

**Pengaruh Variasi Panjang Ujung Tulangan Tertanam Dengan Sudut
Bengkokan 135° Terhadap Kuat Lekat (Bond Strength) Tulangan Pada Balok
Beton**

*The Effect Of Variation Of End Length Of Embedded Reinforcement With 135
Bending Angle On Bond Strength Of Reinforcement In Concrete Beam*

Artikel Ilmiah
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

ALDI GUNAWAN

F1A017008

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM
2023**

ARTIKEL ILMIAH

Pengaruh Variasi Panjang Ujung Tulangan Tertanam Dengan Sudut Bengkokan 135° Terhadap Kuat Lekat (Bond Strength) Tulangan Pada Balok Beton

The Effect Of Variation Of End Length Of Embedded Reinforcement With 135 Bending Angle On Bond Strength Of Reinforcement In Concrete Beam

Oleh:

ALDI GUNAWAN
F1A 017 008

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

1. Pembimbing Utama,



Dr. Hariyadi, S.T., M.Sc(Eng)
NIP. 19731027 199802 1 001

Tanggal : Juli 2023

2. Pembimbing Pendamping,



Shofia Rawiana, ST., MT.
NIP. 19660305 199412 2 001

Tanggal : Juli 2023

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Dr. Hariyadi, S.T., M.Sc(Eng)
NIP. 19731027 199802 1 001

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH VARIASI PANJANG UJUNG TULANGAN TERTANAM
DENGAN SUDUT BENGKOKAN 135° TERHADAP KUAT LEKAT (BOND
STRENGTH) TULANGAN PADA BALOK BETON**

Oleh:

**ALDI GUNAWAN
F1A 017 008**

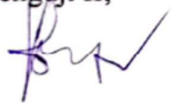
Telah diujikan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 18 Juli 2023
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Susunan Tim Penguji

1. Penguji I


Prof. Akmaluddin, ST., MSc(Eng.), Ph.D.
NIP. 19681231 199412 1 001

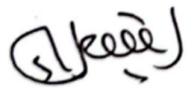
Tanggal : Juli 2023

2. Penguji II,


I Wawan Sugiarta, ST., MT.
NIP. 19690620 199702 1 001

Tanggal : Juli 2023

3. Penguji III,


Fathmah Mahmud, ST., MT.
NIP. 19711109 200012 2 001

Tanggal : Juli 2023

Mataram, Juli 2023
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Muhamad Svamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D
NIP. 19720222 199903 1 002

PENGARUH VARIASI PANJANG UJUNG TULANGAN TERTANAM DENGAN SUDUT BENGKOKAN 135° TERHADAP KUAT LEKAT (BOND STRENGTH) TULANGAN PADA BALOK BETON

Aldi Gunawan¹, Hariyadi², Shofia Rawiana³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

²Dosen Pembimbing Utama

³Dosen Pembimbing Pendamping

Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram

Email : aldigana1103@gmail.com

INTISARI

Salah satu dasar anggapan bahwa dalam perancangan struktur beton bertulang bahwa ikatan antara baja dan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi slip. Tegangan lekat antar tulangan baja dan beton akan berlangsung dengan baik apabila batang tulangan tertanam kokoh didalam beton pada tekukan tertentu. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi panjang tekukan ujung tulangan ulir terhadap kuat lekat dan slip pada beton normal dan beton mutu tinggi.

Penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan, kuat lekat dan pengujian slip pada beton normal dan beton mutu tinggi. Benda uji berbentuk silinder ukuran 150 x 300 mm untuk kuat tekan, dan balok berukuran 150 x 200 x 620 mm untuk kuat lekat beton dan menggunakan benda uji bentuk *beam-anchorage*. Uji kuat lekat dan kuat tarik lentur balok beton menggunakan baja ulir diameter 10 mm serta variasi panjang tekukan 0, 20, 40, 60 dan 80 mm dengan sudut 135°. Kuat lekat (*bond strength*) diuji dengan cara menempatkan balok beton pada *loading frame* kemudian balok dibebankan sampai tercapai beban maksimum.

Hasil penelitian ini adalah beton normal dan beton mutu tinggi pada panjang tekukan 0 mm sampai 80 mm terjadi peningkatan kuat lekat seiring bertambahnya panjang tekukan ujung tulangan, hal ini karena selain bertambahnya daerah lekatan antara beton dan baja tulangan, tulangan juga dikondisikan menjangkar beton. Dimana pada saat keruntuhan terjadi, tulangan dekat ujung yang tertekuk akan menahan akan beton sehingga kekuatan lekat semakin meningkat. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa panjang tekukan yang disyaratkan SNI 2847-2019 telah dikalikan *safety factor* lebih dari 1, dimana SNI sudah sangat aman dalam penentuan panjang tekukan tulangan. Terdapat pengaruh slip terhadap variasi tekukan ujung tulangan pada beton normal dan beton mutu tinggi yaitu memperlambat perpanjangan slip. Ragam keruntuhan yang terjadi pada benda uji yaitu *bonding failure*

Kata Kunci : Beton Mutu Tinggi, Beton Normal, Kuat Lekat, Panjang Tekukan, Tulangan Baja.

PENDAHULUAN

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 2847:2019 pasal 3.12). Ditinjau dari segi kekuatan, beton mempunyai keunggulan-keunggulan antara lain relatif kuat menahan gaya tekan, mudah pengerjaan dan perawatannya, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, tahan terhadap perubahan cuaca, lebih tahan terhadap api dan korosi serta memiliki kuat desak yang tinggi.

Salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perancangan dan analisis struktur beton bertulang ialah bahwa ikatan antara baja dan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi pergeseran (slip). Berdasarkan atas anggapan tersebut dan juga sebagai akibat lebih lanjut, pada

waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekat yang berupa *shear interlock* pada permukaan senggung antara batang tulangan dengan beton

Tegangan lekat antara beton dan tulangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain rekatan hidrasi semen pada seluruh bidang kontak antara beton dan tulangan, tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci pada saat elemen penguat atau tulangan yang mengalami tegangan tarik. Mekanisme ini terbentuk karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara beton dan tulangan.

Kuat lekat antara beton dan baja tulangan akan berkurang apabila mendapat tegangan tarik yang tinggi karena beton terjadi retak-retak rambut. Hal ini apabila terus berlanjut akan mengakibatkan retakan yang lebih lebar dan biasanya bersamaan

dengan terjadi defleksi pada beton dan hilangnya lekatan antara beton dengan baja tulangan yang mengakibatkan keruntuhan total pada beton tersebut. Dimana salah satu hal yang menyebabkan tulangan dan beton dapat bekerja sama adalah faktor lekatan (adhesi) antara beton dan permukaan tulangan. Apabila kuat lekat tidak mencukupi, maka bidang singgung akan tergelincir (slip) di dalam beton yang menyebabkan keruntuhan total tidak dapat dihindari lagi.

Untuk meningkatkan kemampuan kuat lekat beton bertulang dalam menahan beban tarik dan mengurangi defleksi pada beton pada umumnya ujung tulangan diberi bengkokan pada tulangan. Dengan penambahan bengkokan diduga akan meningkatkan kemampuan beton dalam menahan tegangan tarik dan menghambat pergeseran (slip) yang terjadi pada tulangan.

METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, sesuai dengan data-data studi pustaka baik standar SNI maupun standar asing yaitu ASTM C33 Untuk menentukan spesifikasi agregat yang digunakan dan ACI 408R-03 untuk pengujian benda uji *beam anchorage* untuk penelitian kuat Lekat. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk pengujian kuat tekan, dan berbentuk balok 150 mm, tinggi 200 mm dan panjang 620 mm untuk pengujian kuat lekat. Penjangkaran digunakan tulangan diameter 10 mm, kedalaman penjangkaran 100 mm dengan variasi panjang bengkokan ujung tulangan penjangkaran adalah 0, 20, 40, 60, dan 80 mm dengan sudut bengkokan 135°.

Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik baja, kuat tekan beton dan kuat lekatan, dimana pengujian kuat tarik baja dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan leleh dan kuat tarik baja. Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang digunakan. Pengujian kuat lekat dilakukan dengan cara menempatkan benda uji balok pada *loading frame* yang kemudian balok yang diuji dibebankan sampai tercapai beban maksimum hingga mengalami retak atau hancur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pemeriksaan bahan di Laboratorium, bahan beton seperti pasir, batu pecah dan batu apung memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton.

Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja tulangan baja ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan baja pada saat mengalami kondisi leleh dan kondisi maksimum. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *UTM (Universal Testing Machine)*. Hasil pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja

No	Tulangan Baja	Diameter (mm)	A (mm ²)	P Leleh (N)	Tegangan Leleh (N/mm ²)	P Maksimum (N)	Tegangan Maksimum (N/mm ²)
1	Ulir	8.66	58.90	22770	462	31710	643
2	Ulir	8.77	60.41	23640	468	31820	629
3	Ulir	8.61	58.22	23170	476	32050	658
Rata-rata		8.68			468		644

Dari tabel tersebut menunjukkan baja tulangan mengalami tegangan leleh rata-rata sebesar 468 MPa dan 644 MPa untuk tegangan maksimum.

Pengujian Kuat Tekan

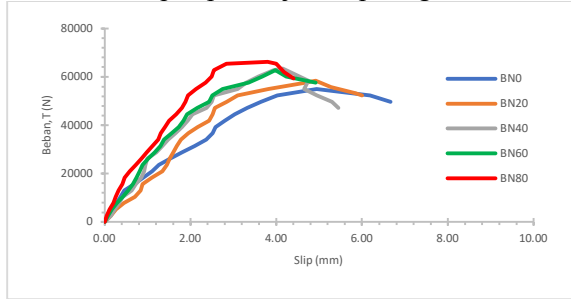
Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk memperoleh beban maksimum yang mampu didukung oleh silinder beton. Hasil pengujian kuat tekan diperoleh kuat tekan beton normal sebesar 26.79 MPa dengan kuat tekan yang disyaratkan sebesar 25 MPa. Dari data tersebut kuat tekan beton normal yang dihasilkan jauh lebih besar 1.79 MPa dari yang sudah disyaratkan, sedangkan pada beton mutu tinggi kuat diperoleh kuat tekan sebesar 45.84 MPa, lebih besar 0.84 MPa dari mutu beton yang disyaratkan sebesar 45 MPa. Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan kuat tekan hasil pengujian.

Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan *dial gauge*. Hasil yang tercatat pada pengujian ini dengan membaca penurunan yang terjadi pada benda uji sampai menyebabkan benda uji hancur atau runtuh. Nilai modulus elastisitas yang didapat pada penelitian ini sebesar 21920,95 MPa untuk beton normal dan 29381.38 MPa untuk beton mutu tinggi. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi mutu beton nilai modulus elastisitas yang dihasilkan semakin besar.

Pengujian Beban Maskimum terhadap Slip Maksimum Beton Normal

Pengaruh slip maksimum sebesar 2,5 mm terhadap perolehan beban maksimum pada beton normal dijelaskan pada grafik hubungan antara beban terhadap slip ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4. 1 Hasil Pengujian Beban Maksimum Terhadap Slip Pada Beton Normal

Hasil pengujian beban maksimum beton normal terhadap slip maksimum sebesar 2.5 mm pada semua variasi panjang tekukan.

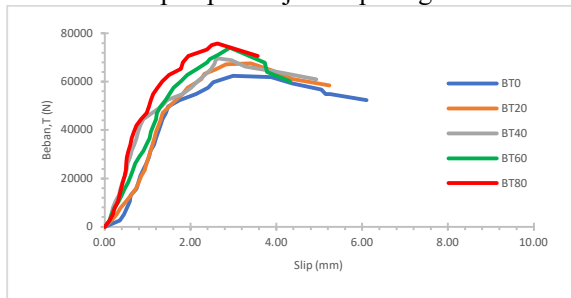
Tabel 4. 1 Hasil Beban Maksimum Terhadap Slip Pada Beton Normal

Tekukan Tulangan (mm)	T Maksimum (N) Pada Saat Slip 2.5 mm
0	35741.35
20	43587.01
40	49689.20
60	51432.68
80	60150.08

Dari hasil pengujian diperoleh beban maksimum yang semakin bertambah seiring bertambahnya panjang tekukan ujung tulangan, Sehingga tekukan ujung tulangan mampu meningkatkan kemampuan beton dalam menahan beban yang diterimanya.

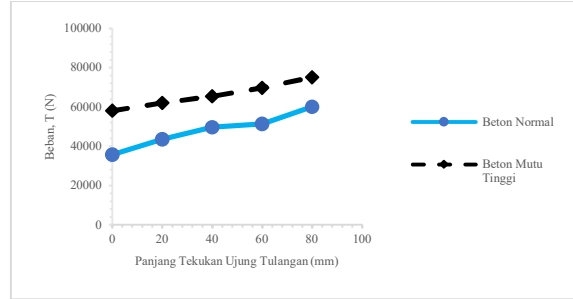
Beton Mutu Tinggi

Pengaruh slip maksimum sebesar 2,5 mm terhadap perolehan beban maksimum pada beton normal dijelaskan pada grafik hubungan antara beban terhadap slip ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Beban Tarik Terhadap Slip Pada Beton Mutu Tinggi Hubungan Beban Maksimum Pada Beton Normal dan Mutu Tinggi

Hubungan beban maskimum pada beton normal dan beton mutu tinggi dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4. 3 Hubungan Beban Maksimum dengan Panjang Tekukan

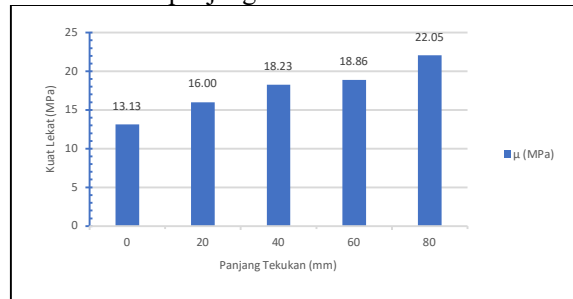
Tabel 4. 2 Selisih Nilai Beban Maks. Pada Beton Normal dan Beton Mutu Tinggi

Panjang Tekukan (mm)	Beban (N)		Selisih (N)
	Beton Normal	Beton Mutu Tinggi	
0	35741.35	58057.90	22316.55
20	43587.01	62067.91	18480.89
40	49689.20	65380.52	15691.33
60	51432.68	69739.22	18306.55
80	60150.08	75144.01	14993.93

Hasil T Maks (Beban tarik maksimum) pada beton mutu tinggi jauh lebih besar bila dibandingkan dengan beton normal. Dimana semakin meningkat mutu beton maka kemampuan beton dalam menahan beban juga semakin meningkat.

Kuat Lekat Beton Beton Normal

Hasil pengujian kuat lekat beton normal pada semua variasi panjang tekukan.



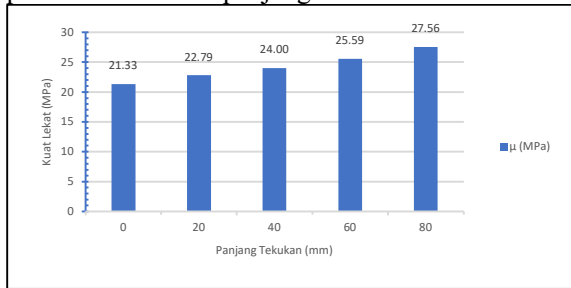
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Kuat Lekat Tulangan Ulir Pada Beton Normal

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat lekat yang dihasilkan paling maksimum terjadi pada tekukan 80 mm sebesar 22.05 MPa, dan nilai

kuat lekat yang dihasilkan paling minimum terjadi pada saat baja tanpa tekukan sebesar 13.13 MPa. Pada Panjang tekukan baja ulir 10 mm dari tekukan 0 cm sampai 80 mm terjadi peningkatan, hal ini dikarenakan perpanjangan kedalaman tulangan yang diakibat dengan bertambahnya tekukan ujung tulangan yang tertanam.

Beton Mutu Tinggi

Hasil pengujian kuat lekat beton mutu tinggi pada semua variasi panjang tekukan.



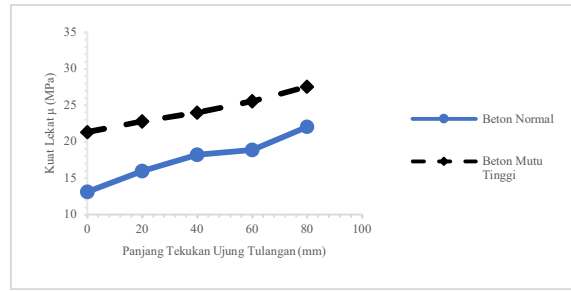
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Kuat Lekat Tulangan Ulir Pada Beton Mutu Tinggi

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat lekat yang dihasilkan paling maksimum terjadi pada tekukan 80 mm sebesar 27.56 MPa, dan nilai kuat lekat yang dihasilkan paling minimum terjadi pada saat baja tanpa tekukan sebesar 21.33 MPa. Pada Panjang tekukan baja ulir 10 mm dari tekukan 0 cm sampai 80 mm terjadi peningkatan, hal ini dikarenakan perpanjangan kedalaman tulangan yang diakibat dengan bertambahnya tekukan ujung tulangan yang tertanam.

Hubungan Kuat Lekat dengan Panjang Tekukan Ujung Tulangan Baja

Panjang penyaluran merupakan panjang yang dibutuhkan untuk mengembangkan hubungan tegangan baja sehingga mencapai tegangan luluh, merupakan fungsi dari tegangan leleh, diameter dan tegangan lekat baja tulangan dari ikatan dengan beton. Panjang penyaluran menentukan tahahan terhadap tergelincirnya tulangan ulangan baja dari ikatan dengan beton.

Hubungan kuat lekat dengan variasi panjang tekukan ujung tulangan baja pada beton normal dan beton mutu tinggi dapat dilihat pada Gambar 4.9.

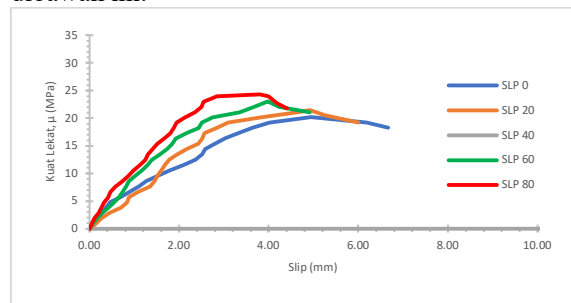


Gambar 4. 6 Hubungan Kuat Lekat dengan Panjang Tekukan Ujung Tulangan Baja

Dari hubungan kuat lekat hasil eksperimen beton normal dengan beton mutu tinggi diperoleh bahwa semakin bertambah panjang tekukan ujung tulangan maka kuat lekat yang dihasilkan akan semakin bertambah. Hal ini karena selain bertambahnya daerah lekatan antara beton dan baja tulangan, tulangan juga dikondisikan menjangkar beton. Dimana pada saat keruntuhan terjadi, tulangan dekat ujung yang tertekuk akan menahan beton sehingga kekuatan lekat semakin meningkat. Nilai kuat lekat pada beton mutu tinggi ini jauh lebih besar bila dibandingkan dengan beton normal, nilai persentase kenaikan kuat lekat rata-rata 27.7% bila dibandingkan dengan beton normal.

Hubungan Kuat Lekat dengan Slip Beton Normal

Hubungan nilai kuat lekat beton normal terhadap slip dengan menggunakan kuat tekan sebesar 26.79 Mpa dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini.



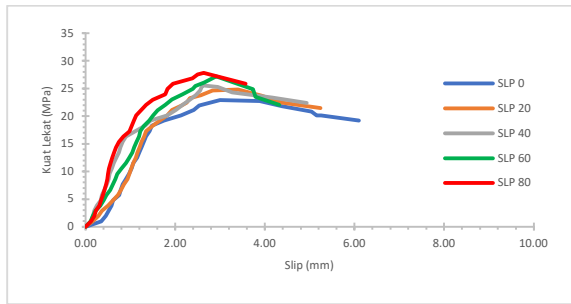
Gambar 4. 7 Hubungan Kuat Lekat dengan Slip Pada Beton Normal

Nilai slip pada beton normal dengan meninjau hasil analisa tulangan ulir diameter 10 mm pada tekukan ujung tulangan 0 mm, 20 mm, 40 mm, 60 mm dan 80 mm, masing-masing dengan slip maksimum 2,5 mm. Dimana semakin panjang tekukan ujung tulangan diperoleh nilai slip yang semakin berkurang. Semakin bertambahnya tekukan ujung tulangan dapat menghambat

perpanjangan nilai slip yang besar pada beton bertulang.

Beton Mutu Tinggi

Hubungan nilai kuat lekat beton normal terhadap slip dengan menggunakan kuat tekan sebesar 45.84 Mpa dapat dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini.

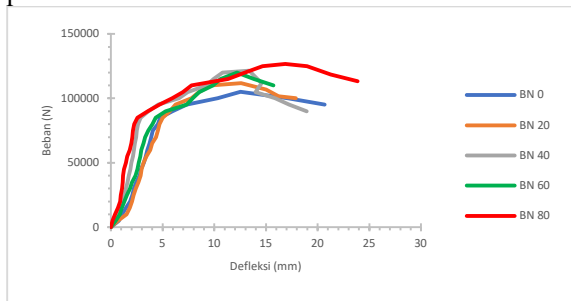


Gambar 4. 8 Hubungan Kuat Lekat dengan Slip Pada Beton Mutu Tinggi

Nilai slip pada beton mutu tinggi pada hasil analisa tulangan ulir diameter 10 mm mendapatkan tekukan ujung tulangan 0 mm, 20 mm, 40 mm, 60 mm dan 80 mm, diperoleh masing-masing nilai slip pada saat beban maksimum sebesar 2,5 mm. Dimana semakin panjang tekukan ujung tulangan diperoleh nilai slip yang semakin berkurang dan menghambat perpanjangan nilai slip pada beton bertulang.

Defleksi Akibat Pengaruh Panjang Tekukan Beton Normal

Hasil pengujian defleksi balok terhadap beban tarik pada beton normal Grafik hubungan antara beban dan defleksi pada beton normal dapat dilihat pada Gambar 4.12.



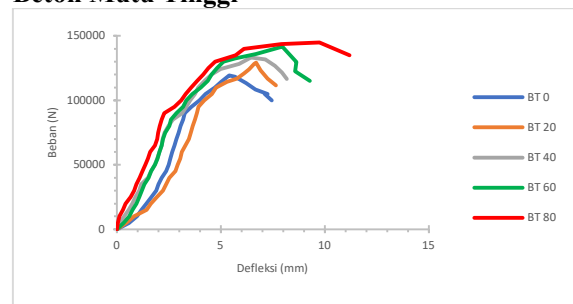
Gambar 4. 9. Hubungan Beban dengan Defleksi

Panjang Tekukan Tulangan (mm)	Kuat Tekan		$\frac{f_y \cdot \Psi_e \cdot \Psi_c \cdot \Psi_r}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}}$ d_b	Koefisien <i>ld</i>		Rasio
	<i>f</i> ' _c	\sqrt{f}		SNI	Eksperimen	
0	26.79	5.18	628	0.240	0.159	0.66
20				0.240	0.191	0.80
40				0.240	0.223	0.93
60				0.240	0.255	1.06
80				0.240	0.287	1.19

Beton Normal

Berdasarkan Gambar 4.12. hubungan beban dengan defleksi pada beton normal. Dimana kemampuan balok pada variasi panjang tekukan ujung tulangan memiliki kemampuan menahan beban yang berbeda. Beban dan defleksi paling maksimum terjadi pada tekukan ujung tulangan 80 mm. Hal ini disebabkan karena pada beban maksimum terjadi tegangan maksimum diikuti dengan nilai regangan yang tinggi. Akan tetapi pada tekukan ujung tulangan 60 mm terjadi defleksi paling rendah akibat tegangan sudah mencapai maksimum akan tetapi beton sudah terbelah dan terjadinya defleksi yang kecil. Secara umum pada beton normal hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi panjang tekukan memiliki kemampuan berdefleksi yang berbeda.

Beton Mutu Tinggi



Berdasarkan Gambar 4.13 hubungan antara beban tarik maksimum dengan defleksi balok pada beton mutu tinggi dengan masing-masing variasi tekukan ujung tulangan dengan kenaikan defleksi yang semakin tinggi seiring bertambahnya tekukan pada besi baja. Pada masing-masing tekukan yang terjadi, beban tarik yang dihasilkan sudah optimal dengan terjadinya keretakan pada pusat pembebanan balok beton dan distribusi tegangannya terakumulasi merata. Akan tetapi

Panjang Tekukan Tulangan (mm)	Kuat Tekan		$\frac{f_y \cdot \psi_e \cdot \psi_c \cdot \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \cdot d_b$	Koefisien l_d		Rasio
	f_c	$\sqrt{f'_c}$		SNI	Eksperimen	
0	45.84	6.77	480	0.240	0.208	0.87
20				0.240	0.250	1.04
40				0.240	0.292	1.22
60				0.240	0.333	1.39
80				0.240	0.375	1.56

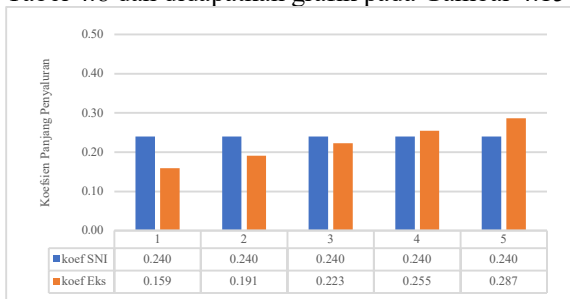
panjang defleksi yang terjadi pada beton mutu tinggi jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan beton normal. Hal ini terjadi karena semakin besar mutu beton maka perpanjangan dari material beton tersebut akan semakin sulit.

Koefisien Panjang Penyaluran Beton Normal

Hasil perhitungan nilai koefisien penyaluran dengan tekukan pada beton normal dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.3 Nilai Koefisien Panjang Penyaluran dengan Tekukan Pada Beton Normal

Dari hasil perhitungan nilai koefisien panjang penyaluran pada beton normal dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan didapatkan grafik pada Gambar 4.15



Gambar 4.10 Hubungan Tekukan Ujung Tulangan dengan Koefisien Panjang Penyaluran dengan Tekukan pada Beton Normal

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 bahwa nilai koefisien panjang penyaluran dengan tekukan ujung tulangan dari persamaan (2-14) lebih besar dari nilai koefisien panjang penyaluran dengan tekukan ujung tulangan dari hasil eksperimen dengan nilai panjang tekukan 0 mm dan 20 mm, 40 mm dimana perhitungan eksperimen tidak berlaku untuk nilai koefisien SNI karena kurang dari 0.24. Mulai dari panjang tekukan 60 mm dan 80 mm hasil eksperimen memenuhi dan melampaui nilai

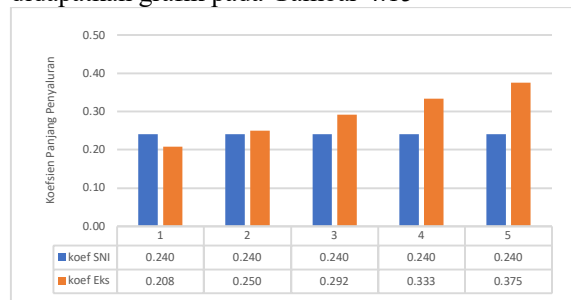
koefisien SNI. Sehingga pada ketentuan SNI 2847 2019 dengan ketentuan tekukan ujung tulangan minimal 60 mm, SNI sudah memberikan angka keamanan sekitar 1,5 pada beton normal. Dimana dari hasil eksperimen diperoleh tekukan minimum dengan panjang 60 mm pada beton normal.

Beton Mutu Tinggi

Hasil perhitungan nilai koefisien penyaluran dengan tekukan pada beton mutu tinggi dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.4 Nilai Koefisien Panjang Penyaluran dengan Tekukan Pada Beton Mutu Tinggi

Dari hasil perhitungan nilai koefisien panjang penyaluran pada beton mutu tinggi dapat didapatkan grafik pada Gambar 4.15



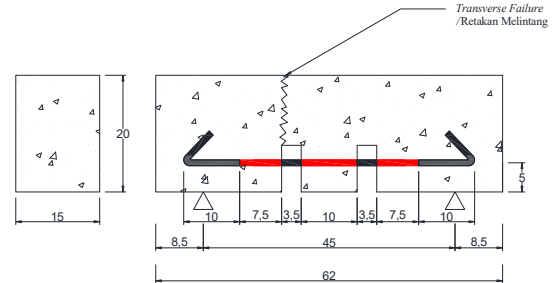
Hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.15 bahwa nilai koefisien panjang penyaluran dengan tekukan dari persamaan (2-14) lebih besar dari nilai koefisien panjang penyaluran dengan tekukan ujung tulangan pada hasil eksperimen dengan nilai tekukan 0 mm (tanpa tekukan) dimana perhitungan eksperimen tidak berlaku untuk nilai koefisien SNI karena kurang dari 0.24. Mulai dari panjang tekukan 20 mm, 40 mm, 60 mm dan 80 mm hasil eksperimen memenuhi dan melampaui nilai koefisien SNI, Sehingga pada ketentuan SNI 2847 2019 dengan ketentuan tekukan ujung tulangan minimal 60 mm, SNI sudah memberikan angka keamanan sekitar 3 pada beton mutu tinggi. Dimana dari hasil eksperimen diperoleh tekukan minimum cukup dengan panjang 20 mm saja pada mutu beton mutu tinggi.

Hasil Pengujian Pola Retak

Pada pengujian metode pengujian kuat lentur dengan menggunakan balok beton, dan menggunakan 3 dial gauge. Penggunaan alat dial gauge untuk mengukur panjang slip yang diletakan disisi plat baja yang terhubung pada tulangan dan panjang dari lentur yang diletakan di tengah bentang balok. Hasil pengujian ini diperoleh beban saat retak pertama dan beban pada saat maksimum, lendutan

pada saat retakan pertama dan lendutan pada saat beban maksimum, lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini.

failure) akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton sehingga terjadi keruntuhan yang menyebabkan tegangan lekat pada beton menjadi menurun.



Gambar 4. 11 Retak Umum pada Spesimen Balok Beton

Tabel 4. 5 Hasil Uji Pola Retak Pada Normal dan Beton Mutu Tinggi

Jenis Beton	Kode Benda Uji	Panjang Tekukan	Beban Saat Retak Pertama N	P Maks Kg	Pola retak
Beton Normal	BN-1	0 mm	55000	65000	Transverse Failure
	BN-2	0 mm	50000	70000	Transverse Failure
	BN-3	0 mm	55000	70000	Transverse Failure
	BN-1	20 mm	65000	85000	Transverse Failure
	BN-2	20 mm	64000	80000	Transverse Failure
	BN-3	20 mm	65000	85000	Transverse Failure
	BN-1	40 mm	73000	95000	Transverse Failure
	BN-2	40 mm	75000	95000	Transverse Failure
	BN-3	40 mm	74000	95000	Transverse Failure
	BN-1	60 mm	78000	100000	Transverse Failure
	BN-2	60 mm	77000	100000	Transverse Failure
	BN-3	60 mm	80000	95000	Transverse Failure
	BN-1	80 mm	85000	115000	Transverse Failure
	BN-2	80 mm	80000	115000	Transverse Failure
	BN-3	80 mm	85000	115000	Transverse Failure
Beton Mutu Tinggi	BT-1	0 mm	70000	100000	Transverse Failure
	BT-2	0 mm	66000	100000	Transverse Failure
	BT-3	0 mm	68000	113000	Transverse Failure
	BT-1	20 mm	75000	116000	Transverse Failure
	BT-2	20 mm	75000	120000	Transverse Failure
	BT-3	20 mm	80000	120000	Transverse Failure
	BT-1	40 mm	80000	125000	Transverse Failure
	BT-2	40 mm	80000	125000	Transverse Failure
	BT-3	40 mm	85000	133000	Transverse Failure
	BT-1	60 mm	78000	135000	Transverse Failure
	BT-2	60 mm	70000	132000	Transverse Failure
	BT-3	60 mm	75000	145000	Transverse Failure
	BT-1	80 mm	85000	145000	Transverse Failure
	BT-2	80 mm	90000	144000	Transverse Failure
	BT-3	80 mm	85000	142000	Transverse Failure

Pada tabel diatas rata-rata pola retak yang terjadi merupakan retak yang terjadi secara melintang (*transverse failure*) yang menyebabkan balok beton mengalami lendut dan terjadi penurunan tegangan lekat sehingga balok beton mengalami keruntuhan total.

Ragam Keruntuhan

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa pola keruntuhan yang terjadi pada beton berupa keretakan yang terjadi secara melintang (*transverse*

Pada balok beton dengan tulangan tunggal serta variasi tekukan pada ujung tulangnya terjadi tipe keruntuhan tarik pada semua variasi tekukan ujung tulangan yang berjumlah 30 buah benda uji. Dimana pada waktu pengujian terjadi keruntuhan lentur yang bersifat daktail, yaitu terjadinya lendutan yang cukup besar dan terlebih dahulu menunjukkan gejala keretakan pada balok beton tersebut.

Pada perencanaan pengujian kuat lekat beton dengan variasi ujung tulangan, keruntuhan yang diharapkan adalah keruntuhan tarik. Hal ini disebabkan karena tanda- tanda keruntuhan terlihat dengan terjadinya lendutan, secara perlahan dan timbulnya retak pada beton di dekat pembebanan spesimen.

Tabel 4. 6 Pola Keruntuhan Pada Balok Hasil Ekperimen

Jenis Beton	Panjang Tekukan mm	P Maks Kg	Pola retak	Lendutan Saat Beban Maksimum mm	Keterangan Baja	Pola Keruntuhan	
Beton Normal	0	65000	Transverse Failure	20.50	Tidak Putus	Bonding Failure	
	0	70000	Transverse Failure	20.25	Tidak Putus	Bonding Failure	
	0	70000	Transverse Failure	21.25	Tidak Putus	Bonding Failure	
	20	85000	Transverse Failure	17.90	Tidak Putus	Bonding Failure	
	20	80000	Transverse Failure	16.90	Tidak Putus	Bonding Failure	
	20	85000	Transverse Failure	17.25	Tidak Putus	Bonding Failure	
	40	95000	Transverse Failure	18.45	Tidak Putus	Bonding Failure	
	40	95000	Transverse Failure	18.95	Tidak Putus	Bonding Failure	
	40	95000	Transverse Failure	19.10	Tidak Putus	Bonding Failure	
	60	10000	Transverse Failure	16.25	Tidak Putus	Bonding Failure	
	60	10000	Transverse Failure	15.75	Tidak Putus	Bonding Failure	
	60	95000	Transverse Failure	15.15	Tidak Putus	Bonding Failure	
	80	11500	Transverse Failure	24.90	Tidak Putus	Bonding Failure	
	80	11500	Transverse Failure	23.90	Tidak Putus	Bonding Failure	
	80	11500	Transverse Failure	22.80	Tidak Putus	Bonding Failure	
	Beton Mutu Tinggi	0	10000	Transverse Failure	7.50	Tidak Putus	Bonding Failure
		0	10000	Transverse Failure	7.75	Tidak Putus	Bonding Failure

0	11300 0	Transverse Failure	7.45	Tidak Putus	Bonding Failure
20	11600 0	Transverse Failure	7.75	Tidak Putus	Bonding Failure
20	12000 0	Transverse Failure	7.50	Tidak Putus	Bonding Failure
20	12000 0	Transverse Failure	7.68	Tidak Putus	Bonding Failure
40	12500 0	Transverse Failure	7.90	Tidak Putus	Bonding Failure
40	12500 0	Transverse Failure	8.35	Tidak Putus	Bonding Failure
40	13300 0	Transverse Failure	8.25	Tidak Putus	Bonding Failure
60	13500 0	Transverse Failure	9.95	Tidak Putus	Bonding Failure
60	13200 0	Transverse Failure	9.40	Tidak Putus	Bonding Failure
60	14500 0	Transverse Failure	9.15	Tidak Putus	Bonding Failure
80	14500 0	Transverse Failure	11.35	Tidak Putus	Bonding Failure
80	14400 0	Transverse Failure	11.05	Tidak Putus	Bonding Failure
80	14200 0	Transverse Failure	11.15	Tidak Putus	Bonding Failure

Pada hasil tabel di atas diperoleh pola keruntuhan yang terjadi pada beton normal dan beton mutu tinggi adalah *Bonding Failure* karena tulangan gagal dalam menahan tegangan tarik (beban tekan) dan terjadi retakan yang menyebar ke permukaan beton, dimana terjadi pergeseran tulangan (terjadi slip) akibat dari kemampuan pergeseran lekatan beton dan tulangan yang rendah yang diakibatkan oleh *Transverse Failure* atau retak akibat gaya tarik yang terjadi pada arah melintang akibat balok beton tidak mampu untuk menahan tegangan yang diberikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

- Hubungan kuat tekan terhadap kuat lekat pada berbagai macam variasi tekukan ujung tulangan diperoleh;
 - Pada beton normal dengan diameter tulangan ulir diameter 10 mm didapatkan nilai kuat lekat pada panjang tekukan 0 mm, 20 mm, 40 mm, 60 mm dan 80 mm masing-masing diperoleh nilai 13.13 MPa, 16.00 MPa, 18.23, MPa, 18.86 MPa dan 22.05 MPa.
 - Pada beton mutu tinggi nilai kuat lekat pada panjang tekukan tekukan 0 mm, 20 mm, 40 mm, 60 mm dan 80 mm masing-masing 21.33 MPa, 22.79 MPa, 24.00 MPa, 25.59 MPa dan 27.56 MPa.
 - Pada nilai kuat lekat beton mutu tinggi jauh lebih besar bila dibandingkan dengan beton normal, dengan nilai prosentase kenaikan kuat lekat rata-rata 27.7%.
- Pengaruh panjang tekukan ujung tulangan baja ulir diameter 10 mm pada beton normal dan beton mutu tinggi adalah semakin panjang tekukan ujung tulangan maka nilai kuat lekat semakin bertambah hal ini karena selain bertambahnya daerah lekatan antara beton dan baja tulangan, tulangan juga

dikondisikan menjangkar beton. Dimana pada saat keruntuhan terjadi, tulangan dekat ujung yang tertekuk akan menahan akan beton sehingga kekuatan lekat semakin meningkat.

- Pengaruh panjang tekukan ujung tulangan baja ulir diameter 10 mm terhadap slip didapatkan bahwa dengan bertambahnya panjang tekukan dan meningkatnya mutu beton dapat menghambat slip yang terjadi.
- Ragam keruntuhan yang terjadi pada benda uji yaitu bonding failure dimana tulangan gagal dalam menahan tegangan tarik (beban tekan) dan terjadi retakan yang menyebar ke permukaan beton.
- Berdasarkan minimal panjang tekukan ujung tulangan besi ulir 10 mm pada beton normal safety factor sebesar 1,06 dan beton mutu tinggi didapatkan safety factor sebesar 1,39 . Hal ini menunjukkan bahwa penerapan minimum tekukan berdasarkan SNI 2847 2019 dihasilkan struktur yang sudah aman untuk beton normal dan beton mutu tinggi

Saran

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

- Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan tulangan pokok dan tulangan sengkang dengan berbagai macam variasi.
- Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan plat strip yang lebih lebar.
- Penelitian lebih lanjut perlu menambah variasi mutu beton menggunakan sudut kait 180° dan variasi tekukan ujung tulangan tertanam pada balok beton.
- Penelitian lebih lanjut menggunakan panjang balok yang lebih besar sehingga menghasilkan data yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 408R-03. (2003) *Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension*, American Concrete Institute.
- American Society for Testing and Materials C33, (1982) *Standards Specification For Agregates, Concrete and Aggregate*, Philadelphia, ASTM.
- Agus,I., (2004) *Satistik Konsep Dasar Aplikasi dan Pengembangannya*. Kencana, Jakarta
- Karya,W. (2005) *Pedoman Pekerjaan Beton*. Jakarta : Biro Enjiniring

- Bassam, A.T, Abu, B.B.H., Megat J.M.A., and Yen, Y.L.V., (2013) 'Evaluation of Bond Strength between Normal Concrete Substrate and Ultra High Performance Fiber Concrete as A Repair Material', *Prosedia Engineering*, Vol. 54, pp. 554- 563.
- Brian, T., Hieryco, M., dan Winny, J.T., (2016) *Pemeriksaan Tegangan Lekat Antara Baja dan Beton Dengan Kuat Tekan Beton 40 Mpa. Jurnal*, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Duff, A.A. (2007) *Tests of Bond Between Concrete and Steel* Bulletin No. 71, University of Illinois Engineering Experiment Station.
- Eligehausen, R., Popov, E.P., Bertero, V.V., (1983), *Local Bond Stress-Slip Relationships Of Deformed Bars Under Generalized Excitations*, California.
- Dipohusodo, I. (1994) *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia.
- Hariyadi., Munemoto, S., and Sonada, Y., (2016) 'Experimental Analysis of Anchor Bolt in Concrete Under the Pull-Out Loading', *Prosedia Engineering*, Vol. 171, pp. 926-933.
- Lukito, I.C. (2011) *Studi Perilaku Kuat Geser Pada Beton dengan Menggunakan Serat Kawat Bendorat*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Jack, C. (2004) *Desain Beton Bertulang-Edisi Kelima-Jilid 1*, Jakarta: Erlangga.
- Metode Pengujian Kuat Tekan Beton, (1990) *SNI 03-1974-1990*, Badan Standarisasi Nasional.
- Mulyono, T. (2005) *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Andi Offset.
- Nawy, E.G., (1998) *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Alih Bahasa oleh Bambang Suryatmojo, Refika Aditama, Bandung.
- Nuryani, T.A., (2005) *Pengaruh Rasio Tulangan Pada Berbagai Mutu Beton Terhadap Penguatan Tarik Baja Tulangan Beton Bertulang (Tension Stiffening Effect)*. Tesis, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Park, R. and Pauly, T., (1975) *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley and Sons. Inc, New York.
- Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, (2013), *SNI 03-2827-2013*, Badan Standarisasi Nasional.
- Pul, S., (2010) 'Loss of concrete steel bond strength under monotonic and cyclic loading of light weight and ordinary concrete', *Iranian Journal of Science and Technology*, Vol 34, pp 397-406.
- Qingduo, H., Yanlie, W., and Jinping, O., (2008) 'Bond strength of glass fiber reinforced polymer ribbed rebars in normal strength concrete', *Prosedia Engineering*, Vol. 23, pp. 865-871.
- Rhandy, R.M., Ronny, P dan Reky, W., (2016) 'Pemeriksaan Tegangan Lekat Beton Dengan Variasi Mutu Beton', *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 4, No. 4, pp. 279-285.
- Riani, E., (2018), *Pengaruh Variasi Kedalaman Penjangkaran terhadap Kuat Lekat (Bond Strength) Tulangan Baja Ulir pada Beton Normal, Beton Ringan, dan Beton Mutu Tinggi*, Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Rooseno, (1965) *Beton Bertulang*, Jakarta: P.T. Pembangunan Djakarta.
- Rusyadi, S., (2014) *Pengaruh Mutu Beton terhadap Kuat Lekat antara Beton dan Baja Tulangan*. Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- Sofianto, (2014) *Pengaruh Diameter Baja Tulangan Ulir terhadap Kuat Lekat antara Beton dan Baja Tulangan*. Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Sunarmasto, (2007) *Tegangan Lekat Baja Tulangan Polos dan Ulir pada Beton*, Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Tjokrodinuljo, K., (1996) *Teknologi Beton*, Yogyakarta : NAFIRI.
- Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (2012) *SNI 7656-2012*, Departemen Pekerjaan Umum Melalui Yayasan LPMB, Bandung.
- Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan (2002) *SNI 03-3449-2002*, Badan Standarisasi Nasional.
- Tata Cara Perancangan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang (2000) *SNI 03-6468-2000*, Badan Standarisasi Nasional.
- Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal Beton Berat dan Beton Massa, (2012) *SNI 7656-2012*, Badan Standarisasi Nasional.
- Tata Cara Perhitungan Struktural Untuk Bangunan Gedung, (2002) *SNI 03-2847-2002*, Badan Standarisasi Nasional.
- Tata Cara Perhitungan Struktural Untuk Bangunan Gedung, (2019) *SNI 03-2847-2019*, Badan Standarisasi Nasional.

- Tentang Metode Uji Kuat Tarik Belah Spesimen Beton Silinder, (2014) *SNI 2491 – 2014*, Badan Standarisasi Nasional.
- Tentang Metode Pengujian Untuk Membandingkan Berbagai Beton Berdasarkan Kuat Lekat Yang Timbul Terhadap Tulangan, (1998) *SNI 03-4809-1998*, Badan Standarisasi Nasional.
- Turk, K., Yildirim, M.S., Calsikan S.R.K.D., Moray D.N., and Kevin A.P., (2003) *Effect of Reinforcement Size on the concrete (Reinforcement Bond Strength)*, Conferece Paper.
- Vis. W.C and Kusuma Gideon., (1993), *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Jakarta: Erlangga.
- Wang, C.K & Salmon, C.G., (1986) *Desain Beton Bertulang, Edisi Keempat* Alih Bahasa oleh Binsar Hariandja , Jakarta: Erlangga
- Wahyudin, A., (2014) *Pengaruh Panjang Penyaluran Baja Tulangan Ulir (Deformed) Dengan Bengkokan Terhadap Kuat Lekat Antara Beton Dan Baja Tulangan*, Skripsi S1, Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- Wahyudi, L. dan Syahril, A. Rahim., (1997) *Struktur Beton Bertulang*, Jakarta: Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Rancangan Standar Nasional Indonesia 2002.
- Winter, G dan Nilson A.H., (1993) *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Jakarta: Pradnya Paramita.