

ARTIKEL ILMIAH

**ANALISIS PERILAKU MEKANIS BETON NORMAL
DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH *FLY ASH* DARI PLTU
JERANJANG SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN**

*Analysis of Mechanical Behavior of Normal Concrete by Utilizing Fly Ash
Waste from PLTU Jeranjang as Partial Cement Substitution*

Tugas Akhir

Untuk memenuhi persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

ARMAN FAKHRUZZAMAN

F1A 013 024

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM
2018**

ARTIKEL ILMIAH

ANALISIS PERILAKU MEKANIS BETON NORMAL
DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH *FLY ASH* DARI PLTU
JERANJANG SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN

Oleh:

Arman Fakhruzzaman

F1A 013 024

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

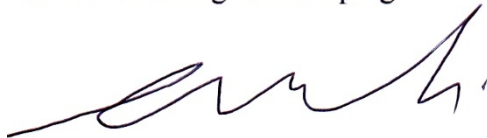
1. Pembimbing Utama



Hariyadi, ST., M.Sc(Eng)., Ph.D
NIP. 19731027 199802 1 001

Tanggal: 6 Juli, 2018

2. Pembimbing Pendamping



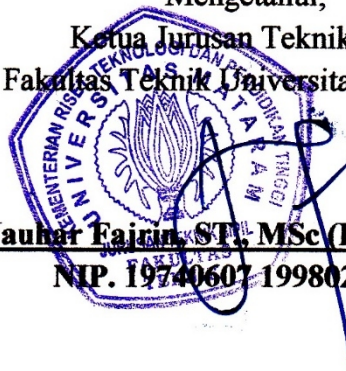
Ir. Miko Eniarti, MT
NIP. 19650315 199103 2 002

Tanggal: 6 Juli, 2018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Mataram

Jauhar Fajrin, ST., MSc(Eng)., Ph.D.
NIP. 19740607 199802 1 001



TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERILAKU MEKANIS BETON NORMAL DENGAN
MEMANFAATKAN LIMBAH *FLY ASH* DARI PLTU JERANJANG
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN**

Oleh:

Arman Fakhruzzaman

F1A 013 024


Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 6 Juli 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji:

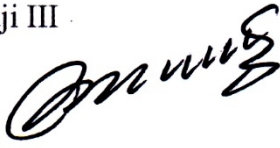
1. Penguji I


Jauhar Fajrin, ST., M.Sc (Eng.), Ph.D.
NIP. 19740607 199802 1 001

2. Penguji II


I Nyoman Merdana, ST., MT.
NIP. 19680913 199704 1 001

3. Penguji III


Buan Anshari, S.T., M.Sc(Eng.), Ph.D.
NIP. 19710703 199802 1 001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram


Almatuddin, ST., M.Sc. (Eng.), Ph.D.
NIP. 19681231 199412 1 001


ANALISIS PERILAKU MEKANIS BETON NORMAL DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH FLY ASH DARI PLTU JERANJANG SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN

Analysis of Mechanical Behavior of Normal Concrete by Utilizing Fly Ash Waste from PLTU Jeranjang as Partial Cement Substitution

Arman Fakhruzzaman¹, Hariyadi², Miko Eniarti³
JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS MATARAM

ABSTRAK.

Beton merupakan salah satu material bangunan paling populer. Kebutuhan material dari pembuatan beton akan terus meningkat, termasuk semen. Produksi semen menghasilkan karbon dioksida yang menyebabkan kerusakan lingkungan. Untuk mengurangi hal tersebut, yaitu dengan memanfaatkan limbah fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengetahui pengaruh fly ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton.

Tugas akhir ini merupakan studi ekperimental mengenai pengaruh fly ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap beton normal. Pada penelitian ini digunakan proporsi fly ash sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% sebagai bahan pengganti sebagian semen berdasarkan volume. Untuk pasta semen masing-masing proporsi fly ash dilakukan pengujian konsistensi normal, waktu pengikatan dan panas hidrasi. Sedangkan untuk sampel beton dilakukan pengujian workability, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur dan kuat geser dengan umur beton yaitu 28 hari.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, untuk pasta semen dengan proporsi campuran 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% didapatkan nilai tertinggi konsistensi normal pada proporsi 10% sebesar 33% dan nilai terendah terdapat pada proporsi 0% sebesar 29%, begitu juga dengan waktu pengikatan awal didapatkan nilai tertinggi pada proporsi 10% selama 125 menit dan nilai terendah terdapat pada proporsi 0% selama 97 menit, pengujian panas hidrasi diperoleh suhu tertinggi pada proporsi 0% sebesar 37°C dan suhu terendah pada proporsi 10% sebesar 27°C. Kemudian untuk pengujian sifat mekanik beton didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada proporsi 0% dan kuat tekan terendah pada proporsi 10% dengan selisih sebesar 18,95%, untuk nilai kuat tarik belah tertinggi didapatkan pada proporsi 5% dan kuat tarik belah terendah pada proporsi 2,5% dengan selisih 22,22%, untuk pengujian kuat lentur didapatkan nilai tertinggi pada proporsi 0% dan nilai terendah pada proporsi 5% dengan selisih 25,72% dan untuk pengujian kuat geser didapatkan nilai tertinggi pada proporsi 0% dan nilai terendah pada proporsi 10% dengan selisih 35,37%. Untuk workability beton pada setiap proporsi masih memenuhi standar kemudahan pengerjaan (5cm-12,5cm).

Kata Kunci: Fly Ash, Beton Normal, Sifat Pasta Semen, Workability, Sifat Mekanik Beton.

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Mataram

² Dosen Pembimbing Utama

³ Dosen Pembimbing Pendamping

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material bangunan paling populer, tersusun dari komposisi utama (agregat), air dan semen portland atau yang biasa kita sebut beton konvensional. Semen portland sebagai pengikat merupakan bahan yang paling penting digunakan dalam pembuatan beton konvensional. Akhir-akhir ini beton makin sering mendapat kritik khususnya dari kalangan yang peduli dengan lingkungan hidup. Hal yang sering dijadikan perhatian adalah emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen, gas karbon dioksida yang dilepaskan ke udara dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, diantaranya menyebabkan *global warming* (Manuahe, 2014). Hal inilah yang merupakan salah satu faktor pendorong untuk ditemukannya bahan alternatif lain yang bisa menggantikan material bahan semen dalam campuran beton untuk mendapatkan beton yang ramah lingkungan.

Untuk mengatasi efek buruk terhadap lingkungan dan mendapatkan beton yang ramah lingkungan maka digunakan material alternatif lain sebagai pengganti sebagian semen (semen portland) dengan cara memanfaatkan limbah industri PLTU, seperti misalnya *fly ash* sisa pembakaran batu bara. Komposisi material pembuatan beton menggunakan material *fly ash* secara kimia dengan cairan alkalin pada temperatur tertentu dapat membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen (Manuahe, 2014).

Dalam bauran energi, porsi pembangkit listrik dari batubara direncanakan mencapai 56,97 persen dari total pembangkit listrik yang ada. Sementara kebutuhan batubara saat ini sebesar 87,7 juta ton untuk PLTU batubara. Jumlah ini meningkat seiring dengan adanya program pembangkit listrik 35 ribu MW. Bahkan pada 2019, diperkirakan kebutuhan batu bara akan meningkat menjadi 166,2 juta ton. Ini artinya, jika limbah abu batubara berupa *fly ash* dan *bottom ash* dihasilkan sekitar 5 persen dari total kebutuhan tersebut,

maka limbah itu mencapai 8,31 juta ton di 2019 (Wicaksono, 2016).

Jumlah abu terbang yang semakin bertambah tidak mempunyai nilai ekonomis dan hanya mencemari lingkungan bila ditimbun begitu saja pada tempat pembuangannya, sehingga perlu dicari alternatif pemanfaatan limbah tersebut agar dapat memberikan nilai tambah. Metode berbasis 3R (*reduce*, *reuse* dan *recycle*) yang merupakan pendekatan sistem yang bisa menjadi pemecahan permasalahan limbah abu terbang untuk mengurangi efek pencemaran lingkungan. Salah satu upaya daur ulang limbah abu terbang digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat semen dan material konstruksi (beton).

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian secara eksperimental yang dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Mataram, sedangkan analisa kandungan kimia dilakukan di Laboratorium Analitik UPT MIPA Universitas Mataram. Untuk pengujian pasta semen yaitu konsistensi normal, waktu pengikatan, perkembangan temperatur hidrasi. Sedangkan untuk pengujian beton normal yaitu pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah benda uji berbentuk silinder berukuran 15 cm x 30 cm, pengujian kuat lentur berukuran 15 cm x 15 cm x 53 cm dan pengujian geser benda uji berbebetuk *double L* berukuran 20 cm x 7.5 cm x 30 cm. Benda uji tersebut dirawat dengan merendam dalam air selama 28 hari dengan kuat tekan rencana sebesar 20 Mpa. Setelah benda uji mengalami perawatan dilakukan pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah, kuat lentur dan kuat geser.

Bahan Penelitian

1. Semen, digunakan semen portland tipe I merek Tiga Roda.
2. Agregat, agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil) sungai dari kecamatan Narmada kabupaten Lombok Barat.

3. Air, digunakan air bersih dari jaringan air bersih Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Unram.
4. *Fly Ash*, berasal dari PLTU Jeranjang kecamatan Gerung kabupaten Lombok Barat.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan untuk pembuatan benda uji pasta semen dan benda uji beton serta peralatan pengujian material-material penyusun beton, peralatan tersebut meliputi: ayakan, timbangan, piknometer, keranjang kawat, mesin los angeles, cetakan benda uji, kerucut abrasi, oven (alat pemanas), termometer, stopwatch, mesin pengaduk pasta semen, *compression testing machine*, mesin uji geser, mesin uji lentur.

Pemeriksaan Material

Pemeriksaan bahan yang dilakukan untuk agregat antara lain pemeriksaan berat satuan agregat, pemeriksaan berat jenis pasir, analisa saringan agregat, pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir, pemeriksaan berat jenis batu pecah, pengujian ketahanan aus batu pecah. Pemeriksaan unsur-unsur kimia dalam *fly ash*.

Perhitungan Campuran Beton dan Pembuatan Benda Uji

Pengujian pada pasta semen dilakukan untuk mengetahui konsistensi normal, waktu pengikatan, panas hidrasi. Pengujian pada beton dilakukan untuk mengetahui *workability*, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan kuat geser pada beton yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen pada umur 28 hari. *Fly ash* yang digunakan yang berasal dari PLTU Jeranjang dengan variasi proporsi 0%, 2.5%, 5%, 7.5% dan 10% dari volume campuran beton. Perhitungan mix design menggunakan perhitungan campuran beton normal (SNI 7656-2012) dengan kuat tekan rencana 20 Mpa. Perawatan yang digunakan adalah metode perendaman di air tawar selama 28 hari.

Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1. Jumlah benda uji pasta semen.

JENIS PENGUJIAN	Variasi C.R					Benda Uji
	0%	2,5%	5%	7,5%	10%	
Konsistensi	1	1	1	1	1	
Waktu Pengikatan Awal dan Akhir	1	1	1	1	1	Pasta semen
Panas Hidrasi	1	1	1	1	1	
Total	3	3	3	3	3	

Catatan : C.R = *Cementitious Ratio* adalah kadar semen yang digantikan oleh *fly ash*

Tabel 2. Jumlah benda uji untuk pengujian beton normal

JENIS PENGUJIAN	Variasi C.R					Benda Uji
	0%	2,5%	5%	7,5%	10%	
Tarik Belah	3	3	3	3	3	Silinder
Tekan	3	3	3	3	3	
Lentur	3	3	3	3	3	Balok Persegi Panjang
Geser	3	3	3	3	3	Double L
Total	12	12	12	12	12	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Dari hasil pemeriksaan bahan-bahan penyusun beton yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Mataram, diperoleh hasil pengujian bahan antara lain:

Berat Satuan Agregat

Pada penelitian ini dilakukan dua pemeriksaan yaitu pemeriksaan berat satuan lepas dan berat satuan padat. Hasil pemeriksaan menunjukkan berat satuan kondisi padat rata-rata yaitu 1,404 gr/cm³ untuk pasir dan 1,404 gr/cm³ untuk batu pecah, sedangkan berat satuan kondisi gembur rata-rata sebesar 1,119 gr/cm³ untuk pasir dan 1,387 gr/cm³ untuk batu pecah.

Berdasarkan Tjokrodinuljo (1996) agregat halus dan kasar ini dapat digunakan pada pembuatan beton dengan standar spesifikasi yaitu 1,2 gr/cm³ – 1,6 gr/cm³, karena kepadatan agregat menyebabkan volume pori beton kecil dan kekuatan beton akan bertambah.

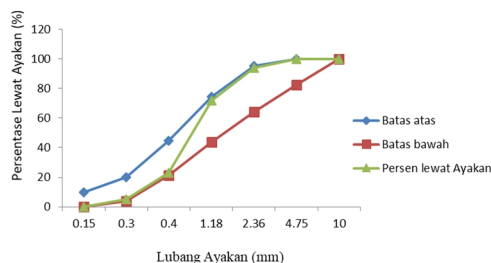
Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan berat jenis agregat yang dilakukan pada penelitian ini adalah pemeriksaan berat jenis dalam keadaan kering dan dalam keadaan jenuh kering muka (SSD). Hasil pemeriksaan menunjukkan berat jenis pasir pada kondisi kering rata-rata yaitu 2,510 sedangkan berat jenis pada kondisi jenuh kering muka (SSD) rata-rata sebesar 2,613 dan hasil pemeriksaan batu pecah pada kondisi kering rata-rata adalah 2,520 sedangkan berat jenis pada kondisi jenuh kering muka (SSD) rata-rata sebesar 2,550.

Hasil ini menunjukkan bahwa pasir dan batu pecah yang digunakan termasuk jenis agregat normal sesuai Tjokrodimuljo (1996) yang memiliki berat jenis antara 2,50-2,70.

Gradasi Agregat Halus

Berdasarkan pemeriksaan gradasi agregat yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa pasir berada dalam zona II yaitu pasir agak kasar. Grafik gradasi agregat halus dapat dilihat pada Gambar 1 seperti berikut:



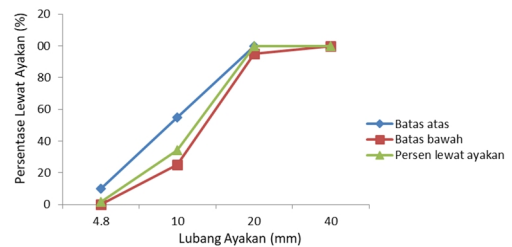
Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat Halus

Pada penelitian ini agregat halus (pasir) yang digunakan termasuk dalam zona II yaitu pasir agak kasar dengan nilai modulus halus butir (MHB) yang didapatkan sebesar 3,057. Hal ini menunjukkan agregat halus (pasir) memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran sebesar 1,5-3,8 (Tjokrodimuljo, 1996).

Gradasi agregat kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar (batu pecah) didapatkan modulus halus butir (MHB) sebesar 6,609 dengan diameter butiran maksimum yang

digunakan sebesar 20 mm. Hasil gradasi agregat kasar (batu pecah) dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat Kasar (Batu Pecah)

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa semua agregat kasar (batu pecah) yang melewati lubang ayakan berada di antara batas atas dan batas bawah seperti yang telah disyaratkan dengan besar butir maksimum 20 mm. Agregat kasar (batu pecah) yang digunakan ini telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran (MHB) sebesar 6,0 - 7,1 (Tjokrodimuljo, 1996).

Pemeriksaan kadar lumpur

Hasil pemeriksaan didapatkan kadar lumpur rata-rata pada pasir sebesar 0,519%. Hal ini menunjukkan kandungan lumpur agregat halus memenuhi persyaratan yaitu kurang dari 5% dari berat agregat (Tjokrodimuljo, 1996). Kadar lumpur yang melebihi 5% tidak baik digunakan untuk campuran beton karena semakin banyak kadar lumpur pada campuran beton maka semakin berkurang daya ikat semen pada campuran beton.

Ketahanan aus agregat kasar

Hasil pengujian ketahanan aus untuk batu pecah setelah putaran 100 kali sebesar 6,22% dan setelah putaran ke 500 kali sebesar 29,40%. Berdasarkan tabel PUBI pasal 25 kerikil tersebut termasuk ke dalam kelas II (konstruksi sedang) karena bagian yang hancur atau yang aus pada kerikil berkisar lebih besar dari 27% dan kurang dari 40%. PUBI 1982 Pasal 12 menyebutkan bahwa "Syarat fisik kerikil bagian yang hancur bila diuji memakai mesin los Angeles tidak lebih dari 50% berat" sehingga kerikil atau agregat

kasar yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat sebagai bahan bangunan. Penggunaan agregat kasar dengan memperhatikan tingkat kekerasan agregat kasar sangat berperan penting untuk menghasilkan beton yang memiliki kuat tekan yang tinggi

Hasil Pemeriksaan *Fly Ash*

Dari hasil analisis kandungan kimia pada *fly ash* didapatkan hasil SiO_2 yang terkandung pada *fly ash* yaitu sebesar 22.80% dan dengan hasil CaO yang terkandung pada *fly ash* yaitu sebesar 0.92% adapun berat jenis dari *fly ash* itu sendiri sebesar 2,075. *Fly ash* ini termasuk *fly ash* kelas F yang mengandung CaO lebih kecil dari 10%. *Fly ash* kelas F disebut juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*.

Hasil Pengujian Konsistensi Normal

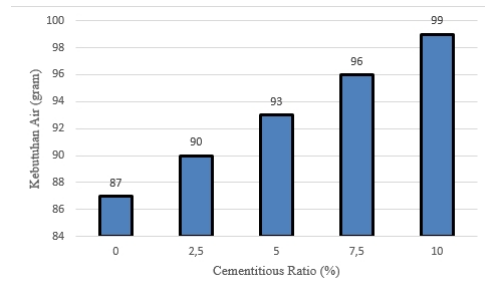
Pengujian konsistensi normal dengan menggunakan alat vicat dan jarum vicat berdiameter 1 cm. Hasil pengujian konsistensi normal adalah pada saat angka menunjukkan penurunan (10 ± 1) mm pada alat vicat. Dari hasil pengujian konsistensi normal dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Konsistensi Normal

C.R (%)	Berat Semen (gr)	Berat <i>Fly Ash</i> (gr)	Berat Air (gr)	KN (%)
0	300	0	87	29
2.5	292.5	7.5	90	30
5	285	15	93	31
7.5	277.5	22.5	96	32
10	270	30	99	33

Ket: KN = Konsistensi Normal
C.R = *Cementitious Ratio*

Dari hasil pengujian konsistensi normal dengan C.R yang bervariasi seperti pada tabel diatas, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3:



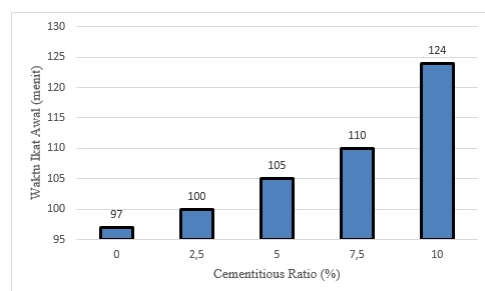
Gambar 3. Grafik Hubungan *Cementitious Ratio* dengan Berat Air

Dari Gambar 3 terlihat perbandingan hasil pengujian konsistensi normal pada kadar *cementitious ratio* sebesar 0%, 2.5%, 5%, 7.5% dan 10% dari berat semen. Pada grafik tersebut terlihat dengan jelas bahwa dengan adanya penambahan pozzolan berupa *fly ash* dapat meningkatkan kebutuhan air.

Kebutuhan air tertinggi terdapat pada kadar C.R 10% yaitu sebanyak 99 gram untuk mencapai konsistensi normal dibandingkan dengan pasta tanpa menggunakan *fly ash* yang hanya memerlukan kebutuhan air sebanyak 87 gram dalam mencapai konsistensi normal.

Hasil Pengujian *Setting Time* (Waktu Pengikatan Awal)

Dari hasil pengujian *setting time* (waktu pengikatan awal), dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Lama Waktu Pengikatan Awal dengan Campuran *Fly Ash*.

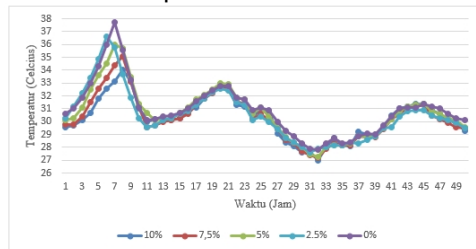
Dari Gambar 4 terlihat bahwa semakin besar kadar C.R yang digunakan, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya pengikatan awal dari mulai

bercampurnya air dengan bahan-bahan pasta di atas sampai pasta kehilangan sifat plastisnya (menjadi kaku).

Pada grafik diatas terlihat bahwa waktu pengikatan awal yang paling lama terjadi pada C.R 10% yaitu selama 124 menit adapun waktu ikatan awal yang paling cepat yaitu tanpa menggunakan *fly ash* selama 97 menit.

Hasil Pengujian Panas Hidrasi

Pengujian temperatur hidrasi dilakukan dengan menggunakan termometer. Pengujian temperatur hidrasi dilakukan selama 50 jam dan pada setiap 1 jam perkembangan temperatur hidrasi dari masing-masing benda uji dicatat. Hasil pengujian perkembangan temperatur hidrasinya dicantumkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Temperatur Hidrasi Campuran Pasta Semen.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa dengan bertambahnya persentase *fly ash* yang digunakan menyebabkan puncak dari temperatur hidrasi bertambah rendah. Ini disebabkan karena adanya pengurangan jumlah penggunaan semen portland, sehingga senyawa-senyawa yang ada di dalam semen portland seperti C₃S, C₃A, C₄AF dan C₂S juga jumlahnya berkurang. Diantara senyawa-senyawa tersebut ada yang sangat dominan dalam menghasilkan panas seperti C₃A dengan panas hidrasi 207 kal/gr. Unsur C₃A ini sangat berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi baik selama pengerasan awal maupun pengerasan berikutnya yang panjang. Sedangkan senyawa C₃S yang memiliki panas hidrasi 120 kal/g jika terkena air akan segera mulai berhidrasi, dan menghasilkan panas (Wuryati dan Candra, 2001).

Desain Campuran Adukan Beton (Mix Desain)

Perhitungan rancangan campuran (mix desain) adukan beton berdasarkan SNI 7656-2012. Kebutuhan bahan penyusun beton per 1 m³ dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan Bahan Penyusun Beton per 1 m³

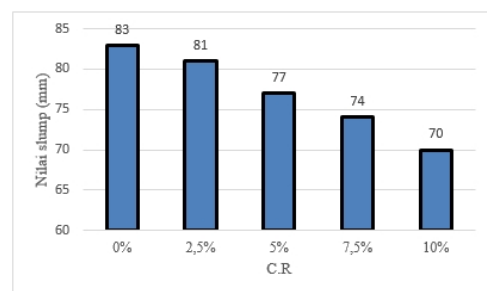
Nama	f _c diisyaratkan (Mpa)	FAS	Air (kg)	Pasir (kg)	Agregat Kasar (kg)	Semen (kg)	Fly Ash	
							Berat	Volume
BN	20	0.512	219.4	871.396	928.564	400.39	-	-
BNFA 2.5%	20	0.512	219.4	871.396	928.564	393.811	10.0098	6.579425
BNFA 5%	20	0.512	219.4	871.396	928.564	387.231	20.0195	13.15885
BNFA 7.5%	20	0.512	219.4	871.396	928.564	380.652	30.0293	19.73827
BNFA 10%	20	0.512	219.4	871.396	928.564	374.072	40.039	26.3177

Ket: BN = Beton Normal
BNFA = Beton Normal Fly Ash

Pada Tabel 4. menunjukkan campuran beton normal menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen sebesar 2.5%, 5%, 7.5% dan 10% dari volume semen.

Workability Beton (Slump Test)

Keleccakan adukan beton diukur dari nilai uji *slump*. Hasil pengujian *workability* beton (*slump test*) beton normal tanpa *fly ash* dan beton normal dengan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dapat dilihat pada Gambar 6.

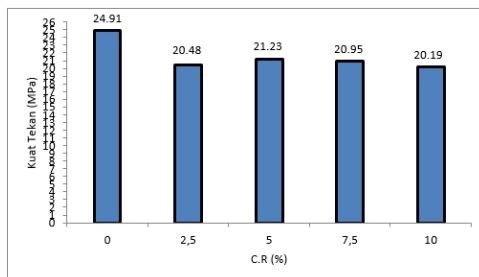


Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai Slump dengan C.R

Berdasarkan Gambar 6 nilai *slump* tertinggi terdapat pada C.R 0% yaitu 83 mm dan nilai *slump* terendah terdapat pada C.R 10% yaitu 70 mm. Semakin tinggi C.R maka akan semakin rendah nilai *slump*. Hal ini disebabkan karena *fly ash* menyerap lebih banyak air.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pelaksanaan pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder 15 x 30 cm dilakukan setelah benda uji beton berumur 28 hari. Pengujian menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM), hasil yang digunakan untuk menentukan kuat tekan benda uji yaitu beban maksimum yang menyebabkan benda uji menjadi hancur dibagi luas bidang tekan benda uji. Hasil pengujian kuat dan Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan minimum terjadi pada C.R 10% dengan nilai kuat tekan sebesar 20.19 MPa, sedangkan untuk nilai kuat tekan optimum terjadi pada C.R 0% dengan nilai kuat tekan sebesar 24.91 MPa. Untuk selisih nilai kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.

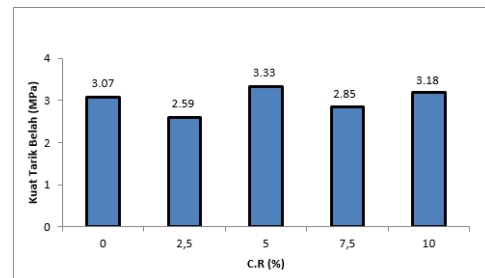
Tabel 5. Selisih Nilai Kuat Tekan dengan Substisusi *Fly Ash*

Kuat Tekan BN (0% <i>fly ash</i>) MPa	C.R (%)	Kuat Tekan Rata - rata (MPa)	Selisih Kuat Tekan	
			MPa	%
24.91	2.5	20.48	-4.43	17.78
	5	21.23	-3.68	14.77
	7.5	20.95	-3.96	15.90
	10	20.19	-4.72	18.95

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak penggunaan *fly ash* maka semakin menurun hasil dari kuat tekan beton. Hal ini disebabkan *fly ash* yang digunakan yaitu *fly ash* kelas F dengan kandungan SiO₂ yang rendah dengan persentase sebesar 22.80%, begitu juga dengan kandungan CaO yang rendah dengan persentase sebesar 0.92% sehingga mempengaruhi hasil kuat tekan beton.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Pelaksanaan pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder 15 x 30 cm dilakukan setelah benda uji beton berumur 28 hari. Pengujian menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Hasil pengujian kuat tekan beton normal dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Hasil pengujian kuat tarik belah beton dengan substitusi *fly ash* menunjukkan terjadinya penurunan kuat tarik belah minimum pada C.R 2.5% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 2.59 MPa dan nilai optimum pada C.R 5% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 3.33 MPa. Jika dibandingkan dengan beton normal dan selisih nilai kuat tarik belah dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Selisih Nilai Kuat Tarik Belah dengan Substitusi *Fly Ash*

Kuat Tarik BN (0% <i>Fly Ash</i>) MPa	Persentase <i>Fly Ash</i> (%)	Kuat Tarik Belah Rata - rata (MPa)	Selisih Kuat Tarik Belah	
			MPa	%
3.07	2.5	2.59	-0.48	15.54
	5	3.33	0.26	8.59
	7.5	2.85	-0.22	7.06
	10	3.18	0.11	3.70

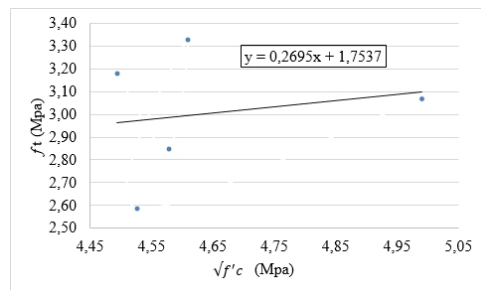
Dari Tabel 6 didapatkan bahwa kuat tarik belah beton normal pada C.R 0% yaitu sebesar 3.07 MPa. Pada C.R 2.5% mengalami penurunan kuat tarik belah sebesar 15.54% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 2.59 MPa. Pada C.R 5% mengalami peningkatan kuat tarik belah sebesar 8.59% dengan nilai kuat tarik belah 3.33 MPa. Kemudian pada C.R 7.5% mengalami penurunan kuat tarik belah sebesar 15.90% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 2.85 MPa. Dan pada C.R 10% mengalami peningkatan kuat

tarik belah sebesar 18.95% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 20.19 MPa.

Kuat tarik belah beton dengan substitusi *fly ash* lebih rendah dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash* diduga selain dari kandungan SiO₂ yang rendah dan juga kandungan CaO yang rendah, Hal ini di sebabkan kemungkinan dari faktor bahan penyusun beton yang mengalami ketahanan aus agregat kasar yang tidak normal yaitu 29,40 % yang seharusnya di bawah 27% yang menyebabkan terjadinya sedikit penurunan kuat tarik belah di proporsi 2.5% dan 7.5% dari substitusi *fly ash* dibandingkan dengan tanpa penggunaan *fly ash*.

Hubungan antara Kuat Tarik Belah Beton dan Kuat Tekan

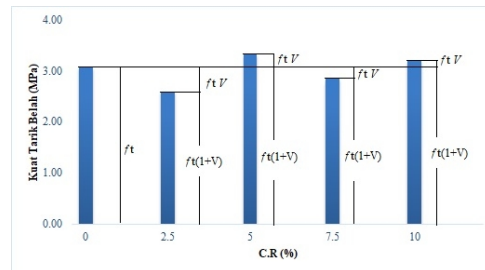
Hasil pengujian kuat tarik belah selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan. Pada penelitian ini diperoleh hasil pengujian kuat tekan dari benda uji silinder yang sudah dibuat kemudian dari hasil kuat tekan yang diperoleh dipakai untuk dibandingkan dengan kuat tarik belah beton.



Gambar 9. Grafik Hubungan f_t dengan $\sqrt{f_c}$

Dari hasil pengujian kuat tarik belah beton menunjukkan bahwa akibat substitusi *fly ash* menyebabkan peningkatan optimum pada proporsi 5% terhadap nilai kuat tarik belah beton. Untuk mengetahui pengaruh dari proporsi *fly ash* pada campuran maka diperlukan suatu model matematis mengenai hubungan antara kuat tarik belah beton dengan kuat tekan beton (Akmaluddin dkk, 2013). Data hasil pengujian kemudian dimanipulasi dan dinyatakan dalam bentuk $f_t(1+v)$ pada

sumbu y dan $\sqrt{f_c}$ pada sumbu x. Ilustrasi pemodelan matematis dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Ilustrasi Pemodelan Kuat Tarik Belah

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik belah beton pada C.R 0% (beton normal) diasumsikan sebagai f_t . Besarnya perbedaan nilai kuat tarik belah beton tersebut diasumsikan sebagai $f_t v$. Maka besarnya nilai kuat tarik belah beton dapat diasumsikan sebagai berikut:

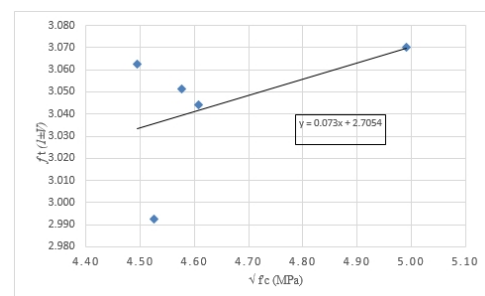
$$f_t = f_t \pm f_t v, \text{ maka:}$$

$$f_t = f_t (1 \pm v)$$

Dari data hasil pengujian kemudian dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara $f_t (1 \pm v)$ dan $\sqrt{f_c}$ seperti pada Gambar 4.10. Dari grafik kemudian dibuat garis regresi linier yang dapat mewakili semua data sehingga didapatkan model matematis mengenai hubungan antara kuat tarik belah dan kuat tekan beton.

Tabel 7. Hasil Kuat Tarik Belah (f_t) Secara Matematis

Proporsi <i>fly ash</i>	V	Kuat Tekan		Kuat Tarik Belah	
		f_c	$\sqrt{f_c}$	f_t	$f_t(1 \pm v)$
0%	0%	24.91	4.99	3.070	3.070
2.5%	15.54%	20.48	4.53	2.590	2.992
5%	-8.59%	21.23	4.61	3.330	3.044
7.5%	7.06%	20.95	4.58	2.850	3.051
10%	-3.70%	20.19	4.49	3.180	3.062



Gambar 11, Hubungan antara f_t (1+V) dengan $\sqrt{f'_c}$

Dari persamaan regresi linier yang didapatkan, maka usulan model matematis dapat diajukan sebagai berikut:

$$y = 0.073x + 2.7054$$

dengan $y = f_t (1 - V)$
 $x = \sqrt{f'_c}$

maka didapatkan:

$$f_t (1 \pm V) = 0.073(\sqrt{f'_c}) + 2.7054$$

$$f_t = \frac{0.073(\sqrt{f'_c}) + 2.7}{(1 \pm V)} \dots \dots \dots (1.1)$$

dengan:

f_t = Kuat tarik belah beton (MPa).

f'_c = kuat tekan beton (MPa).

v = proporsi *fly ash* terhadap volume campuran.

Hubungan kuat tarik dan kuat tekan menurut SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 yang menyatakan $f_t = 0,70 \sqrt{f'_c}$. Hasil pengujian kuat tarik belah beton dengan menggunakan persamaan (4.1) yang menggunakan model matematis yang diajukan dapat dilihat pada Tabel 8.

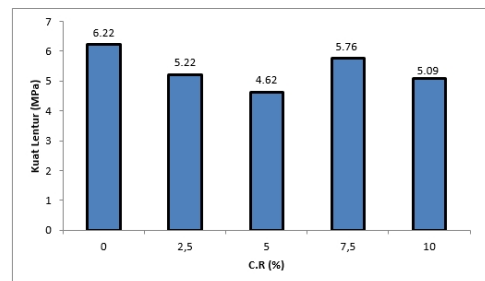
Tabel 8. Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan

Proporsi <i>fly ash</i>	Kuat Tekan		f_t		$f_t / \sqrt{f'_c}$				Rasio	
	$\sqrt{f'_c}$	Ekp	Mat	SNI	Ekp	Mat	Ekp	Mat	Ekp	Mat
0%	4.99	3.070	3.069	0.7	0.615	0.615	0.879	0.878		
2.5%	4.53	2.590	2.627	0.7	0.572	0.580	0.818	0.829		
5%	4.61	3.330	3.327	0.7	0.723	0.722	1.032	1.032		
7.5%	4.58	2.850	2.839	0.7	0.623	0.620	0.890	0.886		
10%	4.49	3.180	3.149	0.7	0.708	0.701	1.011	1.001		

Dari Tabel 8 hubungan antara kuat tarik belah beton dengan kuat tekan beton secara eksperimen maupun secara matematis di peroleh nilai $f_t = 0.572 - 0.723\sqrt{f'_c}$. Perbandingan antara kuat tarik belah dengan kuat tekan secara eksperimen maupun matematis pada proporsi 0%, 2,5% dan 7,5% diperoleh nilai yang lebih rendah dari SNI T-15-1991-03 yang artinya tidak memenuhi standar. Namun pada proporsi 5% dan 10% secara eksperimen maupun matematis diperoleh nilai yang sesuai atau melebihi SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5 yang menyatakan $f_t = 0,70\sqrt{f'_c}$.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas. Pengujian kuat lentur beton menghasilkan data berupa beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok. Dimensi benda uji 15 x 15 x 53 cm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pada Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai kuat lentur minimum terjadi pada C.R 5% dengan nilai kuat lentur beton sebesar 4.62 MPa, sedangkan untuk nilai kuat lentur beton optimum terjadi pada C.R 0% dengan nilai kuat tekan sebesar 6.22 MPa. Untuk selisih nilai kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Selisih Nilai Kuat Lentur Beton dengan Substitusi *Fly Ash*

Kuat Lentur BN (0% <i>fly ash</i>) MPa	Persentase <i>fly ash</i> (%)	Kuat Lentur Belah Rata-rata (MPa)	Selisih Kuat Lentur	
			MPa	%
6.22	2.5	5.22	-1.00	16.08
	5	4.62	-1.60	25.72
	7.5	5.76	-0.46	7.40
	10	5.09	-1.13	18.17

Dari Tabel 9 didapatkan bahwa kuat lentur beton pada C.R 0% yaitu sebesar 6.22 MPa. Pada C.R 2.5% mengalami penurunan kuat lentur beton sebesar 16.08% dengan nilai kuat lentur beton 5.22 MPa. Pada C.R 5% mengalami penurunan kuat lentur beton sebesar 25.72% dengan nilai kuat lentur beton 4.62 MPa. Kemudian pada C.R 7.5%

mengalami penurunan kuat lentur beton sebesar 6.91% dengan nilai kuat lentur beton sebesar 5.79 MPa. Dan pada C.R 10% mengalami penurunan kuat lentur beton sebesar 18.17% dengan nilai kuat lentur beton sebesar 5.09 MPa.

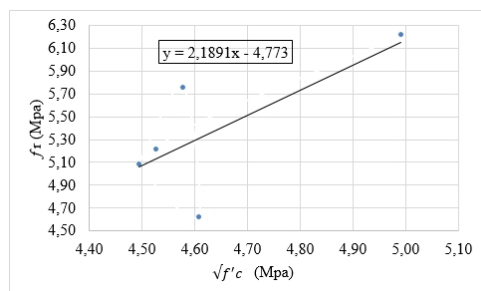
Hal ini diduga karena berkurangnya jumlah semen dan digantikan oleh *fly ash* yang mempunyai sifat mereduksi kecepatan pengerasan beton. Pengembangan dan penyusutan beton tidak selalu seragam pada seluruh massa beton. Kombinasi kimiawi semen, air dan *fly ash* diikuti dengan pelepasan sejumlah panas yang cukup banyak, dan hanya dapat lepas dengan cara konduksi pada permukaan luar beton. Hal ini berarti bahwa semakin besar massa beton, maka semakin besar suhu dalam beton yang masih muda umurnya (Murdock, 1999). Pada umur 28 hari kekuatannya lebih rendah dari pada beton normal, namun apabila sesudah 3 bulan kekuatannya dapat sedikit lebih tinggi (Tjokrodimuljo, 1996). Sehingga umur beton mempengaruhi hasil kekuatan beton.

Hubungan antara Kuat Lentur Beton dan Kuat Tekan

Hubungan modulus runtuh dengan kuat tekan oleh SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.3 dirumuskan sebagai berikut:

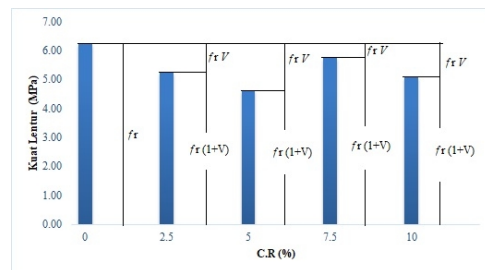
$$f_r = 0.62\sqrt{f_c} \text{ (MPa)}$$

Hasil pengujian kuat lentur beton selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan. Pada penelitian ini diperoleh hasil pengujian kuat tekan dari benda uji silinder yang sudah dibuat kemudian dari hasil kuat tekan yang diperoleh dipakai untuk dibandingkan dengan kuat tekan beton



Gambar 13. Grafik Hubungan f_r dengan $\sqrt{f_c}$

Untuk mengetahui pengaruh dari proporsi serat pada campuran maka diperlukan suatu model matematis mengenai hubungan antara modulus runtuh dengan kuat tekan beton serat (Akmaluddin dkk, 2013). Data hasil pengujian kemudian dimanipulasi dan dinyatakan dalam bentuk $f_r(1+v)$ pada sumbu y dan $\sqrt{f_c}$ pada sumbu x. Ilustrasi pemodelan matematis dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Ilustrasi Pemodelan Kuat Lentur

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik belah beton pada C.R 0% (beton normal) diasumsikan sebagai f_t . Besarnya perbedaan nilai kuat tarik belah beton tersebut diasumsikan sebagai $f_r V$. Maka besarnya nilai kuat tarik belah beton dapat diasumsikan sebagai berikut:

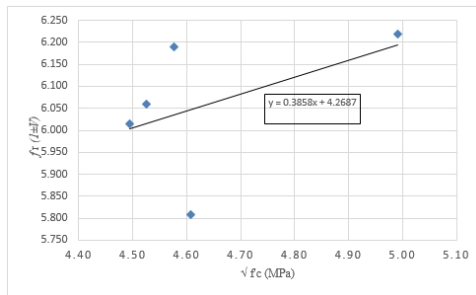
$$f_r = f_r \pm f_r V, \text{ maka:}$$

$$f_r = f_r (1 \pm V)$$

Dari data hasil pengujian kemudian dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara $f_r (1 \pm V)$ dan $\sqrt{f_c}$ seperti pada Gambar 4.17. Dari grafik kemudian dibuat garis regresi linier yang dapat mewakili semua data sehingga didapatkan model matematis mengenai hubungan antara kuat tarik belah dan kuat tekan beton.

Tabel 10. Hasil Kuat Lentur (f_r) Secara Matematis

Proporsi Fly Ash	V	Kuat Tekan		Kuat Lentur	
		f_c	$\sqrt{f_c}$	f_r	$f_r(1\pm V)$
0%	0%	24.91	4.99	6.220	6.220
2.5%	16.08%	20.48	4.53	5.220	6.059
5%	25.72%	21.23	4.61	4.620	5.808
7.5%	6.91%	20.95	4.58	5.760	6.158
10%	18.17%	20.19	4.49	5.090	6.015



Gambar 15. Hubungan antara $f_r (1+V)$ dengan $\sqrt{f'c}$

Dari persamaan regresi linier yang didapatkan, maka usulan model matematis dapat diajukan sebagai berikut:

$$y = 0.3858x + 4.2687$$

dengan $y = f_r (1 - V)$
 $x = \sqrt{f'c}$

maka didapatkan:

$$f_r (1 \pm V) = 0.3858(\sqrt{f'c}) + 4.2687$$

$$f_r = \frac{0.3 (\sqrt{f'c}) + 4.2}{(1+V)} \dots\dots\dots(1.2)$$

dengan:

f_r = Kuat lentur beton (MPa).

f'_c = kuat tekan beton (MPa).

v = proporsi *fly ash* terhadap volume campuran.

Hubungan kuat lentur dan kuat tekan menurut SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.3 $f_r = 0,62\sqrt{f'_c}$. Hasil pengujian kuat lentur dengan menggunakan Persamaan (4.2) yang menggunakan model matematis yang diajukan dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan Nilai Kuat Lentur

Proporsi Fly Ash	Kuat Tekan		f_r		$f_r / \sqrt{f'_c}$			Rasio	
	$\sqrt{f'_c}$	Ekp	Mat	SNI	Ekp	Mat	Ekp	Mat	
0%	4.99	6.220	6.194	0.62	1.246	1.241	2.010	2.002	
2.5%	4.53	5.220	5.181	0.62	1.153	1.145	1.860	1.847	
5%	4.61	4.620	4.809	0.62	1.003	1.044	1.617	1.684	
7.5%	4.58	5.760	5.645	0.62	1.258	1.233	2.030	1.989	
10%	4.49	5.090	5.079	0.62	1.133	1.130	1.827	1.823	

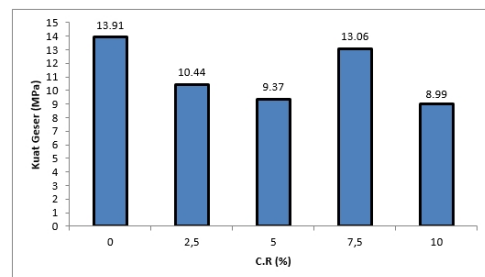
Dari Tabel 11 hubungan antara kuat lentur dengan kuat tekan beton secara eksperimen maupun secara matematis di peroleh nilai 1.003 – 1.265 $\sqrt{f'_c}$ Perbandingan antara kuat lentur dengan kuat tekan secara eksperimen maupun secara matematis pada semua proporsi

fly ash menghasilkan koefisien yang lebih besar dari $f_r = 0.62\sqrt{f'_c}$ (MPa). Sehingga hubungan perbandingan antara kuat lentur dengan kuat tekan dapat dikatakan aman karena melebihi koefisien yang ditentukan oleh SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.3 yaitu sebesar $f_r = 0.62\sqrt{f'_c}$ (MPa).

Hasil Pengujian Geser Beton

Salah satu sifat beton yang mengeras (*hard concrete*) adalah kuat geser beton. Bila gaya yang bekerja pada beton melebihi kekuatan geser maksimum yang dapat ditahan beton, maka akan timbul keretakan beton.

Tegangan geser dihasilkan oleh gaya friski antara satu partikel yang lain. Tegangan geser ini dinamakan tegangan geser akibat gaya geser langsung (*direct shear*). Kuat geser beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.6). Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 16



Gambar 16. Hasil Pengujian Kuat Geser

Pada Gambar 16 menunjukkan bahwa nilai kuat geser minimum terjadi pada C.R 10% dengan nilai kuat geser beton sebesar 8.99 MPa, sedangkan untuk nilai kuat geser beton optimum terjadi pada C.R 0% dengan nilai kuat geser sebesar 13.91 MPa. Untuk selisih nilai kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Selisih Nilai Kuat Geser dengan Substitusi Fly Ash

Kuat Geser BN (0% Fly Ash) Mpa	Persentase Fly Ash (%)	Kuat Geser Belah Rata - rata (Mpa)	Selisih Kuat Geser	
			Mpa	%
13.91	2.5	10.44	-3.47	24.95
	5	9.37	-4.54	32.64
	7.5	13.06	-0.85	6.11
	10	8.99	-4.92	35.37

Dari Tabel 12 didapatkan bahwa kuat geser beton pada C.R 0% yaitu sebesar 13.91 MPa. Pada C.R 2.5% mengalami penurunan kuat geser beton sebesar 24.95% dengan nilai kuat geser beton 3.47 MPa. Pada C.R 5% mengalami penurunan kuat geser beton sebesar 32.64% dengan nilai kuat geser beton 4.54 MPa. Kemudian pada C.R 7.5% mengalami penurunan kuat geser beton sebesar 6.11% dengan nilai kuat geser beton sebesar 13.06 MPa. Dan pada C.R 10% mengalami penurunan kuat geser beton sebesar 35.37% dengan nilai kuat geser beton sebesar 4.92 MPa.

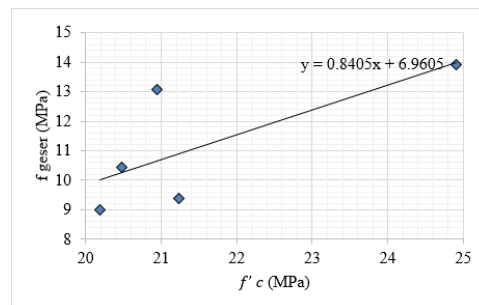
Dengan demikian kuat geser beton dengan substitusi *fly ash* lebih rendah dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash* diduga selain dari kandungan SiO₂ yang rendah dan juga kandungan CaO yang rendah, hal ini kemungkinan disebabkan dari lebar tampang lintang patah arah vertikal yang tidak seragam pada saat pemasangan sekat atau gabus. Lebar tampang lintang patah arah vertikal mempengaruhi hasil dari kuat geser beton.

Hubungan Kuat Geser dengan Kuat Tekan Beton

Kekuatan geser beton memiliki hubungan dengan kekuatan tekan beton untuk beton normal (Nawy,1990), yaitu :

$$f_{geser} = (20\% - 85\%) \cdot f'c$$

Hasil pengujian kuat geser selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan. Pada penelitian ini diperoleh hasil pengujian kuat tekan dari benda uji silinder yang sudah dibuat kemudian hasil dari kuat tekan yang diperoleh dipakai untuk dibandingkan dengan kuat geser.



Gambar 17. Grafik hubungan f geser dengan $\sqrt{f'c}$

Dari persamaan regresi linier diatas didapatkan model matematis sebagai berikut :

$$Y = 0,08405x + 6.9605$$

Dengan $y = f$ geser

$$X = f'c$$

Maka didapatkan :

$$F geser = 0,08405 f'c + 6.9605 \dots\dots\dots(4.3)$$

Dengan :

f geser = kuat geser beton (MPa)

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

Gambar 2.17 menunjukkan hubungan antara kuat geser dengan kuat tekan sangat kuat yaitu dengan nilai kolerasi sebesar 0,7289.

Nilai kuat geser beton menggunakan model matematis dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13 Hubungan Kuat Geser (f geser) dengan Kuat Tekan ($f'c$)

Persentase Fly Ash	Kuat Tekan	Kuat Geser		
	$f'c$	(20% - 85%) $f'c$	Exp	Mar
0%	24.910	4,982 - 21,173	13.910	9.0542
2.5%	20.480	4,096 - 16.384	10.440	8.6818
5%	21.230	4,246 - 16.984	9.370	8.7449
7.5%	20.950	4,190 - 16,760	13.060	8.7213
10%	20.190	4,038 - 17,161	8.990	8.6575

Berdasarkan Nawy, kuat geser sulit untuk ditentukan secara eksperimen dibanding kuat mekanis lainnya karena kesulitan mengisolasi geser dari kuat mekanis lain. Kuat geser langsung memiliki variasi nilai $f_{geser} = (20\%-85\%) \times f'c$. Hubungan antara kuat tekan dan kuat geser ini tidak dapat dipastikan pada satu angka korelasi karena kuat geser sangat dipengaruhi berbagai hal seperti jumlah agregat, tingkat kekerasan agregat, serta lebar tampang lintang patah arah *vertical*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1) A. Kebutuhan air akan meningkat dengan bertambahnya persentase penggunaan *fly ash*. Kebutuhan air tertinggi terjadi C.R 10% yaitu sebesar 99 gram dengan konsistensi normal sebesar 33% bila dibandingkan dengan tanpa menggunakan *fly ash* sebesar 87 gram dengan konsistensi normal sebesar 28%.

B. Waktu ikat awal paling cepat untuk pasta dengan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen terjadi pada C.R 2.5% yaitu selama 100 menit, dan waktu ikat awal paling lama terjadi pada C.R 10% yaitu selama 124 menit. Sedangkan waktu ikat awal pasta tanpa *fly ash* yaitu selama 97 menit.

C. *Fly ash* yang merupakan bahan pozzolan dapat menurunkan temperatur hidrasi. Puncak temperatur terendah diperoleh pada *cementitious ratio* 10% yaitu sebesar 34°C dibandingkan dengan pasta tanpa campuran *fly ash* sebesar 37,7°C. Penurunan temperatur hidrasi sebesar 3,7°C.

2) Nilai *slump* (*workability*) pada campuran beton normal dengan substitusi campuran *fly ash* mengalami pengaruh yang signifikan, semakin banyak substitusi *fly ash* maka semakin kecil nilai *slump*. Nilai *slump* yang didapatkan pada penelitian ini pada proporsi campuran 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, dan 10% dengan nilai *slump* 83 mm, 81 mm, 77 mm, 74 mm, dan 70 mm.

3) Dari hasil penelitian ini, pada pengujian kuat tekan didapatkan nilai tertinggi yaitu pada proporsi 0% sebesar 24,91 MPa dan kuat tekan terendah pada proporsi 10% sebesar 20,19 MPa dengan selisih 18,95% atau sebesar 4,72 MPa. Pada pengujian kuat tarik belah didapatkan nilai optimum yaitu pada proporsi 5% sebesar 3,33 MPa dibandingkan dengan proporsi 0% yaitu sebesar 3,07 MPa dengan selisih 8,59%

atau sebesar 0,26 MPa dan nilai terendah terjadi pada proporsi 2,5% sebesar 2,59 MPa. Pada pengujian kuat lentur didapatkan nilai tertinggi yaitu pada proporsi 0% sebesar 6,22 MPa dan kuat lentur terendah terjadi pada proporsi 5% sebesar 4,62 MPa dengan selisih 25,72% atau sebesar 1,60 MPa. Pada pengujian kuat geser didapatkan nilai tertinggi yaitu pada proporsi 0% sebesar 13,90 MPa dan kuat geser terendah terjadi pada proporsi 5% sebesar 9,37 MPa dengan selisih 32,64% atau sebesar 4,54 MPa.

Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan, ada beberapa saran yang diharapkan mampu melengkapi penelitian selanjutnya, antara lain:

- 1) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dengan jenis pozzolan yang lain dengan variasi campuran yang lebih beragam.
- 2) Pada penelitian selanjutnya diperlukan masa perawatan selama 90 hari.
- 3) Pada saat persiapan material sebaiknya dilakukan seleksi yang akurat terhadap material yang akan digunakan, termasuk *fly ash* sebaiknya memilih *fly ash* yang mempunyai kadar silika lebih dari 50% dan kadar kapur yang lebih dari 10%.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmaluddin, Murtiadi, S., Suparjo., Gazalba, Z., 2013, *Properties of Fibrous Lightweight Concrete of Agave Sisalana*, 1st International Conference on Infrastructure Development, UMS Surakarta, Page 226-232.
- Ivan C. L., 2011. *Studi Perilaku kuat geser pada beton dengan menggunakan serat kawat bendrat*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Manuahe, R., 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu*

- Terbang (Fly Ash)*, Teknik Sipil
Universitas Sam Ratulangi,
Manado.
- Murdock, L.J., Brook, K.M., 1999. *Bahan dan Praktek Beton. Edisi IV*, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E. G., 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Bandung.
- Tjokrodimuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta
- Wicaksono, P.E., 2016. Limbah Batu Bara PLTU Akan Dimanfaatkan Jadi Bahan Bangunan Rumah, <https://www.liputan6.com/bisnis/read/2438197/limbah-batu-bara-pltu-akan-dimanfaatkan-jadi-bahan-bangunan-rumah>, diakses tanggal 15 Januari 2018
- Wuryati, S., Candra, R, 2001. *Teknologi Beton*. Kansius, Yogyakarta
- Beton Normal*, Standar Nasional Indonesia.
- SNI 2847:2013, *Persyaratan Beton Structural Untuk Bangunan Gedung*, Standar Nasional Indonesia.
- SNI 7656-2012, *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa*, Standar Nasional Indonesia.
- SNI T-15-1991-03, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Standar Nasional Indonesia.