

STUDI NUMERIK DAN KAJIAN EKSPERIMENTAL PERILAKU BESI BETON SEBAGAI ANGKUR PENGHUBUNG GESER AKIBAT GESER MURNI PADA BETON MUTU TINGGI

Rhini Wulan Dary¹, Ir. Sanci Barus, MT², Prof. Dr. Ing. Johannes Sarigun²

¹Alumni Program Magister Teknik Sipil USU, Jl.Perpustakaan Kampus USU, Medan.

²Staf Pengajar Program Magister dan Departemen Teknik Sipil USU, Jl.Perpustakaan Kampus USU, Medan.



Abstrak

Akibat penambahan struktur yang terjadi pada perubahan gedung, maka balok dan kolom sebagai struktur utama dianggap tidak mampu lagi untuk menerima penambahan beban, perlu adanya penambahan struktur baja dengan melekatkannya menggunakan besi beton sebagai penghubung geser. Istilah ini sering disebutkan sebagai retrofitting. Dengan adanya retrofitting ini, diharapkan dapat meningkatkan kekakuan/ kekuatan struktur, meningkatkan daktilitas, dan meningkatkan energi disipasi daripada struktur bangunan. Pada penelitian ini klasifikasi besi beton yang digunakan adalah tipe post installed yaitu bonded anchor dan mutu beton tinggi (K-300). Metode pengujian dengan carapush-out-test. Untuk membandingkan hasil laboratorium digunakan analisa numerik.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini antara lain keruntuhan yang pertama sekali terjadi pada besi beton dengan beban tertentu dan hanya sedikit keretakan beton yang terjadi disebabkan faktor mutu beton yang tinggi, besi beton yang pertama sekali putus adalah besi beton yang paling atas, kemudian menyusul besi beton yang di tengah dan kemudian besi beton paling bawah, semakin besar jarak antara besi beton maka deformasinya juga makin kecil, dan makin meningkatnya beban yang dapat dipikul oleh konstruksi tersebut, besarnya perbedaan deformasi antara besi beton paling atas, tengah dan paling bawah tidak terlalu signifikan. Perbedaan persentase analisa numerik, dari besi beton paling atas ke besi beton di bawahnya, pada benda uji 1 sebesar 3.26% dan 3.50%, pada benda uji 2 sebesar 3.36% dan 4.30%, pada benda uji 3 sebesar 6.11% dan 7.99%. Sedangkan persentase uji laboratorium, dari besi beton paling atas ke besi beton di bawahnya, pada benda uji 1 besi beton paling atas putus pada saat beban yang diberikan 20 ton kemudian persentase perbedaan dengan besi beton di bawahnya sebesar 6.47%, pada benda uji 2 sebesar 7.62% dan 16.03%, pada benda uji 3 sebesar 2.22% dan 13.67%.

Kata kunci: retrofitting, besi beton, push-out-test, program numerik, geser

I Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Semakin menjamurnya pembangunan gedung-gedung di Indonesia, maka tidak sedikit personil/instansi yang menginginkan adanya pembangunan gedung yang berfungsi menjadi sumber pendapatan bagi mereka. Namun, terkadang personil/ instansi ini menginginkan adanya perubahan untuk gedung yang sudah dibangun baik dari segi penambahan struktur maupun dari segi perubahan fungsi, dengan mengingat bahwa biaya membangun baru lebih besar daripada merenovasi. Dalam hal ini, perencanaan awal yang dianalisa tidaklah sama dengan analisa kondisi perubahan bangunan yang diinginkan. Untuk itu, perlu adanya analisa kembali terhadap bangunan *existing*, apakah masih mampu menerima beban tambahan sebagai akibat penambahan struktur dan perubahan fungsi ataukah tidak.

Akibat penambahan struktur yang terjadi pada perubahan gedung tersebut, maka balok dan kolom sebagai struktur utama dianggap tidak mampu lagi untuk menerima penambahan beban, perlu adanya perbesaran dimensi pakai beton yakni pemasangan kolom baru sehingga bentang struktur balok menjadi lebih kecil, atau dengan menambahkan material lain (pemakaian wrap/fiber, penambahan struktur baja, pemasangan *external prestress*, dan lain sebagainya) untuk menjadikan bangunan tersebut menjadi lebih kuat dari kekuatan semula. Istilah ini sering disebutkan sebagai *retrofitting*.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini dilakukan antara lain:

1. Mengetahui perilaku besi beton terhadap variasi jarak antar baut angkur sebagai penghubung geser.

2. Mengamati mekanisme keruntuhan angkur yang terjadi ditinjau dengan menggunakan kajian eksperimental dan program numerik, dimana mutu betonnya tinggi.
3. Mengamati besarnya deformasi yang terjadi antara angkur terhadap variasi jarak susunan besi beton seperti yang dijelaskan pada poin (1) dan (2) di atas baik secara eksperimental maupun numerik.

1.3 Metodologi Pengujian laboratorium

Pengujian dilakukan dengan tes laboratorium, menggunakan pemodelan yaitu pengujian dengan *push out test*. Analisa program kemudian memperbandingkan hasil penelitian dengan menggunakan program numerik.

2 Landasan Teori

2.1 Umum

Retrofiting adalah kegiatan memperkuat atau memperbaiki struktur bangunan yang ada agar bisa dalam menghemat biaya perencanaan konstruksi bangunan. *Retrofiting* ini bertujuan untuk menghasilkan perkuatan bangunan yang lebih kuat lagi dari sebelumnya. Sebelum melakukan *retrofiting*, harus diperhatikan beberapa hal:

1. Melakukan peninjauan ke lapangan.
2. Melakukan pemeriksaan terhadap material dan mutu bahan yang digunakan.
3. Menganalisa sebab kerusakan bangunan.
4. Menganalisa kekuatan bangunan apakah masih mampu menahan beban atau tidak.
5. Setelah melakukan analisa, jika dianggap struktur bangunan masih mampu menahan beban maka *retrofiting* tidak perlu dilakukan. Dan sebaliknya, jika struktur bangunan dirasa tidak mampu menahan beban, maka perbaikan terhadap struktur yang rusak harus dilakukan, dapat berupa menambahkan material lain misalnya pemakaian wrap/fiber penambahan struktur baja, pemasangan *external prestress*, dan lain sebagainya.
6. Setelah *retrofiting* selesai dieksekusi di lapangan, bangunan tersebut harus dianalisa kembali untuk memastikan bahwa struktur benar-benar dalam kondisi aman.

2.2 Penghubung Geser

Penghubung geser secara mendasar berfungsi sebagai pentransferan gaya geser ke struktur dan juga berfungsi sebagai penghubung antara beton dan baja supaya tidak terjadinya pemisahan antara kedua material ini saat diberikan beban. Penghubung geser dapat berupa baut angkur ataupun besi beton. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan besi beton sebagai penghubung geser yang akan mengikat slab beton dengan struktur baja. Dengan adanya penghubung geser, maka beton dan baja dapat bekerja secara bersama-sama. Dimana seperti diketahui bahwa beton tahan terhadap tekan dan baja tahan terhadap tarik, sehingga paduan antara keduanya menghasilkan kekompakan struktur, yang didukung oleh kuatnya penghubung geser yang dipasangkan.

2.3 Klasifikasi Baut Angkur

Mekanisme beban transfer angkur menentukan karakteristik kinerja angkur. Angkur dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu *cast in place* dan *post installed*. Dalam penelitian ini, digunakan baut angkur *post installed* dengan tipe *bonded anchor* dimana beton yang sudah mengeras terlebih dahulu dilubangi dengan ukuran diameter lubang yang lebih besar daripada baut angkurnya. Sebelum baut angkur dimasukkan ke dalam lubang, diberikan cairan perekat *chemical anchor* guna memberi perekat antara baut dengan betonnya.

2.4 Tipe Keruntuhan Baut Angkur

Tipe keruntuhan baut angkur akibat beban yang dipikul baut antara lain:

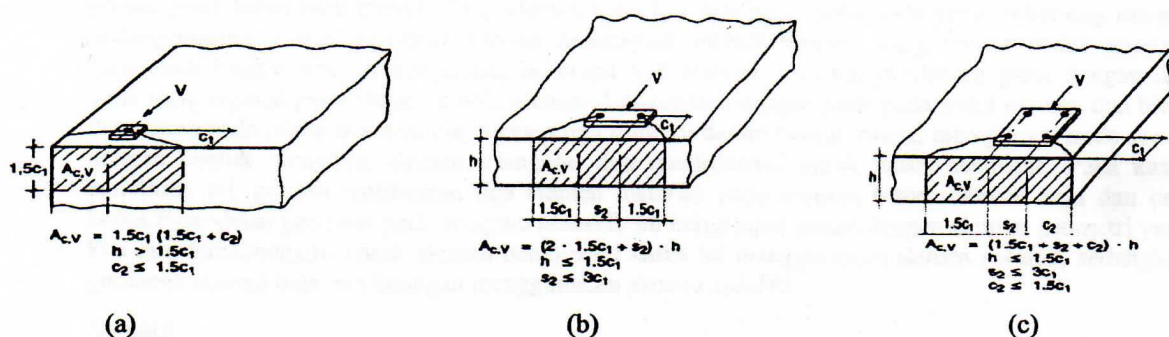
- Tipe keruntuhan pada beton akibat gaya tarik, dengan kekuatan baut yang lebih tinggi daripada betonnya, maka kegagalan akan terjadi pada beton. Beton akan hancur dan terangkat ke atas.
- Tipe keruntuhan pada baut akibat gaya tarik, dengan kekuatan beton yang lebih tinggi daripada bautnya, maka kegagalan akan terjadi pada baut. Dimana baut akan terputus sebagian atau terlepas dari beton keseluruhannya.

- Tipe keruntuhan pada beton akibat gayageser, dimana sambungan antara beton dan bautnya kuat sehingga beton di dalamnya yang pecah dan mengakibatkan keruntuhan pada beton.
- Tipe keruntuhan pada baut akibat gaya geser, beton dan baut mempunyai kekuatan yang sama sehingga karena baut bersifat daktail, baut akan terus berdeformasi hingga apabila beban geser diberikan terus-menerus maka lama kelamaan baut akan putus.

2.5 Ketentuan Spasi Baut Angkur

Dalam merencanakan sambungan, ada persyaratan jarak antara baut yang harus dipenuhi. Peraturan yang digunakan dalam hal ini menggunakan Peraturan *ETAG 001 Edition 1997; Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete; Annex C : Design Methods for Anchorages, 2010*.

Kelompok baut dengan rangkaian baut tunggal dengan posisi pada ujung beton maka ketentuan spasi baut angkur dengan pinggir beton. Di dalam penggunaannya, baut angkur dapat dipasang secara seri dan paralel. Di dalam peraturan *ETAG* juga disebutkan ketentuan spasi antara pinggir beton dengan baut, spasi antara baut ke baut dan tebalnya beton yang direncanakan. Hal ini dapat kita lihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a) Kelompok baut angkur tunggal (b) Kelompok baut angkur pada rangkaian seri (c) Kelompok baut angkur pada rangkaian paralel

2.6 Analisa Keruntuhan Baut Angkur

Keruntuhan yang terjadi pada baut angkur terdapat dua macam keruntuhan, keruntuhan yang diakibatkan oleh gaya tarik dan gaya geser. Keruntuhan akibat gaya tarik disebabkan gaya yang diberikan sejajar dengan baut angkur. Sedangkan keruntuhan akibat gaya geser disebabkan beban yang diberikan tegak lurus dengan sumbu baut angkur. Menurut Peraturan *ETAG 001 Edition 1997; Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete; Annex C : Design Methods for Anchorages, 2010*, kekuatan nominal dari baut angkur terhadap tarik diberikan pada Persamaan 2.1.

$$N_{Rk,s} = A_s f_{uk} \quad [N] \quad (2.1)$$

dimana:

$$N_{Rk,s} = \text{kekuatan baut angkur}$$

$$A_s = \text{luasan baut angkur}$$

$$f_{uk} = \text{tegangan tarik batas}$$

Daya dukung tarik yang dapat ditahan oleh baut angkur pada beton pada Persamaan 2.2.

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1.5} \quad (2.2)$$

dimana:

$$f_{ck,cube} [N/mm^2] = h_{ef} [mm]$$

$$k_1 = 7.2 \text{ pada aplikasi beton retak}$$

$$k_1 = 10.1 \text{ pada aplikasi beton tidak retak}$$

Kekuatan nominal dari baut angkur terhadap geser diberikan pada Persamaan 2.3.

$$V_{Rk,s} = 0.5 A_s f_{uk} \quad (2.3)$$

Daya dukung geser yang dapat ditahan oleh baut angkur pada beton pada Persamaan 2.4.

$$V_{RiL}^0 = k_1 d_{nom}^{\alpha} h_{ef}^{\beta} \sqrt{f_{ck,cube} c_1} \quad (2.4)$$

dimana:

- d_{nom} = diameter terluar baut angkur (mm)
- h_{ef} = kedalaman efektif baut angkur (mm)
- $f_{ck,cube}$ = kuat desak beton karakteristik kubus 150 × 150 mm (N/mm²)
- k_1 = 1.7 pada aplikasi beton retak
- k_1 = 2.4 pada aplikasi beton tidak retak

Finite Element

Finite element dibuat sebagai suatu pendekatan numerik untuk memperoleh hasil dari suatu geometri. Suatu geometri yang kompleks dibagi atas beberapa elemen-elemen sederhana sehingga memudahkan proses pendekatan numeriknya. Tiap elemen memiliki masing-masing node yang terhubung dengan masing-masing elemen. Semakin banyak pembagian elemen-elemen yang dibuat maka semakin mendekati tingkat keakuratannya. Ada beberapa tipe elemen diantaranya elemen garis dengan dua node yang dipakai pada elemen balok, elemen dua dimensi dengan node pada sudut elemen dan biasa digunakan pada *plane stress/strain*, elemen tiga dimensi dalam bentuk ruang, mempunyai node sesuai dengan bentuk ruangnya, elemen triangular dan quadrilateral untuk kasus asimetris. Pada kasus penelitian ini, penulis melibatkan tiga elemen material yaitu elemen beton, elemen baja dan besi beton. Pemodelan geometri pada program numerik ini harus tepat sesuai dengan elemen geometri yang kita gunakan. Geometri untuk elemen beton pada kasus ini menggunakan elemen *solid65*, sedangkan geometri elemen baja dan tulangan menggunakan elemen *solid45*.

Solid65

Solid65 digunakan pada geometri struktur tiga dimensi. Elemen *solid65* digunakan pada pemodelan struktur dengan menggunakan tulangan maupun tidak menggunakan tulangan. Elemen ini dapat menentukan keretakan pada beton baik yang diakibatkan oleh tarik maupun kehancuran akibat tekan. Elemen ini dapat digunakan pada pemodelan struktur beton dan komposit misalnya *fiberglass*, atau material geologi. Elemen ini terdiri dari delapan node dan mempunyai tiga derajat kebebasan pada setiap node nya yaitu arah x, y dan z.

Solid45

Elemen *solid45* ini juga digunakan pada geometri *solid* tiga dimensi. Elemen *solid45* juga mempunyai delapan node, dan setiap node nya mempunyai tiga derajat kebebasan arah x, y dan z. Elemen *solid45* biasanya digunakan untuk pemodelan struktur beton tanpa menggunakan tulangan. Elemen ini mempunyai plastisitas, susut dan rangkak, kekakuan struktur, defleksi yang besar, dan kemampuan regangan yang besar.

3 Metodologi Desain Benda Uji

Sebelum membuat benda uji, ada baiknya benda uji tersebut direncanakan baik dalam dimensi penampang maupun sambungannya.

- a. Jarak besi beton sebagai penghubung geser pada beton yang direncanakan diadopsi dari jarak baut angkur dari Peraturan *ETAG 001 Edition 1997; Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete; Annex C : Design Methods for Anchorages, 2010*.

Karena dalam pembuatan benda uji digunakan pemasangan besi beton dengan rangkaian paralel maka kita desain seperti pada Gambar 2.1. Tebal plat beton yang digunakan mempunyai tebal 200 mm, maka:

$$\begin{aligned} h \leq 1.5 c_1 &\rightarrow 200 \text{ mm} \leq 1.5 c_1 &\rightarrow c_1 \geq 133.33 \text{ mm} \\ s_2 \leq 3 c_1 &\rightarrow s_2 \leq 3 (133.33 \text{ mm}) &\rightarrow s_2 \leq 400 \text{ mm} \\ c_2 \leq 1.5 c_1 &\rightarrow c_2 \leq 1.5 (133.33 \text{ mm}) &\rightarrow c_2 \leq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pada pemasangan besi beton nantinya, akan digunakan *epoxy* sebagai bahan aditif, untuk merekatkan antara besi beton dengan balok betonnya. Adapun persyaratan-persyaratan sudah mengacu pada Peraturan *ETAG 001 Edition 1997; Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete; Annex C : Design Methods for Anchorages, 2010*.

b. Perencanaan tegangan pada setiap elemen benda uji.

Digunakan profil baja WF 200 × 200, web (t_1)=12 mm ; flange (t_2)=8 mm.

$$\text{Tegangan desak pada pelat: } \sigma_{plat} = \frac{P}{d \cdot t_2 \cdot n}$$

$$\text{Tegangan desak pada beton: } \sigma_{beton} = \frac{P}{d \cdot h_{ef} \cdot n}$$

$$\text{Tegangan geser pada baut: } \tau_{baut} = \frac{P}{\frac{1}{4} \pi d^2 \cdot n}$$

Keterangan:

P	=	beban (ton)
d	=	diameter baut besi beton(mm)
t_2	=	tebal flange profil baja
h_{ef}	=	kedalaman baut (mm)
n	=	jumlah baut

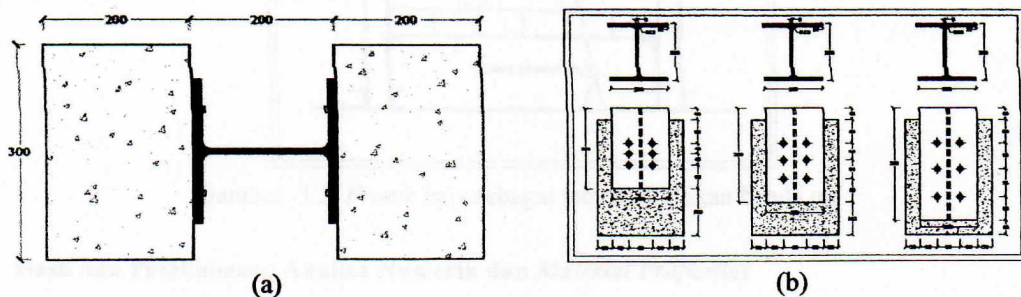
3.1 Pengujian Laboratorium

3.1.1 Bahan Uji

- Balok kubus K-300 dengan ukuran panjang 200 mm, lebar 300 mm dan tinggi 400 mm sebanyak enam buah. Pembuatan benda uji slab beton dilakukan di laboratorium Universitas Sumatera Utara. Penulis membuat slab beton tanpa menggunakan tulangan.
- Profil baja H-Beam 200 × 200 × 8 × 12 sebanyak 3 buah, dengan panjang yang bervariasi yakni 280 mm, 328 mm dan 389 mm.
- Besi beton dengan tipe BjTS (Baja Tulangan beton Sirip) dengan diameter 8 mm yang sudah diulir pada bagian ujungnya sebagai tempat penempatan ring dan mur, sebanyak 36 buah.
- Epoxy digunakan sebagai cairan yang bahan perekat antara beton dengan besi betonnya.

3.1.2 Pembuatan Benda Uji

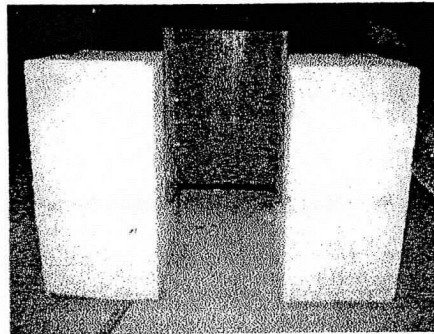
Benda uji yang dibuat terdiri dari tiga buah benda uji dengan jarak besi beton yang berbeda-beda. Masing-masing benda uji terdiri dari dua buah kubus ukuran 200 mm × 300 mm × 400 mm yang diapit oleh profil baja H-Beam dengan panjang bervariasi yakni 280 mm, 328 mm dan 389 mm. Sebagai penghubung antara kedua balok beton dengan profil baja H-Beam tersebut digunakanlah besi beton sebagai penghubung geser yang berdiameter 8 mm. Seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pemodelan benda uji (a) benda uji tampak atas (b) benda uji tampak samping dengan jarak antara baut 40 mm, 64 mm, dan 96 mm

Setelah pengecoran beton K-300 sudah mencapai 28 hari, maka beton bisa digunakan untuk penyatuan menjadi benda uji. Beton K-300 tersebut di lubangi sesuai dengan *marking* yang telah ditentukan jaraknya masing-masing. Tahap selanjutnya, beton yang sudah dilubangi dibersihkan dengan alat *blower*. Hal ini bertujuan agar debu sisa dari pengeboran tidak lengket di lubang sehingga *epoxy* yang diinjeksikan nantinya mempunyai daya rekat yang tinggi antara beton dengan besi betonnya. Setelah dipastikan lubang sudah bersih, dilakukan injeksi *epoxy* (*type MF-EX2 360 ml high strength epoxy*). Kemudian dilakukan penyatuan menjadi benda uji, salah satu kubus dengan baja yang sudah dilubangi juga sesuai *marking* yang telah

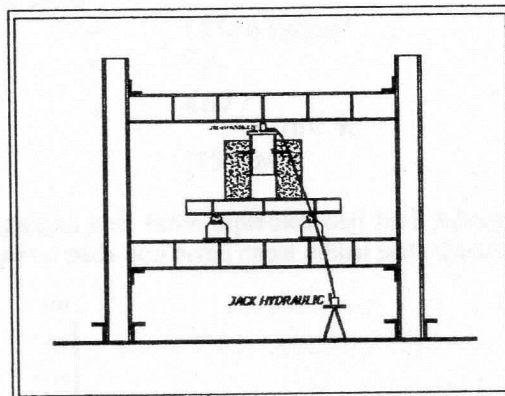
ditentukan, beserta besi beton disatukan. Setelah menunggu sekitar 2 jam, epoxy sudah mulai mengering lalu dilakukan injeksi epoxy pada balok beton kedua, lakukan penyatuan balok beton pertama, baja H-Beam, besi beton di kedua sisi dan balok beton kedua. Tunggu proses pengeringan epoxy pada beton kubus kedua. Benda uji siap untuk diuji *Push-out Test*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Contoh benda uji setelah dirangkai

3.2 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan di laboratorium struktur Program Magister Universitas Sumatera Utara. Bahan uji yang telah disiapkan, diletakkan ke dalam *frame* untuk dilakukan *push-out test*. Dimulai dari benda uji yang memiliki jarak besi beton $s = 40$ mm, kemudian dilanjutkan dengan pengujian benda uji dengan jarak besi beton $s = 64$ mm dan terakhir benda uji dengan jarak besi beton $s = 96$ mm. Pembacaan beban diberikan bertahap sebesar 500 kg hingga mencapai keruntuhan terjadi pada besi betonnya dan pembebanan dihentikan. *Dial gauge* dipasang pada setiap besi beton untuk mengamati deformasi yang terjadi disetiap besi beton dan pada setiap tahapan pembebanan. Tetapi karena keterbatasan *dial gauge* yang tersedia hanya 8 (delapan) buah, maka yang terpasang hanya didelapan besi beton. Kemudian diberi beban secara bertahap dengan menggunakan alat *jack hydraulic*, hingga mencapai beban batas. Pengujian ini dilakukan hal yang sama untuk ketiga benda uji. Perletakan benda uji dapat dilihat seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Frame* baja sebagai tempat dudukan benda uji

3.3 Hasil dan Pembahasan Analisa Numerik dan *Material Properties*

a. Untuk material beton digunakan:

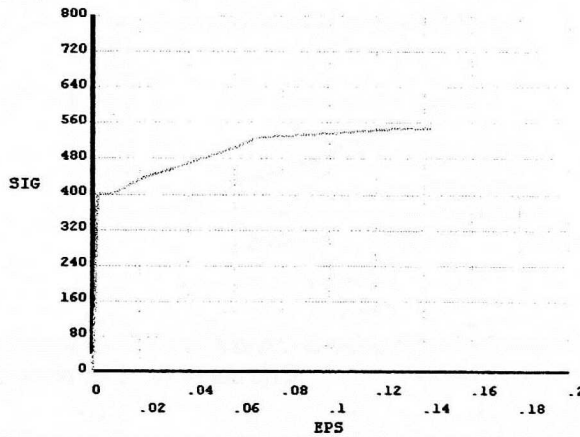
Berat jenis	=	$2.4 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
Mutu beton (f'_c)	=	32.296 Mpa
Elastisitas	=	$4700 \sqrt{f'_c}$
	=	$4700 \sqrt{32.296}$
	=	26709.90 Mpa
Poison ratio	=	0.2

$$\begin{aligned}
 \text{Uniaxial cracking stress} &= 0.7 \sqrt{f'_c} \\
 &= 0.7 \sqrt{32.296} \\
 &= 3.98 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

b. Untuk material baja

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis} &= 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \\
 \text{Elastisitas} &= 200000 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Grafik hubungan *strain-stress* dapat dilihat pada Gambar 3.4.

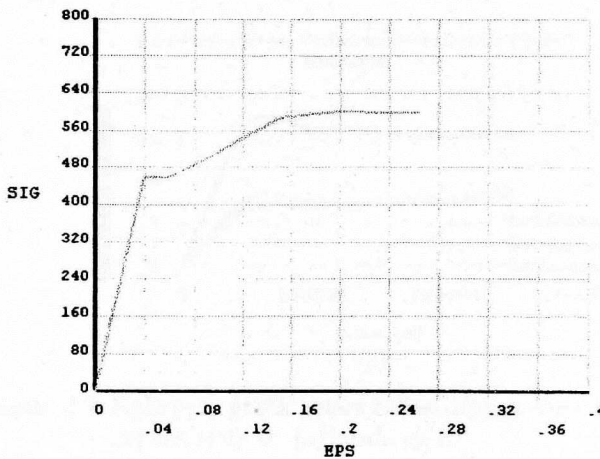


Gambar 3.4 Grafik hubungan *strain-stress* pada baja

c. Untuk material besi beton

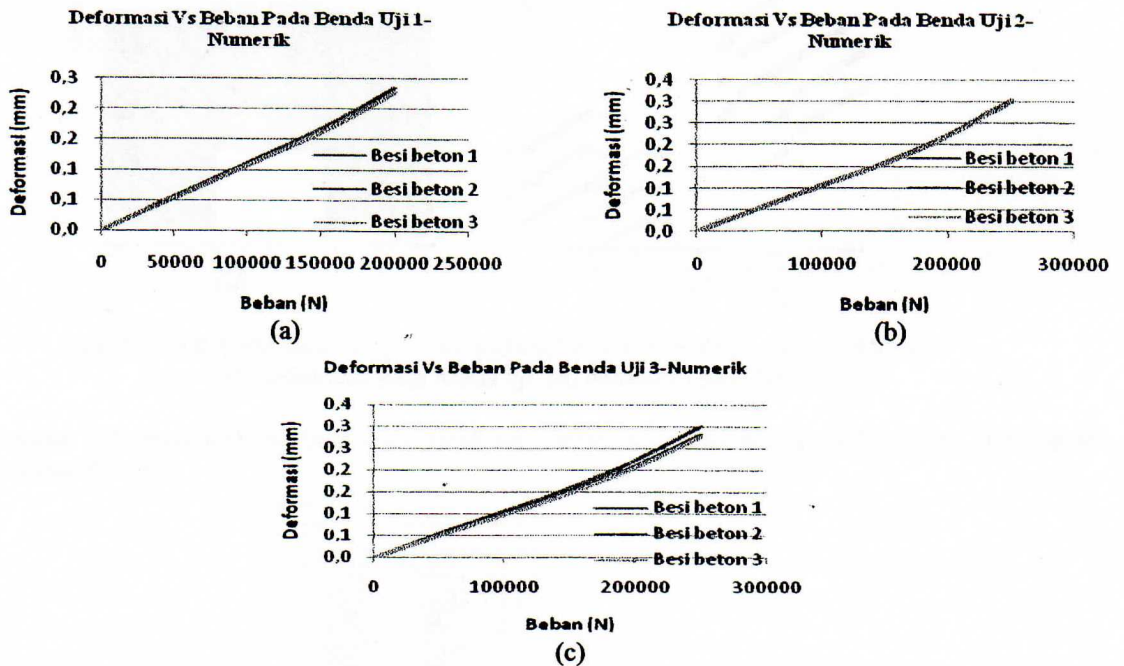
$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis} &= 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \\
 \text{Elastisitas} &= \frac{\sigma}{\epsilon} \\
 &= \frac{467}{4.060 \%} \\
 &= 11500 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tegangan dan regangan besi beton diperoleh dari hasil laboratorium uji tarik besi beton. Grafik hubungan *strain-stress* pada besi beton dapat dilihat pada Gambar 3.5.



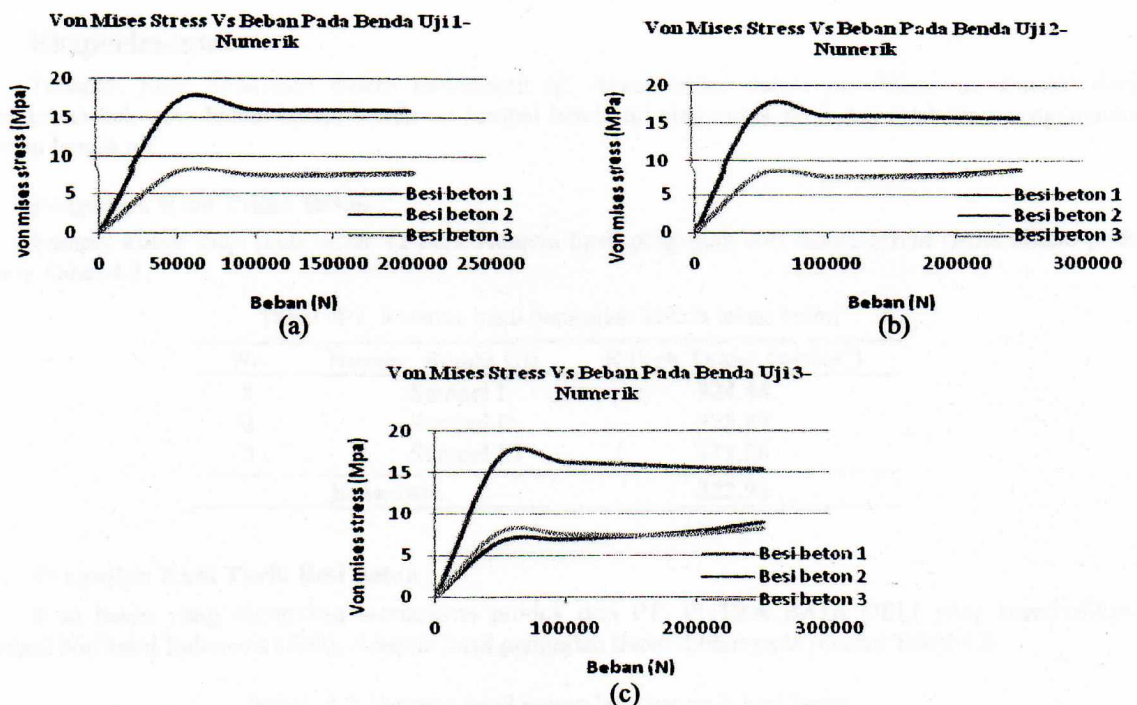
Gambar 3.5 Grafik hubungan *strain-stress* pada besi beton

Gambar 3.6 menunjukkan hubungan grafik antara beban dengan deformasinya.



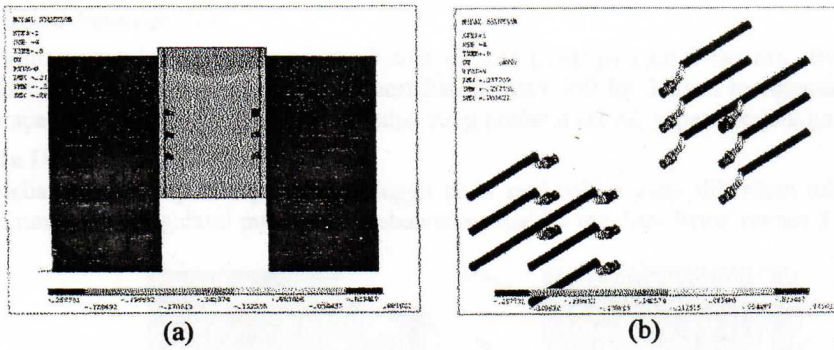
Gambar 3.6 Hubungan grafik antara beban dengan deformasi secara numerik (a) benda uji 1 (b) benda uji 2 (c) benda uji 3

Gambar 3.7 menunjukkan hubungan grafik antara beban dengan *von mises stress* nya.



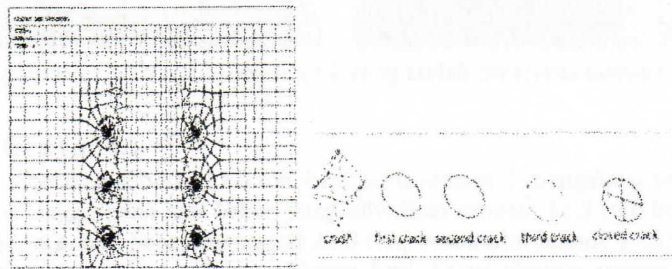
Gambar 3.7 Hubungan grafik antara beban dengan *von mises stress* benda uji I (b) benda uji II (c) benda uji III

Gambar 3.8 menunjukkan deformasi yang terjadi. Pada bagian ujung besi betonnya terlihat sudah leleh. Dalam hal ini kekuatan beton lebih tinggi dari pada besi betonnya sehingga besi beton yang pertama sekali putus, kemudian disusul dengan retak beton pada bagian permukaan beton yang dekat dengan besi betonnya. Dilihat Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Deformasi yang terjadi pada salah satu benda uji yakni $s = 40$ mm
 (a) deformasi pada benda uji (b) deformasi pada besi beton

Gambar 3.9 menunjukkan pola retak salah satu benda uji yakni benda uji 1 dengan jarak antar bautnya sebesar 40 mm.



Gambar 3.9 Pola retak pada salah satu benda uji

4 Eksperimental

Tahapan yang dilakukan dalam melakukan uji laboratorium dalam penelitian ini dimulai dari pemeriksaan kekuatan bahan-bahan benda uji sampai benda uji siap untuk diuji dan dilakukan pengamatan terhadap benda uji.

4.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Sampel kubus diuji pada umur 42 hari. Adapun hasil pengujian dari laboratorium dapat dilihat pada resume Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Resume hasil pengujian kokoh tekan beton

No	Nomor Benda Uji	Kokoh Tekan (kg/cm^2)
1	Sampel I	324.44
2	Sampel II	328.89
3	Sampel III	315.56
Rata-rata		322.96

4.2 Pengujian Kuat Tarik Besi Beton

Besi beton yang digunakan merupakan produk dari PT. PUTRA BAJA DELI yang bersertifikasi Standard Nasional Indonesia (SNI). Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada resume Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Resume hasil pengujian kuat tarik besi beton

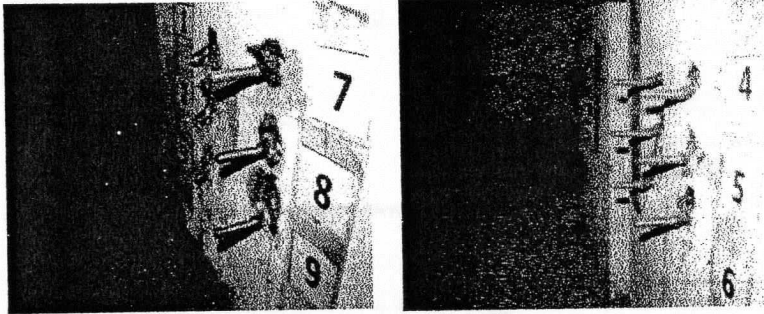
Spesimen	Yield Stress (N/mm^2)	Tensile Strength (N/mm^2)	Elongation (%)
A	462	592	28
B	463	596	26.5
C	460	591	31.5
RATE	461.67	593	

4.3 Pengujian *Pust-Out Test*

Pengujian untuk ketiga benda uji dilakukan dengan pengujian *push-out test*. Benda uji yang sudah dirangkai akan diberikan pembebanan secara bertahap dengan 500 kg dengan menggunakan *jack hydraulic*, hingga mencapai besi beton akan mengalami putus yang pertama sekali, seperti terjadi pada benda uji:

Benda Uji I dilihat Gambar 4.1.

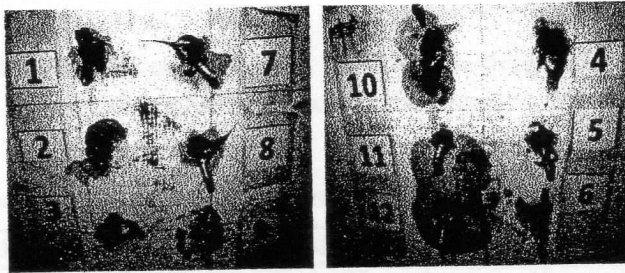
Pembebanan bertahap dilanjutkan, sehingga pada saat beban yang diberikan sebesar 21.5 ton, besi beton nomor 2 mengalami putus. Saat beban mencapai 22 ton, besi beton nomor 3 menyusul putus.



Gambar 4.1 Ketiga besi beton pada benda uji 1 yang sudah mencapai kondisi *ultimate*

Benda Uji II dilihat Gambar 4.2.

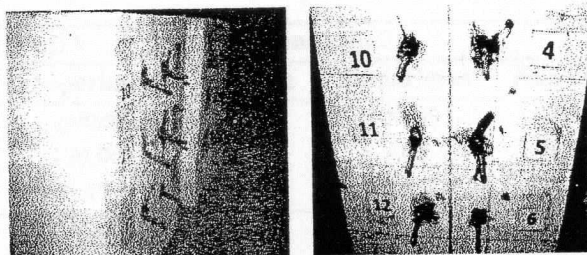
Pada saat beban yang diberikan sebesar 22.0 ton, besi beton nomor 1 mengalami putus. Pembebanan bertahap dilanjutkan, sehingga pada saat beban yang diberikan sebesar 22.5 ton, besi beton nomor 2 mengalami putus. Dan pada saat beban mencapai 23.0 ton, besi beton nomor 3 menyusul putus. Hal ini terjadi disebabkan beban tidak sentris, sehingga besi beton dengan nomor 1,2 dan 3 yang mengalami putus. Keretakan yang terjadi lebih sedikit jika dibandingkan dengan benda uji 1, faktor mutu beton yang tinggi dan semakin jarangny jarak antar besi beton mempengaruhi keretakan yang terjadi pada permukaan beton.



Gambar 4.2 Ketiga besi beton pada benda uji 2 yang sudah mencapai kondisi *ultimate*

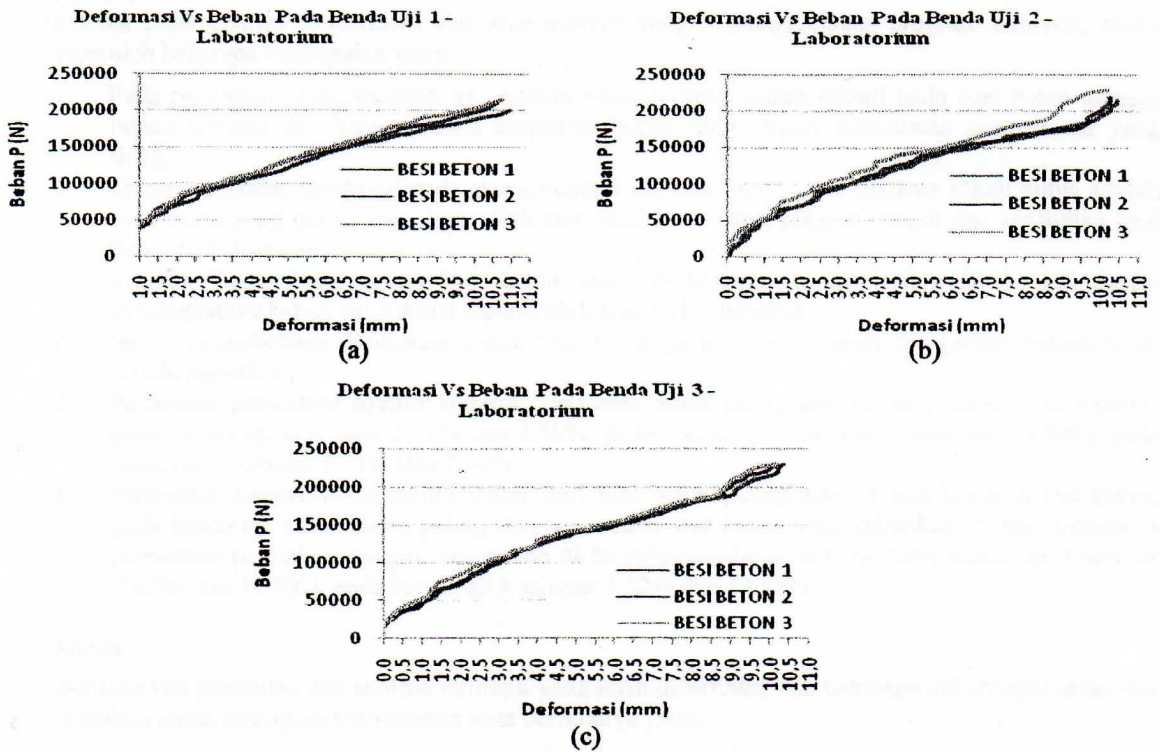
Benda Uji III dilihat Gambar 4.3.

Pembebanan dilakukan hingga besi beton mencapai kondisi *ultimate* namun karena kapasitas alat *jack hydraulic* hanya mampu memberikan beban maksimum sebesar 23 ton, maka pembebanan dihentikan. Untuk benda uji 3 ini, pembebanan maksimum sudah dilakukan tetapi besi beton belum juga putus. Keretakan yang terjadi hampir tidak kelihatan, yang disebabkan karena semakin jarangny jarak antar baut. Hal ini juga yang menyebabkan besi beton tidak mengalami putus, karena distribusi beban dan faktor jarak yang mempengaruhinya.



Gambar 4.3 Ketiga besi beton benda uji 3 tidak mengalami kondisi *ultimate*

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan grafik antara beban dengan deformasinya yang diperoleh dari hasil laboratorium.



Gambar 4.4 Hubungan grafik antara beban dengan deformasi uji laboratorium (a) benda uji 1 (b) benda uji 2 (c) benda uji 3

4.4 Perbandingan Hasil Uji Laboratorium Dengan Hasil Analisa Program Numerik

Hasil perbandingan uji laboratorium dengan hasil analisa program numerik dapat kita lihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Deformasi pada analisa numerik dan eksperimental saat pembacaan beban sebesar 20 ton

Besi Beton	Benda uji 1		Benda uji 2		Benda uji 3	
	Numerik	Eksperimen	Numerik	Eksperimen	Numerik	Eksperimen
1	0.236082	putus	0.232366	10.23	0.223114	9.00
2	0.228391	10.35	0.224554	9.45	0.209489	8.80
3	0.227821	9.68	0.222366	8.59	0.205284	7.77

Dari pembacaan Tabel 4.3 diperoleh hasil laboratorium lebih besar dibandingkan dengan hasil analisa program numerik. Untuk persentase perbedaan deformasi antara analisa numerik dengan laboratoriumnya dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Deformasi pada analisa numerik dan eksperimental saat pembacaan beban sebesar 20 ton

Besi Beton	Benda uji 1		Benda uji 2		Benda uji 3	
	Numerik	Eksperimen	Numerik	Eksperimen	Numerik	Eksperimen
1	100.00	putus	100.00	100.00	100.00	100.00
2	3.26	100.00	3.36	7.62	6.11	2.22
3	3.50	6.47	4.30	16.03	7.99	13.67

5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Setelah dilakukannya eksperimen dan juga analisis dengan menggunakan program numerik, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pada pengujian eksperimental, keruntuhan yang pertama sekali terjadi pada besi beton dengan beban tertentu dan hanya sedikit keretakan beton yang terjadi disebabkan mutu beton yang tinggi.
2. Dalam rangkaian benda uji pada eksperimental ini, besi beton yang pertama sekali putus adalah besi beton yang paling atas, kemudian menyusul besi beton yang di tengah dan kemudian besi beton paling bawah.
3. Semakin besar jarak antara besi beton maka deformasinya juga makin kecil, dan makin meningkatnya beban yang dapat dipikul oleh konstruksi tersebut.
4. Besarnya perbedaan deformasi antara besi beton paling atas, tengah dan paling bawah tidak terlalu signifikan.
5. Perbedaan persentase analisa numerik, dari besi beton paling atas ke besi beton di bawahnya, pada benda uji 1 sebesar 3.26% dan 3.50%, pada benda uji 2 sebesar 3.36% dan 4.30%, pada benda uji 3 sebesar 6.11% dan 7.99%.
6. Perbedaan persentase uji laboratorium, dari besi beton paling atas ke besi beton di bawahnya, pada benda uji 1 besi beton paling atas putus pada saat beban yang diberikan 20 ton kemudian persentase perbedaan dengan besi beton di bawahnya sebesar 6.47%, pada benda uji 2 sebesar 7.62% dan 16.03%, pada benda uji 3 sebesar 2.22% dan 13.67%.

Saran

Berdasarkan penelitian dan analisis numerik yang telah dilakukan, ada beberapa hal sebagai saran dan masukan untuk kemajuan penyusunan tesis berikutnya yaitu:

1. Pada pembuatan benda uji untuk eksperimental perlu diperhatikan secara benar proses pembuatan benda uji, cara pemasangan, penempatan benda uji, dan pengetesan benda uji.
2. Sebaiknya alat *dial gauge* diletakkan pada semua titik sampel pengujian agar diketahui seluruh deformasi yang bekerja pada setiap titik.
3. Untuk mendapatkan nilai deformasi dan nilai tegangan yang lebih akurat ada baiknya digunakan *strain gauge*.

Daftar Pustaka

- Anderson, Neal S, P.E., S.E., dan Meinheit, Donald.F, Ph.D.,P.E.,S.E., *Pryout Capacity of Cast in Headed Stud Anchors*.PCI-Journal.
- Anonim, 1997, *Guideline for European Technical Appraisal of Metal Anchors for Use in Concrete (ETAG-001)*, European Organisation for Technical Approvals (EOTA).
- Anonim, 2002, *Standar Nasional Indonesia –SNI 07-2052-2002.Baja Tulangan Beton*.
- Anonim, 2004, *Eurocode 4, EN 1994-1-1: Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*, European Committee for Standardization.
- Anonim, 2005, *ACI Standard: Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (ACI 355.2-04) and Commentary (ACI 355.2R-04)*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, January 2005.
- Evency, Andriana AR, Dharma. Giri I.B, dkk. 2013. *Pengujian Kekuatan Penghubung Geser yang Terbuat dari Baja Tulangna Berbetuk L yang Dibengkokkan dengan Sudut 45 Derajat*.Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil, Volume 1, No.1, Februari 2013.Denpasar.
- Iswandi, 2013, *Studi Eksperimental Perilaku Baut Angkur Pada Kolom Beton Akibat Geser Murni*, Tesis Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Logan, Darly.L. 2007.*A First Course in the Finite Element Method Fourth Edition*, Canada.
- Muratli, Hakki. B.S. 1998.*Behavior of Shear Anchors in Concrete : Statistical Analysis and Design Recommendations*. Thesis Master of Science in Engineering University of Texas at Austin. Texas.
- Rao,G.Appa, *Strength of Bonded Anchors in Concrete in Direct Tension*, Research student, Departemen of Civil Engineering Indian Institute of Technology Madras, Chennai-600 036, India.
- Salmon, C. G., dan Johnson, J.E., 1986, “*Struktur Baja Desain dan Prilaku*”, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Widiarsa, I.B.R., dan Deskarta, Putu., 2007, “*Kuat Geser Baja Komposit dengan Variasi Tinggi Penghubung Geser Tipe-T Ditinjau dari Uji Geser Murni*”, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Volume 11, No. 1, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana.
- Wiston Wayne Clendennen, 1994, *Performance of Post-Installed Anchors Under Oblique And Group Loading Conditions in Uncracked Concrete*, Thesis, The Graduate School, University of Texas at Austin, USA.

