

HUBUNGAN GAYA DAN DEFORMASI BOUT PADA SAMBUNGAN KAYU AKIBAT GAYA SENTRIS

Putu Deskarta¹, Dharma Putra¹

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar
Email; pdeskarta@yahoo.com

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara gaya terhadap deformasi (slip) baut pada sambungan kayu akibat beban sentris. Hubungan ini akan digunakan sebagai dasar untuk menghitung kekuatan sambungan kayu karena beban eksentris dengan mengacu kepada teori ICR (titik pusat rotasi sementara) yang umum digunakan pada sambungan baja. Benda uji adalah sambungan kayu simetris dengan pengikat baut. Ada dua kelompok sampel yaitu kelompok untuk pembebanan sentris dan kelompok untuk pembebanan eksentris. Ada delapan jenis perlakuan dengan benda uji untuk beban sentris. Benda uji berupa kayu tepi yang sama berukuran 4/12 dan kayu tengah dengan variasi ukuran 4/12 dan 6/12 serta variasi diameter baut 8mm, 10 mm dan 12mm. Untuk beban eksentrik dibuat satu jenis perlakuan dengan benda uji memakai kayu tepi ukuran 4/12 dan kayu tengah 6/12 serta 4 baut berdiameter 8mm. Setiap jenis perlakuan terdiri dari 3 kali pengulangan sehingga total ada 27 buah benda uji. Hasil penelitian menunjukkan hubungan gaya dan deformasi membentuk kurva lengkung yang dapat disederhanakan sebagai kurva bilinear. Kurva linier pertama memiliki kemiringan lebih besar dari kurva kedua pada deformasi < 2 mm. Sudut kemiringan tergantung pada kekakuan lentur baut. Semakin besar kekakuan, Semakin besar kemiringan. Berdasarkan rumus PKKI NI-5 1961, $S_1 = k_1 \cdot db^3 (1 - m_1 \sin \alpha)$ dan $S_2 = k_2 \cdot d^2 (1 - m_2 \sin \alpha)$, di dalam perhitungan kekuatan sambungan ijin, diperoleh nilai k dan m yang berbeda, sesuai dimensi kayu pusat dan diameter baut. Selanjutnya, untuk menghitung gaya baut pada kelompok baut digunakan rumus $F_i = K \cdot (r_i / r_{maks}) \times \delta_{ijin} (1 - m \cdot \sin \alpha)$. Kekuatan sambungan baut menerima beban eksentris dari hasil perhitungan menggunakan teori ICR, dibandingkan dengan hasil pengujian adalah sekitar setengahnya.

Kata Kunci: Kekuatan Sambungan, Instantaneous Center of Rotation (ICR)

THE RELATIONSHIP BETWEEN FORCE AND BOLT DEFORMATION ON WOODEN JOINT DUE TO CENTRIC LOAD

Abstract: The study is to analyse the relationship between force and bolt deformation on wooden joint due to centric loads. That relationship will be used as a base to calculate the strength of wood connection due to eccentric load using ICR (instantaneous center of rotation) theory which commonly used on steel design. The samples are wooden symmetric joint with bolts fastener. There are two group of samples which are group for centric load and group for eccentric load. There are eight types of specimens for centric load. The specimens use the same wood dimension of 4/12 for edge wood and variation of 4/12 and 6/12 for center wood. The bolts for connection are varied in diameters which are 8, 10, and 12 mm. For eccentric loads there is only one type of specimen using wood 4/12 and 6/12 for edge and center wood respectively and four bolt 8mm diameter for fastener. There are tree repetition test for each type of specimens, hence there are totally 27 specimens. Results of experiment showed that the force and deformation relationship exhibit curved lines which can be consider as two linier lines. The first line until deformation of 2 mm has a bigger slope. The slope depends on the flexural stiffness of bolts. The bigger the stiffness, the greeter the slope is. Based on PKKI NI-5 1961 formula; $S_1 = k_1 \cdot db^3$

$(1 - m_1 \sin \alpha)$ and $S_2 = k_2 \cdot d^2 (1 - m_2 \sin \alpha)$, to calculate the allowable strength of connection, the experiment resulted in different value of k and m depending on center wood dimensions and bolt diameters. Furthermore, the force of each bolt on eccentric connection can be simplified to a formula $F_i = K \cdot (r_i / r_{maks}) \times \delta_{ijin} (1 - m \cdot \sin \alpha)$. Based on ICR theory, the strength of a connection due to eccentric loads is about half of the experiment result.

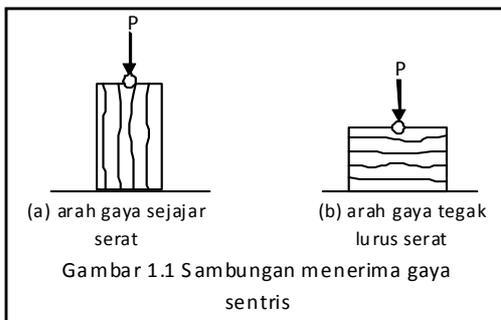
Keywords: Strength of Connection, ICR (Instantaneous Center of Rotation)

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada suatu konstruksi kayu umumnya terdapat sambungan dan joint. Pada sambungan dan joint bisa terjadi gaya sentris atau eksentris. Baut adalah salah satu alat sambung yang biasa dipakai pada sambungan atau joint tersebut. Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) maupun Standar Nasional Indonesia (SNI) Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia tidak membahas secara jelas sambungan kayu yang menerima beban eksentris. Untuk itu peneliti ingin mencoba melakukan penelitian untuk mendapatkan formula hubungan gaya dan deformasi baut pada sambungan kayu dengan beban sentris. Formula itu nantinya akan dipakai untuk menghitung kekuatan sambungan kayu terhadap beban eksentris yang mengacu pada teori *instantaneous center of rotation* (ICR). Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan hasil yang didapat dari pengujian sambungan beban eksentris.

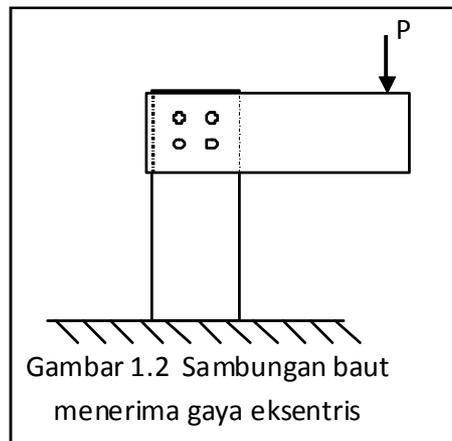
Untuk mendapatkan data sesuai dengan tujuan penelitian diperlukan dua jenis benda uji sebagai berikut :



- Sambungan bertampang dua menerima gaya sentris memakai satu buah baut, (dimensi kayu dan diameter baut berva-

riasi) sehingga didapat perilaku seperti pada gambar dibawah.

- Sambungan bertampang dua menerima gaya tidak sentris.



Pada sambungan ini gaya yang bekerja pada masing-masing baut tidak sama sehingga baut memberikan reaksi yang tidak sama pula. Perlakuan ini dilakukan untuk menerapkan teori *instantaneous center of rotation* (ICR).

Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang dipaparkan diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu :

- Bagaimanakah hubungan beban dan deformasi sebuah baut pada sambungan kayu yang menerima gaya sentris.
- Bagaimana teori *instantaneous center of rotation* (ICR) dapat digunakan untuk menghitung sambungan kayu memakai baut yang menerima beban eksentris, serta perbandingannya dengan hasil penelitian.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

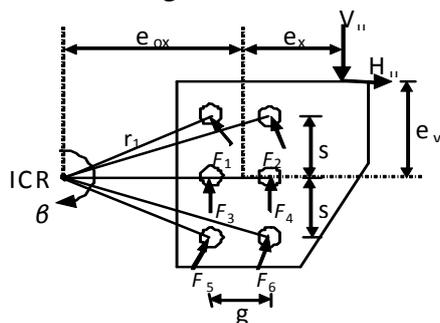
- Untuk mengetahui bagaimana hubungan pembebanan dengan deformasi sebuah baut pada sambungan kayu yang menerima gaya sentris.
- Untuk membandingkan kuat sambungan berdasarkan teori instantaneous center of rotation (ICR) dan eksperimen pada sambungan kayu yang menerima beban eksentris.

TINJAUAN PUSTAKA

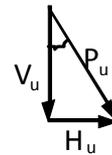
Baut sebagai alat penyambung banyak dipakai meskipun sebetulnya tidak begitu baik, hal ini dikarenakan efisiensi dari sambungan baut rendah (30%) (K. H. Felix Yap, 1965). Tegangan-tegangan dalam arah sambungan maupun pada penampang baut dianggap rata dalam perhitungan walaupun pada kenyataannya tidak. Kekuatan sambungan hanya ditentukan oleh kuat desak kayu pada lubang serta kekuatan baut, tidak oleh kuat tarik atau geser baut,

Teori ICR merupakan salah satu teori mencari kekuatan sambungan dengan beban eksentris yang biasa digunakan pada struktur baja. Teori ini menggunakan titik bantu letak pusat rotasi sementara formasi baut pada saat keruntuhan. Posisi titik tersebut dicoba-coba dengan trial and error, hingga persamaan keseimbangan gaya dan momen pada sambungan terpenuhi. Teori ini merupakan persamaan mekanika biasa yang dapat digunakan untuk bahan konstruksi apapun dengan jika diketahui hubungan gaya dan deformasi alat sambung pada bahan tersebut.

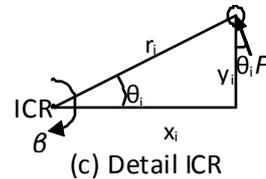
Untuk lebih jelasnya teori ICR dapat digambarkan sebagai berikut :



(a) FBD of bracket plate



(b) Komponen gaya eksentris



(c) Detail ICR

Gambar 2.1 Instantaneous Center of Rotation

Persamaan yang harus dipenuhi oleh sambungan :

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i / r_i = V_u$$

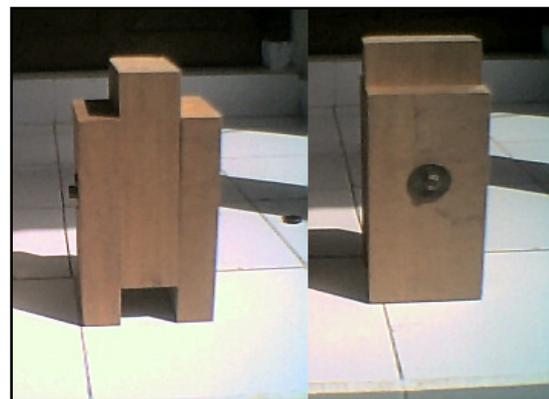
$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i / r_i = H_u$$

$$(e_{ox} + e_x) V_u + e_y H_u = \sum_{i=1}^n r_i F_i$$

Dengan cara coba-coba (Trial & error) letak titik ICR dirubah-rubah sehingga ketiga persamaan diatas terpenuhi, dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa teori ICR dapat digunakan untuk bahan apapun dengan mencari nilai Fi (Gaya baut pada bahan tersebut)

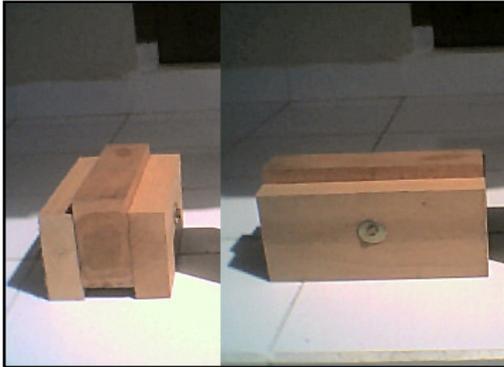
METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dibuat dua jenis benda uji yaitu benda uji yang menerima beban sentris dan benda uji yang menerima beban eksentris :



a) arah gaya sejajar serat

- Benda uji beban sentris dibuat untuk mendapatkan hubungan gaya dan deformasi satu buah baut pada kayu.



b) arah gaya tegak lurus serat

Gambar 3.2 Benda uji dengan gaya sentris

Ada 8 perlakuan benda uji sentris seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.1 Perlakuan benda uji beban sentris

Kode Sampel	Dimensi kayu (cm)		Ø baut (mm)	α (°)
	Kayu tengah	Kayu tepi		
SI	4/12	2x4/12	8	0
SII	4/12	2x4/12	10	0
SIII	4/12	2x4/12	12	0
SIV	4/12	2x4/12	8	90
SV	6/12	2x4/12	8	0
SVI	6/12	2x4/12	10	0
SVII	6/12	2x4/12	12	0
SVIII	6/12	2x4/12	8	90

- Benda uji beban eksentris
Perlakuan ini dilakukan untuk menerapkan teori instantaneous center of rotation (ICR)



Gambar 3.3 Benda uji dengan gaya eksen-tris

Tabel 3.2 Benda uji beban eksentris

No. Sampel	Dimensi kayu (cm)		Ø baut (mm)	Jumlah baut
	Kayu tepi	Kayu tengah		
	TS	2 x 4/12	6/12	8

Pengujian dilakukan setelah benda uji dibuat sedemikian rupa seperti yang direncanakan. Pengujian benda uji beban sentris dilakukan pada alat Matest Sri Breambate Sopra 24030 Italy dengan kapasitas 150 KN, sedangkan pengujian benda uji beban eksentris dilakukan pada alat Universal Testing Machine seperti pada gambar 3.4 dan 3.5 berikut. Benda uji diletakkan tepat pada bagian tengah dari blok penekan lalu diberikan beban terpusat. Pembebanan dilakukan secara terus menerus hingga benda uji tidak dapat menerima beban lagi. Pada saat pemberian beban dicatat beban yang diberikan serta deformasi yang terjadi hingga mencapai beban maksimum. Deformasi diukur dengan menggunakan alat Dial Gauge yang dipasang di depan benda uji.



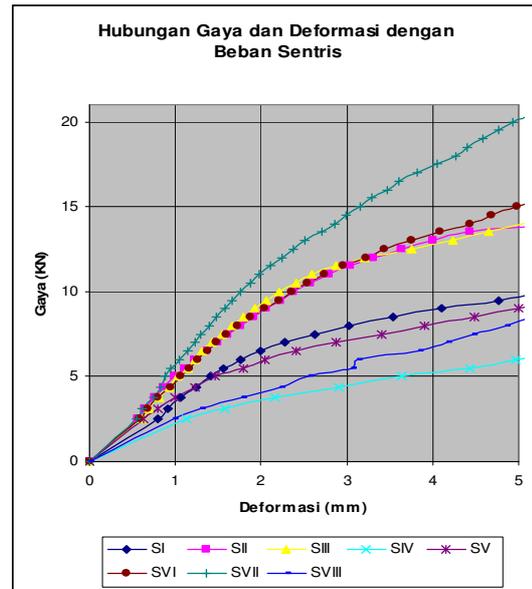
Gambar 3.4 Pengujian benda uji beban sentris



Gambar 3.5 Pengujian benda uji beban eksentris

HASIL DAN PEMBAHASAN

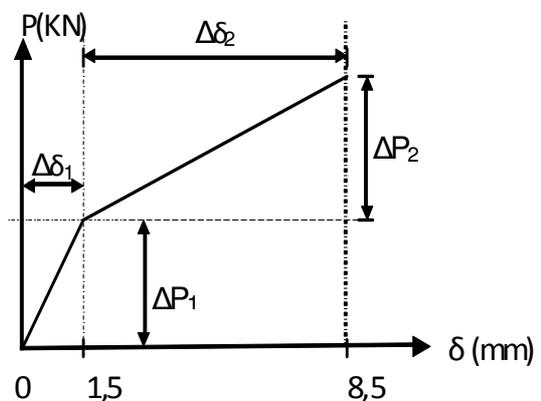
Data yang didapat dari pengujian selanjutnya diplot dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan antara beban dengan deformasi. Grafik hubungan gaya dan deformasi baut beban sentris sampai dengan deformasi 8,5 mm menyerupai suatu lengkung yang dapat disederhanakan dengan pendekatan dua garis linear. Titik potong kedua garis tersebut terletak sekitar deformasi 1,5 mm. Model grafik dua garis linier tersebut dapat digambarkan seperti gambar 4.2. Dari setiap grafik kemudian dicari kemiringan kurva (*K*) yang merupakan koefisien kekakuan dari hubungan antara gaya dengan deformasi baut pada sambungan. Hubungan gaya dan deformasi tersebut kemudian dipakai sebagai formula untuk menghitung gaya yang bekerja pada tiap baut pada sambungan eksentris. Gaya yang disumbangkan oleh tiap baut dibatasi pada deformasi ijin (δ_{max}) baut sebesar 1,5 mm. Deformasi ijin baut ini kemudian ditransfer menjadi deformasi ijin benda uji, seperti gambar 4.3, sehingga didapatkan kuat tekan ijin untuk masing-masing benda uji. Kuat tekan pada deformasi ijin dipakai karena kuat ultimit sambungan terjadi pada deformasi yang sangat besar sehingga tidak dapat digunakan sebagai dasar perencanaan. Kuat tekan pada deformasi ijin serta kemiringan kurva pada deformasi ijin ditunjukkan pada tabel 4.1



Gambar 4.1 Grafik hubungan gaya dan deformasi akibat beban sentris

Tabel 4.1 Gaya rata-rata dan kemiringan benda uji beban sentris

No Sampel	Ø Baut (mm)	Tebal kayu (cm)	Arah serat	\bar{P}_{ijin} (KN)	<i>K</i>
SI	8	4	//	5,583	3,722
SII	10	4	//	7,403	4,935
SIII	12	4	//	7,354	4,903
SIV	8	4	⊥	3,027	2,018
SV	8	6	//	5,093	3,395
SVI	10	6	//	7,311	4,874
SVII	12	6	//	8,776	5,851
SVIII	8	6	⊥	3,344	2,229



Gambar 4.2 Model Kurva Bilinier Gaya dan Deformasi Beban Sentris

Dimana : $K_1 = \frac{\Delta P_1}{\Delta \delta_1}$
 $K_2 = \frac{\Delta P_2}{\Delta \delta_2}$

Karena deformasi yang diijinkan 1,5 mm dimana nilai tersebut terdapat pada persamaan garis linear pertama maka persamaan yang digunakan adalah:

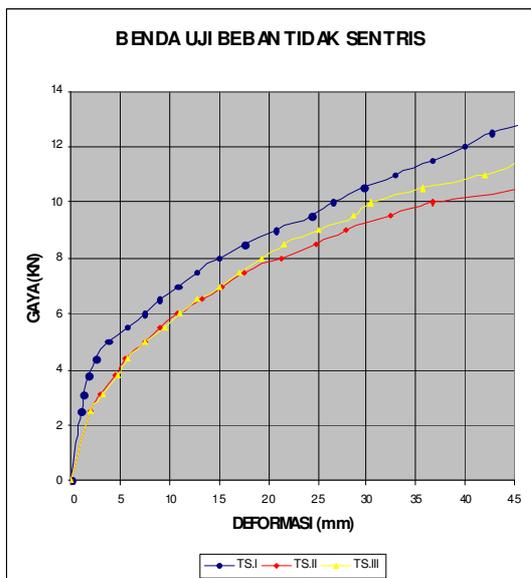
$F = K_1 \cdot \delta_1$

Dimana :

- F = Gaya pada baut
- K_1 = Kemiringan (slope) dengan deformasi $\leq 1,5$ mm
- δ_1 = Deformasi (mm) $\leq 1,5$ mm

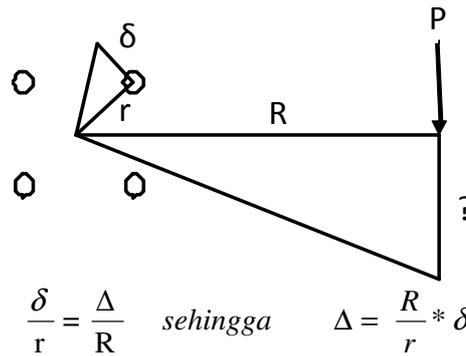
Nilai K_1 untuk masing-masing benda uji dapat dilihat dalam tabel 4.1.

Selanjutnya pada pengujian benda uji menerima gaya eksentris dicatat data besar gaya serta deformasi pada titik beban.



Gambar 4.3 Grafik hubungan gaya dan deformasi akibat beban sentris

Data tersebut kemudian di plot dalam bentuk kurva seperti yang ditampilkan dalam gambar 4.3. Dari kurva hubungan gaya serta deformasi tersebut dicari besarnya gaya pada deformasi baut terbesar (δ_{max}) mencapai 1,5 mm atau deformasi titik beban sambungan (Δ) sebesar 7,3 mm. Hasilnya ditabelkan seperti tabel 4.2



Gambar 4.3. Menghitung deformasi ijin benda uji eksentris

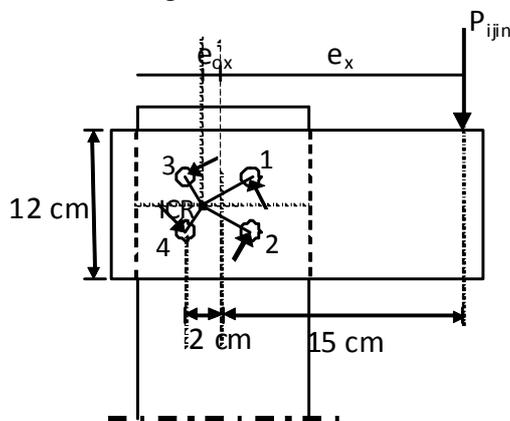
dimana :

- δ = deformasi ijin baut (1,5 mm)
- Δ = deformasi ijin sambungan (7,3mm)
- r = jari-jari max. rotasi baut (31,6mm)
- R = Jarak beban ke pusat ICR (154,5mm)

Tabel 4.2 Gaya rata-rata dan kemiringan untuk beban eksentris

No. Sampel	Deformasi max baut (δ) = 1,5 mm		
	P_s (KN)	\bar{P}_s (KN)	K_s
TS.1	6,0		4,207
TS.2	5,0	5,0	3,452
TS.3	5,0		3,403

Perhitungan kuat sambungan untuk benda uji sambungan kayu tumpang dua dengan menggunakan 4 buah baut berdiameter 8 mm dengan dimensi kayu tengah 6/12 dan kayu tepi 4/12 dengan jarak pembebanan 15 cm dari pusat formasi baut adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4 Letak ICR

$$e_x = 150 \text{ mm}$$

$$F_i = K \cdot \frac{r_i}{r_{\max}} \times \delta_{\text{ijin}} (1 - m \sin \alpha)$$

Dimana :

$K = 3,395$ dari tabel ; $\delta_{\text{ijin}} = 1,5 \text{ mm}$; $m = 0,35$ dari tabel ; coba $e_{\text{ox}} = 4,5 \text{ mm}$, maka

$$r_{\text{maks}} = \sqrt{24,5^2 + 20^2} = 31,627 \text{ mm}$$

Perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perhitungan kuat sambungan beban eksentris

Baut	x_i	y_i	r_i	$\frac{r_i}{r_{\max}}$	α	F_i	$\frac{F_i \cdot X_i}{r_i}$	$F_i \cdot r_i$
	24,5						3,07	125,
1	24,5	20	31,6	1	39,2	3,97	3,07	4
2	-	-20	31,6	1	39,2	3,97	-	125,
3	15,5	20	25,3	0,80	52,2	2,95	1,81	4
4	-	-20	25,3	0,80	52,2	2,95	-	74,6
	15,5						1,81	74,6
						Σ	2,53	400,0

$$P_{\text{ijin}} = F_i \cdot \frac{X_i}{r_i} = 2,532 \text{ KN}$$

$$P_{\text{ijin}} = \frac{\sum_{i=1}^4 F_i \cdot r_i}{(e_{\text{ox}} + e_x)} = \frac{400,05}{(4,5 + 150)} = 2,589 \text{ KN}$$

Kedua persamaan diatas sudah memberikan P_{ijin} yang hampir sama, berarti titik ICR terletak pada 4,5 mm dari pusat formasi baut. Jadi didapatkan kekuatan sambungan secara teoritis $P_{\text{ijin}} = 2,589 \text{ KN}$.

Guna menentukan P_{ijin} hasil penelitian maka harus ditentukan Δ_{ijin} dari sambungan yaitu

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{R}{r} * \delta = \frac{154,5}{31,6} * 1,5 = 7,3 \text{ mm}$$

Dengan memplot nilai deformasi = 7,3 mm pada grafik didapat nilai beban sebesar 5,0 KN sehingga antara hasil penelitian dengan secara perhitungan terdapat faktor koreksi sebesar :

$$Z = \frac{5,0}{2,589} = 1,93 \approx 2$$

Hasil tersebut dapat dipakai sebagai angka keamanan untuk teori ini.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil penelitian menunjukkan hubungan gaya dan deformasi baut beban sentris dapat disederhanakan dalam bentuk persamaan:

$$F = K \cdot \delta \text{ untuk } \delta \leq 1,5 \text{ mm}$$

Sehingga untuk baut dalam kelompok baut memberikan persamaan :

$$F_i = K \cdot \frac{r_i}{r_{\max}} \times \delta_{\text{ijin}} (1 - m \sin \alpha)$$

- Dari kurva beban terhadap deformasi beban sentries terlihat bahwa beban terus membesar seiring dengan bertambahnya deformasi sampai deformasi yang besar melebihi batas dial gate.
- Semakin besar diameter baut yang digunakan dengan dimensi kayu yang sama maka semakin besar kuat tekan sambungan yang terjadi.
- Semakin besar dimensi (tebal) kayu yang digunakan, untuk diameter baut yang sama, semakin kecil tegangan ijin sambungan yang didapatkan. Hal ini dikarenakan faktor kekakuan baut dimana semakin tebal kayu yang digunakan maka kekakuan baut semakin berkurang.
- Gaya yang diterima masing-masing baut dalam kelompok baut pada sambungan kayu yang menerima beban tidak sentris tidak sama hal ini terlihat dengan perbedaan deformasi yang terjadi pada masing-masing baut tersebut, oleh karena itu teori ICR atau menggunakan titik bantu letak pusat rotasi formasi baut sangat tepat digunakan.
- Dari hasil perhitungan menggunakan teori ICR dibandingkan dengan hasil penelitian memberikan faktor keamanan dua.

Saran

Setelah melihat hasil penelitian dan pembahasan, maka penulis dapat memberikan saran-saran sebagai berikut :

- Perhitungan sambungan selain dengan menggunakan rumus persamaan yang terdapat pada PKKI NI-5 1961 perlu juga diperhatikan faktor kekakuan baut.
- Perlu dilakukan penelitian yang sejenis dengan formasi baut yang lebih beragam terutama untuk sambungan yang menerima gaya tidak sentris sehingga lebih jelas terlihat deformasi masing-masing baut dalam satu kelompok baut.
- Untuk mendapatkan sambungan yang lebih kuat sebaiknya baut dengan mur dikencangkan sekuat-kuatnya dan menggunakan ring sehingga dapat membuat sambungan lebih kaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus.1961. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 PKKI 1961*. Departemen Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- Dumanauw, J. F. 1960. *Mengenal Kayu*. Kanisius. Yogyakarta
- Frick, H. 1982. *Ilmu Konstruksi Bangunan Kayu*. Kanisius. Yogyakarta.
- Gunawan, T., Margaret, S. 1989. *Teori Soal dan Penyelesaian Konstruksi Baja I*. Jilid I. Delta Teknik Group. Jakarta.
- Moeljono, S. B. 1974. *Pengantar Perkayuan*. Yayasan Kanisius. Yogyakarta.
- Smith, J. C. 1996. *Structural Steel Design-LRFD Approach*. Second Edition. North Carolina State University.
- Wirjomartono, S. 1975. *Konstruksi Kayu*. Jilid I. Cetakan XIII. Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Yap, K. H. F. 1965. *Konstruksi Kayu*. Bina Cipta. Bandung.