

ISBN: 978-979-116225-5-4

PROSIDING

KONFERENSI NASIONAL PASCASARJANA TEKNIK SIPIL

Inovasi dan Penelitian Pascasarjana
Dalam Bidang Teknik Sipil
Untuk Mendukung
Konstruksi yang Berkelanjutan

26 Mei 2010

Kampus ITB, Bandung

Editor:

Susy Fatena Rostiyanti
Moch. Husnillah Pangeran
Anton Soekiman

Diselenggarakan oleh



Program Studi Magister dan Doktor
Teknik Sipil FTSL
Institut Teknologi Bandung



Pusat Pembinaan Keahlian
dan Teknik Konstruksi BPKSDM
Kementerian Pekerjaan Umum

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap lima model struktur sambungan extended endplate dengan ukuran yang berbeda, menggunakan analisa elemen hingga dengan program solidworks dan cosmosworks serta perhitungan secara eksak dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut;

1. Moment capacity, M_c , yang dihasilkan oleh program cosmosworks menghasilkan nilai moment capacity yang berbeda dengan nilai moment capacity yang dihitung secara eksak, persentase perbedaan sebesar 26.7 % - 77.2 %. Perbedaan yang cukup significant ini disebabkan oleh perhitungan secara eksak tidak memperhatikan kondisi pembebanan melainkan hanya pada properties penampang model seperti tinggi balok. Sedangkan pada analisa dengan program menggunakan finite element analysis dengan memperhitungkan semua aspek seperti kondisi perletakan, pembebanan dan properties penampang.
2. Nilai moment capacity maksimum yang dihitung secara eksak $M_c = 159.21$ kNm pada model ST M-1 sedangkan moment capacity maksimum yang dihasilkan oleh program $M_c = 275$ kNm pada model ST M-1 dengan persentase perbedaan sebesar 72.1 %.
3. Dibandingkan dengan sambungan tipe flush endplate untuk model dengan ukuran yang sama, tipe sambungan extended end plate memiliki nilai moment capacity yang dihasilkan program, M_c yaitu 275 kNm sedangkan flush endplate connection memiliki $M_c = 124$ kNm, persentase perbedaan sebesar 54.91%. Sedangkan M_c yang dihasilkan secara eksak untuk Ekstended endplate sebesar 159.21 kNm dan Flush endplate sebesar 99.16 kNm. Persentase perbedaan yang cukup signifikan ini (37.72 %) dapat terjadi karena bentuk endplate yang berpengaruh terhadap kemampuan struktur dalam menerima beban.
4. Kurva moment - rotasi yang dihasilkan oleh program cosmoswork membentuk kurva nonlinier. Pada awal pembebanan kurva berbentuk linier, setelah mencapai tegangan leleh, sambungan menjadi plastis kemudian runtuh.

Sebagai saran, pada penelitian ini, metode yang digunakan hanya menghasilkan nilai pendekatan. Untuk menguji hasil penelitian ini maka perlu dilakukan eksperimental di laboratorium baik dengan full scale atau small scale.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Che Husni HJ (2005). Non linier Analysis of a Symmetric Flush endplate Bolted Beam to Column Steel Connector. Universitas Teknologi Malaysia.
- British Standards Institution BS 5950-1. (2000). Structural Use of Steelwork in Building Part 1: Code of Practice for Design - Rolled and Welded Sections. London: British Standards Institution.
- J M Angus (2001). Structure and Architecture, Second Edition. Universitas Edinburgh.
- Johan, M. (2007). Finite Element Analisis On The Strength Of Flush Endplate Connection With Trapezoid Web Profile Beam Using LUSAS Software. Universitas Teknologi Malaysia.
- Maiziz M.(2007). Finite Element Investigation On The Strength Of semi - rigid extended Endplate Connection Using LUSAS Software. Universitas Teknologi Malaysia.
- Ray SS. (1998) Structural Steelwork: Analysis and Design. Blackweel Science: USA.
- M. M. Tahrir, Anis Saggaff (2006). Economic aspects of the use of partial and full strength joints on multi storey unbraced steel frame. Universitas Teknologi Malaysia.
- Tahrir M M, Shek Pok Ngian. Performance cruciform coloumn using universal beam sections under axial compression load. Jurnal Teknologi Universitas Teknologi Malaysia 2005.
- The Steel Constructions Institute; Steel Designers' manual, 6th edition. Blackweel Publishing:2003
- The Steel Constructions Institute, The British Constructional Steelwork Association LTD. Joint in Steel Construction : Moment Connection. Publication No. 207. SCI, BSCA, 1995.
- Weaver JR W, Johnston, P. R (1993). Elemen Hingga untuk Analisis Struktur. Penerbit PT Eresco, Bandung.

18

ANALISA PERILAKU SAMBUNGAN BALOK BAJA DENGAN KOLOM CRUCIFORM MENGGUNAKAN EXTENDED ENDPLATE

Anis Saggaff¹, dan Imon Fikri Astira²

¹Dosen, Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Email: anissaggaf@yahoo.com

²Dosen, Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Baja merupakan material konstruksi yang memiliki kekuatan tinggi yang memberikan dampak design bangunan struktur yang terbuat dari baja sehingga menghasilkan ukuran penampang yang relatif kecil. Keuntungan lain adalah struktur cukup ringan, sekalipun berat jenis baja tinggi dan pondasi yang dihasilkan hemat, secara tidak langsung akan menghemat biaya konstruksi secara keseluruhan. Pada struktur bangunan baja, sambungan merupakan komponen yang sangat penting karena sambungan berperan sebagai penyangga kekuatan diantara masing – masing element utama, hal ini mengharuskan komponen tersebut dapat berfungsi dengan baik, oleh karena itu diperlukan detail yang akurat, kelakuan dan spesifikasi sambungan untuk menjamin kestabilan dan keamanan bangunan. Sambungan extended endplate adalah salah satu tipe sambungan dari jenis sambungan semirigid. Sambungan semirigid memiliki kekakuan mendekati sambungan rigid akan tetapi tetap mempunyai fleksibilitas seperti halnya pada sambungan simple atau pin. Perilaku sambungan dapat dilihat dari kurva moment-rotasi ($m-\phi$ curve). Kurva moment – rotasi menggambarkan rigidity, strength dan ductility dari sambungan. Pada penelitian ini analisa perilaku sambungan balok baja dengan kolom cruciform menggunakan software komputer yaitu SOLIDWORKS sebagai input data kemudian dianalisa dengan menggunakan program COSMOSWORKS yang berbasis finete element anaysis sehingga akan menghasilkan output data berupa tegangan, regangan dan defleksi. Finete Elemet Analysis pada struktur sambungan tiga dimensi dengan program cosmoswork memberikan nilai moment capacity (Mc) yang berbeda dengan Mc pada perhitungan rigoros metode. Kedua metode ini menghasilkan persentasi perbedaan sebesar 26.7% - 77.2.

Kata kunci: sambungan baja, extended end plate, cruciform column

PENDAHULUAN

Struktur konstruksi suatu bangunan terdiri dari struktur pondasi, struktur rangka yaitu balok dan kolom, struktur plat serta struktur penutup yaitu atap. Struktur konstruksi tersebut dapat terbuat dari material kayu, batu, baja, beton bertulang ataupun gabungan beton dan baja (*composite*). Perkembangan pembangunan yang cukup besar membuat kebutuhan material meningkat padahal material seperti kayu berasal dari alam dan terbatas.

Baja merupakan salah satu alternatif material konstruksi yang memiliki keuntungan berdasarkan faktor fleksibilitas, durabilitas, kualitas dan ekonomis. Baja merupakan suatu jenis baja yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, kekuatan dan sifatnya, cocok untuk pemikul beban. Baja struktur banyak dipakai untuk kolom serta balok bangunan bertingkat, sistem penyangga atap, tangga, jembatan, menara antena, penahan tanah, fondasi tiang pancang, dan lain – lain.

Beberapa keuntungan yang diperoleh dari baja sebagai bahan struktur adalah baja mempunyai kekuatan cukup tinggi serta merata, kekuatan baja terhadap tarik ataupun tekan tidak banyak berbeda dan bervariasi dari 300 MPa sampai 2000 MPa.

Kekuatan tinggi ini mengakibatkan struktur yang terbuat dari baja umumnya mempunyai ukuran tampang yang relatif kecil jika dibandingkan dengan struktur yang lain. Oleh karena itu struktur cukup ringan, sekalipun berat jenis baja tinggi.

Komponen struktur baja terdiri dari batang tekan, batang tarik, batang lentur, batang dengan kombinasi kekuatan, dan sambungan. Diantara komponen tersebut yang paling berbahaya adalah sambungan. Sebagian besar struktur baja mengalami kegagalan disebabkan perencanaan sambungan yang buruk dan kurang layak, kegagalan karena struktur utama menyebabkan sambungan mengalami rusak sebagian. Konstruksi baja yang masih sederhana menggunakan sambungan *pinned* atau *rigid* sebagai sambungan untuk balok dan kolom. Tipe lain dari sambungan yang dapat di desain untuk sambungan balok dan kolom adalah menggunakan sebuah kondisi antara *simple* dan *rigid*. Tipe ini yang dikenal sebagai sambungan *semi rigid* atau sambungan *partial strength*.

Sebuah metode yang dapat dilakukan adalah dengan membuat model sambungan adalah dengan metode elemen hingga yang menggunakan media *software* komputer Solidworks 2007 dan Cosmosworks. Metode ini merupakan salah satu alternatif selain percobaan di laboratorium. Karena perkembangan analisis elemen hingga saat ini dan kemajuan teknologi komputer, metode ini tidak hanya memungkinkan tetapi juga lebih ekonomis, menghemat waktu dan memudahkan dalam membuat variasi tipe sambungan.

Perumusan Masalah

Penelitian lebih dalam tentang perilaku sambungan baja antara balok dan kolom sangat diperlukan untuk memastikan kestabilan dan keamanan suatu konstruksi. Penelitian tentang ini telah banyak dilakukan oleh para peneliti yang melakukan *experimental* di laboratorium. Tetapi hal ini membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar. Penggunaan program komputer mengenai pemodelan struktur dan analisa elemen hingga dapat menjadi alternatif penelitian untuk mengurangi waktu dan biaya. Analisa perilaku sambungan baja terhadap balok dan kolom dapat dilakukan dengan menggunakan *software* komputer SOLIDWORKS dan COSMOSWORKS yang menghasilkan output data berupa tegangan, regangan, dan defleksi.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan perilaku sambungan balok – kolom *cruciform* yang menggunakan tipe sambungan *extended endplate* dan mendapatkan data tegangan, regangan, dan defleksi yang kemudian dapat digunakan untuk menganalisa kurva momen – rotasi ($m-\phi$). Penelitian ini juga menggunakan perhitungan analitis untuk mencari *moment capacity* sambungan tersebut.

Ruang Lingkup

Penelitian ini difokuskan antara lain pada:

1. Profil yang digunakan untuk balok adalah Universal Beam (UB), dan profil untuk kolom adalah Cruciform Column (CC).
2. Sambungan yang digunakan Extended Endplate (semi-rigid).
3. Standard peraturan yang dipakai adalah British Standard (BS) 5950 1: 2000.
4. Pemodelan struktur menggunakan program Solidworks 2007.
5. Analisa terhadap tegangan, regangan, dan defleksi menggunakan program CosmosWorks.

2. LANDASAN TEORI

Perencanaan sambungan sangat tergantung pada keputusan yang diambil oleh perancang untuk memakai suatu metode analisa berdasarkan peraturan yang ada. Peraturan BS5950 memberikan empat macam pendekatan dalam mendesain suatu struktur terhadap perilaku mendasar dari sambungan.

Metode perencanaan yang dapat digunakan adalah simple design, semi - continuous design, continuous design dan experimental verification. Analisa secara umum meliputi Elastic, plastic dan elastic - plastic dapat digunakan dengan tiga pendekatan. Berdasarkan kurva moment-rotasi, sambungan dapat diklasifikasikan kedalam 3 karakteristik sebagai berikut;

1. *Moment Resistance*

Berdasarkan *moment resistance* sambungan dapat dibagi menjadi *full strength*, *partial strength* dan *pinned*.

2. *Rotational Stiffness*

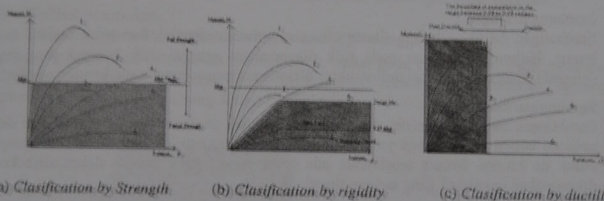
Berdasarkan kekakuannya, sambungan dapat dibagi menjadi *rigid*, *semi rigid*, dan *pinned*.

3. *Rotational capacity*

Terhadap beban yang berulung seperti beban gempa maka sambungan harus bersifat *ductile*.

Kurva Moment Rotasi (M- ϕ)

Kurva moment - rotasi (M- ϕ) adalah grafik hubungan antara moment (sumbu y) dan rotasi (sumbu x) dari suatu sambungan, (gambar 2.1 a, b, c). Moment, M dalam hal ini adalah diakibatkan oleh beban yang bekerja pada bidang balok terhadap sambungan dalam jarak tertentu. Rotasi (ϕ) adalah perpindahan balok terhadap kolom dalam arah dan sudut tertentu.



Gambar 2.1. Kurva moment - rotasi (M- ϕ),

Pada umumnya kurva momen - rotasi (M- ϕ) dari sebuah sambungan dapat memberikan beberapa sifat atau karakteristik sebagai berikut;

1. Kekakuan dari sebuah sambungan diidentifikasi dari kemiringan kurva (M- ϕ).
2. Pada umumnya perilaku sambungan adalah non linier, dimana kekakuan menurun sedangkan rotasi meningkat.
3. Secara teori, kekakuan awal $S_{j,ini}$ mempunyai angka yang sama dengan kekakuan setelah dibebani $S_{j,ult}$, (gambar 2.1.b).
4. Kekuatan dari titik kumpul adalah indikasi dari nilai momen capacity yang dapat diambil dari nilai tertinggi pada kurva moment - rotasi, (gambar 2.1.a).
5. Ductility dari sambungan adalah indikasi dari rotasional capacity yang didapat dari titik kumpul sebelum terjadi kehilangan kekuatan secara signifikan. Ductility meningkat dan rotasi juga meningkat. Sebuah sambungan dapat dinyatakan duktile jika memenuhi syarat bahwa rotasi yang terjadi lebih besar dari 0.03 radians, (Gambar 2.1.c).

Pada gambar 2.1.a. berkenaan dengan strength, sambungan diklasifikasikan menjadi full strength, partial strength, dan nominally pinned.

Sambungan full strength didefinisikan sebagai sambungan dengan moment resistance, M lebih besar sama dengan moment capacity ($M \geq M_{cx}$), kurva 1, 2, dan 4 menunjukkan sambungan full strength. Sambungan partial strength didefinisikan sebagai sambungan dengan moment resistance kurang dari sama dengan moment capacity ($M < M_{cx}$), kurva 3 dan 5 termasuk kedalam klasifikasi partial strength. Sedangkan nominally pinned adalah sambungan yang cukup fleksibel dengan moment resistance tidak lebih dari 25% dari moment capacity, kurva 6 menggambarkan sambungan tipe nominally pinned.

Pada gambar 2.1.b. rigidity sama dengan rotational stiffness dimana kurva 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan sambungan rigid. Kurva 5 termasuk dalam klasifikasi sambungan semi-rigid. Dalam peraturan BS5950 yang menjelaskan bahwa garis putus-putus antara rigid dan semi rigid didapatkan dari rumus $2EI/L$.

Pada gambar 2.1.c, kurva 2, 4, dan 5 adalah sambungan yang ductile. Kurva 1 tidak ductile dan kurva 3 berada antara ductile dan non-ductile. Kurva 6 merupakan jenis sambungan nominally pinned. Sambungan jenis ini merupakan sambungan sederhana.

Sambungan Berdasarkan Karakteristik Kekakuan (Rigidity)

Sambungan dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat kekakuannya (rigidity) dan pengelompokan metode perencanaan rangka. Klasifikasi ini meliputi, sambungan simple, rigid, dan semi-rigid.

1. Sambungan simple

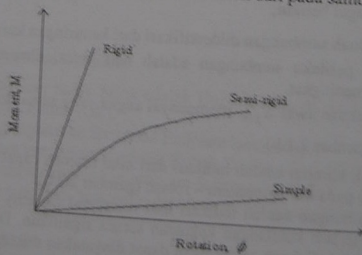
Sambungan balok-kolom diasumsikan sederhana (simple) dan tidak terjadi momen lentur. Hubungan struktur pada titik diasumsikan sebagai titik kumpul yang terjepit (pinned). Kestabilan lateral dari struktur dikuatkan dengan memasang bracing vertikal.

2. Sambungan kaku (Rigid).

Sambungan balok dan kolom diasumsikan kaku dan geometri sambungan diubah dengan aplikasi beban yang bekerja pada struktur, mampu meneruskan semua momen ujung dari balok ke kolom. Secara teori tidak ada rotasi relatif pada rangka dalam titik kumpul dikarenakan kekakuan yang sangat tinggi.

3. Sambungan Semi rigid

Sambungan semi rigid didesain fleksibel tetapi memenuhi syarat-syarat kekakuan seperti sambungan rigid tetapi tidak terjepit. Sambungan semi rigid dirancang kaku seperti sambungan rigid namun mampu meneruskan momen dan rekasi (geser dan gaya normal). Nilai dari rotasi sambungan semi rigid lebih kecil dari pada sambungan simple.



Gambar. 2.2. Kurva moment-rotasi ($M-\phi$), variasi tipe sambungan
Sambungan semi rigid pada gambar 2.2 memiliki beberapa keuntungan seperti:

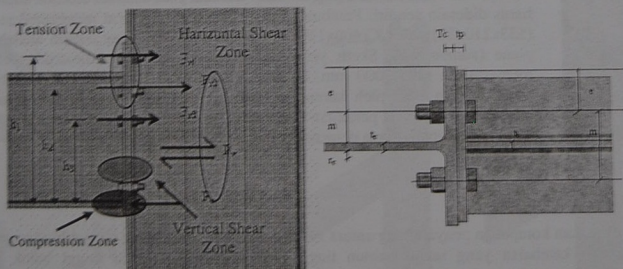
1. Mengurangi berat sendiri baja yang digunakan karena mengekang moment tapi mengurangi momen yang dibawa oleh balok sehingga ukuran balok menjadi lebih kecil.
2. Sambungan semi rigid akan menyederhanakan detail, menghemat waktu dan memudahkan dalam pabrikasi dan proses pemasangan dibandingkan dengan sambungan rigid yang sangat kompleks.
3. Dari penelitian di beberapa daerah, biaya pembangunan struktur rangka baja dengan sistem semirigid, termasuk biaya pembuatan, pengiriman dan pemasangan berkurang 5% sampai 25% dibandingkan dengan menggunakan sambungan rigid.

Moment Connections (M_c)

Moment connections dibagi menjadi tiga bentuk:

1. Flush end-plate connections.
Pada umumnya untuk sambungan flush endplate, endplate sambungan dibuat setinggi penampang balok kemudian dilas pada penampang balok dan dibuat pada flens kolom.
2. Extended end - plate connections.
Untuk sambungan extended endplate, endplate dibuat lebih panjang dari tinggi penampang balok, pada perpanjangan bagian atas dipasang baut moment untuk memperkuat sambungan terhadap beban dinamik. Sambungan extended endplate memiliki kekakuan dan moment resistance yang lebih besar dari pada sambungan flush endplate.
3. Welded connection.
Selain menggunakan baut, sambungan dapat juga menggunakan las.

Gaya yang bekerja pada balok akan menimbulkan reaksi pada sambungan. Pada baris baut atas akan mengalami tarik sementara baris baut paling bawah akan tertekan, gambar 2.3 menggambarkan distribusi gaya yang dialami sambungan.



Gambar 2.3. Zona - Zona kritis pada titik kumpul

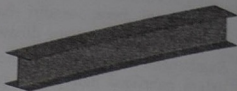
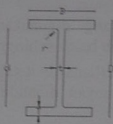
3. PEMODELAN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM

Permodelan yang digunakan dalam research ini adalah pemodelan struktur dengan menggunakan software solidworks dan analisa dirunning dengan cosmosworks.

Balok

Secara umum penelitian ini menggunakan universal beam (UB) dengan properties pada gambar 3.1. dengan 8 variasi ukuran balok UB seperti tertera pada tabel 3.1.

B = lebar flens
 D = tinggi balok
 $d = D - 2T$
 T = tebal flens
 t = tebal web
 r = radius gyration



Gambar.3.1. Profil Universal Beam (UB)

Untuk mempermudah dan mempercepat pembuatan model struktur, maka permodelan menggunakan profil baja yang terdapat pada menu Toolbox dengan berbagai ukuran dan standard internasional dari program Solidwork.

Tabel 3.1. Dimensi profil Universal Beam yang digunakan

Section Design	Kg/m	D (mm)	B (mm)	t (mm)	T (mm)	r (mm)	d (mm)
406x178x67	67.1	409.4	178.8	8.8	14.3	10.2	360.4
406x140x39	39.0	398.0	141.8	6.4	8.6	10.2	360.4
356x171x67	67.1	363.4	173.2	9.1	15.7	10.2	311.6
356x127x39	39.0	353.4	126.0	6.6	10.7	10.2	311.6
305x165x54	54.0	310.4	166.9	7.9	13.7	8.9	265.2

Cruciform Column

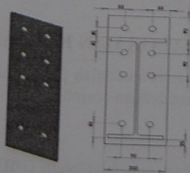


Kolom yang dipakai adalah cruciform column universal column menggunakan profil UC (533x210x82) dan UC (406x178x74) atau cruciform column (533x178x160), dan pada penelitian ini kolom merupakan variable tetap dimana properties kolom adalah tetap selama penelitian. Cruciform column merupakan bentuk baru, Profil ini tidak tersedia pada fasilitas toolbox sehingga harus didesain sendiri. Pembuatan model kolom cruciform menggunakan UC (533x210x82) dan UC(406x178x74). Bidang gambar yang dipilih adalah top plane (sumbu x-z). Sketh yang sudah selesai kemudian diextrude dengan memasukkan nilai 3000 mm. Struktur kolom akan disambung dengan balok menggunakan baut oleh karena itu pada kolom diberi lubang (hole) untuk memasang baut pada perakitan (assembly) model struktur (gambar 3.2). Untuk pembuatan lubang sama dengan pembuatan lubang pada plate.

Gambar 3.2. Cruciform Column

End-plate

Plate merupakan komponen penyambung antara balok dan kolom. Plate yang akan dibuat memiliki panjang dan ketebalan yang tetap, namun tinggi yang bervariasi sesuai tinggi balok yang digunakan tertera pada gambar 3.3.



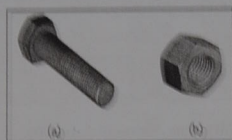
Gambar 3.3. End-plate dan jarak pemasangan baut pada end plate 200 x 12

Tabel 3.2: Rencana Profil Model

Nama Model	Balok (UB)	Kolom (Cruciform)	Endplate	Baris Baut	Ukuran Baut
ST M-1	406 x 178 x 67	533x406x160	200x12	4	M20
ST M-2	406 x 140 x 39				
ST M-3	356 x 171 x 67				
ST M-4	356 x 127 x 33				
ST M-5	305 x 165 x 54			3	

Baut dan Nuts

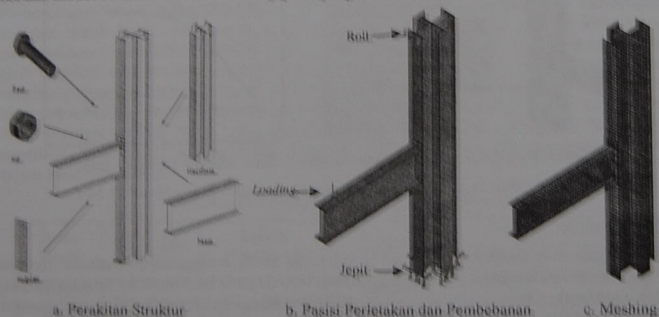
Baut yang digunakan adalah diameter 20 millimeter, M20 dengan ukuran Nut 20 dan baut yang dipakai adalah Hex crew Grade AB BS EN 24018. Seperti tertera pada gambar 3.4 a dan 3.4 b



Gambar 3.4. (a) Baut dan (b) Nut

Perakitan Model Struktur (Assembly)

Setelah bagian-bagian selesai didesain selanjutnya adalah menggabungkan bagian-bagian menjadi sebuah model struktur dalam Assembly pada program solidwork.



Gambar 3.5: Model Struktur UB - Cruciform Column

Berdasarkan BS 5950 part:1 untuk tebal endplate, flens balok dan kolom kurang dari 16 mm, material baja digunakan adalah grade 43 dengan yield strength 275 Mpa. Untuk baut dan nut digunakan baja grade 8.8. Meshing adalah dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dengan membagi struktur menjadi bagian-bagian kecil berhingga yang berbentuk element meshing segitiga tiga dimensi dengan 4 titik (tetra hedron) seperti tercermin pada gambar 3.5.

4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

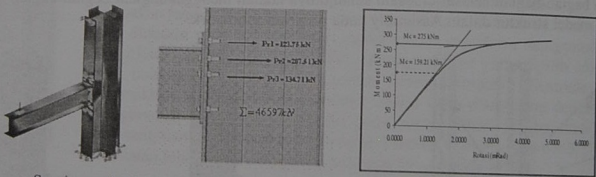
Data dianalisa untuk mendapatkan nilai tegangan, regangan dan defleksi serta nilai moment dan rotasi. Data yang ada akan diolah terlebih dahulu dan akan mendapatkan kurva hubungan moment dan rotasi yang kemudian dapat ditarik garis singgung untuk mendapatkan nilai moment capacity. Perhitungan secara analitical juga dilakukan untuk mendapatkan nilai Moment Capacity. Dari hasil perhitungan didapat data seperti tertera pada table 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan *Moment Capacity* dengan *Rigorous Method*

Model	Tension Zone			Compres Pc (kN)	Shear Pv (kN)	Momen Capacity			
	Pr1 kN	Pr2 kN	Pr3 kN			h1(m)	h2(m)	h3(m)	Mc (kN.m)
ST M-1	123.75	207.51	134.71	554.64	444.3	0.442	0.342	0.249	159.21
ST M-2	123.75	202.35	119.52	445.62	444.3	0.433	0.333	0.243	150.00
ST M-3	123.75	207.51	121.46	452.72	444.3	0.396	0.296	0.206	135.45
ST M-4	123.75	207.51	129.12	516.58	444.3	0.388	0.288	0.198	133.34
ST M-5	123.75	207.51	0	450	444.3	0.344	0.244	0	93.20

Kurva Moment Rotasi dan Perhitungan Moment Capacity

Dari tabel 4.1 didapatkan sebuah grafik hubungan momen dan rotasi, gambar 4.1 a, b, c menunjukkan kondisi sambungan akibat loading pada balok. Nilai moment capacity didapatkan dengan menarik garis singgung pada kurva seperti gambar 4.1 c.



a.Speciment, load, dan tegangan. b.Transfer gaya ke baut. c.Grafik moment – rotasi.

Gambar 4.1 Contoh Testing Spesiment dan Kurva Moment – Rotasi Model ST M-1

Pembahasan.

Hasil perhitungan moment capacity dengan pendekatan eksak menggunakan metode rigorous didapat hasil seperti pada table 4.1. Gaya – gaya yang bekerja pada baut untuk ke lima model yang digunakan memberikan besar gaya yang sama, perbedaan tinggi balok menghasilkan nilai moment capacity yang berbeda, table 4.1 menunjukkan nilai moment capacity terbesar adalah 159.21 kNm yaitu model ST M-1 dan moment capacity terkecil adalah 93.20 kNm yaitu model ST M-5.

Dari gambar 4.1c terlihat sambungan mengalami tahap linier pada awal pembebanan, kemudian plastis setelah pembebanan melebihi momen capacity-nya. Kurva moment rotasi dari kelima model struktur yang dianalisis oleh program secara nonlinier sehingga menghasilkan kurva semi rigid. Perhitungan secara eksak menggunakan rigorous metode dipengaruhi oleh grade dari material baja yang digunakan. Tebal endplate, flens kolom, flens balok dan baut sangat mempengaruhi grade material yang digunakan.



Gambar 4.2. Plat Tegangan Maksimum Model

Nilai moment capacity yang dihitung secara eksak dan finite element analysis menghasilkan nilai yang tidak sama. Persentase perbedaan antara moment capacity yang dihasilkan oleh program dan moment capacity yang dihitung secara eksak memiliki persentase perbedaan antara 26 - 77 % tercermin pada gambar 4.2. Perbedaan ini cukup significant, hal ini disebabkan perhitungan secara eksak tidak memperhatikan kondisi pennebaran melainkan dipengaruhi oleh tinggi balok dan jarak baut ke flens bawah. Sedangkan pada analisa dengan program menggunakan analisa finite element memperhatikan pennebaran, tebal web balok dan tebal flens balok.

Tabel 4.2. Perbandingan Nilai Moment Capacity dari hasil Perhitungan Program Cosmoswork dan Eksak

Model	Moment Capacity, M_c (kNm)		Perbedaan (%)
	Eksak	Cosmoswork	
SDO N6-1	1559,211	275	772,7%
SDO N6-2	1551,000	190	26,7%
SDO N6-3	1335,45	240	771,2%
SDO N6-4	1333,34	170	27,5%
SDO N6-5	93,20	150	60,9%

Perbandingan kurva moment - rotasi sambungan extended endplate dan sambungan flush endplate untuk balok dan kolom yang sama serta analisa dengan metode yang sama akan menghasilkan nilai moment capacity seperti tertera pada table 4.2. Tipe sambungan extended endplate memiliki nilai moment capacity yang dihasilkan program $M_c = 275$ kNm sedangkan flush endplate connection memiliki $M_c = 124$ kNm, persentase perbedaan sebesar 54,90%. Sedangkan M_c yang dihasilkan secara eksak untuk Extended endplate tabel 4.3 sebesar 1559,211 kNm dan Flush endplate sebesar 99,16 kNm. Persentase perbedaan sebesar 37,72%. Perbedaan cukup signifikan dapat terjadi karena bentuk endplate yang berpengaruh terhadap kemampuan struktur dalam menerima beban.

Tabel 4.3. Perbandingan moment capacity EEP dan FEP

Nama Model	Balok (UB)	Kolom (Cruciform)	Endplate	Moment Capacity (kNm)	
				Eksak	Cosmoswork
SDO N6-1 (CF-1)	406x178x67	533x406x160	Extended	1559,211	275
			Flush	99,16	124
Persentase perbedaan (%)				37,72	54,91

Beban yang bekerja pada struktur menyebabkan terjadinya tegangan. Dengan analisa menggunakan metode elemen hingga oleh program cosmoswork dapat diketahui daerah kritis atau daerah yang memiliki tegangan paling besar. Pada gambar 4.2 daerah yang paling berbahaya adalah daerah berwarna merah. Dari ke lima model struktur daerah yang memiliki tegangan paling besar berada pada daerah sambungan seperti pada web kolom, flens balok, kolom dan endplate.