

STUDI EKSPERIMENTAL BALOK BETON BERTULANG BERSENGKANG TERTUTUP TEGAK DENGAN PENYAMBUNG KAIT DAN LAS

Alivia Andica Puteri, Nor Hidayati, Sri Tudjono^{*)}, Ilham Nurhuda^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Pembangunan dengan tujuan green construction dalam dunia konstruksi sedang berkembang. Proses produksi pembuatan tulangan besi memberikan dampak negatif pada lingkungan, seperti pembakaran yang mengakibatkan efek gas rumah kaca, polusi udara, zat kimia yang berbahaya dan pemborosan energi. Penelitian ini akan meneliti tentang efektifitas penggunaan tulangan sengkang yang dapat memberikan penghematan pada penggunaan tulangan sengkang. Penulangan sengkang vertikal memiliki beberapa jenis tipe panyambungan, yaitu sengkang dengan penyambung kait dan sengkang dengan penyambung las. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian perbandingan kuat geser balok beton bertulang sengkang vertikal pada masing – masing variasi sengkang yang berbeda. Pada penelitian ini dibuat 6 buah benda uji dengan 3 variasi sengkang, yaitu sengkang kait 135°, sengkang las sudut dan sengkang las tengah. Pada pengujian balok tinggi tanpa tulangan tekan, didapatkan beban maksimum sengkang kait dan sengkang las sudut hampir sama. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa sengkang las sudut dapat menggantikan sengkang kait 135°. Penggantian sengkang kait 135° dengan sengkang las sudut dapat menghemat tulangan yang digunakan sebesar 5 – 10 % tulangan sengkang.

kata kunci : *sengkang vertikal, sengkang kait dan las*

ABSTRACT

The development of green construction with the goal of developing the world of constructions are growing. Production process of making steel reinforcement gives negative impact to the environment, such as air pollution, hazardous chemicals and energy waste. This study examines the effectiveness of using reinforcement stirrups in term of their strength and cost. Vertical stirrups have various connection types, such as hooked stirrups and welding connected stirrups. In this study, 6 beam specimens with 3 stirrups variations were prepared, they are 2 beams with hooked stirrups of 135°, 2 beams with stirrups welded at the corner and 2 beams with stirrups welded at the center. Eksperimental results of deep beams without compression reinforcements show that the maximum load that can be resisted by both the beams with hooked stirrups and corner welded stirrups are

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

comparable. With regard to the cost, replacement of hooked stirrups with corner welded stirrups can save 5-10% of the total steel used for stirrups.

keywords: *vertical stirrups, hook stirrups, and welding stirrups*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tulangan sengkang merupakan baja tulangan yang digunakan pada penampang balok untuk menahan gaya geser yang terjadi. Balok yang menerima beban melampaui batas kemampuan yang ditetapkan akan mengalami retak pada penampang balok tersebut. Retak pada balok muncul karena adanya gaya geser. Retak geser pada umumnya terletak pada daerah tumpuan balok. Hal ini dikarenakan pada daerah tumpuan gaya geser yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan gaya geser yang terjadi pada daerah tengah bentang balok. Untuk mencegah terjadinya retak pada balok, diperlukan adanya tulangan sengkang atau tulangan geser untuk meningkatkan kekuatan geser pada balok tersebut supaya dapat menahan gaya geser (Park, Paulay, 1975)

Penelitian terdahulu, menggunakan balok tinggi beton bertulang dengan dua titik pembebanan telah mempelajari mekanisme kegagalan geser balok tinggi beton bertulang dengan menggunakan tulangan sengkang vertikal. Penggunaan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif (a/d) diantara 1,0 dan 2,5 menyebabkan kehancuran beton pada daerah tekan di atas retak diagonal kritis. Tipe kegagalan ini biasa disebut dengan kegagalan tekan geser (Zararis, 2003).

Penelitian (Zararis, 2003) juga menunjukkan bahwa variasi kuat tekan balok (f'_c), rasio tulangan utama (ρ) dan rasio tulangan sengkang vertikal (ρ_v) akan mempengaruhi kuat geser pada balok tersebut. Rasio tulangan sengkang vertikal didapatkan dari perbandingan luas tulangan sengkang yang digunakan terhadap hasil kali antara lebar penampang dengan jarak sengkang yang digunakan. Semakin besar rasio tulangan sengkang vertikal berarti semakin banyak kebutuhan akan sengkang yang digunakan.

Maksud dan Tujuan

Mengetahui kuat geser masing-masing sengkang dengan variasi penyambungan yang berbeda, yaitu sengkang kait 135°, sengkang las sudut dan sengkang las tengah.

Batasan Penelitian

Batasan masalah yang dibuat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan mutu beton rencana sebesar 21,8 MPa.
2. Sengkang kait, sengkang las sudut dan sengkang las tengah diletakkan pada zona tidak tertekan.
3. Penelitian ini hanya mengkaji pada kegagalan geser.

METODOLOGI

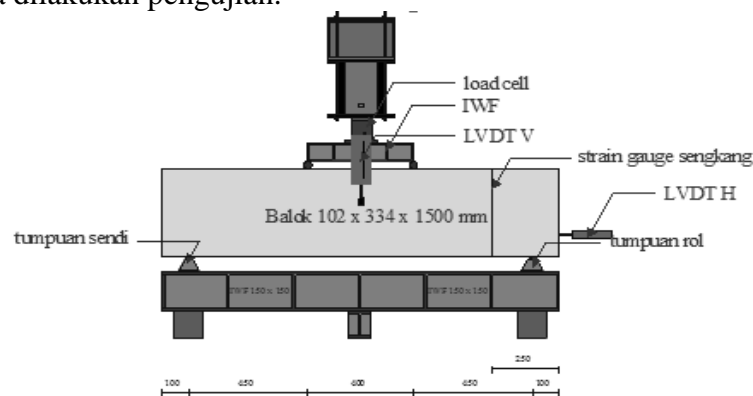
Adapun metodologi dalam penelitian ini, antara lain:

1. Tahap persiapan penelitian
Mengkaji permasalahan yang ada kemudian melakukan studi literatur tentang penelitian.
2. Tahap perencanaan / *design*
Tahap perencanaan meliputi perencanaan dimensi penampang beserta dimensi tulangan dan mutu bahan yang akan digunakan. Dimensi penampang yang digunakan pada penelitian ini, berdasarkan referensi jurnal Zararis (2003). Untuk mengetahui mutu baja yang digunakan, perlu dilakukan pengujian tarik baja tulangan. Spesifikasi balok yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 : *Properties* Balok

b	102 mm	a/d	1,475	d'	29 mm	ϵ_s	0,00429
d	305 mm	a	450 mm	h	334 mm	ϵ_y	0,00207
p	15 mm	f_c	21,8 MPa	L	1500 mm	E_s	2×10^5 MPa
f_y	413,379 MPa	ρ	0,0124	D_v	5,75 mm	P_{lentur}	182,516 kN
f_{yv}	404,356 MPa	ρ_v	0,0017	D	15,655 mm	P_{geser}	129,929 kN

3. Tahap persiapan bahan dan material
 - a. Pengujian tarik baja tulangan yang akan digunakan, yaitu Ø6 , D13 dan D16
 - b. Penggunaan beton *ready mix* PT. Jaya Mix dengan mutu rencana sebesar 21,8 MPa.
4. Pembuatan benda uji
Pembuatan benda uji berupa tiga buah silinder beton diameter 15 dengan tinggi 30 cm dan balok beton bertulang sebanyak 6 buah dengan tiga buah variasi sengkang dengan ukuran balok 102 X 334 X1500 mm.
5. *Set-up* pengujian
Penelitian ini menggunakan alat *loading frame* yang berfungsi untuk memasang dan memperkokoh *instrument* pengujian seperti *load cell* dan tabung *piston hydraulic jack*. Balok diletakkan pada tumpuan sendi dan tumpuan rol dengan jarak 10 cm dari ujung balok. Gambar 1. menunjukkan *set-up pengujian* penelitian ini. *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT) berfungsi untuk mengukur lendutan yang terjadi pada benda uji balok. Sedangkan *data logger* berfungsi sebagai mesin pencatat atau perekam hasil bacaan dari *load cell*, LVDT dan *strain gauge* yang tersambung pada benda uji balok selama dilakukan pengujian.



Gambar 1 : *Set-Up* Pengujian Benda Uji Balok Beton Bertulang

HASIL DAN PEMBAHASAN

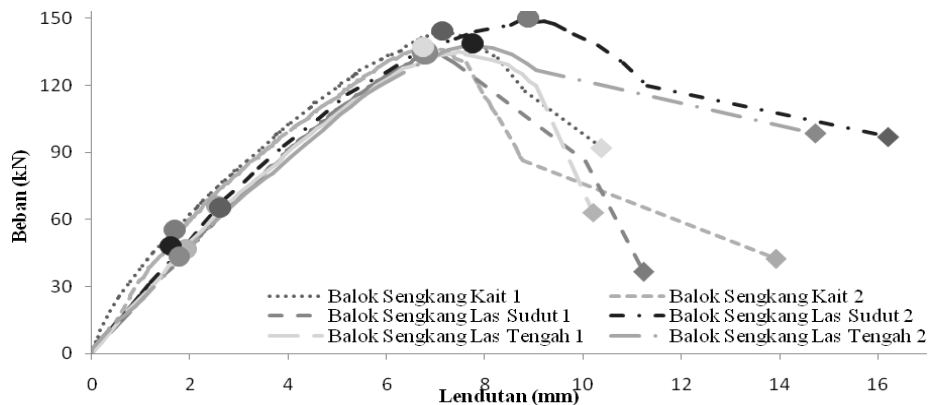
Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan pada saat beton berumur 35 hari, sehingga dibutuhkan konversi kuat tekan beton saat beton berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan silinder beton menggunakan *Compression Test Machine*. Dari hasil pengujian kuat tekan silinder beton pada Tabel 2. dengan konversi umur 28 hari didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2 : Hasil pengujian kuat tekan silinder beton

No	Tanggal pembuatan	Tanggal pengujian	Berat (Kg)	Area (mm ²)	Max Force (N)	Kuat tekan (N/mm ²)	Konversi kuat tekan umur 28 hari (MPa)
1	31/07/13	04/09/13	12,94	17671,4	562500	31,83	30,31
2	31/07/13	04/09/13	12,92	17671,4	601670	34,047	32,42
3	31/07/13	04/09/13	12,32	17671,4	557840	31,56	30,06
Rata – rata kuat tekan							30,93

Dalam perhitungan kuat geser $V_c = (\sqrt{f'_c} * b * d) / 6 = 31,578$. Sehingga, beban yang mampu ditahan oleh balok tanpa tulangan yang mengalami kegagalan geser adalah sebesar 57,672 kN. (SNI-03-2847-2002)



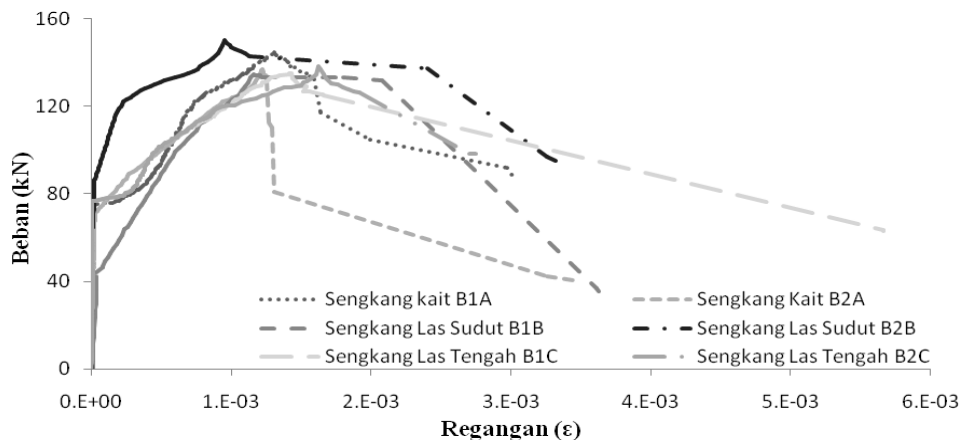
Gambar 2 : Kurva Beban – Lendutan

Pada Gambar 2. balok sengkang las sudut B2 B dapat menahan beban maksimal terbesar dari balok lain sebesar 150,315 kN dengan lendutan sebesar 8,88 mm, sedangkan balok sengkang las tengah B1 C menahan beban maksimal sebesar 134,475 kN dengan lendutan sebesar 7,2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa sengkang las sudut B2 B lebih baik daripada sengkang las tengah B1 C. Sudut kemiringan yang terjadi pada hubungan beban lendutan masing masing balok menentukan kualitas dari balok. Sudut kemiringan balok B2 C dengan retak awal pada pembebanan 43,065 kN memiliki sudut paling kecil, disebabkan karena ketidak seragaman campuran beton. Sedangkan, balok B2 B memiliki sudut kemiringan yang paling besar dengan retak awal sebesar 66 kN. Dari hubungan beban-lendutan dapat dilihat adanya lendutan mendadak pada masing – masing balok. Lendutan mendadak terjadi akibat putusnya tulangan sengkang sehingga beban yang ditahan mengalami penurunan dengan lendutan yang besar.

Hubungan Beban – Regangan Sengkang pada Balok Beton Bertulang

Hubungan beban-regangan beton menunjukkan besarnya regangan yang terjadi saat beban tertentu. Regangan yang terjadi pada sengkang diukur menggunakan *strain gauge* baja tulangan yang dipasang pada sengkang untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi pada sengkang sesuai dengan beban yang diberikan. Besarnya nilai regangan maksimum yang terjadi pada sengkang dapat dibandingkan dengan regangan leleh baja yang direncanakan. Apabila saat beban maksimum nilai regangan pada sengkang lebih besar daripada regangan leleh baja, berarti tulangan sengkang telah mencapai leleh.

Gambar 3. menunjukkan besarnya regangan yang terjadi pada balok kait B1 A dan B2 A. Pada balok kait B1 A dengan beban maksimum sebesar 144,540 kN regangan yang terjadi pada sengkang adalah sebesar 0,001306. Sedangkan pada balok kait B2 A regangan yang terjadi saat beban maksimum adalah 0,001226 dengan beban maksimum sebesar 136,785 kN. Regangan yang terjadi pada balok kait B2 A meningkat cukup besar saat terjadinya penurunan beban secara drastis. Saat beban yang diberikan sebesar 80,654 kN regangan yang terjadi pada sengkang adalah sebesar 0,001310 dan saat beban turun menjadi 42,405 kN regangan pada sengkang meningkat sebesar 0,001957 menjadi 0,003257. Melalui Gambar 3. dapat diketahui bahwa sengkang pada balok kait baru mulai bekerja menahan gaya geser saat beban berkisar 80 kN. Garis kemiringan awal yang ditunjukkan pada grafik pada kedua balok kait menunjukkan hasil yang hampir sama. Dengan selisih besarnya beban pada saat retak awal muncul sebesar 6,93 kN.



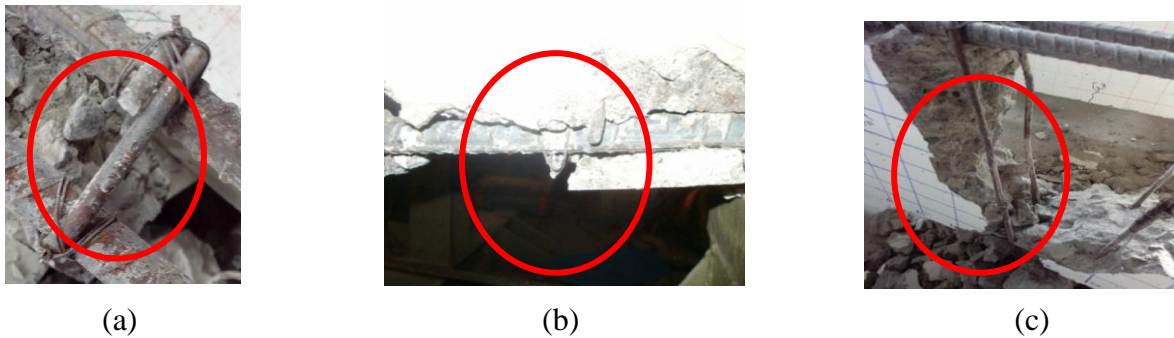
Gambar 3 : Kurva Beban-Regangan

Balok dengan sengkang las sudut B1 B dengan beban yang menyebabkan retak awal sebesar 46,365 kN regangan yang dihasilkan adalah sebesar 0,000048. Beban maksimum yang dapat dicapai balok B1 B sebesar 134,475 kN. Sedangkan beban maksimum yang dapat dicapai balok dengan sengkang las sudut B2 B sedikit lebih besar dibandingkan beban maksimum yang dapat dicapai balok B1 B yakni sebesar 150,315. Namun regangan yang terjadi pada balok B1 B saat beban maksimum lebih besar daripada regangan yang terjadi pada balok B2 B saat beban maksimum. Regangan yang terjadi pada balok B1 B adalah sebesar 0,001160 sedangkan regangan pada balok B2 B saat beban maksimum adalah 0,000954.

Kondisi Kegagalan Geser pada Sengkang

Tulangan sengkang dilakukan pengecekan setelah pengujian untuk mengetahui kondisi dan bentuk sengkang secara nyata dengan cara membongkar beton yang menyelimuti tulangan sengkang seperti pada Gambar 4. terlihat kondisi sengkang dalam keadaan yang rusak (putus) dan bengkok akibat pemberian beban yang terus meningkat. Hal ini membuktikan bahwa kegagalan geser pada penelitian ini terpenuhi.

Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa kelemahan dari sengkang kait adalah jika terjadi beban berlebih (*over load*), maka sengkang kait akan terbuka sedikit demi sedikit. Jika pembebanan ditingkatkan maka sengkang akan terjadi kerusakan dan beton akan pecah pada posisi kaitnya. Berbeda dengan sengkang las sudut jika beban ditingkatkan maka posisi sambungan las merupakan posisi rawan, yaitu tulangan sengkang akan putus pada posisi sambungan las. Sengkang las tengah memiliki perilaku berbeda dari sengkang kait dan sengkang las sudut karena kegagalan terjadi pembengkokan tulangan pada tengah sengkang.



Gambar 4 : (a) Kondisi sengkang kait yang meregang (b) Kondisi sengkang las sudut yang mengalami putus (c) Kondisi sengkang las tengah mengalami bengkok setelah dilakukan pengujian

Menggunakan Persamaan (1) yang didapat dari jurnal Zararis (2003) didapatkan nilai c dimana c adalah kedalaman daerah tekan di atas retak lentur, nilai c yang didapat selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai lengan z . Nilai T_f dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut :

$$\left(\frac{c}{d}\right)^2 + 600 \frac{\rho}{f'_c} \frac{c}{d} - 600 \frac{\rho}{f'_c} = 0 \quad (1)$$

$$T_f = \frac{P_u \times a}{z} \quad (2)$$

Setelah gaya T_f didapatkan, tegangan geser pada sengkang σ_{sx} dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (3).

$$\sigma_{sx} = \frac{T_f}{A} \quad (3)$$

Garis kemiringan retak pada balok membentuk sudut φ dengan nilai rata-rata sebesar $57,25^\circ$. Garis kemiringan diukur berdasarkan kemiringan pola retak yang diukur terhadap sumbu vertikal yang terbentuk pada balok setelah dilakukannya pengujian.

$$V_s = \rho v \times b \times d \times \sigma_{sx} \left(1 - \frac{c_s}{d}\right) \tan^3 \varphi \quad (4)$$

Tegangan sengkang (f_s) dapat dicari menggunakan nilai kuat geser (V_s) yang diperoleh dari Persamaan (4). Nilai tegangan geser untuk masing-masing variasi sengkang dapat dilihat pada Tabel 3.

$$f_s = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Tabel 3 : Tegangan Sengkang berdasarkan Zararis dan Eksperimen

No	Balok	Sudut	Vs	$f_{s(\text{teori Zararis})}$	ϵ	$f_{s(\text{eksperimen})}$
1	Balok kait B1 A	56	9,9610	188,3530	0,0013	261,2280
2	Balok kait B2 A	55	8,9855	169,9005	0,0012	245,2360
3	Balok las sudut B1 B	64,5	28,0527	530,4270	0,0012	232,0980
4	Balok las sudut B2 B	56	9,9610	188,3530	0,0010	190,7808
5	Balok las tengah B1 C	60	15,9101	300,8330	0,0014	283,8860
6	Balok las tengah B2 C	52	6,4441	121,8475	0,0016	325,0120

Melalui Tabel 3, pada balok B2 B hasil pembacaan *strain gauge* untuk sengkang tepi balok B2 B paling kecil. Dari hasil perbandingan tegangan pada tulangan sengkang (f_s) dari perhitungan teori Zararis (2003) diketahui bahwa terjadi perbedaan antara $f_{s\text{teori}}$ dan $f_{s\text{eksperimental}}$. Hal tersebut dikarenakan persamaan dari penelitian Zararis (2003) yang digunakan untuk perhitungan menggunakan pendekatan garis lurus pada bidang/garis retak gesernya. Sedangkan hasil eksperimen menunjukkan garis retak tidak pada satu garis lurus. Selain itu, hasil eksperimen balok menunjukkan pola retak terjadi dari arah tumpun menuju ke pusat beban. Sedangkan persamaan Zararis menggunakan pendekatan dari pola retak benda uji balok yang menunjukkan pola retak terjadi tidak tepat dari tumpuan ke titik pembebanan.

KESIMPULAN

Kegagalan geser telah dicapai dengan terjadinya retak diagonal pada balok dari pusat pembebanan ke pusat tumpuan. Putusnya tulangan baja tulangan menjadi indikasi bahwa kegagalan geser telah terpenuhi. Walaupun tidak dilakukan pengujian tarik terhadap sengkang las, namun penelitian ini tetap menghasilkan data yang dapat digunakan.

Kegagalan geser pada balok beton bertulang digunakan untuk mengetahui kuat geser dari ketiga variabel yang berbeda, yang mendapatkan hasil bahwa beban maksimum sengkang kait dan sengkang las sudut yang mampu ditahan hampir sama atau sebanding. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa sengkang las sudut dapat menggantikan sengkang kait 135° .

Penggantian sengkang kait 135° dengan sengkang las sudut dapat menghemat tulangan yang digunakan sebesar 5 – 10 % tulangan sengkang. Berdasarkan hasil percobaan sengkang las kait 135° lebih stabil dalam menahan beban yang bekerja. Untuk penggunaan las sudut harus teliti pada tahap pelaksanaan.

Terjadi perbedaan antara hasil perhitungan tegangan sengkang (f_s) menurut Zararis (2003) dan eksperimen. Hal ini disebabkan retak dalam analisis Zararis didekati dengan garis lurus yang dalam eksperimen kenyataannya tidak selalu lurus.

SARAN

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini antara lain :

- 1) Sebelum melakukan pengujian dilakukan kalibrasi pada semua alat yang akan digunakan, sehingga akan menghasilkan data yang valid
- 2) Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian tarik pada sengkang las, sehingga hasil sengkang las kemungkinan tidak sesuai dengan standar yang berlaku.
- 3) Pengujian yang dilakukan harus sesuai dengan prosedur penelitian, sehingga tidak terjadi kesalahan pada saat pengujian berlangsung.
- 4) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji perilaku sengkang pada kolom dengan variasi sengkang yang berbeda yaitu dengan sengkang kait dan las.
- 5) Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mendapatkan hasil penelitian yang jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya, yaitu dengan menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak lagi agar didapatkan data yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Park, R and T. Paulay. 1975. *Reinforced Concrete Structure*. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- SNI-03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.
- Zararis, P. D. (2003). *Shear Compression Failure in Reinforced Concrete Deep Beams*. J.Struct. Eng., 129:544-553.