligan, H., M., Ramage, M., 2014, *Engineered Bamboo : State of the Art*, Proceeding of the Institution of Civil Engineers, <http://dx.doi.org/10.1680/coma.14.00020>.
- Sharma, B., Gato, A., Bock, M., Ramage, M., 2015, *Engineered Bamboo for Structural Applications*, Construction and Building Material 81, pp. 66-73.
- Tsubaki, T., dan Nakano, T., 2010, *Creep Behavior of Bamboo under Various Desorption*, Holzforschung, Vol. 64, pp. 489-493.
- van der Lugt, P., van den Dobbelsteen, A. A. J. F., Janssen, J. J. A., *An Environmental, Economic and Practical Assessment of Bamboo as a Building Material for Supporting Structures*, Construction and Building Material xxx-xxxx.
- Verma, C. S., Sharma, N. K., Chariar, V. M., Maheshwari, S., Hada, M. K., 2014, *Comparative Study of Mechanical Properties of Bamboo Laminae and Their Laminates with Woods and Wood Based Composites*, Composites : Part B 60, pp. 523-530.
- Xiao, Y., Li, L., Yang, R. Z., 2014, *Long-Term Loading Behavior of a Full-Scale Glulam Bridge Model*, Journal of Bridge Engineering, 19(9).

LAMPIRAN IV

PENINGKATAN KAPASITAS

TAHUN 2020



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS MATARAM
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Jl. Pendidikan No.37 Mataram NTB,Tlp.(0370) 641552, 638265
Fax.(0370) 638265, e-mail: lppm@unram.ac.id

KONTRAK PENELITIAN
SUMBER DANA DIPA BLU SKEMA PENELITIAN PENINGKATAN KAPASITAS
UNIVERSITAS MATARAM
Tahun Anggaran 2020
Nomor: 2700/UN18.L1/PP/2020

Pada hari ini **Senin tanggal Empat bulan Mei tahun Dua Ribu Dua Puluh**, kami yang bertandatangan dibawah ini :

1 Muhamad Ali, Ph.D.	:	Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram , dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Mataram,berkedudukan di Jl Pendidikan No. 37 Mataram, untuk selanjutnya disebut PIHAK PERTAMA ;
2 Dr. Ngudiyono, ST., MT.	:	Dosen Fakultas TEKNIK Universitas Mataram dalam hal ini bertindak sebagai Ketua dan anggota Tim Peneliti sesuai Proposal dan SK Rektor Nomor: 3767/UN18/HK/2020 , untuk selanjutnya disebut PIHAK KEDUA .

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA, selanjutnya disebut PARA PIHAK secara bersama-sama telah sepakat untuk mengikatkan diri dalam suatu Kontrak Penelitian DIPA BLU (PNBP) Tahun Anggaran 2020 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

Pasal 1

RUANG LINGKUP KONTRAK DAN TIM PENELITI

- (1) PIHAK PERTAMA memberi pekerjaan kepada PIHAK KEDUA dan PIHAK KEDUA menerima pekerjaan dimaksud dari PIHAK PERTAMA, untuk melaksanakan dan menyelesaikan penelitian dengan judul "**Aplikasi Model Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Untuk Memprediksi Kuat Lekat Tulangan Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete)**".
- (2) Berdasarkan Proposal yang diajukan, nama-nama Tim Peneliti dari PIHAK KEDUA adalah sebagai Berikut
 - 1 Dr. Ngudiyono, ST., MT.
 - 2 I NYOMAN MERDANA, ST., MT.
 - 3 FATHMAH MAHMUD, ST., MT.
 - 4 Jauhar Fajrin, S.T., M.Sc Eng., Ph.D.
- (3) PIHAK KEDUA bertanggungjawab penuh atas seluruh pelaksanaan, pengadministrasian dan pengelolaan keuangan serta pelaksanaan kegiatan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1)

Pasal 2
DANA PENELITIAN

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah sebesar **Rp. 12.500.000** (dua belas juta lima ratus ribu rupiah) sudah termasuk pajak
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada DIPA 1 U Universitas Mataram Tahun Anggaran 2020.

Pasal 3
TATA CARA PEMBAYARAN DANA PENELITIAN

PIHAK PERTAMA akan membayarkan Dana Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) kepada PIHAK KEDUA secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:

- (1) Pembayaran Tahap Pertama sebesar 80% dari total dana penelitian yaitu $80\% \times \text{Rp. } 12.500.000 = \text{Rp. } 10.000.000$ (sepuluh juta rupiah), dibayarkan setelah Kontrak ditandatangani PARA PIHAK.
- (2) Pembayaran Tahap Kedua sebesar 20% dari total dana penelitian yaitu $20\% \times \text{Rp. } 12.500.000 = \text{Rp. } 2.500.000$ (dua juta lima ratus ribu rupiah), dibayarkan setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan akhir Pelaksanaan Penelitian beserta kelengkapan yang ditetapkan.

Pasal 4
JANGKA WAKTU

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah terhitung sejak Tanggal 4 Mei 2020 dan berakhir pada Tanggal 30 November 2020.

Pasal 5
TARGET LUARAN

- (1) PIHAK KEDUA wajib mencapai target luaran wajib dan luaran tambahan penelitian berupa:

No.	Jenis Luaran Penelitian
Luaran Wajib :	
a	Publikasi pada proceeding seminar nasional/Internasional.
b	
c	
Luaran Tambahan :	
a	TTG
b	

- (2) PIHAK KEDUA wajib melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada PIHAK PERTAMA

Pasal 6
HAK DAN KEWAJIBAN PARA PIHAK

- (1) Hak dan Kewajiban PIHAK PERTAMA
 - a PIHAK PERTAMA berhak mendapatkan luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 dari PIHAK KEDUA;
 - b PIHAK PERTAMA wajib memberikan dana penelitian kepada PIHAK KEDUA dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.

- (2) Hak dan Kewajiban PIHAK KEDUA:
- a PIHAK KEDUA berhak menerima dana penelitian dari PIHAK PERTAMA dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
 - b PIHAK KEDUA wajib menyerahkan Luaran Penelitian dan Buku Catatan Harian Penelitian kepada PIHAK PERTAMA;
 - c PIHAK KEDUA wajib bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
 - d PIHAK KEDUA wajib menyampaikan laporan penggunaan dana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 7 **LAPORAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

- (1) PIHAK KEDUA wajib menyampaikan kepada PIHAK PERTAMA laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh PIHAK PERTAMA yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh PIHAK PERTAMA;
- (2) PIHAK KEDUA wajib menyampaikan Laporan Akhir sebanyak 4 (empat) eksemplar paling lambat 30 November 2020, disertai dokumen-dokumen sebagai berikut:
 - a Bukti fisik luaran penelitian;
 - b Laporan penggunaan keuangan penelitian 100% 2 (dua) eksemplar (dijilid);
 - c Buku Catatan Harian Penelitian (BCHP) sebanyak 2 (dua) eksemplar (fotocopy) (dijilid); dan
 - d file elektronik (format "pdf" dan "doc") Laporan Tahunan/Akhir dan (butir a, b, dan c) di atas.

Pasal 8 **MONITORING DAN EVALUASI**

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2020.

Pasal 9 **SANKSI**

- (1) Apabila batas waktu berakhirnya masa penelitian ini PIHAK KEDUA belum menyerahkan hasil pekerjaan seluruhnya kepada PIHAK PERTAMA, maka PIHAK KEDUA dikenakan denda sebesar 1/1000 (satu permil) setiap hari keterlambatan sampai setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai Surat Perjanjian initerhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan (tanggal 30 November 2020).
- (2) Apabila PIHAK KEDUA tidak menyerahkan laporan hasil penelitian dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka sisa biaya yang bersangkutan, yang belum sempat dicairkan dinyatakan hangus dan dikembalikan ke BLU Universitas Mataram.
- (3) Dalam hal PIHAK KEDUA tidak dapat memenuhi Surat Perjanjian ini hingga tanggal 31 Desember 2020, maka PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan kembali dan PIHAK KEDUA dikenakan sanksi administratif berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian baik sebagai ketua maupun sebagai anggota dalam kurun waktu 2 (dua) tahun berturut-turut.

Pasal 10
PEMBATALAN PERJANJIAN

Apabila dikemudian hari terhadap judul Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau dilakukan oleh PIHAK KEDUA, maka perjanjian Penelitian ini dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada PIHAK PERTAMA yang selanjutnya akan disetor ke BLU Universitas Mataram.

Pasal 11
PAJAK-PAJAK

Segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA dan harus dibayarkan oleh PIHAK KEDUA ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku.

Pasal 12
PERALATAN DAN/ALAT HASIL PENELITIAN

Hasil Pelaksanaan Penelitian ini yang berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari pelaksanaan Penelitian ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada Universitas Mataram sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pasal 13
PENYELESAIAN SENGKETA

Apabila terjadi perselisihan antara PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila penyelesaian secara musyawarah dan mufakat tidak tercapai, maka penyelesaian dilakukan melalui jalur hukum, dengan memilih domisili hukum di Pengadilan Negeri Mataram.

Pasal 14
LAIN-LAIN

- (1) PIHAK KEDUA menjamin bahwa penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (2) Segala sesuatu yang belum diatur dalam Perjanjian ini dan jika dipandang perlu untuk diatur lebih lanjut, akan dilakukan perubahan oleh PARA PIHAK dalam bentuk perjanjian tambahan (adendum) yang akan menjadi satu kesatuan dan merupakan bagian tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA

LPPM Universitas Mataram

Ketua,



Muhamad Ali, Ph.D.

NIP. 19720727 199903 1 002

PIHAK KEDUA

Tim Pelaksana Penelitian

Ketua,



Dr. Ngudiyono, ST., MT.

NIP. "197405051999031003

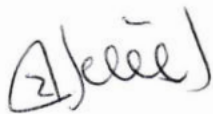
Anggota 1,



1 **I NYOMAN MERDANA, ST., MT.**

NIP. "196809131997031001

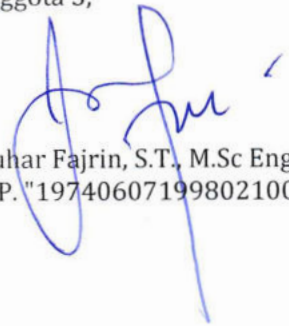
Anggota 2,



2 **FATHMAH MAHMUD, ST., MT.**

NIP. "197111092000122001

Anggota 3,



3 **Jauhar Fajrin, S.T., M.Sc Eng., Ph.D.**

NIP. "197406071998021001

**PENELITIAN
PENINGKATAN KAPASITAS**

**LAPORAN HASIL
PENELITIAN INTERNAL UNIVERSITAS MATARAM**



Judul Penelitian

**APLIKASI MODEL *ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS)
UNTUK MEMPREDIKSI KUAT LEKAT TULANGAN BETON MEMADAT
SENDIRI (*SELF COMPACTING CONCRETE*)**

Oleh:

**Dr. Ngudiyono, ST., MT. (Ketua)
NIDN: 0005057406**

**I Nyoman Merdana, ST., MT. (Anggota 1)
NIDN: 0013096802**

**Fathmah Mahmud, ST., MT. (Anggota 2)
NIDN: 0009117105**

**Jauhar Fajrin, ST., M.Sc (Eng)., Ph.D. (Anggota 3)
NIDN: 0007067405**

Dibiayai dari Sumber Dana DIPA BLU (PNBP) Universitas Mataram
Tahun Anggaran 2020
Kontrak Penelitian: No 2700/UN.18.L1/2020

KELOMPOK PENELITI BIDANG ILMU

TEKNOLOGI AUDIT DAN REHABILITASI STRUKTUR GEDUNG

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK**

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS MATARAM
TAHUN 2020**

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN HASIL PENELITIAN PENINGKATAN KAPASITAS**

1	Judul Penelitian	:	Aplikasi Model <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i> (ANFIS) Untuk Memprediksi Kuat Lekat Tulangan Beton Memadat Sendiri (<i>Self Compacting Concrete</i>)
2	Topik Unggulan	:	Infrastruktur, Transportasi dan Teknologi Informasi
3	Kelompok Peneliti Bidang Ilmu	:	Teknologi Audit Dan Rehabilitasi Struktur Gedung
4	Ketua Peneliti a. Nama Lengkap b. NIP/NIDN c. Jabatan fungsional d. Fakultas e. Alamat Institusi f. Telepon/Faks/e-mail	:	Dr. Ngudiyono, ST., MT. 197405051999031003/0005057406 Lektor Kepala Teknik Sipil / Fakultas Teknik Jl.Majapahit No 62 Mataram
5	Anggota Peneliti	:	1. I Nyoman Merdana, ST., MT. 2. Fathmah Mahmud, ST., MT. 3. Jauhar Fajrin, ST., M.Sc (Eng)., Ph.D.
6	Mahasiswa yang terlibat	:	1 Orang
7	Waktu Penelitian	:	6 Bulan
8	Luaran Wajib	:	• Publikasi pada proceeding seminar nasional/Internasional
9	Luaran Tambahan	:	• Teknologi Tepat Guna
10	Pembiayaan a. PNPB UNRAM b. Biaya dari Instansi lain c. Biaya dari peneliti sendiri	:	Rp. 12.500.000,- Rp. 0 Rp. 0

Mataram, 30-12-2020

Mengetahui,
Ketua Kelompok Peneliti Bidang Ilmu



Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197608042000032001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Akmaluddin, ST., MSc(Eng)., Ph.D.
NIP. 196812311994121001

Ketua Peneliti




Dr. Ngudiyono, ST., MT.
NIP. 197405051999031003

Mengetahui:
Ketua BP3F



Dr. Nur Kaliwantoro, ST., MT.
NIP. 197210061999031002

Mengetahui
Ketua LPPM UNRAM



Muhamad Ali, S.Pt., M.Si., Ph.D.
NIP. 197207271999031002

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
DAFTAR ISI	ii
ABSTRAK	iv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah	2
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
D. Urgensi	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Beton Memadat Sendiri (<i>Self Compacting Concrete</i>)	4
B. Aplikasi Kecerdasan Buatan (<i>Artificial Intelligence</i>) dibidang teknik sipil	5
C. <i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i> (ANFIS)	6
D. Pemodelan <i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i> (ANFIS) Toolbox Matlab 7	
E. Uji Keandalan Model <i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i> (ANFIS)	8
BAB III. METODE PENELITIAN	9
A. <i>Flowchart</i> Penelitian	9
9	
B. Bahan Penelitian	10
C. Alat Penelitian	10
F. Model <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i> (ANFIS)	17
1. Pengumpulan Data	17
2. Proses Penyusunan Data.....	17
3. Penentuan Fungsi Keanggotaan (<i>Membership Function</i>)	17
4. Penentuan Aturan IF THEN (<i>Rule IF THEN</i>)	17
5. Model Arsitek (Struktur) Neuron ANFIS	17
6. Penentuan Metode Pembelajaran.....	18
7. Penentuan Toleransi <i>Error</i> dan Jumlah Iterasi (<i>Epoch</i>).....	18
8. Uji Keandalan Model ANFIS	18

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
A. <i>Filling</i> dan <i>Passing Ability</i> Beton Segar	19
B. Kuat Tekan ($f'c$)	19
C. Kuat Lekat (τ)	19
D. Perbandingan Hasil Ekperimental dengan Model Empiris	21
E. Model ANFIS	22
1. Pengumpulan data	22
2. Fungsi Keanggotaan (<i>Membership Function</i>)	25
3. Model Arsitek (Struktur) Neuron ANFIS	28
4. Aturan IF THEN (Rule IF THEN)	29
5. Perbandingan hasil ekperimental dengan model ANFIS	29
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	32
A. Kesimpulan	32
B. Saran	32
REFERENSI	33

ABSTRAK

Penggunaan beton konvensional pada bagian struktur dengan jarak tulangan yang rapat, hasil pengecoran menjadi kurang sempurna, beton menjadi keropos, banyak berongga sehingga menyebabkan kuat lekat tulangan beton menjadi menurun. Salah cara agar hasil pengecoran menjadi baik adalah dengan menggunakan material beton yang mampu memadat sendiri (*Self Compacting Concrete* atau SCC) dengan harapan kuat lekat tulangan menjadi lebih baik.

Pengujian eksperimen dengan metode *Pull Out* dilakukan untuk mengetahui kuat lekat tulangan baja dengan SCC. Selanjutnya dikembangkan model *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan menggunakan data hasil eksperimen dan hasil penelitian sebelumnya dibangun model arsitek (struktur) ANFIS agar dapat digunakan untuk memprediksi kuat lekat tulangan baja dengan SCC.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kuat lekat tulangan ulir dengan beton memadat sendiri (SCC) lebih baik dibandingkan dengan tulangan polos. Kuat lekat tulangan polos rata-rata antara 4.94 MPa – 5.98 MPa, sedangkan tulangan ulir rata-rata antara 15.28 Mpa – 19.78 MPa. Hasil pengembangan model empiris menjadi model ANFIS menunjukkan tingkat akurasi cukup baik, dimana koefisien korelasi (R^2) mencapai nilai 0.71 – 0.98.

Kata Kunci : Beton memadat sendiri (*self compacting concrete*), kuat lekat, kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS)

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam struktur beton bertulang, kekuatan lekatan antara tulangan baja dan beton sama pentingnya dengan kuat tekan beton. Lekatan antara tulangan baja dan beton adalah salah faktor penting yang mempengaruhi perilaku elemen beton bertulang terutama pada saat mengalami keretakan. Lebar retak dan lendutan sangat dipengaruhi oleh distribusi tegangan lekat sepanjang tulangan dan slip antara tulangan baja dan beton disekitarnya (Desnerck *et al.*, 2010). Kuat lekat antara tulangan dan beton dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah tebal selimut beton, diameter nominal tulangan, panjang penyaluran, tulangan geser, kuat tekan beton, luasan relatif rib (El-Hacha *et al.*, 2006; McGregor, 1997).

Seiring dengan perkembangan teknologi beton, pada tahun 1980-an peneliti Jepang telah memperkenalkan beton yang mampu memadat sendiri (*Self Compacting Concrete* atau SCC) dengan menghasilkan suatu prototype yang cukup sukses pada tahun 1988. SCC adalah suatu beton yang ketika masih berbentuk beton segar mampu mengalir melalui tulangan dan memenuhi seluruh ruang yang ada di dalam cetakan secara padat tanpa adanya bantuan pemadatan manual atau getaran mekanik (Okamura dan Ouchi, 2003). Keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan SCC adalah mengurangi lamanya konstruksi dan besarnya upah pekerja, pemadatan dan penggetaran beton yang dimaksudkan untuk memperoleh tingkat kepadatan optimum dapat dieliminir, mengurangi kebisingan yang dapat mengganggu lingkungan disekitarnya, meningkatkan kepadatan elemen struktur beton pada bagian yang sulit dijangkau dengan alat pemadat dan meningkatkan kualitas struktur beton secara keseluruhan.

Kuat lekat tulangan baja dan SCC menunjukkan perilaku yang lebih baik, bahkan pada beberapa kasus lebih tinggi daripada daripada beton konvensional (beton dengan pemadatan vibrator). Hal ini disebabkan karena meningkatnya meningkatkan kelecakan dan daya alir beton segar sehingga beton dapat menyelimuti permukaan tulangan secara sempurna (El-Hacha *et al.*, 2006; De Almeida Filho *et al.*, 2008). Pengembangan formula empiris untuk memprediksi kuat lekat pada SCC juga dilakukan oleh Aslani dan Nejadi (2012), dimana formula baru yang diusulkan masih dibawah perkiraan (*under estimate*) dari hasil aktual atau eksperimen, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kuat lekat tulangan baja dan SCC.

Perkembangan *soft computing* terutama dalam bidang kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), memungkinkan mesin komputer mampu menyelesaikan permasalahan seperti

yang dilakukan oleh manusia (Widodo dan Handayanto, 2012). Beberapa kecerdasan buatan yang sudah diaplikasikan dibidang teknik sipil adalah jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network/ANN*), logika samar (*Fuzzy Logic/FL*) dan gabungan antar ANN dan FL yang disebut dengan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*.

Penelitian pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dengan metode ANN untuk memprediksi tegangan lekat tulangan pada beton konvensional telah dilakukan Makni *et al.* (2013), hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki korelasi yang baik dengan model ANN. Selain itu jika dibanding dengan formula empiris yang sudah ada model ANN memiliki akurasi yang baik. Golafshani *et al.* (2012), juga menyatakan bahwa metode ANN dan FL efektif untuk memprediksi kuat lekat pada beton konvensional. Namun demikian penggunaan metode ANN memiliki beberapa kelemahan yakni dibutuhkan iterasi yang banyak dalam proses *training* untuk memproses *neural network* yang besar, sehingga terkadang hasil yang diperoleh menjadi kurang akurat. Sedangkan kelemahan pada metode *fuzzy logic* (FL) diperlukan suatu metode optimasi yaitu dengan cara coba-coba (*trial and error*) dalam menentukan fungsi keanggotaannya untuk memperoleh fungsi keanggotaan yang optimal. Oleh karena dengan menggabungkan metode ANN dan FL yaitu menjadi metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dimana fungsi keanggotaan dan *rule* (IF THEN) dapat ditentukan dari data masukan secara otomatis melalui proses pembelajaran, sehingga model ini diharapkan dapat mengurangi kelemahan dari masing-masing metode, agar prediksi yang dihasilkan akan menjadi lebih akurat. Pada penelitian ini metode ANFIS telah digunakan untuk memprediksi tegangan lekat pada SCC.

B. Perumusan Masalah

Mengingat beberapa faktor yang mempengaruhi tegangan lekat pada SCC yaitu, bentuk (polos dan ulir) dan diameter tulangan, panjang penyaluran, kuat tekan beton, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Sejauh mana pengaruh bentuk (polos dan ulir) dan diameter tulangan, panjang penyaluran, kuat tekan beton terhadap kuat lekat SCC?
2. Sejauh mana tingkat keakuratan dan efektifitas pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dengan metode ANFIS untuk memprediksi kuat lekat pada SCC.

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh bentuk (polos dan ulir) dan diameter nominal tulangan, panjang penyaluran, kuat tekan beton terhadap kuat lekat SCC.
2. Untuk mengetahui tingkat keakuratan dan efektifitas pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dengan metode ANFIS untuk memprediksi kuat lekat pada SCC.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah

1. Beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete* atau SCC) dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk konstruksi beton yang menggunakan jarak tulangan rapat.
2. Sebagai bahan informasi bagi kalangan akademisi, praktisi dan masyarakat tentang kinerja beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete* atau SCC), sebagai bahan alternatif pengganti beton konvensional (beton normal).

D. Urgensi

Sebagian besar kepulauan Indonesia, merupakan daerah rawan bencana gempa bumi, kecuali wilayah Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah. Untuk menghasilkan struktur yang tahan terhadap gempa, peraturan ACI dan SNI mensyaratkan agar elemen struktur bangunan harus dapat berperilaku duktail, sebagai contoh pada joints balok kolom harus diperkuat dengan tulangan pengekang yang cukup dan detail yang cermat, sehingga jarak tulangan menjadi rapat. Penggunaan beton konvensional pada bagian joints balok kolom, hasil pengecoran menjadi kurang sempurna, beton menjadi keropos, banyak berongga sehingga menyebabkan kuat lekat tulangan beton menjadi kecil. Salah cara agar hasil pengecoran pada daerah elemen struktur yang jarak tulangan menjadi baik adalah dengan menggunakan material beton yang mudah pelaksanaan dan mampu memadat sendiri (*Self Compacting Concrete* atau SCC), dengan harapan kuat lekat menjadi lebih baik. Mengingat kuat lekat SCC merupakan salah faktor penting yang mempengaruhi perilaku elemen beton bertulang terutama pada saat mengalami keretakan, maka penelitian ini sangat urgen untuk dilakukan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*)

Beton memadat sendiri (*self compacting concrete*) adalah suatu beton yang ketika masih berbentuk beton segar mampu mengalir melalui tulangan dan memenuhi seluruh ruang yang ada di dalam cetakan secara padat tanpa adanya bantuan pemadatan manual atau getaran mekanik menggunakan vibrator. *Self Compacting Concrete* (SCC) pertama kali ditemukan peneliti Jepang tahun 1980-an dengan menghasilkan suatu prototype yang cukup sukses pada tahun 1988 (Okamura dan Ouchi, 2003). Keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan SCC adalah mengurangi lamanya konstruksi dan besarnya upah pekerja, pemadatan dan penggetaran beton yang dimaksudkan untuk memperoleh tingkat kepadatan optimum dapat dieliminir, mengurangi kebisingan yang dapat mengganggu lingkungan disekitarnya, meningkatkan kepadatan elemen struktur beton pada bagian yang sulit dijangkau dengan alat pematat dan meningkatkan kualitas struktur beton secara keseluruhan.

Agar elemen beton bertulang dapat berperilaku yang baik sebagai bahan komposit, maka pada tulangan baja dan beton perlu diusahakan supaya terjadi penyaluran gaya yang baik. Untuk menjamin hal tersebut maka diperlukan adanya lekatan yang baik antara tulangan baja beton. Tegangan lekat antara tulangan baja dan beton dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah tebal selimut beton, diameter nominal tulangan, panjang penyaluran, tulangan geser, kuat tekan beton, luasan relatif rib (El-Hacha *et al.*, 2006).

Kuat lekat tulangan baja dengan SCC menunjukkan perilaku yang lebih baik, bahkan pada beberapa kasus lebih tinggi daripada daripada beton konvensional (beton dengan pemadatan vibrator). Hal ini disebabkan karena meningkatnya meningkatkan kelecakan dan daya alir beton segar sehingga beton dapat menyelimuti permukaan tulangan secara sempurna (El-Hacha *et al.*, 2006; Almeida Filho *et al.*, 2008; Aslani dan Nejadi, 2012).

Desnerck *et al.* (2010) juga menambahkan bahwa ukuran diameter tulangan berpengaruh pada kuat lekat, dimana untuk diameter kecil peningkatannya sedikit lebih tinggi daripada beton konvensional dan untuk diameter tulangan yang lebih besar perbedaannya menjadi lebih kecil. Pengembangan formula empiris untuk memprediksi kuat lekat pada SCC juga dilakukan oleh Desnerck *et al.* (2010) dimana formula baru yang diusulkan masih dibawah perkiraan (*under-estimate*) dari hasil aktual atau eksperimen.

B. Aplikasi Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) dibidang teknik sipil

Seiring dengan perkembangan teknologi komputer di bidang *soft computing* terutama dalam bidang kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), memungkinkan mesin komputer mampu menyelesaikan permasalahan seperti yang dilakukan oleh manusia. Beberapa kecerdasan buatan yang sudah diaplikasikan dibidang teknik sipil adalah jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network/ANN*), logika samar (*Fuzzy Logic/FL*) dan gabungan antar ANN dan FL yang disebut dengan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*.

Kohoutkova *et al.* (2010), menggunakan model fuzzy logic (FL) untuk memprediksi kurva tegangan regangan beton fiber. Model FL juga digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton SCC (Paratibha dan Yogesh (2011), sedangkan Raheman dan Modani (2013) menggunakan model ANN untuk memprediksi kuat tekan beton SCC. Kemudian Khan *et al.* (2013) menggunakan model ANN untuk memprediksi kuat tekan beton yang dikekang dengan *ferrocement*. Lebih lanjut Neshat *et al.* (2011) menmanfaatkan model ANFIS dan FL untuk membuat mix desain beton. Kemudian Amani dan Moeini (2012) dan Mohammadhassani *et al.* (2013) juga menggunakan model ANFIS dan FL untuk memprediksi kuat geser balok beton bertulang dan lendutan balok tinggi.

Pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk memprediksi kuat lekat telah dilakukan oleh Makni *et al.* (2013) yaitu dengan menggunakan model ANN untuk memprediksi perilaku lekatan tulangan dan beton konvensional. Sebuah model ANN dikembangkan dengan menggunakan 117 data hasil pengujian uji pull-out. Data yang digunakan sebagai masukan (*input*) ada 4 yaitu kuat tekan, tebal selimut beton, panjang penanaman tulangan, dan luas relatif rib. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model ANN sangat layak digunakan sebagai alat untuk memprediksi kuat lekat tulangan pada beton. Golafshani *et al.*, (2012) juga menunjukkan bahwa metode ANN dan FL sangat efektif untuk memprediksi kuat lekat pada beton konvensional.

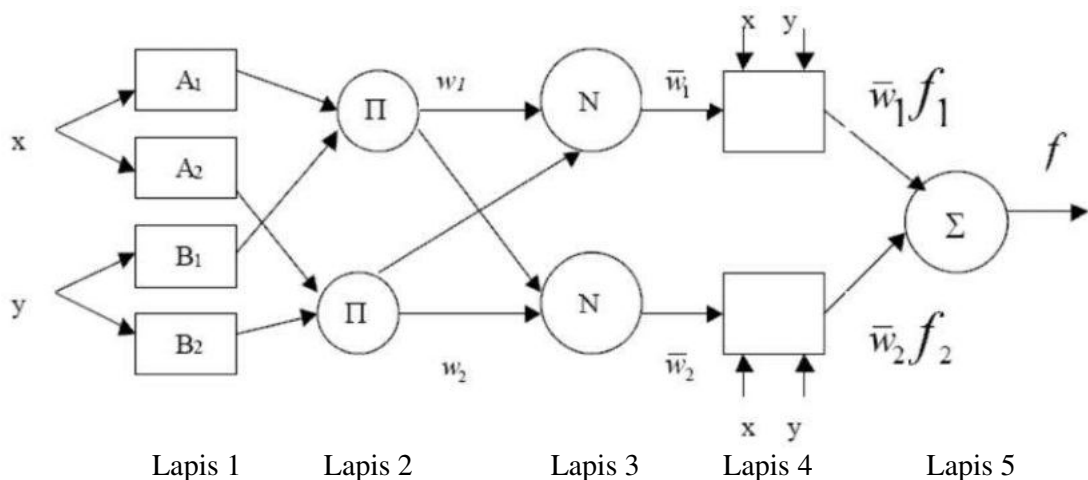
Aslani dan Nejadi (2012) telah mengembangkan formulasi atau model empiris kuat lekat (τ) tulangan baja dengan beton memadat sendiri (SCC) yang melibatkan variabel kuat tekan (f'_c), diameter tulangan (d_b), Panjang penyaluran (l_d) dan selimut beton (c) untuk polos dan ulir. Kuat lekat (τ) tulangan polos dan ulir dengan SCC berturut-turut disajikan pada persamaan (2.1) dan (2.2) dibawah ini.

$$\tau = \left(0.7 \left(\frac{c}{d_b} \right)^{0.6} + 5 \left(\frac{d_b}{l_d} \right) \right) (f'_c)^{0.2} \quad (2.1)$$

$$\tau = \left(0.672 \left(\frac{c}{d_b} \right)^{0.6} + 4.8 \left(\frac{d_b}{l_d} \right) \right) (f'_c)^{0.5} \quad (2.2)$$

C. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) pertama kali diperkenalkan oleh Jang (1993), merupakan kombinasi dari *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Fuzzy Inference System* (FIS) menggunakan model Takagi dan Sugeno. Dengan menggunakan suatu prosedur *hybrid learning* (gabungan metode *Backward-Propagation Gradient Descent* (BPGD) dan *Least-Squares Estimator* (LSE), ANFIS dapat membangun suatu mapping input-output yang keduanya berdasarkan pada pengetahuan manusia dengan aturan *fuzzy IF-THEN* dengan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang tepat. Struktur dasar ANFIS ditunjukkan pada Gambar 2.1;



Gambar 2.1. Struktur dasar ANFIS (Jang, 1993)

Dalam sistem ANFIS terdiri dari lima lapisan jaringan yang menggambarkan jaringan syaraf berlapis-lapis dan memiliki fungsi yang berbeda tiap lapisnya. Tiap lapis terdiri dari beberapa simpul yang dilambangkan dengan kotak atau lingkaran. Lambang kotak menyatakan simpul adaptif artinya nilai parameternya bisa berubah dengan pembelajaran dan lambang lingkaran menyatakan simpul nonadaptif yang nilainya tetap. Fungsi dan persamaan masing-masing lapisannya dijelaskan sebagai berikut:

Lapisan 1: Lapisan Fuzzyfikasi

Berfungsi untuk membangkitkan derajat keanggotaan. Layer ini disebut layer input. Simpul dari layer ini akan terhubung dengan nilai keanggotaan fuzzy

$$O_{1,i} = \mu_A(x) \text{ untuk } i=1,2 \text{ dan}$$

$$O_{1,i} = \mu_B(y) \text{ untuk } i=3,4 \tag{2.2}$$

Dengan x dan y adalah input bagi simpul ke i .

Lapisan 2: Lapisan Produk

Tiap output simpul menyatakan derajat pengaktifan (*firing strength*) tiap aturan *fuzzy*. Fungsi ini dapat diperluas apabila bagian premise memiliki lebih dari dua himpunan *fuzzy*. Banyaknya simpul pada lapisan ini menunjukkan banyaknya aturan yang dibentuk.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_A(x)\mu_B(y), \text{ untuk } i = 1,2 \quad (2.3)$$

Lapisan 3: Lapisan Normalisasi

Menormalkan *firing strength*. Lapisan setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nnadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*) yaitu rasio output simpul ke-i pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh output lapisan sebelumnya, dengan bentuk fungsi simpul:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2}, \text{ untuk } i = 1,2 \quad (2.4)$$

Lapisan 4: Lapisan Defuzzyfikasi

Menghitung output kaidah berdasarkan parameter *consequent* (p_i , q_i , dan r_i)

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.5)$$

Lapisan 5: Lapisan Total Output

Menghitung sinyal output ANFIS dengan menjumlahkan semua sinyal yang masuk.

$$O_{4,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.6)$$

D. Pemodelan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) Toolbox Matlab

Secara umum proses pemodelan ANFIS terbagi menjadi tiga bagian, yaitu proses *training*, *testing*, *checking*. Prinsip dari proses *training* adalah melakukan pembelajaran terhadap data agar diperoleh hasil sesuai dengan target pada data tersebut. Sedangkan proses *testing* adalah proses pengujian ketelitian dari model yang telah diperoleh dari proses *training*. Beberapa langkah dasar dalam membentuk pemodelan ANFIS adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data

Pengumpulan data harus sudah dilakukan sebelum membuat pemodelan. Data yang diperoleh kemudian dikelompokkan menjadi data yang akan menjadi *input* dan *output*. Setelah itu, data tersebut dibagi 80% untuk proses *training* dan masingmasing 20% untuk proses *testing*.

2. Load data

Memasukkan data yang akan diproses dan diplot.

3. Membership Function

Setelah data diplot, memasukkan jumlah dan tipe fungsi keanggotaan. Dimana jumlah fungsi keanggotaan adalah angka parameter dengan batasan minimal 2 dan tipe fungsi keanggotaan adalah jenis grafik yang diinginkan.

4. *Error tolerance dan Epochs*

Memasukkan jumlah toleransi error yang dibutuhkan dan jumlah berapa kali iterasi yang diinginkan (nilai *epochs*).

5. *Training*

Setelah semua kolom diisi, diperiksa terlebih dahulu struktur yang telah dibuat oleh ANFIS. Jika sudah sesuai, jaringan siap untuk ditraining.

6. *Testing*

Ketika *training* jaringan sudah komplit, dilakukan *testing* untuk mengecek performa jaringan dan menentukan apakah perlu dilakukan proses *training* lagi.

7. **Menggunakan ANFIS**

Setelah *testing* permodelan ANFIS bisa digunakan untuk mencari hasil output dari nilai yang berbeda.

E. Uji Keandalan Model *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Untuk mengetahui keandalan yaitu tingkat keakuratan model ANFIS yaitu dengan menghitung nilai error dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan koefisien korelasi R^2 dengan rumus dibawah ini :

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - y_i)^2}{n}} \quad (2.6)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}} \quad (2.7)$$

dengan :

t_i = data ke i hasil ekperimen

y_i = data ke i hasil analisis dengan model ANFIS

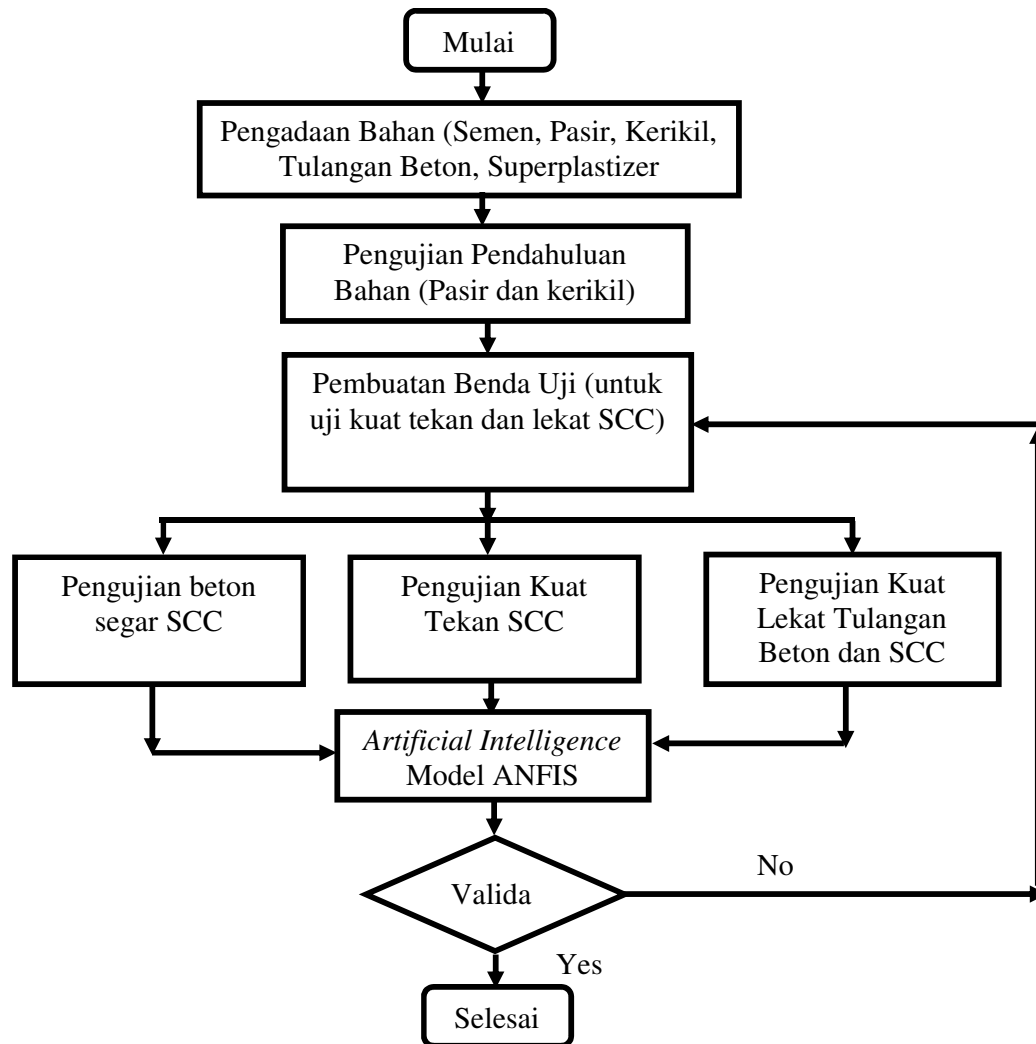
\bar{t} = rata-rata data hasil ekperimen

n = jumlah data

BAB III. METODE PENELITIAN

A. Flowchart Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Mataram (FT UNRAM), secara ringkas disajikan dalam bagan alir (*flowchart*) sebagai berikut ini :



Gambar 3.1. Flowchart Penelitian

B. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. *Portland Composite Cement* (PCC) merk Tiga Roda;
2. Agregat Halus (pasir) berasal dari daerah Selagalas dengan gradasi baik;
3. Agregat Kasar (batu pecah) berasal dari daerah Selagalas dengan ukuran maksimum 20 mm;
4. Air berasal dari instalasi air bersih Laboratorium Struktur dan Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram;
5. *Superplasticizer* merk Sika Viscocrete 3115N;
6. Tulangan baja diameter 10 mm, 12 mm, 16 mm polos dan ulir.

C. Alat Penelitian

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Ayakan atau saringan agregat, untuk analisa gradasi agregat halus dan kasar;
2. Molen untuk mengaduk campuran adukan beton;
3. Slump test apparatus dan pelat datar (*Slump flow test*) untuk menguji *filling ability*;
4. L-Box untuk menguji *passing ability*;
5. Compression Testing Machine (CTM), untuk menguji kuat tekan beton;
6. Universal Testing Machine (UTM), untuk menguji kuat lekat dengan *Pull Out Test*;
7. LVDT untuk mengukur slip yang terjadi;
8. Data Logger untuk merekam data slip yang terjadi;
9. Peralatan penunjang lainnya seperti oven, piknometer, gelas ukur, jangka sorong, meteran, cetakan benda uji, frame tranfer beban dan lain-lain.

D. Rancangan Proporsi Campuran (*Mix Design*) SCC

Rancangan proporsi campuran (*mix design*) beton memadat sendiri (SCC) mengacu pada EFNARC (2005), dengan batasan seperti yang disajikan pada Tabel 3.1. Secara ringkas prosedur *mix design* disajikan pada Gambar 3.1. Hasil *mix design* disajikan pada Tabel 3.3, selanjutnya dilakukan *trial mix* dan *filling* dan *passing ability* beton segar harus memenuhi persyaratan EFNARC (2005) disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Acuan *mix design* SCC berdasarkan EFNARC (2005).

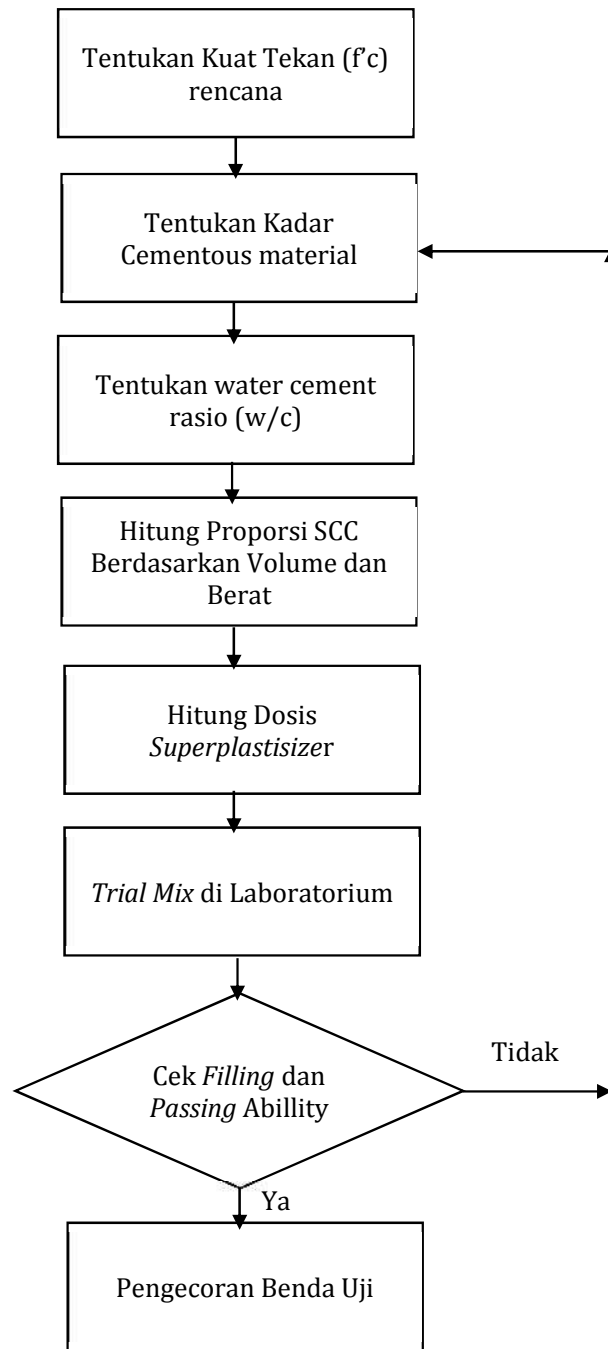
Parameter	Satuan	Nilai
Powder (Semen+filler) per m ³	kg	380 - 600
Prosentase agregat terhadap volume	%	28 - 35
Air per m ³	liter	150 - 210
Rasio Air terhadap powder dengan volume	-	0,8 – 1.1
Agregat kasar per m ³	kg	750 - 1000
Prosentase agregat halus terhadap total agregat	%	48 – 55
Superplastisizer dari powder (Semen+filler)	%	1 – 1,5
Ukuran agregat kasar	mm	< 20

Tabel 3.2. Kriteria beton segar SCC berdasarkan EFNARC (2005).

Metode pengujian	Satuan	Nilai	
		Min	Maks
Slump flow (kerucut Abrams)	mm	650	800
T _{50cm} Slump flow	detik	2	5
L-box (h2/h1)	-	0,8	1

Tabel 3.3. Proporsi campuran SCC per 1 m³.

Material	Satuan	Nilai
Semen	kg	550
Pasir	kg	770,96
Kerikil	kg	907,27
Air	liter	197,99
<i>Superplasticizer</i> (Viscocrete 3115N)	kg	7,15

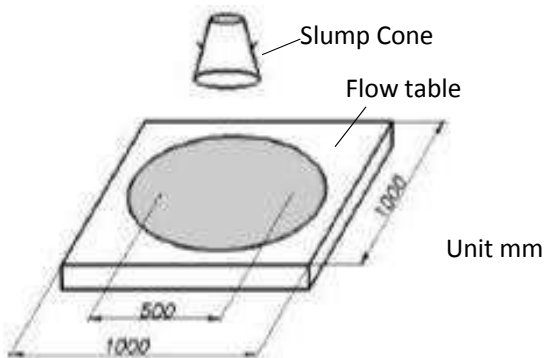


Gambar 3.1. Prosedur *Mix Design*

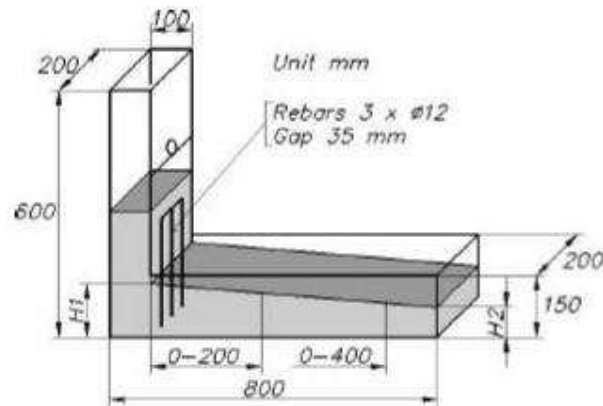
E. Pelaksanaan Penelitian Ekperimental

1. Pengujian Beton Segar

Untuk mengetahui kemampuan beton segar SCC mengalir (*filling ability*) maka pada penelitian ini dilakukan pengujian slump flow dengan menggunakan alat kerucut Abrams (Gambar 3.2). Kemampuan mengalir beton ditunjukkan waktu yang dibutuhkan beton segar mencapai diameter 500 mm (T_{50cm}) dan diameter aliran maksimum. Sedangkan untuk mengetahui kemampuan beton segar SCC menerobos (melewati) sela-sela tulangan (*passing ability*) digunakan pengujian dengan metode L-box (Gambar 3.3). Nilai *passing ability* ditunjukkan dengan perbandingan ketinggian beton segar di bagian hilir (h_2) dengan bagian hulu (h_1) atau h_2/h_1 .



Gambar 3.2. Uji Slump flow (EFNARC ,2005)

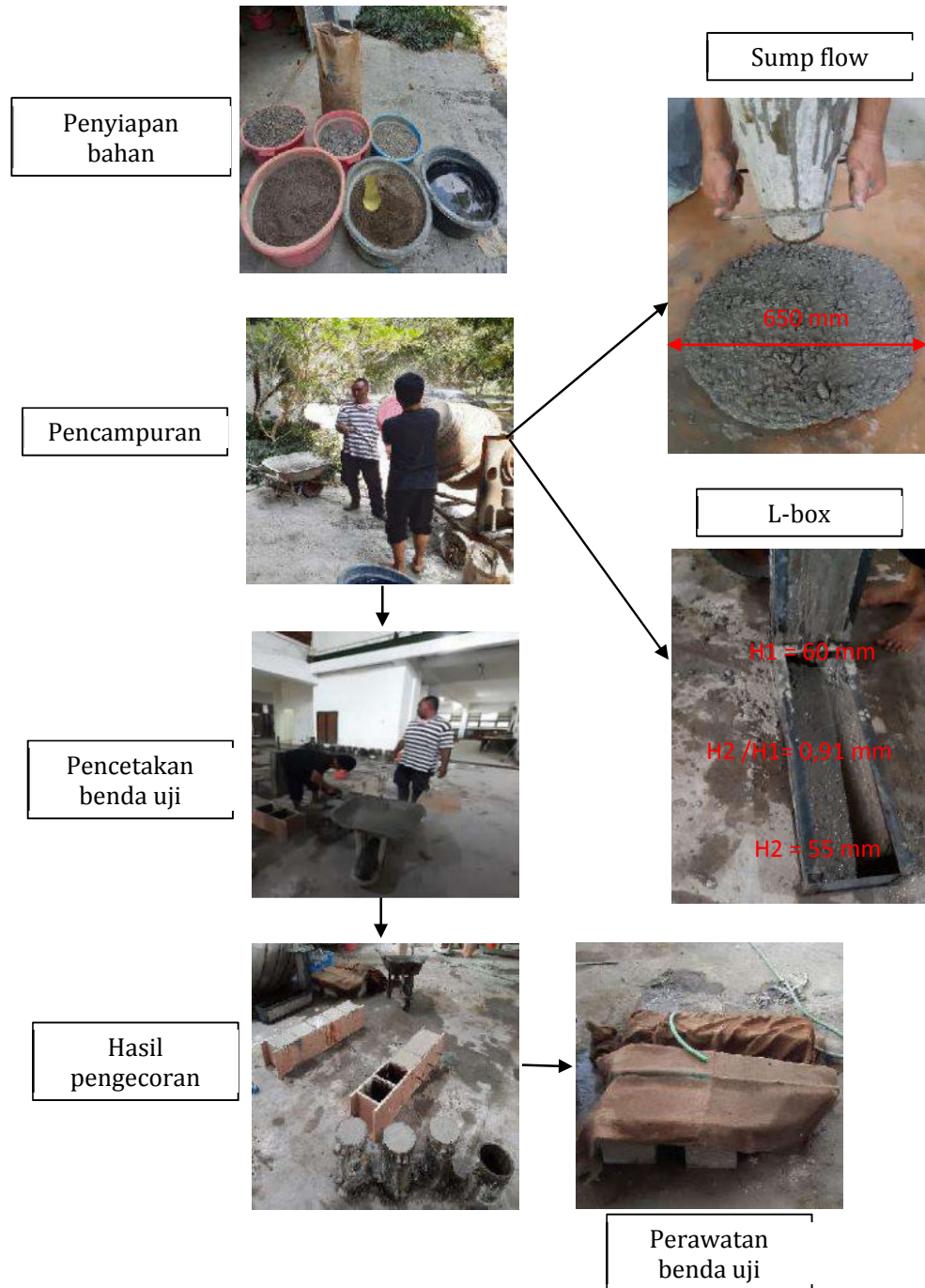


Gambar 3.3. Uji L-box (EFNARC ,2005)

2. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan mencampurkan dan mengaduk bahan penyusun (semen, pasir, kerikil, air, *Superplasticizer* merk Sika Viscocrete 3115N) sesuai dengan *mix design*, dengan *concrete mixer* (molen). Proses penuangan beton segar ke

cetakan benda uji (kubus 200 mm x 200 mm x 200 mm dan silinder 150 mm x 300 mm) dilakukan setelah *filling* dan *passing ability* beton segar memenuhi persyaratan EFNARC (2005), lihat Tabel 2. Proses pembuatan benda uji ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Proses pembuatan benda uji

3. Pengujian Kuat Tekan

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui kuat tekan SCC. Pengujian dilakukan setelah beton minimum mencapai umur 28 hari, dengan mengacu pada standar ASTM C39. Benda uji silinder yang telah di capping diletakkan pada alat *Compression Testing Machine*, selanjutnya pembebanan diberikan hingga mencapai beban maksimum, dengan kecepatan 0,13 sampai dengan 0,34 MPa/detik. Kuat tekan (f'_c) dihitung dengan persamaan (3.1).

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

dengan:

f'_c : kuat tekan (MPa)

P : beban maksimum (N)

A : luas penampang silinder : $0,25 \times \pi \times 150^2 = 17662.5 \text{ mm}^2$

4. Pengujian Kuat Lekat

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kuat lekat tulangan baja diameter 10, 12, 16 (polos dan ulir) dengan SCC. Pengujian dilakukan setelah SCC mencapai umur minimum 28 hari. Metode pengujian pull out dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Detail benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.5. (a), sedangkan *setting* pengujian *pull out* ditunjukkan pada Gambar 3.5. (b), dan kuat lekat tulangan baja dan SCC dihitung dengan persamaan (3.2).

$$\tau = \frac{F}{\pi d_b L_d} \quad (3.2)$$

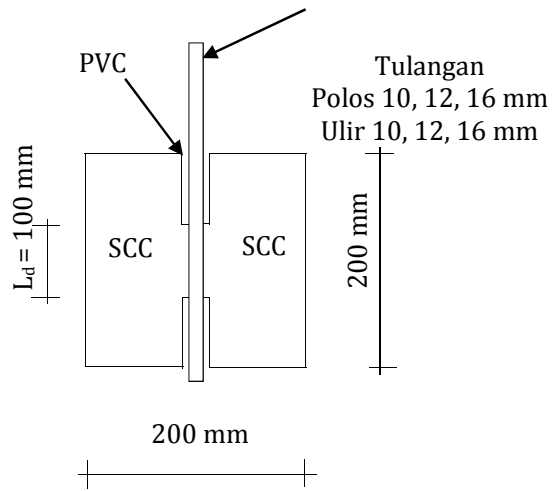
dengan :

τ : kuat lekat (MPa)

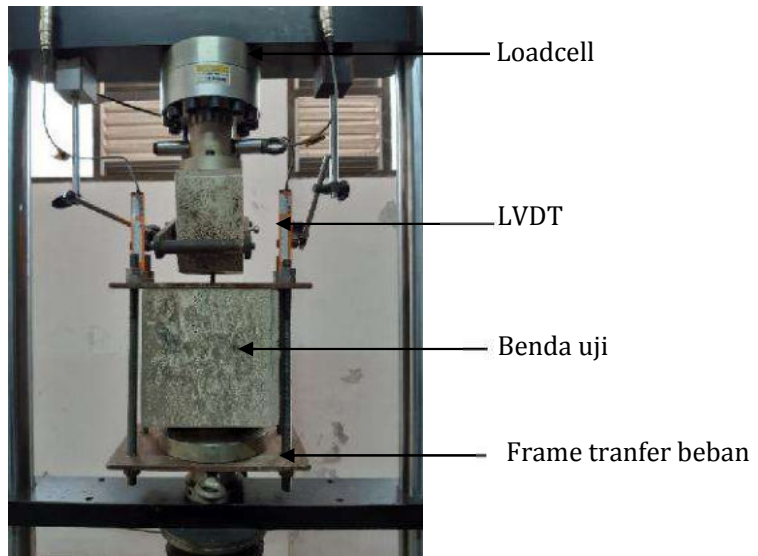
F : gaya tarik/cabut (N)

d_b : diameter tulangan (mm)

L_d : panjang penyaluran (mm)



(a)



(b)

Gambar 3.5. (a) Detail benda uji (b) Uji *Pull out*

F. Model Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

1. Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan untuk membangun model ANFIS adalah data dari penelitian sebelumnya dan hasil pengujian kuat lekat ekperimental di Laboratorium Bahan dan Struktur (FT UNRAM). Data ini 80% akan digunakan untuk proses pembelajaran (*leaning*) dan 20% untuk proses testing.

2. Proses Penyusunan Data

Proses penyusunan data ini akan digunakan dalam proses pembelajaran (*leaning*). Data terdiri dari masukan (*input*) dan target (*output*) pembelajaran. Data disusun membentuk matrik, dengan kolom merupakan jumlah input dan baris merupakan jumlah data yang akan dilatih (makin banyak dan lengkap makin baik). Kolom terakhir pada matrik yang terbentuk merupakan data target. Adapun input pada penelitian ini meliputi kuat tekan (f_c), diameter tulangan baja (d_b) dan panjang penyaluran (L_d) dan target adalah kuat lekat (τ) SCC.

3. Penentuan Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaanya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 (Widodo dan Handayanto, 2012). Pada toolbox ANFIS program MATLAB Student Version menyediakan beberapa fungsi keanggotaan yang dapat digunakan. Tipe-tipe fungsi keanggotaan untuk input tersebut pada ANFIS antara lain Trimf, Trapmf, Gbellmf, Gaussmf, Gauss2mf, Pimf, Dsigmf, dan Psigmf, sedangkan fungsi keanggotaan untuk output adalah konstan dan linier.

4. Penentuan Aturan IF THEN (Rule IF THEN)

Aturan IF THEN pada model ANFIS ditentukan secara otomatis berdasarkan data input dan target dari proses pembelajaran. Ada dua metode yaitu grid partition dan sub clustering.

5. Model Arsitek (Struktur) Neuron ANFIS

Model arsitek (struktur) neuron ANFIS juga ditentukan secara otomatis berdasarkan data input dan target dari proses pembelajaran.

6. Penentuan Metode Pembelajaran

Metode pembelajaran pada model ANFIS hampir sama dengan model ANN. Metode yang digunakan dapat berupa propagasi balik (*backpropagation*) atau hybrid yaitu gabungan propagasi balik dan kudrat terkecil (*least square*).

7. Penentuan Toleransi Error dan Jumlah Iterasi (Epoch)

Pada model ANFIS ini toleransi error hingga mencapai nilai 0 dan maksimum jumlah iterasi (*epoch*) adalah 1000. Pada penelitian toleransi error dibuat sebesar 0,005 dengan jumlah iterasi (*epoch*) maksimum 500.

8. Uji Kehandalan Model ANFIS

Untuk mengetahui kehandalan (tingkat keakuratan) model ANFIS, yaitu dengan menghitung nilai error dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan koefisien korelasi R^2 dengan rumus dibawah ini :

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - y_i)^2}{n}} \quad (3.4)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}} \quad (3.5)$$

dengan :

t_i = data kuat lekat ke i hasil ekperimen

y_i = data kuat lekat ke i hasil analisis

\bar{t} = rata-rata kuat lekat ke i hasil ekperimen

n = jumlah data

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Filling dan Passing Ability Beton Segar

Hasil pengujian *filling ability* dengan slump flow dan *passing ability* menggunakan alat L-box disajikan pada Tabel 4.1. Dari tabel tersebut terlihat bahwa hasil pengujian beton segar SCC memenuhi standar EFNARC (2005), sehingga hasil *mix design* dapat digunakan sebagai campuran SCC.

Tabel 4.1. Hasil uji slump flow dan L-box.

Metode pengujian	Satuan	Nilai
Slump flow (kerucut Abrams)	mm	650
T _{50cm} Slump flow	detik	4
L-box (h ₂ /h ₁)	-	0,91

B. Kuat Tekan (f'c)

Hasil pengujian kuat tekan silinder SCC disajikan pada Tabel 4.2, dari tabel tersebut terlihat bahwa kuat tekan (f'c) ketiga benda uji silinder SCC memiliki nilai yang tidak jauh berbeda yaitu antara 34.52 – 36,5 MPa, dengan rata-rata 35,5 MPa dan standar deviasi (s) 0,99 MPa. Nilai kuat tekan ini lebih besar dari kuat tekan rencana yaitu 30 MPa, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan kuat tekan (f'c) rata-rata hasil eksperimen.

Tabel 4.2. Hasil uji kuat tekan (f'c)

Nama benda uji	Kuat tekan (f'c) (MPa)	Kuat tekan (f'c) rata-rata (MPa)
S1	34.52	
S2	36.50	35.50
S3	35.37	
Standar deviasi (s)	0,99	

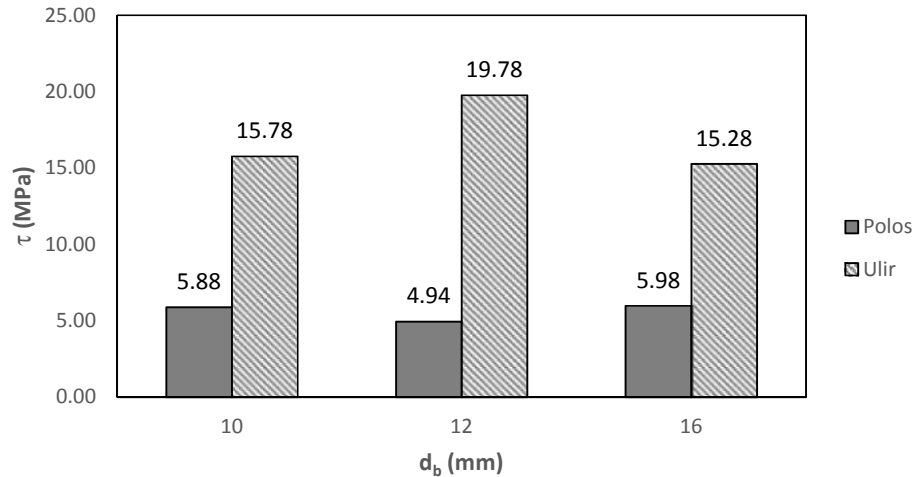
C. Kuat Lekat (τ)

Hasil pengujian pull out untuk masing-masing benda uji dengan variasi diameter dan jenis tulangan baja (jenis polos dan ulir) secara ringkas disajikan pada Tabel 4.3. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa beban tarik/cabut tulangan polos diameter 10, 12, 16 mm berturut-turut 12.33 kN – 18.72 kN, 11.51 kN – 19.24 kN, 17.64 kN – 35.62 kN sedangkan tulangan

ulir dengan diameter 10, 12, 16 mm berturut-turut 32.10 kN – 44.57 kN, 55.65 kN – 62.60 kN, 58.54 kN – 63.26 kN. Beban tarik/cabut ini selanjutnya digunakan untuk menghitung kuat lekat dengan menggunakan persamaan (3.2), hasil analisis untuk masing-masing benda uji ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.1, terlihat bahwa kuat lekat tulangan polos rata-rata antara 4.94 MPa – 5.98 MPa, sedangkan tulangan ulir rata-rata antara 15.28 MPa – 19.78 MPa. Dari pengujian ini dapat dibuktikan bahwa tulangan baja jenis ulir yang ditanam dalam beton memadat sendiri (SCC) memiliki kemampuan untuk menahan beban tarik/cabut atau kuat lekat lebih baik dibandingkan dengan tulangan polos. Kuat lekat tulangan ulir yang dihasilkan tiga kali lipat kuat lekat tulangan polos. Hal ini dapat dipahami karena penggunaan tulangan baja ulir telah terjadi mekanisme adhesi, friksi dan *interlocking* antara tulangan baja dan SCC. Kontribusi terbesar dalam lekatan antara tulangan baja dan SCC didominasi oleh *interlocking* antara rib tulangan baja dan matrik SCC disekitarnya, sedangkan pengaruh adhesi dan friksi relatif kecil. Sedangkan pada tulangan polos lekatan hanya mengandalkan adhesi dan friksi (McGregor, 1997).

Tabel 4.3. Hasil uji kuat lekat (τ)

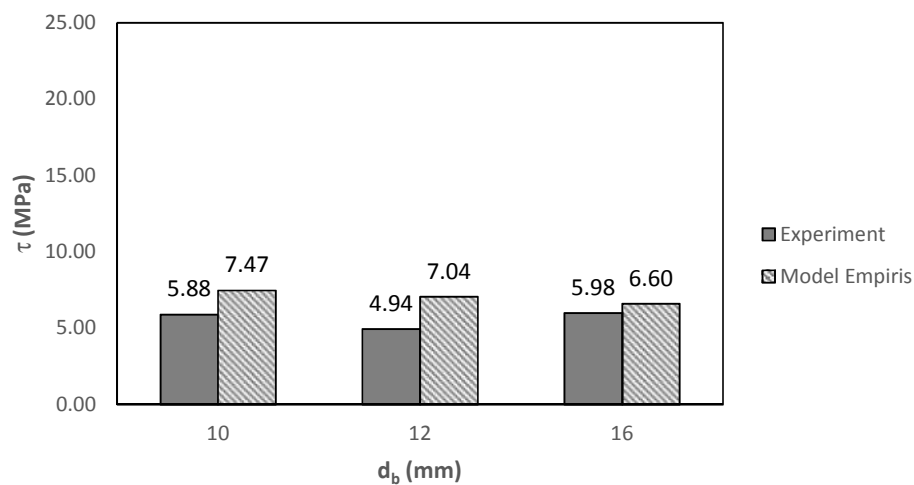
No	Benda Uji	d_b (mm)	L_d (mm)	F (kN)	τ (MPa)	$\tau_{rata-Rata}$ (MPa)
1	P10-1	10	100	12.33	4.95	5.88
2	P10-2	10	100	12.94	5.19	
3	P10-3	10	100	18.72	7.51	
4	D10-1	10	100	44.57	17.88	15.78
5	D10-2	10	100	41.35	16.58	
6	D10-3	10	100	32.10	12.87	
7	P12-1	12	100	13.61	4.55	4.94
8	P12-2	12	100	19.24	6.43	
9	P12-3	12	100	11.51	3.85	
10	D12-1	12	100	55.65	18.60	19.78
11	D12-2	12	100	59.28	19.81	
12	D12-3	12	100	62.6	20.92	
13	P16-1	16	100	18.25	4.57	5.98
14	P16-2	16	100	17.64	4.42	
15	P16-3	16	100	35.62	8.93	
16	D16-1	16	100	58.54	14.67	15.28
17	D16-2	16	100	63.26	15.86	
18	D16-3	16	100	61.03	15.30	



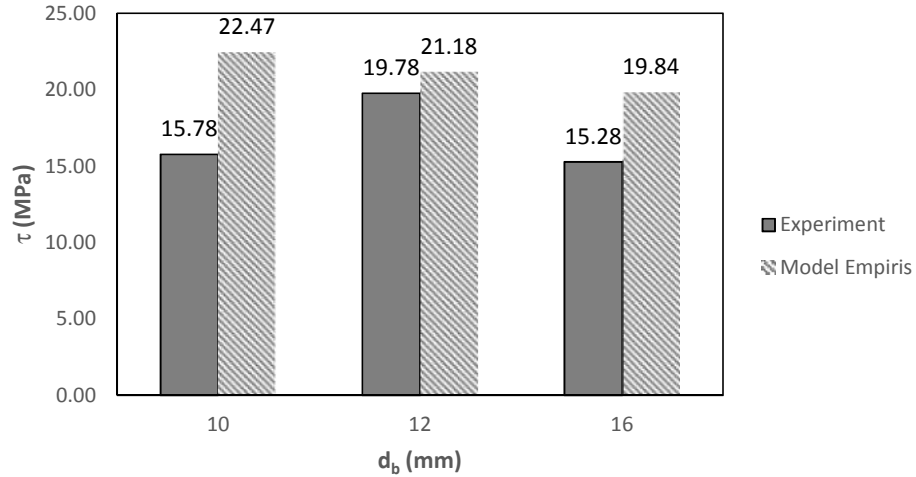
Gambar 4.1. Kuat lekat tulangan baja dengan beton memadat sendiri (SCC)

D. Perbandingan Hasil Ekperimental dengan Model Empiris

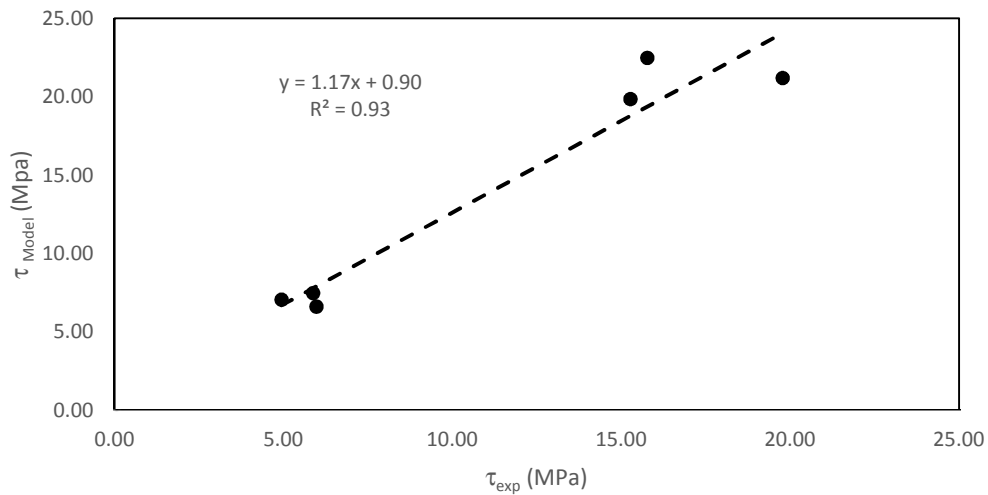
Untuk mengevaluasi hasil ekperimen, maka kuat lekat pada penelitian ini dibandingkan dengan hasil model empiris untuk prediksi kuat lekat tulangan baja dengan SCC yang dirumuskan oleh Aslani dan Nejadi (2012) pada persamaan (2.1) dan (2.2). Perbandingan hasil ekperimental dengan model empiris untuk tulangan polos dan ulir disajikan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3. Untuk menunjukkan tingkat akurasi hasil ekperimen dan model empiris ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dari Gambar 4.34 terlihat bahwa antara hasil ekperimen dan model memiliki tingkat akurasi cukup baik, dimana koefisien korelasi (R^2) mencapai nilai 0,93.



Gambar 4.2. Perbandingan kuat lekat tulangan baja polos dengan beton memadat sendiri (SCC) hasil ekperimental dengan model empiris



Gambar 4.3. Perbandingan kuat lekat tulangan baja ulir dengan beton memadat sendiri (SCC) hasil ekperimental dengan model empiris



Gambar 4.4. Koefisien korelasi (R^2) ekperimental dengan model empiris

E. Model ANFIS

1. Pengumpulan data

Data yang digunakan untuk membangun model ANFIS adalah data hasil pengujian kuat lekat dari penelitian sebelumnya yaitu oleh Zhu *et al.* (2004); De Almeida Filho *et al.* (2008); Valcuende dan Parra (2009); Lachemi *et al.* (2009); Boel *et al.* (2010); Myers *et al.* (2012); Pop *et al.* (2013) dan hasil pengujian kuat lekat ekperimental di Laboratorium Bahan dan Struktur (FT UNRAM). Total data yang digunakan 101, 80 digunakan untuk proses

training) dan 21 untuk proses *testing*. Data training dan testing disajikan pada Tabel 4.5 dan 4.6.

Data terdiri dari masukan (input) dan target (output) pembelajaran. Data disusun membentuk matrik, dengan kolom merupakan jumlah input dan baris merupakan jumlah data yang akan dilatih (*training*). Kolom terakhir pada matrik yang terbentuk merupakan data target. Adapun input pada penelitian ini meliputi kuat tekan (f^c), diameter tulangan baja (d_b) dan panjang penyaluran (L_d) dan target adalah kuat lekat (τ) SCC.

Tabel 4.5. Data *Training*

Referensi	No Data	f^c (MPa)	d_b (mm)	L_d (mm)	τ (MPa)
Zhu <i>et al.</i> (2004)	1	47	12	120	13.32
	2	47	12	120	13.73
	3	47	12	120	13.45
	4	47	20	120	9.65
	5	47	20	120	10.55
	6	47	20	120	11.3
	7	79.5	12	120	34.08
	8	79.5	12	120	32.63
	9	79.5	12	120	31.02
	10	79.5	20	120	26.41
	11	79.5	20	120	28.83
	12	79.5	20	120	32.52
Almeida Filho <i>et al.</i> (2008)	13	30	10	50	14.34
	14	30	16	80	12.93
	15	60	10	50	18.11
	16	60	16	80	19.23
Valcuende dan Parra (2009)	17	30.21	16	80	18
	18	35.77	16	80	21.66
	19	50.18	16	80	27.97
	20	61.15	16	80	39.98
Lachemi <i>et al.</i> (2009)	21	38.8	15	200	11.12
	22	38.8	15	200	11.97
	23	38.8	15	200	14.14
	24	38.8	15	100	8.59
	25	38.8	15	100	12.01
	26	38.8	15	100	9.02
Boel <i>et al.</i> (2010)	27	58	8	28	25.88
	28	58	12	42	29.86
	29	58	16	56	32.32
	30	55.8	8	28	19.92
	31	55.8	12	42	24.39
	32	55.8	16	56	30.64

Referensi	No Data	f _c (MPa)	db (mm)	L _d (mm)	τ (MPa)
Myers <i>et al.</i> (2012)	33	48.23	12.7	63.5	27.04
	34	48.23	12.7	63.5	26.16
	35	48.23	12.7	63.5	26.97
	36	48.23	19.05	95.25	28.2
	37	48.23	19.05	95.25	27.28
	38	48.23	19.05	95.25	28.88
	39	68.17	12.7	63.5	31.11
	40	68.17	12.7	63.5	31.51
	41	68.17	12.7	63.5	31.95
	42	68.17	19.05	95.25	31.85
	43	68.17	19.05	95.25	31.31
	44	68.17	19.05	95.25	30.87
Pop <i>et al.</i> (2013)	45	52.4	10	30	24.24
	46	52.4	10	40	21.07
	47	52.4	10	50	23.27
	48	52.4	12	36	24.53
	49	52.4	12	48	21.51
	50	52.4	12	60	20.98
	51	52.4	14	42	21.36
	52	52.4	14	56	20.26
	53	52.4	14	70	20.02
	54	57.3	10	30	26.63
	55	57.3	10	40	27.24
	56	57.3	10	50	26.15
	57	57.3	12	36	24.77
	58	57.3	12	48	24.83
	59	57.3	12	60	25.46
	60	57.3	14	42	20.75
	61	57.3	14	56	19.1
	62	57.3	14	70	23.18
	63	70.2	10	30	30.29
	64	70.2	10	40	28.89
	65	70.2	10	50	25.68
	66	70.2	12	36	29.83
	67	70.2	12	48	27.99
	68	70.2	12	60	26.22
	69	70.2	14	42	27.83
	70	70.2	14	56	27.43
	71	70.2	14	70	21.85
	72	77.8	10	50	28.63
73	77.8	12	60	26.03	
74	77.8	14	70	27.38	

Referensi	No Data	f _c (MPa)	db (mm)	L _d (mm)	τ (MPa)
Present Study	75	35.5	10	100	17.88
	76	35.5	10	100	16.58
	77	35.5	12	100	18.60
	78	35.5	12	100	19.81
	79	35.5	16	100	14.67
	80	35.5	16	100	15.86

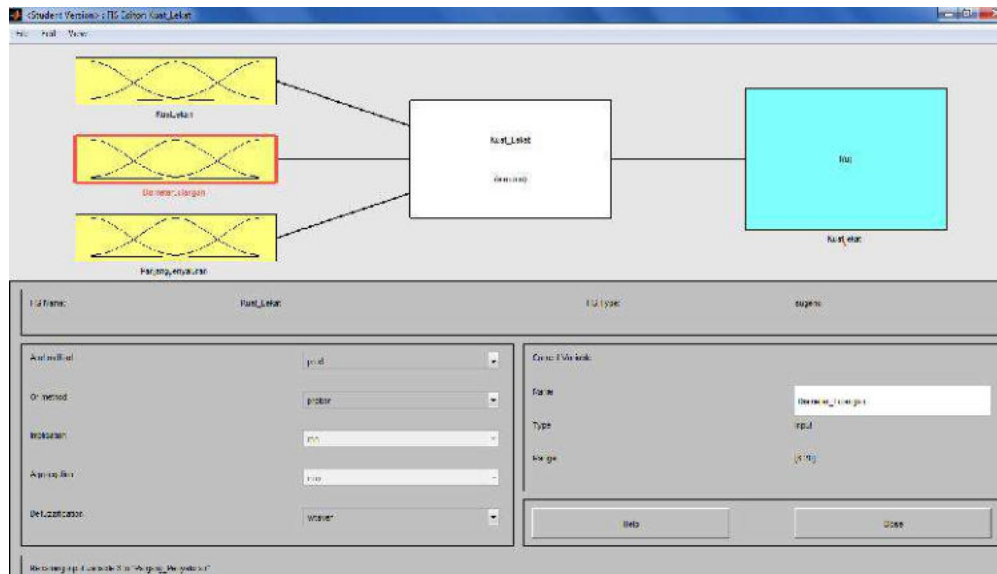
Tabel 4.6. Data *Testing*

Referensi	No Data	f _c (MPa)	db (mm)	L _d (mm)	τ (MPa)
Boel <i>et al.</i> (2010)	1	58	8	28	25.88
	2	58	12	42	29.86
	3	58	16	56	32.2
	4	55.8	8	28	19.92
	5	55.8	12	42	24.39
	6	55.8	16	56	30.64
Looney <i>et al.</i> (2012)	7	47.2	13	64	26.3
	8	47.2	13	64	25.4
	9	47.2	13	64	26.2
	10	47.2	19	89	30.3
	11	47.2	19	89	29.3
	12	47.2	19	89	31
	13	67.2	13	64	30.3
	14	67.2	13	64	30.6
	15	67.2	13	64	31.1
	16	67.2	19	89	34.2
	17	67.2	19	89	33.7
	18	67.2	19	89	33.2
Present Study	19	35.5	10	100	12.87
	20	35.5	12	100	20.92
	21	35.5	16	100	15.30

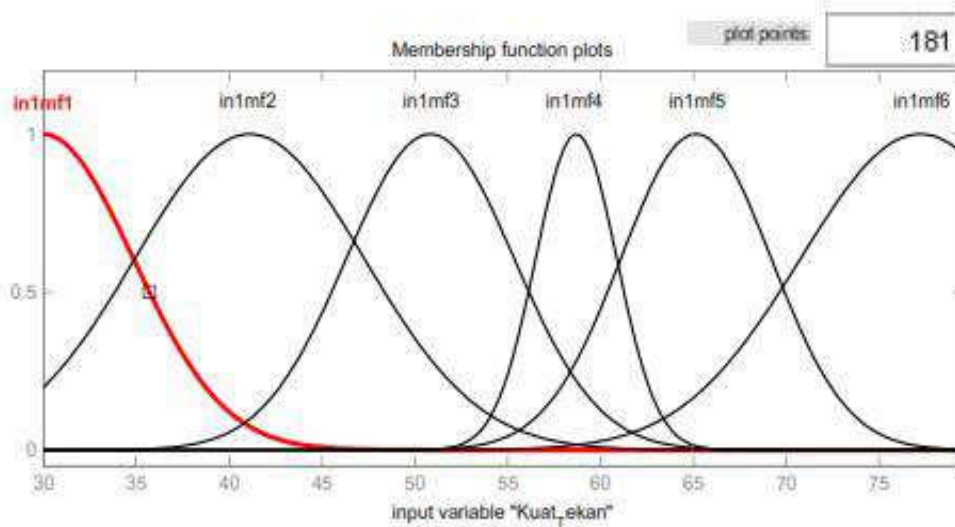
2. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 (Widodo dan Handayanto, 2012). Pada toolbox ANFIS program MATLAB Student Version menyediakan beberapa fungsi keanggotaan untuk input antara lain Trimf, Trapmf, Gbellmf, Gaussmf, Gauss2mf, Pimf, Dsigmf, dan Psigmf, sedangkan fungsi keanggotaan untuk output adalah konstan dan

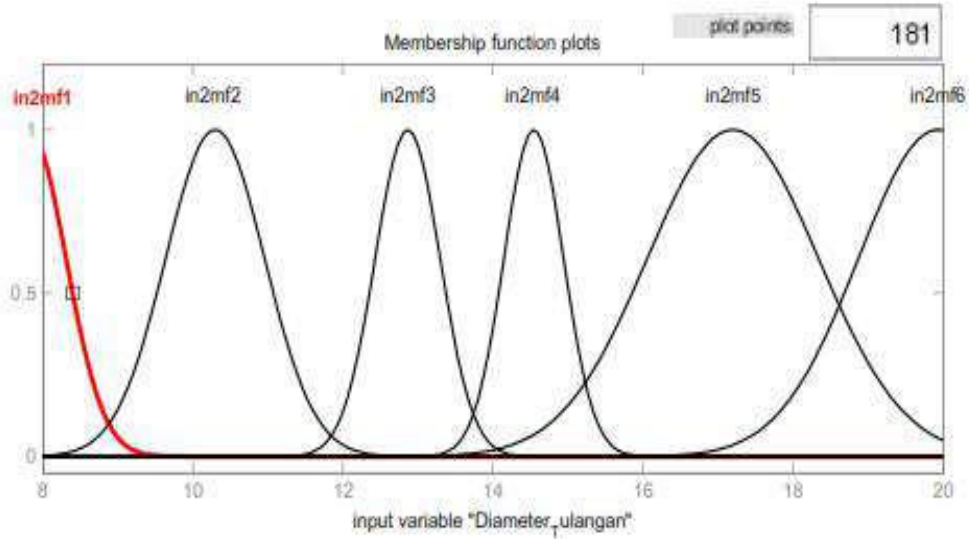
linier. Pada penelitian ini fungsi keanggotaan ini dibangun berdasarkan model *Fuzzy Inference System* (FIS) menggunakan model Takagi-Sugeno (Gambar 4.5). Fungsi keanggotaan untuk variabel input (kuat tekan, diameter tulang, panjang penyaluran) adalah Gaussmf sedangkan fungsi keanggotaan output konstan disajikan pada Gambar 4.6 sampai dengan Gambar 4.9



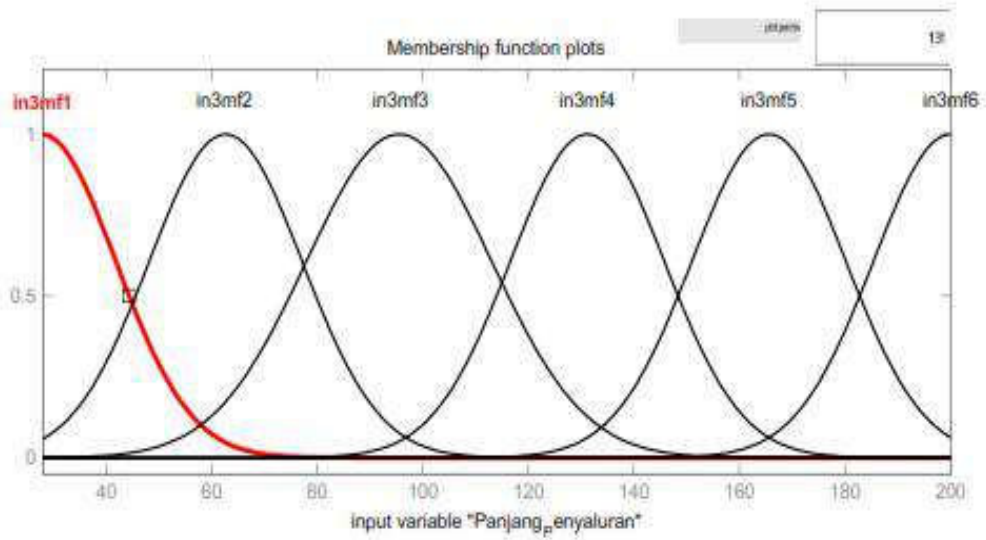
Gambar 4.5. Model *Fuzzy Inference System* (FIS)



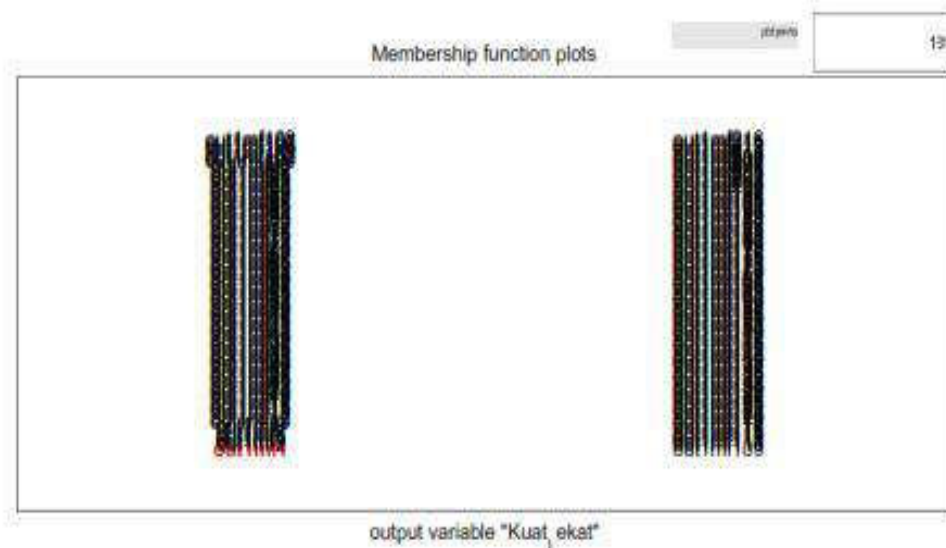
Gambar 4.6. Fungsi keanggotaan untuk variabel input kuat tekan



Gambar 4.7. Fungsi keanggotaan untuk variabel input diameter tulangan



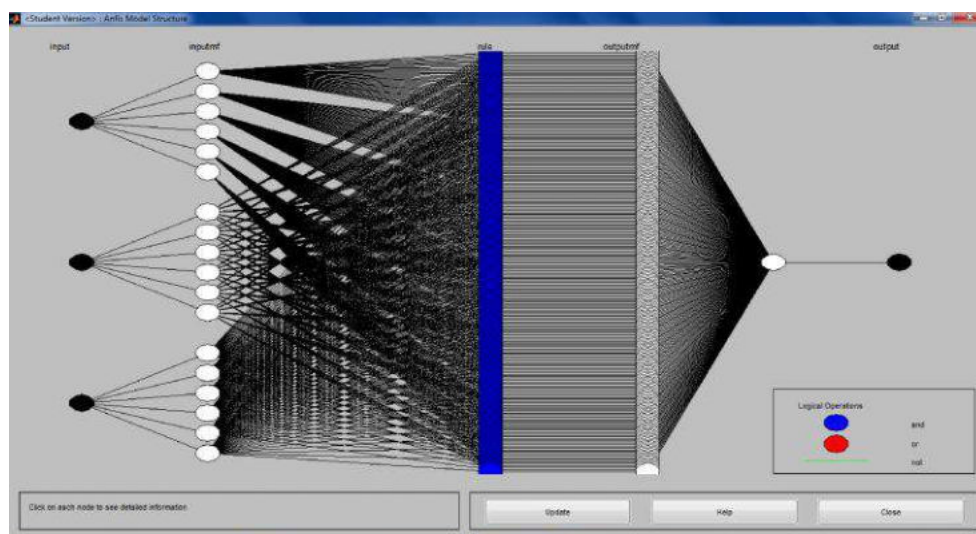
Gambar 4.8. Fungsi keanggotaan untuk variabel input panjang penyaluran



Gambar 4.9. Fungsi keanggotaan untuk variabel output kuat lekat

3. Model Arsitek (Struktur) Neuron ANFIS

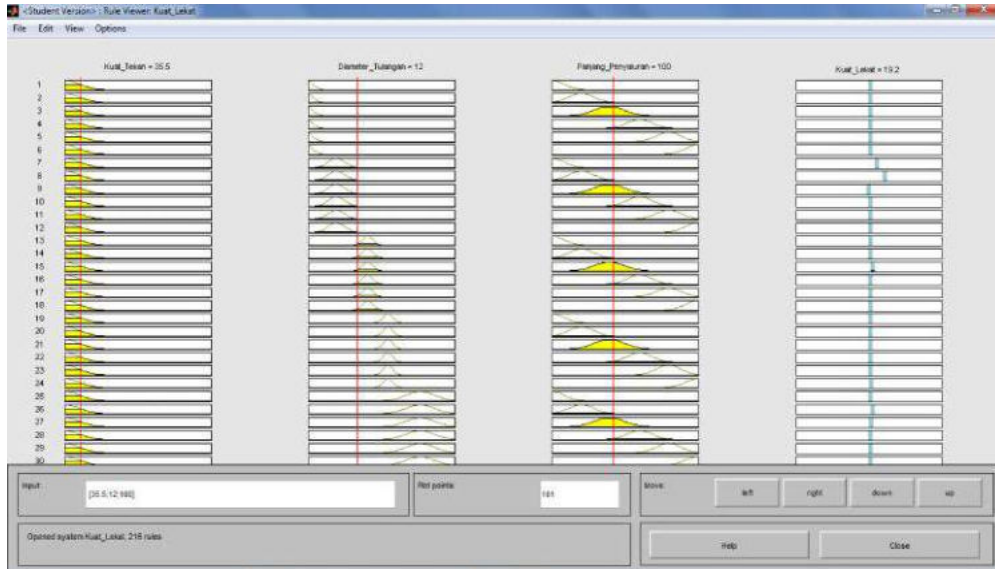
Model arsitek (struktur) neuron ANFIS juga ditentukan secara otomatis berdasarkan data input dan target dari proses pembelajaran seperti yang disajikan pada Gambar 4.10, dimana model terdiri atas 3 input (kuat tekan, diameter tulangan, panjang penyaluran) dan 1 output (kuat tekan) dengan 5 lapis (*layer*). Dalam proses pembelajaran pada model ANFIS hampir sama dengan model ANN, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *hybrid* yaitu gabungan propagasi balik (*backpropagation*) dan kudrat terkecil (*least square*) dengan toleransi error dibuat sebesar 0,005 dan jumlah iterasi (*epoch*) maksimum 500



Gambar 4.10. Arsitek (struktur) neuron ANFIS kuat lekat tulangan baja dengan beton memadat sendiri (SCC)

4. Aturan IF THEN (Rule IF THEN)

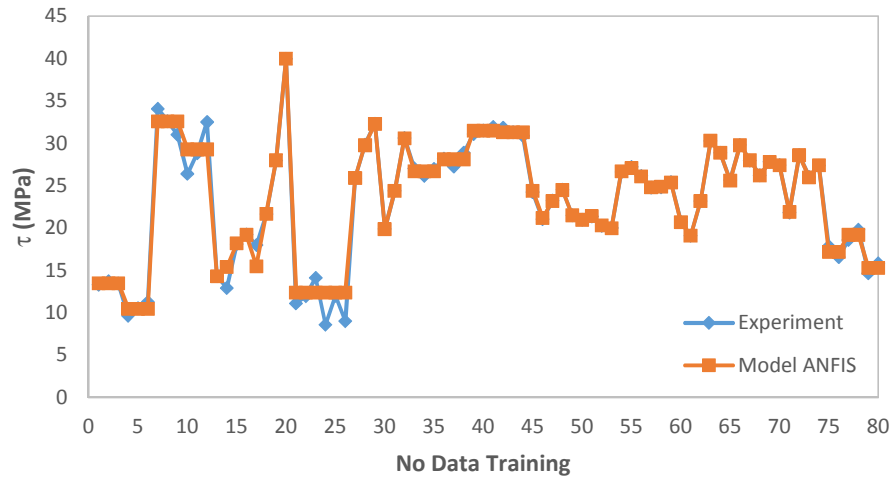
Berbeda dengan model *Fuzzy Inference System* (FIS), pada model ANFIS aturan (*Rule*) *IF THEN* ditentukan secara otomatis berdasarkan data input dan target dari proses pembelajaran seperti yang disajikan pada Gambar 4.11. Dari Gambar terlihat bahwa model ini terdiri atas 216 aturan (*rule*), yang digunakan untuk memprediksi kuat lekat, berdasarkan input kuat tekan, diameter tulangan dan panjang penyaluran.



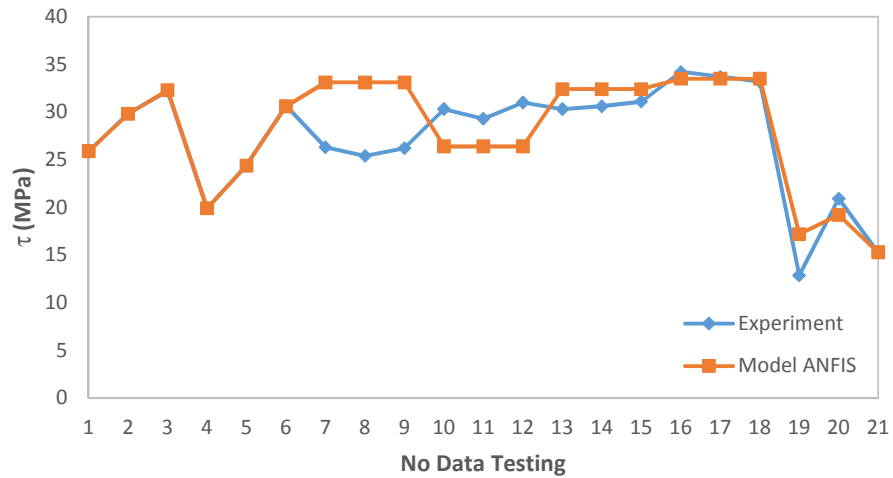
Gambar 4.12. Aturan IF THEN (*Rule IF THEN*) kuat lekat tulangan baja dengan beton memadat sendiri (SCC)

5. Perbandingan hasil ekperimental dengan model ANFIS

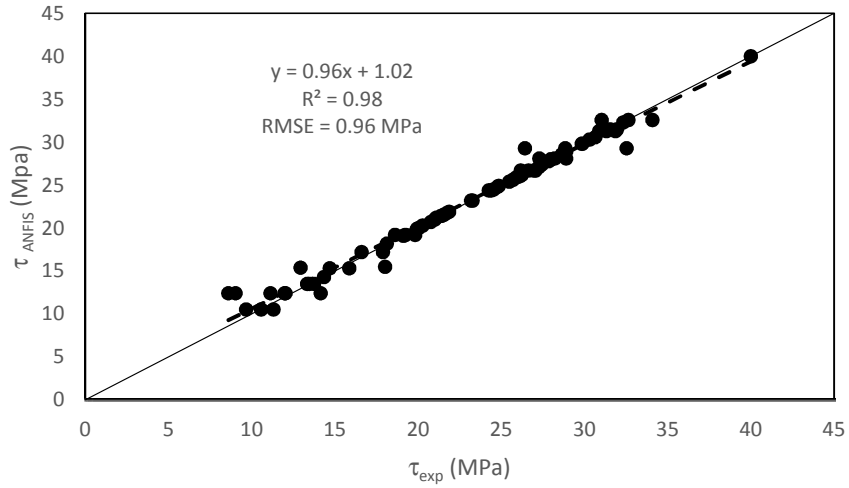
Perbandingan hasil ekperimental data training dengan model ANFIS disajikan pada Gambar 4.13. Untuk menjaga independensi, model ANFIS yang telah dibangun juga dibandingkan dengan data testing seperti yang disajikan pada Gambar 4.14. Tingkat akurasi model ANFIS ditunjukkan pada Gambar 4.15 untuk data traing dan Gambar 4.16 untuk data testing. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa model ANFIS yang telah dibangun menunjukkan tingkat keakuratan yang cukup baik, dimana nilai koefisien korelasi (R^2) untuk data training 0,98 dengan RMSE 0.96 MPa dan untuk data testing 0.71 dengan RMSE 3.31 MPa. Jika dilihat dari distribusi (penyebaran data) dengan acuan garis diagonal (membentuk sudut 45^0) terlihat bahwa penyebaran data yang berada di atas dan bawah garis diagonal hampir sama, ini mengindikasikan bahwa model ANFIS yang telah dibangun cukup handal untuk memprediksi kuat lekat beton memadat sendiri (SCC).



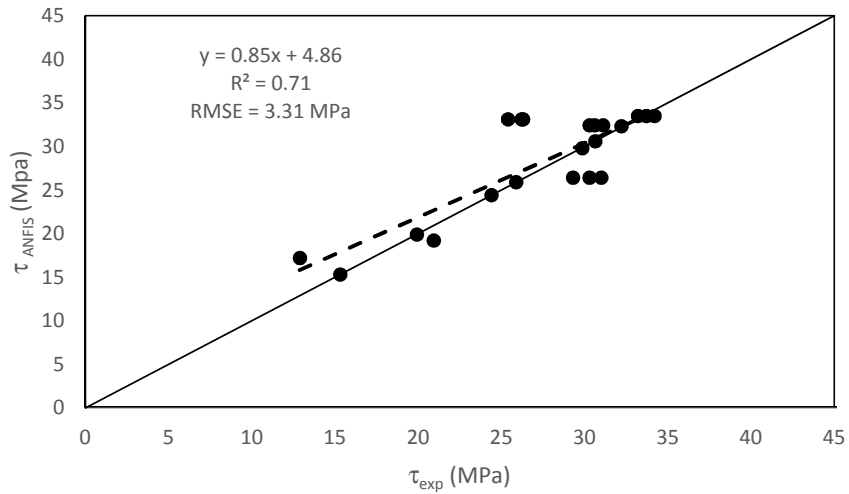
Gambar 4.13. Perbandingan kuat lekat tulangan baja ulir dengan beton memadat sendiri (SCC) hasil ekperimental data training dengan model ANFIS



Gambar 4.14. Perbandingan kuat lekat tulangan baja ulir dengan beton memadat sendiri (SCC) hasil ekperimental data testing dengan model ANFIS



Gambar 4.15. Koefisien korelasi (R^2) dan RMSE data training dengan model ANFIS



Gambar 4.16. Koefisien korelasi (R^2) dan RMSE data testing dengan model ANFIS

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penjelasan di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kuat lekat tulangan ulir dengan beton memadat sendiri (SCC) lebih baik dibandingkan dengan tulangan polos. Kuat lekat tulangan polos rata-rata antara 4.94 MPa – 5.98 MPa, sedangkan tulangan ulir rata-rata antara 15.28 Mpa – 19.78 MPa.
2. Hasil analisis dengan model empiris dari penelitian sebelumnya diperoleh bahwa antara hasil ekperimen dan model memiliki tingkat akurasi cukup baik, dimana koefisien korelasi (R^2) mencapai nilai 0.89.
3. Hasil pengembangan model empiris menjadi model ANFIS menunjukkan tingkat akurasi cukup baik, dimana koefisien korelasi (R^2) untuk data training 0,98 dengan RMSE 0.96 MPa dan untuk data testing 0.71 dengan RMSE 3.31 MPa. Ini mengindikasikan bahwa model ANFIS yang telah dibangun cukup handal untuk memprediksi kuat lekat beton memadat sendiri (SCC)..

B. Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan untuk kelanjutan penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan lebih lanjut dengan variasi mutu beton, jenis beton, selimut beton dan panjang penyaluran.
2. Pengujian kuat lekat perlu dilakukan dengan metode pengujian yang lain seperti benda berbentuk balok, silinder dan lain lain

REFERENSI

- ASTM C39, 1999, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohochen.
- ACI 408R-03: 2003, *Bond and development of straight reinforcing bars in tension*. Detroit, Michigan, US: American Concrete Institute.
- Amani, J., dan Moeini, R., 2012, *Prediction of Shear Strength of Reinforced Concrete Beam Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System and Artificial Network*, Scientia Iranica Journal, Vol. 19, No. 2, pp 242-248.
- Aslani, F. & Nejadi, S., 2012. *Bond Behavior of Reinforcement in Conventional and Self-Compacting Concrete*, Advances in Structural Engineering Vol. 15 No. 12 : 2033-2051.
- Boel, V., Helincks, P., Desnerck, P., De Schutter, G., 2010, *Bond behaviour and shear capacity of self-compacting concrete*. In: Design, production and placement of self-consolidating concrete, Netherlands: Springer : p.343–53.
- Desnerck, P., Schutter, G. D., Taerwe, L., 2010, *A Local Bond Stress-Slip Model for Reinforcing Bars in Self Compacting Concrete*, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures – Assessment, Durability, Monitoring and Retrofitting of Concrete Structures, Korea Concrete Institute, Seoul.
- De Almeida Filho. F. M., Mounir, K., El Debs, A. L. H., 2008, *Bond-slip behavior of selfcompacting concrete and vibrated concrete using pull out and beam tests*, Mater Struct: 41(6):1073–89.
- El-Hacha, R., EI-Agroudy, H., RizkalJa, S. H., 2006. Bond Characteristics of High-Strength Steel Reinforcement, *ACI Structural Journal*, V103, No 6: 771-781
- EFNARC, 2005, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*, <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>.
- Golafshani, E., M., Rahai, A., Sebt, M., H., Akbarpour, H., 2012, *Prediction of bond strength of spliced steel bars in concrete using artificial neural network and fuzzy logic*, Construction and Building Materials 36, pp 411-418.
- Jaafer, A.A., 2013, *Prediction of Ultimate Shear Capacity of Reinforced Normal and High Strength Concrete Beam Without Stirrups using Fuzzy Logic*, American Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol. 1 No. 4, pp 75-81.

- Jang, J.S.R., 1993, ANFIS: *Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System*, IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics, Vol. 23, No. 3,
- Khan, S.U., Ayub, T., Rafeeqi, S.F.A., 2013, *Prediction of Compressive Strength of Plain Concrete Confined with Ferrocement using Artificial Neural Network (ANN) and Comparison with Existing Mathematical Models*, American Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol. 1 No. 1, pages 7-14.
- Kohoutkova, A., Stemberk, P., Pokorna, N., 2010, *Fuzzy Logic Model of Fiber Concrete*, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures – Assessment, Durability, Monitoring and Retrofitting of Concrete Structures, Korea Concrete Institute, Seoul.
- Lachemi, M., Bae, S., Hossain, K. M. A., Sahmaran, M., 2009, *Steel–concrete bond strength of lightweight self-consolidating concrete*. Mater Struct : 42(7):1015–23.
- McGregor, J., G., 1997, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Prentice-Hall Inc. New Jersey. USA.
- Myers, J. J., Volz, J. S., Sells, E, et al, 2012, *Self-consolidating concrete (SCC) for infrastructure elements*: No. NUTC R265; 2012.
- Makni, M., Daoud, A., Karray, M. A., 2013, *Application of Artificial Neural Network technique in Civil Engineering*, Proceedings International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT'13), Vol. 2, pp 56-61.
- Mohammadhassani, M., Pour, H. N., Jumaat, M. Z., Jamel, M., Hakim, S .J. S., 2013, *Application of the ANFIS model in Deflection Prediction of Concrete Deep Beam*, Structural Engineering and Mechanics, Vol. 45, NO. 3, pp 319-332.
- Neshat, M., Adeli, A., Masoumi, A., Sargolzae, M., 2011, *A Comparative Study on ANFIS and Fuzzy Expert System Models for Concrete Mix Design*, IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, No. 2, pp 196-210.
- Naba, A., 2009, *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Okamura, H. dan Ouchi, M., 2003, *Self-Compacting Concrete*, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1 No. 1, April, pp 5-15.
- Paratibha., A dan Yogesh, A., 2011, *Prediction of Compressive Strength of Self Compacting Concrete with Fuzzy Logic* , World Academy of Science Engineering and Technology, Vol. 5, pp 745-752.
- Pop, I., De Schutter, G., Desnerck, P., Onet, T., *Bond between powder type selfcompacting concrete and steel reinforcement*. Constr Build Mater : 41:824–33

- Raheman,A., dan Modani, P.O., 2013, *Prediction of Properties of Self Compacting Concrete Using Artificial Neural Network* , International Journal of Engineering Research and Application, Vol. 3, Issue. 4, Jul-Aug, pp 333-339.
- Valcuende, M., Parra, C., 2009, *Bond behaviour of reinforcement in self-compacting concretes*. Constr Build Mater : 23(1):162–70.
- Widodo, P.P., dan Handayanto, R.T., 2012, Penerapan Soft Computing dengan MATLAB, Rekayasa Sains, Bandung.
- Zhu, W., Sonebi, M., Bartos, P. J. M., 2004, *Bond and interfacial properties of reinforcement in self-compacting concrete*, Mater Struct: 37(7):442–8.

LAMPIRAN V

PENINGKATAN KAPASITAS

TAHUN 2021



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MATARAM
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Jl. Pendidikan No.37 Mataram NTB, Tlp.(0370) 641552, 638265
Fax.(0370) 638265, e-mail: lppm@unram.ac.id

KONTRAK PENELITIAN
SUMBER DANA DIPA BLU SKEMA PENELITIAN PENINGKATAN KAPASITAS
UNIVERSITAS MATARAM
Tahun Anggaran 2021
Nomor: **2916/UN18.L1/PP/2021**

Pada hari ini **Senin tanggal Tiga bulan Mei tahun Dua Ribu Dua Puluh Satu**, kami yang bertandatangan dibawah ini :

- 1 Muhamad Ali, Ph.D. : **Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram**, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Mataram, berkedudukan di Jl. Pendidikan No. 37 Mataram, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
- 2 Dr. Ngudiyono, ST., MT. : **Dosen Fakultas Teknik Universitas Mataram**, dalam hal ini bertindak sebagai Ketua Tim Peneliti sesuai Proposal dan SK Rektor Nomor: **4527/UN18/HK/2021**, untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA, selanjutnya disebut **PARA PIHAK** secara bersama-sama bersepakat untuk mengikatkan diri dalam suatu Kontrak Penelitian DIPA BLU (PNBP) Tahun Anggaran 2021 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

Pasal 1

RUANG LINGKUP KONTRAK DAN TIM PENELITI

- (1) PIHAK PERTAMA memberi pekerjaan kepada PIHAK KEDUA dan PIHAK KEDUA menerima pekerjaan dimaksud dari PIHAK PERTAMA, untuk melaksanakan dan menyelesaikan penelitian dengan judul **"Pengaruh Kebakaran Pada Struktur Beton Bertulang Terhadap Laju Korosi Dan Tegangan Lekat (Bond Stress) Tulangan Baja"**.
- (2) Berdasarkan Proposal yang diajukan, nama-nama Tim Peneliti dari PIHAK KEDUA adalah sebagai Berikut
 - 1 Dr. Ngudiyono, ST., MT.
 - 2 Ir. Miko Eniarti, MT.
 - 3 I NYOMAN MERDANA, ST., MT.
 - 4 FATHMAH MAHMUD, ST., MT.
 - 5 NI NYOMAN KENCANAWATI, ST., MT., Ph.D.
- (3) PIHAK KEDUA bertanggungjawab penuh atas seluruh pelaksanaan, pengadministrasian dan pengelolaan keuangan serta pelaksanaan kegiatan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1)

Pasal 2

DANA PENELITIAN

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah sebesar Rp. 15.000.000 (lima belas juta rupiah) sudah termasuk pajak
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada DIPA BLU Universitas Mataram Tahun Anggaran 2021.

Pasal 3

TATA CARA PEMBAYARAN DANA PENELITIAN

PIHAK PERTAMA akan membayarkan Dana Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) kepada PIHAK KEDUA secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:

- (1) Pembayaran Tahap Pertama sebesar 80% dari total dana penelitian yaitu $80\% \times \text{Rp } 15.000.000 = \text{Rp } 12.000.000$ (dua belas juta rupiah), dibayarkan setelah Kontrak di tandatangani PARA PIHAK.
- (2) Pembayaran Tahap Kedua sebesar 20% dari total dana penelitian yaitu $20\% \times \text{Rp } 15.000.000 = \text{Rp } 3.000.000$ (tiga juta rupiah), dibayarkan setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan akhir Pelaksanaan Penelitian beserta kelengkapan yang ditetapkan.

Pasal 4

JANGKA WAKTU

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah terhitung sejak Tanggal 3 Mei 2021 dan berakhir pada Tanggal 30 November 2021.

Pasal 5

TARGET LUARAN

- (1) PIHAK KEDUA wajib mencapai target luaran wajib dan luaran tambahan penelitian berupa:

No.	Jenis Luaran Penelitian
Luaran Wajib :	
a	Publikasi Ilmiah (Publikasi pada artikel ilmiah yang dimuat dalam jurnal (Accepted pada jurnal nasional ber-ISSN, pengumpulan paling lambat 1 tahun setelah kontrak berakhir), atau Publikasi pada proceeding seminar nasional/Internasional)
b	
Luaran Tambahan:	
a	TTG
b	

- (2) PIHAK KEDUA wajib melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada PIHAK PERTAMA

Pasal 6

HAK DAN KEWAJIBAN PARA PIHAK

- (1) Hak dan Kewajiban PIHAK PERTAMA
 - a PIHAK PERTAMA berhak mendapatkan luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 dari PIHAK KEDUA;
 - b PIHAK PERTAMA wajib memberikan dana penelitian kepada PIHAK KEDUA dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.
- (2) Hak dan Kewajiban PIHAK KEDUA:
 - a PIHAK KEDUA berhak menerima dana penelitian dari PIHAK PERTAMA dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
 - b PIHAK KEDUA wajib menyerahkan Luaran Penelitian dan Buku Catatan Harian Penelitian kepada PIHAK PERTAMA;
 - c PIHAK KEDUA wajib bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
 - d PIHAK KEDUA wajib menyerahkan laporan penggunaan dana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 7

LAPORAN PELAKSANAAN PENELITIAN

- (1) PIHAK KEDUA wajib menyampaikan kepada PIHAK PERTAMA laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh PIHAK PERTAMA yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh PIHAK PERTAMA;
- (2) PIHAK KEDUA wajib menyampaikan Laporan Akhir sebanyak 1 (Satu) eksemplar paling lambat 30 November 2021, disertai dokumen-dokumen sebagai berikut:
 - a Bukti fisik luaran penelitian 1 (Satu) eksemplar;
 - b Laporan penggunaan keuangan penelitian 100% 1 (Satu) eksemplar (dijilid);
 - c Buku Catatan Harian Penelitian (BCHP) sebanyak 1 (Satu) eksemplar (fotocopy) (dijilid); dan
 - d Surat Pernyataan Tanggung Jawab Mutlak (SPTJM) dan Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTJB) masing-masing sebanyak 1 (satu).
 - e Mengupload softfile poin a,c, dan d pada sistem simlitabmas.unram.ac.id

Pasal 8

INTEGRITAS AKADEMIK

- (1) Pelaksana penelitian wajib menjunjung tinggi integritas akademik yaitu komitmen dalam bentuk perbuatan yang berdasarkan pada nilai kejujuran, kredibilitas, kewajaran, kehormatan, dan tanggung jawab dalam kegiatan penelitian yang dilaksanakan
- (2) Penelitian dilakukan sesuai dengan kerangka etika, hukum dan profesionalitas, serta kewajiban sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- (3) Penelitian dilakukan dengan menjunjung tinggi standar ketelitian dan integritas tertinggi dalam semua aspek penelitian.

Pasal 9

MONITORING DAN EVALUASI

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2021.

Pasal 10

SANKSI

- (1) Apabila batas waktu berakhirnya masa penelitian ini PIHAK KEDUA belum menyerahkan hasil pekerjaan seluruhnya kepada PIHAK PERTAMA, maka PIHAK KEDUA dikenakan denda sebesar 1/1000 (satu permil) setiap hari keterlambatan sampai setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai Surat Perjanjian ini terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan (tanggal 1 Desember 2021).
- (2) Apabila PIHAK KEDUA tidak menyerahkan laporan hasil penelitian dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka sisa biaya yang bersangkutan, yang belum sempat dicairkan dinyatakan hangus dan dikembalikan ke BLU Universitas Mataram.
- (3) Dalam hal PIHAK KEDUA tidak dapat memenuhi Surat Perjanjian ini hingga tanggal 19 Januari 2022, maka PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan kembali dan PIHAK KEDUA dikenakan sanksi administratif berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian baik sebagai ketua maupun sebagai anggota dalam kurun waktu 2 (dua) tahun berturut-turut.

Pasal 11

PEMBATALAN PERJANJIAN

Apabila dikemudian hari terdapat judul Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau dilakukan oleh PIHAK KEDUA, maka perjanjian Penelitian ini dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada PIHAK PERTAMA yang selanjutnya akan disetor ke BLU Universitas Mataram.

Pasal 12
PAJAK-PAJAK

Segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA dan harus dibayarkan oleh PIHAK KEDUA ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku.

Pasal 13
KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan.
- (2) Setiap publikasi, makalah, dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian wajib mencantumkan PIHAK PERTAMA sebagai pemberi dana.
- (3) Pencantuman nama PIHAK PERTAMA sebagaimana dimaksud pada ayat (2), paling sedikit mencantumkan nama Universitas Mataram.
- (4) Hasil Pelaksanaan Penelitian ini yang berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari pelaksanaan Penelitian ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada Universitas Mataram sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pasal 14
KEADAAN MEMAKSA

- (1) PARA PIHAK dibebaskan dari tanggung jawab atas keterlambatan atau kegagalan dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam Kontrak Penelitian disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian diluar kekuasaan PARA PIHAK yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (force majeure).
- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa (force majeure) dalam Kontrak Penelitian ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade, peledakan, sabotase, revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan Kontrak Penelitian ini.
- (3) Apabila terjadi keadaan memaksa (force majeure) maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (force majeure), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan PARA PIHAK dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

Pasal 15
PENYELESAIAN SENGKETA

Apabila terjadi perselisihan antara PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila penyelesaian secara musyawarah dan mufakat tidak tercapai, maka penyelesaian dilakukan melalui jalur hukum, dengan memilih domisili hukum di Pengadilan Negeri Mataram.

Pasal 16
LAIN-LAIN

- (1) PIHAK KEDUA menjamin bahwa penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (2) Segala sesuatu yang belum diatur dalam Perjanjian ini dan jika dipandang perlu untuk diatur lebih lanjut, akan dilakukan perubahan oleh PARA PIHAK dalam bentuk perjanjian tambahan (adendum) yang akan menjadi satu kesatuan dan merupakan bagian tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA

LPPM Universitas Mataram
Ketua,



Muhamad Ali, Ph.D.
NIP. 19720727 199903 1 002

PIHAK KEDUA

Tim Pelaksana Penelitian
Ketua,

Dr. Ngudiyono, ST., MT.
NIP. "197905042008121003

Anggota 1,

1 Ir. Miko Eniarti, MT.

Anggota 2,

2 I NYOMAN MERDANA, ST., MT.

Anggota 3,

3 FATHMAH MAHMUD, ST., MT.

Anggota 4,

4 NI NYOMAN KENCANAWATI, ST., MT., Ph.D.

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN INTERNAL UNIVERSITAS MATARAM**



Judul Penelitian

**PENGARUH KEBAKARAN PADA STRUKTUR BETON BERTULANG
TERHADAP LAJU KOROSI DAN TEGANGAN LEKAT (*BOND STRESS*)
TULANGAN BAJA**

Oleh:

Dr. Ngudiyono, ST., MT. (Ketua)

NIDN: 0005057406

I Nyoman Merdana, ST., MT. (Anggota 1)

NIDN: 0013096802

Fathmah Mahmud, ST., MT. (Anggota 2)

NIDN: 0009117105

Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D. (Anggota 3)

NIDN: 0004087602

Ir. Miko Eniarti., MT. (Anggota 4)

NIDN: 00150365907

Dibiayai dari Sumber Dana DIPA BLU (PNBP) Universitas Mataram

Tahun Anggaran 2021

Kontrak Penelitian No : 2916/UN18.L1/PP/2021

KELOMPOK PENELITI BIDANG ILMU

TEKNOLOGI AUDIT DAN REHABILITASI STRUKTUR GEDUNG

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

UNIVERSITAS MATARAM

TAHUN 2021

**HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN PENINGKATAN KAPASITAS**

1	Judul Penelitian	:	Pengaruh Kebakaran Pada Struktur Beton Bertulang Terhadap Laju Korosi Dan Tegangan Lekat (Bond Stress) Tulangan Baja
2	Topik Unggulan	:	Infrastruktur, Transportasi Dan Teknologi Informasi
3	Kelompok Peneliti Bidang Ilmu	:	Teknologi Audit Dan Rehabilitasi Struktur Gedung
4	Ketua Peneliti a. Nama Lengkap b. NIP/NIDN c. Jabatan fungsional d. Fakultas e. Alamat Institusi f. Telepon/Faks/e-mail	:	Dr. Ngudiyono, ST., MT. 197405051999031003/0005057406 Lektor Kepala Teknik Sipil / Fakultas Teknik Jl.Majapahit No 62 Mataram
5	Anggota Peneliti	:	1. Ir. Miko Eniarti, MT. 2. I NYOMAN MERDANA, ST., MT. 3. FATHMAH MAHMUD, ST., MT. 4. NI NYOMAN KENCANAWATI, ST., MT., Ph.D.
6	Mahasiswa yang terlibat	:	2 Orang
7	Waktu Penelitian	:	6 Bulan
8	Luaran Wajib	:	• Publikasi Ilmiah (Publikasi pada artikel ilmiah yang dimuat dalam jurnal (Accepted pada jurnal nasional ber-ISSN, pengumpulan paling lambat 1 tahun setelah kontrak berakhir), atau Publikasi pada proceeding seminar nasional/Internasional)
9	Luaran Tambahan	:	• TTG
10	Pembiayaan a. PNBPN UNRAM b. Biaya dari Instansi lain c. Biaya dari peneliti sendiri	:	Rp 15,000,000 Rp 0 Rp 0

Mataram,25-11-2021

Mengetahui
Ketua Kelompok Peneliti Bidang Ilmu



Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197608042000032001

Menyetujui:
Dekan Fakultas Teknik / Direktur Program
Pascasarjana UNRAM




Muhamad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197202221999031002

Ketua Peneliti



Dr. Ngudiyono, ST., MT.
NIP. 197405051999031003

Mengetahui:
Ketua BP3F/BP2EB Fakultas Teknik / Prodi/ Program
Studi Magister



Dr. Nur Kaliwantoro, ST., MT.
NIP. 197210061999031002

Mengetahui
Ketua LPPM UNRAM



Muhamad Ali, S.Pt., M.Si., Ph.D.
NIP. 197207271999031002

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI	ii
RINGKASAN.....	iv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	1
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	2
D. Urgensi	2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
A. Beton Pasca Bakar.....	3
B. Kuat Lekat Tulangan Baja pada Beton.....	6
C. Korosi Tulangan Baja pada Beton.....	8
D. Laju Korosi.....	9
BAB III. METODE PENELITIAN	11
A. <i>Flowchart</i> Penelitian	11
B. Bahan Penelitian.....	12
C. Alat Penelitian	12
D. Pelaksanaan Penelitian	12
1. Mix Desain Beton.....	12
2. Pembuatan Benda Uji.....	12
3. Pembakaran Benda Uji.....	15
4. Pengujian Kuat Tekan Beton.....	15
5. Pengujian Korosi Tulangan Baja.....	16
6. Pengujian Tegangan Lekat	17
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
A. Hasil Pengujian Pendahuluan.....	19

B. Hasil <i>Mix Design</i>	21
C. Perkembangan Suhu Pembakaran	22
D. Hasil Uji Kuat Tekan.....	22
E. Hasil Uji Korosi.....	24
F. Hasil Uji Kuat Lekat.....	24
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	26
A. Kesimpulan.....	26
B. Saran.....	26
REFERENSI.....	27

RINGKASAN

Kebakaran pada gedung beton bertulang, menyebabkan kualitas beton mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena jumlah pori-pori kosong dalam beton semakin bertambah, dan timbulnya retak-retak pada permukaan beton (*surface crack*). Pori-pori kosong dan retak-retak memudahkan air meresap ke dalam beton dan jika air tersebut mengandung asam, basa atau senyawa klorida akan menyebabkan terjadinya korosi pada tulangan baja di dalam beton. Mengingat korosi pada tulangan baja akan menyebabkan kuat lekat menjadi berkurang dan penelitian ini masih menjadi kurang perhatian, oleh karena itu penelitian ini sangat penting untuk dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kebakaran terhadap kuat tekan, tegangan lekat (*bond stress*) dan korosi tulangan dalam beton.

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen. Tulangan baja ditanamkan (*embedded*) di dalam beton berbentuk kubus ukuran 100 x 100 x 100 mm dengan variasi mutu beton ($f'c$) 17.5 MPa, 20 MPa dan 30 MPa. Setelah benda uji mencapai umur minimum 28 hari, dilakukan pembakaran pada suhu sekitar 400°C selama 1 jam dengan menggunakan tungku pembakaran (*furnace*). Untuk mempercepat proses korosi, benda uji direndam di air yang telah ditambahkan NaCl sebesar 5% selama 24 jam dan diberikan arus DC sebesar 12 Volt. Uji korosi dilakukan dengan metode *half cell potential* dengan cara mengukur beda potensial masing-masing benda uji dengan Multitester. Selanjutnya dilakukan pengujian tegangan lekat tulangan baja dan beton dengan uji *pull out*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, akibat pembakaran temperatur tinggi sebesar 400°C, kuat tekan beton ($f'c$) 17.5 MPa, 20 MPa, 30 MPa mengalami penurunan berturut-turut sebesar 18.60%, 20.51%, 19.92% atau rata-rata 19.62% dibandingkan dengan beton prabakar. Selain itu juga menurunkan tegangan lekat tulangan baja yang ditanam pada beton dengan kuat tekan beton ($f'c$) 17.5 MPa, 20 MPa, 30 MPa mengalami penurunan berturut-turut sebesar 69.09%, 64.07%, 62.02% atau rata-rata 65.07% dibandingkan dengan beton prabakar. Hasil pengujian korosi dengan metode *half cell potential* menunjukkan bahwa *initial corrosion* tulangan baja dalam beton prabakar maupun pascabakar memiliki tingkat resiko korosi 90% atau tinggi karena beda potensial untuk semua benda uji < -350 mV. Akan tetapi jika dilihat dari nilai beda potensial, tulangan baja dalam beton pasca bakar lebih rendah daripada beton prabakar, kecuali beton dengan kuat tekan 30 MPa, nilai beda potensial sedikit lebih tinggi daripada beton prabakar.

Kata Kunci : Beton pasca bakar, tulangan baja, korosi, tegangan lekat

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton merupakan material yang paling banyak digunakan di Indonesia. Hal ini disebabkan karena beton mempunyai beberapa kelebihan yaitu : kuat tekan tinggi, mudah dibentuk sesuai keinginan, dapat memanfaatkan bahan lokal sehingga harga relatif murah, mudah dalam pelaksanaan dan perawatan, serta tahan terhadap pengaruh lingkungan.

Secara umum beton juga merupakan bahan bangunan yang mempunyai daya tahan lebih baik terhadap kebakaran daripada baja atau kayu. Akan tetapi di atas suhu 200⁰C beton akan mengalami penurunan kekuatannya. Suprenant (1996), Al-Shaleh *et al* (1997), Crozier *et al* (1998), dan Ngudiyono (2001) menemukan bahwa akibat temperatur tinggi atau kebakaran struktur beton bertulang akan mengalami degradasi kekuatan meliputi kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, kekakuan, stabilitas, secara visual pada permukaan beton timbul retak-retak permukaan (*surface crack*) dan *spalling* sehingga menyebabkan struktur tersebut kurang tahan terhadap pengaruh lingkungan yang merusak struktur beton bertulang. Hal ini disebabkan karena air dalam pori beton telah menguap sehingga meninggalkan pori-pori kosong dalam beton yang akan menyebabkan beton menjadi lebih porous. Jika beton dikombinasikan dengan batang tulangan baja biasanya sebagai tulangan tarik, tekan, geser maupun torsi, maka air yang meresap akan menyebabkan tulangan baja tersebut menjadi korosi.

Korosi pada struktur beton bertulang terjadi karena air yang meresap ke dalam beton mengandung asam, basa, atau senyawa klorida dan lain-lain. Korosi pada batang tulangan baja akan menyebabkan kekuatan struktur beton bertulang menjadi berkurang, hal ini disebabkan karena berkurangnya luas penampang tulangan baja sehingga kapasitas dukung batang tulangan baja akan berkurang. Disamping itu kemampuan struktur beton bertulang dalam mendukung beban juga dipengaruhi oleh lekatan antara tulangan baja dan beton, dimana akibat terjadinya korosi pada tulangan baja akan menyebabkan kemampuan ini akan berkurang. Oleh karena itu pada penelitian ini telah ditinjau sejauh mana pengaruh kebakaran pada struktur beton bertulang terhadap laju korosi dan tegangan lekat antara tulangan baja pada struktur beton bertulang setelah terbakar (pasca bakar).

B. Perumusan Masalah

Struktur beton bertulang setelah mengalami kebakaran (beton pasca bakar) akan mengalami penurunan kekuatan hal ini disebabkan karena jumlah pori-pori kosong dalam

beton semakin bertambah, dan timbulnya retak-retak pada permukaan beton (*surface crack*). Pori-pori kosong dan retak-retak memudahkan air meresap ke dalam beton dan jika air tersebut mengandung asam, basa atau senyawa klorida akan menyebabkan terjadinya korosi pada tulangan baja di dalam beton, oleh karena itu dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Sejauh mana sejauh pengaruh kebakaran terhadap korosi tulangan baja dengan berbagai variasi mutu beton ($f'c$)?
2. Sejauh mana pengaruh kebakaran dan korosi terhadap terhadap tegangan lekat (*bond stress*) antara tulangan baja dan beton?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui sejauh pengaruh kebakaran terhadap korosi tulangan baja dengan berbagai variasi mutu beton ($f'c$).
2. Untuk mengetahui pengaruh kebakaran dan korosi terhadap terhadap tegangan lekat (*bond stress*) antara tulangan baja dan beton.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi metode sederhana pengujian laju korosi dan pengujian tegangan lekat tulangan baja beton pasca bakar.
2. Sebagai bahan informasi bagi kalangan akademisi, praktisi dan masyarakat tentang pengaruh kebakaran terhadap korosi dan tegangan lekat (*bond stress*) antara tulangan baja dan beton.

D. Urgensi

Kebakaran pada gedung beton bertulang, akan menyebabkan kualitas beton mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena jumlah pori-pori kosong dalam beton semakin bertambah, dan timbulnya retak-retak pada permukaan beton (*surface crack*). Pori-pori kosong dan retak-retak memudahkan air meresap ke dalam beton dan jika air tersebut mengandung asam, basa atau senyawa klorida akan menyebabkan terjadinya korosi pada tulangan baja di dalam beton. Mengingat temperatur tinggi dan korosi pada tulangan baja akan menyebabkan kuat lekat menjadi berkurang dan penelitian ini masih menjadi kurang perhatian, oleh karena itu penelitian ini sangat urgen untuk dilakukan.

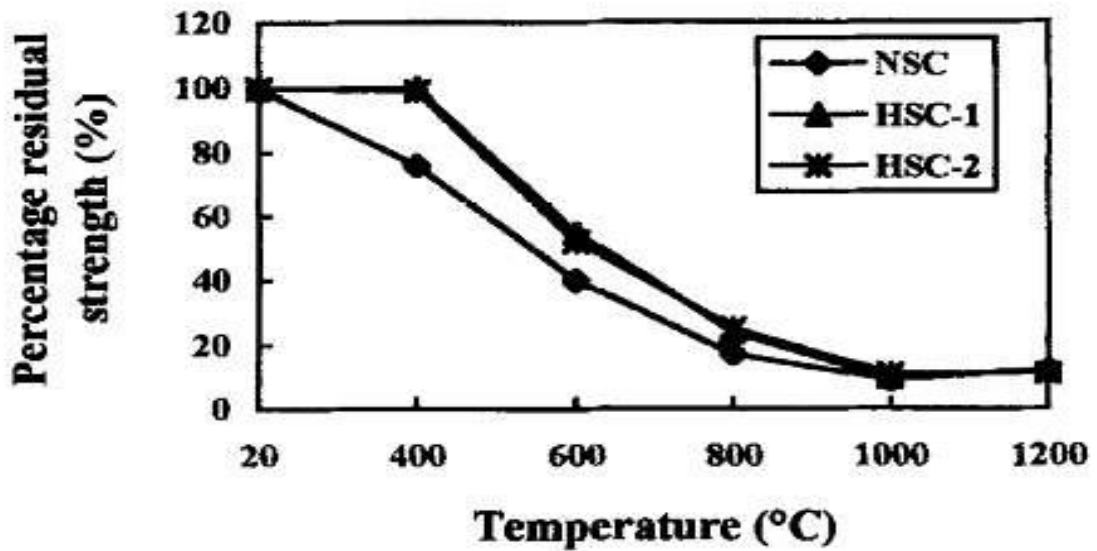
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton Pasca Bakar

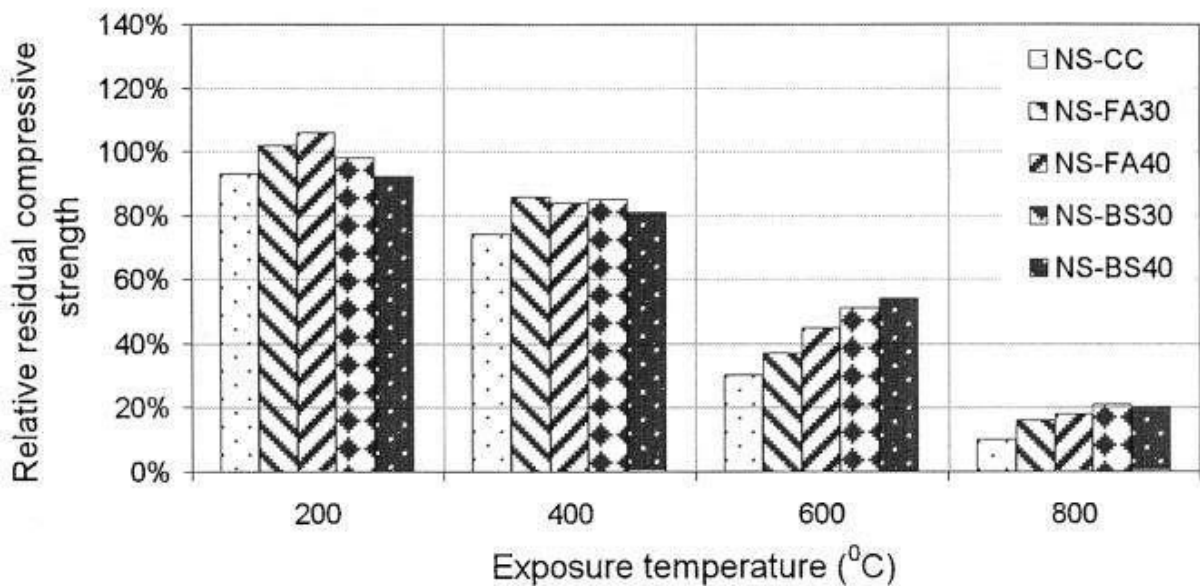
Ketika struktur beton bertulang mengalami kebakaran, mengakibatkan penurunan kinerja dan daya tahan struktur, ini telah dibuktikan oleh Suprenant (1996), Al-Shaleh *et al* (1997), Crozier *et al* (1998), dan Ngudiyono (2001) bahwa akibat temperatur tinggi atau kebakaran struktur beton bertulang akan mengalami degradasi kekuatan meliputi kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, kekakuan, stabilitas, secara visual pada permukaan beton timbul retak-retak permukaan (*surface crack*) dan *spalling* hal ini disebabkan karena kalsium-silikat-hidrat (C-S-H) dalam pasta beton terurai pada suhu tinggi, dan akan melemahkan ikatan antara semen dan agregat, mengurangi kekuatan beton, dan menghasilkan pori-pori mikro dan retakan mikro.

Proses pendinginan setelah mengalami kebakaran juga akan berpengaruh terhadap kekuatan beton pasca bakar. Chan dkk. (1997) menyelidiki pengaruh suhu tinggi pada beton dengan menggunakan benda uji kubus 100 mm. Spesimen didinginkan secara perlahan setelah dipanaskan, ditemukan bahwa penurunan kekuatan terbatas untuk spesimen yang mengalami suhu maksimal antara 20⁰C dan 400⁰C, sementara pengurangan yang signifikan ditemukan untuk suhu yang lebih tinggi. Untuk spesimen yang terpapar suhu maksimum lebih tinggi dari 800⁰C, prosentase kekuatan sisanya kecil. Persentase kekuatan tekan sisa dari tiga mutu beton pada suhu puncak yang berbeda terhadap kekuatan tekan pada 20⁰C disajikan pada Gambar 2.1.

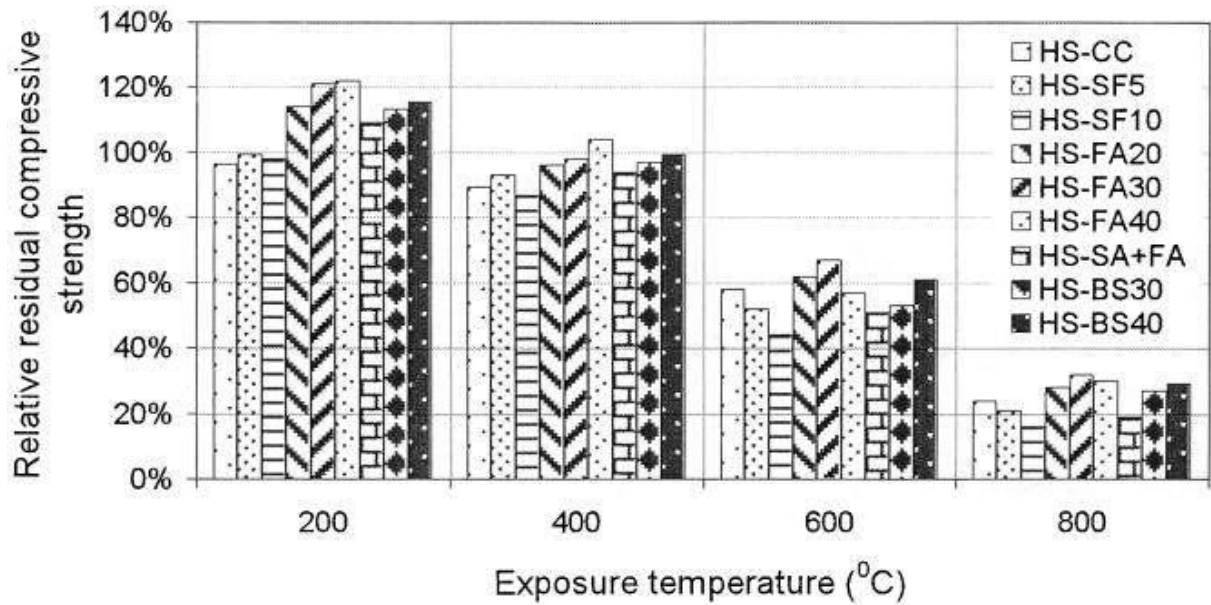
Selanjutnya Poon dkk. (2001) menyelidiki pengaruh suhu tinggi pada benda uji kubus 100 mm yang terbuat dari beton normal (NS) dan mutu tinggi (HS) dengan berbagai jenis pengikat: 100% Semen Portland Biasa (OPC); OPC dan 30-40% fly ash (OPCPFA); dan OPC dan slag 30-40% (OPC-GGBS). Spesimen ini juga didinginkan perlahan sampai suhu kamar setelah pemanasan. Berbagai jenis pengikat menghasilkan perilaku beton yang berbeda pada suhu tinggi, sedangkan spesimen dengan PFA menunjukkan peningkatan kekuatan pada suhu hingga 200⁰C, akan tetapi pada suhu ini beton dengan bahan GGBS kekuatannya menurun. Selanjutnya prosentase kekuatan tekan sisa dari berbagai jenis pengikat disajikan pada Gambar 2.2 dan 2.3



Gambar 2.1. Persentase kekuatan tekan sisa dari tiga mutu beton pada suhu puncak yang berbeda terhadap kekuatan tekan pada 20°C (Chan dkk., 1997)



Gambar 2.2. Persentase kekuatan tekan sisa dari beton normal (NS) pada suhu puncak yang berbeda terhadap kekuatan tekan pada 20°C (Poon dkk., 2001)



Gambar 2.3. Persentase kekuatan tekan sisa dari beton mutu tinggi (HS) pada suhu puncak yang berbeda terhadap kekuatan tekan pada 20°C (Poon dkk., 2001)

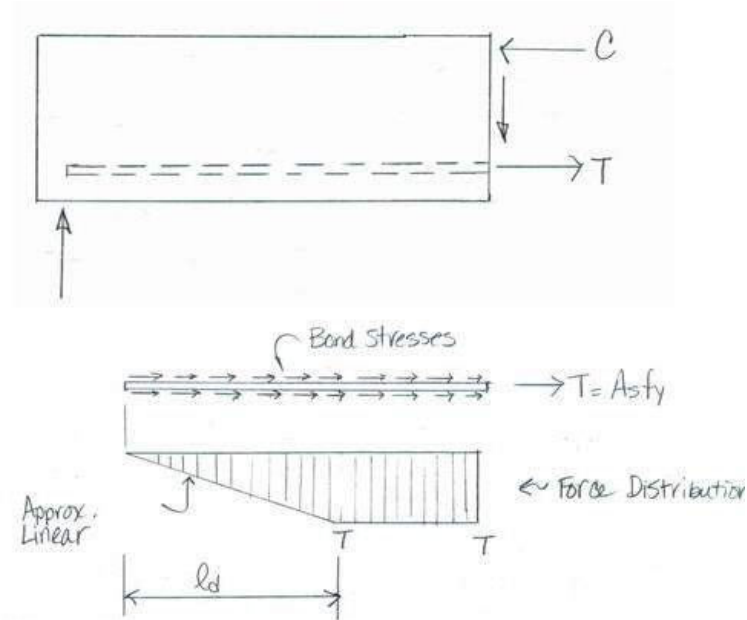
EN 1992-1-2 (2004) juga menyediakan faktor reduksi kuat tekan beton sebagai acuan dalam desain struktur beton bertulang ditampilkan pada Tabel 2.1 .

Tabel 2.1. Faktor reduksi kuat tekan beton (EN 1992-1-2, 2004)

Concrete temp. θ [°C]	Siliceous aggregates			Calcareous aggregates		
	$f_{c,\theta} / f_{ck}$ [-]	$\epsilon_{c1,\theta}$ [-]	$\epsilon_{cu1,\theta}$ [-]	$f_{c,\theta} / f_{ck}$ [-]	$\epsilon_{c1,\theta}$ [-]	$\epsilon_{cu1,\theta}$ [-]
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00	-	-	0,00	-	-

B. Kuat Lekat Tulangan Baja pada Beton

Secara umum penggunaan tulangan baja pada struktur beton bertulang adalah untuk mengganti kemampuan menerima gaya tarik pada material beton yang lemah. Gaya tarik yang terjadi pada struktur beton selanjutnya akan disalurkan ke tulangan baja melalui mekanisme lekatan (*bond*), sehingga kedua material tersebut yaitu beton dan tulangan baja dapat bekerja sama menjadi satu kesatuan material komposit. Mekanisme tranfer beban pada struktur balok beton bertulang disajikan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. Mekanisme tranfer beban pada struktur balok beton bertulang (McGregor, 1997)

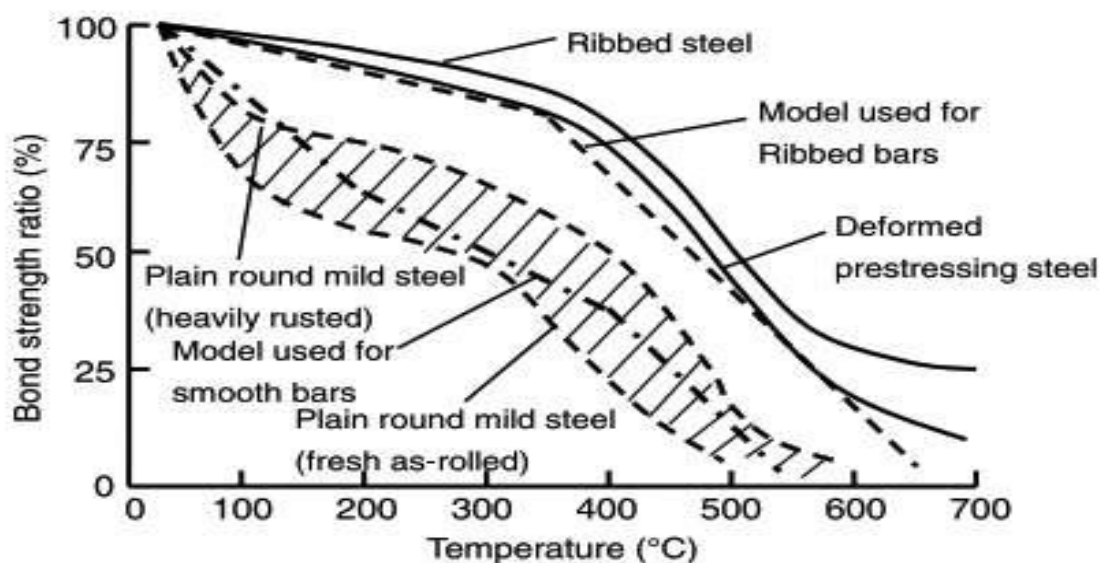
Ada tiga jenis pengujian untuk menentukan kualitas lekatan elemen tulangan yaitu dengan uji *pull-out*, *embedded-rod*, dan balok lentur. Uji *pull-out* dapat memberikan perbandingan yang baik antara efisiensi lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penanamannya (*embedment length*). Dalam uji *embedded-rod* banyak retak, lebarnya, dan jarak antaranya untuk berbagai taraf pembebanan merupakan ukuran pertambahan tegangan lekatan dan kekuatan lekatan. Proses ini serupa dengan perilaku balok di mana bertambahnya lebar retak secara terus menerus menyebabkan bertambahnya gelincir tulangan baja, dan dapat menyebabkan keruntuhan balok tersebut. Sedangkan uji balok untuk mengetahui lekatan lentur (Nawy, 1990). Dari ketiga cara di atas cara paling mudah untuk mengetahui perilaku dan mekanisme lekatan antara beton dan tulangan baja adalah dengan melakukan uji *pull-out* pada tulangan yang ditanam di dalam beton. Dari pengujian ini dapat diketahui besarnya gaya tarik/cabut dan tegangan lekat (*bond stress*)

rata-rata yang bekerja pada luas bidang kontak antara beton dan tulangan.

Pengaruh temperatur tinggi terhadap tegangan lekat antara baja dan beton telah dilakukan oleh Bazant dan Kaplan (1996) dimana hasil penelitian dapat diringkas sebagai berikut :

- Tegangan lekat berkurang dengan meningkatnya temperatur dan reduksi lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan beton.
- Persentase pengurangan tegangan lekat untuk tulangan ulir di temperatur tinggi umumnya lebih rendah daripada untuk tulangan polos.
- Perbedaan diameter batang polos dan ulir memiliki pengaruh kecil terhadap pengurangan tegangan lekat.
- Prosedur pengujian yang digunakan mempengaruhi hasil tegangan lekat pada temperatur tinggi.
- Jenis agregat dalam beton mempengaruhi tegangan lekat pada temperatur tinggi.
- Semakin kecil penutup beton, semakin besar pengurangan tegangan lekat.

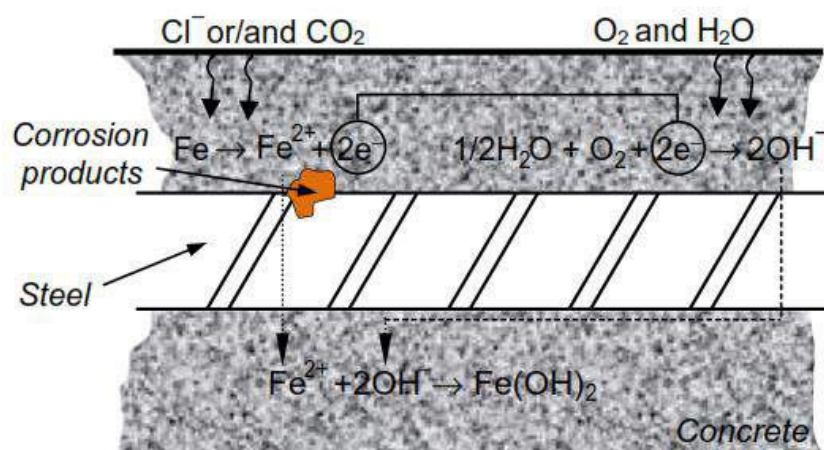
Karena kompleksitas karakteristik lekatan pada temperatur tinggi, untuk menghitung prosentase penurunan tegangan lekat tulangan polos dan ulir digunakan pendekatan orde pertama bi-linear yang disederhanakan dan model tri-linear, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Persentase tegangan lekat sisa tulangan daam beton pada temperatur tinggi (Bazant dan Kaplan, 1996)

C. Korosi Tulangan Baja pada Beton

Ketika beton terekspose di udara, maka kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang ada di dalam beton akan bereaksi dengan karbon dioksida (CO_2), proses ini yang disebut dengan karbonasi. Efek karbonasi menyebabkan pH beton turun hingga kurang dari 8,3 dan seiring berjalannya waktu kedalaman penetrasi karbonasi semakin meningkat. Jika karbonasi terjadi hingga menyentuh permukaan tulangan baja pada beton, maka proses korosi akan mulai terjadi (Poursaei, 2016). Korosi pada batang tulangan baja juga terjadi karena adanya *cracking* dan *spalling* pada struktur beton bertulang (Rasheeduzzafar *et al*, 1990). Skema ilustrasi korosi pada beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1. Skema ilustrasi korosi tulangan baja pada beton (Ahmade, 2003)

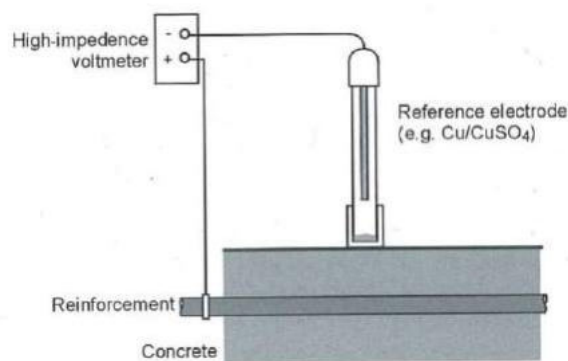
Korosi pada tulangan beton akan menyebabkan penurunan luas penampang batang tulangan baja sehingga kapasitas dukungnya juga tereduksi, *spalling* semakin bertambah karena adanya karat (*rust*) di dalam beton sehingga akan mengurangi tegangan lekat antara batang tulangan baja dan beton (Young *et al*, 1998). Mirza dan Amleh (1999) menyatakan bahwa lekatan (*bond*) antara batang tulangan baja dan beton dipengaruhi oleh banyak faktor seperti perubahan temperatur, variasi beban yang bekerja, rangkai dan susut, korosi dan lain-lain. Mirza dan Amleh (1999) juga meneliti pengaruh korosi terhadap lekatan (*bond*) antara tulangan baja dan beton normal (tanpa mengalami kebakaran) berdasarkan tingkat/level korosi tulangan baja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akibat adanya korosi pada tulangan baja menyebabkan tegangan lekat berkurang dengan semakin meningkatnya level korosi. Untuk tulangan baja dengan kehilangan berat 4% tegangan lekat berkurang 4%, sedangkan tulangan baja dengan kehilangan berat 17,5% tegangan lekat berkurang 92%.

D. Laju Korosi

Laju korosi adalah tebal material yang hilang tiap satuan waktu yang disebabkan oleh adanya korosi. Karena hampir semua korosi adalah merupakan suatu reaksi elektrokimia, semua yang mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Hukum Ohm dapat diterapkan untuk bagian elektrik dari sel korosi. Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Jika arus dapat diukur, suatu kalkulasi yang tepat dari kehilangan metal dapat ditentukan. Ini berarti bahwa suatu pengukuran dalam ampere atau milliampere secara matematis dihitung dalam kilogram (*pound*) per tahun. Satu Amp tahun adalah satu Ampere yang mengalir selama periode satu tahun ((Fantana, 1986)

Metode elektrokimia adalah salah satu cara untuk mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja, dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang. Menurut klasifikasi mekanisme terjadinya korosi ini termasuk korosi temperature rendah (*low temperature corrosion/wet corrosion*). Kelebihan metode ini adalah dapat langsung mengetahui laju korosi pada saat diukur, sehingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama (Fantana, 1986).

Salah satu metode elektrokimia untuk mendeteksi awal korosi pada tulangan baja dalam beton mengacu standar ASTM C876 adalah *half cell potential*, dimana korosi tulangan dapat dilihat dari nilai beda potensial terhadap elektrode referensi *copper/copper sulfat* (Cu/CuSO₄ atau SCE), skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.3 Hubungan antara nilai beda potensial dengan peluang terjadinya korosi dapat dilihat pada Tabel 2.1, sedangkan berikut ini:



Gambar 2.3. Skema ilustrasi korosi tulangan baja pada beton (ASTM C876, 2015)

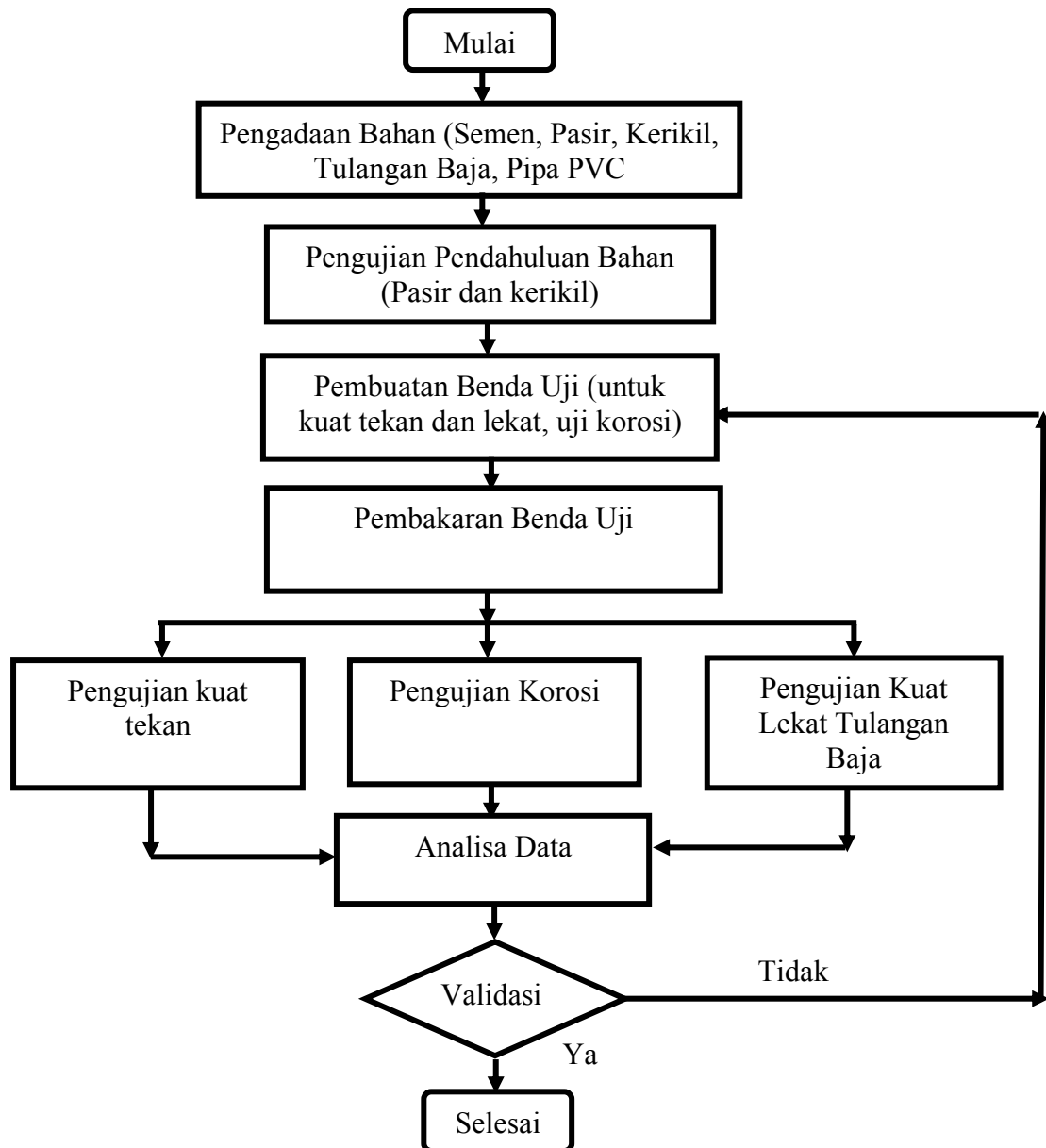
Tabel 2.1. Kriteria korosi tulangan baja dalam beton berdasarkan elektrode referensi acuan Cu/CuSO₄ atau SCE

No	$E_{\text{corrosion}}$ (Cu/CuSO ₄ atau SCE)	Resiko Korosi
1	>-200 mV	10% (rendah)
2	-200 sampai dengan -350 mV	50% (menengah)
3	-350 mV	90 (tinggi)

BAB III. METODE PENELITIAN

A. *Flowchart* Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Mataram (FT UNRAM), secara ringkas disajikan dalam bagan alir (*flowchart*) sebagai berikut ini :



Gambar 3.1. *Flowchart* Penelitian

B. Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah:

1. Semen
2. Pasir
3. Kerikil/Batu pecah
4. Tulangan beton polos 10 mm
5. Kotak bekisting dari papan kayu
6. NaCl

C. Alat Penelitian

Beberapa alat utama yang akan digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Alat untuk pengujian pendahuluan material penyusun beton (pasir, kerikil) : ayakan, oven, cecang, timbangan, mesin ayakan, mesin lo angeles
2. Alat untuk membuat benda uji: mesin pengaduk (molen), cetakan silinder, vibrator, slump apparatus
3. Alat uji kuat tekan : Compression Testing Machine (CTM)
4. Alat uji kuat lekat : Loading Frame, Universal Testing Machine (UTM)
5. Alat uji laju korosi: Multitester, stainless steel, kabel-kabel konektor

D. Pelaksanaan Penelitian

1. Mix Desain Beton

Perencanaan perbandingan campuran beton normal menggunakan metode DOE (*Department Of Environment*) yang dimuat dalam buku standar No. SK SNI T-15-1990-03. Dalam penelitian ini ada 3 variasi kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari yaitu minimal 17,5 MPa, 20 MPa dan 30 MPa.

2. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan mencampur dan mengaduk bahan penyusun (semen, pasir, kerikil, air) sesuai dengan *mix design*, dengan menggunakan *concrete mixer* (molen). Setelah campuran adukan beton tercampur merata, dilakukan pengujian slump untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton segar. Selanjutnya

setelah nilai slump memenuhi standar yang direncanakan, campuran beton segar dituangkan dalam bekisting/cetakan benda uji berbentuk kubus ukuran 100 mm x 100 mm x 100 mm. Untuk memperoleh kepadatan beton yang maksimal, selama pengecoran juga dilakukan pemadatan dengan alat penggetar (*vibrator*). Proses pengecoran benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.2 sd 3.4. Total benda uji kuat tekan, uji korosi dan tegangan lekat beton pra dan pasca bakar sebanyak 30 benda uji, seperti yang disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Benda uji beton pra dan pasca bakar

No	Pengujian	Ukuran dan Bentuk	Jumlah		
			17.5 MPa	25 MPa	30 MPa
1	Kuat tekan (f'_c)	Kubus 100x100x100 mm	6	6	6
2	Uji korosi	Kubus 100x100x100 mm dan besi diameter 10 mm	2	2	2
3	Tegangan Lekat	Kubus 100x100x100 mm dan besi diameter 10 mm	2	2	2



Gambar 3.2. Pengadukan bahan campuran beton dengan molen



Gambar 3.3. Pengujian slump



Gambar 3.4. Hasil pengecoran

3. Pembakaran Benda Uji

Setelah umur benda uji mencapai minimum 28 hari, selanjutnya sebanyak 15 benda uji dilakukan pembakaran dengan menggunakan tungku (*furnace*) dengan suhu kira-kira 400⁰C dan dipertahankan hingga 1 jam. Selama pembakaran benda uji dilakukan pencatatan perkembangan temperatur di dalam furnace. Proses pembakaran dapat dilihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5. Proses pembakaran benda uji dengan *furnace*

4. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari beton itu sendiri.. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C 39-99 dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine (CTM)* seperti pada Gambar 3.6.



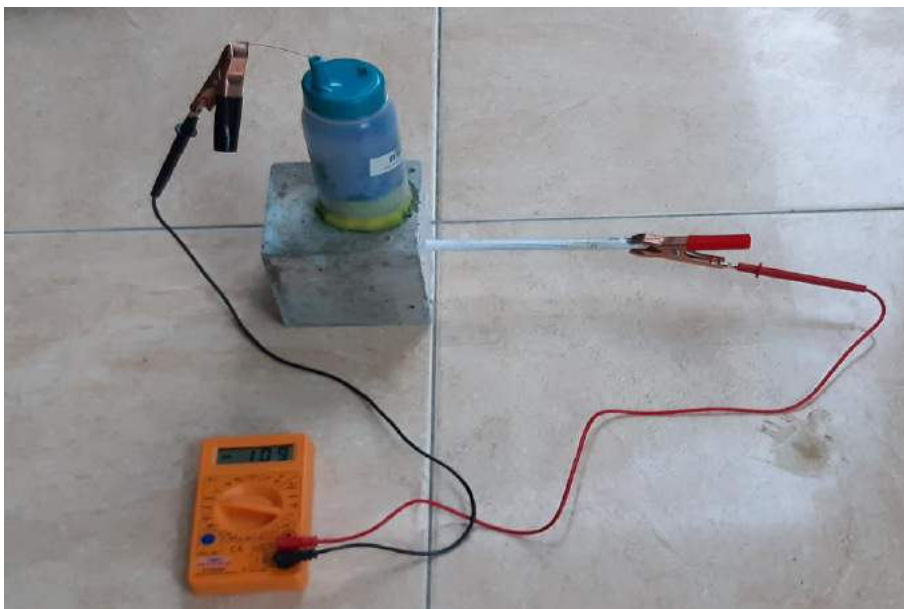
Gambar 3.6 Pengujian kuat tekan

5. Pengujian Korosi Tulangan Baja

Sebelum dilakukan uji korosi terlebih dahulu benda uji prabakar dan pascabakar diberikan korosi awal (*initial corrosion*) dengan menggunakan metode pemberian arus anodik ke tulangan baja. Semua benda uji korosi (prabakar dan pascabakar) direndam ke dalam bak air yang mengandung larutan NaCl 5%, selanjutnya batang *stainless steel* dimasukkan ke dalam bak yang bertindak sebagai katoda. Arus DC dari adaptor sebesar 12 Volt digunakan untuk memberikan aliran anodik ke tulangan baja. Kutub positif dihubungkan ke tulangan baja yang bertindak sebagai anoda dan kutub negatif dihubungkan ke batang *stainless steel* yang bertindak sebagai katoda. Selanjutnya arus 12 Volt dipertahankan selama 24 Jam. Proses pemberian korosi awal (*initial corrosion*) disajikan pada Gambar 3.7. Sedangkan pada penelitian ini untuk mengukur korosi mengacu pada standar ASTM C876 yaitu metode *half cell potential*, dapat dilihat pada Gambar 3.8. Pencatatan beda potensial dengan multimeter dilakukan pada hari 1 setelah pemberian *initial corrosion* dan setiap 5 hari.



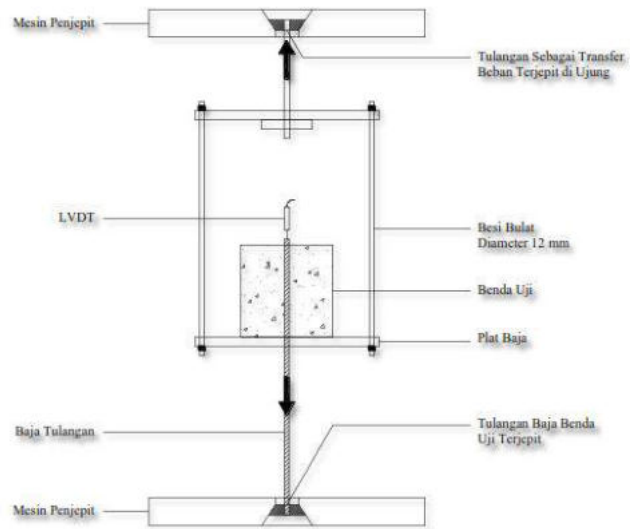
Gambar 3.7. Proses pemberian korosi awal (*initial corrosion*)



Gambar 3.8. Pengujian korosi awal

6. Pengujian Tegangan Lekat

Untuk mengetahui tegangan lekat tulangan baja dalam beton, digunakan metode *pull out* dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). *Setting* pengujian *pull out* ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.4. Uji tegangan lekat dengan *Pull out*

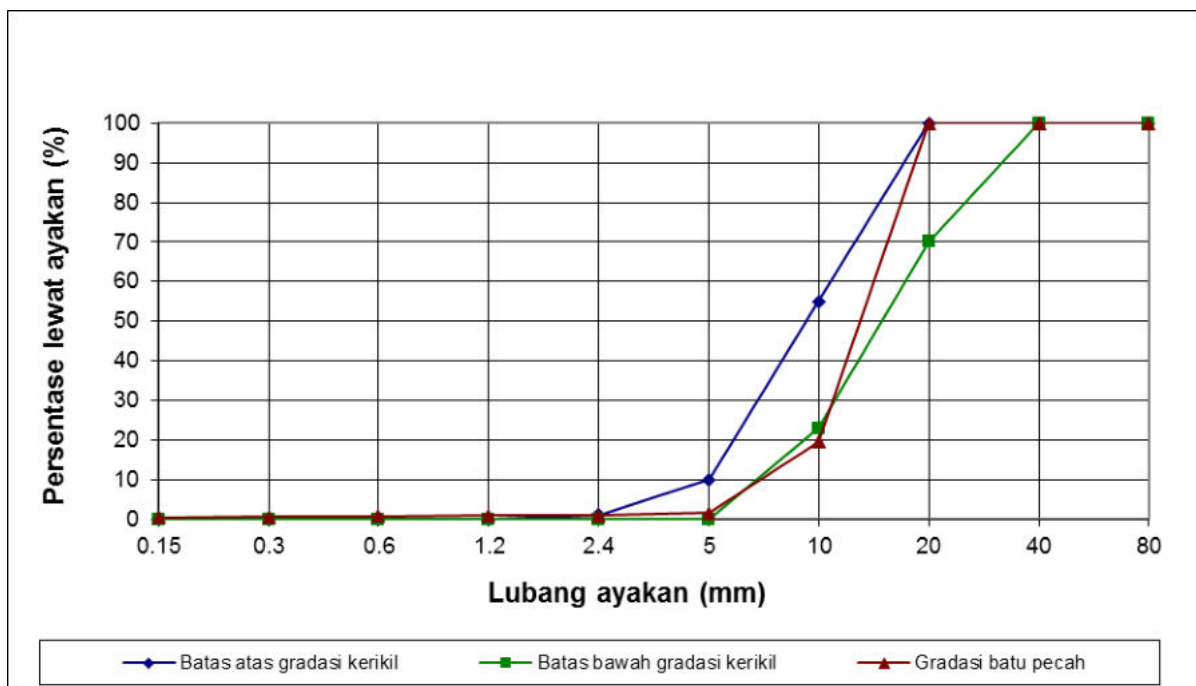
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Pendahuluan

Dari hasil pemeriksaan bahan yang dilakukan terhadap agregat kasar (kerikil pecah) dan agregat halus (pasir) diperoleh data sebagai berikut :

1. Gradasi agregat kasar

Pada penelitian ini dipakai agregat kasar yang berasal dari Gebong Desa Tanak Beak Narmada, Lombok Barat, yang hasil analisis saringannya dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.

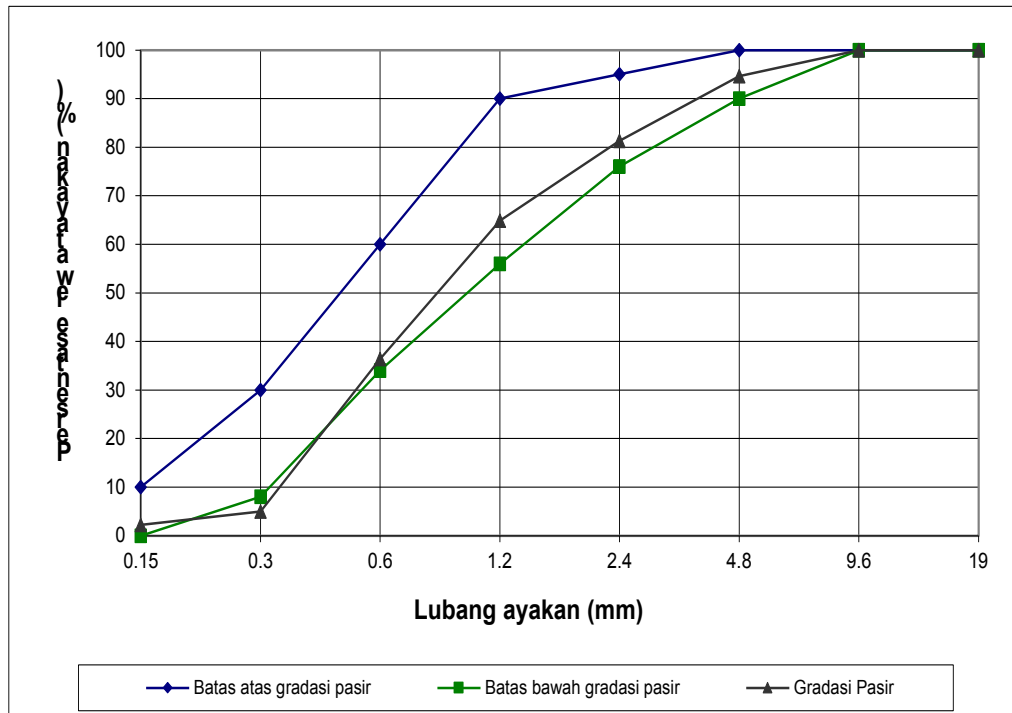


Gambar 4.1. Grafik gradasi kasar (batu pecah)

Dari Gambar 4.1 di atas menunjukkan bahwa gradasi agregat berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi agregat kasar yang disyaratkan. Besar modulus halus agregat kasar (batu pecah) diameter maksimum 20 mm yang dipakai sebagai bahan penelitian ini adalah 6,749. Ini menunjukkan agregat kasar mempunyai modulus halus butir sesuai standar yaitu antara 5–8 (Tjokrodinuljo, 1996). Dengan demikian agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

2. Gradasi agregat halus

Pada penelitian ini dipakai agregat halus yang berasal dari daerah yang sama dengan agregat kasar, yang hasil analisis ayakannya dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2. Grafik gradasi agregat halus (pasir)

Dari Gambar 4.2 di atas menunjukkan bahwa pasir yang digunakan berada pada batas daerah II (pasir agak kasar), dengan modulus halus butirnya sebesar 3,155. Ini menunjukkan pasir mempunyai modulus halus butir sesuai standar yaitu antara 1,5 – 3,8 (Tjokrodimuljo, 1996), artinya pasir yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

3. Berat jenis agregat

Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus (pasir) sebesar 2,646 dan berat jenis agregat kasar (kerikil/batu pecah) 2,630. Hasil ini menunjukkan bahwa agregat yang dipakai termasuk jenis agregat normal dengan berat jenis berkisar antara 2,5 – 2,7 (Tjokrodimuljo, 1996), dan selanjutnya dengan hasil yang diperoleh ini menunjukkan bahwa bahan tersebut dapat dipakai dalam perencanaan campuran adukan beton normal.

4. Berat satuan agregat

Pemeriksaan berat satuan agregat dibagi menjadi dua yaitu berat satuan lepas dan berat satuan padat. Hasil pemeriksaan berat satuan padat dan lepas untuk pasir secara berturut-turut adalah 1,709 dan 1,494 dan hasil pemeriksaan berat satuan padat dan lepas agregat kasar secara berturut-turut adalah 1,434 dan 1,544.

5. Kandungan lumpur pasir

Dalam penelitian ini pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir menggunakan cara ayakan nomor 200 sehingga diperoleh hasil kandungan lumpur sebesar 1.523%. dengan nilai ini, pasir tersebut dapat dipakai sebagai bahan penyusun beton dan tidak perlu dilakukan pencucian karena kandungan lumpurnya lebih rendah dari standar yang disyaratkan yaitu kurang dari 5% (Tjokrodimuljo, 1996).

6. Ketahanan aus agregat kasar

Hasil pengujian ketahanan aus agregat kasar dengan jenis gradasi B setelah 100 kali putaran sebesar 4,24 % dan setelah putaran ke 500 sebesar 18,86 %. Batu pecah tersebut dapat digunakan untuk membuat beton dengan kelas kuat III (kuat tekan diatas 20 MPa). Dan sesuai dengan persyaratan kekerasan agregat kasar mutu beton kelas III (Tjokrodimuljo,1996).

B. Hasil *Mix Design*

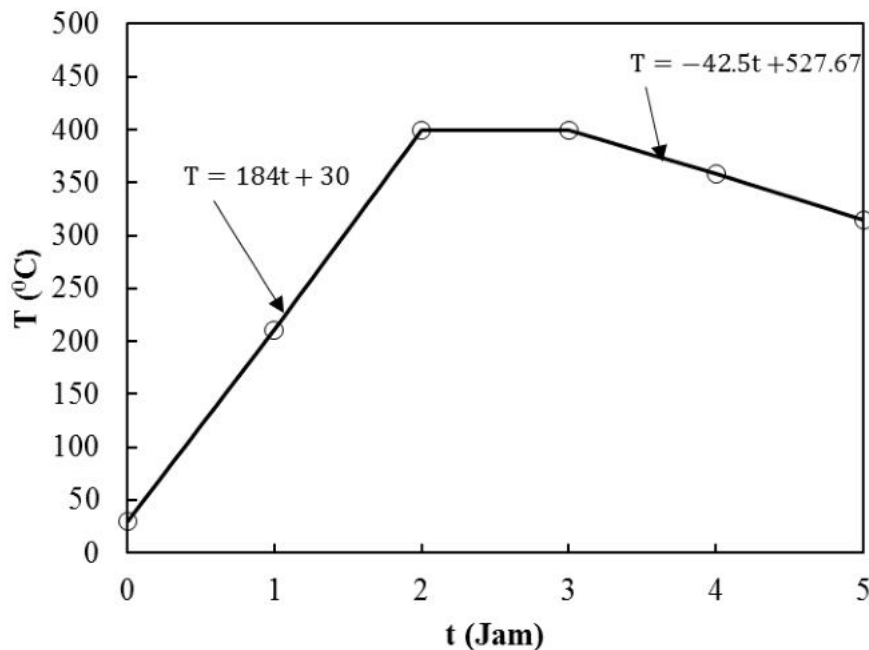
Hasil *mix design* campuran beton per 1 m³, menggunakan metode DOE (Departement Of Environment) untuk masing-masing mutu beton 17,5 MPa, 20 MPa dan 30 MPa, disajikan pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Kebutuhan bahan penyusun beton per 1 m³

No	Mutu Beton (f'c)	Kebutuhan Bahan (kg)			
		Semen	Pasir	Kerikil	Air
1	17,5 MPa	366,07	711,57	1067,36	205,00
2	20 MPa	394,23	700,31	1050,46	205,00
3	30 MPa	512,50	653,00	979,50	205,00

C. Perkembangan Suhu Pembakaran

Hasil pengukuran temperatur di dalam *furnace* selama pembakaran disajikan pada Gambar 4.3. Dari gambar tersebut terlihat bahwa temperatur pembakaran sebesar 400°C tercapai setelah 2 jam setelah alat *furnace* menyala, kemudian temperatur dipertahankan stabil selama 1 jam untuk mensimulasikan waktu rata-rata kebakaran yang terjadi di lapangan. Setelah itu temperatur diturunkan hingga mencapai 315°C dengan harapan benda uji tidak mengalami pendinginan secara mendadak.



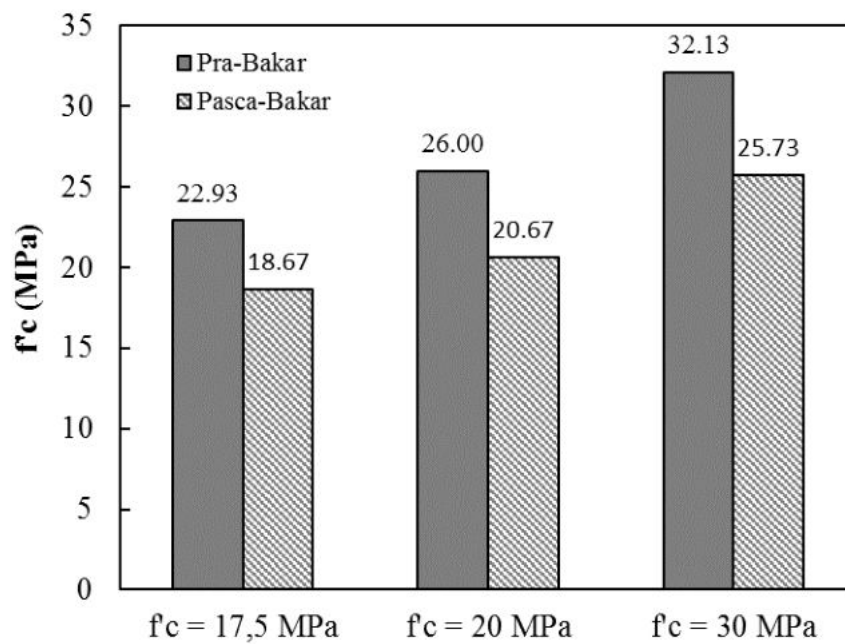
Gambar 4.3. Grafik perkembangan suhu pembakaran

D. Hasil Uji Kuat Tekan

Hasil pengujian kubus yang selanjutnya dikonversi ke silinder beton disajikan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.4. Dari tabel dan gambar tersebut terlihat bahwa kuat tekan rencana masing-masing mutu beton 17.5 MPa, 20 MPa dan 30 MPa telah tercapai semuanya, dimana kuat tekan yang dihasilkan berturut-turut 22.93 MPa, 26 MPa, 32.13 MPa. Pembakaran benda uji dengan temperatur 400°C, belum memberikan dampak yang signifikan terhadap penurunan kuat tekan beton, dimana prosentasi penurunan untuk masing-masing mutu beton rencana berturut-turut adalah sebesar 18.60%, 20.51%, 19.92% atau rata-rata 19.62% dibandingkan dengan beton prabakar atau kuat tekan sisanya sekitar 80%, nilai ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Chan dkk. (1997), Poon dkk. (2001) dan EN 1992-1-2 (2004) dimana kuat tekan sisanya sekitar 75% - 80%.

Tabel 4.1. Hasil pengujian kuat tekan

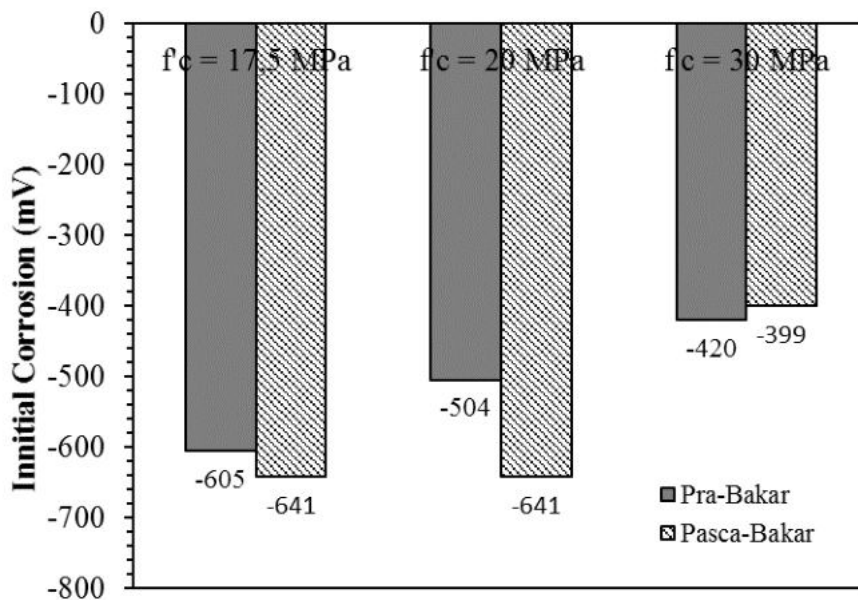
Benda Uji	Dimensi (mm)			Pmax (N)	f _{ck} (MPa)	f _c (MPa)	f _c rata-rata (MPa)	% Penurunan
	P	L	T					
Pra-Bakar 17,5 MPa-1	100	100	100	295000	29.50	23.60	22.93	18.60%
Pra-Bakar 17,5 MPa-2	100	100	100	270000	27.00	21.60		
Pra-Bakar 17,5 MPa-3	100	100	100	295000	29.50	23.60		
Pasca-Bakar 17,5 MPa-1	100	100	100	225000	22.50	18.00	18.67	
Pasca-Bakar 17,5 MPa-2	100	100	100	230000	23.00	18.40		
Pasca-Bakar 17,5 MPa-3	100	100	100	245000	24.50	19.60		
Pra-Bakar 20 MPa-1	100	100	100	355000	35.50	28.40	26.00	20.51%
Pra-Bakar 20 MPa-2	100	100	100	320000	32.00	25.60		
Pra-Bakar 20 MPa-3	100	100	100	300000	30.00	24.00		
Pasca-Bakar 20 MPa-1	100	100	100	270000	27.00	21.60	20.67	
Pasca-Bakar 20 MPa-2	100	100	100	275000	27.50	22.00		
Pasca-Bakar 20 MPa-3	100	100	100	230000	23.00	18.40		
Pra-Bakar 30 MPa-1	100	100	100	390000	39.00	31.20	32.13	19.92%
Pra-Bakar 30 MPa-2	100	100	100	415000	41.50	33.20		
Pra-Bakar 30 MPa-3	100	100	100	400000	40.00	32.00		
Pasca-Bakar 30 MPa-1	100	100	100	320000	32.00	25.60	25.73	
Pasca-Bakar 30 MPa-2	100	100	100	320000	32.00	25.60		
Pasca-Bakar 30 MPa-3	100	100	100	325000	32.50	26.00		



Gambar 4.4. Grafik hasil uji tekan

E. Hasil Uji Korosi

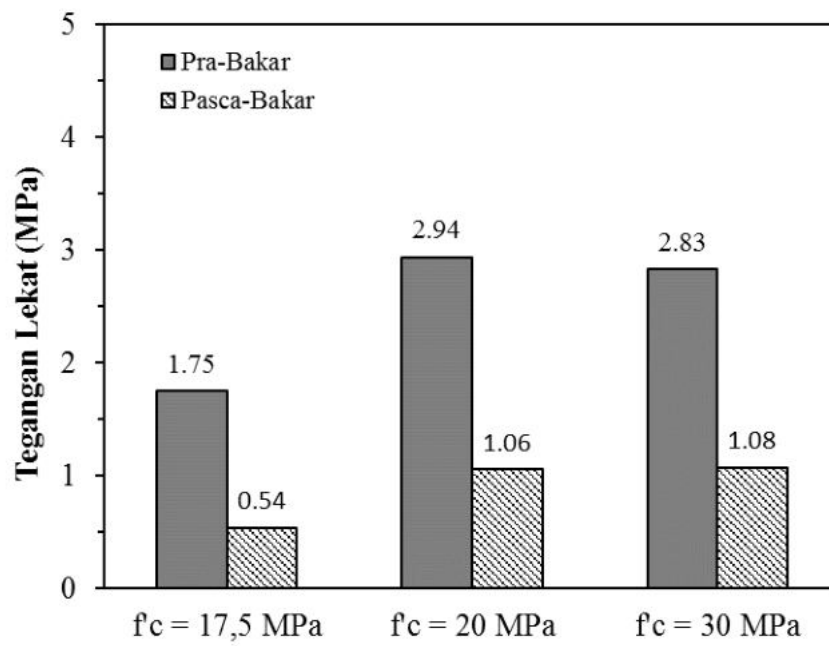
Hasil pengujian korosi dengan metode *half cell potential* menunjukkan bahwa *initial corrosion* tulangan baja dalam beton prabakar maupun pascabakar memiliki tingkat resiko korosi 90% atau tinggi karena beda potensial untuk semua benda uji < -350 mV (ASTM C876, 2015). Akan tetapi jika dilihat dari nilai beda potensial, tulangan baja dalam beton pasca bakar lebih rendah daripada beton prabakar, kecuali beton dengan kuat tekan 30 MPa, nilai beda potensial sedikit lebih tinggi daripada beton prabakar.



Gambar 4.5. Grafik hasil uji awal korosi

F. Hasil Uji Kuat Lekat

Berbeda dengan kuat tekan beton, akibat pengaruh pembakaran temperatur pada temperatur 400°C menurunkan tegangan lekat tulangan dalam beton yang cukup signifikan. Tegangan lekat tulangan baja yang ditanam pada beton pada kuat tekan beton (f_c) 17.5 MPa, 20 MPa, 30 MPa mengalami penurunan berturut-turut sebesar 69.09%, 64.07%, 62.02% atau rata-rata 65.07% dibandingkan dengan beton prabakar atau tegangan lekat sisanya sekitar 35%, hal ini kemungkinan disebabkan koefisien muai besi yang tinggi juga memicu perambatan panas ke dalam beton semakin cepat, sehingga akan merubah lekatan antara tulangan dan beton berkurang. Nilai ini tidak jauh berbed dengan penelitian yang dilakukan oleh Bazant dan Kaplan (1996) diman tegangan lekat sisa tulangan polos dalam beton sekitar 35% - 50%.



Gambar 4.5. Grafik hasil uji kuat lekat

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penjelasan di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil eksperimen menunjukkan akibat pembakaran temperatur tinggi sebesar 400⁰C, kuat tekan beton (f_c) 17.5 MPa, 20 MPa, 30 MPa mengalami penurunan berturut-turut sebesar 18.60%, 20.51%, 19.92% atau rata-rata 19.62% dibandingkan dengan beton prabakar.
2. Pengaruh pembakaran temperatur tinggi sebesar 400⁰C juga menurunkan tegangan lekat tulangan dalam beton. Tegangan lekat tulangan baja yang ditanam pada beton dengan kuat tekan beton (f_c) 17.5 MPa, 20 MPa, 30 MPa mengalami penurunan berturut-turut sebesar 69.09%, 64.07%, 62.02% atau rata-rata 65.07% dibandingkan dengan beton prabakar.
3. Hasil pengujian korosi dengan metode *half cell potential* menunjukkan bahwa *initial corrosion* tulangan baja dalam beton prabakar maupun pascabakar memiliki tingkat resiko korosi 90% atau tinggi karena beda potensial untuk semua benda uji < -350 mV. Akan tetapi jika dilihat dari nilai beda potensial, tulangan baja dalam beton pasca bakar lebih rendah daripada beton prabakar, kecuali beton dengan kuat tekan 30 MPa, nilai beda potensial sedikit lebih tinggi daripada beton prabakar.

B. Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan untuk kelanjutan penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan lebih lanjut dengan variasi jenis beton, selimut beton dan panjang penyaluran.
2. Pengujian kuat lekat dan korosi perlu dilakukan dengan metode pengujian dengan bentuk benda uji yang lain seperti benda berbentuk balok, silinder dan lain lain

REFERENSI

- Al-Shaleh, M.S., Al-Muairi, N.M., 1997, Assessment of Fire-Damaged Kuwait Structures, ASCE Journal of Material in Civil Engineering, Vol. 9, No. 1, February, pp 7-13.
- ASTM C39-99, 1999, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM C876, 2015. Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
- Ahmed, S., 2003. Reinforcement corrosion in concrete structure, its monitoring and service life prediction-a review. Cement and Concrete Composite 30 (4e5), 459e471.
- Bazant, Z. P., Kaplan, M. F., 1996. Concrete at high temperatures. Longman Group Limited.
- Crozier, D. A, Sanjayan, J. G, Liew, E. M, 1998, Residual Strength of High Strength Concrete Beams Exposed to High Temperature, International Conference on HPHSC, August 1998, pp 341-352.
- Chan, Y., Peng, P., Anson, M., 1998. Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures, Cem. Concr. Compos. 21, pp 23–27.
- EN 1992-1-2, 2004. Eurocode 2, design of concrete structures, part 1.2: general rules — structural fire design. Commission of the European Communities. Brussels.
- Fontana, Mars G, 1986, Corrosion Engineering Third Edition, New York : Mc Graw- Hill
- Mirza, S., dan Amleh, L., 1999, Corrosion Influence on Bond between Steel and Concrete, ACI Structural Journal, Vol. 96, No. 3, May-June, pp 415-423.
- Nawy, E., G., 1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar (edisi terjemahan), PT Eresco, Bandung.
- Ngudiyono, 2001, Perilaku Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang Pasca Bakar dengan Carbon Fiber Strips, Thesis S2, Program Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.
- McGregor, J., G., 1997, Reinforced Concrete Mechanics and Design, Prentice-Hall Inc, New Jersey, USA
- Poon, C., Azhar, S., Anson, M., Wong, Y. 2001. Comparison of the strength and durability performance of normal-and high-strength pozzolanic concretes at elevated temperatures, Cem. Concr. Res. 3, pp 1291–1300.

- Poursaee, A., 2016, Corrosion of Steel in Concrete Structures, Copyright Elsevier Ltd. All rights reserved, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-381-2.00002-X>,
- Rasheeduzzafar, Al-Sulaimani, G., J., Kaleemullah, M., Basunbul, I., A., Influence of Corrosion and Cracking an Bond Behavoir and Strength of Reinforced Concrete Members, ACI Structural Journal, Vol. 87, No. 2, March-April, pp 220-230.
- Suprenant, B., A., 1996, Evaluating Fire-Damaged Concrete, Concrete Society, England.
- Young, J., F., Mindess, S., Gray, R., J., Bentur, A., 1998, The Science and Technology of Civil Engineering Materials, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Tjokrodimuljo, K., 1996, Teknologi Beton, Nafiri, Yogyakarta.

LAMPIRAN VI

PENINGKATAN KAPASITAS

TAHUN 2022



KONTRAK PENELITIAN
SUMBER DANA DIPA BLU SKEMA PENELITIAN PENINGKATAN KAPASITAS
UNIVERSITAS MATARAM

Tahun Anggaran 2022
Nomor: **1651/UN18.L1/PP/2022**

Pada hari ini **Senin tanggal Sembilan bulan Mei tahun Dua Ribu Dua Puluh Dua**, kami yang bertandatangan dibawah ini :

- 1 Muhamad Ali, Ph.D. : **Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mataram**, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Mataram, berkedudukan di Jl. Pendidikan No. 37 Mataram, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
- 2 Dr. Ngudiyono, ST., MT. : **Dosen Fakultas Teknik Universitas Mataram**, dalam hal ini bertindak sebagai Ketua dan anggota Tim Peneliti sesuai Proposal dan SK Rektor Nomor: **11996/UN18/HK/2022**, untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA, selanjutnya disebut **PARA PIHAK** secara bersama-sama telah sepakat untuk mengikatkan diri dalam suatu Kontrak Penelitian DIPA BLU (PNBP) Tahun Anggaran 2022 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

Pasal1

RUANG LINGKUP KONTRAK DAN TIM PENELITI

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima pekerjaan dimaksud dari **PIHAK PERTAMA**, untuk melaksanakan dan menyelesaikan penelitian dengan judul **"Pemanfaatan Limbah Serat Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Tulangan Mikro Balok Beton Bertulang Secara Parsial"**.
- (2) Berdasarkan Proposal yang diajukan, nama-nama Tim Peneliti dari **PIHAK KEDUA** adalah sebagai Berikut
 - 1 Dr. Ngudiyono, ST., MT.
 - 2 Ir. Suryawan Murtiadi, M.Eng., Ph.D.
 - 3 I Nyoman Merdana, ST., MT.
 - 4 Fathmah Mahmud, ST., MT.
 - 5 Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D
- (3) **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab penuh atas seluruh pelaksanaan, pengadministrasian dan pengelolaan keuangan serta pelaksanaan kegiatan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1)

Pasal 2
DANA PENELITIAN

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah sebesar **Rp. 12.500.000** (dua belas juta lima ratus ribu rupiah) sudah termasuk pajak
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada DIPA BLU Universitas Mataram Tahun Anggaran 2022.

Pasal 3
TATA CARA PEMBAYARAN DANA PENELITIAN

PIHAK PERTAMA akan membayarkan Dana Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) kepada PIHAK KEDUA secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:

- (1) Pembayaran Tahap Pertama sebesar 80% dari total dana penelitian yaitu $80\% \times \text{Rp } 12.500.000 = \text{Rp. } 10.000.000$ (sepuluh juta rupiah), dibayarkan setelah Kontrak di tandatangani PARA PIHAK.
- (2) Pembayaran Tahap Kedua sebesar 20% dari total dana penelitian yaitu $20\% \times \text{Rp } 12.500.000 = \text{Rp. } 2.500.000$ (dua juta lima ratus ribu rupiah), dibayarkan setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan akhir Pelaksanaan Penelitian beserta kelengkapan yang ditetapkan.

Pasal 4
JANGKA WAKTU

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 adalah **terhitung sejak Tanggal 9 Mei 2022 dan berakhir pada Tanggal 30 November 2022.**

Pasal 5
TARGET LUARAN

- (1) PIHAK KEDUA wajib mencapai target luaran wajib dan luaran tambahan penelitian berupa:

No.	Jenis Luaran Penelitian
Luaran Wajib :	
a	Publikasi Ilmiah (Publikasi pada artikel ilmiah yang dimuat dalam jurnal (Accepted pada jurnal nasional ber-ISSN, pengumpulan paling lambat 1 tahun setelah kontrak berakhir), atau Publikasi pada <u>proceeding seminar nasional/Internasional</u>)
b	
c	
d	
Luaran Tambahan:	
a	TTG
b	

- (2) PIHAK KEDUA wajib melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada PIHAK PERTAMA

Pasal 6
HAK DAN KEWAJIBAN PARA PIHAK

- (1) Hak dan Kewajiban PIHAK PERTAMA
 - a PIHAK PERTAMA berhak mendapatkan luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 dari PIHAK KEDUA;

- b PIHAK PERTAMA wajib memberikan dana penelitian kepada PIHAK KEDUA dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.
- (2) Hak dan Kewajiban PIHAK KEDUA:
- a PIHAK KEDUA berhak menerima dana penelitian dari PIHAK PERTAMA dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
 - b PIHAK KEDUA wajib menyerahkan Luaran Penelitian dan Buku Catatan Harian Penelitian kepada PIHAK PERTAMA;
 - c PIHAK KEDUA wajib bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
 - d PIHAK KEDUA wajib menyampaikan laporan penggunaan dana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 7 **LAPORAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

- (1) PIHAK KEDUA wajib menyampaikan kepada PIHAK PERTAMA laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh PIHAK PERTAMA yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh PIHAK PERTAMA;
- (2) PIHAK KEDUA wajib menyampaikan Laporan Akhir sebanyak 1 (Satu) eksemplar paling lambat 30 November 2022, disertai dokumen-dokumen sebagai berikut:
 - a Bukti fisik luaran penelitian;
 - b Laporan penggunaan keuangan penelitian 100% 1 (Satu) eksemplar (dijilid);
 - c Buku Catatan Harian Penelitian (*BCHP*) sebanyak 1 (Satu) eksemplar (fotocopy) (dijilid); dan
 - d Surat Pernyataan Tanggung Jawab Mutlak (*SPTJM*) dan Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (*SPTJB*) masing-masing sebanyak 1 (satu).
 - e Mengupload softfile poin a,c, dan d pada sistem simlitabmas.unram.ac.id

Pasal 8 **MONITORING DAN EVALUASI**

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2022.

Pasal 9 **SANKSI**

- (1) Apabila batas waktu berakhirnya masa penelitian ini PIHAK KEDUA belum menyerahkan hasil pekerjaan seluruhnya kepada PIHAK PERTAMA, maka PIHAK KEDUA dikenakan denda sebesar 1/1000 (satu permil) setiap hari keterlambatan sampai setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai Surat Perjanjian ini terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan (tanggal 1 Desember 2022).
- (2) Apabila PIHAK KEDUA tidak menyerahkan laporan hasil penelitian dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka sisa biaya yang bersangkutan, yang belum sempat dicairkan dinyatakan hangus dan dikembalikan ke BLU Universitas Mataram.
- (3) Dalam hal PIHAK KEDUA tidak dapat memenuhi Surat Perjanjian ini hingga tanggal 19 Januari 2023, maka PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan kembali dan PIHAK KEDUA dikenakan sanksi administratif berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat

mengajukan proposal penelitian baik sebagai ketua maupun sebagai anggota dalam kurun waktu 2 (dua) tahun berturut-turut.

Pasal 10 PEMBATALAN PERJANJIAN

Apabila dikemudian hari terhadap judul Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau dilakukan oleh PIHAK KEDUA, maka perjanjian Penelitian ini dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada PIHAK PERTAMA yang selanjutnya akan disetor ke BLU Universitas Mataram.

Pasal 11 PAJAK-PAJAK

Segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggung jawab PIHAK KEDUA dan harus dibayarkan oleh PIHAK KEDUA ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku.

Pasal 12 PERALATAN DAN/ALAT HASIL PENELITIAN

Hasil Pelaksanaan Penelitian ini yang berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari pelaksanaan Penelitian ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada Universitas Mataram sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pasal 13 PENYELESAIAN SENGKETA

Apabila terjadi perselisihan antara PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila penyelesaian secara musyawarah dan mufakat tidak tercapai, maka penyelesaian dilakukan melalui jalur hukum, dengan memilih domisili hukum di Pengadilan Negeri Mataram.

Pasal 14 LAIN-LAIN

- (1) PIHAK KEDUA menjamin bahwa penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (2) Segala sesuatu yang belum diatur dalam Perjanjian ini dan jika dipandang perlu untuk diatur lebih lanjut, akan dilakukan perubahan oleh PARA PIHAK dalam bentuk perjanjian tambahan (adendum) yang akan menjadi satu kesatuan dan merupakan bagian tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA

LPPM Universitas Mataram
Ketua,



Muhamad Ali, Ph.D.
NIP. 19720727 199903 1 002

PIHAK KEDUA

Tim Pelaksana Penelitian
Ketua,

Dr. Ngudiyono, ST., MT.
NIP. 19740505 199903 1 003

Anggota 1,

1 I. Suryawan Murtiadi, M.Eng., Ph.D.

Anggota 2,

2 I Nyoman Merdana, ST., MT.

Anggota 3,

3 Fathmah Mahmud, ST., MT.

Anggota 4,

4 Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D.

**PENELITIAN
PENINGKATAN KAPASITAS**

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN INTERNAL UNIVERSITAS MATARAM**



Judul Penelitian

Pemanfaatan Limbah Serat Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) Sebagai Tulangan Mikro Balok Beton Bertulang Secara Parsial

Oleh:

Dr. Ngudiyono, ST., MT. (Ketua)

NIDN: 0005057406

Ir. Suryawan Murtiadi, M.Eng., Ph.D. (Anggota 1)

NIDN: 0018075803

I Nyoman Merdana, ST., MT. (Anggota 2)

NIDN: 0013096802

Fathmah Mahmud, ST., MT. (Anggota 3)

NIDN: 0009117105

Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D. (Anggota 4)

NIDN: 0004087602

Dibiayai dari Sumber Dana DIPA BEU (PNBP) Universitas Mataram

Tahun Anggaran 2022

Kontrak Penelitian No : 1651/UN18.L1/PP/2022

KELOMPOK PENELITI BIDANG ILMU

TEKNOLOGI AUDIT DAN REHABILITASI STRUKTUR GEDUNG

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

UNIVERSITAS MATARAM

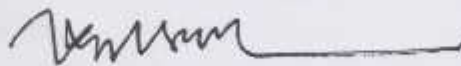
TAHUN 2022

**HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN PENINGKATAN KAPASITAS**

1	Judul Penelitian	:	Pemanfaatan Limbah Serat Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Tulangan Mikro Balok Beton Bertulang Secara Parsial
2	Topik Unggulan	:	Lingkungan
3	Kelompok Peneliti Bidang Ilmu	:	Teknologi Audit Dan Rehabilitasi Struktur Gedung
4	Ketua Peneliti a. Nama Lengkap b. NIP/NIDN c. Jabatan fungsional d. Fakultas e. Alamat Institusi f. Telepon/Faks/e-mail	:	Dr. Ngudiyono, ST., MT. 197405051999031003/0005057406 Lektor Kepala Teknik Sipil / Fakultas Teknik Jl.Majapahit No 62 Mataram
5	Anggota Peneliti	:	1. Ir. Suryawan Murtiadi, M.Eng., Ph.D. 2. I Nyoman Merdana, ST., MT. 3. Fathmah Mahmud, ST., MT. 4. Ni Nyoman Kencanawati, S.T., M.T., Ph.D.
6	Mahasiswa yang terlibat	:	2 Orang
7	Waktu Penelitian	:	6 Bulan
8	Luaran Wajib	:	• Publikasi Ilmiah (Publikasi pada artikel ilmiah yang dimuat dalam jurnal (Accepted pada jurnal nasional ber-ISSN, pengumpulan paling lambat 1 tahun setelah kontrak berakhir), atau Publikasi pada proceeding seminar nasional/Internasional)
9	Luaran Tambahan	:	• TTG
10	Pembiayaan a. PNBPN UNRAM b. Biaya dari Instansi lain c. Biaya dari peneliti sendiri	:	Rp 12,500,000 Rp 0 Rp 0

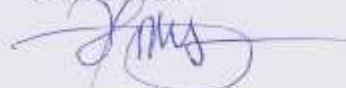
Mataram, 16-11-2022

Mengetahui
Ketua Kelompok Peneliti Bidang Ilmu



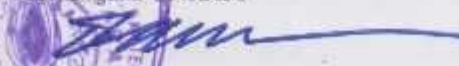
Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197608042000032001

Ketua Peneliti



Dr. Ngudiyono, ST., MT.
NIP. 197405051999031003

Menyetujui:
Dekan Fakultas Teknik / Direktur Program
Pascasarjana UNRAM



Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197202221999031002

Mengetahui:
Ketua BP3F/BP2EB Fakultas Teknik / Prodi/ Program
Studi Magister



Dr. Nur Kalihantoro, ST., MT.
NIP. 197210061999031002

Mengetahui
Ketua PPM UNRAM



Muhammad Ali, S.Pt., M.Si., Ph.D.
NIP. 197207271999031002

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI	ii
RINGKASAN.....	iv
BAB I. PENDAHULUAN	5
A. Latar Belakang.....	5
B. Perumusan Masalah.....	6
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	6
D. Urgensi.....	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)	8
B. Beton Serat Plastik PET	10
C. Analisa Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Beton Normal.....	13
D. Analisa Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Serat Plastik PET	14
E. Kekakuan Lentur Balok Beton Bertulang	16
F. Daktilitas Balok Beton Bertulang.....	16
BAB III. METODE PENELITIAN.....	18
A. <i>Flowchart</i> Penelitian.....	18
B. Bahan Penelitian	19
C. Alat Penelitian.....	21
D. Pelaksanaan Penelitian	21
1. Mix Desain Beton.....	21
2. Benda Uji	22
3. Perawatan benda uji.....	26
4. Pengujian Kuat Tekan Beton (f'_c).....	26
5. Pengujian Kuat Tarik Belah (ft)	27
6. Pengujian Modulus Runtuh	28
7. Pengujian Kapasitas Lentur	29
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
A. Hasil Pengujian Pendahuluan	31
B. Hasil <i>Mix Design</i>	33
C. Hasil Uji Slump Beton Segar.....	34
D. Hasil Uji Kuat Tekan.....	34
E. Hasil Uji Kuat Tarik Belah.....	35

F. Hasil Uji Modulus Runtuh.....	35
G. Hasil Uji Kapasitas Balok.....	36
H. Perbandingan Kapasitas Lentur Ekperimen dan Teoritis.....	38
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
A. Kesimpulan.....	39
B. Saran	39
REFERENSI	40

RINGKASAN

Material beton memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan tersebut adalah dengan menambahkan serat plastik Polyethylene Terephthalate (PET) yang dibuat dari limbah botol plastik jenis PET yang semakin hari semakin menumpuk dipembuangan akhir sampah dan sulit terurai oleh bakteri. Ide dasarnya adalah memberikan tulangan mikro pada beton dengan serat plastik PET yang disebarkan secara merata ke dalam balok beton bertulang secara random. Dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan serat plastik PET tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton, sehingga untuk mengurangi biaya serat plastik PET maka cukup ditambahkan hanya pada bagian tarik balok atau secara parsial, sehingga diharapkan dapat membantu dalam menahan gaya tarik.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan serat plastik PET sebesar 0.5% dari volume beton pada campuran beton, justru menurunkan kuat tekan, namun demikian penurunan yang terjadi tidak signifikan, akan tetapi mampu meningkatkan kuat tarik belah dan modulus runtuh beton berturut-turut sebesar 22.81% dan 30.33%. Penambahan beton serat plastik PET (CF) 0.5% secara parsial pada balok beton bertulang mampu meningkatkan kapasitas lentur sebesar 6%. Peningkatan signifikan terjadi pada kekakuan dan daktilitas balok berturut-turut sebesar 37.5% dan 57.14%. Dari pola retak yang terjadi serat plastik PET mampu memperlambat retak-retak dini pada balok beton bertulang. Hasil analisis kapasitas lentur untuk balok beton normal dan balok beton serat plastik PET menunjukkan hasil yang memuaskan, dimana perbandingan antara eksperimen terhadap teori 0.96 dan 1.01

Kata kunci : serat plastik PET, balok beton bertulang, parsial, kapasitas lentur, daktilitas

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton merupakan material yang telah lama dikenal dan paling banyak digunakan di dunia, hal ini disebabkan karena beton mempunyai beberapa sifat yang memberikan nilai lebih dibandingkan material lain misalnya kayu dan baja. Sifat-sifat tersebut antara lain kuat tekan tinggi, mudah dibentuk sesuai keinginan, dapat memanfaatkan bahan lokal sehingga harga relatif murah serta mudah dalam pelaksanaan dan perawatan. Akan tetapi beton juga memiliki kelemahan yaitu lemah dalam menahan gaya tarik. Salah satu cara untuk mengurangi kelemahan tersebut adalah dengan menambahkan serat baja, besi, plastik produksi pabrik dan serat alami ke dalam adukan beton. Ide dasarnya adalah memberikan tulangan mikro pada beton dengan serat yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton yang berorientasi random.

Di Indonesia pemakaian serat baja, besi, plastik produksi pabrik untuk struktur beton, belum banyak dipakai dalam praktek. Salah satu sebabnya adalah tidak tersedianya serat tersebut di Indonesia dan harganya yang relatif mahal. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dicarikan bahan alternatif yang mudah di dapat di Indonesia dan harganya murah, salah satunya adalah dengan memanfaatkan limbah botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET), yang biasanya diperoleh dari botol minuman kemasan. Botol jenis PET lebih mudah didaur ulang dibandingkan jenis lain seperti HDPE (*High Density Polyethylene*), PVC (*Polivinil Klorid*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), PP (*Polipropilena*), PS (*Polistirena*). Jika botol PET tersebut dipotong-potong menjadi berbentuk serat dengan ukuran tertentu, akan dapat menggantikan serat plastik hasil produksi pabrik. Keuntungan menggunakan plastik PET adalah lebih mudah didaur ulang, selain itu juga memiliki kekuatan tarik lebih tinggi jika dibandingkan jenis HDPE, LDPE, PVC, PP, dan PS. Kuat tarik plastik jenis PET 60 – 80 MPa, sedangkan jenis HDPE 20 – 40 MPa, LDPE 5 – 16 MPa, PVC 40 – 60 MPa, PP 20 – 40 MPa, dan PS 35 – 60 MPa (Kirwan dan Strawbridge, 2003), sehingga diharapkan dapat membantu beton dalam menahan gaya tarik.

Penelitian tentang beton serat dengan memanfaatkan botol PET telah dilakukan oleh Ochi dkk., 2007; Kim dkk., 2010; Pelisser dkk., 2012; Irwan dkk., 2013; Marthong dan Sarma, 2015; Ajamu dkk., 2018; Shahidan dkk., 2018; Elsi, 2019; Andika dan Algazt, 2019; Adnan dan Dawood, 2020; Handayani dkk., 2021 menunjukkan bahwa penambahan serat plastik PET menurunkan nilai slump, tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan, akan tetapi kuat lentur, daktilitas mengalami peningkatan dan lebih tahan terhadap

beban impak. Ali, 2020 membuktikan bahwa penambahan serat PET 1.25% terhadap volume beton, kapasitas geser langsung meningkat 43.5% dan mengubah mode keruntuhan geser ke lentur pada balok beton bertulang. Selanjutnya Meza dkk., 2021 menunjukkan bahwa dosis serat PET memiliki pengaruh yang lebih besar daripada aspek rasio. Namun penelitian-penelitian di atas belum mengaplikasikan serat plastik PET pada balok beton bertulang secara parsial dengan variasi persentase serat plastik PET.

B. Perumusan Masalah

Material beton memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan tersebut adalah dengan menambahkan serat plastik PET. Ide dasarnya adalah memberikan tulangan mikro pada beton dengan serat plastik PET yang disebarkan secara merata ke dalam balok beton bertulang secara random. Dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan serat plastik PET tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton, sehingga untuk mengurangi biaya serat PET maka cukup ditambahkan hanya pada bagian tarik balok atau secara parsial, sehingga diharapkan dapat membantu dalam menahan gaya tarik. Oleh karena itu dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Sejauh mana pengaruh penambahan serat plastik PET pada balok beton bertulang secara parsial dengan persentase serat plastik PET 0,5% terhadap kapasitas lentur dan daktilitas balok beton bertulang?
2. Sejauh mana pengaruh penambahan serat plastik PET pada balok beton bertulang baik secara parsial dengan persentase serat plastik PET 0,5% terhadap pola keruntuhan yang terjadi?
3. Bagaimana analisis kapasitas lentur balok beton bertulang yang menambahkan serat plastik PET secara parsial ?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serat plastik PET pada balok beton bertulang secara parsial dengan persentase serat plastik PET 0,5% terhadap kapasitas lentur dan daktilitas.
2. Untuk mengetahui penambahan serat plastik PET pada balok beton bertulang secara parsial dengan variasi persentase serat plastik PET 0,5% terhadap pola keruntuhan yang terjadi.

3. Untuk mengetahui kapasitas lentur teoritis balok balok beton bertulang yang ditambahkan serat plastik PET secara parsial.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memberikan cara sederhana mengolah sampah plastik PET menjadi bahan yang bermanfaat khususnya sebagai bahan bangunan, dalam usaha mengurangi sampah plastik yang semakin hari semakin menumpuk.
2. Sebagai bahan informasi bagi kalangan akademisi, praktisi dan masyarakat tentang pemanfaatan botol plastik PET yang dibuat menjadi serat plastik pada balok beton bertulang.

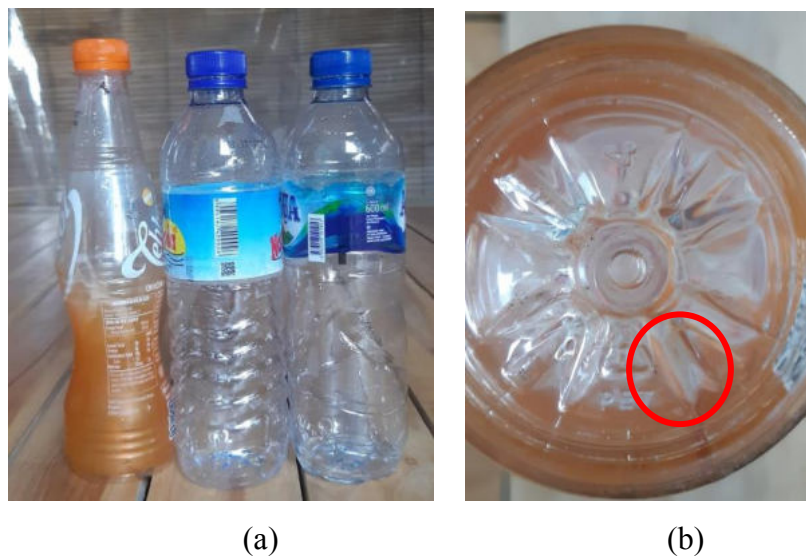
D. Urgensi

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun. Sebanyak 3,2 juta ton di antaranya merupakan sampah plastik yang dibuang ke laut. Kurangnya kesadaran masyarakat dalam mengolah kembali limbah plastik juga memicu menumpuknya limbah plastik di tempat pembuangan sampah, dan umumnya dilakukan pembakaran, yang justru akan mencemari udara disekitarnya, karena kandungan asap mengandung karbonmonoksida (CO), hidrogen sianida (HCN), serta senyawa dioksin yang berbahaya bagi manusia. Selain itu sampah plastik juga bersifat anorganik, sehingga tidak mudah terurai oleh bakteri dan membutuhkan waktu bertahun-tahun agar bisa terurai, sekitar 450 - 1000 tahun. Oleh karena itu dalam rangka pelaksanaan Permen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Sampah Pada Bank Sampah melalui prinsip 3R (*reduce, reuse, dan recycle*) dan mengurangi limbah plastik PET maka penelitian tentang pemanfaatan limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) diolah menjadi serat sebagai tulangan mikro balok beton, sangat urgen untuk dilakukan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)

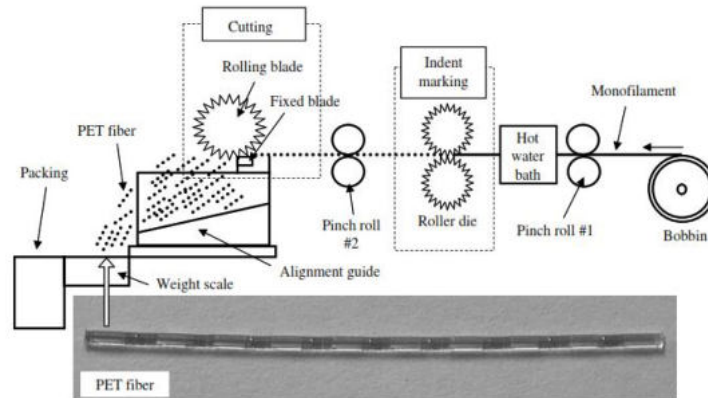
Umumnya bahan yang dipakai untuk membuat botol kemasan minuman adalah plastik jenis HDPE (*High Density Polyethylene*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PET (*Polyethylene Terephthalate*), PC (*Polycarbonate*), PVC (*Polyvinyl Chloride*) dan PS (*Polystyrene*). Keuntungan menggunakan plastik PET adalah lebih mudah didaur ulang, selain itu memiliki kekuatan tarik lebih tinggi, tahan terhadap benturan lebih baik jika dibandingkan jenis HDPE, LDPE, PVC, PP, dan PS. Kuat tarik plastik jenis PET 60 – 80 MPa, sedangkan jenis HDPE 20 – 40 MPa, LDPE 5 – 16 MPa, PVC 40 – 60 MPa, PP 20 – 40 MPa, dan PS 35 – 60 MPa (Kirwan dan Strawbridge, 2003). Limbah botol plastik PET dan simbol kemasan disajikan pada Gambar 2.1.



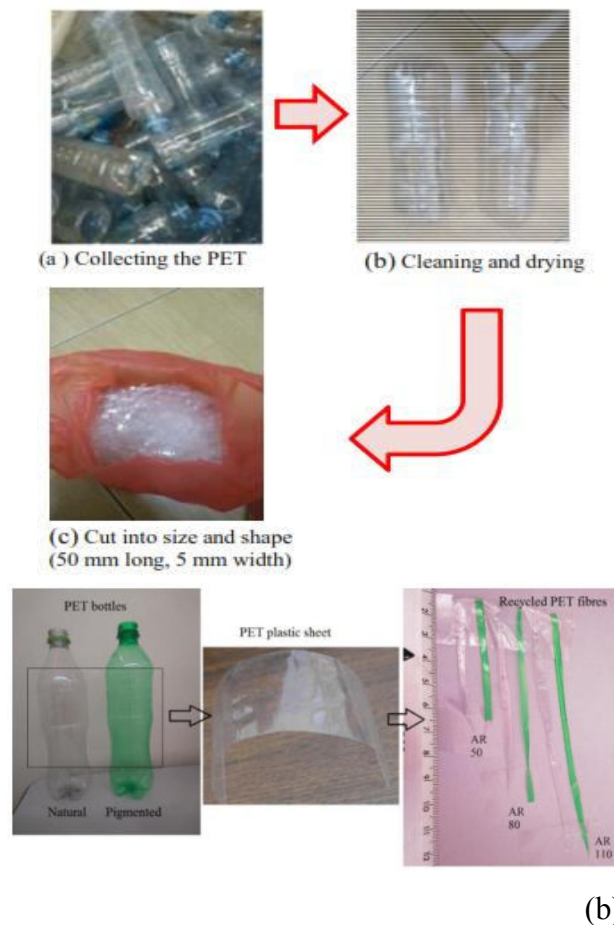
Gambar 2.1. (a) Limbah Botol Plastik PET (b) Simbol Jenis PET (Dokumen Pribadi, 2022)

Untuk mengurangi limbah botol plastik dapat dilakukan dengan cara mendaur ulang menjadi serat dengan ukuran tertentu. Beberapa peneliti telah mengolah limbah plastik PET menjadi serat dengan mesin khusus dan manual (*hand cutting*). Diantarannya yang telah dilakukan oleh Ochi dkk, (2007) telah menggunakan mesin khusus (Gambar 2.2) untuk mengolah limbah botol plastik PET menjadi serat dengan ukuran diameter 0.7 mm, panjang 30 mm, 40 mm. Selanjutnya Shahidan dkk. (2018) mendaur ulang limbah botol plastik PET secara manual (*hand cutting*) menjadi serat dengan ukuran panjang 50 mm dan lebar 5 mm (Gambar 2.3 a) dan Meza dkk. (2021) dengan berbagai variasi aspek rasio

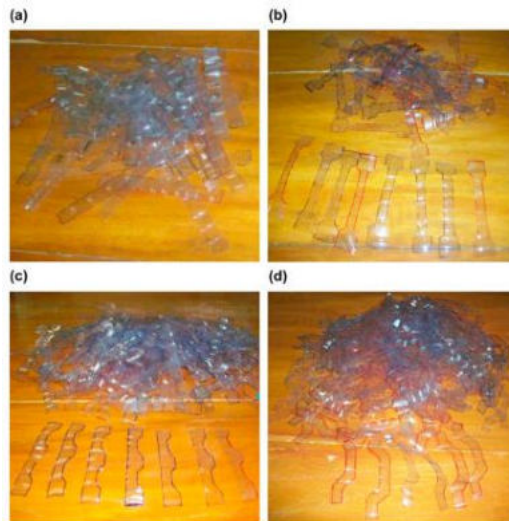
serat plastik PET (Gambar 2.3 b). Lebih lanjut Marthong dan Sarma (2015) mengembangkan serat plastik PET secara manual menjadi berbagai macam bentuk yaitu *straight*, *flattened-end*, *deformed* dan *crimped-end* (Gambar 2.4)



Gambar 2.2. Proses pembuatan serat plastik PET dengan mesin khusus (Ochi dkk, 2007)



Gambar 2.3. Proses pembuatan serat plastik PET secara manual : (a) panjang 50 mm lebar 5 mm (Shahidan dkk., 2018); (b) aspek rasio 50, 80, 110 (Meza dkk., 2021)



Gambar 2.4. Geometri serat plastik PET : (a) *straight* (b) *flattened-end* (c) *deformed* (d) *crimped-end* (Marthong dan Sarma, 2015)

B. Beton Serat Plastik PET

Beton serat plastik PET adalah beton yang dibuat dengan cara menambahkan serat plastik PET dengan ukuran dan prosentase tertentu pada campuran beton yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton yang berorientasi random. Ide dasarnya adalah memberikan tulangan mikro pada beto. Ochi dkk. (2007) menambahkan serat plastik PET dengan ukuran panjang 30 diameter 0.7 mm dan prosentase serat hingga 3% pada campuran beton dengan molen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, penambahan serat PET 3% masih mudah untuk dilakukan pencampuran, akan tetapi tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan. Kuat lentur mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya kadar serat PET hingga 1,5%. Pada artikel ini juga dilaporkan aplikasi beton serat PET pada pintu gerbang tambang, jalan, lereng dan terowongan di Jepang. Hasil penelitian tersebut diperkuat oleh Pelisser dkk. (2012) tetapi dengan panjang serat 10, 15 dan 20 mm dan prosentase 0.05, 0.18 dan 0.30%. Hasil penelitian juga menunjukkan tidak ada pengaruh yang signifikan penambahan serat pada kuat tekan dan modulus elastisitas. Namun, kuat lentur beton dan ketahanan benturan meningkat dengan adanya serat PET, kecuali untuk sampel dengan prosentase serat 0.05%. Irwan dkk. (2013) juga mengungkapkan bahwa keberadaan serat PET dalam beton akan meningkatkan kinerja beton. Namun demikian, kandungan serat PET ditentukan dalam batas tertentu untuk menghindari pengaruh kekuatan beton.

Elsi (2019) menambahkan serat plastik PET dengan ukuran lebar 1-3 mm dengan panjang 25 mm pada adukan beton dan prosentase 0.25, 0.5, 1%. Beton dengan

penambahan serat dari plastik PET akan mengalami peningkatan nilai kuat tekan dibanding dengan beton tanpa penambahan serat. Penambahan serat PET sebanyak 0.25% memberi peningkatan sebesar 1.31% dari beton normal, namun peningkatan ini tidak signifikan. Ajamu dkk. (2018) menambahkan serat plastik PET dengan panjang 50 mm dan lebar 5 mm, serat kemudian ditambahkan ke campuran beton dengan presentase 0.5, 1.0, 1.5, dan 2.0%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat plastik PET meningkatkan kuat tekan beton pada kadar volume serat yang lebih rendah dan menurunkan kuat tekan beton pada kadar yang lebih tinggi kandungan volume serat. Kuat tekan beton tertinggi pada penambahan volume serat 1.0%, dengan peningkatan 15%. Dengan ukuran dan prosentase serat plastik PET yang sama, Shahidan dkk. (2018) juga menunjukkan bahwa ketika persentase serat plastik PET meningkat, nilai slump dan uji kuat tekan menurun sedangkan kuat tarik belah meningkat. Hasil ini juga diperkuat dengan penelitian Foti (2019) bawa efek utama dari penggunaan serat plastik PET adalah daktilitas yang lebih besar dan pengurangan kemampuan kerja untuk dosis serat lebih besar dari 1%.

Hasil penelitian tersebut diperkuat oleh Andika dkk (2019) dengan melakukan penambahan serat plastik PET sebesar 0.8, 1, dan 1.2% dengan lebar 30 – 50 mm dan panjang 50 mm pada campuran beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada prosentase serat plastik PET 0.8% dan 1% kuat lentur mengalami kenaikan, tetapi untuk beton dengan penambahan serat PET 1.2% mengalami penurunan menjadi 11,02% dibandingkan dengan beton normal tanpa campuran serat PET. Serupa dengan penelitian Handayani dkk. (2021) dengan penambahan serat plastik PET 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 dan 1% hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan penambahan serat PET sebesar 0.2% mengalami peningkatan nilai kuat tekan sebesar 1.31% dari kuat tekan beton normal. Sedangkan pada variasi prosentase PET 0.4, 0.6, 0.8 dan 1% mengalami penurunan nilai kuat tekan beton.

Agak berbeda dengan hasil penelitian Adnan dan Dawood (2020) dengan menggunakan serat plastik PET yang diproduksi dengan tangan, ukuran 40 mm lebar 4 mm pada prosentase 0, 1.5, dan 3%. Hasil penelitian menunjukkan *workabilty* beton segar menurun seiring dengan meningkatnya kadar serat plastik. Penambaha serat plastik PET dalam campuran justru menurunkan kuat lentur dan meningkatkan kekuatan tekan kecuali untuk campuran dibuat dengan prosentase serat plastik PET 3%. Pada prosentase 1.5% adalah satu-satunya campuran yang mengalami peningkatan kuat lentur. Untuk semua balok dengan serat plastik PET beban ultimit menurun, akan tetapi daktilitas mengalami kenaikan 2 – 5 kali.

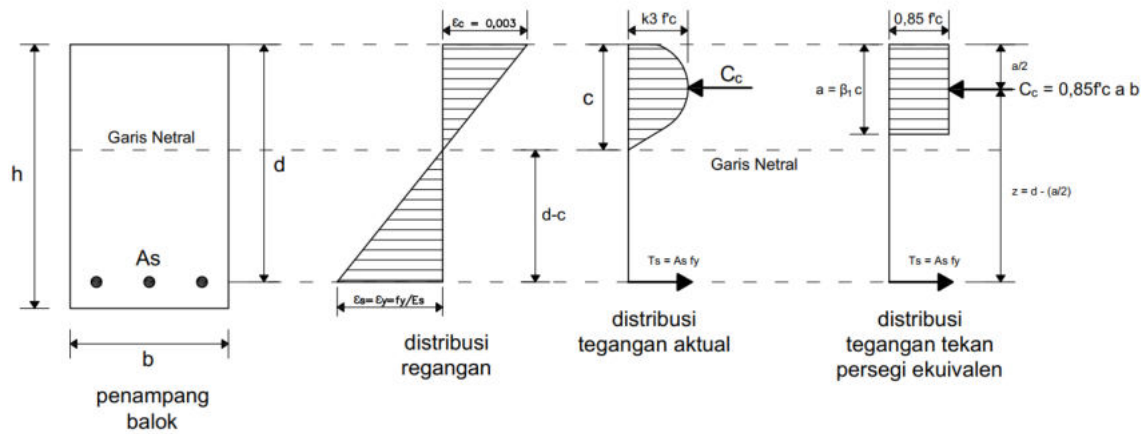
Meza dkk. (2021) dengan menambahkan serat plasti PET panjang serat 53.5, 85.6, 117.8 mm, tebal 0.3 dan lebar 3 mm serta dosis 2, 6, 10 kg/m³. Hasilnya penelitian menunjukkan bahwa penggabungan daur ulang serat plastik PET ke dalam beton sedikit berpengaruh pada berat volume, kuatan lentur dan tekan. Dari hasil analisis statistik menunjukkan bahwa dosis serat plastik PET memiliki pengaruh yang lebih besar daripada aspek rasio. Aspek rasio berpengaruh terhadap kekutan tarik. Hasil penelitian ini serupa dengan serat komersial dalam proporsi dosis yang setara.

Marthong dan Sarma (2015) mengembangkan serat plastik PET secara manual menjadi berbagai macam bentuk yaitu *straight*, *flattened-end*, *deformed* dan *crimped-end*, dengan tujuan untuk meningkatkan kuat lekat antara serat dan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa geometri serat sedikit mempengaruhi kemampuan kerja beton tetapi memberikan kontribusi yang signifikan terhadap sifat mekanik beton.

Ali (2020) menambahkan serat plastik PET ukuran panjang 25 mm, lebar 1.5 mm dan tebal 0.37 mm dengan prosentase 0.5, 0.75, 1, 1.25 dan 1.5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada volume serat 1% ada peningkatan kapasitas geser balok beton bertulang mencapai 11.1%. Peningkatan kapasitas geser langsung adalah 43.5% pada prosentase serat 1.25%. Juga data pengujian menunjukkan bahwa menambahkan serat plastik PET ke balok beton mampu mengubah mode kegagalan dari geser ke lentur pada balok beton. Lebih lanjut Kim dkk. (2009) mengolah lembaran limbah plastik PET menjadi serat plastik PET dengan dimensi panjang 50 mm, lebar 1.3 mm dan tebal 0.2 mm. Serat PET diaplikasikan pada balok beton bertulang dan dibandingkan dengan beton bertulang serat polipropilen (PP) dimensi panjang 50 mm, lebar 0.9 mm dan tebal 0.38 mm dengan prosentase serat 0.5, 0.75, dan 1.0%. Pengujian yang dilakukan kuat tekan, modulus elastisitas, dan susut dan uji lentur untuk mengukur kekuatan dan kapasitas daktilitas beton bertulang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan dan modulus elastisitas keduanya menurun seiring dengan meningkatnya prosentase serat PET dan PP. Retak karena susut pada spesimen beton bertulang serat PET mengalami penundaan, dibandingkan dengan retak seperti itu pada beton tanpa tulangan serat (NF). Kekuatan dan daktilitas balok beton bertulang yang diperkuat serat PET secara signifikan lebih besar daripada balok tanpa serat.

C. Analisa Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Beton Normal

Hubungan antara tegangan ekuivalen dan regangan pada penampang balok digambarkan berbentuk parabola. Untuk menyederhanakan dalam perhitungannya, maka bentuk tegangan ekuivalen parabola tersebut disederhanakan menjadi bentuk persegi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Distribusi Tegangan dan Regangan Pada Penampang Balok Tulangan Tunggal

Dari gambar distribusi tegangan ekuivalen persamaan tersebut diperoleh :

$$C_c = 0,85 f_c a b \quad (2.1)$$

$$T_s = A_s f_y \quad (2.2)$$

Dengan prinsip kesetimbangan gaya

$$C_c - T_s = 0 \quad (2.3)$$

$$C_c = T_s \quad (2.4)$$

maka :

$$a = \frac{(A_s f_y)}{0,85 f_c b} \quad (2.5)$$

Dengan syarat :

$$\epsilon_t = \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 0,003 > \frac{f_y}{E_s} \quad (2.6)$$

Sehingga kapasitas lentur atau momen nominal penampang balok dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_n = (A_s f_y) (d - a/2) \quad (2.7)$$

Dimana :

C_c = Gaya tekan beton (N)

T_s = Gaya tarik tulangan baja (N)

ϵ_t = Regangan baja tulangan

M_n = Momen nominal (Nmm)

- As = Luas tulangan (mm²)
- Es = Modulus elastisitas baja, 200000 MPa
- h = Tinggi balok (mm)
- b = Lebar balok (mm)
- d = Tinggi efektif balok (mm)
- f'c = Mutu beton (MPa)
- εc = Regangan tekan beton
- εt = Regangan tarik baja tulangan
- εy = Regangan baja pada saat kondisi leleh
- c = Jarak garis netral dengan sisi atas balok (mm)
- a = Tinggi blok tegangan ekuivalen (β₁ c) (mm)

Nilai β₁ diambil berdasarkan SNI 2847-2013 dengan ketentuan sebagai berikut :

1) Untuk kuat tekan beton, f'c ≤ 28 MPa

$$\beta_1 = 0,85 \tag{2.8}$$

2) Untuk kuat tekan beton, 28 MPa < f'c < 56 MPa

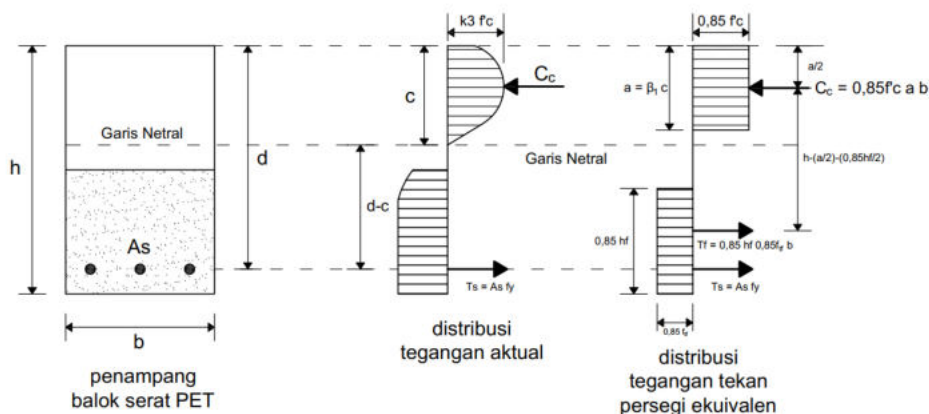
$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'c - 28}{7} \tag{2.9}$$

3) Untuk kuat tekan beton, f'c > 56 MPa

$$\beta_1 = 0,65 \tag{2.10}$$

D. Analisa Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Serat Plastik PET

Kuat lentur balok beton bertulang dengan penambahan serat plastik PET secara parsial dengan proporsi serat 0,5% terhadap volume beton dapat dirumuskan dengan persamaan kesetimbangan gaya sesuai dengan Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Distribusi Tegangan dan Regangan Pada Penampang Balok Beton Bertulang Dengan Serat PET 0,5% secara parsial

Penurunan gaya-gaya dalam untuk struktur balok beton bertulang dengan penambahan serat plastik PET dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$C_c - T_f - T_s = 0 \quad (2.11)$$

Dimana:

$$C_c = 0,85 f'c a b \quad (2.12)$$

$$T_f = 0,85 h_f 0,85 f_{ff} b \quad (2.13)$$

$$T_s = A_s f_y \quad (2.14)$$

Berdasarkan kesetimbangan gaya-gaya dalam pada penampang balok serat PET didapat:

$$a = (A_s f_y + 0,85 h_f 0,85 f_{ff} b) / (0,85 f'c b) \quad (2.15)$$

Jika:

$$\epsilon_t = \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 0,003 > \frac{f_y}{E_s} \quad (2.16)$$

Makan kapasitas lentur atau momen nominal penampang balok dapat dihitung dengan persamaan:

$$M_n = A_s f_y (d - a/2) + 0,85 \times h_f \times 0,85 \times f_{ff} \times b (h - a/2 - (0,85 h_f / 2)) \quad (2.17)$$

Dimana:

C_c = Gaya tekan beton (N)

T_s = Gaya tarik tulangan baja (N)

T_f = Gaya tarik karena tambahan serat fiber PET (N)

M_n = Momen nominal (Nmm)

A_s = Luas tulangan (mm^2)

E_s = Modulus elastisitas baja, 200.000 MPa

h = Tinggi balok (mm)

b = Lebar balok (mm)

d = Tinggi efektif balok (mm)

$f'c$ = Mutu beton (MPa)

f_{ff} = Kuat tarik belah beton serat plastik PET (MPa)

ϵ_c = Regangan tekan beton

ϵ_t = Regangan tarik baja tulangan

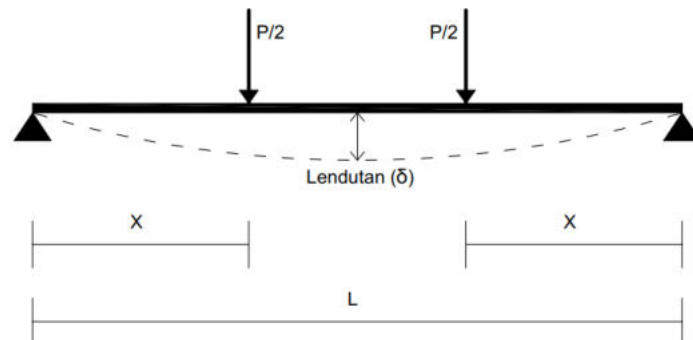
ϵ_y = Regangan baja pada saat kondisi leleh

c = Jarak garis netral dengan sisi atas balok (mm)

a = Tinggi blok tegangan ekuivalen ($\beta_1 c$) (mm)

E. Kekakuan Lentur Balok Beton Bertulang

Lentur pada balok diakibatkan berat sendiri atau ada beban luar yang bekerja sehingga terbentuk sebuah lengkung layaknya diagram bidang momen. Sesuai dengan Gambar 2.7 menggambarkan sebuah balok mengalami deformasi atau lendutan akibat ada beban titik yang menekan badan balok sehingga terbentuk sebuah lendutan.



Gambar 2.7. Lendutan Pada Balok

Berdasarkan teori yang ada, lendutan pada balok dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

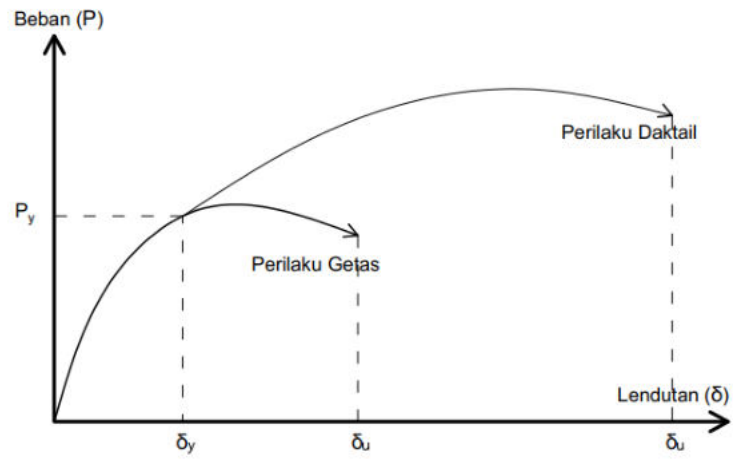
$$\delta = \frac{P x}{48 EI} (3L^2 - 4a^2) \quad (2.22)$$

Berdasarkan persamaan lendutan di atas, didapat nilai kekakuan lentur pada balok

$$EI = \frac{P x}{48 \delta} (3L^2 - 4a^2) \quad (2.23)$$

F. Daktilitas Balok Beton Bertulang

Daktilitas dapat diartikan sebagai regangan beton yang sudah mencapai kuat batas yang ditandai dengan lelehnya tulangan baja disertai dengan lendutan. Berdasarkan Gambar 2.8, menunjukkan perbandingan antara perilaku getas beton dengan perilaku daktail ketika menyerap beban yang diterima. Dari gambar tersebut, perilaku getas merupakan kondisi beton sudah mencapai batas elastis sehingga terjadi kehancuran secara langsung. Sedangkan perilaku getas dapat menyerap energi ketika terjadi keluluan terhadap tulangan yang diikuti dengan lendutan yang kemudian akan disusul dengan keruntuhan balok.



Gambar 2. 8. Perilaku Beban-Lendutan pada Balok Beton Bertulang

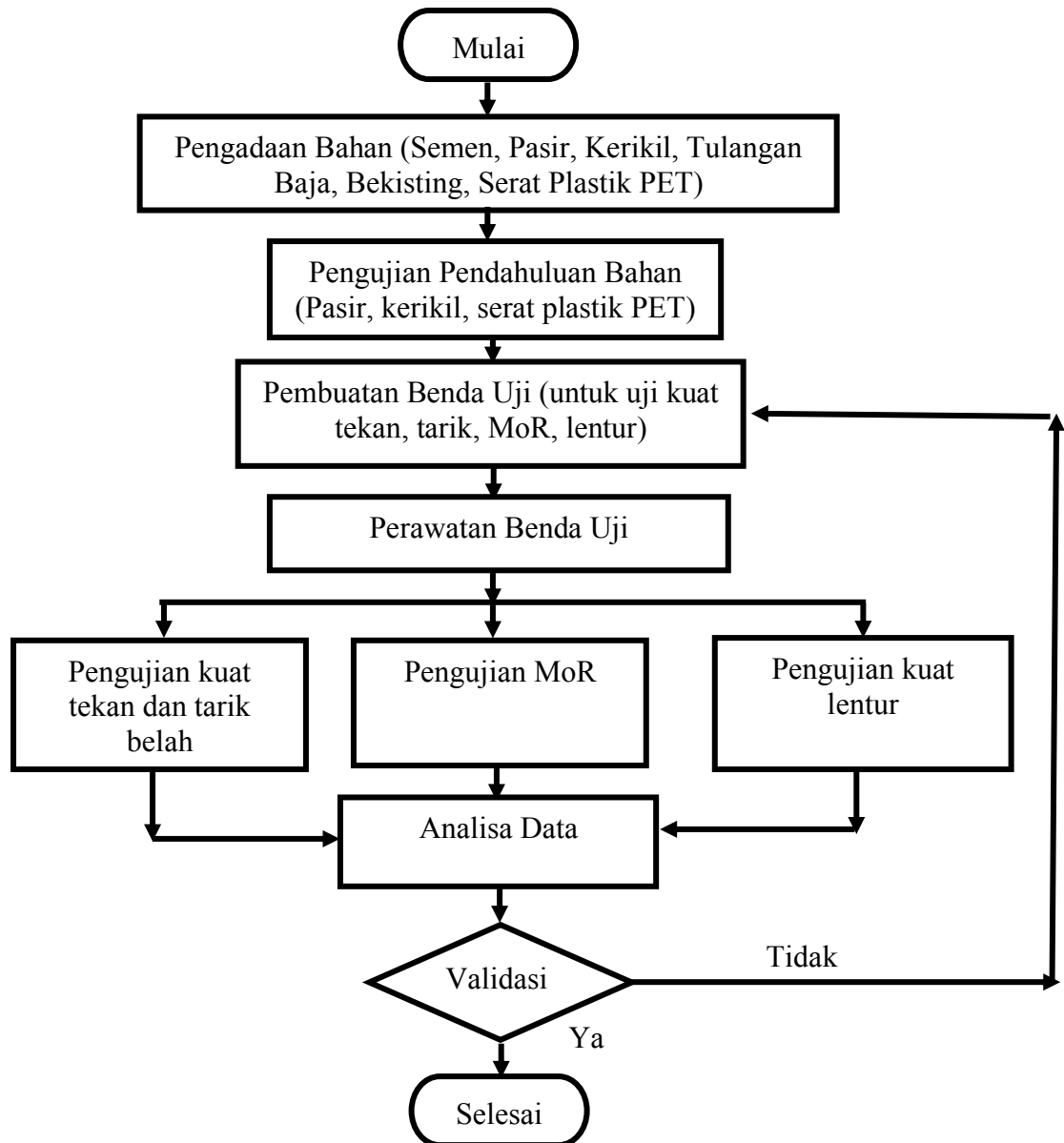
Besarnya daktilitas dapat diartikan sebagai perbandingan antara defleksi balok ketika baja tulangan sudah mencapai titik lelehnya. Sehingga, berdasarkan definisi tersebut nilai daktilitas balok dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (2.24)$$

BAB III. METODE PENELITIAN

A. *Flowchart* Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram (FT UNRAM), secara ringkas disajikan dalam bagan alir (*flowchart*) sebagai berikut ini :



Gambar 3.1. *Flowchart* Penelitian

B. Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah:

1. Semen (Gambar 3.1)
2. Pasir (Gambar 3.2)
3. Kerikil (Gambar 3.3)
4. Bekisting dan tulangan polos 10 mm (Gambar 3.4)
5. Serat Plastik PET (Gambar 3.5)
6. Air bersih (Gambar 3.6)



Gambar 3.1. Semen



Gambar 3.2. Pasir



Gambar 3.3. Kerikil



Gambar 3.4. Bekisting dan tulangan polos 10 mm



Gambar 3.5. Serat Plastik PET



Gambar 3.6. Air bersih

C. Alat Penelitian

Beberapa alat utama yang akan digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Alat untuk memotong limbah botol plastik PET menjadi serat plastik PET
2. Alat untuk pengujian pendahuluan material penyusun beton (pasir dan kerikil) : ayakan, oven, cepang, timbangan, mesin ayakan, mesin los angelas
3. Alat untuk membuat benda uji: mesin pengaduk (molen), cetakan silinder, vibrator, slump apparatus
4. Alat uji kuat tekan dan tarik belah : *Compression Testing Machine*
5. Alat uji tarik serat plastik PET: *Universal Testing Machine*
6. Alat uji modulus runtuh (MoR): *Flexural Testing Machine*
7. Alat uji kuat lentur: *loading frame, dial gauge, LVDT, loadcell, hydraulic jack, data logger*

D. Pelaksanaan Penelitian

1. Mix Desain Beton

Perencanaan perbandingan campuran beton normal menggunakan metode DOE (*Departement Of Environment*) yang dimuat dalam buku standar SNI 03-2834-2000 dengan nilai kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah sebesar 20 MPa.

2. Benda Uji

Rencana benda uji kuat tekan, tarik belah, Modulus runtuh (MoR) dan kapasitas lentur balok beton bertulang disajikan pada Tabel 3.1. Setelah cetakan dan bekisting sudah siap, selanjutnya dilakukan pengecoran benda uji. Selama pengecoran benda uji juga dilakukan uji slump, untuk mengetahui tingkat *workability* beton segar.

Tabel 3.1. Rencana benda uji

No	Pengujian	Ukuran dan Bentuk	Jumlah	
			Vf 0%	Vf 0,5%
1	Kuat tekan ($f'c$)	Silinder 50 x 300 mm	3	3
2	Kuat tarik belah (ft)	Silinder 150 x 300 mm	3	3
3	Modulus runtuh (MoR)	Balok 100 x 100 x 500 mm	3	3
4	Kapasitas Lentur (Mn)	Balok 150 x 250 x 2000 mm	1	1



Gambar 3.7. Persiapan pencampuran beton dengan molen



Gambar 3.8. Penambahan plastik PET ke dalam campuran beton



Gambar 3.9. Hasil pencampuran beton dengan penambahan plastik PET



Gambar 3.10. Pengujian slump



Gambar 3.11. Pembuatan benda uji silinder



Gambar 3.12. Pembuatan benda uji kubus



Gambar 3.13. Pembuatan benda uji balok

3. Perawatan benda uji

Setelah beton mengeras cetakan dan bekisting dibuka, selanjutnya benda uji untuk uji kuat tekan (f'_c), kuat tarik belah (ft), modulus runtuh (MoR) dan balok beton bertulang dilakukan perawatan dengan cara cara menutup benda uji dengan karung basah.



Gambar 3.14. Perawatan benda uji silinder dan kubus



Gambar 3.15. Perawatan benda uji balok

4. Pengujian Kuat Tekan Beton (f'_c)

Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari beton itu sendiri.. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C 39-99 dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 *Setting up* uji kuat tekan

5. Pengujian Kuat Tarik Belah (ft)

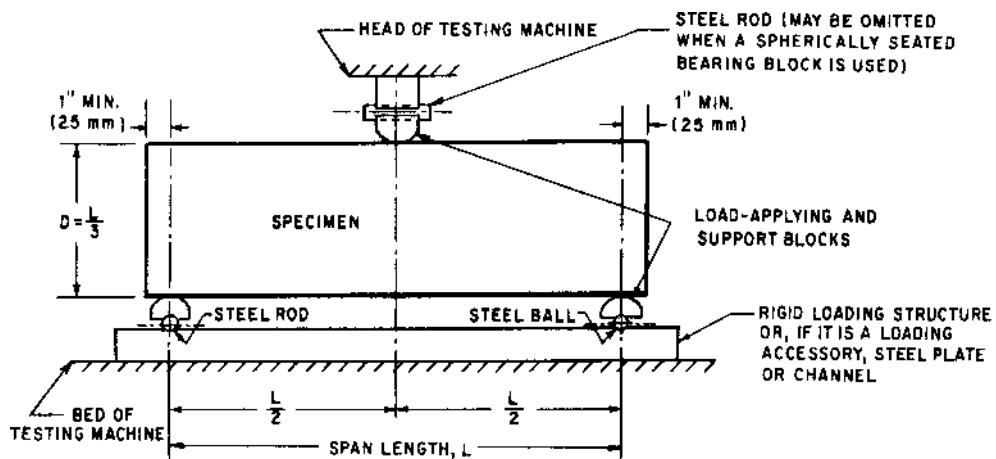
Pada penelitian ini pengujian kuat tarik belah beton dilakukan dengan mengacu pada ASTM C496-96, dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Setting pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17. *Setting up* uji kuat tarik belah

6. Pengujian Modulus Runtuh

Pengujian modulus runtuh (MoR) mengacu pada standar ASTM C293, dengan *center point loading* menggunakan alat *Flexural Testing Machine*. *Setting* pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.18.

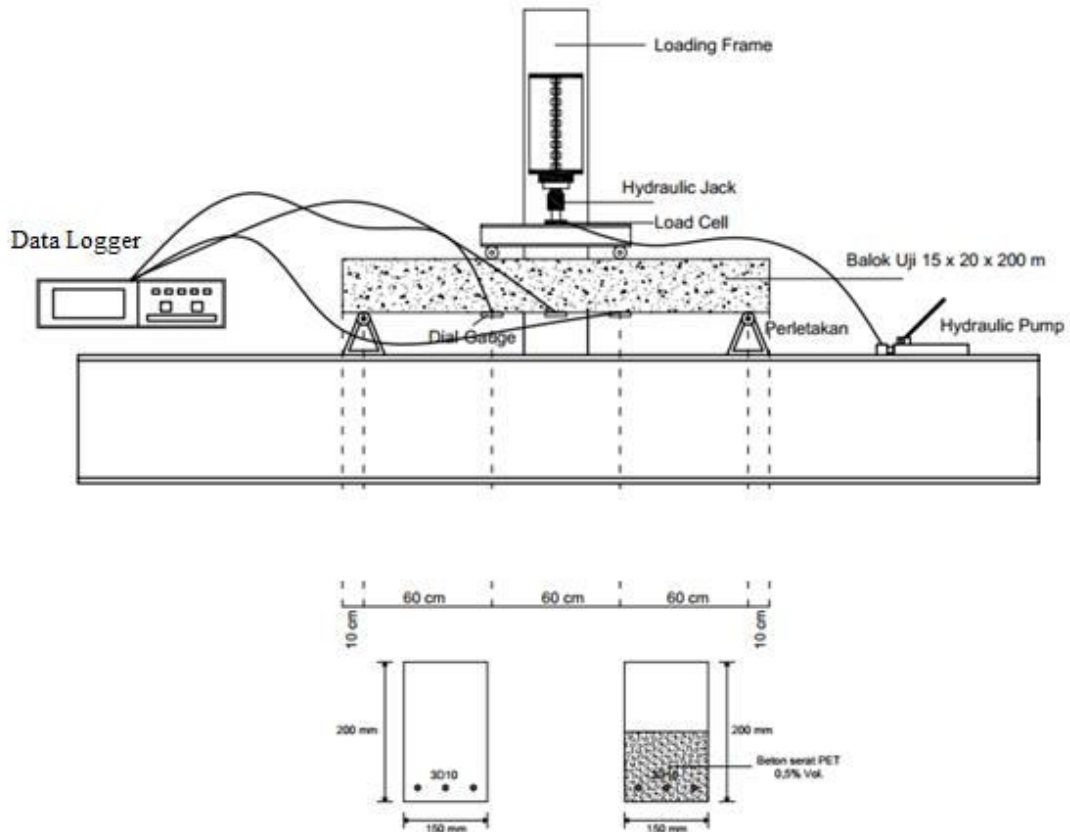


Gambar 3.18. *Setting Uji Modulus Runtuh (MoR)*

7. Pengujian Kapasitas Lentur

Pengujian kapasitas lentur balok beton bertulang, pada dasarnya balok tersebut ditumpu sendi-rol pada ujung-ujungnya. Pada jarak 600 mm dari tumpuan-tumpuannya, diberikan beban vertikal $0,5P$. Beban tersebut ditimbulkan oleh *hydraulic jack*, pembacaan beban dilakukan melalui *load cell* yang kemudian dihubungkan dengan *transducer*. Pembacaan beban dilakukan secara bertahap dengan interval 5 kN, hingga batas balok beton bertulang mengalami keruntuhan.

Untuk mengukur lendutan vertikal pada tiap tahap pembebanan dipasang *dial gauge/LVDT* pada jarak 600 mm dari tumpuan sebanyak 2 buah dan ditengah bentang 1 buah. Pengamatan juga dilakukan terhadap pola retak terjadi pada masing-masing benda uji balok beton bertulang. *Setting* pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19. *Setting* Uji Kapasitas Lentur

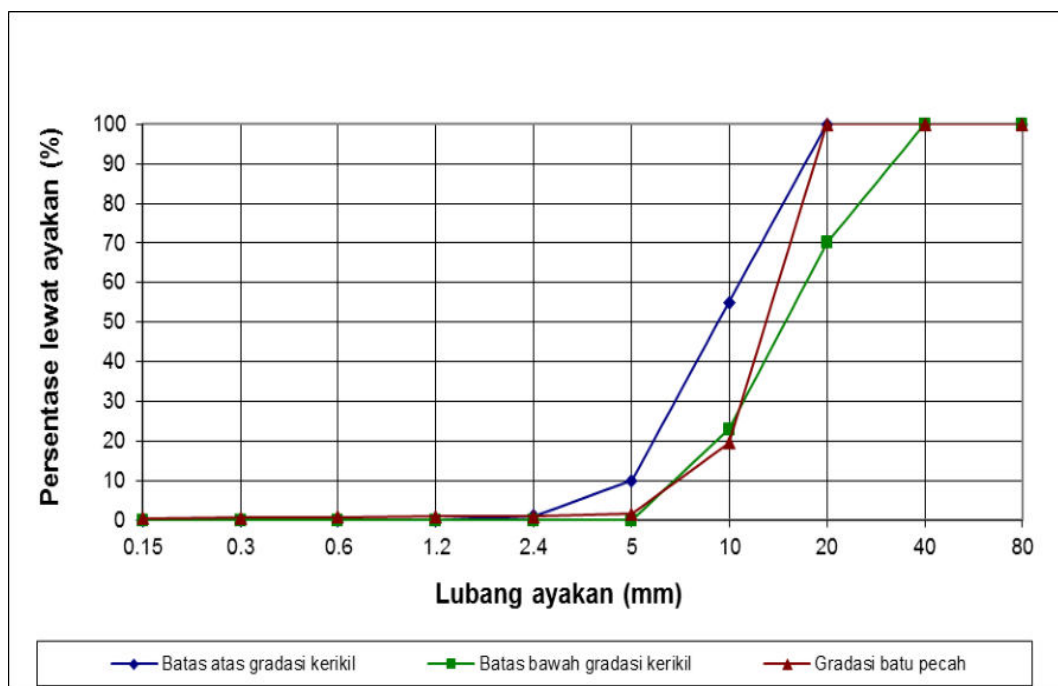
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Pendahuluan

Dari hasil pemeriksaan bahan yang dilakukan terhadap agregat kasar (kerikil pecah) dan agregat halus (pasir) diperoleh data sebagai berikut :

1. Gradasi agregat kasar

Pada penelitian ini dipakai agregat kasar yang berasal dari Gebong Desa Tanak Beak Narmada, Lombok Barat, yang hasil analisis saringannya dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.

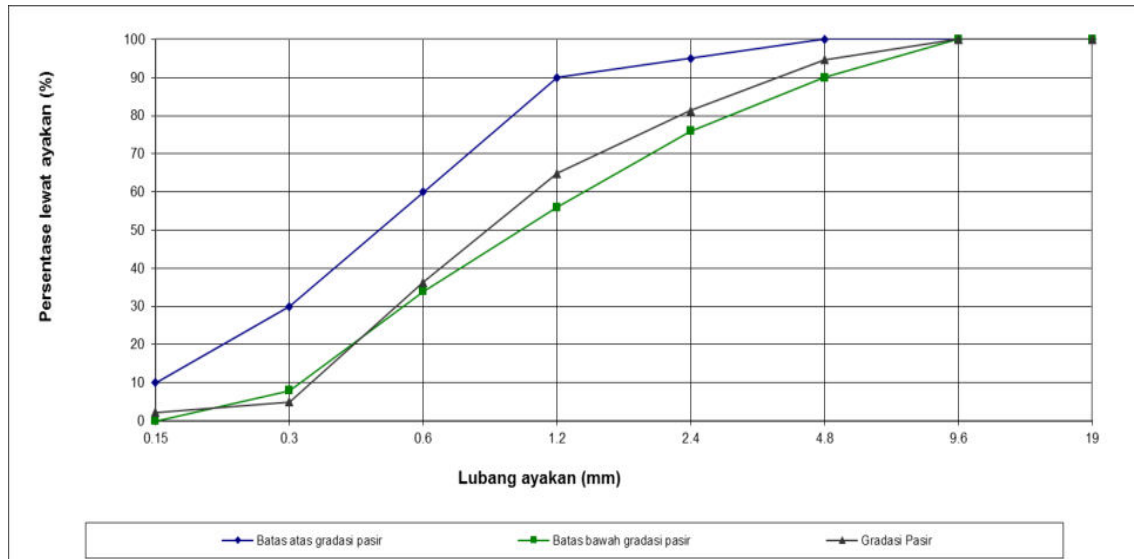


Gambar 4.1. Grafik gradasi kasar (batu pecah)

Dari Gambar 4.1 di atas menunjukkan bahwa gradasi agregat berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi agregat kasar yang disyaratkan. Besar modulus halus agregat kasar (batu pecah) diameter maksimum 20 mm yang dipakai sebagai bahan penelitian ini adalah 6,749. Ini menunjukkan agregat kasar mempunyai modulus halus butir sesuai standar yaitu antara 5–8 (Tjokrodimuljo, 2007). Dengan demikian agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

2. Gradasi agregat halus

Pada penelitian ini dipakai agregat halus yang berasal dari daerah yang sama dengan agregat kasar, yang hasil analisis ayakannya dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2. Grafik gradasi agregat halus (pasir)

Dari Gambar 4.2 di atas menunjukkan bahwa pasir yang digunakan berada pada batas daerah II (pasir agak kasar), dengan modulus halus butirnya sebesar 3,155. Ini menunjukkan pasir mempunyai modulus halus butir sesuai standar yaitu antara 1,5 – 3,8 (Tjokrodinuljo, 2007), artinya pasir yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

3. Berat jenis agregat

Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus (pasir) sebesar 2,646 dan berat jenis agregat kasar (kerikil/batu pecah) 2,630. Hasil ini menunjukkan bahwa agregat yang dipakai termasuk jenis agregat normal dengan berat jenis berkisar antara 2,5 – 2,7 (Tjokrodinuljo, 2007), dan selanjutnya dengan hasil yang diperoleh ini menunjukkan bahwa bahan tersebut dapat dipakai dalam perencanaan campuran adukan beton normal.

4. Berat satuan agregat

Pemeriksaan berat satuan agregat dibagi menjadi dua yaitu berat satuan lepas dan berat satuan padat. Hasil pemeriksaan berat satuan padat dan lepas untuk pasir secara berturut-turut adalah 1,709 dan 1,494 dan hasil pemeriksaan berat satuan padat dan lepas agregat kasar secara berturut-turut adalah 1,434 dan 1,544.

5. Kandungan lumpur pasir

Dalam penelitian ini pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir menggunakan cara ayakan nomor 200 sehingga diperoleh hasil kandungan lumpur sebesar 1.523%. dengan nilai ini, pasir tersebut dapat dipakai sebagai bahan penyusun beton dan tidak perlu dilakukan pencucian karena kandungan lumpurnya lebih rendah dari standar yang disyaratkan yaitu kurang dari 5% (Tjokrodinuljo, 2007).

6. Ketahanan aus agregat kasar

Hasil pengujian ketahanan aus agregat kasar dengan jenis gradasi B setelah 100 kali putaran sebesar 4,24 % dan setelah putaran ke 500 sebesar 18,86 %. Batu pecah tersebut dapat digunakan untuk membuat beton dengan kelas kuat III (kuat tekan diatas 20 MPa). Dan sesuai dengan persyaratan kekerasan agregat kasar mutu beton kelas III (Tjokrodinuljo, 2007).

B. Hasil *Mix Design*

Hasil *mix design* campuran beton per 1 m³, menggunakan metode DOE (*Departement Of Environment*) untuk beton normal dan serat PET mutu (f'c) 20 MPa disajikan pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Kebutuhan bahan penyusun beton per 1 m³

No	Jenis Beton	Kebutuhan Bahan (kg)				
		Semen	Pasir	Kerikil	Serat Plastik PET	Air
1	Normal	394,3	700,31	1050,46	-	205,00
2	Serat PET	394,23	700,31	1050,46	6,65	205,00

C. Hasil Uji Slump Beton Segar

Pengujian slump pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kelecakan (*workability*) adukan beton. Nilai slump yang baik menurut Tjokrodinuljo (2007) berkisar antara 5 cm - 12,5 cm. Adapun hasil pengujian slump dapat di lihat pada Tabel 4.2 berikut ini. Dari hasil pengujian nilai *slump* pada Tabel 4.2 diatas dapat dilihat bahwa penambahan serat plastik PET sebesar 0,5% terhadap volume pada adukan beton menyebabkan nilai *slump* turun, hal ini disebabkan karena penambahan serat plastik PET gesekan antar partikel penyusun beton menjadi meningkat, sehingga *workability* menjadi juga berkurang (Yin dkk, 2015; Shahidan dkk., 2018). Akan tetapi penurunan nilai *slump* campuran beton masih dapat dikerjakan karena nilai *slump* yang didapatkan masuk dalam kriteria *slump* yang baik yang berkisar antara 5 - 12,5 cm.

Tabel 4.2. Hasil pengujian nilai slump

Kode	Slump (cm)	Penurunan (%)
NC	10,5	0
CF	8	23,81

D. Hasil Uji Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan silinder beton disajikan pada Tabel 4.2. Dari tabel tersebut terlihat bahwa kuat tekan rata-rata beton normal adalah 22.258 MPa, sedangkan beton serat plastik PET 20.655 MPa. Penambahan serat plastik PET pada campuran beton, justru menurunkan kuat tekan, namun demikian penurunan yang terjadi tidak signifikan. Penurunan ini kemungkinan disebabkan karena tingkat kepadatan dari beton serat plastik PET berkurang, akibat munculnya gumpalan-gumpalan serat atau *fiber balling* pada campuran beton (Shahidan dkk., 2018).

Tabel 4.2. Hasil pengujian kuat tekan

Kode	D (mm)	Luas (mm ²)	Pmaks (N)	f _c (MPa)
CN-1	150	17671,46	400000	22,635
NC-2	150	17671,46	395000	22,352
NC-3	150	17671,46	385000	21,787
Rata-rata				22,258
CF-1	150	17671,46	365000	20,655
CF-2	150	17671,46	360000	20,372
CF-3	150	17671,46	370000	20,938
Rata-rata				20,655

E. Hasil Uji Kuat Tarik Belah

Hasil pengujian kuat tarik belah silinder beton disajikan pada Tabel 4.3. Dari tabel tersebut terlihat bahwa kuat tarik belah rata-rata beton normal adalah 2,806 MPa, sedangkan beton serat plastik PET 3,442 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 22,81%. Peningkatan ini kemungkinan disebabkan karena adanya serat plastik PET dapat berfungsi sebagai tulangan mikro yang akan mencegah retak-retak. Disamping itu adanya serat plastik PET akan menimbulkan efek *dowel action* pada beton.

Tabel 4.3. Hasil pengujian kuat tarik belah

Kode	D (mm)	L (mm)	Pmaks (N)	f _c (MPa)
NC-1	150	300	195000	2,759
NC-2	150	300	200000	2,829
NC-3	150	300	200000	2,829
Rata-rata				2,806
CF-1	150	300	240000	3,395
CF-2	150	300	250000	3,537
CF-3	150	300	240000	3,395
Rata-rata				3,442

F. Hasil Uji Modulus Runtuh

Hasil pengujian modulus runtuh (MoR) disajikan pada Tabel 4.4. Dari tabel tersebut terlihat bahwa modulus runtuh (MoR) rata-rata beton normal adalah 4,275 MPa, sedangkan beton serat plastik PET 5.700 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 30,33%. Serupa dengan dengan hasil pengujian kuat tarik belah, peningkatan ini kemungkinan disebabkan karena adanya serat plastik PET dapat berfungsi sebagai tulangan mikro yang akan mencegah retak-retak. Disamping itu adanya serat plastik PET akan menimbulkan efek *dowel action* pada beton.

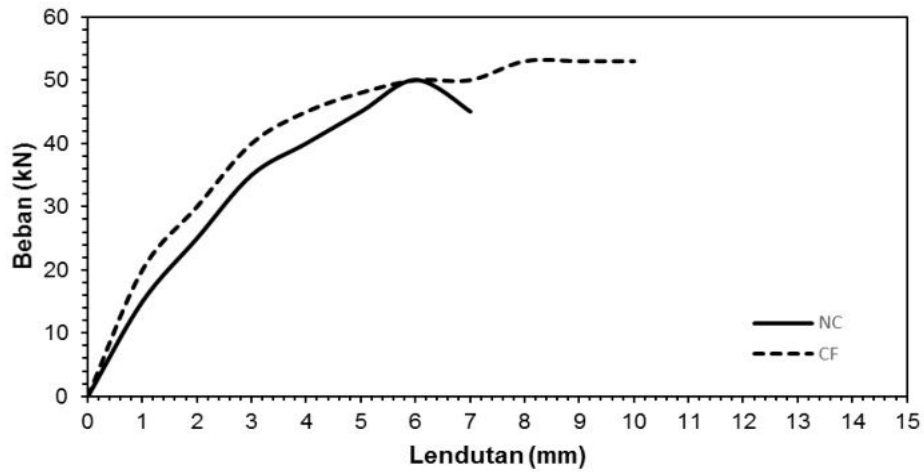
Tabel 4.4. Hasil pengujian modulus runtuh

Kode	b (mm)	d (mm)	L (mm)	Pmaks (N)	MoR (MPa)
NC-1	100	100	300	10000	4,500
NC-2	100	100	300	9500	4,275
NC-3	100	100	300	9000	4,050
Rata-rata					4,275
CF-1	100	100	300	12000	5,400
CF-2	100	100	300	13000	5,850
CF-3	100	100	300	13000	5,850
Rata-rata					5,700

G. Hasil Uji Kapasitas Balok

Hasil pengujian kapasitas balok disajikan pada Gambar 4.3. Dari pengujian ini diperoleh kapasitas maksimum benda uji balok beton normal (NC) dan beton serat plastik PET (CF) secara parsial, kapasitas lentur maksimum (P_{maks}) NC sebesar 50 kN, sedangkan CF sebesar 53 kN atau mengalami peningkatan sebesar 6%. Peningkatan ini disebabkan karena beton serat PET pada bagian tarik memberikan kontribusi dalam mencegah retak-retak ini pada balok beton bertulang.

Dari Gambar 4.3 juga dapat ditentukan nilai kekakuan balok yang dapat dihitung dengan persamaan (2.23) dan daktilitas dihitung dengan persamaan (2.24). Dari pengujian juga dapat diamati pola retak yang terjadi. Hasil perhitungan kekakuan, daktilitas disajikan pada Tabel 4.5 dan 4.6. Sedangkan pengamatan pola retak disajikan pada Gambar 4.4. Dari tabel tersebut terlihat penambahan beton serat plastik PET (CF) 0,5% secara parsial pada balok beton bertulang mampu meningkatkan secara signifikan kekakuan dan daktilitas balok berturut-turut sebesar 37,5% dan 57,14%. Dari pengamatan pola retak yang terjadi, serat plastik PET mampu memperlambat retak-retak dini pada balok beton bertulang.



Gambar 4.3. Grafik hubungan lendutan vs beban

Tabel 4.5. Kekakuan

Benda Uji	Py (N)	δ_y (mm)	EI (Nmm ²)	Peningkatan
NC	16000	1,1	1.92E+12	0,00%
CF	20000	1	2.64E+12	37,50%

Tabel 4.6. Daktilitas

Benda Uji	δ_y	δ_u	$\mu = \delta_y/\delta_u$	Peningkatan
NC	1,10	7,00	6,36	0.00%
CF	1,00	10,00	10,00	57,14%



(a)



(b)

Gambar 4.4. Pola Retak (a) NC (b) CF

H. Perbandingan Kapasitas Lentur Ekperimen dan Teoritis

Kapasitas lentur beton normal (tanpa serat plastik PET) dihitung dengan persamaan 2.7, sedangkan untuk beton serat plastik PET secara parsial dengan persamaan 2.17. Parameter analisis meliputi dimensi penampang 150 mm x 250 mm dengan tulangan tunggal diameter tulangan 10 mm jumlah 3 lonjor, selimut beton 25 mm, kuat tekan beton (f'_c) 22,26 MPa, kuat tarik beton serat plastik PET dari pengujian MoR 5,70 MPa dan kuat leleh baja (f_y) 320 MPa. Hasil analisis untuk masing-masing balok disajikan pada Tabel 4,7, dari tabel tersebut terlihat bahwa hasil ekperimen dan teori memuaskan, dimana perbandingan antara ekperimen terhadap teori 0,96 untuk balok beton normal dan 1,01 untuk balok beton serat plastik PET.

Tabel 4.7. Perbandingan Kapasitas Lentur Ekperimen dan Teoritis

Benda Uji	M_{exp} (kNm)	P_{exp} (kN)	M_{teori} (kNm)	P_{teori} (kN)	Exp/Teori
NC	15,00	50,00	15,58	50,00	0,96
CF	15,90	53,00	15,67	52,11	1,01

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penjelasan di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan serat plastik PET sebesar 0,5% dari volume beton pada campuran beton, justru menurunkan kuat tekan, namun demikian penurunan yang terjadi tidak signifikan, akan tetapi mampu meningkatkan kuat tarik belah dan modulus runtuh beton berturut-turut sebesar 22,81% dan 30,33%.
2. Penambahan beton serat plastik PET (CF) 0,5% secara parsial pada balok beton bertulang mampu meningkatkan kapasitas lentur sebesar 6%. Peningkatan signifikan terjadi pada kekakuan dan daktilitas balok berturut-turut sebesar 37,5% dan 57,14%.
3. Dari pola retak yang terjadi serat plastik PET mampu memperlambat retak-retak dini pada balok beton bertulang.
4. Hasil analisis kapasitas lentur untuk balok beton normal dan balok beton serat plastik PET menunjukkan hasil yang memuaskan, dimana perbandingan antara eksperimen terhadap teori 0,96 dan 1,01

B. Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan untuk kelanjutan penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan lebih lanjut kemampuan perilaku geser pada balok, joint balok-kolom.
2. Perlu dilakukan pengujian terhadap beban impak dan abrasi.

REFERENSI

- Anonim, 2018. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2021 Tentang Pengelolaan Sampah Pada Bank Sampa, Jakarta: SekretariaNegara.
- Anonim, 2020. Statistik Lingkungan Hidup Indonesia, Badan Pusat Statistik (BPS), Jakarta.
- ASTM C39-99, 2002, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohochen.
- ASTM C496-96, 2002, *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohochen.
- ASTM C293, 2002, *Standard test method for flexural strength of concrete*, ASTM International West Conshohocken.
- Ajamu, S. O., Ige, J. A., Oyinkanola, T. M., 2018. Effect Of Waste (PET) Bottle Fibers On The Properties Of Concrete. *International Journal of Research in Engineering & Technology*. Vol. 6, Issue 9, pp 1-8.
- Andika S., dan Algazt, M. A., 2019. Pengaruh Penambahan Serat Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (Pet) Dengan Persentase 0,8%, 1%, dan 1,2% Pada Beton Bertulang Terhadap Kuat Lentur. Tugas Akhir thesis, University Technology Yogyakarta. <http://eprints.uty.ac.id/2801>.
- Adnan, H. M., Dawood, A. O., 2020. Strength behavior of reinforced concrete beam using re-cycle of PET wastes as synthetic fibers. *Case Studies in Construction Materials* 13, DOI: 10.1016/j.cscm.2020.e00367.
- Ali, T. K. M., 2020. Shear strength of a reinforced concrete beam by PET fiber. *Environment, Development and Sustainability*, <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00974-w>.
- Elsi, M., 2019. Pengaruh Penggunaan Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Tambahan Serat Terhadap Kekuatan Beton. Doctoral dissertation Universitas Andalas, <http://scholar.unand.ac.id/id/eprint/54517>.
- Foti, D., 2019. Recycled waste PET for sustainable fiber-reinforced concrete. *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, pp 387-410.
- Handayani, N., Faradila, A., Juari, I., Larasati, D., 2021. Perilaku Kuat Tekan Beton Normal Terhadap Penambahan Serat Botol Plastik Jenis PET. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 5 No. 1, pp 52-64.

- Irwan, J. M., R.M. Asyraf, R. M., Othman, N., Koh, H. B., Annas, M. M. K., Faisal, S. K., 2018. The Mechanical Properties of PET Fiber Reinforced Concrete From Recycled Bottle Wastes. *Advanced Materials Research Vol 795*, pp 347-351
- Kirwan, M. J. and Strawbridge, J. W., 2003. *Plastics in food packaging*. In Coles, R., McDowell, D., Kirwan, M.J. (Eds.) *Food Packaging and Technology* (p. 174-240), Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.
- Kim, S. B., Yi, N. H., Kim, H. Y., Kim, J. H. J., Song, Y., C., 2010. Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement & Concrete Composites* 32, pp 232–240.
- Marthong, C., Sarma, D.K., 2015. Influence of PET fiber geometry on the mechanical properties of concrete: an experimental investigation. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* 20 (7), pp 771-784.
- Meza, A., Pujadas, P., Meza, L. M., Pardo-Bosch, F., López-Carreño, R. D., 2021. Mechanical Optimization of Concrete with Recycled PET Fibres Based on a Statistical-Experimental Study. *Materials*, 14, 240. <https://doi.org/10.3390/ma14020240>.
- Ochi, T., Okubo, S., Fukui, K. 2007. Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber, *Cement & Concrete Composites* 29. pp : 448–455.
- Pelisser, P., , Montedo, O. R. K., Gleize, P. J. P., Roman, H., R., 2012. Mechanical Properties of Recycled PET Fibers. *Concrete. Materials Research*, 15(4). pp 679-686.
- Shahidan, S., Ranle, N. A., Zuki, S. S. M., Khalid, F. S., Ridzuan, A. R.M., Nazri, F. M., 2018. Concrete Incorporated with Optimum Percentages of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle Fiber. *International Journal of Integrated Engineering*, Vol. 10 No.1, pp 1-8.
- Tjokrodimuljo, K., (2007). *Teknologi Beton*, Biro Penerbit, Yokyakarta.
- Yin, Shi; Tuladhar, Rabin; Shi, Feng; Combe, Mark; Collister, Tony; Sivakugan, Nagaratnam, 2015. Use of macro plastic fibres in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 93(), 180–188. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.05.105.