

STUDI EKSPERIMEN KAPASITAS TARIK DAN LENTUR PENJEPIT *CONFINEMENT* KOLOM BETON

Bernardinus Herbudiman¹, Hazairin² dan Agung Widiyantoro³

¹ Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Jl. PHH. Mustofa 23 Bandung, e-mail: herbudiman@itenas.ac.id

² Ketua Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Jl. PHH. Mustofa 23 Bandung e-mail: herin@itenas.ac.id

³ Alumni Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Jl. PHH. Mustofa 23 Bandung

ABSTRAK

Arrangement sengkang kolom standar, yaitu tipe *close-stirrup* dan *single-leg* mempunyai tingkat kesulitan dalam hal metode, sudut, dan panjang pembengkokan. Pada kolom berdimensi besar, *arrangement confinement* tipe 2-U dan 4-C lebih mudah dipabrikasi, namun memiliki kelemahan yaitu mudah lepas karena tipikal tidak ada pengait. Untuk mengatasi hal ini, penjepit digunakan agar kolom memiliki kekuatan yang mendekati atau sama dengan bentuk standar. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penjepit pada kuat lekat dan tarik tulangan sengkang. Studi eksperimental di laboratorium dilakukan melalui serangkaian tahapan penelitian yang meliputi pengujian kuat tarik tulangan, pabrikan tulangan dan penjepit, pengecoran benda uji, perawatan beton, uji kuat tekan silinder, uji kuat lekat tulangan, uji tarik penjepit dan uji tarik lentur penjepit. Tulangan lurus tanpa penjepit mempunyai kapasitas lekat paling tinggi, yaitu 4,5 N/mm². Tulangan dengan tambahan 1 dan 2 penjepit mengalami penurunan kapasitas lekat namun tidak linier dengan penambahan penjepitnya. Kapasitas angkur sebesar 4.583,33 N. Tambahan jumlah penjepit tidak linier dengan besarnya peningkatan kapasitas tarik penjepit. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya peningkatan kapasitas tarik sebesar 3.800 N untuk tambahan 1 penjepit dan 1.200 N untuk tambahan penjepit yang kedua, maka peningkatan kapasitas tarik penjepit yang kedua hanya sebesar 31,57% dari penjepit yang pertama. Tambahan jumlah penjepit tidak linier dengan besarnya peningkatan kapasitas tarik-lentur penjepit. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya peningkatan kapasitas tarik-lentur sebesar 363.750 Nmm untuk tambahan 1 penjepit dan 228.750 Nmm untuk tambahan penjepit yang kedua.

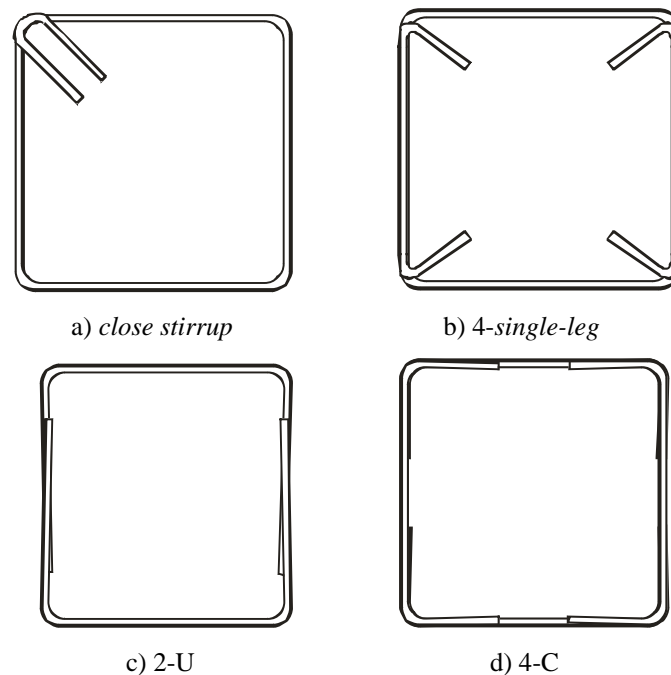
Kata kunci: penjepit, sengkang, kapasitas lekat, tarik, tarik-lentur

1. PENDAHULUAN

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal. Sengkang kolom berfungsi menambah kapasitas aksial dari kolom beton bertulang. Ketika beban kerja sudah mengalami ultimit dan selimut beton sudah mengalami *spalling* maka sengkang masih berfungsi untuk mengikat *core* kolom, sehingga kolom masih dapat berdeformasi lebih panjang sebelum runtuh dan menghindarkan keruntuhan kolom secara katastropik.

Terdapat beberapa jenis *arrangement* sengkang kolom standar yang dapat digunakan diantaranya adalah *close stirrup* dan *single-leg* seperti nampak pada Gambar 1a dan b. Pabrikasi sengkang kolom tipe ini mempunyai tingkat kesulitan yaitu dalam hal metode, sudut dan panjang pembengkokan. Untuk kolom dengan dimensi yang besar, teknis pelaksanaan seperti panjang penulangan, pabrikan, dan pembuatan sudut sulit dicapai. Untuk mengatasi kesulitan ini digunakan *arrangement confinement* dalam bentuk 2-U dan 4-C seperti nampak pada Gambar 1c dan d (Herbudiman, B., Hazairin, Manurung, E., 2009). Namun bentuk ini memiliki kelemahan yaitu mudah terlepas karena tipikal tidak ada pengait dan pembengkokan bersudut. Untuk mengatasi hal ini, digunakan tambahan penjepit dengan tujuan agar kolom ini memiliki kekuatan yang mendekati atau sama dengan bentuk *confinement* standar.

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh tambahan penjepit terhadap kekuatan sengkang, maka disusunlah suatu rancangan penelitian yang dapat menjawab permasalahan tersebut.

Gambar 1. Tipe *arrangement confinement*

2. SENGGANG DAN FUNGSINYA PADA KOLOM

Menurut SK-SNI 2002, tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan atau torsi dalam suatu komponen struktur yang disebut sengkang, terbuat dari batang tulangan, kawat baja atau jaring kawat baja las polos atau ulir, berbentuk kaki tunggal atau dibengkokkan dalam bentuk L, U atau persegi dan dipasang tegak lurus atau membentuk sudut, terhadap tulangan longitudinal. Sengkang merupakan bagian dari struktur kolom yang mempunyai peranan sangat vital. Dalam struktur kolom, sengkang berfungsi mencegah terjadinya pembesaran kolom ketika diberikan beban. Cara pemasangannya pun berbeda-beda. Ukuran minimum sengkang yaitu $\frac{1}{4}$ kali ukuran batang tekan terbesar. Jarak maksimum antar sengkang yaitu 12 kali ukuran batang tekan terkecil. Sengkang-sengkang harus diatur sedemikian rupa sehingga setiap batang sudut dan batang-batang diantaranya atau kelompok dalam suatu untaian luar dari tulangan memanjang diikat oleh suatu sengkang yang melingkari batang dan mempunyai suatu sudut potong tidak lebih besar dari 135° .

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan uji eksperimental yang didahului dengan pengujian properti material, pengujian kuat tarik tulangan, *mix design*, dan pembuatan benda uji. Pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine* dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Itenas, Bandung.

Persiapan bahan dan pengujian agregat

Pemeriksaan agregat penyusun beton dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter yang dibutuhkan dalam perencanaan *mix design* (ASTM, 1993). Agregat halus dan kasar berasal dari Galunggung. Hasil pengujian sifat fisik material ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik material

Jenis Pengujian	Agregat Halus	Agregat Kasar
Kadar air (SSD)	3,53	2,31
Berat isi (gembur)	1,42	1,28
Berat isi (padat)	1,465	1,29
Kadar lumpur	2,68	-
Berat jenis	3,435	2,125
Modulus kehalusan (FM)	2,4	1,14

Perencanaan campuran beton

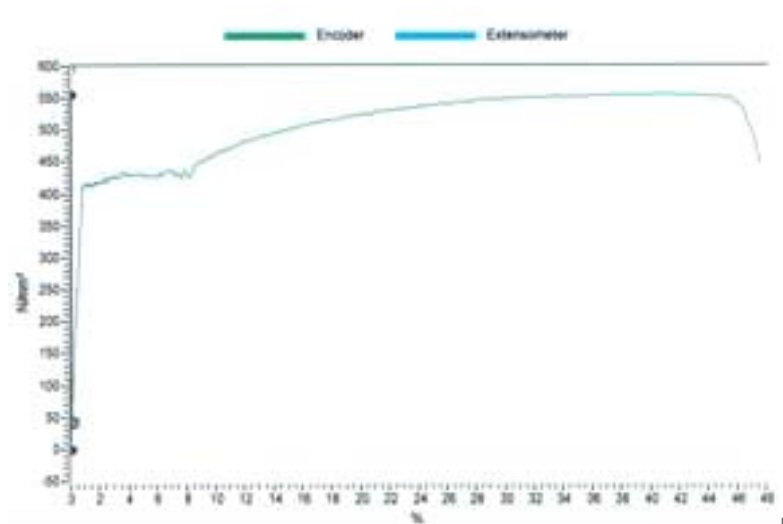
Metode SNI T-15-1990-03 merupakan metode perencanaan campuran beton yang menjadi standar dalam pembuatan rencana campuran beton normal di Indonesia. Komposisi campuran untuk 1m³ beton dengan kuat tekan rencana 45 MPa dibutuhkan: semen 640,6 kg, pasir 527,4 kg, kerikil 872,93 kg, dan air 167,55 kg.

Pengujian kuat tarik tulangan

Pengujian kuat tarik tulangan diameter 7mm polos dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* seperti nampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Uji kuat tarik baja tulangan

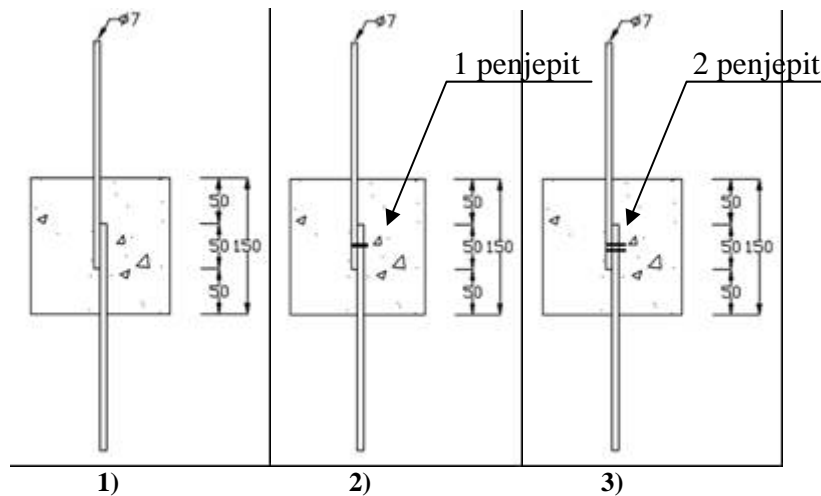


Gambar 3. Hasil pengujian kuat tarik tulangan

Hasil dari pengujian kuat tarik tulangan berupa diagram tegangan-regangan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dari hasil pengujian nampak bahwa kuat leleh tulangan $f_y = 396,5$ MPa dan kuat tarik tulangan $f_u = 546,7$ MPa.

Uji kuat lekat tulangan

Pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan 6 buah benda uji yang terdiri dari sepasang tulangan atas bawah berdiameter 7mm masing-masing ditanam sedalam 100mm pada kubus beton berukuran 150 x 150 x 150 mm³. Keenam benda uji tersebut terdiri dari masing-masing 2 benda uji tanpa penjepit, dengan 1 penjepit dan dengan 2 penjepit, seperti nampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Setup pengujian kuat lekat

Pada pengujian kuat lekat tulangan (Sufanir, 2006), moda keruntuhan yang diharapkan adalah tulangan lepas dari beton sehingga tulangan tidak boleh putus. Maka kuat lekat lebih kecil dari kuat tariknya (f_u). Kuat lekat tulangan (f_b) dihitung dengan Persamaan 2 :

$$f_b = \frac{P}{\pi * D * L} \quad (2)$$

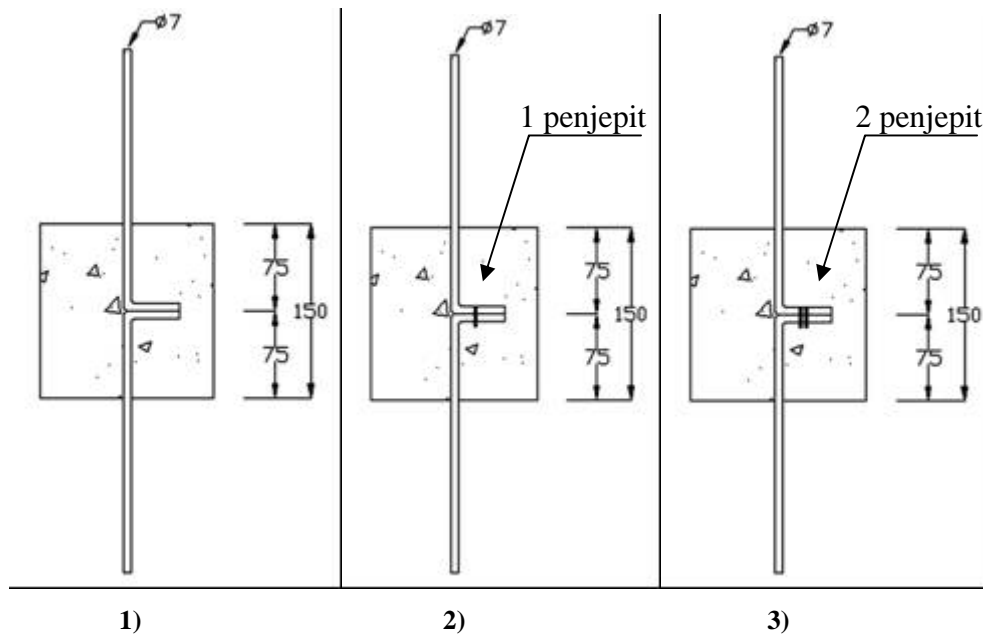
dimana P adalah beban lekat maksimum (N), D adalah diameter tulangan (mm), dan L adalah panjang lekat tulangan (mm).

Jika kapasitas lekat tulangan adalah 3 MPa (Sufanir, 2006) dan tidak boleh melebihi asumsi kapasitas tarik 240 MPa, maka panjang kedalaman lekat tulangan untuk kasus ini harus lebih kecil dari 139 mm. Pada setup pengujian ini diambil kedalaman tulangan 100 mm.

Uji kapasitas tarik penjepit

Pengujian kapasitas tarik penjepit menggunakan 9 buah benda uji yang terdiri dari sepasang tulangan atas bawah terangkur berdiameter 7mm masing-masing ditanam sedalam 75mm pada kubus beton berukuran 150 x 150 x 150 mm³. Kesembilan benda uji tersebut terdiri dari masing-masing 3 benda uji tanpa penjepit, dengan 1 penjepit, dan dengan 2 penjepit, seperti nampak pada Gambar 5.

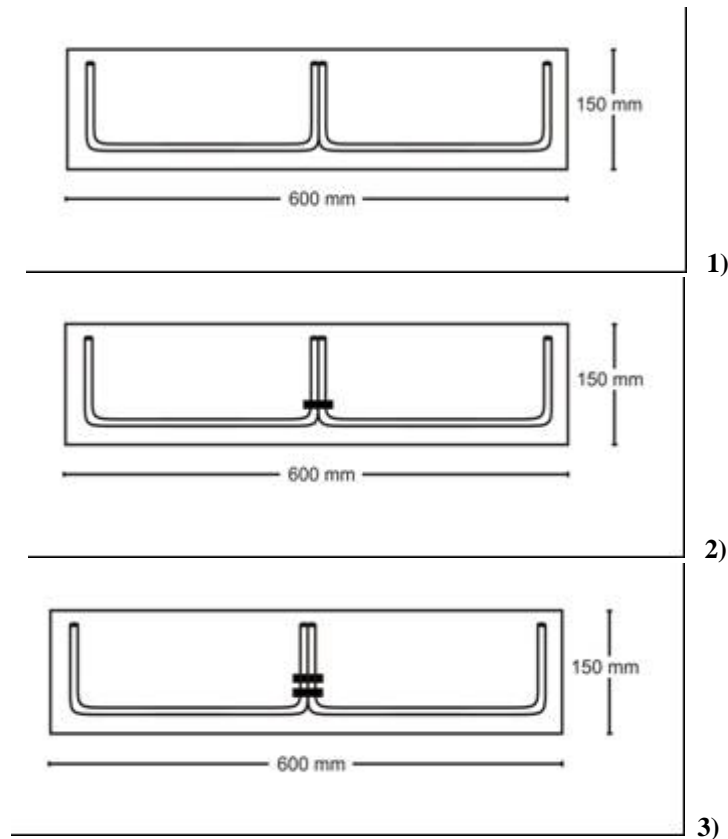
Langkah-langkah pengujian kapasitas tarik penjepit sama dengan pengujian kuat lekat tulangan.



Gambar 5. Setup pengujian tarik penjepit

Uji kapasitas tarik-lentur penjepit

Pengujian kapasitas tarik-lentur penjepit menggunakan 6 buah benda uji berupa balok beton sederhana berukuran 150 x 150 x 600 mm³ yang menggunakan sepasang tulangan tarik kiri-kanan terangkur berdiameter 7mm. Balok tersebut dibebani dengan sepasang beban terpusat pada sepertiga bentang yang mengakibatkan lentur murni. Keenam benda uji tersebut terdiri dari masing-masing 2 benda uji tanpa penjepit, dengan 1 penjepit, dan dengan 2 penjepit. Adapun setup pembebanan nampak pada Gambar 6.

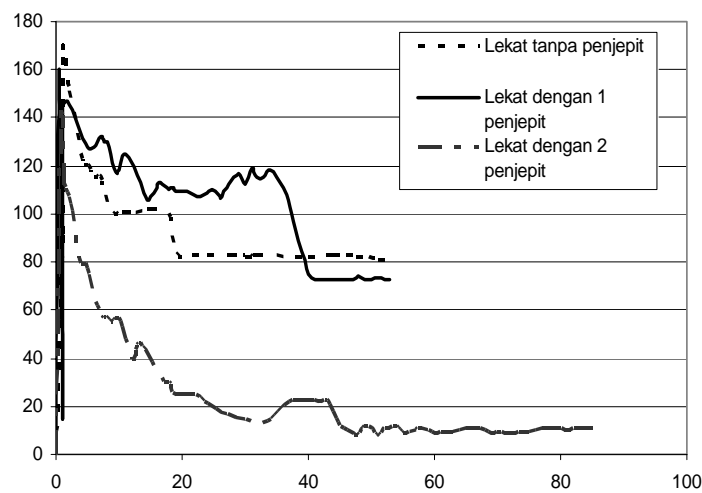


Gambar 6. Setup pengujian tarik-lentur penjepit

4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Uji kapasitas lekat tulangan

Hasil uji kuat lekat tulangan nampak pada Gambar 7. Hasil pengujian kuat lekat baja tulangan dengan diameter aktual 6,68mm, panjang lekat 100mm, dengan luas selimut lekat (A_b) 2097,5mm² yang ditanam pada beton berukuran 150x150x150 mm³ nampak pada Tabel 2.



Gambar 7. Hasil uji kapasitas lekat tulangan

Tabel 2. Hasil uji kapasitas lekat tulangan

Jumlah penjepit	F_b (N)	F_b rata-rata (N)	f_b (MPa)	f_b rata-rata (MPa)
Tanpa penjepit	9.600	9.350	4,6	4,5
	9.100		4,3	
1	8.000	7.950	3,8	3,8
	7.900		3,8	
2	7.000	7.550	3,3	3,6
	8.100		3,9	

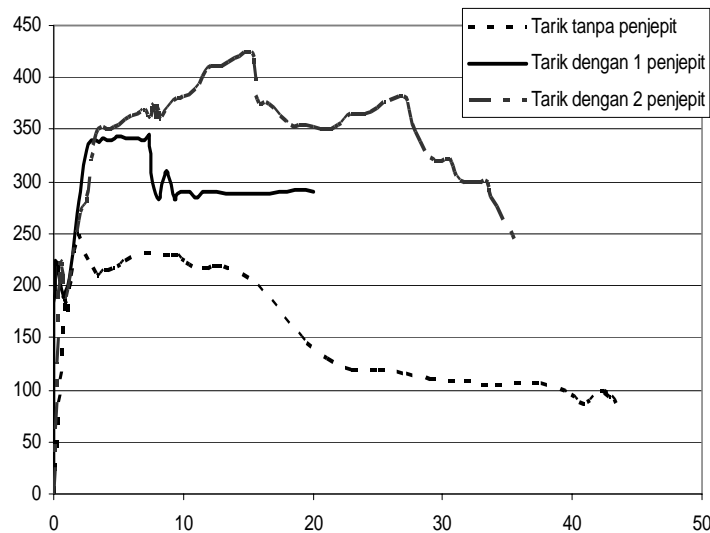
Dari Gambar 6 nampak bahwa tulangan dengan menggunakan penjepit mempunyai kapasitas lekat lebih kecil bila dibandingkan tanpa penjepit dikarenakan berkurangnya luas selimut lekatan akibat adanya penjepit.

Dari Tabel 2 nampak bahwa tulangan lurus tanpa penjepit mempunyai kapasitas lekat paling tinggi, yaitu $4,5 \text{ N/mm}^2$. Tulangan dengan tambahan 1 penjepit mempunyai kapasitas lekat sebesar $3,8 \text{ N/mm}^2$. Bila dibandingkan dengan tanpa penjepit mengalami penurunan kapasitas lekat sebesar 15,6%.

Tulangan dengan tambahan 2 penjepit mempunyai kapasitas lekat sebesar $3,6 \text{ N/mm}^2$. Bila dibandingkan dengan tanpa penjepit mengalami penurunan kapasitas lekat sebesar 20%. Bila dibandingkan dengan 1 penjepit mengalami penurunan kapasitas lekat sebesar 5,3%.

Uji kuat tarik penjepit

Hasil uji kuat tarik penjepit sengkang nampak pada Gambar 8. Dari pengujian kuat tarik penjepit yang ditanam pada beton berukuran $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$ diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.



Gambar 8. Uji kapasitas tarik penjepit

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tarik penjepit

Jumlah penjepit	F_t (N)	F_t rata-rata (N)
Tanpa penjepit	12.600	13.933,33
	12.700	
	16.500	
1	17.700	17.733,33
	16.600	
	18.900	
2	21.100	18.933,33
	16.500	
	19.200	

Dari Tabel 3 nampak bahwa kuat tarik tanpa penjepit (F_{t0}) yaitu sebesar 13.933,33 N, sedangkan dari Tabel 2 nampak bahwa kuat lekat tanpa penjepit (F_{b0}) yaitu sebesar 9.350 N. Maka kapasitas ankur adalah sebesar 4.583,33 N.

Selanjutnya dari Tabel 3, kuat tarik dengan 1 penjepit (F_{t1}) yaitu sebesar 17.733,33 N, sedangkan kuat tarik tanpa penjepit (F_{t0}) yaitu sebesar 13.933,33 N, maka sebuah penjepit memberi tambahan kapasitas tarik sebesar 3.800 N atau meningkat sebesar 27,2%.

Kuat tarik dengan 2 penjepit (F_{t2}) yaitu sebesar 18.933,33 N, sedangkan kuat tarik tanpa penjepit (F_{t0}) yaitu sebesar 13.933,33 N, maka 2 buah penjepit memberi tambahan kapasitas tarik sebesar 5.000 N atau meningkat sebesar 35,88%.

Kuat tarik dengan 2 penjepit (F_{t2}) yaitu sebesar 18.933,33 N, sedangkan kuat tarik dengan 1 penjepit (F_{t1}) yaitu sebesar 17.733,33 N, maka 1 penjepit memberi tambahan kapasitas tarik sebesar 1.200 N atau meningkat sebesar 6,33%.

Tambahan jumlah penjepit tidak linier dengan besarnya peningkatan kapasitas tarik penjepit. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya peningkatan kapasitas tarik sebesar 3.800 N untuk tambahan 1 penjepit dan 1.200 N untuk tambahan penjepit yang kedua, maka peningkatan kapasitas tarik penjepit yang kedua hanya sebesar 31,57% dari penjepit yang pertama.

Uji kapasitas lentur penjepit

Dari pengujian kuat lentur penjepit diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat lentur penjepit

Jumlah penjepit	P (N)	P rata-rata (N)	M (Nmm)	M rata-rata (Nmm)
Tanpa penjepit	25.000	25.000	1.875.000	1.875.000
	25.000		1.875.000	
1	30.300	29.850	2.272.500	2.238.750
	29.400		2.205.000	
2	32.900	32.900	2.467.500	2.467.500
	32.900		2.467.500	

Dari Tabel 4 nampak bahwa kuat lentur tulangan (M_0) yaitu sebesar 1.875.000 Nmm.

Kuat lentur 1 penjepit (M_1) yaitu sebesar 2.238.750 Nmm, sedangkan kuat lentur tulangan (M_0) yaitu sebesar 1.875.000 Nmm, maka sebuah penjepit memberi tambahan kapasitas lentur sebesar 363,750 Nmm atau meningkat sebesar 16,24 %.

Kuat lentur 2 penjepit (M_2) yaitu sebesar 2.467.500 Nmm, sedangkan kuat lentur tulangan (M_0) yaitu sebesar 1.875.000 Nmm, maka 2 buah penjepit memberi tambahan kapasitas lentur sebesar 592.500 Nmm atau meningkat sebesar 24,01 %.

Kuat lentur dengan 2 penjepit (M_2) yaitu sebesar 2.467.500 Nmm, sedangkan kuat lentur dengan 1 penjepit (M_1) yaitu sebesar 2.238.750 Nmm, maka 1 penjepit memberi tambahan kapasitas lentur sebesar 228.750 Nmm atau meningkat sebesar 9,27%.

Tambahan jumlah penjepit tidak linier dengan besarnya peningkatan kapasitas lentur penjepit. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya peningkatan kapasitas lentur sebesar 363.750 Nmm untuk tambahan 1 penjepit dan 228.750 N untuk tambahan penjepit yang kedua.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Tulangan lurus tanpa penjepit mempunyai kapasitas lekat paling tinggi, yaitu 4,5 N/mm². Tulangan dengan tambahan 1 dan 2 penjepit mengalami penurunan kapasitas lekat namun tidak linier dengan penambahan penjepitnya.
2. Kapasitas angkur sebesar 4.583,33 N
3. Tambahan jumlah penjepit tidak linier dengan besarnya peningkatan kapasitas tarik penjepit. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya peningkatan kapasitas tarik sebesar 3.800 N untuk tambahan 1 penjepit dan 1,200 N untuk tambahan penjepit yang kedua, maka peningkatan kapasitas tarik penjepit yang kedua hanya sebesar 31.57% dari penjepit yang pertama.
4. Tambahan jumlah penjepit tidak linier dengan besarnya peningkatan kapasitas lentur penjepit. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya peningkatan kapasitas lentur sebesar 363.750 Nmm untuk tambahan 1 penjepit dan 228.750 Nmm untuk tambahan penjepit yang kedua.

DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book of ASTM Standars, (1993), Section 4, Construction Volume 04.02: *Concrete and Aggregates*, ASTM, Philadelphia.
- Herbudiman, B., Hazairin, Manurung, E. (2009), *Influence of confinement modifications on axial capacity of reinforced concrete column*, Proceeding of The 1st International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (ICRMCE), Solo, Indonesia, pp.145-150.
- SK SNI T-15 (1991), *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*, Yayasan LPMB, Bandung.
- SK SNI (2002), *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*,
- Sufanir, Sultan (2006), *Studi kuat lekat dan kuat tarik pada berbagai diameter tulangan yang dilapisi seng dan direndam dalam air laut*, Tugas Akhir Itenas, Bandung