

STUDI NUMERIK PERILAKU SAMBUNGAN PELAT DASAR KOLOM (COLUMN BASE PLATE)

Marwan Ollii

Banu Dwi Handono, Ronny Pandaleke

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: mrwnolii@gmail.com

ABSTRAK

Sambungan pelat dasar kolom (column base plate connection) adalah salah satu komponen paling penting dalam struktur baja, karena berfungsi mentransfer beban dari seluruh struktur bagian atas ke pondasi. Sambungan ini sering diabaikan perencanaannya, sehingga diperlukan penelitian lebih dalam untuk memprediksi perilaku aktual yang terjadi pada sambungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku momen-rotasi sambungan column base plate guna mendapatkan konfigurasi sambungan yang paling efisien. Sambungan dimodelkan menggunakan profil kolom WF250x250x9x14 tinggi 3 m, pelat dasar berdimensi 450x300 mm, 4 baut angkur berkepala segi enam tipe inside flange, dan pedestal beton berdimensi 750x750x600 mm. 9 model sambungan dianalisis dengan variasi tebal pelat dasar 16 mm, 20 mm dan 22 mm serta diameter baut angkur 16 mm, 20 mm dan 22 mm. 3D-FEM sambungan column base plate dianalisis perilakunya menggunakan program ANSYS Workbench. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan diameter baut angkur sangat mempengaruhi momen ultimate dan kapasitas rotasi sambungan, sedangkan perubahan tebal pelat dasar tidak berpengaruh signifikan. Diameter baut angkur 20 mm menunjukkan hasil yang cukup efisien untuk profil kolom 250x250 dengan semua variasi tebal pelat dasar.

Kata Kunci : *Column Base Plate, Finite Element Method, ANSYS, Momen-Rotasi*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kegagalan pada struktur baja paling banyak disebabkan oleh desain komponen sambungan yang buruk dan kurang layak. Ditambah lagi dengan besarnya ketidakcocokan antara perilaku aktual di lapangan dengan perilaku yang dianalisis sehingga perencanaan komponen sambungan merupakan salah satu yang utama dalam perencanaan struktur baja.

Salah satu jenis sambungan yang sering diabaikan perencanaannya yaitu sambungan kolom baja dan pondasi beton atau sambungan pelat dasar kolom (*column base plate connection*). Pelat dasar (*base plate*) adalah pelat baja yang berada diantara kolom baja dengan pedestal yang terbuat dari beton. Sambungan ini merupakan salah satu komponen paling penting dalam struktur baja, karena berfungsi mentransfer beban dari seluruh struktur bagian atas ke pondasi. Oleh karena itu, penelitian lebih dalam tentang perilaku sambungan pelat dasar kolom diperlukan untuk memprediksi perilaku aktual yang terjadi pada sambungan.

Komponen sambungan memiliki banyak sekali tipe dan ukuran, khususnya sambungan pelat dasar kolom yang menghubungkan kolom

baja dan pondasi yang memiliki banyak parameter, misalnya dimensi dan tebal pelat dasar; diameter, panjang dan posisi baut angkur; kekuatan material termasuk kolom, baut angkur dan beton; dan masih banyak lagi. Hal ini tentu saja menjadi tidak mungkin bila studi tentang perilaku sambungan hanya dilakukan dengan cara eksperimental saja.

Sebuah metode untuk menganalisis perilaku sambungan kolom pelat dasar dapat dilakukan dengan membuat memodelkan sambungan menggunakan media software ANSYS Workbench sebagai *Three Dimension Finite Element*. Dibandingkan dengan percobaan di laboratorium, metode ini merupakan alternatif yang lebih ekonomis, menghemat waktu dan memudahkan dalam membuat variasi untuk dianalisis perilakunya.

Rumusan Masalah

Untuk memenuhi kriteria perencanaan yang baik dalam hal kekuatan, kekakuan, dan daktilitasnya, komponen sambungan menjadi bagian penting yang harus diperhatikan. Sehingga perlu adanya penelitian lebih dalam untuk menganalisis perilaku sambungan yang stabil dan aman, terutama mengenai perilaku $M-\phi$ sambungan. Telah banyak penelitian yang

dilakukan secara eksperimental/percobaan di laboratorium yang menghabiskan banyak waktu dan biaya. Banyaknya parameter sambungan membuat studi perilaku $M-\phi$ hampir tidak mungkin dilakukan hanya dengan cara eksperimental.

Batasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan yang di tinjau agar studi dapat terarah sesuai tujuan yang diharapkan, maka terdapat batasan masalah sebagai berikut :

1. Profil kolom yang digunakan adalah 250x250 dengan tinggi 3 m.
2. Jenis baut angkur yang digunakan adalah angkur cor di tempat dengan kepala segi enam.
3. Mutu baja yang digunakan pada kolom, dan pelat dasar adalah BJ-37.
4. Sambungan dimodelkan dengan 4 angkur baut di dalam profil kolom (*inside the flanges*), dengan mutu baut angkur ASTM F1554 grade 36.
5. Beton dianggap tidak mengalami splitting (pecah belah).
6. Beban yang diterapkan adalah beban horizontal terpusat di satu titik (node) pada flens kolom dan beban tekan searah gravitasi sebesar 32 MPa pada kolom.
7. Perangkat lunak menggunakan *AutoCAD* untuk membuat geometri sambungan dan program *ANSYS Workbench* untuk analisis perilaku sambungan secara numerik dengan metode elemen hingga.
8. Pemodelan konfigurasi sambungan dengan variasi tebal pelat dasar 16 mm, 20 mm, 22 mm dan diameter baut angkur M16, M20, M22.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui perilaku $M-\phi$ pada sambungan *column base plate* yang dengan variasi tebal pelat dasar dan diameter baut angkur.
2. Menentukan sambungan *column base plate* yang paling efisien untuk profil kolom 250x250 dengan tebal pelat tetap dan variasi diameter baut angkur.
3. Menentukan sambungan *column base plate* yang paling efisien untuk profil kolom 250x250 dengan diameter baut angkur tetap dan variasi tebal pelat dasar.

Manfaat Penelitian

Memberikan informasi bahwa pemodelan struktur dengan program elemen hingga dapat menjadi alternatif penelitian yang mengurangi waktu dan biaya selain penelitian eksperimental di laboratorium. Selain itu, memberikan informasi bahwa FEM yang disimulasikan dengan baik dapat memprediksi perilaku yang sebenarnya (aktual).

LANDASAN TEORI

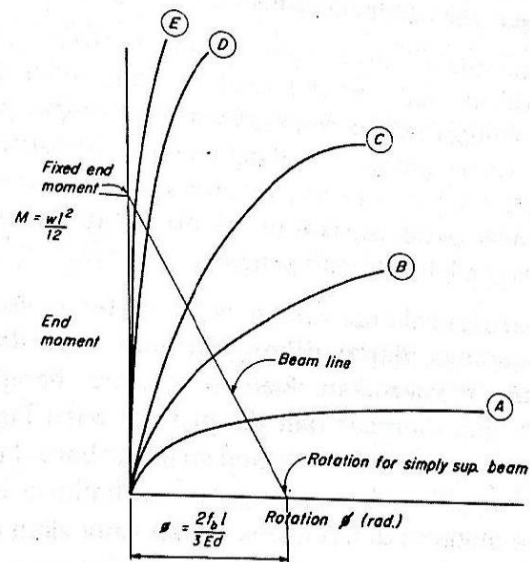
Baja Struktural

Sifat mekanik material baja diperoleh dari uji laboratorium. Ada berbagai macam jenis pengujian, yang umum untuk pekerjaan konstruksi adalah uji tarik uni-aksial sampai putus dengan UTM (*Universal Testing Machine*).

Sambungan Struktur

Fungsi sambungan adalah mengalihkan gaya-momen internal dari satu komponen struktur ke komponen lain sehingga pembebanan dapat diteruskan ke pondasi. (Dewobroto, 2016)

Perilaku mekanik sambungan terlihat jelas dari kurva momen-rotasi di Gambar 1 yang meninjau berbagai bentuk sambungan yaitu:



Gambar 1. Perilaku $M-\phi$ Sambungan (AISC 1992)

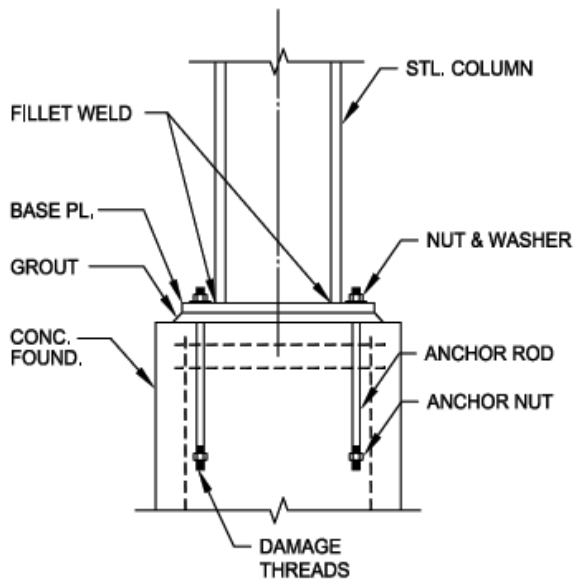
Sambungan paling kaku adalah yang mampu menahan momen dengan rotasi paling kecil, yaitu tipe (e) yang memakai las. Jadi sambungan monolit (karena las) akan berkemampuan lebih baik. Sambungan tipe (a) kurang kaku, yaitu

terjadi rotasi paling besar untuk momen yang relatif sama, hanya untuk menahan geser saja.

Sambungan Pelat Dasar Kolom (*Column Base Plate Connection*)

Sambungan pelat dasar kolom (*column base plate connection*) adalah penghubung yang sangat penting antara struktur baja dan pondasi. Sambungan ini digunakan pada bangunan untuk menahan beban gravitasi (seperti beban mati dan beban hidup) dan berfungsi sebagai bagian dari sistem penahan gaya lateral (*lateral load resisting systems*). (Fisher dan Kloiber, 2006)

Base plate yang biasa, umumnya terdiri dari pelat dasar/landasan dan baut angkur. Adapun pelat dasar tersambung ke kolom baja dengan las. Detail base plate standar adalah seperti Gambar 2. (Dewobroto, 2006)



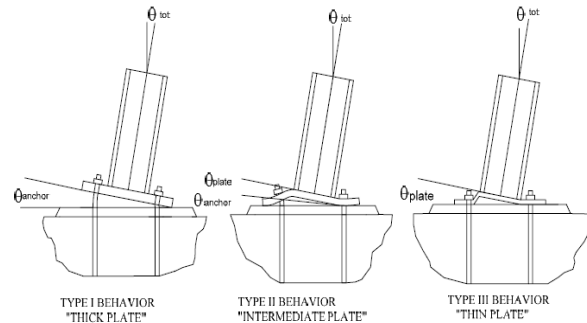
Gambar 2. Komponen sambungan pelat dasar kolom (Fisher dan Kloiber, 2006)

Klasifikasi Sambungan Pelat Dasar Kolom

Sambungan pelat dasar kolom umumnya dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok: 1) *Exposed column base plate* (pelat dasar yang diekspos) dan 2) *embedded column base plate* (pelat dasar tertanam). Meskipun pembagian ini ditentukan oleh posisi pelat dasar dalam hubungannya dengan elemen pondasi, itu dianggap mewakili dua kondisi perletakan tradisional: *pinned supports* (sendi) dan *fixed supports* (jepit). (Grauvilardell et al., 2005)

Astaneh et al. (1992) dan Fahmy (1999) telah mengusulkan klasifikasi yang disetujui oleh banyak peneliti lain. Pelat dasar secara kasar

diurutkan berdasarkan apakah ketebalannya lebih kecil, sama dengan, atau lebih besar dari yang diperlukan untuk membentuk sendi plastis pada pelat. Gambar 3, menunjukkan tiga jenis pelat dasar dan representasi skematik deformasi pelat. (Grauvilardell et al., 2005)



Gambar 3. Perilaku tipe *exposed base plate* (Grauvilardell et al., 2005)

Klasifikasi Menurut Mode Kegagalan Baja

Klasifikasi ini secara konseptual berasal dari penyelidikan eksperimental dan analitik. Fitur termasuk kekuatan, kekakuan, dan daktilitas sambungan pelat dasar kolom dianalisis untuk mengkarakterisasi setiap mekanisme. Tiga bagian dapat dikenali dalam kurva momen-rotasi: (1) bagian pertama (yaitu, momen kecil, rotasi rendah) di mana perilaku elastis; (2) bagian transisi di mana perilaku inelastis dan material hardening terjadi; dan (3) daerah softening setelah momen maksimum sambungan tercapai dan pada akhirnya terjadi putusnya sambungan. Daerah-daerah ini juga dapat digunakan untuk mengkarakterisasi setiap mekanisme. Mekanisme kegagalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Fahmy, 1999):

- a. *Weak Column/Strong Connection* (Kolom lemah/Sambungan kuat)
- b. *Strong Column/Weak Connection* (Kolom kuat/Sambungan lemah)
- c. *Balanced Mechanism* (Mekanisme Berimbang)

Konsep Metode Elemen Hingga

Dari sudut pandang *engineering*, metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menyatukan elemen- elemen struktur yang dapat dianalisis secara terpisah ke dalam sebuah persamaan kesetimbangan global struktur. (Dill, 2011)

Element properties untuk masalah keteknikan seperti *displacement in solid mechanics*, kita akan menentukan gaya-

perpindahan yaitu merupakan karakteristik kekakuan dari setiap elemen secara individual. Secara matematis hubungan ini dapat dinyatakan sebagai bentuk:

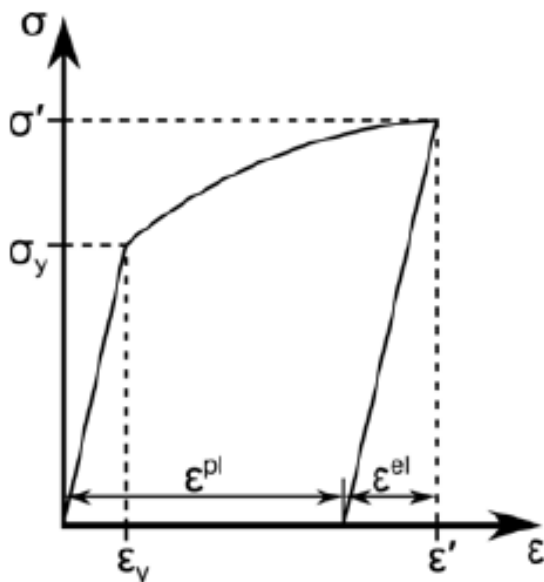
$$[k]_e \{\delta\}_e = \{F\}_e$$

untuk $e = 1, 2, \dots, N_{el} \dots \dots \dots$ (Pers. 1)

Di mana $[k]_e$ adalah matriks kekakuan elemen e , $\{\delta\}_e$ adalah vektor perpindahan titik-titik nodal elemen e , dan $\{F\}_e$ adalah vektor gaya pada titik-titik nodal elemen e , N_{el} adalah jumlah seluruh elemen. (Bhavikatti, 2005)

Nonlinearitas Bahan

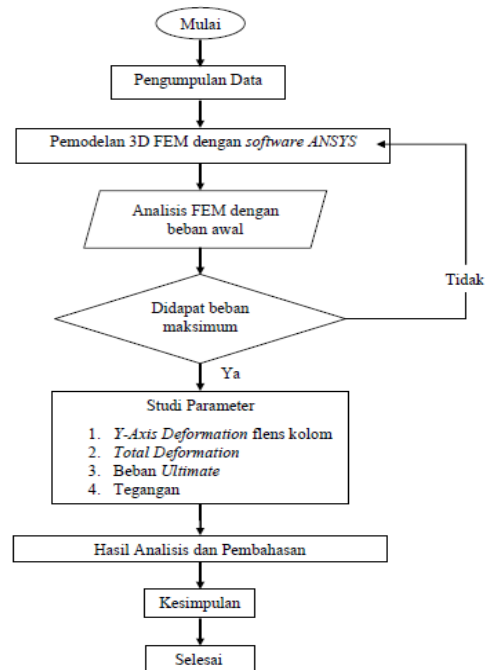
Hubungan tegangan-regangan nonlinear adalah penyebab umum perilaku struktural nonlinear. Bahan nonlinearitas terjadi karena adanya hubungan nonlinear antara tegangan dan regangan; Artinya, tegangan adalah fungsi nonlinear dari regangan. Banyak faktor dapat mempengaruhi sifat tegangan-regangan material, termasuk riwayat beban (seperti respons elastoplastik), kondisi lingkungan (seperti suhu), dan jumlah waktu yang diterapkan beban (seperti pada *creep response*). (ANSYS Mechanical APDL Material Reference)



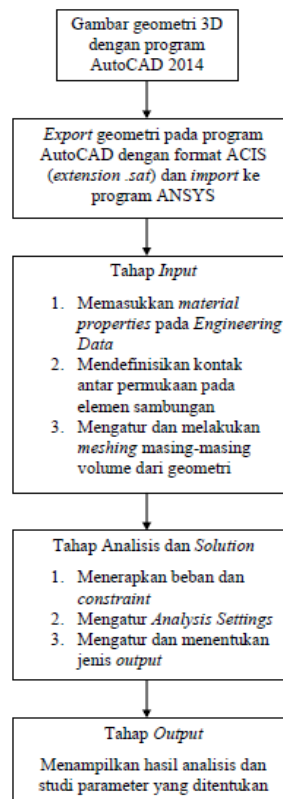
Gambar 4. Stress-Strain Curve for an Elastic-Plastic Material (ANSYS Mechanical APDL Material Reference)

METODOLOGI PENELITIAN

Bagan Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian



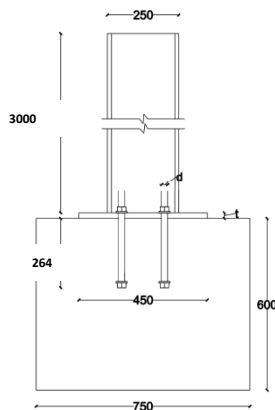
Gambar 6. Bagan Alir Pemodelan 3D FEM

Metode penelitian dilakukan dalam tiga tahap, yaitu *input*, analisis, dan *output*. Tahap input antara lain adalah pemodelan struktur tiga dimensi sambungan termasuk di dalamnya memasukkan material properties dari masing-masing komponen sambungan, pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil (*meshing*) serta mendefinisikan kontak. Setelah pemodelan selesai, tipe analisis yang akan dijalankan diatur dalam tahap solution termasuk menerapkan beban dan pemilihan metode penyelesaian persamaan yang akan digunakan. Dan pada tahap *output*, hasil analisis dapat ditampilkan seperti tegangan dan deformasi.

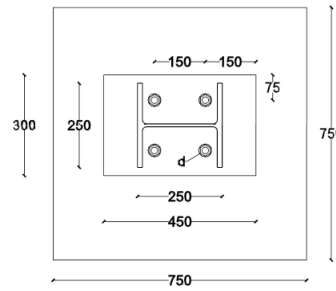
Hasil yang diperoleh dari penggunaan program ANSYS adalah besarnya *Y-Axis deformation* yang terjadi pada dasar kolom, deformasi total pada kolom, beban *ultimate*, tegangan yang terjadi pada kolom, pelat dasar, dan baut angkur. Dari data deformasi yang bertambah seiring dengan penambahan beban dan beban *ultimate* yang dicapai sebagai kapasitas sambungan, selanjutnya dilakukan perhitungan tambahan untuk memperoleh besarnya rotasi yang terjadi dan momen *ultimate* yang mampu ditahan oleh sambungan. Hasil perhitungan momen dan rotasi kemudian dihubungkan dengan kurva momen-rotasi yang menyatakan perilaku dari sambungan.

Data Penelitian

Pemodelan yang digunakan adalah sambungan *column base plate* dengan komponen sambungan yang terdiri dari kolom, pelat dasar, baut angkur (batang angkur, *nut*, *washer*) dan pedestal beton. Dimana dasar dari pedestal beton tidak diijinkan berdeformasi (*fixed support*). Detail pemodelan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



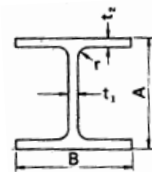
Gambar 7. Konfigurasi Sambungan Model *Inside Flange* (a) Tampak Depan



Gambar 7. Konfigurasi Sambungan Model *Inside Flange* (b) Tampak Atas

Tabel 1. Variasi Komponen Sambungan yang Akan Diteliti

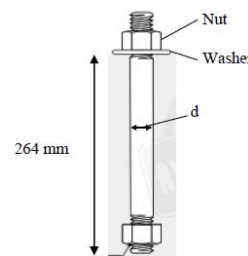
Tipe	Tebal Pelat Dasar, t (mm)	Diameter Baut Angkur, d (mm)	No. Model
<i>Inside the Flanges</i>	16	16	T16-M16
		20	T16-M20
		22	T16-M22
	20	16	T20-M16
		20	T20-M20
		22	T20-M22
	22	16	T22-M16
		20	T22-M20
		22	T22-M22



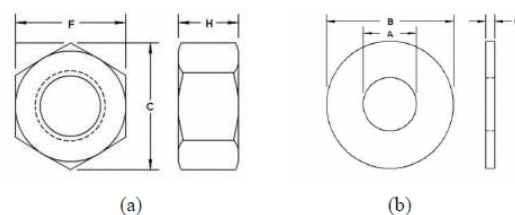
Gambar 8. Profil Kolom

Tabel 2. Dimensi Kolom (Gunawan, 1987)

Tipe	A (mm)	B (mm)	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	r (mm)
<i>Wide Flange</i>	250	250	9	14	16



Gambar 9. Detail Baut Angkur



Gambar 10. Detail *Nut* (a) dan *Washer* (b)

Tabel 3. Ukuran *Nut Tipe Hex*

Diameter Angkur (mm)	F (mm)	C (mm)	H (mm)
16	23.8	27.5	13.9
20	28.6	33	16.3
22	33.3	38.5	19

Sumber: Portland Bolt™

Tabel 4. Ukuran *Washer Tipe Hardened*

Diameter Angkur (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)
16	17.5	33.3	4.5
20	20.6	37.3	4.5
22	23.8	44.5	4.5

Sumber: Portland Bolt™

Mutu baja : BJ-37 (Fy= 240 MPa)
 Mutu baut angkur : ASTM F1554 Grade 36 (Fy= 248 MPa)
 Kuat tekan beton, f'c : 30 MPa

Data Beban

Beban yang diterapkan terdiri dari beban tekan konstan searah gravitasi dan beban horizontal. Beban tekan searah gravitasi diletakkan di atas kolom sebesar 32 MPa. Beban horizontal awal diletakkan di salah satu titik (*node*) pada salah satu sisi flens kolom untuk kemudian dicari kapasitas optimumnya. Jika penampang mampu menahan beban tersebut maka dicoba lagi dengan beban yang lebih besar.

PEMODELAN DAN ANALISIS

**Pemodelan 3D FEM (*Finite Element Model*)
*Element Type***

Element type yang digunakan untuk geometri kolom, pelat dasar dan baut angkur adalah SOLID187 (3-D 10-Node *Tetrahedral Structural Solid*). Untuk beton digunakan SOLID186 (3-D 20-Node *homogeneous Structural Solid*). Dua tipe elemen tersebut sangat cocok untuk digunakan pada material nonlinear. Karena kedua tipe elemen ini *support* model material *billinier isotropic hardening* dan *plasticity*. Untuk mendefinisikan *element type* pada masing-masing geometri, digunakan *command* “et,matid,element_type” pada masing-masing geometri.

Tabel 5. *Element Type*

<i>Element Type</i>	Geometri
SOLID187 3-D 10-Node Tetrahedral Structural Solid	Kolom, Pelat Dasar, Baut Angkur (Batang Angkur, Nut, Washer)
SOLID186 3-D 20-Node homogeneous Structural Solid	Beton

Material Properties

Tabel 6. *Material Properties*

	Density (kg/mm ³)	Isotropic Elasticity	Strength
<i>Column</i>	7850	Young's Modulus = 200000 MPa Poisson's Ratio = 0.3	Tensile Yield = 240 MPa Tangent Modulus = 6700 MPa Tensile Ultimate = 370 MPa
<i>Base Plate</i>	7850	Young's Modulus = 200000 MPa Poisson's Ratio = 0.3	Tensile Yield = 240 MPa Tangent Modulus = 6700 MPa Tensile Ultimate = 370 MPa
<i>Anchor Bolts</i>	7850	Young's Modulus = 200000 MPa Poisson's Ratio = 0.3	Tensile Yield = 248 MPa Tangent Modulus = 6700 MPa Tensile Ultimate = 400 MPa
<i>Concrete</i>	2300	Young's Modulus = 25743 MPa Poisson's Ratio = 0.18	Tensile Ultimate = 4 MPa Compressive Ultimate = 30 MPa

Contact Pair

Kontak antara pelat dasar dan beton menggunakan tipe kontak *Frictional* dengan koefisien friksi sebesar 0.45. *Contact body* (pelat dasar) bisa tergeser/*sliding* dan terhadap *target body* (beton) dan terjadi *gap*. Pengaturan ini juga dimaksudkan untuk menghasilkan kontak yang hanya bersentuhan tetapi tidak melekat.

Kontak antara kolom dan pelat dasar, pelat dasar dan *washer*, batang angkur dan *nut*, serta *nut* dan *washer*, menggunakan tipe kontak *Bonded*. Tipe ini tidak mengizinkan terjadinya *sliding* maupun *gap*. Dengan kata lain kontak dan target pada tipe ini “menempel” satu sama lain. Masing-masing elemen akan ikut berdeformasi jika salah satu dari elemen yang terhubung diterapkan beban. *MPC Alogarithm* juga digunakan untuk mensimulasikan kontak antara dasar kolom dengan pelat dasar untuk mensimulasikan bahwa kolom melekat dengan sempurna pada pelat dasar menggunakan las.

Kontak antara lubang pelat dasar dan batang angkur menggunakan tipe kontak *Frictionless*. Pada kasus ini koefisien friksi adalah nol atau merupakan kontak tanpa gesekan. Pengaturan ini juga mensimulasikan lubang pelat dasar menempel pada batang angkur sebelum diterapkan beban, dan akan terjadi *gap* ketika beban sudah diterapkan.

Kontak antara batang angkur dan beton menggunakan tipe kontak *Rough*. Mirip dengan tipe *Frictionless*, namun pengaturan ini memodelkan kontak gesekan yang tidak rata/kasar (*rough*) dimana tidak terjadi geser/*sliding*.

Tabel 7. Pemodelan *Contact Pair*

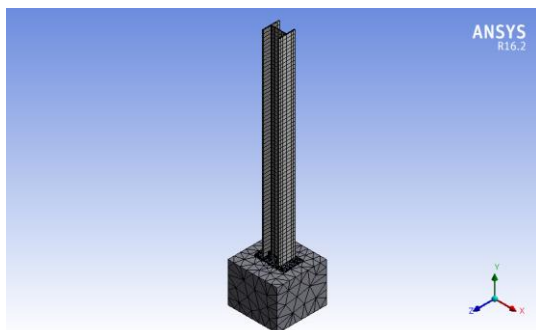
Contact	Target	Friction Coefficient	Contact Type
Column	Base Plate	-	Bonded
Base Plate	Concrete	0.45	Frictional
Lubang Base Plate	anchors	-	Frictionless
Base Plate	Washers	-	Bonded
anchors	Concrete	-	Rough
anchors	Nuts	-	Bonded
Nuts	Washers	-	Bonded

Meshing

Pada tahap ini, model akan dibagi menjadi elemen-elemen kecil atau *meshing*. *Mesh control* pada masing-masing model adalah sebagai berikut:

- *Column*
Method: Sweep
Free Face Mesh Type: All Tri
Size: 50 mm
- *Base Plate*
Method: Tetrahedrons
Size: 25 mm
- *Concrete*
Method: Tetrahedrons
Size: Program Controlled

Untuk geometri batang angkur, *nut*, dan *washer*, *meshing* diatur oleh program (*program controlled*).



Gambar 11. *Finite Element Mesh of Column Base Plate Connection*

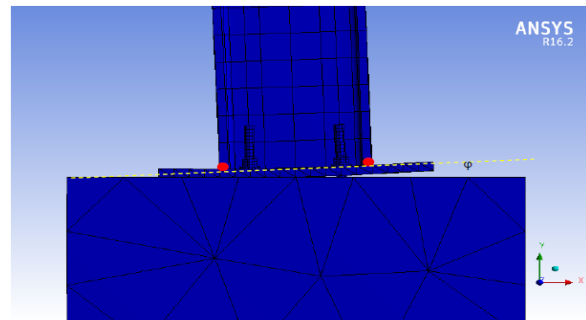
Langkah selanjutnya adalah proses analisis (*solve*) oleh program *ANSYS Mechanical* untuk mengevaluasi parameter yang akan diteliti.

Proses analisis yang dijalankan akan *terminate* ketika beton telah mencapai regangan 0.002. Hasil yang diperoleh dari analisis FEM berupa data tegangan, data deformasi, dan *time step* untuk mengetahui pertambahan beban yang diberikan hingga beban maksimum.

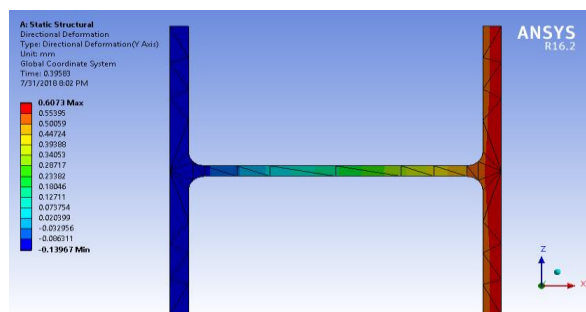
HASIL PENELITIAN

Momen-Rotasi Sambungan

Contoh perhitungan momen dan rotasi sambungan:

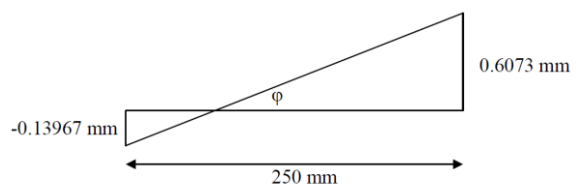


Gambar 12. Rotasi pada Sambungan Model T16-M16



Gambar 13. Kontur Warna *Y-Axis Deformation* pada dasar kolom

Deformasi tension flange kolom (a) = 0.6073 mm
 Deformasi compression flange kolom (b) = -0.13967 mm
 Lebar kolom (h) = 250 mm



$$\phi = \frac{(a - b)}{h} = \frac{(0.6073 - (-0.13967))}{250} = 0.00299 \text{ rad}$$

Rotasi yang terjadi pada beban yang bekerja sebesar 0.00299 rad.

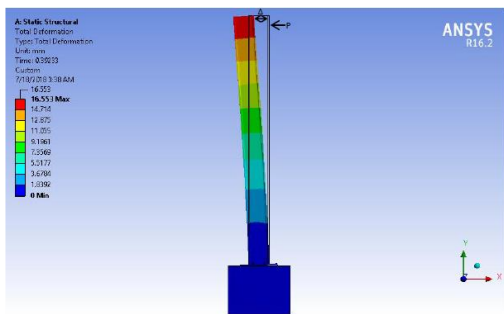
Lengan Momen = 2.9 m
 Beban Ultimate = 17.824 kN
 Momen = 17.824 kN x 2.9 m = 51.69 kNm

Tabel 8. Perbandingan Hasil Analisis Momen *Ultimate* dan Kapasitas Rotasi dengan Variasi Tebal Pelat Dasar dan Diameter Baut Angkur

Model	Tebal Pelat Dasar (mm)	Diameter Baut Angkur (mm)	Beban <i>Ultimate</i> (kN)	Momen <i>Ultimate</i> (kN.m)	Rotasi (rad)
T16-M16	16	16	17.824	51.690	0.00299
T16-M20	16	20	21.526	62.425	0.00384
T16-M22	16	22	24.407	70.780	0.00441
T20-M16	20	16	17.812	51.655	0.00277
T20-M20	20	20	22.205	64.395	0.00369
T20-M22	20	22	24.231	70.270	0.00363
T22-M16	22	16	18.141	52.609	0.00275
T22-M20	22	20	22.180	64.322	0.00349
T22-M22	22	22	25.016	72.546	0.00390

Beban-Deformasi Sambungan

Batas Lendutan, $L/240 = 3000 \text{ mm}/240 = 12.5 \text{ mm}$

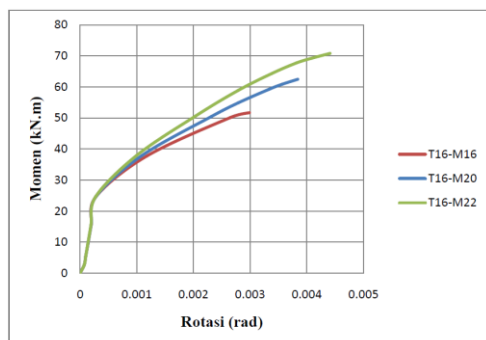


Gambar 14. P-Δ Sambungan

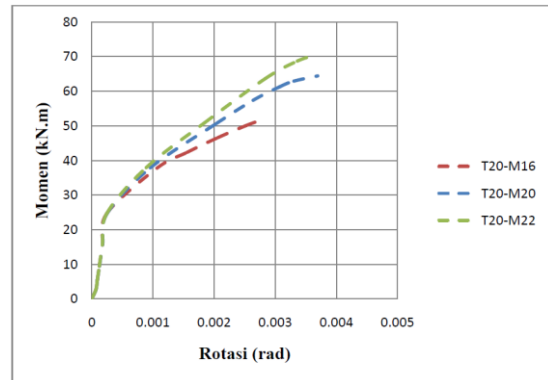
PEMBAHASAN HASIL ANALISIS

Pengaruh Diameter Baut Angkur

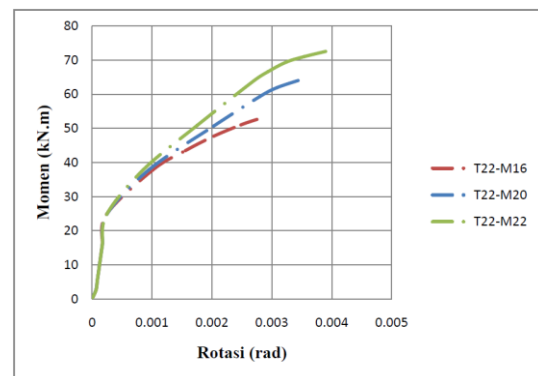
Terhadap Kurva Momen-Rotasi



Gambar 15. Grafik Pengaruh Diameter Baut Angkur Terhadap Kurva Momen Rotasi untuk Tebal Pelat Dasar 16 mm



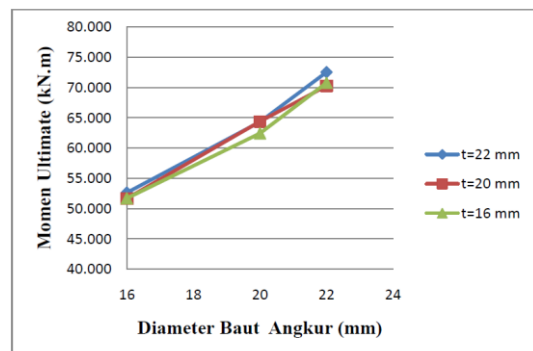
Gambar 16. Grafik Pengaruh Diameter Baut Angkur Terhadap Kurva Momen-Rotasi untuk Tebal Pelat 20 mm



Gambar 17. Grafik Pengaruh Diameter Baut Angkur Terhadap Kurva Momen-Rotasi untuk Tebal Pelat 22 mm

Dari Gambar 15, 16 dan 17 dapat diketahui bahwa diameter baut angkur sangat mempengaruhi kemiringan kurva hubungan antara momen ultimate dan rotasi yang terjadi, baik untuk tebal pelat dasar 16 mm, 20 mm, maupun 22 mm. Hal ini dapat dilihat dengan besarnya gap kurva antar model dengan variasi diameter baut angkur.

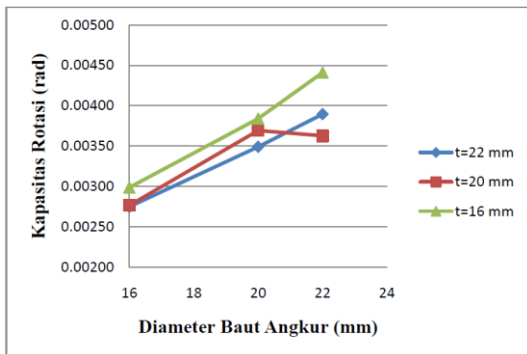
Terhadap Momen Ultimate



Gambar 18. Grafik Pengaruh Diameter Baut Angkur Terhadap Momen *Ultimate*

Berdasarkan Gambar 18 dapat diketahui bahwa diameter baut angkur sangat mempengaruhi besarnya momen yang mampu ditahan oleh sambungan. Untuk semua variasi tebal pelat dasar, perubahan diameter baut angkur dari 16 mm menjadi 20 mm dan 22 mm memberikan peningkatan nilai momen ultimate yang signifikan.

Terhadap Kapasitas Rotasi



Gambar 19. Grafik Pengaruh Diameter Baut Angkur Terhadap Kapasitas Rotasi

Berdasarkan Gambar 19, dapat diketahui bahwa diameter baut angkur sangat mempengaruhi kapasitas rotasi sambungan. Pada sambungan dengan tebal pelat dasar 16 mm dan 22 mm, perubahan diameter baut angkur dari 16 mm menjadi 20 mm dan 22 mm memberikan peningkatan kapasitas rotasi yang signifikan. Pada sambungan dengan tebal pelat dasar 20 mm, perubahan diameter baut angkur dari 16 mm menjadi 20 mm meningkatkan kapasitas rotasi, namun sedikit menurun ketika baut angkur diubah dari 20 mm menjadi 22 mm.

Tabel 9. Pertambahan Kapasitas Momen dan Rotasi Sambungan untuk Tebal Pelat Dasar 16 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Momen <i>Ultimate</i> (kN.m)	51.690	62.425	70.780
Pertambahan Kapasitas (%)	20.77		13.38
Rotasi (rad)	0.00299	0.00384	0.00441
Pertambahan Kapasitas (%)	28.49		14.86

Tabel 10. Pertambahan Kapasitas Momen dan Rotasi Sambungan untuk Tebal Pelat Dasar 20 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Momen <i>Ultimate</i> (kN.m)	51.655	64.395	70.27
Pertambahan Kapasitas (%)	24.66		9.12
Rotasi (rad)	0.00277	0.00369	0.00363
Pertambahan Kapasitas (%)	33.50		1.78

Tabel 11. Pertambahan Kapasitas Momen dan Rotasi Sambungan untuk Tebal Pelat Dasar 22 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Momen <i>Ultimate</i> (kN.m)	52.609	64.322	72.546
Pertambahan Kapasitas (%)	22.26		12.79
Rotasi (rad)	0.00275	0.00349	0.00390
Pertambahan Kapasitas (%)	26.99		11.59

Terhadap Batas Layan Sambungan

Tabel 12. Pertambahan Kapasitas Batas Layan untuk Tebal Pelat Dasar 16 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Batas Layan (kN)	15.20	15.80	16.40
Pertambahan Kapasitas (%)	3.95		3.80

Tabel 13. Pertambahan Kapasitas Batas Layan untuk Tebal Pelat Dasar 20 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Batas Layan (kN)	15.60	16.20	16.80
Pertambahan Kapasitas (%)	3.85		3.70

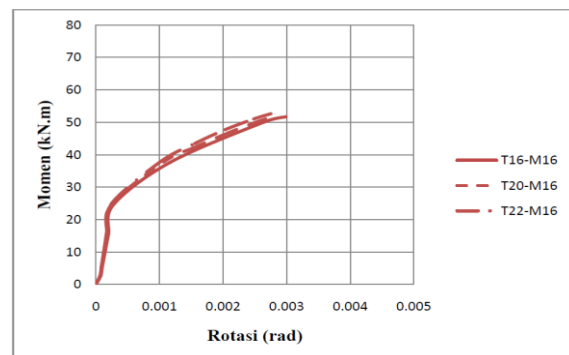
Tabel 14. Pertambahan Kapasitas Batas Layan untuk Tebal Pelat Dasar 22 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Batas Layan (kN)	15.80	16.40	17.20
Pertambahan Kapasitas (%)	3.80		4.88

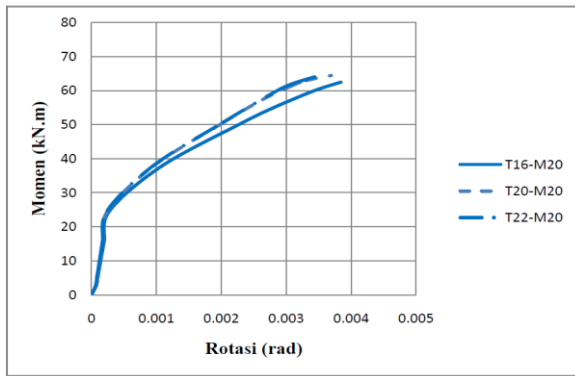
Dari Tabel 12, 13 dan 14 dapat diketahui bahwa perubahan diameter baut angkur, tidak berpengaruh signifikan terhadap batas layan dari sambungan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan sambungan yang relatif sama pada batas lendutan 12.5 mm.

Pengaruh Tebal Pelat Dasar

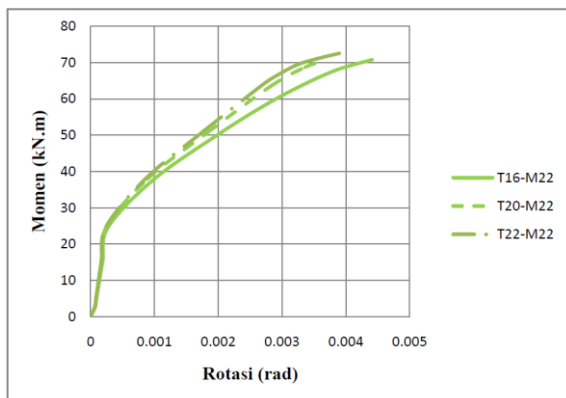
Terhadap Kurva Momen-Rotasi



Gambar 20. Grafik Pengaruh Tebal Pelat Dasar Terhadap Kurva Momen-Rotasi untuk Diameter Baut Angkur 16 mm



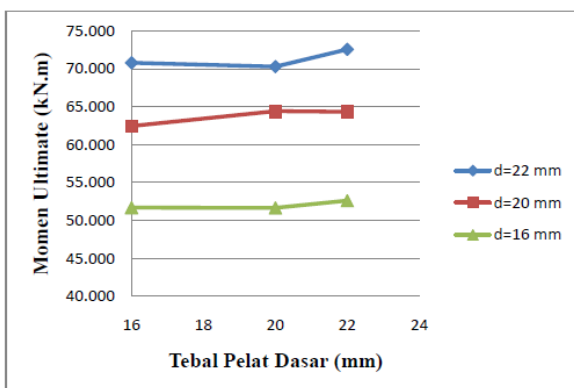
Gambar 21. Grafik Pengaruh Tebal Pelat Dasar Terhadap Kurva Momen-Rotasi untuk Diameter Baut Angkur 20 mm



Gambar 22. Grafik Pengaruh Tebal Pelat Dasar Terhadap Kurva Momen-Rotasi untuk Diameter Baut Angkur 22 mm

Dari Gambar 20, 21 dan 22 dapat diketahui bahwa tebal pelat dasar tidak berpengaruh signifikan terhadap kemiringan kurva hubungan antara momen *ultimate* dan rotasi yang terjadi, baik untuk diameter baut angkur 16 mm, 20 mm, maupun 22 mm. Hal ini dapat dilihat dengan kemiringan kurva antar model dengan variasi tebal pelat dasar yang hampir mendekati.

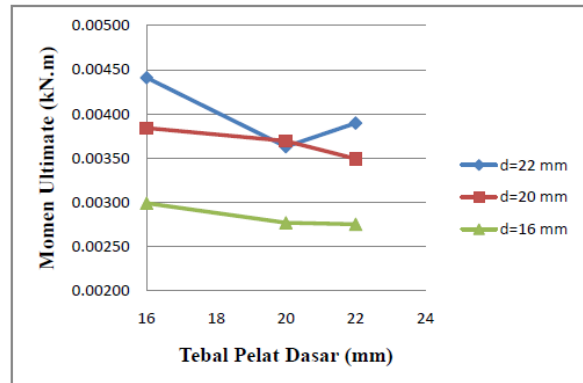
Terhadap Momen Ultimate



Gambar 23. Grafik Pengaruh Tebal Pelat Dasar Terhadap Momen *Ultimate*

Berdasarkan Gambar 23 dapat diketahui bahwa perubahan tebal pelat dasar tidak berpengaruh signifikan terhadap besarnya momen yang mampu ditahan oleh sambungan.

Terhadap Kapasitas Rotasi



Gambar 24. Grafik Pengaruh Tebal Pelat Dasar Terhadap Kapasitas Rotasi

Berdasarkan Gambar 24 dapat diketahui bahwa perubahan tebal pelat dasar dari 16 mm menjadi 20 mm dan 22 mm menurunkan kapasitas rotasi dari sambungan. Namun, pada sambungan dengan diameter baut angkur 22 mm perubahan tebal pelat dasar dari 20 mm menjadi 22 mm sedikit meningkatkan kapasitas rotasi.

Tabel 15. Pertambahan Kapasitas Momen dan Rotasi Sambungan untuk Diameter Baut Angkur 16 mm

Tebal Pelat Dasar (mm)	16	20	22
Momen <i>Ultimate</i> (kN.m)	51.690	51.655	52.609
Pertambahan Kapasitas (%)	-0.07		1.85
Rotasi (rad)	0.00299	0.00277	0.00275
Pertambahan Kapasitas (%)	-7.43		-0.62

Tabel 16. Pertambahan Kapasitas Momen dan Rotasi Sambungan untuk Diameter Baut Angkur 20 mm

Tebal Pelat Dasar (mm)	16	20	22
Momen <i>Ultimate</i> (kN.m)	62.425	64.395	64.322
Pertambahan Kapasitas (%)	3.15		-0.11
Rotasi (rad)	0.00384	0.00369	0.00349
Pertambahan Kapasitas (%)	-3.82		-5.47

Tabel 17. Pertambahan Kapasitas Momen dan Rotasi Sambungan untuk Diameter Baut Angkur 22 mm

Tebal Pelat Dasar (mm)	16	20	22
Momen <i>Ultimate</i> (kN.m)	70.780	70.270	72.546
Pertambahan Kapasitas (%)	-0.72		3.24
Rotasi (rad)	0.00441	0.00363	0.00390
Pertambahan Kapasitas (%)	-17.76		7.40

Terhadap Batas Layan Sambungan

Tabel 18. Pertambahan Kapasitas Batas Layan untuk Diameter Baut Angkur 16 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Batas Layan (kN)	15.20	15.40	15.60
Pertambahan Kapasitas (%)	1.32		1.30

Tabel 19. Pertambahan Kapasitas Batas Layan untuk Diameter Baut Angkur 20 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Batas Layan (kN)	15.60	16.20	16.40
Pertambahan Kapasitas (%)	3.85		1.23

Tabel 20. Pertambahan Kapasitas Batas Layan untuk Diameter Baut Angkur 22 mm

Diameter Baut Angkur (mm)	16	20	22
Batas Layan (kN)	16.40	16.80	17.20
Pertambahan Kapasitas (%)	2.44		2.38

Dari Tabel 18, 19 dan 20 dapat diketahui bahwa perubahan tebal pelat dasar tidak berpengaruh signifikan terhadap batas layan sambungan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan sambungan yang relatif sama pada batas lendutan 12.5 mm.

Tegangan pada Komponen Sambungan

Tabel 21. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T16-M16

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0
0.93	89.17	53.63	151.01	6.82
1.87	96.22	58.19	151.14	7.25
3.27	106.78	65.00	151.31	8.09
5.38	122.64	75.21	151.56	9.29
8.53	146.49	90.55	151.95	10.96
13.02	205.51	120.67	170.82	14.22
17.29	276.75	269.69	260.51	17.19
17.82	288.80	293.19	270.57	17.59

Tabel 22. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T16-M20

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0
0.94	87.91	53.44	104.06	6.91
1.87	94.85	58.01	104.32	6.87
3.27	105.28	64.85	104.58	6.80
5.38	120.92	75.11	104.97	7.70
8.53	144.43	90.52	105.59	9.37
13.04	194.76	124.40	134.79	12.76
17.39	258.38	237.23	255.14	16.35
18.91	281.48	274.16	257.23	17.55
20.42	305.99	280.17	267.15	18.76
20.97	315.86	295.49	272.22	19.20
21.53	326.43	300.50	278.42	19.66

Tabel 23. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T16-M22

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0
0.94	94.22	57.68	60.46	7.31
1.87	101.72	56.87	61.05	7.51
3.27	112.96	62.20	61.91	7.82
5.38	129.84	72.09	63.20	8.60
8.53	155.23	86.90	65.18	10.29
13.06	201.44	114.89	126.99	13.84
17.47	263.28	228.17	248.85	17.31
20.29	303.90	267.82	258.76	19.44
22.18	333.39	289.83	269.81	20.87
23.33	336.78	298.53	278.77	21.73
23.88	341.48	301.07	285.75	22.16
24.41	352.81	305.91	296.72	22.585

Tabel 24. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T20-M16

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0
0.94	79.14	40.85	46.16	9.09
1.87	85.45	44.42	46.32	9.40
3.28	94.92	49.74	46.60	9.87
5.38	109.14	57.73	47.02	10.55
8.54	131.64	69.73	47.90	11.56
13.02	186.78	94.77	197.56	13.74
14.61	210.70	193.19	225.79	14.23
16.08	233.11	240.00	271.39	15.33
17.26	251.89	240.44	290.14	16.50
17.81	261.37	240.66	296.04	17.08

Tabel 25. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T20-M20

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0.00
0.94	82.72	42.93	79.45	6.98
1.87	89.20	46.65	79.64	7.17
3.28	98.90	52.13	79.20	7.43
5.38	113.44	60.35	78.60	7.84
8.54	135.34	72.73	77.88	8.45
13.06	179.25	101.77	130.36	10.96
17.46	236.17	175.63	255.24	14.08
19.79	266.58	234.36	256.54	15.60
21.13	286.15	268.12	266.53	16.49
21.69	295.50	282.43	272.91	16.87
22.21	310.07	293.33	283.22	17.21

Tabel 26. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T20-M22

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0
0.94	87.58	42.23	52.76	6.91
1.87	94.46	45.81	52.78	6.84
3.28	104.78	51.16	52.81	6.90
5.38	120.28	59.18	52.87	7.97
8.54	143.57	71.25	52.97	9.55
13.08	187.05	94.04	94.24	12.62
17.52	243.77	175.89	241.96	15.49
21.95	300.82	287.60	259.81	18.10
23.68	326.33	290.55	271.27	19.49
24.23	336.54	299.15	278.01	19.97

Tabel 27. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T22-M16

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0.00
0.94	75.37	39.32	91.00	8.40
1.87	81.42	42.74	91.42	8.27
3.28	90.49	47.87	92.05	8.07
5.38	105.35	55.56	93.00	8.28
8.55	127.98	67.13	94.57	9.17
13.04	180.97	91.03	172.50	11.35
14.99	208.19	165.73	249.83	13.33
16.44	229.44	206.49	261.07	14.82
17.59	247.90	264.24	275.09	16.01
18.14	264.38	272.33	282.70	16.56

Tabel 28. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T22-M20

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0.00
0.94	80.47	39.39	45.46	6.74
1.87	86.69	42.88	45.61	6.86
3.28	96.01	48.07	45.72	7.05
5.38	110.02	55.85	45.88	7.55
8.54	131.09	67.56	46.15	8.32
13.07	173.80	91.91	115.05	10.43
17.47	229.69	150.35	246.41	13.68
20.49	267.80	215.63	255.51	15.63
21.35	282.26	232.71	261.20	16.19
22.18	305.89	246.39	271.26	16.90

Tabel 29. Tegangan pada Komponen Sambungan Model T22-M22

Beban (kN)	Kolom (MPa)	Pelat Dasar (MPa)	Baut Angkur (MPa)	Compression pada Beton (MPa)
0	0	0	0	0
0.94	86.89	38.46	35.49	5.27
1.87	93.67	41.75	35.28	5.54
3.28	103.85	46.63	34.92	5.98
5.38	119.14	53.96	35.15	6.88
8.54	142.16	64.98	35.77	8.23
13.09	181.32	93.79	99.59	11.12
17.55	236.35	141.61	232.75	14.17
22.00	290.85	230.21	257.97	17.03
22.99	303.90	249.49	259.80	17.68
23.95	317.57	266.79	267.14	18.36
24.49	328.02	264.79	273.85	18.79
25.02	337.69	271.79	282.12	19.213

PENUTUP

Kesimpulan

Beberapa hal yang menjadi kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semua model sambungan dalam penelitian ini menunjukkan perilaku yang sama pada saat kondisi elastis, baik dalam menahan momen dan rotasi yang terjadi. Perilaku akan berubah ketika sambungan memasuki kondisi inelastis/plastis.
2. Semua variasi pelat dasar dalam penelitian ini menunjukkan perilaku *intermediate/semi-rigid plate*.
3. Semua model sambungan dalam penelitian ini dapat diklasifikasikan sebagai sambungan *balanced mechanism*. Hal ini ditunjukkan dengan kolom yang mencapai tegangan leleh hampir bersamaan dengan komponen sambungan lain (pelat dasar dan baut angkur). Sehingga sambungan bekerja efektif dan efisien.
4. Sambungan *column base plate* dengan tebal pelat dasar 16 mm, 20 mm dan 22 mm, perubahan diameter baut angkur sangat mempengaruhi kapasitas momen dan rotasi sambungan. Dan berdasarkan perbandingan pertambahan kapasitas, sambungan dengan diameter baut angkur 20 mm menunjukkan hasil yang cukup efisien untuk profil kolom 250x250 dengan semua variasi tebal pelat dasar.
5. Sambungan *column base plate* dengan diameter baut angkur 16 mm, 20 mm dan 22 mm, perubahan tebal pelat dasar tidak berpengaruh signifikan terhadap momen *ultimate* dan kapasitas rotasi. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan kapasitas yang sangat kecil (kurang dari 10%).
6. Perubahan diameter baut angkur dan tebal pelat dasar tidak berpengaruh signifikan terhadap batas layan sambungan untuk kolom dengan tinggi 3 m (batas lendutan 12.5 mm).

Saran

1. Melakukan analisis pengaruh parameter sambungan lainnya seperti pengaruh penambahan pelat pengaku terhadap perilaku sambungan *column base plate*.
2. Melakukan analisis pengaruh rasio pelat dasar dan kedalaman tertanam baut angkur terhadap perilaku sambungan *column base plate*.
3. Melakukan analisis dengan variasi tipe angkur lain terhadap perilaku sambungan *column base plate*.

DAFTAR PUSTAKA

- AISC. 2010. *Specification for Structural Steel Building (ANSI/AISC 360-10)*. American Institute of Steel Construction. Chicago, Illinois, June 2010.
- Fisher, James dan Kloiber, Lawrence., 2006. *Design Guide 2nd Edition Base Plate and Anchor Rod Design*. American Institute of Steel Construction, Chicago.
- Gunawan, Rudy. 1988. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Kanisius. Yogyakarta.
- Dewobroto, Wiryanto. 2016. *Struktur Baja Perilaku dan Desain – AISC 2010*. Edisi Ke-2. Lumina Press, Jakarta.
- Dill, Ellis H. 2011. *The Finite Element Method for Mechanics of Solid with ANSYS Applications*. Advances in Engineering.
- Grauvilardell J. E., Lee D., Hajjar J. F., Dexter R.J., 2005. *Synthesis of Design, Testing and Analysis Research on Steel Column Base Plate Connections in High-Seismic Zones*. Struct. Engng. Report No. ST-04-02, Dept. of Civil Engng., Univ. of Minnesota, USA.
- Anonymous. ANSYS Mechanical APDL V.16 Material Reference
- Portland Bolt & Manufacturing Company. www.portlandbolt.com

Halaman ini sengaja dikosongkan