

**STUDI PERBANDINGAN PERENCANAAN BALOK TINGGI
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STRUT AND TIE MODEL* DAN
PENAMPANG KRITIS**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

AGENG FRISTNAWAN

NIM. 0510612001-61

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL
2007

**STUDI PERBANDINGAN PERENCANAAN BALOK TINGGI
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STRUT AND TIE* MODEL DAN
PENAMPANG KRITIS**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

AGENG FRISTNAWAN

NIM. 0510612001-61

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Wisnumurti, MT.
NIP. 131 879 046

Ir. Siti Nurlina, MT.
NIP. 131 879 036

**STUDI PERBANDINGAN PERENCANAAN BALOK TINGGI
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STRUT AND TIE* MODEL DAN
PENAMPANG KRITIS**

Disusun oleh:
AGENG FRISTNAWAN
NIM. 0510612001-61

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 8 Oktober 2007

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DOSEN PENGUJI

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.
NIP. 130 928 855

Ir. Wisnumurti, MT.
NIP. 131 879 046

Ir. Siti Nurlina, MT.
NIP. 131 879 036

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil

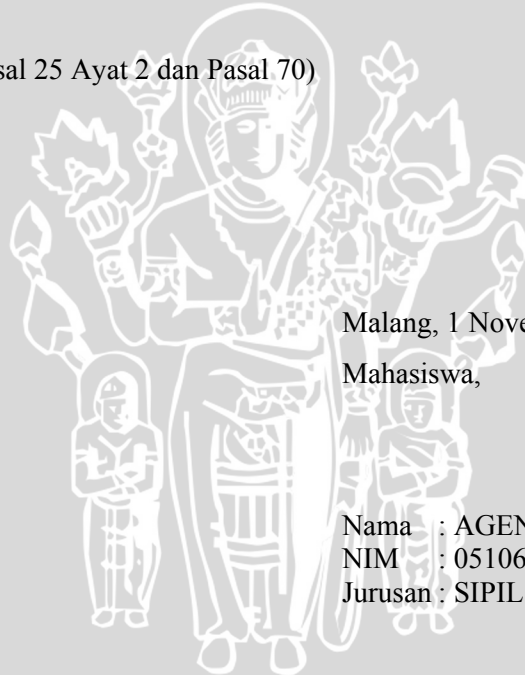
Ir. As'ad Munawir, MT.
NIP. 131 574 850

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya, di dalam naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

(UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70)



Malang, 1 November 2007

Mahasiswa,

Nama : AGENG FRISTNAWAN

NIM : 0510612001-61

Jurusan : SIPIL

Ikatlah ilmu itu dengan
Tinta.....
Karna ia lebih kuat dari
Ingatan.....



Persembahkan buat
Ibu, ayah, dan keluarga,
agama, bangsa dan negaraku

RINGKASAN

AGENG FRISTNAWAN, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, September 2007, *Studi Perbandingan Perencanaan Balok Tinggi dengan Menggunakan Metode Strut and Tie Model dan Penampang Kritis*, Dosen Pembimbing : Ir. Wisnumurti, MT. dan Ir. Siti Nurlina, MT.

Balok tinggi sering digunakan untuk memikul beban yang sangat berat. Balok tinggi sering digunakan pada bangunan bertingkat tinggi, dan sering dijumpai pada lantai-lantai bawah. Balok tinggi dapat ditemukan pada balok transfer, balok pada dermaga, dinding pondasi yang mendukung pondasi baris, lantai beton yang mengalami beban horizontal, dan dinding geser.

Tugas akhir ini bertujuan untuk : (1) mengetahui perencanaan balok tinggi dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berdasarkan *strut and tie model* dan metode penampang kritis, (2) mengetahui perbandingan hasil perencanaan balok tinggi dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berdasarkan *strut and tie model* dan penampang kritis.

Model yang digunakan dalam perencanaan balok tinggi adalah balok pada dermaga petikemas Tanjung Perak dengan bentang 8 m dan 6,25 m. Balok dermaga tersebut menerima beban hidup dari petikemas dan *Straddle Crane*. Pada masing-masing bentang balok tinggi digunakan tiga dimensi yang berbeda.. Digunakan dua bentuk rangka, yaitu bentuk rangka miring dan bentuk rangka silang

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah perencanaan balok tinggi dengan metode Penampang Kritis menggunakan besarnya gaya-gaya pada penampang kritis dalam menentukan kebutuhan tulangan geser disepanjang bentang, sedangkan perencanaan balok tinggi dengan *Strut and Tie Model* menggunakan besarnya *Tie* pada tiap-tiap bagian rangka batang dalam menentukan kebutuhan tulangan geser maupun lentur. *Strut and tie model* memberikan perbedaan luas tulangan antara daerah tumpuan dan lapangan sebesar 5,78% untuk bentuk rangka miring dan 8,32% untuk bentuk rangka silang. Sedangkan perbedaan tersebut mencapai 35,55% pada metode penampang kritis. Bentuk rangka yang digunakan sangat mempengaruhi dalam *strut and tie model*. Bentuk rangka silang lebih mendekati hasil perhitungan penampang kritis jika dibandingkan bentuk rangka miring. Perbedaan luas tulangan antara metode penampang kritis dan *strut and tie model* dengan rangka miring adalah 19,079%, sedangkan untuk rangka silang adalah 17,946%.

Berdasarkan hasil tugas akhir ini, dapat direkomendasikan kepada perencana yang menggunakan *strut and tie model* untuk dapat mencoba beberapa model rangka batang sebelum menentukan pilihan. Model rangka yang dipilih harus dapat menggambarkan hasil perhitungan statika dari balok tinggi.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil Aalamiin, berkat kemurahan dan kemudahan yang dikaruniakan Allah SWT, sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat pada waktunya. Sholawat serta salam semoga tetap tercurah pada junjungan besar Nabi Muhammad SAW pembawa risalah yang sempurna ini.

Didalam menyelesaikan laporan ini, penyusun mendapat masukan yang begitu banyak sehingga sangat membantu dalam penyelesaian laporan ini. Untuk itu pada kesempatan kali ini penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. As'ad Munawir, MT., selaku ketua Jurusan Sipil.
2. Bapak Hendi Bowoputro, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Sipil.
3. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Kelompok Bidang Studi Struktur.
4. Bapak Ir. Wisnumurti, MT. dan Ibu Ir. Siti Nurlina, MT., selaku dosen pembimbing.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS., selaku dosen penguji.
6. Seluruh saudara-saudara seiman yang terus berjuang diatas agama ini.

Mengingat manusia merupakan tempat salah dan lupa, penyusun sadar bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Dengan segala kerendahan hati, penyusun mengharap tegur sapa dari para pembaca demi kesempurnaan penulis selanjutnya. Sebuah harapan semoga Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai salah satu referensi begi perkembangan dunia Teknik Sipil.

Malang, 1 November 2007

Penyusun

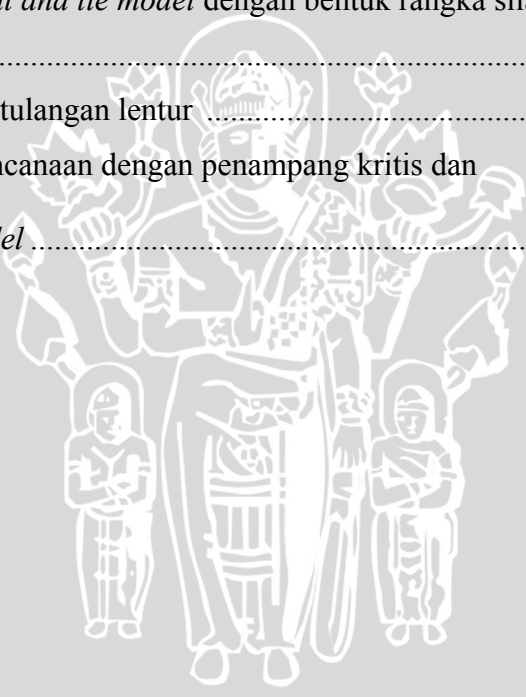
DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Kajian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Kajian	3
II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Daerah B dan daerah D (<i>B-Regions and D-Regions</i>)	4
2.2 Balok Tinggi	5
2.3 Perencanaan Balok Tinggi berdasarkan Metode Penampang Kritis (SNI 03-2847-2002).....	11
2.3.1 Perencanaan Lentur	11
2.3.2 Perencanaan Geser.....	11
2.4 Strut and tie model.....	13
2.4.1 <i>Strut</i> (Batang Tekan).....	14
2.4.2 <i>Tie</i> (Batang Tarik).....	17
2.4.3 Nodal.....	18
III METODOLOGI.....	20
3.1 Rencana Kajian	20
3.2 Kerangka Kajian	20
3.2.1 Rencana Pembebanan	21
3.2.2 Perencanaan balok tinggi dengan metode penampang kritis.....	23
3.2.3 Perencanaan balok tinggi dengan strut and tie models.....	24
IV PEMBAHASAN.....	26

4.1 Data.....	26
4.2 Dimensi Balok	26
4.3 Pembebanan	27
4.4 Statika	30
4.5 Perhitungan	34
4.5.1 Metode penampang kritis pada balok tinggi bentang 8m	34
4.5.2 Metode <i>strut and tie model</i> pada balok tinggi bentang 8m	49
4.5.2.1 Perhitungan <i>strut and tie model</i> dengan bentuk rangka miring	49
4.5.2.2 Perhitungan <i>strut and tie model</i> dengan bentuk rangka silang	67
4.5.3 Metode penampang kritis pada balok tinggi bentang 6,25m	68
4.5.4 Metode <i>strut and tie model</i> pada balok tinggi bentang 6,25m.....	83
4.5.4.1 Perhitungan <i>strut and tie model</i> dengan bentuk rangka miring	83
4.5.4.2 Perhitungan <i>strut and tie model</i> dengan bentuk rangka silang	101
4.6 Pembahasan	102
V PENUTUP.....	105
5.1 Kesimpulan	105
5.2 Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	106
LAMPIRAN.....	107

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Beban merata terfaktor	29
Tabel 4.2	Beban terpusat terfaktor.....	29
Tabel 4.3	Hasil perhitungan momen dan gaya geser dengan <i>SAP2000 student version 7.40</i>	31
Tabel 4.4	Hasil perhitungan rangka batang silang dengan <i>SAP2000</i> <i>student version 7.40</i>	32
Tabel 4.5	Hasil perhitungan rangka batang silang dengan <i>SAP2000</i> <i>student version 7.40</i>	33
Tabel 4.6	Perhitungan <i>strut and tie model</i> dengan bentuk rangka silang bentang 8 m.....	67
Tabel 4.6	Perhitungan <i>strut and tie model</i> dengan bentuk rangka silang bentang 6,25 m.....	101
Tabel 4.8	Kebutuhan luas tulangan lentur	102
Tabel 4.9	Perbedaan perencanaan dengan penampang kritis dan <i>strut and tie model</i>	104



DAFTAR GAMBAR

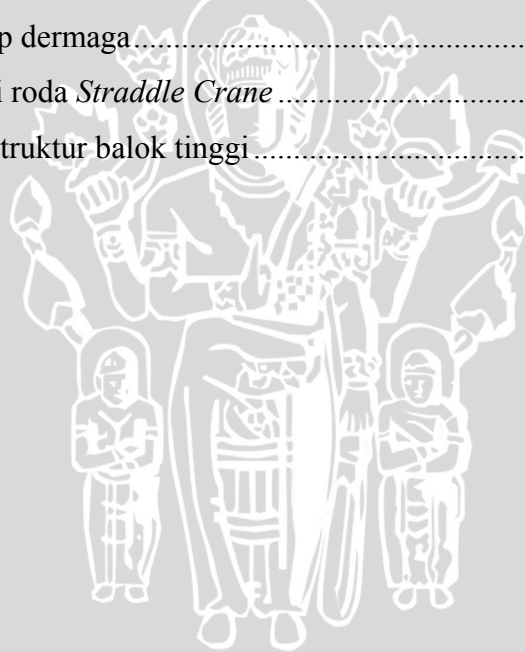


No	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 Daerah B dan daerah D	4
	Gambar 2.2 Mekanisme busur pada balok tinggi	6
	Gambar 2.3 Balok tinggi dibebani secara terpusat	8
	Gambar 2.4 Balok tinggi dibebani secara merata	10
	Gambar 2.5 Contoh <i>strut and tie model</i> pada berbagai struktur beton	13
	Gambar 2.6 Model rangka batang	14
	Gambar 2.7 Model <i>strut</i> dalam 2-dimensi	15
	Gambar 2.8 <i>Strut dan tie</i>	15
	Gambar 2.9 Tulangan yang memotong sebuah <i>strut</i>	16
	Gambar 2.10 Tulangan satu lapis	18
	Gambar 2.11 Penyebaran Tulangan	18
	Gambar 2.12 Macam <i>nodal</i>	19
	Gambar 3.1 Kerangka kajian	21
	Gambar 3.2 Bentuk rangka miring pada balok bentang 8 meter	22
	Gambar 3.3 Bentuk rangka silang pada balok bentang 8 meter	22
	Gambar 3.4 Bentuk rangka miring pada balok bentang 6,25 meter	23
	Gambar 3.5 Bentuk rangka silang pada balok bentang 6,25 meter	23
	Gambar 3.6 Tahapan dalam model penunjang dan pengikat	24
	Gambar 3.2 Denah Dermaga Petikemas Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya	25
	Gambar 4.1 Dimensi balok tinggi	26
	Gambar 4.2 Distribusi pembebanan balok	27
	Gambar 4.3 Konfigurasi beban terpusat dari <i>Straddle Crane</i>	29
	Gambar 4.4 Pembebanan balok tinggi	30
	Gambar 4.5 Pembebanan rangka batang	31
	Gambar 4.6 Penulangan Balok Tinggi 100/220 dengan metode penampang kritis	38
	Gambar 4.7 Penulangan Balok Tinggi 80/210 dengan metode penampang kritis	43
	Gambar 4.8 Penulangan Balok Tinggi 60/200 dengan metode penampang kritis	48
	Gambar 4.9 Pembebanan Balok tinggi dimensi 100/220	49
No	Judul	Halaman
	Gambar 4.10 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 100/220	49
	Gambar 4.11 Strut 15 balok tinggi dimensi 100/220	52

Gambar 4.12 Penulangan balok 100/220 dengan <i>strut and tie model</i>	54
Gambar 4.13 Pembebanan balok tinggi dimensi 80/210	55
Gambar 4.14 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 80/210	55
Gambar 4.15 Strut 15 balok tinggi dimensi 80/210.....	58
Gambar 4.16 Penulangan balok 80/210 dengan <i>strut and tie model</i>	60
Gambar 4.17 Pembebanan balok tinggi dimensi 60/200	61
Gambar 4.18 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 60/260	61
Gambar 4.19 Strut 15 balok tinggi dimensi 60/200.....	64
Gambar 4.20 Penulangan balok 60/200 dengan Strut and Tie Model.....	66
Gambar 4.21 Penulangan balok 80/170 dengan metode penampang kritis.....	72
Gambar 4.22 Penulangan balok 60/160 dengan metode penampang kritis.....	77
Gambar 4.23 Penulangan balok 40/150 dengan metode penampang kritis.....	82
Gambar 4.24 Pembebanan balok tinggi dimensi 80/170	83
Gambar 4.25 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 80/170	83
Gambar 4.26 Strut 12 balok tinggi dimensi 80/170.....	86
Gambar 4.27 Penulangan balok 80/170 dengan <i>strut and tie model</i>	88
Gambar 4.28 Pembebanan balok tinggi dimensi 60/160	89
Gambar 4.29 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 60/160	90
Gambar 4.30 Strut 12 balok tinggi dimensi 60/160.....	92
Gambar 4.31 Penulangan balok 60/160 dengan <i>strut and tie model</i>	94
Gambar 4.32 Pembebanan balok tinggi dimensi 40/150	95
Gambar 4.33 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 40/150	95
Gambar 4.34 Strut 12 balok tinggi dimensi 40/150.....	98
Gambar 4.35 Penulangan balok 40/150 dengan <i>strut and tie model</i>	100
Gambar 4.36 Kebutuhan tulangan tumpuan.....	102
Gambar 4.37 Kebutuhan tulangan lapangan.....	103

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Perhitungan statika balok tinggi dimensi 100/220	107
Lampiran 2.	Perhitungan statika balok tinggi dimensi 80/210	110
Lampiran 3.	Perhitungan statika balok tinggi dimensi 60/200	113
Lampiran 4.	Perhitungan statika balok tinggi dimensi 80/170	116
Lampiran 5.	Perhitungan statika balok tinggi dimensi 60/160	119
Lampiran 6.	Perhitungan statika balok tinggi dimensi 40/150	122
Lampiran 7.	Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 100/220	125
Lampiran 8.	Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 80/210	128
Lampiran 9.	Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 60/200	131
Lampiran 10.	Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 80/170	134
Lampiran 11.	Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 60/160	137
Lampiran 12.	Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 40/150	140
Lampiran 13.	Beban hidup dermaga	143
Lampiran 14.	Konfigurasi roda <i>Straddle Crane</i>	143
Lampiran 15.	Pemilihan struktur balok tinggi	144



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap sistem struktur pada suatu bangunan merupakan penggabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi yang cukup rumit. Suatu fungsi dari sistem struktur adalah untuk memikul secara aman dan efektif beban yang bekerja pada bangunan, serta menyalurkannya ke tanah melalui fondasi. Beban yang bekerja pada bangunan terdiri dari beban vertikal, horizontal, perbedaan temperatur, getaran dan sebagainya. Dalam berbagai sistem struktur, baik yang menggunakan bahan beton bertulang, baja maupun komposit selalu ada komponen yang dapat dikelompokkan dalam sistem yang digunakan untuk menahan gaya gravitasi dan sistem untuk menahan gaya lateral. Beban gravitasi merupakan beban yang berasal dari beban mati struktur dan beban hidup yang disebabkan oleh tarikan gravitasi bumi. Sedangkan beban lateral dapat berasal dari beban angin dan beban gempa. (Jimmy S. Juwana, 2005)

Para arsitek dan insinyur mengetahui bahwa struktur beton lebih unggul dibandingkan struktur baja dalam hal kebebasan menentukan bentuk tampang. Para arsitek banyak menggunakan material ini untuk mewujudkan disain-disain yang inovatif. Dalam perencanaan suatu sistem struktur selalu menghadapi beberapa kendala diantaranya : persyaratan arsitektur, sistem mekanikal dan elektrik, metode konstruksi, dan aspek ekonomi.

Balok tinggi sudah mulai banyak digunakan dalam konstruksi beton untuk memenuhi nilai estetika. Selain itu balok tinggi sering digunakan untuk memikul beban yang sangat berat. Balok tinggi sering digunakan pada bangunan bertingkat tinggi, dan sering dijumpai pada lantai-lantai bawah. Balok tinggi dapat ditemukan pada balok transfer, balok pada dermaga, dinding pondasi yang mendukung pondasi baris, lantai beton yang mengalami beban horizontal, dan dinding geser.

Proyek dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berlokasi di sebelah utara mempunyai panjang 450 m dan lebar 40 m. Pada lokasi tersebut akan digunakan untuk bongkar muat dan penumpukan sementara petikemas. Balok-balok pada dermaga tersebut akan memikul beban-beban yang berat dari petikemas dan kendaraan operasional yang dibutuhkan selama proses bongkar muat.

Strut and tie model adalah metode yang dapat digunakan untuk perencanaan balok tinggi. Metode tersebut datang dari metode analogi rangka batang (*truss*) yang

dimuat secara resmi dalam peraturan beton Amerika yaitu ACI 318-2002. Perencanaan balok tinggi pada SNI 03-2847-2002 menggunakan metode penampang kritis. Dalam SNI 03-2847-2002 belum membahas tentang metode *strut and tie model*, dan masih sedikit dijumpai karya ilmiah yang membahas tentang metode ini dalam perencanaan balok tinggi.

Berdasarkan permasalahan diatas dirasa penting untuk melakukan studi tentang perencanaan balok tinggi dengan metode *strut and tie model* dan penampang kritis pada struktur atas dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Selain itu peraturan beton Indonesia yaitu SNI 03-2847-2002 mengacu pada peraturan di Amerika maka nantinya metode *strut and tie model* tersebut juga akan diadopsi

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas pada skripsi ini, yaitu sebagai berikut :

Bagaimanakah perencanaan balok tinggi dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berdasarkan *strut and tie model* dan penampang kritis?

Bagaimanakah perbandingan hasil perencanaan balok tinggi dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berdasarkan *strut and tie model* dan penampang kritis?

1.3 Tujuan Kajian

Tujuan atau sasaran yang ingin dicapai dari kajian mengenai perencanaan balok tinggi ini adalah:

Mengetahui perencanaan balok tinggi dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berdasarkan *strut and tie model* dan metode penampang kritis.

Mengetahui perbandingan hasil perencanaan balok tinggi dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berdasarkan *strut and tie model* dan penampang kritis

1.4 Batasan Masalah

1. Jenis bentang menerus dengan panjang bentang 8 m dan 6,25 m
2. Balok dibebani pada bagian atas
3. Beban merata dari berat sendiri balok, plat lantai dan beban hidup plat lantai

4. Beban terpusat dari *Straddle Crane*
5. Peraturan yang digunakan adalah: (1) ACI 318–2002, (2) SNI 03-2847-2002
6. Menggunakan *SAP2000 student version 7.40*. dalam perhitungan statika

1.5 Manfaat Kajian

1. Bagi akademisi dalam bidang sipil, kajian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan balok tinggi.
2. Bagi perguruan tinggi, hasil ini dapat digunakan untuk menambah literatur yang bermanfaat.



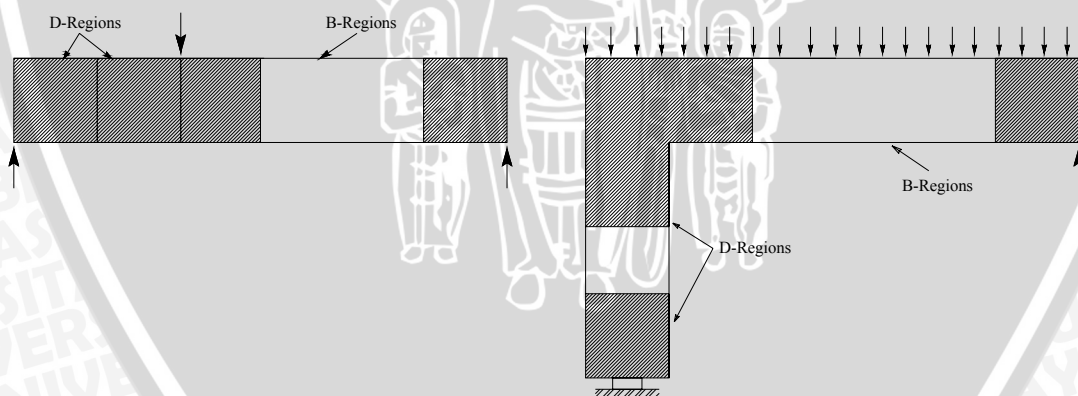
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada analisa struktur biasanya digunakan asumsi Bernoulli yang menyatakan bahwa penampang tetap datar selama deformasi dan distribusi regangan pada balok adalah linier. Dalam kenyataanya daerah kerja beban terpusat, tumpuan atau dimana terdapat konsentrasi tegangan yang besar, asumsi kondisi penampang tetap datar pada saat deformasi umumnya tidak berlaku.

2.1 Daerah B dan daerah D (*B-Regions and D-Regions*)

Penampang struktur dibagi menjadi 2 tipe daerah, yaitu daerah D (*D-Regions*) dan daerah B (*B-Regions*). Daerah yang “tidak lagi datar” disebut daerah D (*Disturbed & Discontinuity*) sedangkan daerah dimana berlaku asumsi Bernoulli disebut daerah B (*Beam & Bernoulli*). Contoh daerah D adalah daerah dekat beban terpusat dan reaksi, konsol pendek (*Corbel*), balok tinggi (*Deep Beam*), pertemuan balok-kolom (*Beam-Colom Joint*), Depped end, dan lainnya.

St. Venan mengusulkan bahwa gangguan lokal seperti beban terpusat, atau reaksi akan menyebar sampai kira-kira satu kali kedalaman balok dari titik dimana beban tersebut bekerja. Berdasarkan hal tersebut daerah D diasumsikan meluas kira-kira satu kali kedalaman balok pada masing-masing arah dari beban terpusat atau reaksi. ACI 318-2002 menyarankan *strut and tie model* digunakan untuk perencanaan semua jenis daerah D



Gambar 2.1 Daerah B dan daerah D
(Sumber : James G. McGregor, 1997)

2.2 Balok Tinggi

Balok tinggi adalah salah satu struktur yang termasuk dalam daerah D. Balok tinggi dapat berupa struktur statis tertentu atau struktur yang menerus. Karena perbandingan ukurannya, kekuatan balok tinggi biasanya dikendalikan oleh geser.

Balok tinggi dapat didefinisikan sebagai :

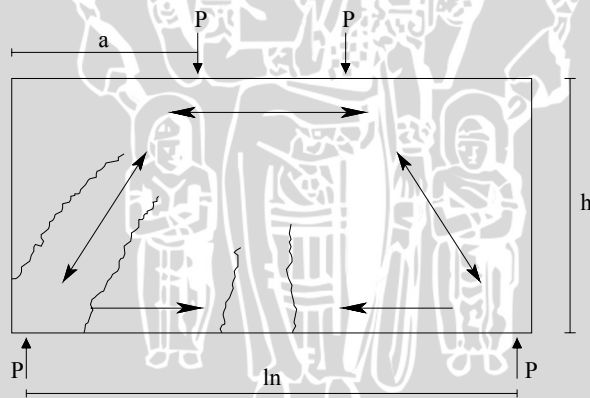
1. Menurut ACI 318-2002 Code 10.7, balok tinggi adalah balok yang dibebani pada salah satu sisinya dan ditumpu pada sisi lainnya sehingga lintasan tekan dapat terbentuk antara beban dan tumpuan, dan mempunyai : (1) bentang bersih $l_n \leq$ empat kali tinggi efektif d atau, (2) apabila dibebani berupa beban terpusat, beban tersebut berjarak tidak lebih dari $2d$ dari tumpuan.
2. Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.8.1, balok tinggi adalah komponen struktur dengan perbandingan bentang bersih dan tinggi efektif kurang daripada lima yang dibebani pada satu sisi dan ditumpu pada sisi lainnya sedemikian hingga lintasan tekan dapat terbentuk antara beban dan tumpuan. Komponen struktur lentur dengan rasio tinggi total terhadap bentang bersih yang lebih dari $2/5$ untuk bentuk bentang menerus, atau $4/5$ untuk bentang sederhana, harus direncanakan sebagai komponen struktur lentur tinggi dengan memperhitungkan distribusi regangan non linier dan tekuk lateral
3. Menurut MacGregor, balok tinggi adalah balok yang seluruh beban disalurkan menuju tumpuan oleh sebuah susunan reaksi gaya tekan dari beban dan reaksi. Suatu balok dikatakan balok tinggi apabila dibebani berupa beban terpusat, beban tersebut berjarak tidak lebih dari $2d$ dari tumpuan, atau apabila dibebani secara merata perbandingan antara $l_n/d < 4$ sampai 5
4. Menurut Gorge Winter dan Arthur H. Nilson, balok tinggi adalah balok yang mempunyai $l_n/d \leq 5$ mempunyai bidang geser a kurang dari kira-kira 2 kali tingginya
5. Menurut Ken Tanabe, balok tinggi adalah balok yang kegagalan terbesarnya disebabkan oleh geser dan memiliki rasio antara bentang geser dan tinggi efektif a/d tidak melebihi satu.

Tegangan-tegangan pada balok tinggi sebelum mengalami retak dapat dipelajari dengan memakai analisis elastis, photoelastisitas atau finit element. Studi mengenai hal ini mendapatkan bahwa hipotesa yang biasanya dipakai yang menyatakan bahwa bidang-bidang yang datar sebelum mengalami lentur tetap akan merupakan bidang datar setelah mengalami lentur, ternyata tidak berlaku pada balok tinggi. Hal tersebut terjadi karena adanya tegangan geser yang tinggi pada penampang balok tinggi menyebabkan lengkungan yang cukup besar. Sebagai akibatnya meskipun didalam daerah elastis, tegangan lentur tidak lagi terdistribusi secara linier, dan dengan demikian metode-

metode yang biasa digunakan untuk menghitung sifat-sifat penampang dan tegangan-tegangan tidak lagi berlaku.

Pada balok tinggi analisis tegangan elastis tidak lagi memegang peranan utama karena besar lentur yang terjadi pada beban kerja tidak perlu lagi dikuatirkan. Tujuan utama dari analisis elastis adalah untuk meramalkan arah dari retak lentur dan retak geser. Kekuatan lentur dapat diramalkan dengan ketelitian yang cukup baik dengan menggunakan metode-metode yang digunakan pada gelagar-gelagar yang mempunyai perbandingan ukuran normal.

Pada balok tinggi sebagian besar gaya geser disalurkan secara langsung dari beban ke perletakan-perletakan melalui aksi busur seperti pada Gambar 2.2. Retak-retak diagonal, yang kurang lebih terbentuk dalam arah yang sejajar dengan garis yang menghubungkan beban ke perletakan, membentuk batang tekan yang bekerja dengan tekanan horizontal pada beton dan tarik pada tulangan utama untuk menyetimbangkan beban-beban yang bekerja. Dengan demikian dapat diharapkan bahwa gaya geser tahanan nominal V_c untuk balok tinggi akan jauh lebih besar jika dibandingkan dengan balok biasa.



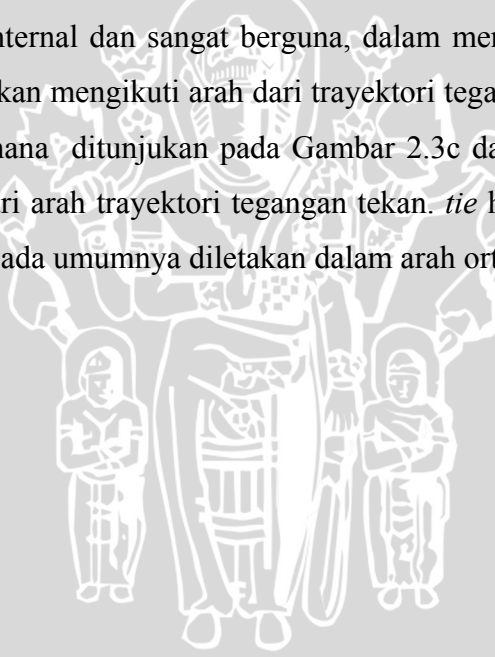
Gambar 2.2 Mekanisme busur pada balok tinggi
(Sumber George Winter & Arthur H. Nilson, 1993)

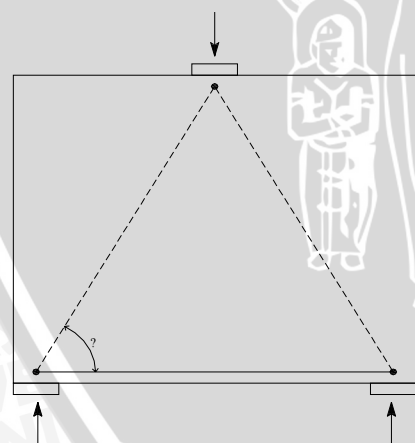
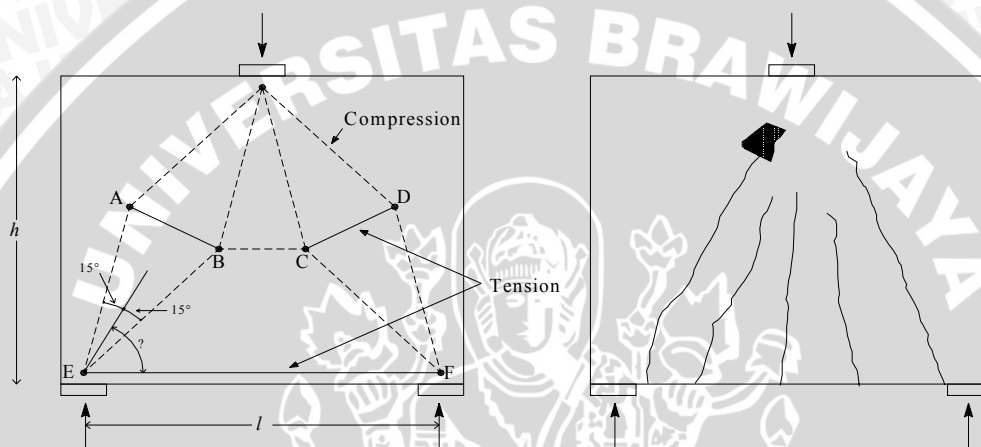
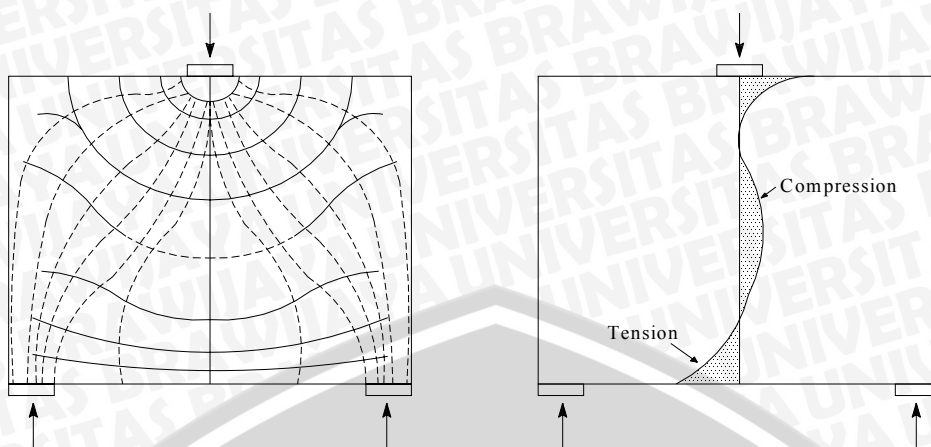
Efisiensi mekanisme busur terutama tergantung pada perbandingan ukuran batang dan penempatan beban-beban serta reaksi. Harga parameter a/d memegang peranan penting, mekanisme busur hanya akan efektif apabila harga a/d sekitar 2 atau kurang. Mekanisme busur tidak dapat berkembang pada balok tinggi yang dibebani sepanjang sisi bawah dan juga mekanisme busur tidak efektif sepenuhnya pada balok tinggi dimana beban-beban terdistribusi sepanjang tinggi bentang. Hal tersebut perlu

diperhatikan karena kekuatan batas balok tinggi tergantung pada aksi busur (George Winter & Arthur H. Nilson, 1993)

Pada balok tinggi retak diagonal yang terbentuk akan menyebar menuju ke sebagian daerah tekan tetapi kemudian berhenti sebelum menembus permukaan tekan. Dalam kasus ini tidak akan terjadi keruntuhan secara tiba-tiba, dan besar beban runtuh mungkin jauh lebih besar bila dibandingkan besar beban yang menyebabkan terbentuknya retak diagonal untuk pertama kalinya.

Dari suatu analisis elastis seperti analisis elemen hingga (*finite element*), dimungkinkan untuk mendapatkan trayektori tegangan sebelum terjadinya retak pada daerah D yang ditunjukkan pada gambar 2.3a pada suatu balok tinggi. Tegangan-tegangan tekan utama digambarkan berupa garis putus-putus, yang kemudian disebut trayektori tegangan tekan. Tegangan-tegangan tarik utama digambarkan berupa garis penuh, yang kemudian disebut trayektori tegangan tarik. Diagram seperti itu menunjukkan aliran gaya internal dan sangat berguna, dalam menentukan layout dalam *strut and tie model*. *strut* akan mengikuti arah dari trayektori tegangan tekan, suatu *strut and tie model* yang sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.3c dan 2.3e. Secara umum, arah *Strut* berada $\pm 15^\circ$ dari arah trayektori tegangan tekan. *tie* harus berada pada arah trayektor tegangan tarik, pada umumnya diletakan dalam arah ortogonal batang.





Gambar 2.3 Balok tinggi dibebani secara terpusat

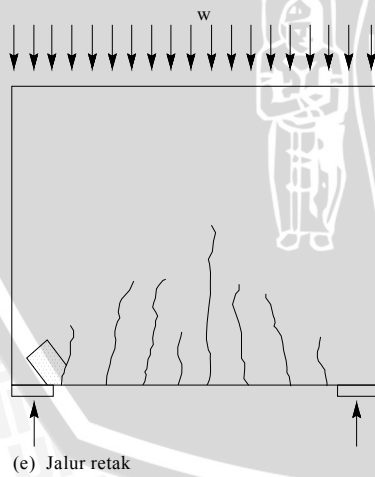
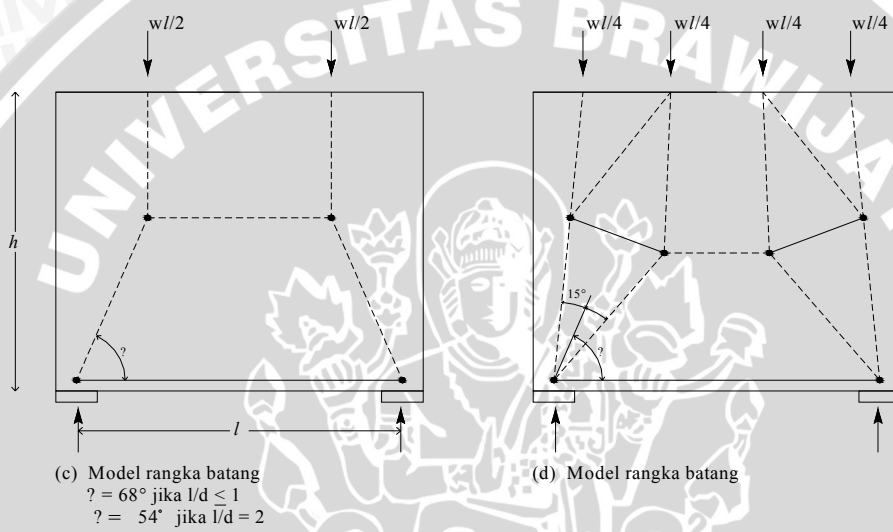
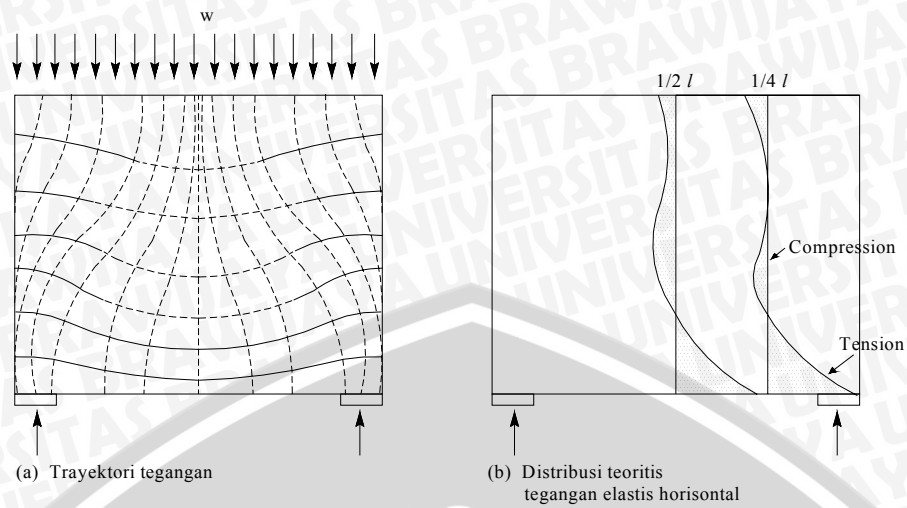
(Sumber : James G. McGregor, 1997)

Gambar 2.3b menunjukkan tegangan tarik horisontal dan tegangan tekan pada bidang vertikal di tengah bentang. Walaupun tidak dapat dilihat pada gambar, penting untuk diketahui bahwa tegangan lentur pada bagian bawah adalah konstan disebagian besar bentang. Balok yang telah diuji, pola retakan ditunjukkan sesuai Gambar 2.3d. Kegagalan daerah yang diarsir pada Gambar 2.3d akan hancur, atau pengankuran pada daerah E dan F akan mengalami kegagalan.

Pada keadaan sebelum retak, elastis, trayektori tegangan sebuah balok tinggi yang mendukung beban merata terlihat pada Gambar 2.4a. Distribusi tegangan horisontal pada bidang vertikal di tengah bentang dan seperempat bentang dapat dilihat pada Gambar 2.4b. Trayektori tegangan dapat digambarkan dengan rangka batang sederhana Gambar 2.4c atau rangka batang yang sedikit rumit Gambar 2.4d. Pada kasus pertama (Gambar 2.4c) beban merata dibagi menjadi dua. Pada kasus dua (Gambar 2.4d) beban merata dibagi menjadi empat. Sudut θ bervariasi antara 68° untuk $l/d \leq 1$ dan 55° untuk $l/d = 2$. Pola retakan pada balok dapat dilihat pada Gambar 2.4e

Distribusi tegangan lentur pada Gambar 2.3b dan 2.4b semua menyatakan bahwa gaya tarik longitudinal akan konstan sepanjang bentang balok tinggi. Hal tersebut menggambarkan bahwa gaya diangkurkan pada joint diatas reaksi. (James G. McGregor, 1997)

Balok tinggi yang menerus dapat diperlakukan dengan cara yang sama dengan balok tinggi sederhana, tetapi harus ada penulangan tambahan yang memikul momen negatif pada tumpuan. Pada balok tinggi sederhana dan bentang menerus bentuk kecuraman trayektori tagangan tarik ditengah bentang hampir sama. Pemusatan trayektori tegangan tarik pada daerah perletakan dari balok tinggi menerus mengharuskan adanya penjangkaran yang baik dari tulangan geser horisontal.



Gambar 2.4 Balok tinggi dibebani secara merata
 (Sumber : James G. McGregor, 1997)

2.3 Perencanaan Balok Tinggi berdasarkan Metode Penampang Kritis (SNI 03-2847-2002)

2.3.1 Perencanaan Lentur

Peramalan kekuatan lentur pada balok tinggi dapat diramalkan dengan ketelitian yang cukup baik dengan memakai metode yang sudah ada yang digunakan pada balok-balok yang memiliki perbandingan ukuran normal. Meskipun hasil-hasil percobaan menunjukkan bahwa, karena adanya tegangan tekan dua arah di dalam daerah tekan beton, regangan yang terjadi dapat jauh lebih besar dari harga regangan batas yang biasa dipakai $\epsilon_{cu} = 0,003$, tetapi harga ini terutama hanya mempengaruhi harga perbandingan tulangan seimbang. Karena dalam balok tinggi biasanya dipakai harga perbandingan tulangan yang jauh lebih kecil dari harga perbandingan tulangan seimbang, maka harga regangan beton yang lebih besar hanya mempengaruhi efek praktis yang kecil (George Winter & Arthur H. Nilson, 1993)

Kebutuhan tulangan tarik pada balok tinggi bentang menerus dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \quad (2-1)$$

$$\phi = 0,8$$

2.3.2 Perencanaan Geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 13.1.1, Perencanaan tulangan geser harus didasarkan

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-2)$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-3)$$

Dengan tanpa memperhitungkan jumlah tulangan yang tersedia, Pasal 13.8.4 menyebutkan kekuatan nominal V_n apabila $l_n/d < 2$ tidak boleh lebih dari

$$V_n = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (2-4)$$

Apabila l_n/d harganya terletak antara 2 – 5 kekuatan tersebut tidak boleh diambil lebih dari

$$V_n = \frac{1}{18} \cdot (10 + l_n/d) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (2-5)$$

Pasal 13.8.5 memberikan ketentuan untuk pembebanan terbagi rata penampang kritis a harus diambil pada suatu jarak $0,15ln$ dari permukaan perletakan dan $0,5a$ apabila balok tinggi tersebut dibebani secara terpusat, tetapi untuk kedua keadaan tersebut besar jarak ini tidak boleh melampaui d . Tulangan geser yang dibutuhkan pada penampang kritis harus dipasang pada seluruh panjang bentang.

Pasal 13.3 menyebutkan, sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat dihitung menggunakan persamaan

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (2-6)$$

Atau dapat dihitung dengan lebih rinci dengan

$$V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_{ud}}{M_u} \right] \frac{b_w \cdot d}{7} \quad (2-7)$$

V_c tidak boleh diambil lebih dari

$$V_c = 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (2-8)$$

Besaran $\frac{V_{u.d}}{M_u}$ tidak boleh diambil lebih dari 1,0 dimana M_u adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan V_u pada penampang yang ditinjau.

Pasal 13.8.8 menyatakan apabila besar gaya V_u yang telah diberi faktor beban melampaui harga kekuatan geser perencanaan dari beton ϕV_c , maka dipakai tulangan geser untuk memikul kelebihan gaya geser tersebut. Sumbangan dari tulangan badan V_s dapat dihitung dengan persamaan

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s} \left(\frac{1 + \frac{ln}{d}}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_2} \left(\frac{11 - \frac{ln}{d}}{12} \right) \right] f_y \cdot d \quad (2-9)$$

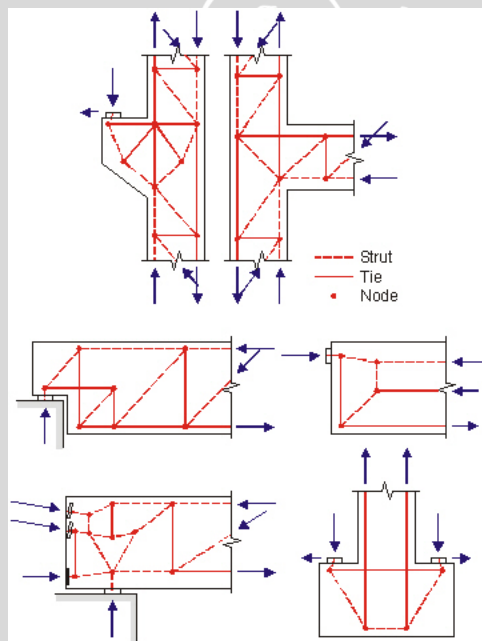
Dimana A_v adalah merupakan luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur utama yang berada dalam jarak s , dan A_{vh} merupakan luas tulangan geser yang sejajar terhadap tulangan lentur utama yang berada dalam arah s_2 .

Pasal 13.8.9 dan 13.8.10 menyatakan, jumlah relatif dari tulangan badan vertikal dan horisontal yang dipakai berdasarkan persamaan diatas dapat berubah-ubah sesuai dengan pembatasan-pembatasan berikut: (1) luas A_v tidak boleh kurang dari $0,0015 b_w \cdot s$ dan harga s tidak boleh lebih besar dari $d/3$ atau 500 mm, (2) luas A_{vh} tidak boleh kurang dari $0,0025 b_w \cdot s_2$ dan s_2 tidak boleh lebih besar dari $d/3$ ataupun 500mm

2.4 Strut and Tie Model

Strut and tie model adalah pengembangan dari konsep rangka batang (*truss*) yang telah dikembangkan sebelumnya. Metode *strut and tie model* adalah suatu bentuk dari model rangka batang yang mereduksi suatu struktur kompleks menjadi suatu model rangka batang sederhana yang mudah dimengerti seperti pada Gambar 2.5. Dalam *strut and tie model* hanya gaya-gaya aksial yang bekerja. Ada tiga komponen dalam *strut and tie model* yaitu *strut* (batang tekan), *tie* (batang tarik), dan *nodal* (titik simpul).

Pada keadaan sebelum retak analisis elastis dapat memodelkan aliran tegangan pada balok beton bertulang secara akurat, tetapi tidak dapat memprediksi secara tepat redistribusi tegangan yang terjadi setelah retak pada beton. Setelah retak terjadi trayektori tegangan tekan utama cenderung membentuk garis lurus sehingga dapat didekati dengan *strut* tekan yang lurus.



Gambar 2.5 Contoh *strut and tie model* pada berbagai struktur beton
(Sumber : Tjen Thjin, 2002)

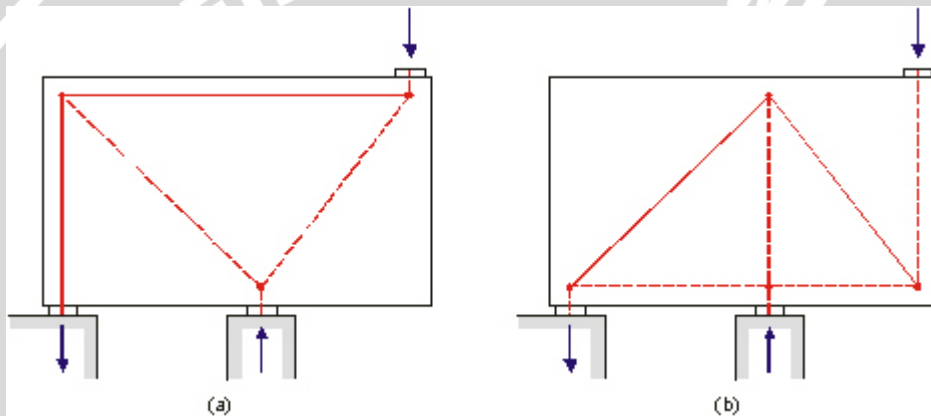
Dasar metode *strut and tie model* adalah teori plastis. *Strut and tie model* ini akan memberikan “*lower bound solution*” atau hasil akhir yang konservatif dalam memperkirakan kapasitas suatu batang (Majalah Kontruksi Februari-Maret :2001)

Asumsi yang diperlukan adalah: (1) Beton tidak akan hancur sebelum tulangan leleh, (2) Model keruntuhan yang diinginkan adalah meleleh paling sedikit batang tarik sehingga dapat diperoleh kelakuan yang daktile, (3) Gaya dalam *strut* dan *tie* adalah

gaya uniaksial, (4) Kuat tarik beton diabaikan, semua beban luar diaplikasikan pada *nodal*, (5) Semua sengkang ditekuk 45°

Pembuatan *layout strut and tie model* pada dasarnya merupakan prosedur grafis yang bersifat *iterative*, tidak ada prosedur yang pasti dalam menentukan terlihat pada Gambar 2.6. *Strut and tie model* dapat dibuat dengan menggunakan analisis penyebaran tegangan (*stress trajectories*) dimana model tersebut harus dibuat mengikuti pola penyebaran tegangan

Konsep dasar dalam pembuatan *strut and tie model* adalah sebagai berikut: (1) model harus dalam keadaan seimbang, (2) *tie* harus tetap lurus, (3) tulangan geser dapat dimodelkan satu per satu atau ekuivalenya, (4) jarak antara batang atas dan bawah ditentukan oleh momen ultimate, (5) kemiringan batang tekan θ harus $25^{\circ} - 68^{\circ}$

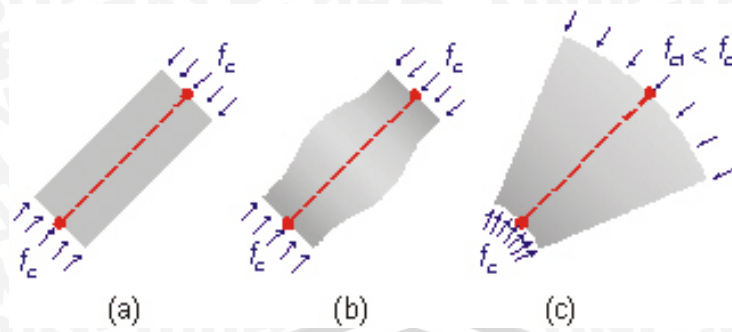


Gambar 2.6 Model rangka batang

(Sumber : Tjen Thjin, 2002)

2.4.1 *Strut* (Batang Tekan)

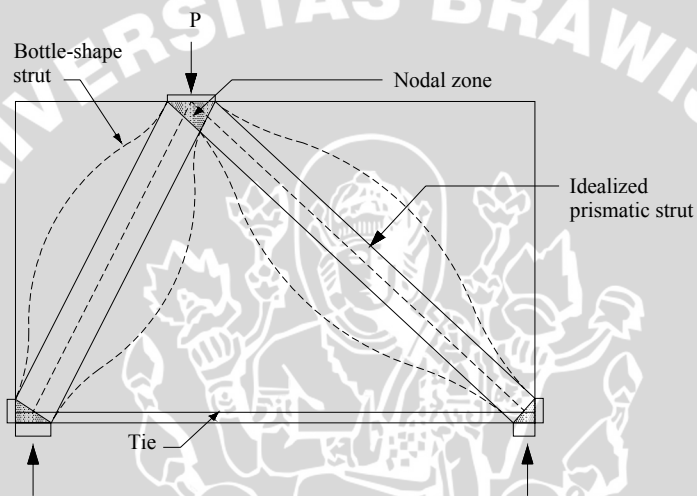
Dalam *strut and tie model*, *strut* mewakili daerah tekan pada beton dengan tekanan dalam arah *strut*, yang berfungsi untuk: (1) batang tekan tepi atas, untuk menahan momen, (2) batang tekan diagonal, untuk memindahkan geser ketumpuan. *strut* dalam *strut and tie model* biasanya digambarkan dengan garis putus-putus sepanjang sumbu. *Strut* sering kali diidealisasikan sebagai bentuk prisma seperti pada Gambar 2.7a atau bentuk yang meruncing ke ujung (kipas) terlihat pada Gambar 2.7b, tetapi sering juga terjadi variasi penampang sepanjang disebut bentuk botol terlihat pada Gambar 2.7c, hal tersebut dapat diidealisasikan sebagai perismatik



Gambar 2.7 Model *strut* dalam 2-dimensi

(a) bentuk prismatik, (b) bentuk botol, (c) bentuk kipas

(Sumber : Tjen Thjin 2002)



Gambar 2.8 *Strut* dan *tie*

(Sumber : ACI 318-2002)

Kuat tekan nominal dari suatu *strut* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan yang diberikan ACI 318-2002, yaitu

$$F_{ns} = f_{cu} \cdot A_c \tag{2-10}$$

Dimana f_{cu} adalah kuat tekan efektif dari suatu *strut* dan A_c adalah luasan *strut*. Luasan *strut* dihitung dengan mengalikan lebar *strut* $t(w_s)$ Gambar 2.10, dengan lebar balok tinggi (b)

Tegangan tekan pada *strut* dibatasi sebagai bagian dari kapasitas *ultimate* dari beton pada keadaan tekan aksial. Kuat hancur *strut* pada beton disebut *effective compression strength* (kuat tekan efektif) dirumuskan ACI 318-2002 sebagai

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \tag{2-11}$$

Dimana nilai β_s adalah

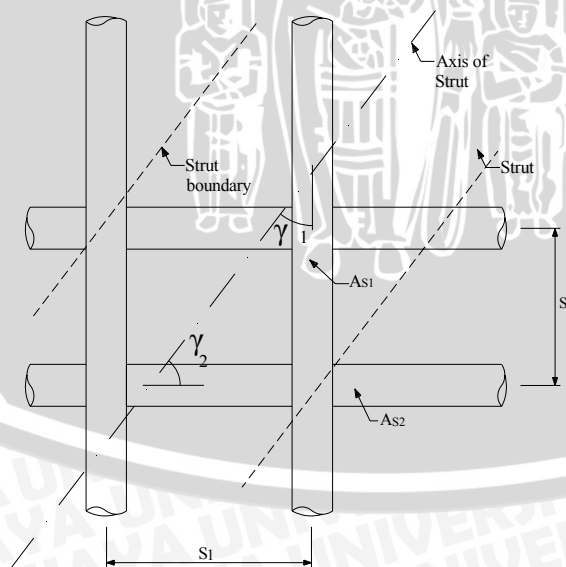
- $\beta_s = 1$ Berlaku untuk *strut* dimana blok tegangan di daerah tekan pada balok atau kolom diequivalenkan menjadi bentuk persegi
- $\beta_s = 0,75$ untuk *strut* yang berbentuk botol dengan perkuatan terhadap retak
- $\beta_s = 0,60\lambda$ untuk *strut* yang berbentuk botol tanpa perkuatan terhadap retak. λ adalah faktor koreksi yang berhubungan dengan berat beton. Untuk beton normal $\lambda = 1$
- $\beta_s = 0,4$ untuk *strut* yang berada pada daerah tarik
- $\beta_s = 0,6$ untuk kasus-kasus lainnya

$\beta_s = 0,75$ digunakan untuk kasus *strut* yang berbentuk botol dengan perkuatan terhadap retak. Untuk f_c' yang tidak lebih besar dari 6000 psi, kebutuhan tulangan untuk sumbu *strut* yang dilalui lapisan – lapisan tulangan adalah

$$\sum \frac{A_{si}}{b s_i} \sin \gamma_i \geq 0,003 \quad (2-12)$$

Dimana A_{si} adalah luas tulangan total sejarak s_i pada sebuah lapisan tulangan dengan besar sudut antara sumbu tulangan dengan sumbu *strut* sebesar γ_i

Gambar menunjukkan 2.9 lapis tulangan yang melalui sebuah *strut* yang telah retak. Jika sepanjang retak tidak terjadi slip, batang vertikal pada gambar akan menyebabkan tegangan yang tegaklurus terhadap *strut*.



Gambar 2.9 Tulangan yang memotong sebuah *strut*

(Sumber : ACI 318-2002)

2.4.2 Tie (Batang Tarik)

Tie dapat terdiri dari tulangan atau besi prategang ditambah sebagian beton yang mengelilinginya dimana bagian ini konsentris terhadap sumbu *tie*. *Tie* atau batang tarik mewakili semua komponen yang dapat menahan gaya tarik, termasuk sengkang, tulangan utama dan tulangan detail tambahan. Komponen tersebut dapat dalam satu atau beberapa lapisan dalam arah yang sama. Kekuatan nominal dari *tie* adalah

$$F_{nt} = A_{st} \cdot f_y + A_{ps} (f_{se} + \Delta f_p) \quad (2-13)$$

Dimana:

F_{nt} = Kuat nominal *tie*

A_{st} = Luas tulangan *nonprestess* pada daerah *tie*

f_y = Tegangan leleh tulangan *nonprestess*

A_{ps} = Luas tulangan *prestess* pada daerah *tie*

f_{se} = tegangan efektif setelah terjadi kehilangan tegangan pada tulangan *prestess*

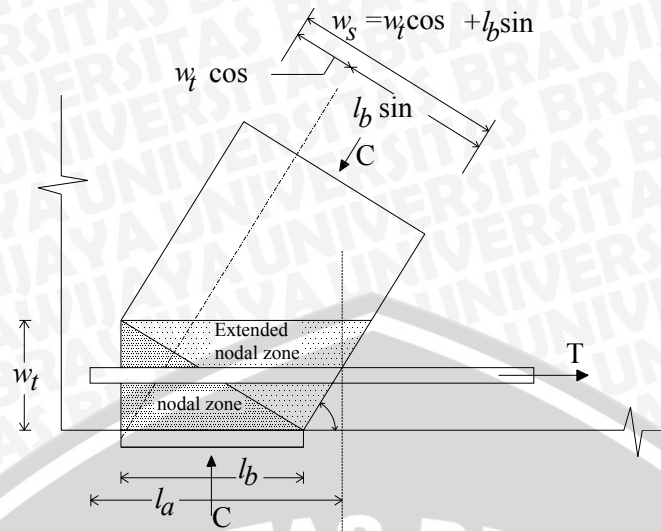
Dimana $(f_{se} + \Delta f_p)$ tidak boleh melebihi f_{py} dan $A_{ps} = 0$ untuk selain batang *nonprestess*.

Lebar efektif *tie* w_t dalam perencanaan dapat berubah-ubah dalam batasan berikut, tergantung dari distribusi tulangan *tie*:

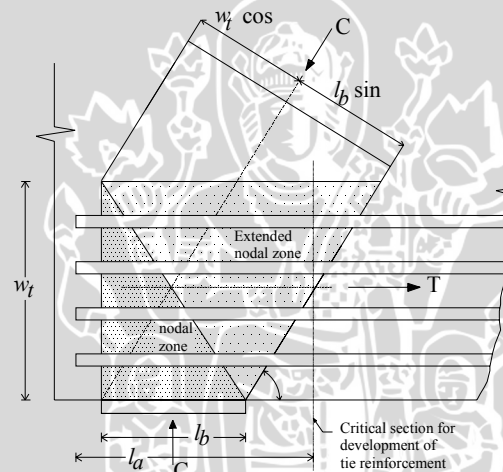
1. Jika pada *tie* terdapat satu lapis tulangan Gambar 2.10, lebar efektif *tie* dapat diambil dari garis tengah tulangan ditambah 2 kali selimut beton.
2. Batas atas dari lebar *tie* dapat diambil lebar sesuai lebar pada daerah *nodal hydrostatic*, yang dihitung dengan

$$w_{t, \text{mak}} = F_{nt} / f_{cu} \quad (2-14)$$

Diman f_{cu} adalah kuat tekan efektif dari daerah *nodal*., dan F_{nt} adalah kuat nominal *tie*. Jika lebar efektif *tie* lebih besar dari yang disebutkan pada no 1, tulangan *tie* harus diidistribusikan secara merata pada arah lebar dan tebalnya



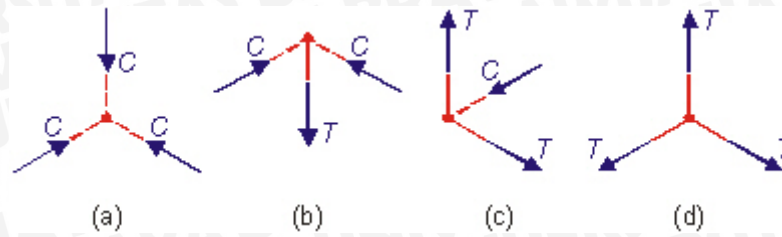
Gambar 2.10 Tulangan satu lapis
(Sumber : ACI 318-2002)



Gambar 2.11 Penyebaran tulangan
(Sumber : ACI 318-2002)

2.4.3 Nodal

Nodal adalah tempat dimana *strut*, *tie*, dan beban luar bertemu. Tiga atau lebih gaya-gaya bertemu pada *nodal*. Gaya yang bertemu pada *nodal* harus dalam keadaan seimbang. *Nodal* disebut sebagai CCC jika tiga *strut* bertemu Gambar 2.12a. *Nodal* disebut TTT jika tiga *tie* bertemu Gambar 2.12d. *Nodal* disebut sebagai CTC jika dua *strut* dan satu *tie* bertemu Gambar 2.12b. *Nodal* disebut sebagai TCT jika dua *tie* dan satu *strut* bertemu Gambar 2.12c.



Gambar 2.12 Macam *nodal*
(Sumber : Tjen Thjin, 2002)

Daerah *nodal* adalah volume beton di sekitar *nodal* yang diasumsikan untuk mentransfer gaya-gaya *strut and tie model* yang melalui *nodal*. Suatu daerah *nodal* dikatakan *hydrostatic* jika bidang tekannya adalah sama pada segala arah. Pada hakikatnya, pendapat ini kurang tepat karena bidang tekan tidak sama pada arah yang berbeda. *Extended daerah nodal* adalah bagian dari sebuah batang yang dibatasi oleh pertemuan dari lebar efektif *strut* w_s dan lebar efektif dari *tie* w_t .

ACI 318-2002 Appendix A.5.1 memberikan rumusan dalam menentukan kekuatan tekan nominal dari suatu daerah *nodal*

$$F_{nn} = f_{cu} \cdot A_n \quad (2-15)$$

Dimana f_{cu} adalah kuat tekan efektif dari beton pada daerah *nodal*. A_n adalah luasan yang memberikan tegangan yang terbesar, diambil dari: (a) luas permukaan daerah *nodal*, yang mengambil arah tegak lurus sumbu dari *strut*, (b) luas dari bagian yang paling kecil dari daerah *nodal* yang dibagi-bagi

Besarnya tegangan tekan efektif pada permukaan suatu daerah *nodal* untuk menahan gaya-gaya dari *strut* dan *tie* tidak boleh melebihi nilai yang diberikan ACI 318-2002 Appendix A.5.2, sebesar

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c' \quad (2-16)$$

Dimana nilai β_n adalah

- $\beta_n = 1,0$ Berlaku untuk daerah *nodal* yang mengalami C-C-C
- $\beta_n = 0,80$ untuk daerah *nodal* yang mengalami C-C-T
- $\beta_n = 0,60$ untuk daerah *nodal* yang mengalami C-T-T dan T-T-T

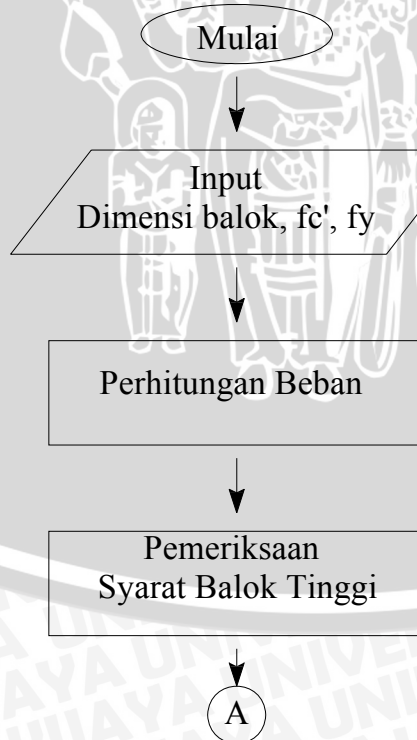
BAB III METODOLOGI

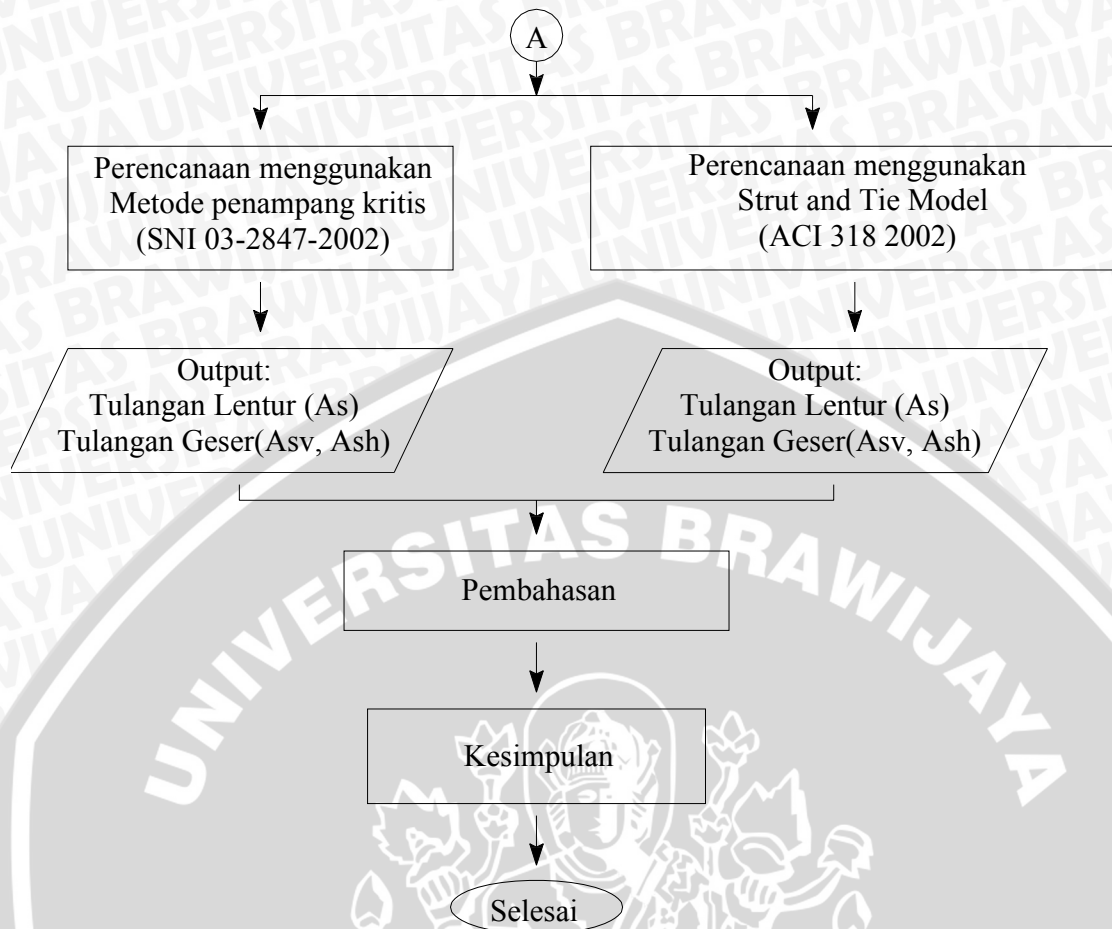
3.1 Rencana Kajian

Untuk merencanakan balok tinggi dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode penampang kritis dan *strut and tie model*. Perencanaan balok tinggi berdasarkan metode penampang kritis dapat menggunakan uraian yang terdapat dalam SNI-03-2847-2002. Perencanaan balok tinggi berdasarkan *strut and tie model* dapat menggunakan uraian yang terdapat dalam ACI-318-2002 Appendix A.2.

Perhitungan statika dalam perencanaan Balok tinggi dengan metode penampang kritis menggunakan bantuan *SAP2000 student version 7.40*.

3.2 Kerangka Kajian



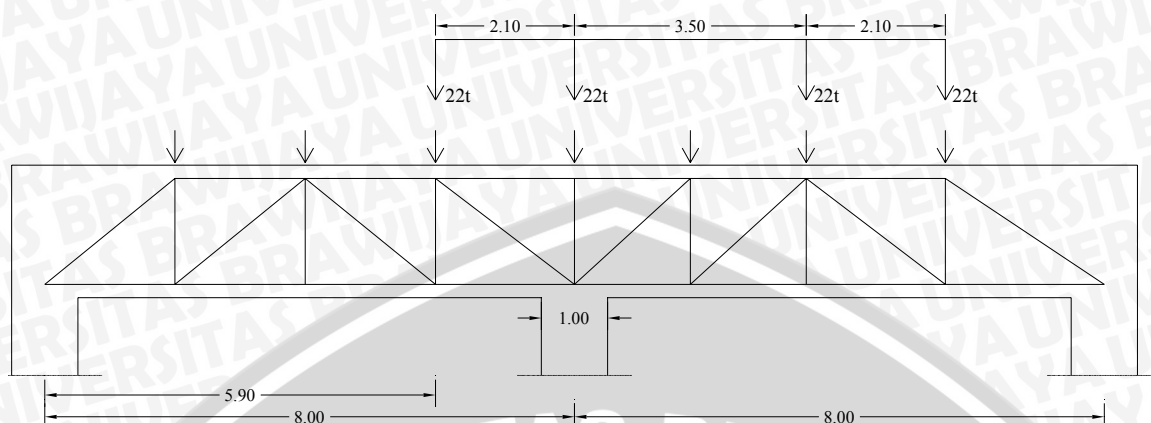


Gambar 3.1 Kerangka kajian

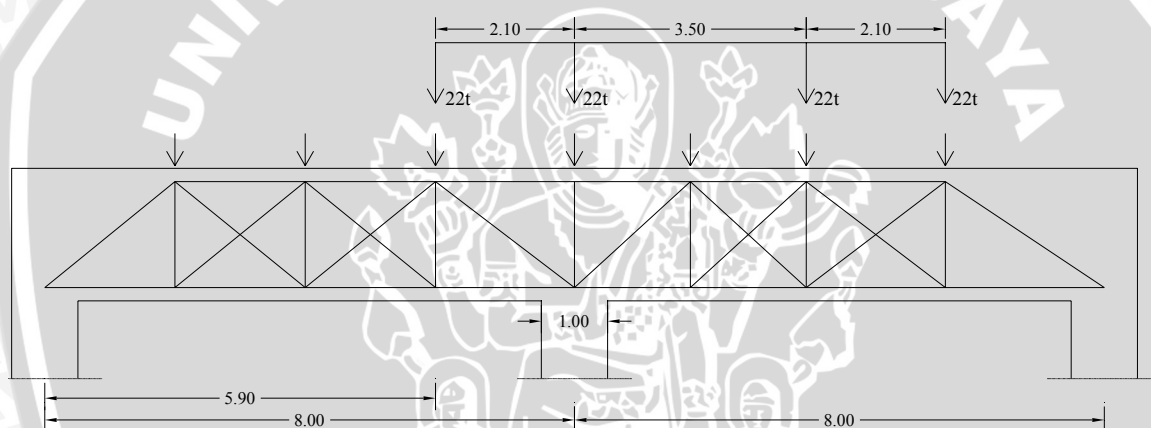
3.2.1 Rencana Pembebanan

Balok tinggi pada dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak menerima beban merata dan beban terpusat. Beban merata diperoleh dari berat sendiri balok, berat plat lantai, dan beban hidup plat lantai. Beban terpusat diperoleh dari kendaraan *Straddle Crane*.

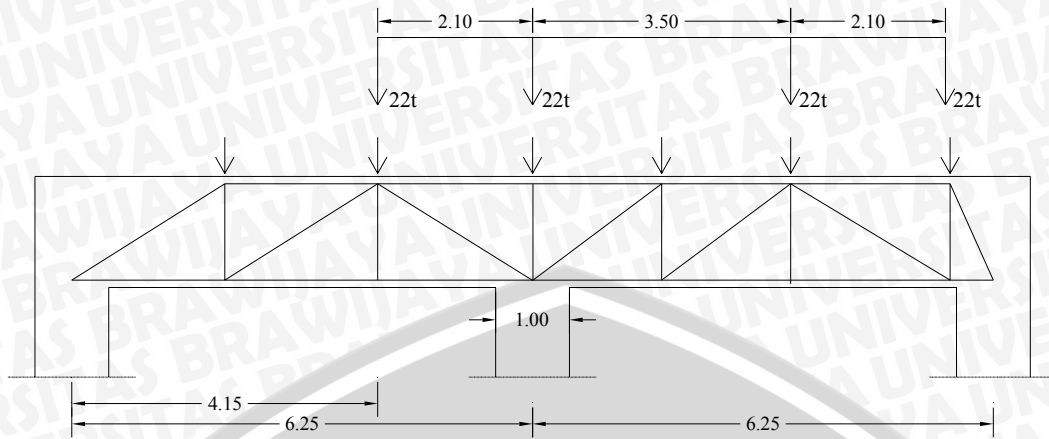
Dari perhitungan menggunakan *SAP2000 student version 7.40*, diperoleh kondisi pembebanan yang memberikan gaya-gaya dalam maksimum yang terlihat pada gambar 3.3 dan 3.4. Pada perencanaan menggunakan *strut and tie model*, setelah didapat kondisi pembebanan maksimum beban merata diubah menjadi beban terpusat dan diletakan pada setiap *nodal* rangka batang. Digunakan dua bentuk rangka pada perencanaan *strut and tie model*, yaitu bentuk rangka miring dan bentuk rangka silang



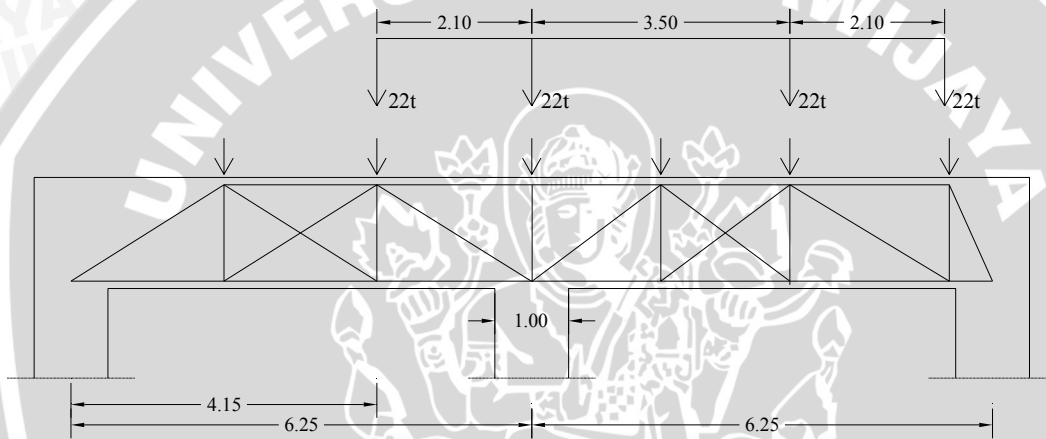
Gambar 3.2 Bentuk rangka miring pada balok bentang 8 meter



Gambar 3.3 Bentuk rangka silang pada balok bentang 8 meter



Gambar 3.4 Bentuk rangka miring pada balok bentang 6,25 meter



Gambar 3.5 Bentuk rangka silang pada balok bentang 6,25 meter

3.2.2 Perencanaan balok tinggi dengan metode penampang kritis

Secara umum perencanaan balok tinggi menggunakan metode penampang kritis akan menempuh lima tahapan yaitu :

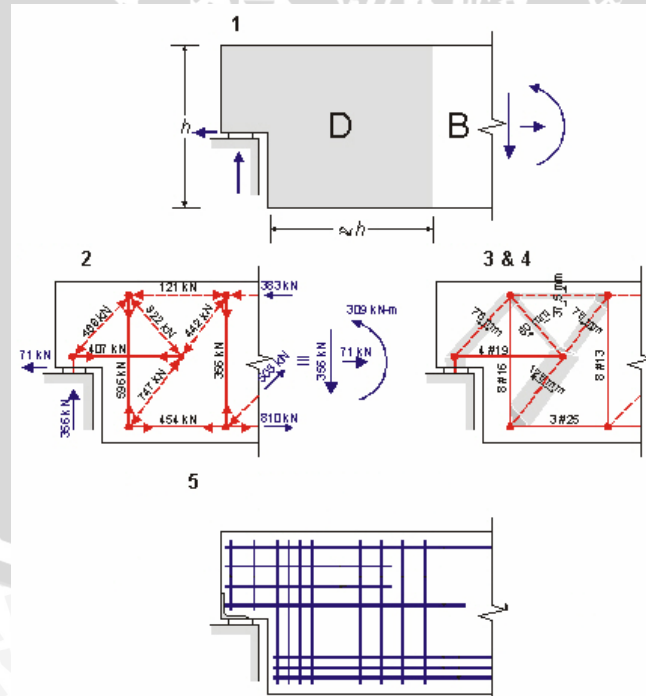
1. Rencanakan tulangan lentur dengan menggunakan Persamaan 2-1
2. Tentukan jarak penampang kritis $x = 0,5a$ untuk beban terpusat dan $x = 0,15ln$ untuk beban merata.
3. Hitung V_u dan M_u pada penampang kritis, cek apakah besarnya kurang dari batas minimum $\phi V_n = V_u$ yang diizinkan dengan menggunakan Persamaan 2-4 dan 2-5, jika tidak demikian perbesar ukuran penampang
4. Hitung kapasitas tahanan geser beton V_c dengan menggunakan Persamaan 2-6, 2-7, dan 2-8

5. Hitung V_s jika $V_u > \phi V_c$ dengan Persamaan 2-9 dan tentukan s dan s_2 dengan mengasumsikan dahulu dimensi tulangan.
6. Selidiki apakah ukuran dan jarak maksimum dari tahapan 4 \leq jarak maksimum tulangan, apabila tidak memenuhi perbaiki dan cek kembali dengan Persamaan 2-9

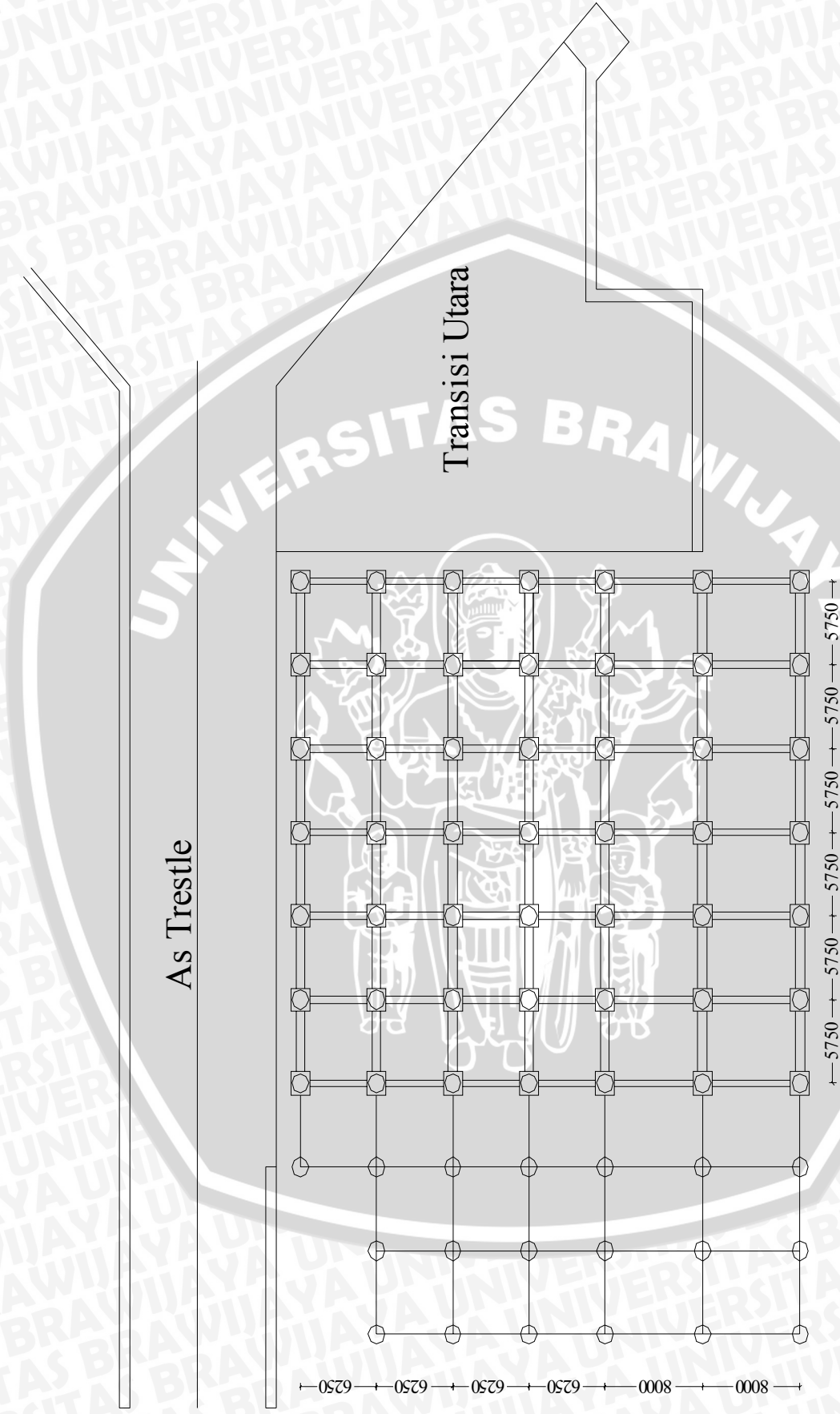
3.2.3 Perencanaan balok tinggi dengan *strut and tie models*

Secara umum perencanaan balok tinggi menggunakan model penunjang dan pengikat akan menempuh lima tahapan yaitu :

1. Gambarkan batas-batas daerah D, dan tentukan gaya-gaya pada daerah tersebut (gaya-gaya ultimate)
2. Gambarkan rangka batang, hitung resultan gaya-gaya batang yang terjadi
3. Sediakan tulangan baja atau prategang untuk kapasitas *tie* yang diperlukan dan pastikan tulangan baja diangkur dengan baik
4. Evaluasi ukuran *strut* dan *nodal*, pastikan bahwa kapasitas dari *strut* dan *nodal* cukup untuk menerima gaya batang dari rangka.
5. Sediakan tulangan distribusi untuk memastikan daerah D memiliki perilaku duktile



Gambar 3.6 Tahapan dalam *strut and tie model*
(Sumber : Tjen Thjin, 2002)



Gambar 3.7 Denah Dermaga Petikemas Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya
(Sumber : Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Kontruksi Terbaru, 1997)

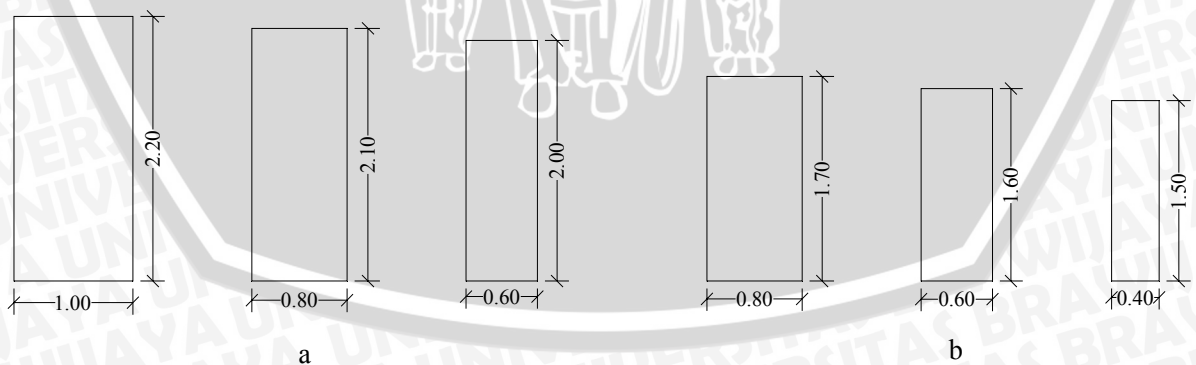
BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data

Bentang Balok	: 8 m dan 6,25 m
Tebal plat	: 0,24 m
Lebar tumpuan	: 1 m
Beban merata	: Berat balok, pelat, dan beban hidup pelat
Beban terpusat	: Beban roda dari <i>Straddle Crane</i>
Mutu beton	: 35 Mpa
Mutu baja	: 390 Mpa

4.2 Dimensi Balok

Balok tinggi pada dermaga petikemas Tanjung Perak akan dihitung dengan metode model penunjang dan pengikat dan penampang kritis. Pada balok tinggi tersebut akan coba dihitung dengan tiga dimensi balok berbeda, yang memiliki perbandingan l_n/d adalah 3,6, 3,8, dan 4. Pada balok tinggi dengan bentang delapan meter dimensi yang digunakan adalah 100/220, 80/210, 60/200. Pada balok tinggi dengan bentang 6,25 meter dimensi yang digunakan adalah 80/170, 60/160, 40/150. Asumsi yang digunakan dalam pendimensian balok adalah $d = 0,9 h$ (Edward G. Nawy, 1990)



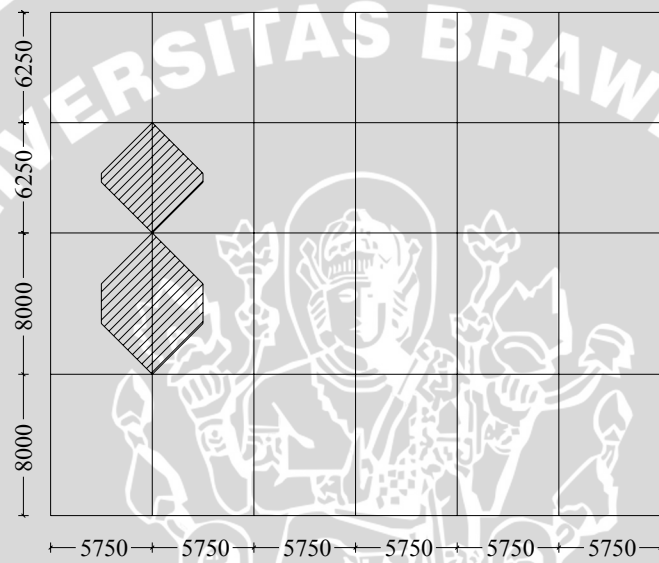
Gambar 4.1 Dimensi balok tinggi; (a) untuk bentang 8 m; (b) untuk bentang 6,25 m.

4.3 Pembebanan

Balok Tinggi pada dermaga petikemas Tanjung Perak Surabaya menerima berat sendiri bangunan dan beban luar. Berat sendiri bangunan yang diperhitungkan adalah berat sendiri balok dan berat sendiri pelat. Beban luar yang diperhitungkan adalah beban hidup pada pelat lantai dermaga dan beban dari roda kendaraan *Straddle Crane*.

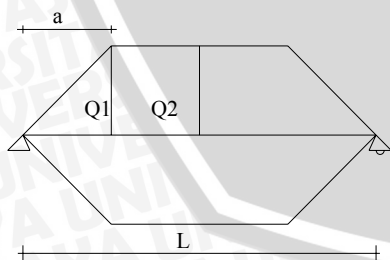
Beban hidup pada lantai dermaga yang digunakan untuk bongkar muat petikemas dan penumpukan sementara petikemas sebesar 5 ton (Lampiran). Distribusi pembebanan balok akibat beban pelat dermaga petikemas dapat diliha pada Gambar 4.1.

Beban merata trapesium diubah menjadi beban merata persegi



Gambar 4.2 Distribusi pembebanan balok

Beban trapesium pada balok



$$\begin{aligned}
 R_a &= Q_1 + Q_2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 + \frac{1}{2} \cdot q \cdot a(L-2a) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot a \cdot (L-a)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{mak}} &= R_a \cdot 1/2 L - Q_1 \cdot (1/2L - 2/3a) - Q_2 \cdot 1/4(L-2a) \\
 &= 1/2 \cdot q \cdot a \cdot (L-2a) \cdot 1/2L - 1/2 \cdot q \cdot a^2 \cdot (1/2L - 2/3a) - 1/2 \cdot q \cdot a \cdot (L-2a) \cdot 1/4 \cdot (L-2a) \\
 &= 1/4 \cdot q \cdot a^2 \cdot L \cdot (L-a) - 1/2 \cdot q \cdot a \cdot (1/2L - 2/3 \cdot L) - 1/8 \cdot q \cdot a \cdot (L-2a)^2 \\
 &= 1/48 \cdot q \cdot a \cdot (6L^2 - 8a^2)
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{mak}} = M_{\text{mak}}$$

$$\begin{aligned}
 1/8 \cdot q_{\text{ek}} \cdot L^2 &= 1/48 \cdot q \cdot a \cdot ((6L^2 - 8a^2)) \\
 q_{\text{ek}} &= \frac{8 \cdot q \cdot a}{48 \cdot L^2} \cdot (6L^2 - 8a^2) \times 2
 \end{aligned}$$

Beban Mati (DL)

$$\text{Berat sendiri pelat beton} = 0,24 \cdot 2400 = 576 \text{ kg/m}^2$$

Beban Hidup (LL)

Beban hidup dermaga petikemas untuk penumpukan sementara 5 t/m²

Kombinasi pembebanan

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L \\
 &= 1,2 \cdot 0,576 + 1,6 \cdot 5 \\
 &= 8,6912 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Untuk bentang balok 8 m

$$a = \frac{5,75}{2} = 2,875 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ek}} &= \frac{8 \cdot (8,6912) \cdot (2,875)}{48 \cdot (8^2)} \cdot (6 \cdot (8^2) - 8 \cdot (2,875^2)) \times 2 \\
 &= 41,3679 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

Untuk bentang balok 6,25 m

$$a = \frac{5,75}{2} = 2,875 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ek}} &= \frac{8 \cdot (8,6912) \cdot (2,875)}{48 \cdot (6,25^2)} \cdot (6 \cdot (6,25^2) - 8 \cdot (2,875^2)) \times 2 \\
 &= 35,875 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$



Tabel 4.1 Beban merata terfaktor

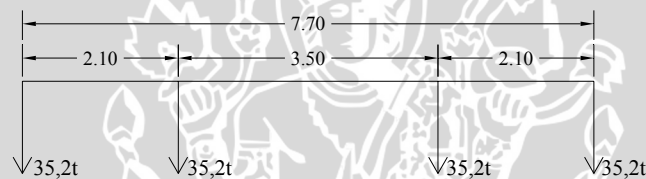
Bentang	Dimensi		BJ Beton (Ton/m ³)	Berat Balok (Ton/m)	Beban Terfaktor Balok (Ton/m)	Beban Terfaktor Plat (Ton/m)	Beban Terfaktor Total (Ton/m)
	b (m)	h (m)					
8 m	1	2.2	2.4	5.28	6.336	41.3679	47.704
	0.8	2.1	2.4	4.032	4.8384	41.3679	46.206
	0.6	2	2.4	2.88	3.456	41.3679	44.824
6,25 m	0.8	1.7	2.4	3.264	3.9168	35.875	39.792
	0.6	1.6	2.4	2.304	2.7648	35.875	38.640
	0.4	1.5	2.4	1.44	1.728	35.875	37.603

Beban Terpusat pada balok

Beban hidup dari roda *Straddle Crane* 22 ton

Kombinasi pembebanan

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,6 \cdot L \\
 &= 1,6 \cdot 22 \\
 &= 35,2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.3 Konfigurasi beban terpusat dari *Straddle Crane*

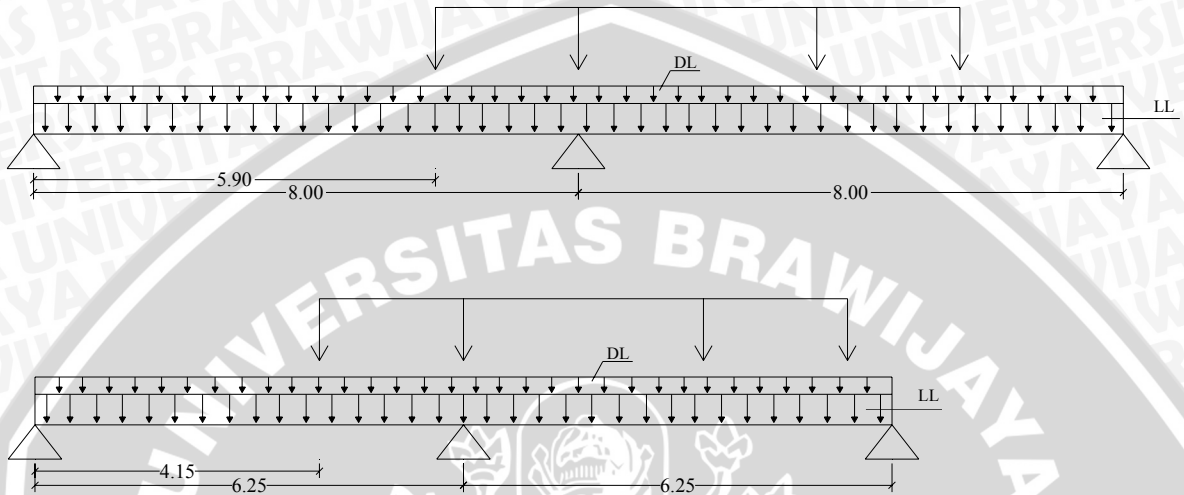
Besarnya Beban terpusat terfaktor diperoleh dengan mengalikan beban merata terfaktor dengan jarak antara *nodal* (Gambar 4.5). Pada balok tinggi bentang 8 m, terdapat penambahan beban terpusat dari *Straddle Crane* sebesar 35,2 t pada *nodal* 12, 13, 15, dan 16. Sedangkan pada balok tinggi bentang 6,25 m penambahan tersebut pada *nodal* 10, 11, 13, dan 14.

Tabel 4.2 Beban terpusat terfaktor

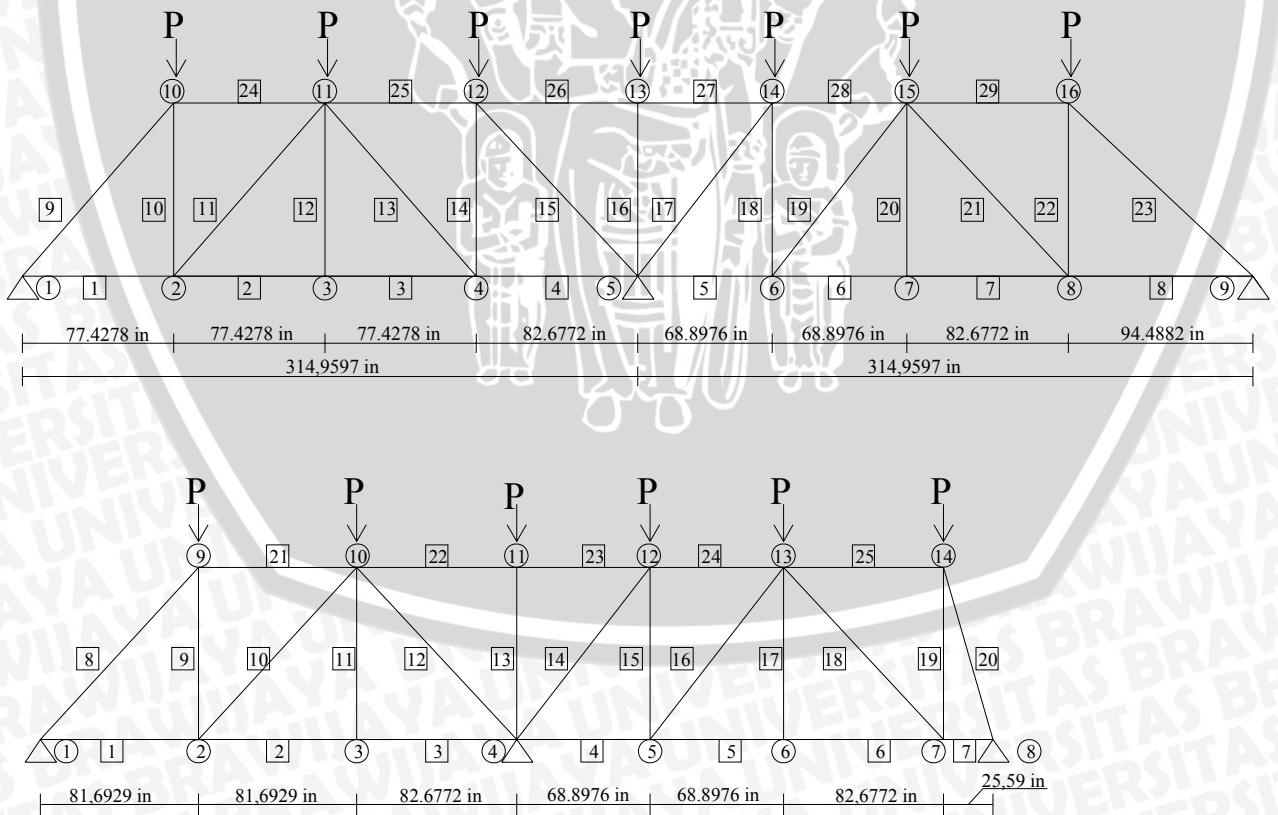
Nodal	Beban Terpusat (kips)					
	Bentang 8 m (314,9597 in)			Bentang 6,25 m (246,06 in)		
	100/220	80/210	60/200	80/170	60/160	40/150
9	-	-	-	273.05	265.14	258.03
10	310.25	300.51	291.52	260.73	255.43	250.66
11	206.83	200.34	194.35	246.48	241.59	237.19
12	291.45	284.73	278.54	153.52	149.08	145.08
13	280.05	273.70	267.83	246.48	241.59	237.19
14	184.05	178.27	172.93	226.74	222.42	218.53
15	280.05	273.70	267.83	-	-	-
16	440.44	429.05	418.53	-	-	-

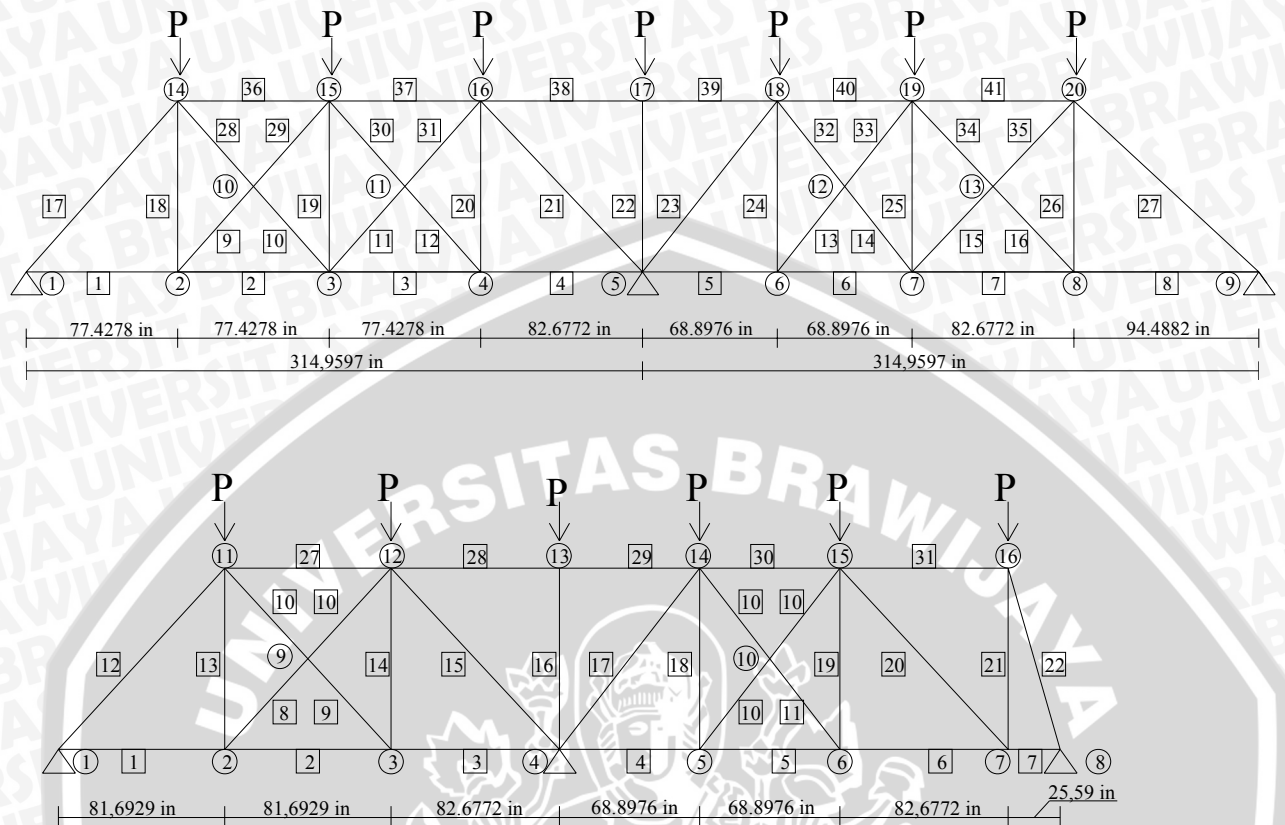
4.4 Statika

SAP2000 student version 7.40 digunakan dalam perhitungan statika untuk menentukan gaya-gaya dalam. Pada balok tinggi dengan bentang delapan meter *Straddle Crane* diletakan 5,9 m dari tepi balok. Pada balok tinggi dengan bentang 6,25 meter *Straddle Crane* diletakan 4,15 meter



Gambar 4.4 Pembebanan balok tinggi





Gambar 4.5 Pembebanan rangka batang

Dari perhitungan menggunakan *SAP2000 student version 7.40* diperoleh besarnya gaya-gaya dalam pada balok tinggi (lampiran)

Tabel 4.3 Hasil perhitungan momen dan gaya geser dengan *SAP2000 student version 7.40*

Dimensi Balok	Mu _{lap} (kNm)	Mu _{tum} (kNm)	Bentang Geser			
			0.5a		0.15ln	
			Vu (kN)	Mu (kNm)	Vu (kN)	Mu (kNm)
Bentang 8 m						
100/220	2825.19	4415.25	2186.55	1861.49	2229.69	1826.93
80/210	2759.01	4298.11	2128.56	1813.13	2171.71	1778.41
60/200	2697.92	4189.98	2075.07	1768.85	2118.2	1733.64
Bentang 6,25 m						
80/170	1510.39	2340.81	1413.45	641.57	1515.89	1026.05
60/160	1479.36	2285.92	1381.23	626.74	1480.7	1002.37
40/150	1451.45	2236.52	1352.23	613.4	1449.03	981.07

Tabel 4.4 Hasil perhitungan rangka batang miring dengan *SAP2000 student version 7.40*

Batang	Gaya Batang Pada Balok Tinggi (kips)					
	Bentang 8 m (314,9597 in)			Bentang 6,25 m (246,06 in)		
	100/220	80/210	60/200	80/170	60/160	40/150
1	410.37	413.32	419.69	301.6	304.36	307.85
2	402.82	404.5	409.4	195.05	197.11	199.9
3	402.82	404.5	409.4	120.67	115	108.71
4	116.66	114.24	112.44	20.36	13.78	6.46
5	44.46	40.87	37.25	266.1	269.02	272.47
6	476.42	481.7	490.86	274.72	278.8	283.68
7	476.42	481.7	490.86	151.99	156.51	161.71
8	591.96	600.14	613.36	-349.19	-347.96	-347.71
9	-511.09	-507.35	-507.05	-89.44	-88.36	-87.62
10	-5.6	-6.28	-6.98	126.87	126.83	126.97
11	9.4	10.83	12.44	-44.56	-45.76	-47.16
12	-7.30E-05	-7.85E-05	-8.59E-05	-452.28	-445.32	-438.33
13	-356.39	-356.28	-358.77	-325.81	-324.56	-324.29
14	212.44	206.62	201.33	-368.33	-361.97	-355.7
15	-882.71	-885.8	-895.25	84.84	81.28	77.57
16	-280.05	-273.7	-267.83	-214.41	-214.27	-214.23
17	-849.85	-849.9	-855.62	-27.56	-29.23	-31.08
18	360.38	352.66	345.61	-111.67	-108	-104.26
19	-562.55	-564.53	-570.27	5.29	4.3	3.1
20	-1.23E-04	-1.31E-04	-1.42E-04	-291.41	-289.37	-288.1
21	140.72	142.35	145.1	-306.2	-309.58	-313.82
22	-80.33	-78.96	-77.78	262.44	266.71	271.31
23	-692.89	-694.79	-701.65	274.51	280.33	286.73
24	-410.37	-413.32	-419.69	-90.42	-90.9	-91.88
25	-116.66	-114.24	-112.44	-179.14	-185.47	-192.76
26	608.11	622.79	643.34			
27	608.11	622.79	643.34			
28	-44.46	-40.87	-37.25			
29	-591.96	-600.14	-613.36			

Tabel 4.5 Hasil perhitungan rangka batang silang dengan *SAP2000 student version 7.40*

Batang	Gaya Batang Pada Balok Tinggi (kips)					
	Bentang 8 m (314,9597 in)			Bentang 6,25 m (246,06 in)		
	100/220	80/210	60/200	80/170	60/160	40/150
1	396.43	399.7	406.32	299.05	302.5	306.77
2	394.95	397.08	402.4	231.29	232.36	233.95
3	223.67	224.21	226.49	101.17	96.19	90.64
4	74.84	73.39	72.33	-3.11	-9.28	-16.15
5	1.62E-01	-2.41	-5.24	163.24	164.04	165.17
6	217.25	219.34	223.17	274.98	280.15	286.25
7	524.32	530.59	541.13	149.41	154.07	159.43
8	574.95	583.52	597.04	89.29	92.46	96.24
9	1.84	3.22	4.74	-82.74	-81.65	-80.53
10	-24.92	-24.33	-23.86	-139.49	-140.14	-140.93
11	188.4	187.87	188.67	131.55	134.94	138.93
12	-185.35	-185.13	-186.25	-346.36	-346.01	-346.7
13	-282.72	-283.97	-287.15	-57.8	-57.9	-58.3
14	295.99	296.08	298.08	-6.8	-8.9	-11.14
15	-97.18	-96.2	-95.79	-447.96	-440.38	-432.74
16	61.66	63.62	66.23	-330.34	-328.92	-328.46
17	-493.73	-490.63	-490.9	-360.9	-353.54	-346.23
18	-1.1	-1.87	-2.66	24.8	23.05	21.16
19	-97.45	-94.84	-92.49	-77.01	-76.93	-76.99
20	110.48	107.36	104.52	-115.89	-113.16	-110.42
21	-900.84	-903.27	-912.16	3.95	3.4	2.65
22	-280.05	-273.7	-267.83	-286.98	-285.35	-284.5
23	-866	-865.42	-870.58	-97.36	-99.83	-102.95
24	181.11	177.39	174.02	70.9	70.24	69.56
25	-134.14	-131.59	-129.3	132.84	133.54	134.42
26	-35.2	-35.29	-35.5	-148.53	-150.77	-153.65
27	-672.98	-675.55	-682.99	-224.94	-226.58	-228.72
28	-24.92	-24.33	-23.86	277.66	280.66	283.89
29	1.84	3.22	4.74	290.07	294.6	299.62
30	-185.35	-185.13	-186.25	-158.1	-159.4	-161.03
31	188.4	187.87	188.67	-174.9	-181.41	-188.93
32	295.99	296.08	298.08			
33	-282.72	-283.97	-287.15			
34	61.66	63.62	66.23			
35	-97.18	-96.21	-95.79			
36	-376.42	-379.88	-386.58			
37	-226.12	-226.44	-228.5			
38	664.8	678.18	697.73			
39	664.8	678.18	697.73			
40	-227.44	-228.79	-231.86			
41	-495.16	-503.48	-516.17			

4.5 Perhitungan

4.5.1 Metode penampang kritis pada balok tinggi bentang 8 m

$$L = 8000 \text{ mm}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$l_n = 8000 - 1000 = 7000 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{geser}} = 0,75$$

$$\phi_{\text{lentur}} = 0,8$$

Dimensi Balok Tinggi 100/220

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 2200 \text{ mm}$$

$$d = 0,9 \cdot 2200 = 1980 \text{ mm}$$

$$M_{u_{\text{lap}}} = 2825,19 \text{ kNm}$$

$$M_{u_{\text{tump}}} = 4415,25 \text{ kNm}$$

Gaya pada bentang geser

$$V_u = 2229,69 \text{ kN}$$

$$M_u = 1826,93 \text{ kNm}$$

Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 7000/1980 = 3,53 < 4 \dots\dots\dots \text{Balok Tinggi}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur Tumpuan

$$A_{st} = \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h}$$

$$= \frac{4415,25 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 2200)} = 9648,71 \text{ mm}^2$$

Tulangan pakai 20D25 = 9821,429 mm²

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\rho_{\text{mak}} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81}{390} \cdot \frac{600}{600 + 390} = 0,02809$$

$$\rho \text{ pakai} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{9821,429}{1000 \cdot 1980} = 0,00488$$

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ pakai} < \rho \text{ mak} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kuat Geser Nominal (V_n)

Untuk nilai perbandingan ln/d terletak antara 2 - 5 digunakan Persamaan 2-5

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{1}{18} \cdot (10 + ln/d) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{18} \cdot (10 + 3,5353) \cdot \sqrt{35} \cdot 1000 \cdot 1980 \\ &= 8808,39 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 8808,39 = 6606,29 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$6606,29 \text{ kN} > 2229,69 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kapasitas Tahanan Geser Beton (V_c)

Sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-6, 2-7, dan tidak boleh diambil lebih besar dari Persamaan 2-8

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35} \cdot 1000 \cdot 1980 \\ &= 1952,31 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_{ud}}{Mu} \right] \frac{bw \cdot d}{7}$$

$$\frac{V_u \cdot d}{Mu} = \frac{2229,69 \cdot 1980}{1826,93} = 2,4165 > 1 \dots\dots\dots \text{digunakan } \frac{V_u \cdot d}{Mu} = 1$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left[\sqrt{35} + 120 \cdot 0,00496(1) \right] \frac{1000 \cdot 1980}{7} \\ &= 1841,77 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,3 \sqrt{35} \cdot 1000 \cdot 1980 \\
 &= 3514,15 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \cdot 1841,773 \\
 &= 1381,33 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &< V_u \\
 1381,33 \text{ kN} &< 2229,69 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{Diperlukan Tulangan Geser}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser
Kapasitas Tahanan Geser Tulangan Baja

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{2229,69}{0,75} - 1841,77 = 1131,147 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diameter sengkang yang digunakan untuk tulangan geser arah vertikal (A_v) dan arah horizontal (A_{vh}) adalah sama D16
maka

$$\begin{aligned}
 A_v = A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\
 &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jika jarak antar sengkang vertikal dan horizontal adalah sama
maka

$$s = s_2$$

Luasan tulangan geser yang diperlukan dapat dihitung dengan Persamaan 2-9

$$V_s = \left[\frac{A_v \left(1 + \frac{l_n}{d}\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} + \frac{A_{vh} \left(11 - \frac{l_n}{d}\right)}{s_2 \left(\frac{12}{12}\right)} \right] f_y \cdot d$$

$$1134 \text{ kN} = \left[\frac{402,286 \left(1 + 3,5353\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} + \frac{402,286 \left(11 - 3,5353\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} \right] 390 \cdot 1980$$

$$s = 274,628 \text{ mm}$$

Jarak tulangan geser vertikal dan horizontal maksimum

$$d/3 = 1980/3 = 660 \text{ mm}$$

atau 500 mm

$$s \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Kontrol luas tulangan geser vertikal dan horisontal minimum

$$\begin{aligned} A_{vh} &= 0,0015 b_w \cdot s \\ &= 0,0015 \cdot 1000 \cdot 150 \\ &= 225 \text{ mm}^2 < 402,286 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 0,0025 b_w \cdot s_2 \\ &= 0,0025 \cdot 1000 \cdot 150 \\ &= 375 \text{ mm}^2 > 402,286 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur Lapangan

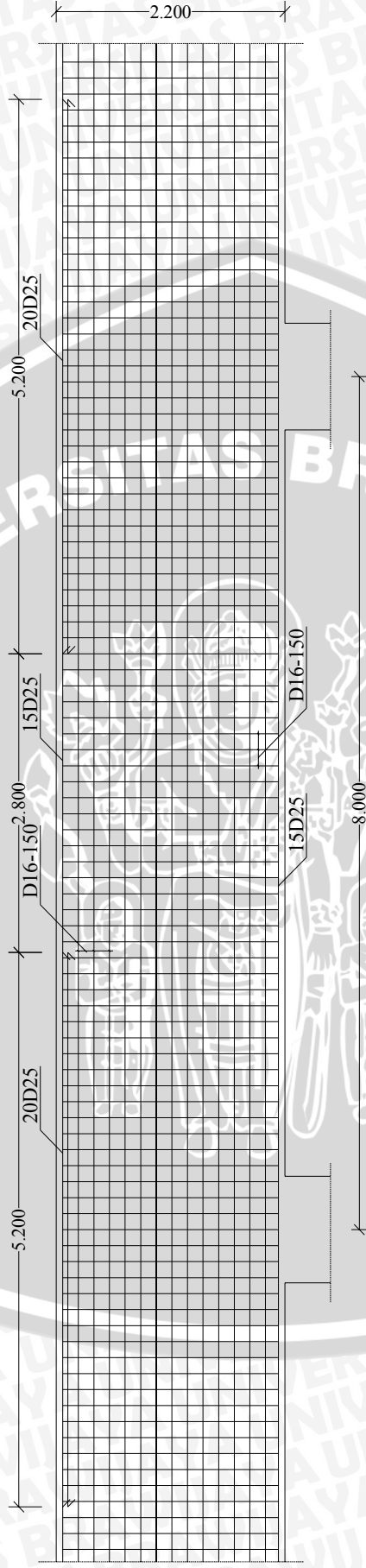
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\ &= \frac{2825,19 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 2200)} = 6173,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan pakai 15D25 = 7366,071 mm²

$$\rho \text{ pakai} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{7366,071}{1000 \cdot 1980} = 0,00372$$

$$\rho_{\min} < \rho \text{ pakai} < \rho_{\max} \dots\dots\dots \text{OK}$$





Gambar 4.6 Penulangan Balok 100/220 dengan metode Penampang Kritis

Dimensi Balok Tinggi 80/210

$$\begin{aligned}b &= 800 \text{ mm} \\h &= 2100 \text{ mm} \\d &= 0,9 \cdot 2100 = 1890 \text{ mm} \\Mu_{lap} &= 2759,01 \text{ kNm} \\Mu_{tump} &= 4298,11 \text{ kNm} \\Gaya \text{ pada bentang geser} & \\Vu &= 2171,71 \text{ kN} \\Mu &= 1778,41 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Kontrol syarat balok tinggi ($ln/d \leq 4$)

$$ln/d = 7000/1890 = 3,7037 < 4 \dots\dots\dots \text{Balok Tinggi}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur Tumpuan

$$\begin{aligned}Ast &= \frac{Mu}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\&= \frac{4298,11 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 2100)} = 9839,995 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan pakai 21D25 = 10312,5 mm²

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot 600}{f_y \cdot (600 + f_y)} \\&= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81 \cdot 600}{390 \cdot (600 + 390)} = 0,02809\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \frac{Ast}{b \cdot d} = \frac{10312,5}{800 \cdot 1890} = 0,00682$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kuat Geser Nominal (V_n)

Untuk nilai perbandingan ln/d terletak antara 2 - 5 digunakan Persamaan 2-5

$$\begin{aligned}V_n &= \frac{1}{18} \cdot (10 + ln/d) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\&= \frac{1}{18} \cdot (10 + 3,7037) \cdot \sqrt{35} \cdot 800 \cdot 1890\end{aligned}$$

$$= 6810,07 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 6810,07 = 5107,55 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$5107,55 \text{ kN} > 2171,71 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kapasitas Tahanan Geser Beton (V_c)

Sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat dihitung menggunakan

Persamaan 2-6, 2-7, dan tidak boleh diambil lebih besar dari Persamaan 2-8

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35} \cdot 800 \cdot 1890 \\ &= 1490,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_{ud}}{Mu} \right] \frac{bw \cdot d}{7}$$

$$\frac{V_u \cdot d}{Mu} = \frac{2171,71 \cdot 1890}{1778,41} = 2,308 > 1 \dots\dots\dots \text{digunakan } \frac{V_u \cdot d}{Mu} = 1$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left[\sqrt{35} + 120 \cdot 0,00682(1) \right] \frac{800 \cdot 1890}{7} \\ &= 1454,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= 0,3 \sqrt{35} \cdot 800 \cdot 1890 \\ &= 2683,53 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 1454,66 \\ &= 1090,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c < V_u$$

1090,99 kN < 2171,71 kN.....Diperlukan Tulangan Geser



Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser
Kapasitas Tahanan Geser Tulangan Baja

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{2171,71}{0,75} - 1454,66 = 1440,95 \text{ kN}$$

Diameter sengkang yang digunakan untuk tulangan geser arah vertikal (A_v) dan arah horizontal (A_{vh}) adalah sama D16 maka

$$A_v = A_{vh} = 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2)$$

$$= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2$$

Jika jarak antar sengkang vertikal dan horizontal adalah sama maka

$$s = s_2$$

Luasan tulangan geser yang diperlukan dapat dihitung dengan Persamaan 2-9

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s} \left(\frac{1 + \frac{\ln}{d}}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_2} \left(\frac{11 - \frac{\ln}{d}}{12} \right) \right] f_y \cdot d$$

$$1440,95 \text{ kN} = \left[\frac{402,286}{s} \left(\frac{1 + 3,7037}{12} \right) + \frac{402,286}{s} \left(\frac{11 - 3,7037}{12} \right) \right] 390 \cdot 1890$$

$$s = 205,7836 \text{ mm}$$

Jarak tulangan geser vertikal dan horizontal maksimum

$$d/3 = 1890/3 = 630 \text{ mm}$$

atau 500 mm

$$s \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Kontrol luas tulangan geser vertikal dan horizontal minimum

$$A_{vh} = 0,0015 b_w \cdot s$$

$$= 0,0015 \cdot 800 \cdot 200$$

$$= 240 \text{ mm}^2 < 402,2857 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$A_v = 0,0025 b_w \cdot s_2$$

$$= 0,0025 \cdot 800 \cdot 200$$

$$= 400 \text{ mm}^2 > 402,2857 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK}$$

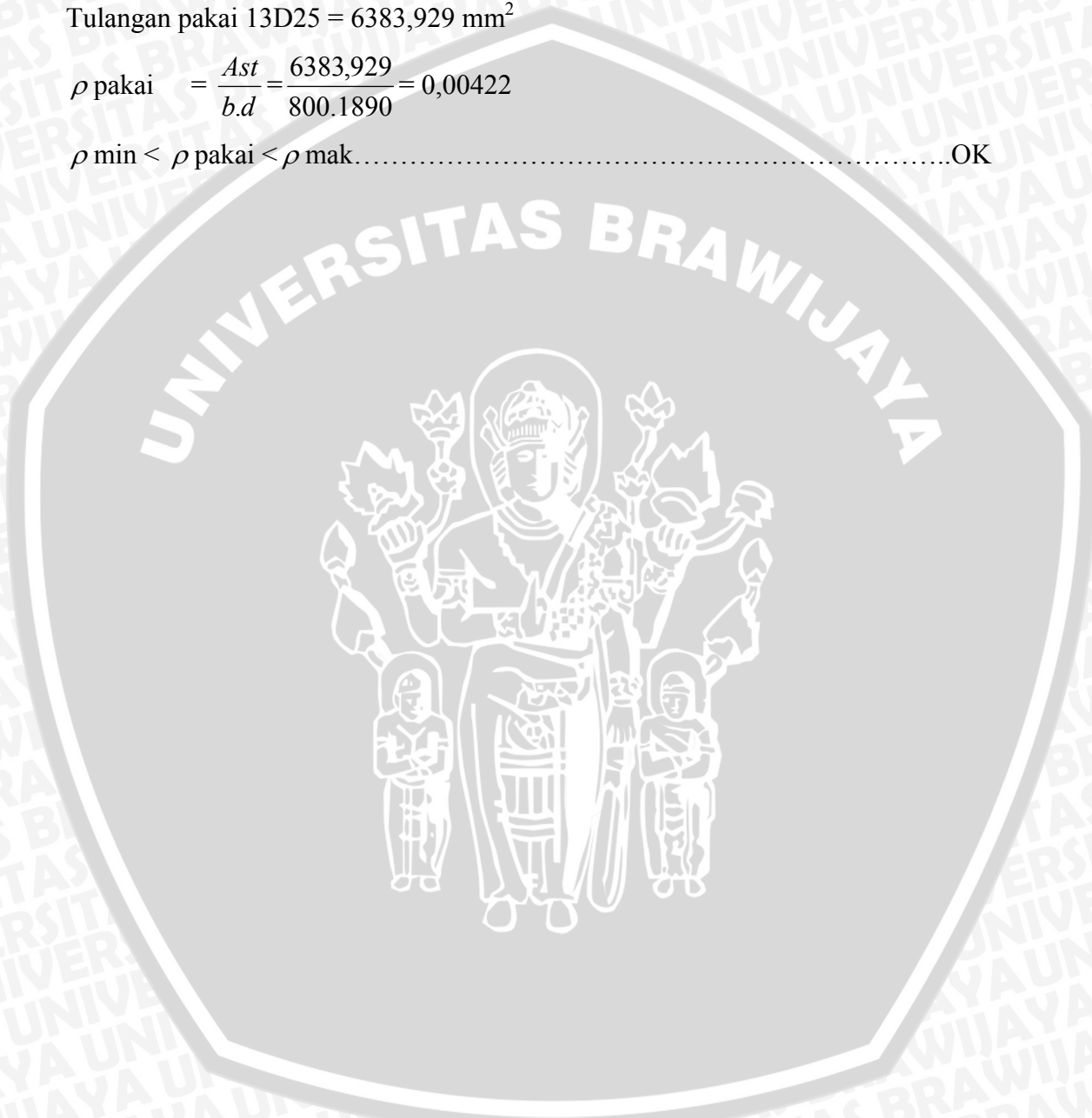
Menghitung Luas Tulangan Lentur Lapangan

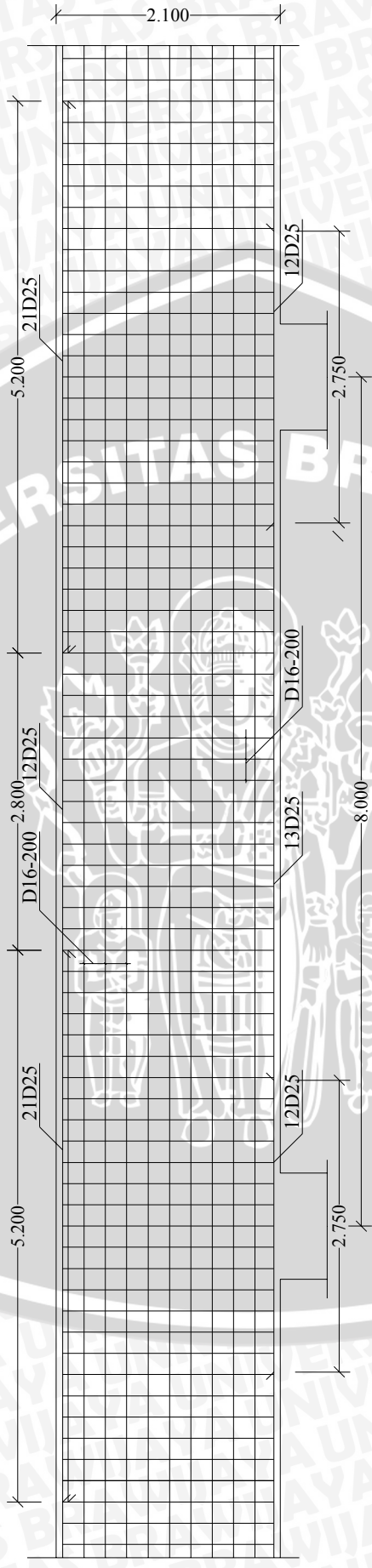
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\ &= \frac{2759,01 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 2100)} = 6316,414 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan pakai 13D25 = 6383,929 mm²

$$\rho_{\text{pakai}} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{6383,929}{800 \cdot 1890} = 0,00422$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\text{mak}}$OK





Gambar 4.7 Penulangan Balok 80/210 dengan metode Penampang Kritis

Dimensi Balok Tinggi 60/200

$$\begin{aligned}b &= 600 \text{ mm} \\h &= 2000 \text{ mm} \\d &= 0,9 \cdot 2000 = 1800 \text{ mm} \\M_{u_{lap}} &= 2697,92 \text{ kNm} \\M_{u_{tump}} &= 4189,98 \text{ kNm} \\ \text{Gaya pada bentang geser} \\V_u &= 2118,2 \text{ kN} \\M_u &= 1733,64 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 7000/1800 = 3,8889 < 4 \dots\dots\dots \text{Balok Tinggi}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur Tumpuan

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\ &= \frac{4189,98 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 2000)} = 10072,06 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan pakai 21D25 = 10312,5 mm²

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{mak}} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot 600}{f_y \cdot (600 + f_y)} \\ &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81 \cdot 600}{390 \cdot (600 + 390)} = 0,02809\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{10312,5}{600 \cdot 1800} = 0,00955$$

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\text{mak}} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kuat Geser Nominal (V_n)

Untuk nilai perbandingan ln/d terletak antara 2 - 5 digunakan Persamaan 2-5

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{1}{18} \cdot (10 + ln/d) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{18} \cdot (10 + 3,8889) \cdot \sqrt{35} \cdot 600 \cdot 1800 \\ &= 4930,07 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 4930,07 = 3697,55 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$3697,55 \text{ kN} > 2118,2 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kapasitas Tahanan Geser Beton (V_c)

Sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-6, 2-7, dan tidak boleh diambil lebih besar dari Persamaan 2-8

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35} \cdot 600 \cdot 1800 \\ &= 1064,89 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_{ud}}{Mu} \right] \frac{bw \cdot d}{7}$$

$$\frac{V_{u.d}}{Mu} = \frac{2118,2 \cdot 1,800}{1733,64} = 2,199 > 1 \dots\dots\dots \text{digunakan } \frac{V_{u.d}}{Mu} = 1$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left[\sqrt{35} + 120 \cdot 0,00955(1) \right] \frac{600 \cdot 1800}{7} \\ &= 1089,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= 0,3 \sqrt{35} \cdot 600 \cdot 1800 \\ &= 1916,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 1064,89 \\ &= 798,67 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\phi V_c < V_u$$

$$798,67 \text{ kN} < 2118,2 \text{ kN} \dots \dots \dots \text{Diperlukan Tulangan Geser}$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser
Kapasitas Tahanan Geser Tulangan Baja

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{2118,2}{0,75} - 1064,89 = 1759,37 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diameter sengkang yang digunakan untuk tulangan geser arah vertikal (A_v) dan arah horizontal (A_{vh}) adalah sama D16
maka

$$\begin{aligned} A_v = A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jika jarak antar sengkang vertikal dan horizontal adalah sama
maka

$$s = s_2$$

Luasan tulangan geser yang diperlukan dapat dihitung dengan Persamaan 2-9

$$V_s = \left[\frac{A_v \left(1 + \frac{\ln}{d} \right)}{s \left(\frac{12}{12} \right)} + \frac{A_{vh} \left(\frac{11 - \frac{\ln}{d}}{12} \right)}{s_2 \left(\frac{12}{12} \right)} \right] f_y \cdot d$$

$$\begin{aligned} 1759,37 \text{ kN} &= \left[\frac{402,286 \left(1 + 3,8889 \right)}{s \left(\frac{12}{12} \right)} + \frac{402,286 \left(\frac{11 - 3,8889}{12} \right)}{s \left(\frac{12}{12} \right)} \right] 390.1800 \\ s &= 160,51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser vertikal dan horizontal maksimum

$$d/3 = 1800/3 = 600 \text{ mm}$$

atau 500 mm

$$s \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Kontrol luas tulangan geser vertikal dan horisontal minimum

$$\begin{aligned} A_{vh} &= 0,0015 b_w \cdot s \\ &= 0,0015 \cdot 600 \cdot 150 \\ &= 135 \text{ mm}^2 < 402,2857 \text{ mm}^2 \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 0,0025 b_w \cdot s_2 \\ &= 0,0025 \cdot 600 \cdot 150 \\ &= 225 \text{ mm}^2 > 402,2857 \text{ mm}^2 \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

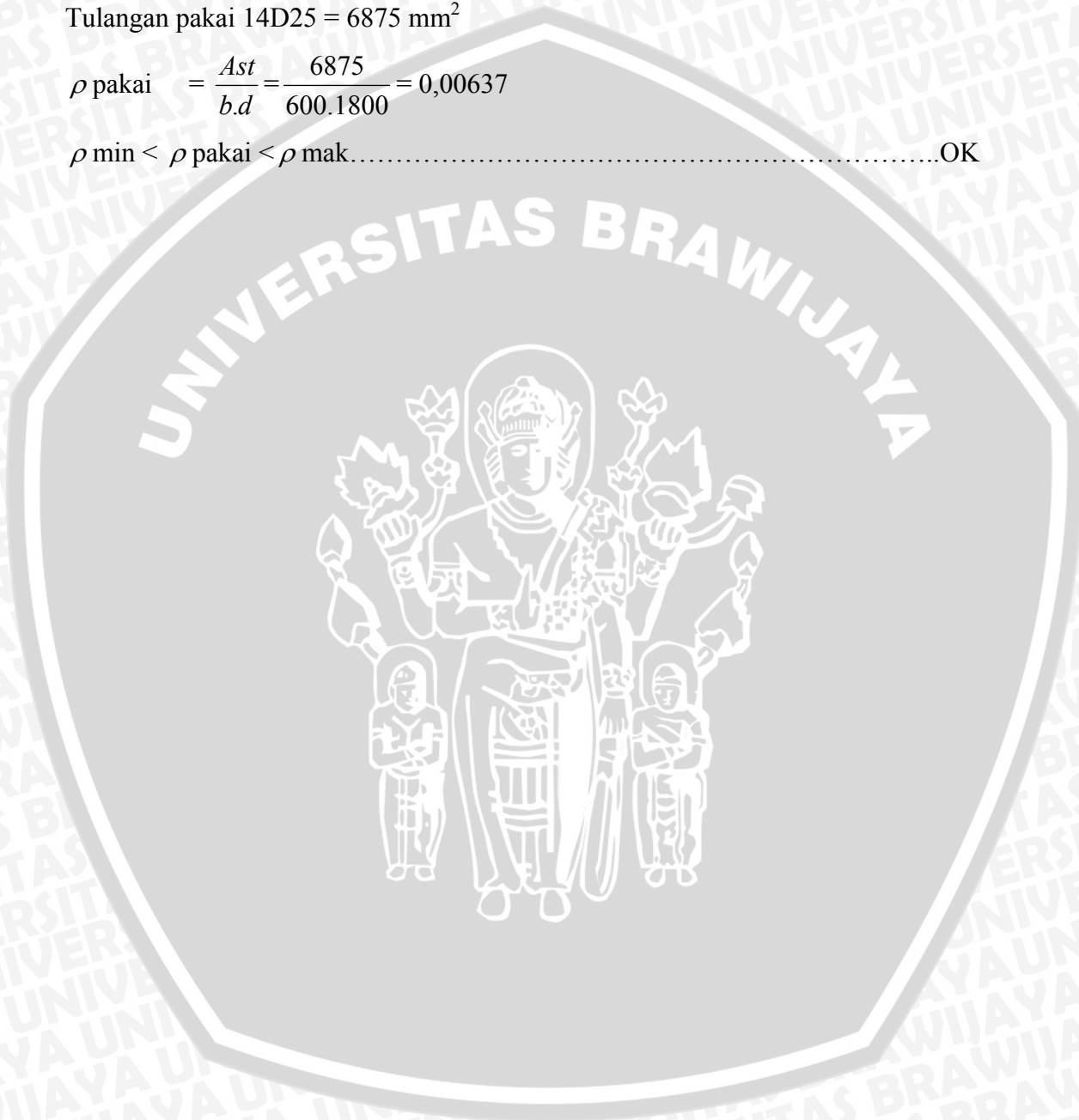
Menghitung Luas Tulangan Lentur Lapangan

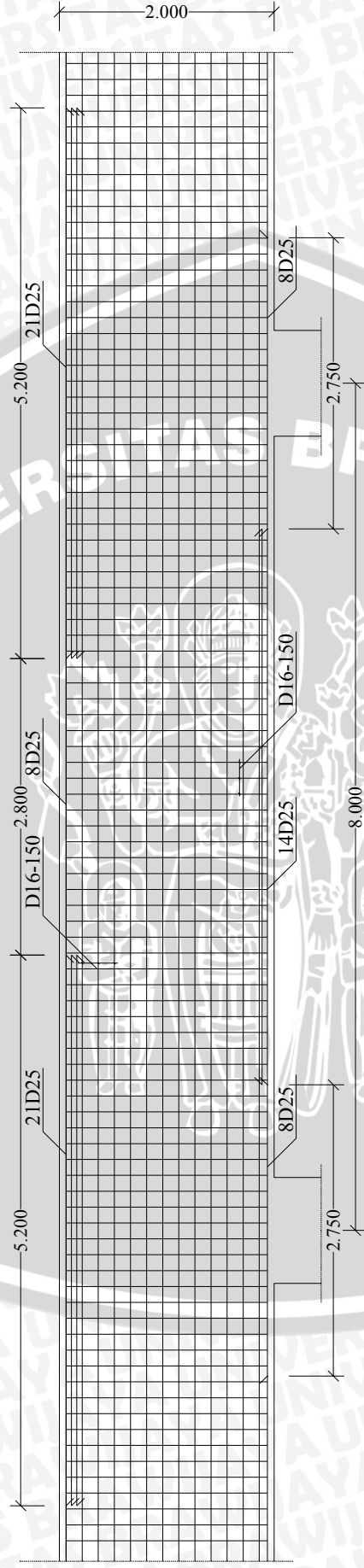
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\ &= \frac{2697,92 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 2000)} = 6485,384 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan pakai 14D25 = 6875 mm²

$$\rho_{\text{pakai}} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{6875}{600 \cdot 1800} = 0,00637$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\text{mak}}$OK





Gambar 4.8 Penulangan Balok 60/200 dengan metode Penampang Kritis

4.5.2 Metode *strut and tie model* pada balok tinggi bentang 8 m

$$\begin{aligned}
 L &= 8000 \text{ mm} && = 314,9597 \text{ in} \\
 f_y &= 390 \text{ Mpa} && = 56,565 \text{ ksi} \\
 f_c' &= 35 \text{ Mpa} && = 5,0764 \text{ ksi} \\
 l_n &= L - l_b && = 314,9597 - 39,36996 = 275,5897 \text{ mm} \\
 \phi &= 0,75
 \end{aligned}$$

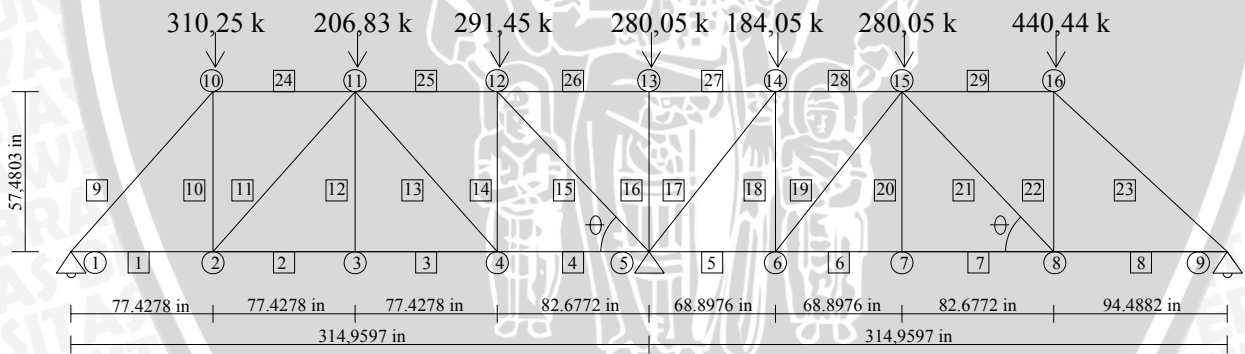
4.5.2.1 Perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka miring

Dimensi Balok Tinggi 100/220

$$\begin{aligned}
 b &= 1000 \text{ mm} && = 39,36996 \text{ in} \\
 h &= 2200 \text{ mm} && = 86,61391 \text{ in} \\
 d &= 0,9 \cdot 86,61391 && = 77,9525 \text{ in}
 \end{aligned}$$

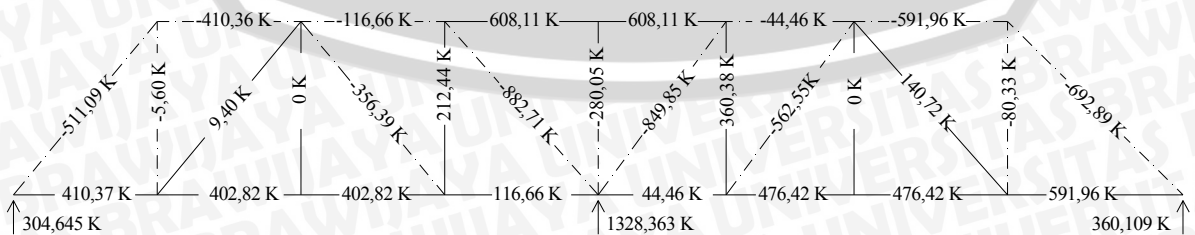
Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$\begin{aligned}
 l_n/d &= 275,5897 / 77,9525 && = 3,53 < 4 \dots \dots \dots \text{Balok Tinggi} \\
 z &= 2/3 \cdot 86,61391 && = 57,4803 \text{ in}
 \end{aligned}$$



$$\theta = 34,808^{\circ}$$

Gambar 4.9 Pembebanan balok tinggi dimensi 100/220



Gambar 4.10 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 100/220



Luas Tulangan untuk *tie*

Dalam perhitungan tulangan dipilih 4 *tie* untuk mewakili tulangan tumpuan, tulangan lapangan, tulangan geser vertikal, dan tulangan geser horisontal. *Tie* 26 = 608,11 kip untuk mewakili tulangan tumpuan, *tie* 8 = 591,96 kip untuk mewakili tulangan lapangan, *tie* 18 = 360,38 kip untuk mewakili tulangan geser vertikal dan *tie* 21 = 140,72 kip untuk mewakili tulangan geser horisontal. Tulangan yang diperlukan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-13

Tulangan lentur minimum yang disyaratkan ACI 318R-02 Code 10.5

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} b.d \\ &= \frac{3\sqrt{5076,4}}{56565} 39,36996.77,9592 \\ &= 11,5980 \text{ in}^2 (7482,57 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan (*tie* 26)

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{F_{26}}{\phi \cdot f_y} = \frac{608,11}{0,75 \cdot 56,565} \\ &= 14,334 \text{ in}^2 (9247,84 \text{ mm}^2) \\ &\text{Digunakan tulangan } 20D25 = 9821,429 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan lapangan (*tie* 8)

$$\begin{aligned} A_{sl} &= \frac{F_8}{\phi \cdot f_y} = \frac{591,96}{0,75 \cdot 56,565} \\ &= 13,95 \text{ in}^2 (9002 \text{ mm}^2) \\ &\text{Digunakan tulangan } 19D25 = 9330,357 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan geser vertikal (*tie* 18)

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_{18}}{\phi \cdot A_v \cdot f_y} = \frac{360,38}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565} \\ &= 13,624 \end{aligned}$$

$$s < \frac{68,8976}{13,624}$$

$$s = 5,0569 \text{ in (128,45 mm)}$$

Tulangan geser horisontal (*tie* 21)

$$\begin{aligned}A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2\end{aligned}$$

$$F_{21} \cdot \cos\theta = 115,541 \text{ kip}$$

$$n = \frac{F_{21} \cdot \cos\theta}{\phi \cdot A_v \cdot f_y} = \frac{115,54}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565}$$

$$= 4,368$$

$$s < \frac{57,4803}{4,368}$$

$$s = 13,15 \text{ in (334,24 mm)}$$

Kontrol kapasitas *nodal*

Kuat tekan efektif untuk *nodal* 5 ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-15

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c'$$

Untuk *nodal* 5 jenis *nodal* adalah compression-compression-tension (CCT), sehingga besarnya $\beta_n = 0,8$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *nodal* 5 adalah

$$\begin{aligned}f_{cu}(5) &= 0,85 \cdot 0,8 \cdot 5,0764 \\ &= 3,452 \text{ ksi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi f_{cu}(5) &= 0,75 \cdot 3,452 \\ &= 2,589 \text{ ksi}\end{aligned}$$

Kontrol tegangan pada tumpuan *nodal* 5 adalah

$$\begin{aligned}f(\text{base}) &= \frac{R}{b \cdot l_b} = \frac{1328,33}{39,36996 \cdot 39,36996} \\ &= 0,856 \text{ ksi}\end{aligned}$$

$$f(\text{base}) = 0,856 \text{ ksi} < 2,589 \text{ ksi} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Kontrol kapasitas *strut*

Kuat tekan nominal suatu *strut* ditentukan dengan Persamaan 2-10. Diambil gaya *strut* terbesar yaitu pada batang 15 sebesar 882,71 kip

Menghitung lebar dari *tie* (w_t) batang 4

$$\begin{aligned}w_t(4) &= \frac{F_4}{\phi \cdot b \cdot f_{cu}(5)} = \frac{116,66}{0,75 \cdot 39,36996 \cdot 3,452} \\ &= 1,145 \text{ in} \approx 1,2 \text{ in}\end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned}w_t(4) &= D_{\text{tulangan}} + D_{\text{senggang}} + 2 \cdot \text{selimut beton} \\ &= 25 + 16 + (2 \cdot 50) \\ &= 141 \text{ mm (5,55 in)}\end{aligned}$$

Kuat tekan efektif untuk *strut* 15

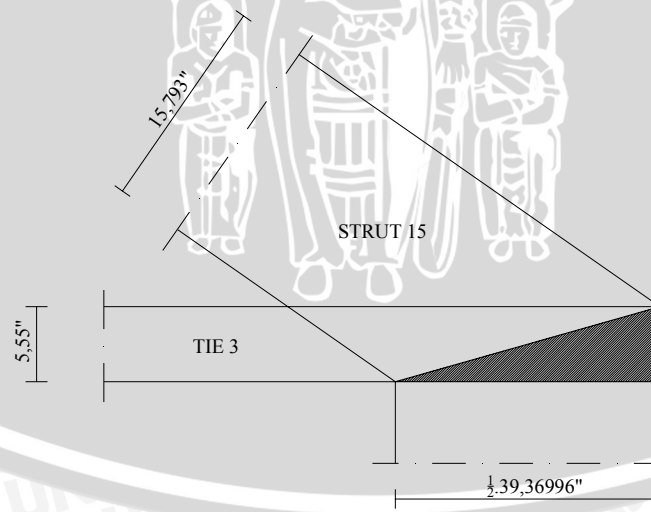
Dengan asumsi bahwa *strut* 15 akan diperkuat dengan tulangan maka besarnya $\beta_s = 0,75$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *strut* 15 berdasarkan Persamaan 2-11 adalah

$$\begin{aligned}f_{cu}(15) &= 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \\ &= 0,85 \cdot 0,75 \cdot 5,0764 \\ &= 3,2362 \text{ ksi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}ws(15) &= w_t(4) \cdot \text{Cos}\theta + l_b \cdot \text{Sin}\theta \\ &= 5,55 \cdot \text{Cos}34,808^\circ + (\frac{1}{2} \cdot 39,36996) \cdot \text{Sin}34,808^\circ \\ &= 4,5569 + 11,236 \\ &= 15,793 \text{ in}\end{aligned}$$

Kapasitas *strut* 15

$$\begin{aligned}\phi F_{ns}(15) &= \phi \cdot f_{cu} \cdot ws(15) \cdot b \\ &= 0,75 \cdot 3,2362 \cdot 15,793 \cdot 39,36996 \\ &= 1509,12 \text{ kip} > 882,71 \text{ kip}\end{aligned}$$



Gambar 4.11 *Strut* 15 balok tinggi dimensi 100/220

Luas tulangan minimum *strut*

Tulangan minimum pada *strut* 15 untuk memberikan kekuatan terhadap retak-retak sepanjang sumbu *strut*. Luasan tulangan yang minimum yang diperlukan didapat dari Persamaan 2-12

Jarak tulangan geser vertikal dan horisontal maksimum berdasarkan ACI 318-2002 Code 11.8.4 dan 11.8.5, sebesar :

$$d/5 = 77,9525 \text{ in} / 5 = 15,5905 \text{ in} (395,9987 \text{ mm})$$

$$12 \text{ in} = 304,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \gamma_1(\text{vertikal}) &= 90^\circ - 34,808^\circ \\ &= 55,192^\circ \end{aligned}$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_v = \frac{A_v}{s \cdot b} > 0,0025$$

$$\frac{0,6235}{s \cdot 39,36996} = 0,00258$$

$$S = 155,91 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_v(\sin \gamma_1) &= 0,00258 \cdot 0,8210 \\ &= 0,002118 \end{aligned}$$

$$\gamma_2(\text{horisontal}) = 34,808^\circ$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned} A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_h = \frac{A_{vh}}{s \cdot b} > 0,0015$$

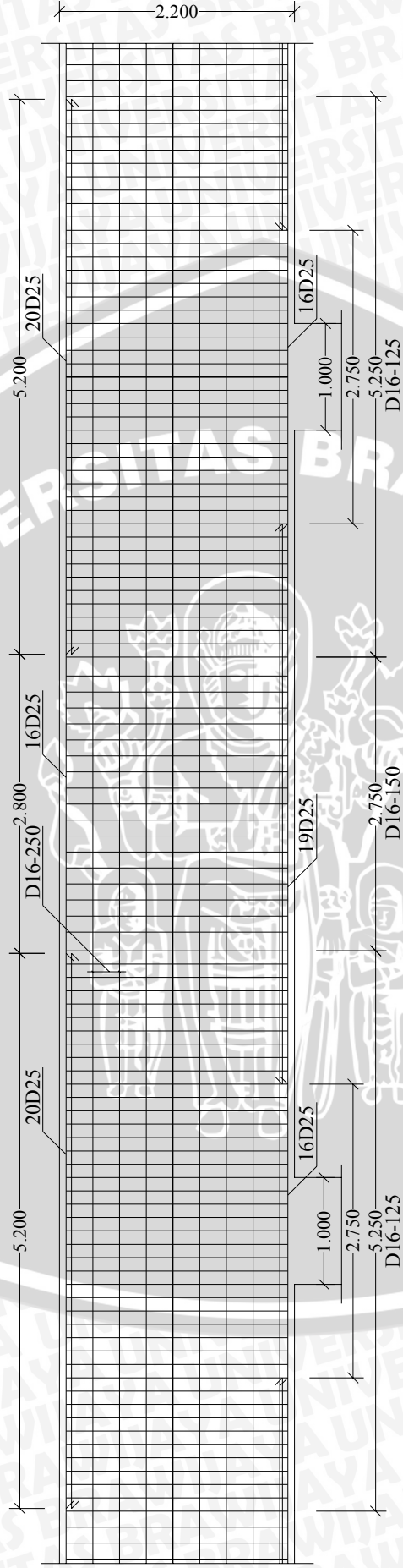
$$\frac{0,6235}{s \cdot 39,36996} = 0,00156$$

$$S = 257,86 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_h(\sin \gamma_2) &= 0,00156 \cdot 0,5708 \\ &= 0,00089 \end{aligned}$$

$$\Sigma \rho_i(\sin \gamma_i) = (0,002118 + 0,00089)$$

$$= 0,00301 > 0,003 \dots \dots \dots \text{OK}$$



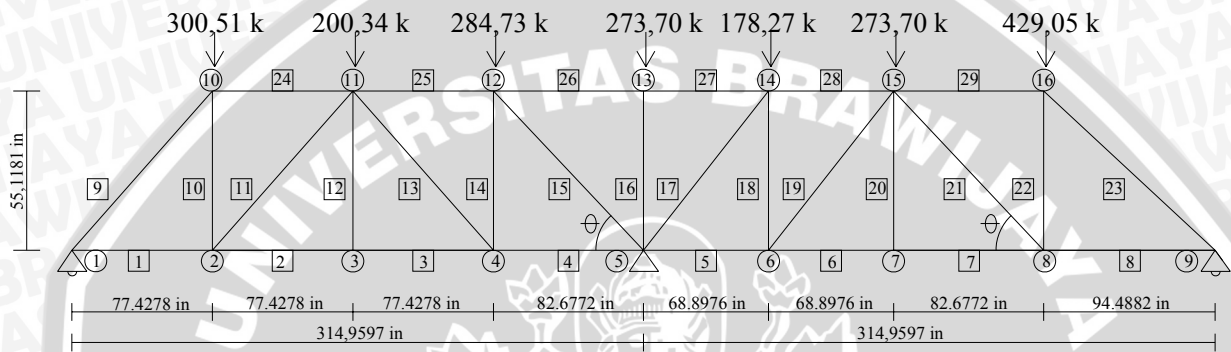
Gambar 4.12 Penulangan Balok 100/200 dengan Strut and Tie Model

Dimensi Balok Tinggi 80/210

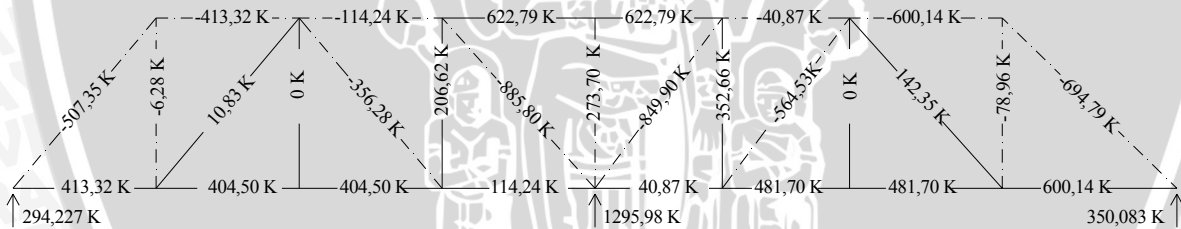
b	= 800 mm	= 31,49597 in
h	= 2100 mm	= 82,67692 in
d	= 0,9 . 82,67692	= 74,409228 in

Kontrol syarat balok tinggi ($ln/d \leq 4$)

ln/d	= 275,5897 / 74,409228	= 3,70 < 4Balok Tinggi
z	= 2/3 . 82,67692	= 55,1179 in	



Gambar 4.13 pembebanan balok tinggi dimensi 80/210



Gambar 4.14 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 80/210

Luas tulangan untuk tie

Dalam perhitungan tulangan dipilih 4 tie untuk mewakili tulangan tumpuan, tulangan lapangan, tulangan geser vertikal, dan tulangan geser horisontal. Tie 26 = 622,79 kip untuk mewakili tulangan tumpuan, tie 8 = 600,14 kip untuk mewakili tulangan lapangan, tie 18 = 352,66 kip untuk mewakili tulangan geser vertikal dan tie 21 = 142,35 kip untuk mewakili tulangan geser horisontal. Tulangan yang diperlukan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-13

Tulangan lentur minimum yang disyaratkan ACI 318R-02 Code 10.5

$$\begin{aligned} \text{Asmin} &= \frac{3\sqrt{fc'}}{fy} b.d \\ &= \frac{3\sqrt{5076,4}}{56565} 31,49597.74,4092 \\ &= 8,856 \text{ in}^2 (5713,476 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan (*tie 26*)

$$\begin{aligned} \text{Ast} &= \frac{F_{26}}{\phi \cdot fy} = \frac{622,79}{0,75 \cdot 56,565} \\ &= 14,68 \text{ in}^2 (9471,09 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 20D25 = 9821,429 mm²

Tulangan lapangan (*tie 8*)

$$\begin{aligned} \text{Asl} &= \frac{F_8}{\phi \cdot fy} = \frac{600,14}{0,75 \cdot 56,565} \\ &= 14,146 \text{ in}^2 (9126,64 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 19D25 = 9330,57 mm²

Tulangan geser vertikal (*tie 18*)

$$\begin{aligned} \text{Av} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_{18}}{\phi \cdot \text{Av} \cdot fy} = \frac{352,66}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565} \\ &= 13,33 \end{aligned}$$

$$s < \frac{68,8976}{13,33}$$

$$s = 5,167 \text{ in (130,258 mm)}$$

Tulangan geser horisontal (*tie 21*)

$$\begin{aligned} \text{Av} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$F_{21} \cdot \text{Cos}\theta = 118,44 \text{ kip}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_{21} \cdot \text{cos}\theta}{\phi \cdot \text{Av} \cdot fy} = \frac{118,44}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565} \\ &= 4,478 \end{aligned}$$

$$s < \frac{55,1181}{4,478}$$

$$s = 12,309 \text{ in (312,66 mm)}$$

Kontrol kapasitas nodal

Kuat tekan efektif untuk *nodal 5* ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-15

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c'$$

Untuk *nodal 5* jenis *nodal* adalah *compression-compression-tension (CCT)*, sehingga besarnya $\beta_n = 0,8$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *nodal 5* adalah

$$\begin{aligned} f_{cu}(5) &= 0,85 \cdot 0,8 \cdot 5,0764 \\ &= 3,452 \text{ ksi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi f_{cu}(5) &= 0,75 \cdot 3,452 \\ &= 2,589 \text{ ksi} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan pada tumpuan *nodal 5* adalah

$$\begin{aligned} f(\text{base}) &= \frac{R}{b \cdot l_b} = \frac{1295,98}{31,49597 \cdot 39,36996} \\ &= 1,045 \text{ ksi} \end{aligned}$$

$$f(\text{base}) = 1,045 \text{ ksi} < 2,589 \text{ ksi} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Kontrol kapasitas strut

Kuat tekan nominal suatu *strut* ditentukan dengan Persamaan 2-10. Diambil gaya *strut* terbesar yaitu pada batang 15 sebesar 885,8 kip

Menghitung lebar dari *tie* (w_t) batang 4

$$\begin{aligned} w_t(4) &= \frac{F_4}{\phi \cdot b \cdot f_{cu}(5)} = \frac{114,24}{0,75 \cdot 31,49597 \cdot 3,452} \\ &= 1,4 \text{ in} \approx 1,5 \text{ in} \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} w_t(4) &= D_{\text{tulangan}} + D_{\text{senggang}} + 2 \cdot \text{selimut beton} \\ &= (2 \cdot 25) + 16 + (3 \cdot 50) \\ &= 141 \text{ mm} (5,55 \text{ in}) \approx 5,6 \text{ in} \end{aligned}$$

Kuat tekan efektif untuk *strut 15*

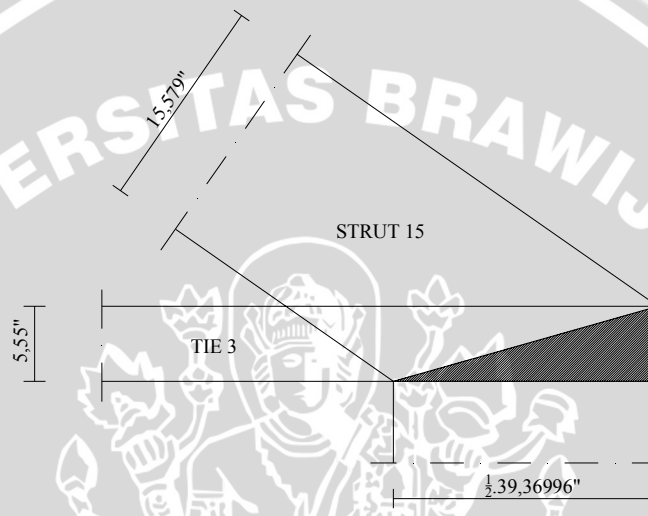
Dengan asumsi bahwa *strut 15* akan diperkuat dengan tulangan maka besarnya $\beta_s = 0,75$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *strut 15* berdasarkan Persamaan 2-11 adalah

$$\begin{aligned} f_{cu}(15) &= 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \\ &= 0,85 \cdot 0,75 \cdot 5,0764 \\ &= 3,2362 \text{ ksi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ws(15) &= w_t(4) \cdot \text{Cos}\theta + l_b \cdot \text{Sin}\theta \\
 &= 5,6 \cdot \text{Cos}33,69^\circ + (1/2 \cdot 39,36996) \cdot \text{Sin}33,69^\circ \\
 &= 4,6595 + 10,919 \\
 &= 15,579 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Kapasitas *strut* 15

$$\begin{aligned}
 \phi F_{ns}(15) &= \phi \cdot f_{cu} \cdot ws(15) \cdot b \\
 &= 0,75 \cdot 3,2362 \cdot 15,579 \cdot 31,49597 \\
 &= 1190,92 \text{ kip} > 885,8 \text{ kip}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.15 *Strut* 15 balok tinggi dimensi 80/210

Luas tulangan minimum *strut*

Tulangan minimum pada *strut* 15 untuk memberikan kekuatan terhadap retak-retak sepanjang sumbu *strut*. Luasan tulangan yang minimum yang diperlukan didapat dari Persamaan 2-12

Jarak tulangan geser vertikal dan horisontal maksimum berdasarkan ACI 318-2002 Code 11.8.4 dan 11.8.5, sebesar :

$$d/5 = 74,409228 \text{ in} / 5 = 14,882 \text{ in} (377,99 \text{ mm})$$

$$12 \text{ in} = 304,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \gamma_1(\text{vertikal}) &= 90^\circ - 33,69^\circ \\ &= 56,31^\circ \end{aligned}$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_v = \frac{A_v}{s \cdot b} > 0,0025$$

$$\frac{0,6235}{s \cdot 31,49597} = 0,00258$$

$$S = 194,89 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_v(\sin \gamma_1) &= 0,00258 \cdot 0,832 \\ &= 0,002147 \end{aligned}$$

$$\gamma_2(\text{horisontal}) = 33,69^\circ$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned} A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_h = \frac{A_{vh}}{s \cdot b} > 0,0015$$

$$\frac{0,6235}{s \cdot 31,49597} = 0,00156$$

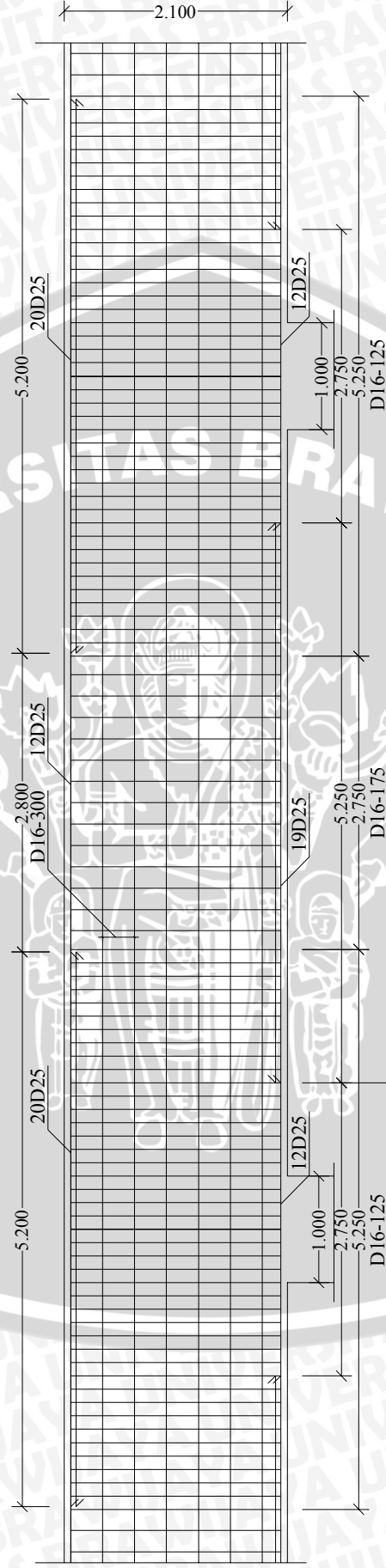
$$S = 322,32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_h(\sin \gamma_2) &= 0,00156 \cdot 0,5547 \\ &= 0,000865 \end{aligned}$$

$$\Sigma \rho_i(\sin \gamma_i) = (0,002147 + 0,000865)$$

$$= 0,00301 > 0,003 \dots \dots \dots \text{OK}$$





Gambar 4.16 Penulangan Balok 80/210 dengan Strut and Tie Model

Dimensi Balok Tinggi 60/200

$$b = 600 \text{ mm} = 23,62198 \text{ in}$$

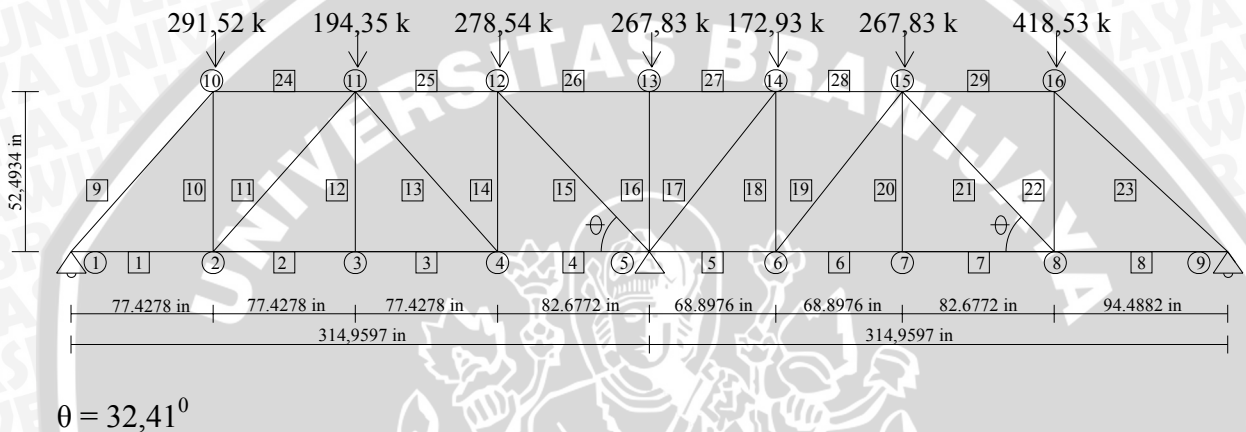
$$h = 2000 \text{ mm} = 78,73992 \text{ in}$$

$$d = 0,9 \cdot 78,73992 = 70,86593 \text{ in}$$

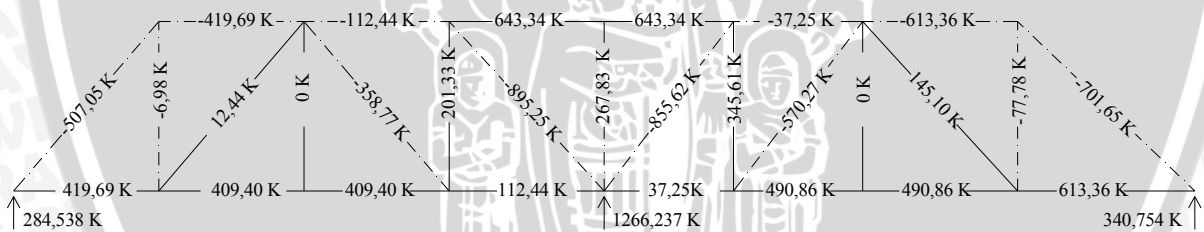
Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 275,5897 / 70,86593 = 3,8889 < 4 \dots \dots \dots \text{Balok Tinggi}$$

$$z = 2/3 \cdot 78,73992 = 52,49328 \text{ in}$$



Gambar 4.17 Pembebanan Balok tinggi dimensi 60/200



Gambar 4.18 Gaya Batang dan Reaksi Tumpuan Balok tinggi dimensi 60/260

Luas tulangan untuk tie

Dalam perhitungan tulangan dipilih 4 tie untuk mewakili tulangan tumpuan, tulangan lapangan, tulangan geser vertikal, dan tulangan geser horisontal. Tie 26 = 643,34 kip untuk mewakili tulangan tumpuan, tie 8 = 613,36 kip untuk mewakili tulangan lapangan, tie 18 = 345,61 kip untuk mewakili tulangan geser vertikal dan tie 21 = 145,10 kip untuk mewakili tulangan geser horisontal. Tulangan yang diperlukan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-13

Tulangan lentur minimum yang disyaratkan ACI 318R-02 Code 10.5

$$\begin{aligned} \text{Asmin} &= \frac{3\sqrt{fc'}}{fy} b.d \\ &= \frac{3\sqrt{5076,4}}{56565} 23,62198.70,86593 \\ &= 6,32565 \text{ in}^2 (4081,0565 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan (*tie 26*)

$$\begin{aligned} \text{Ast} &= \frac{F_{26}}{\phi.fy} = \frac{643,34}{0,75.56,565} \\ &= 15,1646 \text{ in}^2 (9783,61\text{mm}^2) \\ &\text{Digunakan tulangan } 20D25 = 9821,429 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan lapangan (*tie 8*)

$$\begin{aligned} \text{Asl} &= \frac{F_8}{\phi.fy} = \frac{613,36}{0,75.56,565} \\ &= 14,4579 \text{ in}^2 (9327,68 \text{ mm}^2) \\ &\text{Digunakan tulangan } 19D25 = 9330,357 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan geser vertikal (*tie 18*)

$$\begin{aligned} \text{Av} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_{18}}{\phi.Av.fy} = \frac{345,61}{0,75.0,6235.56,565} \\ &= 13,0659 \end{aligned}$$

$$s < \frac{68,8976}{13,0659}$$

$$s = 5,273 \text{ in } (133,93 \text{ mm})$$

Tulangan geser horisontal (*tie 21*)

$$\begin{aligned} \text{Av} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$F_{21} \cdot \text{Cos}\theta = 122,495 \text{ kip}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_{21} \cdot \text{cos}\theta}{\phi.Av.fy} = \frac{122,495}{0,75.0,6235.56,565} \\ &= 4,63 \end{aligned}$$

$$s < \frac{52,4934}{4,63}$$

$$s = 11,335 \text{ in } (287,9 \text{ mm})$$

Kontrol kapasitas *nodal*

Kuat tekan efektif untuk *nodal 5* ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-15

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c'$$

Untuk *nodal 5* jenis *nodal* adalah compression-compression-tension (CCT), sehingga besarnya $\beta_n = 0,8$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *nodal 5* adalah

$$\begin{aligned} f_{cu}(5) &= 0,85 \cdot 0,8 \cdot 5,0764 \\ &= 3,452 \text{ ksi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi f_{cu}(5) &= 0,75 \cdot 3,452 \\ &= 2,589 \text{ ksi} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan pada tumpuan *nodal 5* adalah

$$f(\text{base}) = \frac{R}{b \cdot l_b} = \frac{1266,237}{23,62198 \cdot 39,36996}$$

$$= 1,3616 \text{ ksi}$$

$$f(\text{base}) = 1,3616 \text{ ksi} < 2,589 \text{ ksi} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Kontrol kapasitas *strut*

Kuat tekan nominal suatu *strut* ditentukan dengan Persamaan 2-10. Diambil gaya *strut* terbesar yaitu pada batang 15 sebesar 895,25 kip

Menghitung lebar dari *tie* (w_t) batang 4

$$\begin{aligned} w_t(4) &= \frac{F_4}{\phi \cdot b \cdot f_{cu}(5)} = \frac{112,44}{0,75 \cdot 23,62198 \cdot 3,452} \\ &= 1,83 \text{ in} \approx 2 \text{ in} \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} w_t(4) &= (2 \cdot D_{\text{tulangan}}) + D_{\text{sengkang}} + (3 \cdot \text{selimut beton}) + \text{spasi tulangan} \\ &= (2 \cdot 25) + 16 + (2 \cdot 50) + 25 \\ &= 191 \text{ mm (7,5 in)} \end{aligned}$$

Kuat tekan efektif untuk *strut 15*

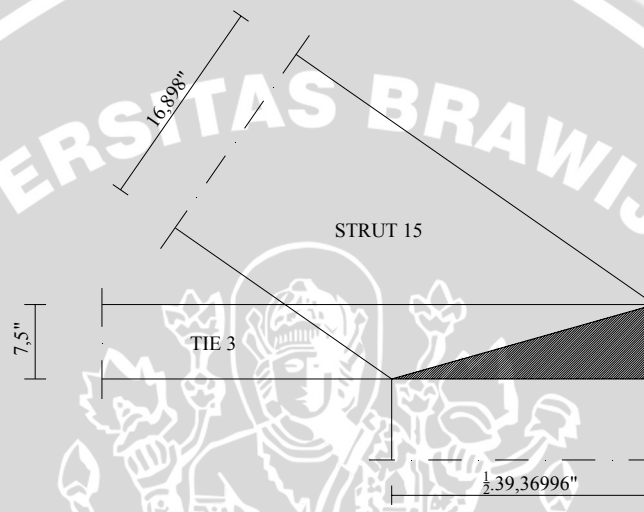
Dengan asumsi bahwa *strut 15* akan diperkuat dengan tulangan maka besarnya $\beta_s = 0,75$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *strut 15* berdasarkan Persamaan 2-11 adalah

$$\begin{aligned} f_{cu}(15) &= 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \\ &= 0,85 \cdot 0,75 \cdot 5,0764 \\ &= 3,2362 \text{ ksi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ws(15) &= w_t(4) \cdot \cos\theta + l_b \cdot \sin\theta \\
 &= 7,5 \cdot \cos 32,41^\circ + (1/2 \cdot 39,36996) \cdot \sin 32,41^\circ \\
 &= 6,348 + 10,55 \\
 &= 16,898 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Kapasitas *strut* 15

$$\begin{aligned}
 \phi F_{ns}(15) &= \phi \cdot f_{cu} \cdot ws(15) \cdot b \\
 &= 0,75 \cdot 3,2362 \cdot 16,898 \cdot 23,62198 \\
 &= 968,85 \text{ kip} > 895,25 \text{ kip}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.19 *Strut* 15 balok tinggi dimensi 60/200

Luas tulangan minimum *strut*

Tulangan minimum pada *strut* 15 untuk memberikan kekuatan terhadap retak-retak sepanjang sumbu *strut*. Luasan tulangan yang minimum yang diperlukan didapat dari Persamaan 2-12

Jarak tulangan geser vertikal dan horisontal maksimum berdasarkan ACI 318-2002 Code 11.8.4 dan 11.8.5, sebesar :

$$d/5 = 70,86593 \text{ in} / 5 = 14,13 \text{ in} (358,949 \text{ mm})$$

$$12 \text{ in} = 304,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_1(\text{vertikal}) &= 90^\circ - 32,41^\circ \\
 &= 57,59^\circ
 \end{aligned}$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\
 &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

$$\rho v = \frac{Av}{s.b} > 0,0025$$

$$\frac{0,6235}{s \cdot 23,62198} = 0,00258$$

$$S = 259,86 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho v (\sin \gamma_1) &= 0,00258 \cdot 0,844 \\ &= 0,00218 \end{aligned}$$

$$\gamma_2 (\text{horizontal}) = 32,41^\circ$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned} Avh &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

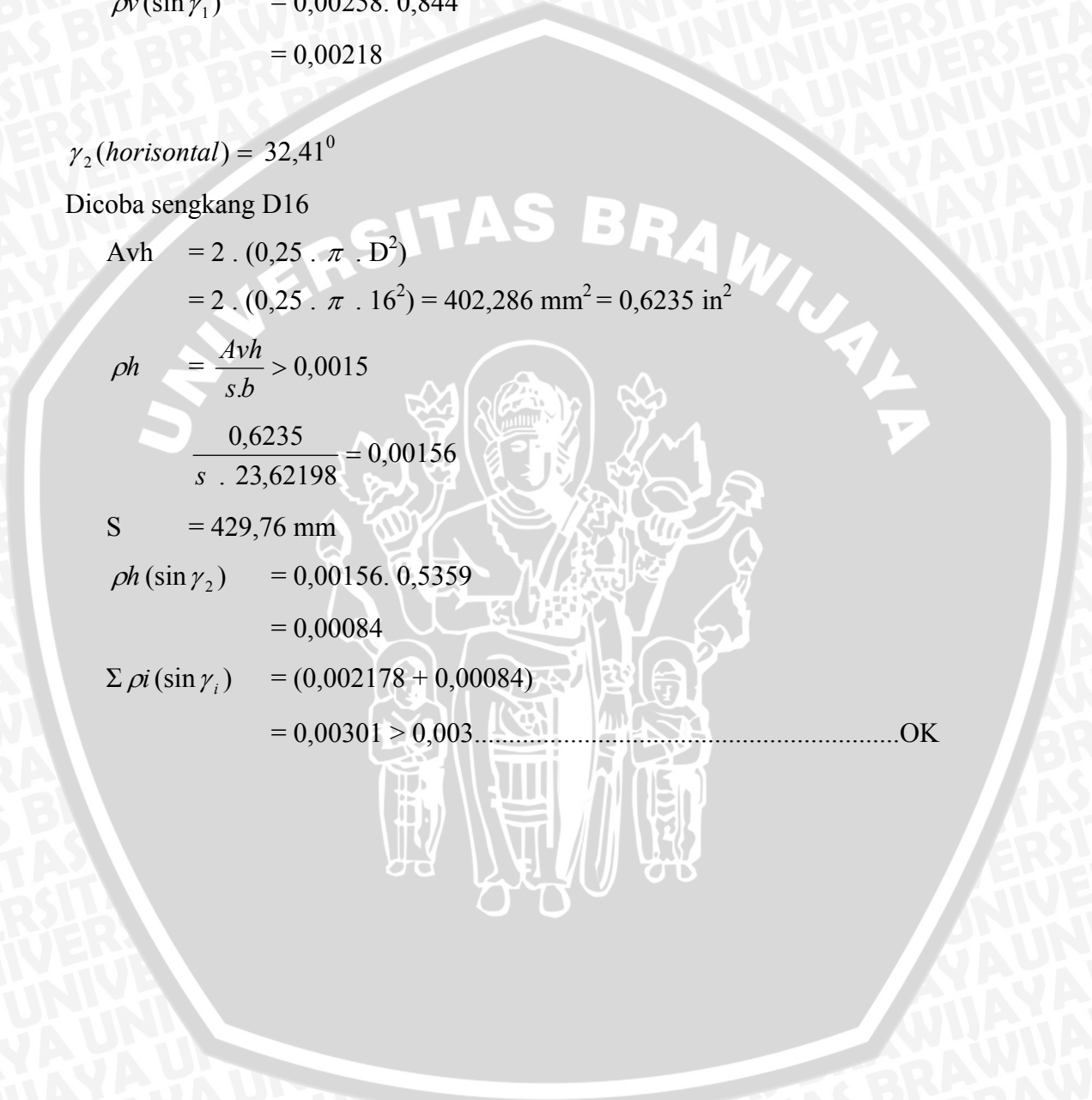
$$\rho h = \frac{Avh}{s.b} > 0,0015$$

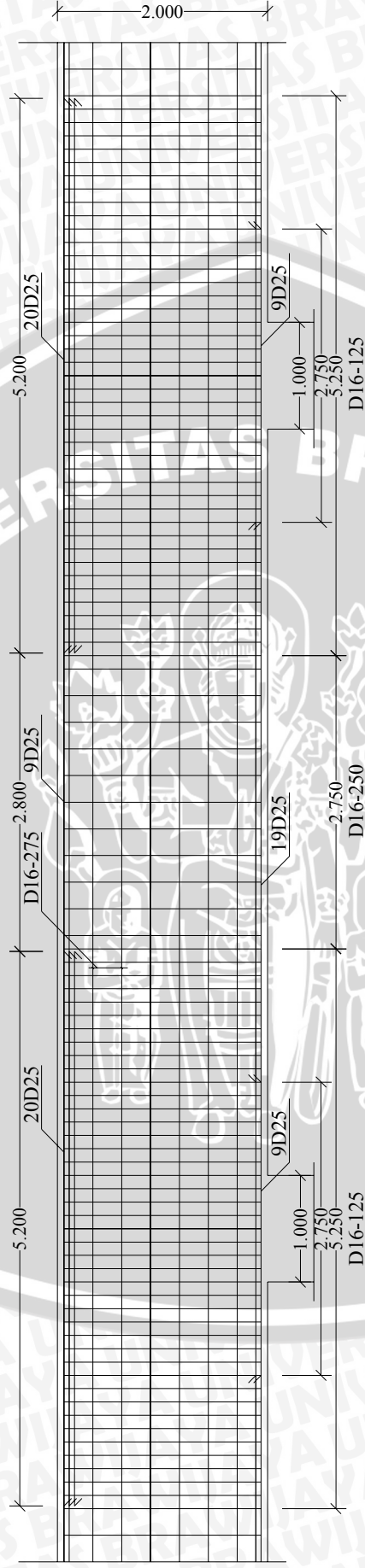
$$\frac{0,6235}{s \cdot 23,62198} = 0,00156$$

$$S = 429,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho h (\sin \gamma_2) &= 0,00156 \cdot 0,5359 \\ &= 0,00084 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \rho i (\sin \gamma_i) &= (0,002178 + 0,00084) \\ &= 0,003018 > 0,003 \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$





Gambar 4.20 Penulangan Balok 60/200 dengan Strut and Tie Model

4.5.2.2 Perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka silang

Perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka silang hampir sama dengan menggunakan rangka miring. Batang dan nodal yang digunakan dalam perhitungan *strut and tie model* dipilih yang memiliki gaya batang terbesar .

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan dipilih 3 *tie* untuk mewakili. *Tie* 38 untuk mewakili tulangan tumpuan, *tie* 8 untuk mewakili tulangan lapangan, dan *tie* 32 untuk mewakili tulangan geser. Batang 21 yang memiliki gaya tekan terbesar dipilih untuk mewakili *strut*. *Nodal* yang dipilih untuk dilakukan kontrol kapasitasnya adalah *nodal* 5 yang menerima gaya paling besar. Hasil perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka silang dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka silang bentang 8 m

Strut and Tie Model			Rangka silang		
			100/220	80/210	60/200
Tie	Tumpuan	F_{UT} (kip)	664.8	678.18	697.73
		Ast (mm)	10109.96	10313.44	10611
	Lapangan	F_{UT} (kip)	574.95	583.52	597.04
		Ast (mm)	8743.56	8873.89	9079.5
	Geser V	F_{UT} (kip)	189.62	184.856	180.63
		s (mm)	244.12	250.27	256.26
	Geser H	F_{UT} (kip)	227.28	231.1996	235.51
		s (mm)	169.92	167.036	163.98
Nodal	F_{BASE} (ksi)	0.87	1.06	1.381	
	ϕF_{CU} (ksi)	2.589	2.589	2.589	
Strut	F_{US} (kip)	900.84	903.27	968.85	
	ϕF_{NS} (kip)	1509.12	1190.92	912.16	
Tulangan Strut	Vertikal	s (mm)	156.52	195.65	260.87
	Horisontal	s (mm)	257.858	322.32	429.76

4.5.3 Metode penampang kritis pada balok tinggi bentang 6,25 m

$$\begin{aligned}L &= 6250 \text{ mm} \\f_y &= 390 \text{ Mpa} \\f_c' &= 35 \text{ Mpa} \\l_n &= 6250 - 1000 = 5250 \text{ mm} \\\phi_{\text{geser}} &= 0,75 \\\phi_{\text{lentur}} &= 0,8\end{aligned}$$

Dimensi balok tinggi 80/170

$$\begin{aligned}b &= 800 \text{ mm} \\h &= 1700 \text{ mm} \\d &= 0,9 \cdot 1700 = 1530 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$M_{u_{\text{lap}}} = 1510,39 \text{ kNm}$$

$$M_{u_{\text{tump}}} = 2340,81 \text{ kNm}$$

Gaya pada bentang geser

$$V_u = 515,89 \text{ kN}$$

$$M_u = 1026,05 \text{ kNm}$$

Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 5250/1530 = 3,43 < 4 \dots\dots\dots \text{Balok Tinggi}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur Tumpuan

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\&= \frac{2340,81 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 1700)} = 6619,938 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan pakai 14D25 = 6875 mm²

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{mak}} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\&= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81}{390} \cdot \frac{600}{600 + 390} = 0,02809\end{aligned}$$

$$\rho \text{ pakai} = \frac{Ast}{b.d} = \frac{6875}{800.1530} = 0,00562$$

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ pakai} < \rho \text{ mak} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kuat Geser Nominal (V_n)

Untuk nilai perbandingan ln/d terletak antara 2 - 5 digunakan Persamaan 2-5

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{1}{18} \cdot (10 + ln/d) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{18} \cdot (10 + 3,43) \cdot \sqrt{35} \cdot 800 \cdot 1530 \\ &= 5403,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 5403,35 = 4052,51 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$4052,51 \text{ kN} > 1515,89 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kapasitas Tahanan Geser Beton (V_c)

Sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-6, 2-7, dan tidak boleh diambil lebih besar dari Persamaan 2-8

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35} \cdot 800 \cdot 1530 \\ &= 1206,898 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_{ud}}{Mu} \right] \frac{bw \cdot d}{7}$$

$$\frac{V_u \cdot d}{Mu} = \frac{1515,89 \cdot 1530}{1026,05} = 2,26 > 1 \dots\dots\dots \text{digunakan} \frac{V_u \cdot d}{Mu} = 1$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left[\sqrt{35} + 120 \cdot 0,00562(1) \right] \frac{800 \cdot 1530}{7} \\ &= 1152,33 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,3 \sqrt{35} \cdot 800 \cdot 1530 \\
 &= 2172,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \cdot 1152,33 \\
 &= 864,24 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &< V_u \\
 864,24 \text{ kN} &< 1515,89 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{Diperlukan Tulangan Geser}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser
 Kapasitas Tahanan Geser Tulangan Baja

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{1515,89}{0,75} - 1152,33 = 868,86 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diameter sengkang yang digunakan untuk tulangan geser arah vertikal (A_v) dan arah horizontal (A_{vh}) adalah sama D16
 maka

$$\begin{aligned}
 A_v = A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\
 &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jika jarak antar sengkang vertikal dan horizontal adalah sama
 maka

$$s = s_2$$

Luasan tulangan geser yang diperlukan dapat dihitung dengan Persamaan 2-9

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s} \left(\frac{1 + \frac{h}{d}}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_2} \left(\frac{11 - \frac{h}{d}}{12} \right) \right] f_y \cdot d$$

$$\begin{aligned}
 868,86 \text{ kN} &= \left[\frac{402,286}{s} \left(\frac{1 + 3,431}{12} \right) + \frac{402,286}{s} \left(\frac{11 - 3,341}{12} \right) \right] 390 \cdot 1530 \\
 s &= 276,2743 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser vertikal dan horizontal maksimum

$$d/3 = 1980/3 = 660 \text{ mm}$$

atau 500 mm

$$s \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$



Kontrol luas tulangan geser vertikal dan horisontal minimum

$$\begin{aligned} A_{vh} &= 0,0015 b_w \cdot s \\ &= 0,0015 \cdot 800 \cdot 200 \\ &= 240 \text{ mm}^2 < 402,286 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 0,0025 b_w \cdot s_2 \\ &= 0,0025 \cdot 800 \cdot 200 \\ &= 400 \text{ mm}^2 > 402,286 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur Lapangan

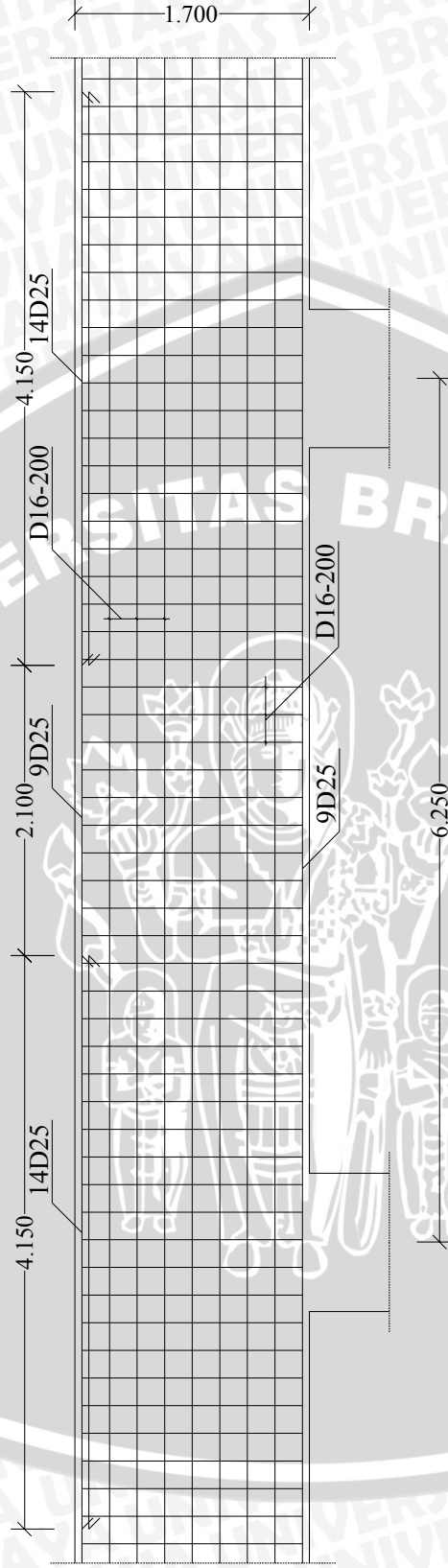
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\ &= \frac{1510,39 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 1700)} = 4271,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan pakai 9D25 = 4419,643 mm²

$$\rho \text{ pakai} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{4419,643}{800 \cdot 1530} = 0,00361$$

$$\rho_{\min} < \rho \text{ pakai} < \rho_{\max} \dots\dots\dots \text{OK}$$





Gambar 4.21 Penulangan Balok 80/170 dengan metode Penampang Kritis

Dimensi Balok Tinggi 60/160

$$\begin{aligned}b &= 600 \text{ mm} \\h &= 1600 \text{ mm} \\d &= 0,9 \cdot 1600 = 1440 \text{ mm} \\M_{u_{lap}} &= 1479,36 \text{ kNm} \\M_{u_{tump}} &= 2285,92 \text{ kNm} \\Gaya \text{ pada bentang geser} & \\V_u &= 1480,7 \text{ kN} \\M_u &= 1002,37 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 5250/1440 = 3,645 < 4 \dots\dots\dots \text{Balok Tinggi}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur Tumpuan

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\&= \frac{2285,92 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 1600)} = 6868,75 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan pakai 14D25 = 6875 mm²

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot 600}{f_y \cdot 600 + f_y} \\&= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81 \cdot 600}{390 \cdot 600 + 390} = 0,02809\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{6875}{600 \cdot 1440} = 0,00796$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max} \dots\dots\dots \text{OK}$



Menghitung Kuat Geser Nominal (V_n)

Untuk nilai perbandingan ln/d terletak antara 2 - 5 digunakan Persamaan 2-5

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{1}{18} \cdot (10 + ln/d) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{18} \cdot (10 + 3,645) \cdot \sqrt{35} \cdot 600 \cdot 1440 \\ &= 3875,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 3875,03 = 2906,27 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$2906,27 \text{ kN} > 1480,7 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kapasitas Tahanan Geser Beton (V_c)

Sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-6, 2-7, dan tidak boleh diambil lebih besar dari Persamaan 2-8

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35} \cdot 600 \cdot 1440 \\ &= 851,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_{u.d}}{M_u} \right] \frac{bw \cdot d}{7}$$

$$\frac{V_{u.d}}{M_u} = \frac{1480,7 \cdot 1,440}{1002,37} = 2,127 > 1 \dots\dots\dots \text{digunakan } \frac{V_{u.d}}{M_u} = 1$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left[\sqrt{35} + 120 \cdot 0,00796(1) \right] \frac{600 \cdot 1440}{7} \\ &= 848,07 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= 0,3 \sqrt{35} \cdot 600 \cdot 1440 \\ &= 1533,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 848,07 \\ &= 636,05 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\phi V_c < V_u$$

636,05 kN < 1480,7 kN.....Diperlukan Tulangan Geser

Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser
Kapasitas Tahanan Geser Tulangan Baja

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{1480,7}{0,75} - 848,07 = 1126,196 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diameter sengkang yang digunakan untuk tulangan geser arah vertikal (A_v) dan arah horizontal (A_{vh}) adalah sama D16 maka

$$\begin{aligned} A_v = A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jika jarak antar sengkang vertikal dan horizontal adalah sama maka

$$s = s_2$$

Luasan tulangan geser yang diperlukan dapat dihitung dengan Persamaan 2-9

$$V_s = \left[\frac{A_v \left(1 + \frac{h}{d}\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} + \frac{A_{vh} \left(11 - \frac{h}{d}\right)}{s_2 \left(\frac{12}{12}\right)} \right] f_y \cdot d$$

$$\begin{aligned} 1126,196 \text{ kN} &= \left[\frac{402,286 \left(1 + \frac{3,645}{12}\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} + \frac{402,286 \left(11 - \frac{3,645}{12}\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} \right] 390.1440 \\ s &= 200,6077 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser vertikal dan horizontal maksimum

$$d/3 = 1980/3 = 660 \text{ mm}$$

atau 500 mm

$$s \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Kontrol luas tulangan geser vertikal dan horizontal minimum

$$\begin{aligned} A_{vh} &= 0,0015 b_w \cdot s \\ &= 0,0015 \cdot 600 \cdot 200 \\ &= 180 \text{ mm}^2 < 402,286 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 0,0025 b_w \cdot s_2 \\ &= 0,0025 \cdot 600 \cdot 200 \\ &= 300 \text{ mm}^2 > 402,286 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$



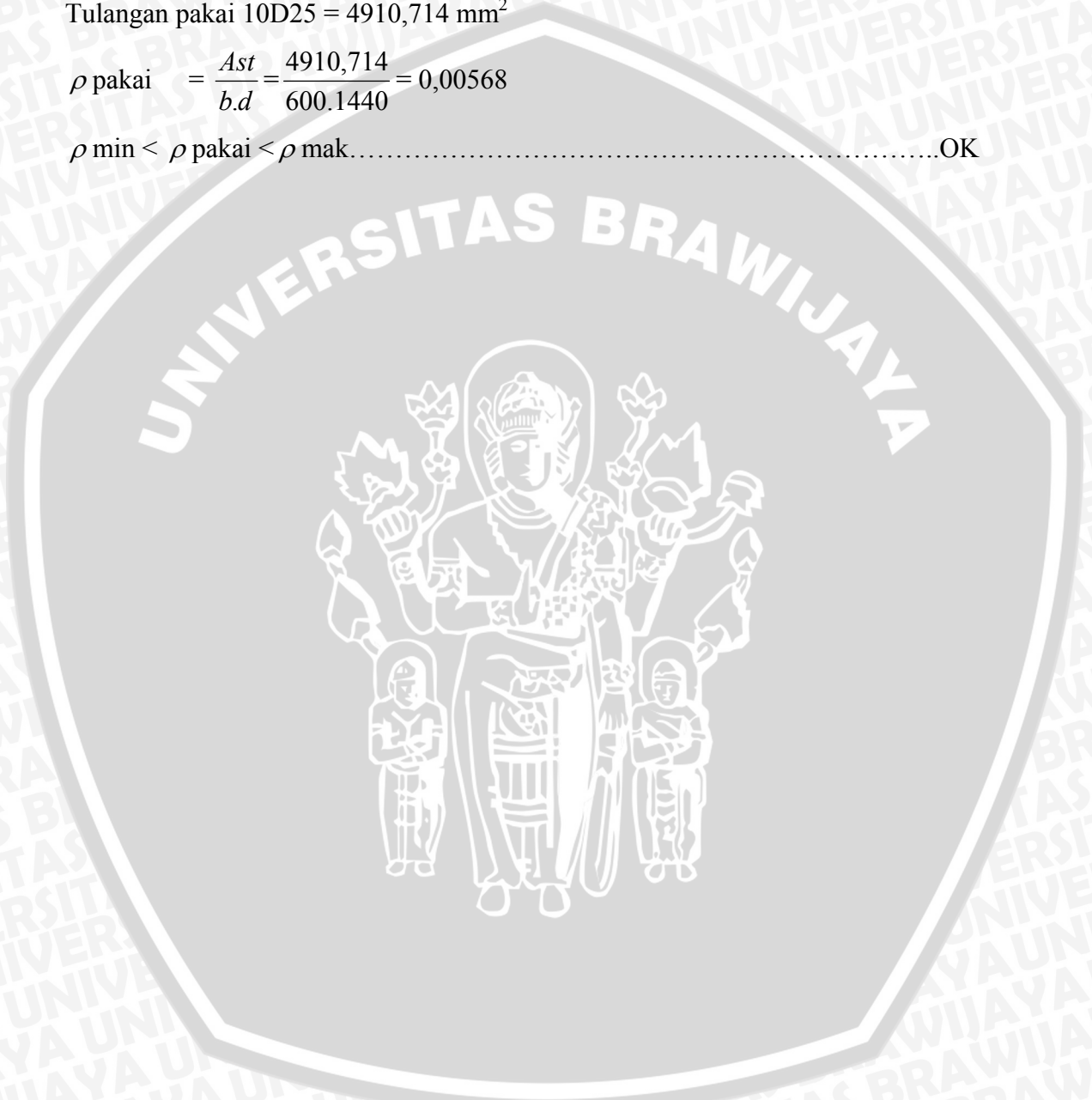
Menghitung Luas Tulangan Lentur Lapangan

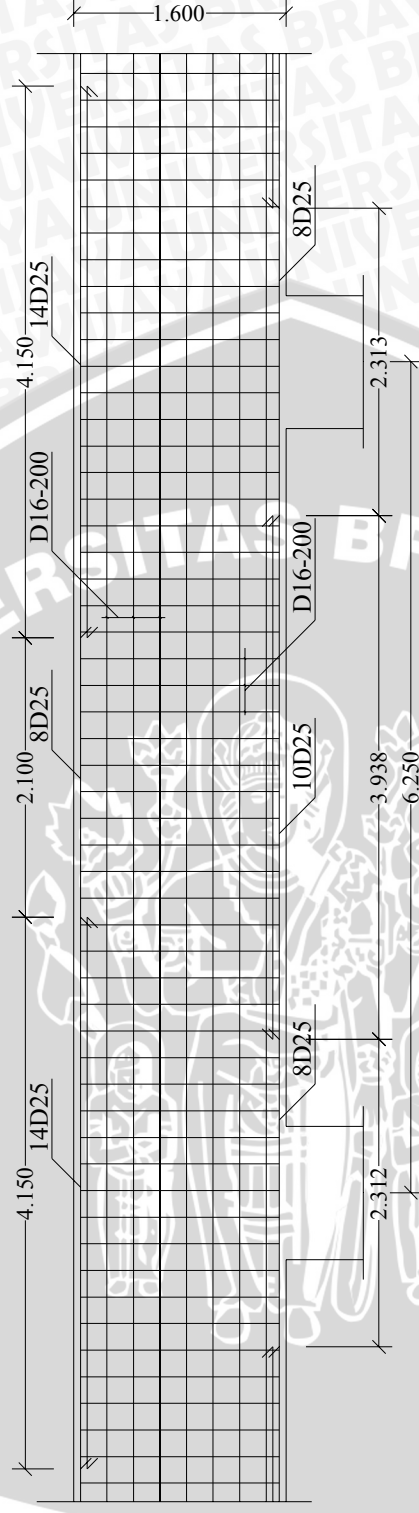
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{M_u}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\ &= \frac{1479,36 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 1600)} = 4445,192 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan pakai } 10D25 = 4910,714 \text{ mm}^2$$

$$\rho \text{ pakai} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{4910,714}{600 \cdot 1440} = 0,00568$$

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ pakai} < \rho \text{ mak} \dots\dots\dots \text{OK}$$





Gambar 4.22 Penulangan Balok 60/160 dengan metode Penampang Kritis

Dimensi Balok Tinggi 40/150

$$\begin{aligned}b &= 400 \text{ mm} \\h &= 1500 \text{ mm} \\d &= 0,9 \cdot 1500 = 1350 \text{ mm} \\Mu_{lap} &= 1451,45 \text{ kNm} \\Mu_{tump} &= 2236,52 \text{ kNm} \\Gaya \text{ pada bentang geser} & \\Vu &= 1449,03 \text{ kN} \\Mu &= 981,07 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 5250/1350 = 3,888 < 4 \dots\dots\dots \text{Balok Tinggi}$$

Menghitung Luas Tulangan Lentur Tumpuan

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{Mu}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\&= \frac{2236,52 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 1500)} = 7168,33 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan pakai 15D25 = 7366,071 mm²

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\begin{aligned}\rho_{mak} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\&= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,81}{390} \cdot \frac{600}{600 + 390} = 0,02809\end{aligned}$$

$$\rho_{pakai} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{7366,071}{400 \cdot 1350} = 0,01364$$

$\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{mak} \dots\dots\dots \text{OK}$



Menghitung Kuat Geser Nominal (V_n)

Untuk nilai perbandingan ln/d terletak antara 2 - 5 digunakan Persamaan 2-5

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{1}{18} \cdot (10 + ln/d) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{18} \cdot (10 + 3,888) \cdot \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 1350 \\ &= 2465,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 2465,03 = 1848,77 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$1848,77 \text{ kN} > 1499,03 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Menghitung Kapasitas Tahanan Geser Beton (V_c)

Sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-6, 2-7, dan tidak boleh diambil lebih besar dari Persamaan 2-8

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 1350 \\ &= 532,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left[\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_{u.d}}{Mu} \right] \frac{bw \cdot d}{7}$$

$$\frac{V_{u.d}}{Mu} = \frac{1449,03 \cdot 1350}{981,07} = 1,9939 > 1 \dots\dots\dots \text{digunakan } \frac{V_{u.d}}{Mu} = 1$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left[\sqrt{35} + 120 \cdot 0,01364(1) \right] \frac{400 \cdot 1350}{7} \\ &= 582,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,3 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \\ &= 0,3 \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 1350 \\ &= 958,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 532,45 \\ &= 399,34 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$\phi V_c < V_u$$

$$399,34 \text{ kN} < 1449,03 \text{ kN} \dots \dots \dots \text{Diperlukan Tulangan Geser}$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser
Kapasitas Tahanan Geser Tulangan Baja

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{1449,03}{0,75} - 532,45 = 1399,593 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diameter sengkang yang digunakan untuk tulangan geser arah vertikal (A_v) dan arah horizontal (A_{vh}) adalah sama D16 maka

$$\begin{aligned} A_v = A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jika jarak antar sengkang vertikal dan horizontal adalah sama maka

$$s = s_2$$

Luasan tulangan geser yang diperlukan dapat dihitung dengan Persamaan 2-9

$$V_s = \left[\frac{A_v \left(1 + \frac{l_n}{d}\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} + \frac{A_{vh} \left(\frac{11 - \frac{l_n}{d}}{12}\right)}{s_2 \left(\frac{12}{12}\right)} \right] f_y \cdot d$$

$$\begin{aligned} 1399,593 \text{ kN} &= \left[\frac{402,286 \left(1 + \frac{3,888}{12}\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} + \frac{402,286 \left(\frac{11 - 3,888}{12}\right)}{s \left(\frac{12}{12}\right)} \right] 390.1350 \\ s &= 151,3322 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser vertikal dan horizontal maksimum

$$d/3 = 1980/3 = 660 \text{ mm}$$

atau 500 mm

$$s \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Kontrol luas tulangan geser vertikal dan horizontal minimum

$$\begin{aligned} A_{vh} &= 0,0015 b_w \cdot s \\ &= 0,0015 \cdot 400 \cdot 150 \\ &= 90 \text{ mm}^2 < 402,286 \text{ mm}^2 \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 0,0025 b_w \cdot s_2 \\ &= 0,0025 \cdot 400 \cdot 150 \\ &= 150 \text{ mm}^2 > 402,286 \text{ mm}^2 \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

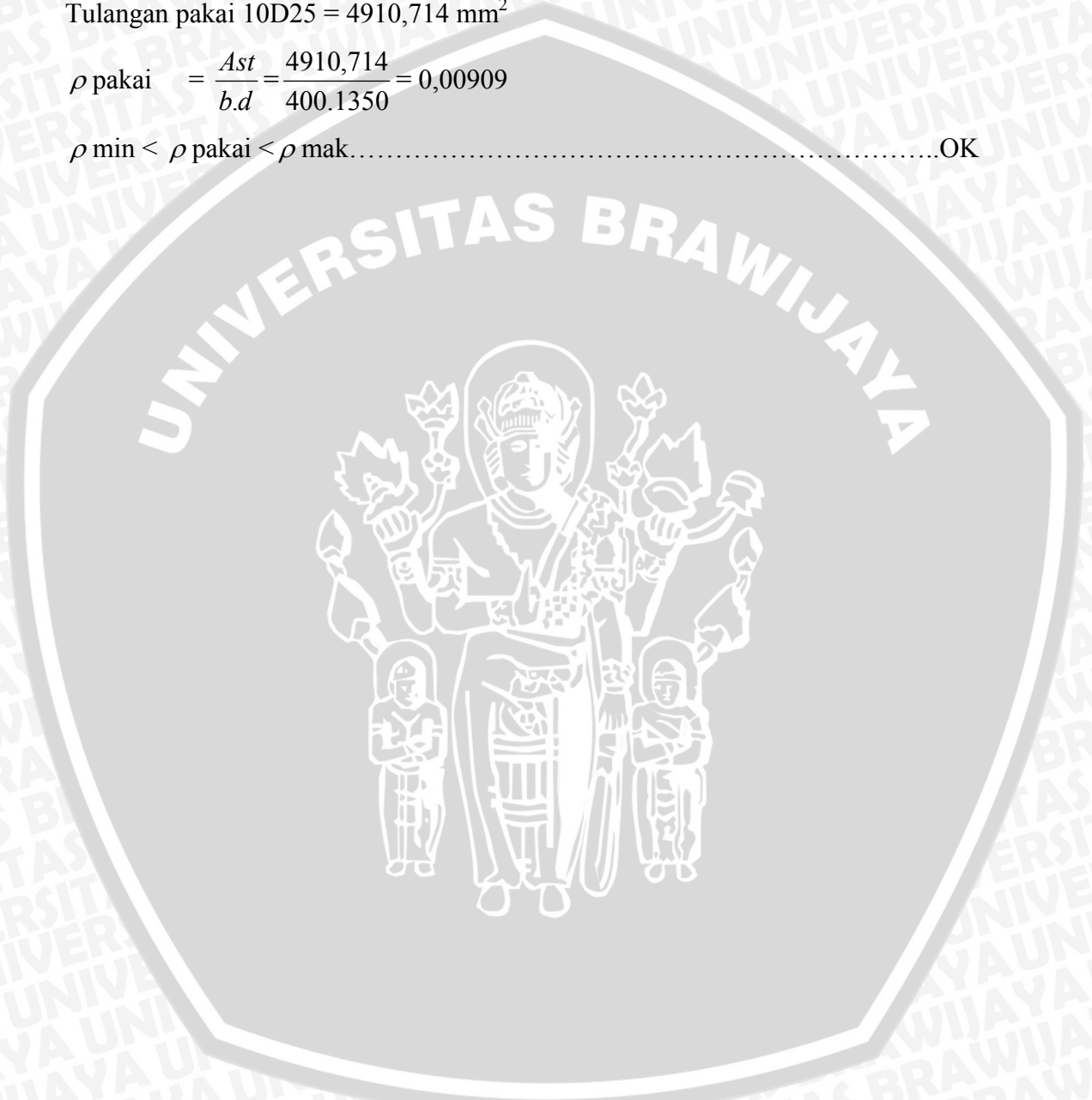
Menghitung Luas Tulangan Lentur Lapangan

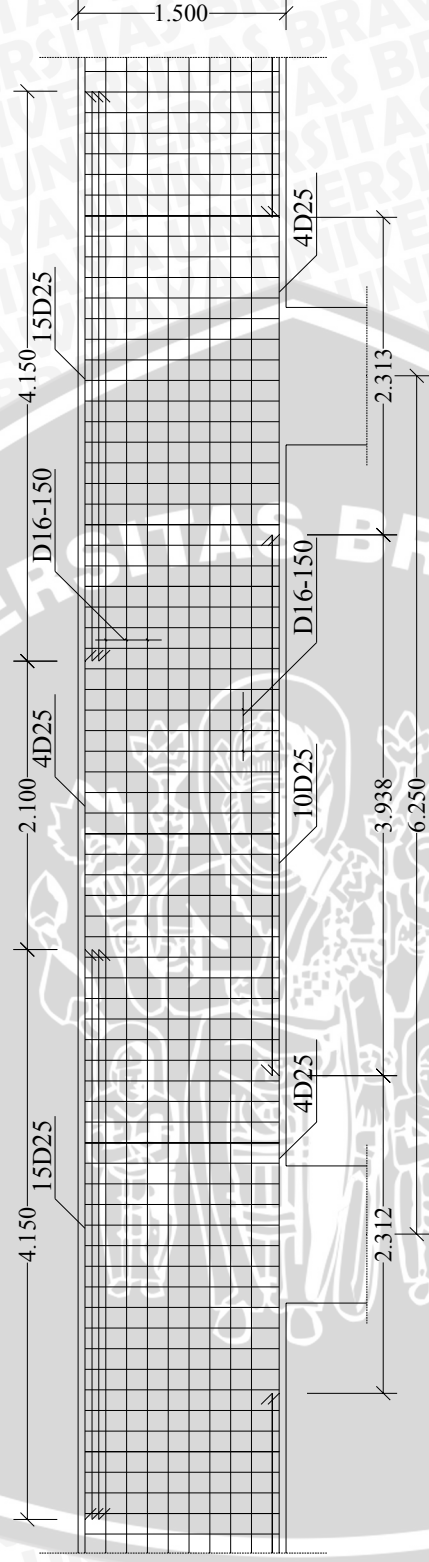
$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{Mu}{\phi f_y \cdot \frac{2}{3} h} \\ &= \frac{1451,45 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 390 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 1500)} = 4652,083 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tulangan pakai } 10D25 = 4910,714 \text{ mm}^2$$

$$\rho \text{ pakai} = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{4910,714}{400 \cdot 1350} = 0,00909$$

$$\rho \text{ min} < \rho \text{ pakai} < \rho \text{ mak} \dots \dots \dots \text{OK}$$





Gambar 4.23 Penulangan Balok 40/150 dengan metode Penampang Kritis

4.5.4 Metode *strut and tie* model pada balok tinggi bentang 6,25 m

$$\begin{aligned}
 L &= 6250 \text{ mm} && = 246,0623 \text{ in} \\
 f_y &= 390 \text{ Mpa} && = 56,565 \text{ ksi} \\
 f_c' &= 35 \text{ Mpa} && = 5,0764 \text{ ksi} \\
 l_n &= L - l_b \\
 &= 246,0623 - 39,36996 && = 206,6923 \text{ mm} \\
 \phi &= 0,75
 \end{aligned}$$

4.5.4.1 Perhitungan *strut and tie* model dengan bentuk rangka miring

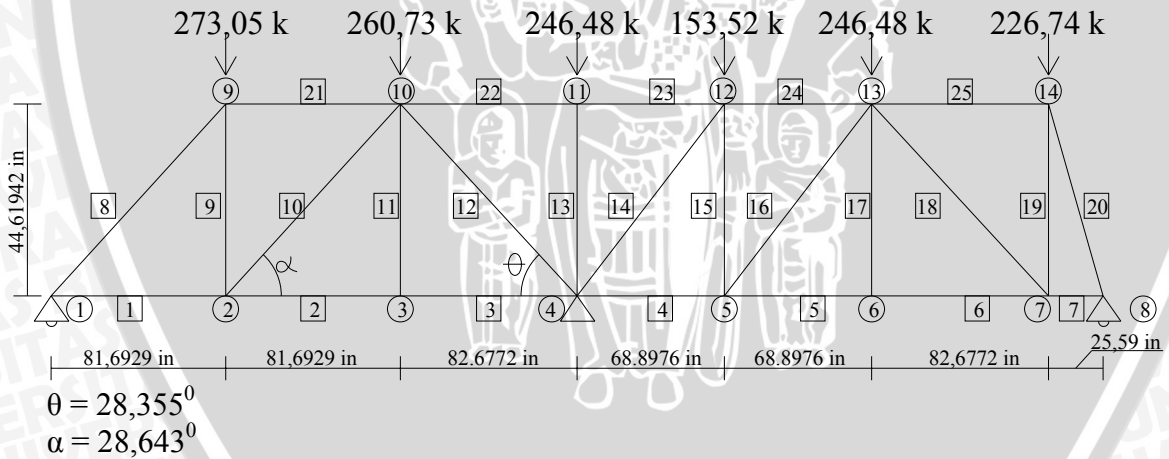
Dimensi Balok Tinggi 80/170

$$\begin{aligned}
 b &= 800 \text{ mm} && = 31,49597 \text{ in} \\
 h &= 1700 \text{ mm} && = 66,92893 \text{ in} \\
 d &= 0,9 \cdot 66,92893 && = 60,236 \text{ in}
 \end{aligned}$$

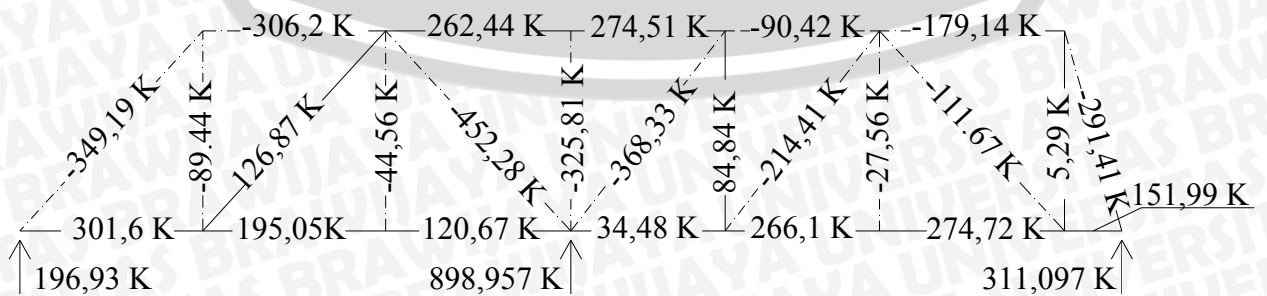
Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 206,6923 / 60,236 = 3,43 < 4 \dots \dots \dots \text{Balok Tinggi}$$

$$z = 2/3 \cdot 66,92893 = 44,61942 \text{ in}$$



Gambar 4.24 Pembebanan balok tinggi dimensi 80/170



Gambar 4.25 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 80/170

Luas tulangan untuk *tie*

Dalam perhitungan tulangan dipilih 4 *tie* untuk mewakili tulangan tumpuan, tulangan lapangan, tulangan geser vertikal, dan tulangan geser horisontal. *Tie* 23 = 274,51 kip untuk mewakili tulangan tumpuan, *tie* 1 = 301,6 kip untuk mewakili tulangan lapangan, *tie* 15 = 84,84 kip untuk mewakili tulangan geser vertikal dan *tie* 10 = 126,87 kip untuk mewakili tulangan geser horisontal. Tulangan yang diperlukan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-13

Tulangan lentur minimum yang disyaratkan ACI 318R-02 Code 10.5

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} b.d \\ &= \frac{3\sqrt{5076,4}}{56565} 31,49597.60,236 \\ &= 7,169 \text{ in}^2 (4625,19 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan (*tie* 23)

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{F_{23}}{\phi \cdot f_y} = \frac{274,51}{0,75 \cdot 56,565} \\ &= 6,4707 \text{ in}^2 (4174,6 \text{ mm}^2) \\ &\text{Digunakan tulangan } 10D25 = 4910,714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan lapangan (*tie* 1)

$$\begin{aligned} A_{sl} &= \frac{F_1}{\phi \cdot f_y} = \frac{301,6}{0,75 \cdot 56,565} \\ &= 7,109 \text{ in}^2 (4586,588 \text{ mm}^2) \\ &\text{Digunakan tulangan } 10D25 = 4910,714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan geser vertikal (*tie* 15)

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_{15}}{\phi \cdot A_v \cdot f_y} = \frac{84,84}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565} \\ &= 3,207 \end{aligned}$$

$$s < \frac{68,8976}{3,207}$$

$$s = 21,48 \text{ in (545,61 mm)}$$

Tulangan geser horisontal (*tie* 10)

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$F_{10} \cdot \cos \alpha = 111,34 \text{ kip}$$

$$n = \frac{F_{10} \cos \alpha}{\phi \cdot A_v \cdot f_y} = \frac{111,34}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565}$$

$$= 4,2093$$

$$s < \frac{44,6194}{4,2093}$$

$$s = 10,60 \text{ in (269,247 mm)}$$

Kontrol kapasitas *nodal*

Kuat tekan efektif untuk *nodal* 4 ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-15

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c'$$

Untuk *nodal* 4 jenis *nodal* adalah *compression-compression-tension* (CCT), sehingga besarnya $\beta_n = 0,8$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *nodal* 4 adalah

$$\begin{aligned} f_{cu}(4) &= 0,85 \cdot 0,8 \cdot 5,0764 \\ &= 3,452 \text{ ksi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi f_{cu}(4) &= 0,75 \cdot 3,452 \\ &= 2,589 \text{ ksi} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan pada tumpuan *nodal* 1 adalah

$$f(\text{base}) = \frac{R}{b \cdot l_b} = \frac{898,957}{31,49597 \cdot 39,36996}$$

$$= 0,725 \text{ ksi}$$

$$f(\text{base}) = 0,725 \text{ ksi} < 2,589 \text{ ksi} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Kontrol kapasitas *strut*

Kuat tekan nominal suatu *strut* ditentukan dengan Persamaan 2-10. Diambil gaya *strut* terbesar yaitu pada batang 12 sebesar 452,28 kip

Menghitung lebar dari *tie* (w_t) batang 1

$$w_t(3) = \frac{F_3}{\phi \cdot b \cdot f_{cu}(4)} = \frac{120,67}{0,75 \cdot 31,49597 \cdot 3,452}$$

$$= 1,479 \text{ in} \approx 1,5 \text{ in}$$

atau

$$\begin{aligned}w_t(3) &= D_{\text{tulangan}} + D_{\text{sengkang}} + (2 \cdot \text{selimut beton}) \\ &= 25 + 16 + (2 \cdot 50) \\ &= 141 \text{ mm (5,55 in)}\end{aligned}$$

Kuat tekan efektif untuk *strut* 12

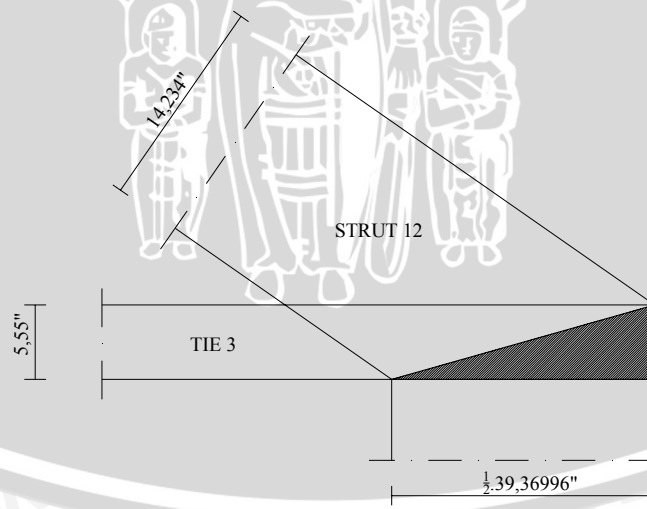
Dengan asumsi bahwa *strut* 12 akan diperkuat dengan tulangan maka besarnya $\beta_s = 0,75$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *strut* 12 berdasarkan Persamaan 2-11 adalah

$$\begin{aligned}f_{cu}(12) &= 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \\ &= 0,85 \cdot 0,75 \cdot 5,0764 \\ &= 3,2362 \text{ ksi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}ws(12) &= w_t(3) \cdot \cos\theta + l_b \cdot \sin\theta \\ &= 5,55 \cdot \cos 28,355^\circ + (\frac{1}{2} \cdot 39,36996) \cdot \sin 28,355^\circ \\ &= 4,885 + 9,349 \\ &= 14,234 \text{ in}\end{aligned}$$

Kapasitas *strut* 12

$$\begin{aligned}\phi F_{ns}(12) &= \phi \cdot f_{cu} \cdot ws(12) \cdot b \\ &= 0,75 \cdot 3,2362 \cdot 14,234 \cdot 31,49597 \\ &= 1088,124 \text{ kip} > 452,28 \text{ kip}\end{aligned}$$



Gambar 4.26 *Strut* 12 Balok tinggi dimensi 80/170

Luas tulangan minimum *strut*

Tulangan minimum pada *strut* 12 untuk memberikan perkuatan terhadap retak-retak sepanjang sumbu *strut*. Luasan tulangan yang minimum yang diperlukan didapat dari Persamaan 2-12

Jarak tulangan geser vertikal dan horisontal maksimum berdasarkan ACI 318-2002 Code 11.8.4 dan 11.8.5, sebesar :

$$d/5 = 60,236 \text{ in} / 5 = 12,0472 \text{ in} (305,99 \text{ mm})$$

$$12 \text{ in} = 304,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \gamma_1(\text{vertikal}) &= 90^\circ - 28,355^\circ \\ &= 61,645^\circ \end{aligned}$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_v = \frac{A_v}{s \cdot b} > 0,0025$$

$$\frac{0,6235}{s \cdot 31,49597} = 0,00258$$

$$S = 194,89 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_v(\sin \gamma_1) &= 0,00258 \cdot 0,88 \\ &= 0,00227 \end{aligned}$$

$$\gamma_2(\text{horisontal}) = 28,355^\circ$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned} A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_h = \frac{A_{vh}}{s \cdot b} > 0,0015$$

$$\frac{0,6235}{s \cdot 31,49597} = 0,00156$$

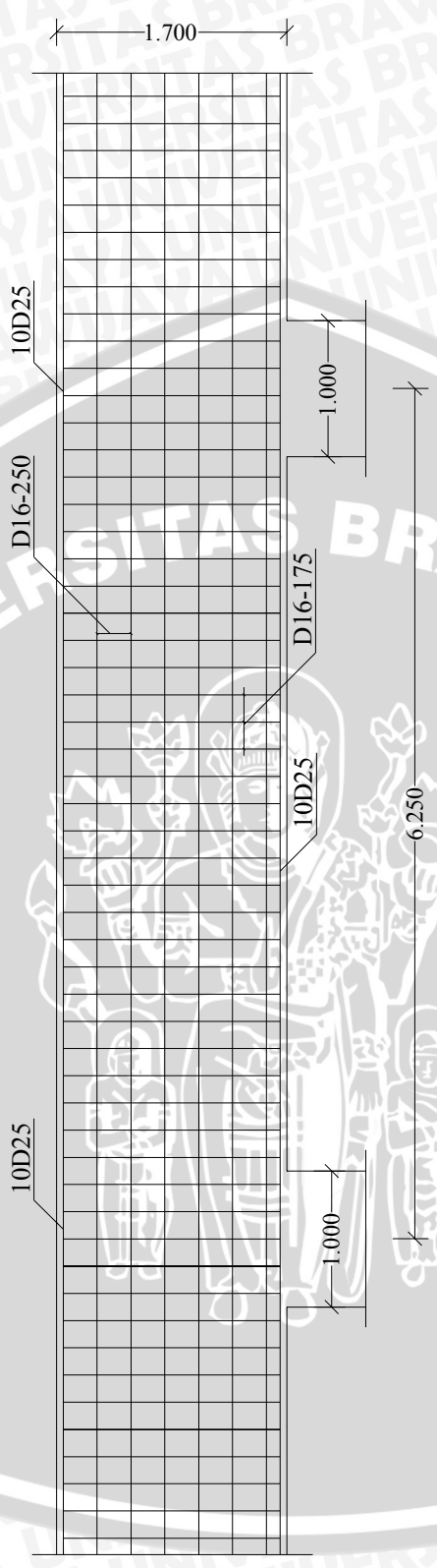
$$S = 322,32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_h(\sin \gamma_2) &= 0,00156 \cdot 0,4749 \\ &= 0,000741 \end{aligned}$$

$$\Sigma \rho_i(\sin \gamma_i) = (0,00227 + 0,000741)$$

$$= 0,00301 > 0,003 \dots \dots \dots \text{OK}$$





Gambar 4.27 Penulangan Balok 80/170 dengan *Sirut and Tie Model*

Dimensi Balok Tinggi 60/160

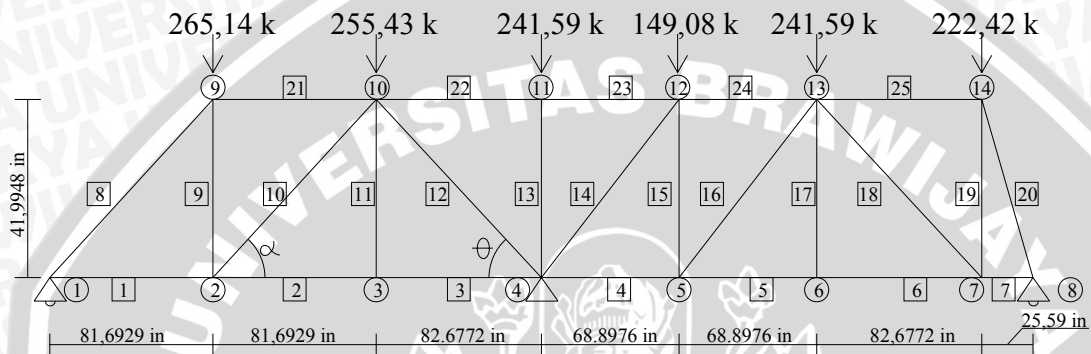
$$\begin{aligned}
 b &= 600 \text{ mm} &= 23,62198 \text{ in} \\
 h &= 1600 \text{ mm} &= 62,99194 \text{ in} \\
 d &= 0,9 \cdot 62,99194 &= 56,692746 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 206,6923 / 56,692746 = 3,645 < 4 \dots \dots \dots \text{Balok}$$

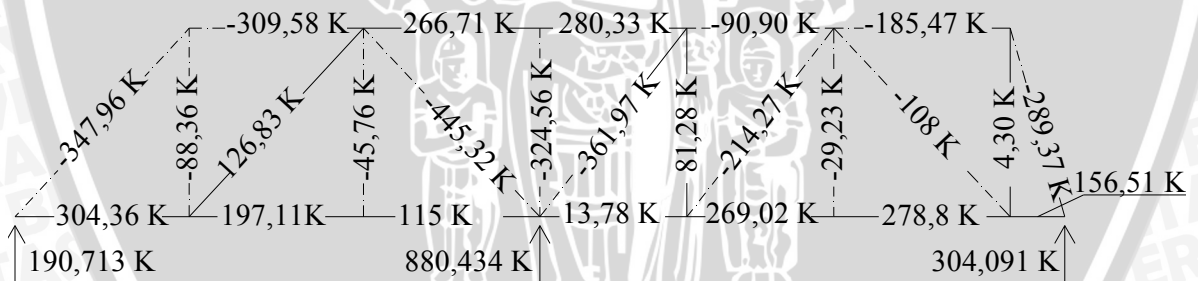
Tinggi

$$z = 2/3 \cdot 62,99194 = 41,9948 \text{ in}$$



$$\begin{aligned}
 \theta &= 26,928^\circ \\
 \alpha &= 27,2057^\circ
 \end{aligned}$$

Gambar 4.28 Pembebanan balok tinggi dimensi 60/160



Gambar 4.29 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 60/160

Luas tulangan untuk tie

Dalam perhitungan tulangan dipilih 4 tie untuk mewakili tulangan tumpuan, tulangan lapangan, tulangan geser vertikal, dan tulangan geser horisontal. Tie 23 = 280,33 kip untuk mewakili tulangan tumpuan, tie 1 = 304,36 kip untuk mewakili tulangan lapangan, tie 15 = 81,28 kip untuk mewakili tulangan geser vertikal dan tie 10 = 126,83 kip untuk mewakili tulangan geser horisontal. Tulangan yang diperlukan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-13



Tulangan lentur minimum yang disyaratkan ACI 318R-02 Code 10.5

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} b.d \\ &= \frac{3\sqrt{5076,4}}{56565} 23,62198.56,692746 \\ &= 5,06 \text{ in}^2 (3264,85 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan (*tie 23*)

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{F_{23}}{\phi.f_y} = \frac{280,33}{0,75.56,565} \\ &= 6,6078 \text{ in}^2 (4263,12 \text{ mm}^2) \\ &\text{Digunakan tulangan 9D25} = 4419,643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan lapangan (*tie 1*)

$$\begin{aligned} A_{sl} &= \frac{F_1}{\phi.f_y} = \frac{304,36}{0,75.56,565} \\ &= 7,1742 \text{ in}^2 (4628,56 \text{ mm}^2) < A_{smin} \\ &\text{Digunakan tulangan 10D25} = 4910,714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan geser vertikal (*tie 15*)

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \\ n &= \frac{F_{15}}{\phi.A_v.f_y} = \frac{81,28}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565} \\ &= 3,072 \\ s &< \frac{68,8976}{3,072} \\ s &= 22,42 \text{ in} (569,5 \text{ mm}) \end{aligned}$$

Tulangan geser horisontal (*tie 10*)

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \\ F_{10} \cdot \cos \alpha &= 112,7989 \text{ kip} \\ n &= \frac{F_{10} \cos \alpha}{\phi.A_v.f_y} = \frac{112,7989}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565} \\ &= 4,2644 \end{aligned}$$

$$s < \frac{41,9948}{4,2644}$$

$$s = 9,847 \text{ in (250,13 mm)}$$

Kontrol kapasitas *nodal*

Kuat tekan efektif untuk *nodal* 4 ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-15

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c'$$

Untuk *nodal* 4 jenis *nodal* adalah compression-compression-tension (CCT), sehingga besarnya $\beta_n = 0,8$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *nodal* 4 adalah

$$f_{cu}(4) = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 5,0764$$

$$= 3,452 \text{ ksi}$$

$$\phi f_{cu}(4) = 0,75 \cdot 3,452$$

$$= 2,589 \text{ ksi}$$

Kontrol tegangan pada tumpuan *nodal* 4 adalah

$$f(\text{base}) = \frac{R}{b \cdot l_b} = \frac{880,434}{23,62198 \cdot 39,36996}$$

$$= 0,9467 \text{ ksi}$$

$$f(\text{base}) = 0,9467 \text{ ksi} < 2,589 \text{ ksi} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Kontrol kapasitas *strut*

Kuat tekan nominal suatu *strut* ditentukan dengan Persamaan 2-10. Diambil gaya *strut* terbesar yaitu pada batang 12 sebesar 445,32 kip

Menghitung lebar dari *tie* (w_t) batang 3

$$w_t(3) = \frac{F_3}{\phi \cdot b \cdot f_{cu}(4)} = \frac{115}{0,75 \cdot 23,62198 \cdot 3,452}$$

$$= 1,88 \text{ in} \approx 2 \text{ in}$$

atau

$$w_t(3) = D_{\text{tulangan}} + D_{\text{sengkang}} + (2 \cdot \text{selimut beton})$$

$$= 25 + 16 + (2 \cdot 50)$$

$$= 141 \text{ mm (5,55 in)}$$

Kuat tekan efektif untuk *strut* 12

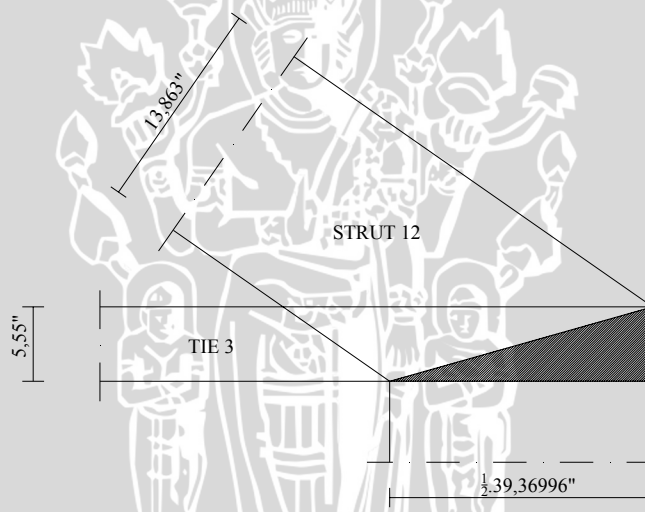
Dengan asumsi bahwa *strut* 12 akan diperkuat dengan tulangan maka besarnya $\beta_s = 0,75$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *strut* 12 berdasarkan Persamaan 2-11 adalah

$$\begin{aligned}f_{cu}(12) &= 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c' \\ &= 0,85 \cdot 0,75 \cdot 5,0764 \\ &= 3,2362 \text{ ksi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}ws(12) &= w_t(3) \cdot \cos\theta + l_b \cdot \sin\theta \\ &= 5,55 \cdot \cos 26,928^\circ + (1/2 \cdot 39,36996) \cdot \sin 26,928^\circ \\ &= 4,948 + 8,9147 \\ &= 13,863 \text{ in}\end{aligned}$$

Kapasitas *strut* 12

$$\begin{aligned}\phi F_{ns}(12) &= \phi \cdot f_{cu} \cdot ws(12) \cdot b \\ &= 0,75 \cdot 3,2362 \cdot 13,863 \cdot 23,62198 \\ &= 794,82 \text{ kip} > 445,82 \text{ kip}\end{aligned}$$



Gambar 4.30 *Strut* 12 Balok tinggi dimensi 60/160

Luas tulangan minimum *strut*

Tulangan minimum pada *strut* 12 untuk memberikan perkuatan terhadap retak-retak sepanjang sumbu *strut*. Luasan tulangan yang minimum yang diperlukan didapat dari Persamaan 2-12

Jarak tulangan geser vertikal dan horisontal maksimum berdasarkan ACI 318-2002

Code 11.8.4 dan 11.8.5, sebesar :

$$d/5 = 56,692746 \text{ in} / 5 = 11,3385 \text{ in} (287,99 \text{ mm})$$

$$12 \text{ in} = 304,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\gamma_1(\text{vertikal}) &= 90^\circ - 26,928^\circ \\ &= 63,072^\circ\end{aligned}$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned}A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2\end{aligned}$$

$$\rho_v = \frac{A_v}{s \cdot b} > 0,0025$$

$$\frac{0,6235}{s \cdot 23,62198} = 0,00258$$

$$S = 259,86 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\rho_v(\sin \gamma_1) &= 0,00258 \cdot 0,8915 \\ &= 0,0023\end{aligned}$$

$$\gamma_2(\text{horisontal}) = 26,928^\circ$$

Dicoba sengkang D16 d

$$\begin{aligned}A_{vh} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2\end{aligned}$$

$$\rho_h = \frac{A_{vh}}{s \cdot b} > 0,0015$$

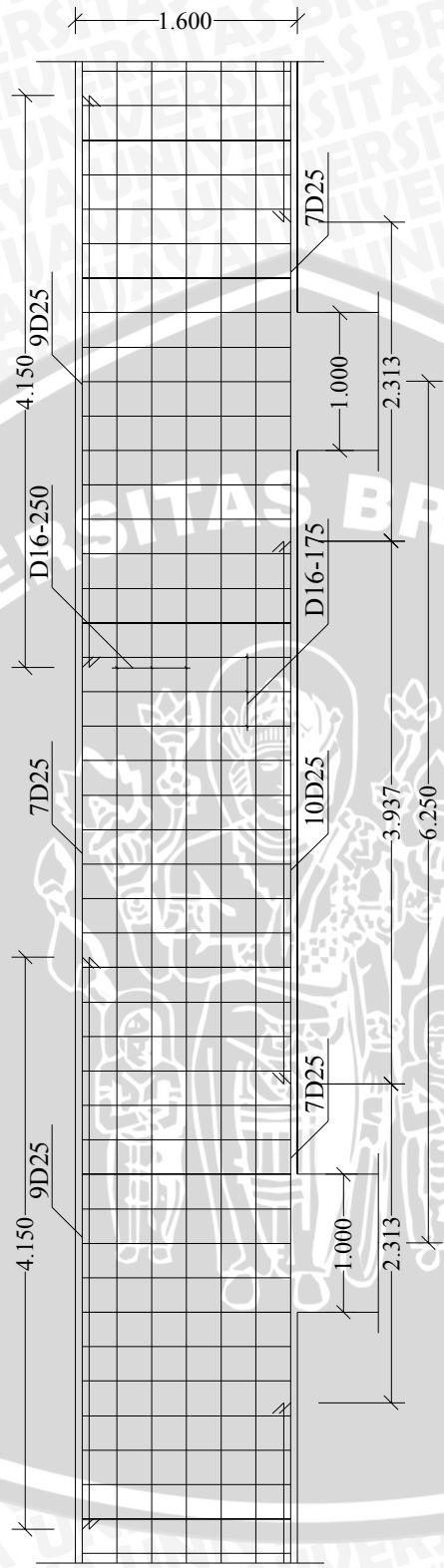
$$\frac{0,6235}{s \cdot 23,62198} = 0,00156$$

$$S = 429,76 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\rho_h(\sin \gamma_2) &= 0,00156 \cdot 0,4528 \\ &= 0,000706\end{aligned}$$

$$\Sigma \rho_i(\sin \gamma_i) = (0,0023 + 0,000706)$$

$$= 0,00301 > 0,003 \dots \dots \dots \text{OK}$$



Gambar 4.31 Penulangan Balok 60/160 dengan Strut and Tie Model

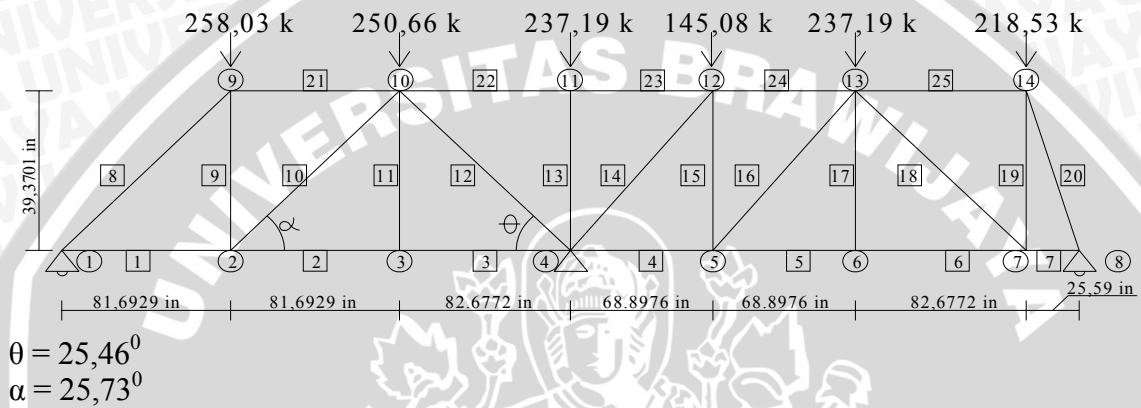
Dimensi Balok Tinggi 40/150

$$\begin{aligned}
 b &= 400 \text{ mm} &= 15,74798 \text{ in} \\
 h &= 1500 \text{ mm} &= 59,05494 \text{ in} \\
 d &= 0,9 \cdot 59,05494 &= 53,149446 \text{ in}
 \end{aligned}$$

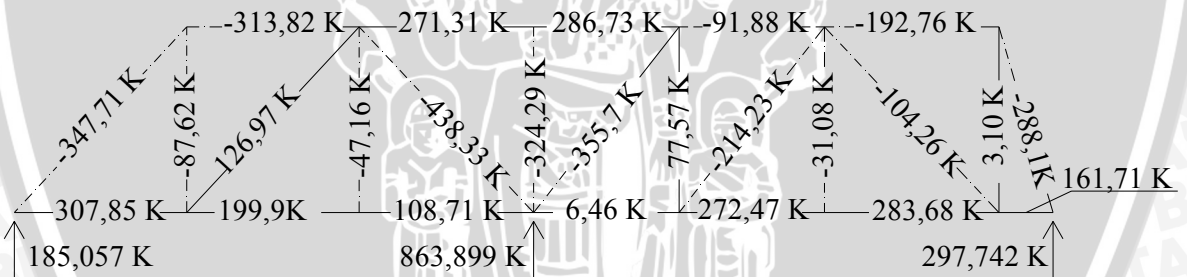
Kontrol syarat balok tinggi ($l_n/d \leq 4$)

$$l_n/d = 206,6923 / 53,149446 = 3,888 < 4 \dots \dots \dots \text{Balok Tinggi}$$

$$z = 2/3 \cdot 59,05494 = 39,3701 \text{ in}$$



Gambar 4.32 Pembebanan balok tinggi dimensi 40/150



Gambar 4.33 Gaya batang dan reaksi tumpuan balok tinggi dimensi 40/150

Luas tulangan untuk tie

Dalam perhitungan tulangan dipilih 4 tie untuk mewakili tulangan tumpuan, tulangan lapangan, tulangan geser vertikal, dan tulangan geser horisontal. Tie 23 = 286,73 kip untuk mewakili tulangan tumpuan, tie 1 = 307,85 kip untuk mewakili tulangan lapangan, tie 15 = 77,57 kip untuk mewakili tulangan geser vertikal dan tie 10 = 126,97 kip untuk mewakili tulangan geser horisontal. Tulangan yang diperlukan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-13

Tulangan lentur minimum yang disyaratkan ACI 318R-02 Code 10.5

$$\begin{aligned} \text{Asmin} &= \frac{3\sqrt{fc'}}{fy} b.d \\ &= \frac{3\sqrt{5076,4}}{56565} 15,74798.53,149446 \\ &= 3,1628 \text{ in}^2 (2040,527 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan (*tie 23*)

$$\begin{aligned} \text{Ast} &= \frac{F_{23}}{\phi.fy} = \frac{286,73}{0,75.56,565} \\ &= 6,758 \text{ in}^2 (4360,45 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 9D25 = 4419,643 mm²

Tulangan lapangan (*tie 1*)

$$\begin{aligned} \text{Asl} &= \frac{F_1}{\phi.fy} = \frac{307,85}{0,75.56,565} \\ &= 7,256 \text{ in}^2 (4681,63 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 10D25 = 4910,714 mm²

Tulangan geser vertikal (*tie 15*)

$$\begin{aligned} \text{Av} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_{15}}{\phi.Av.fy} = \frac{77,57}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565} \\ &= 2,9325 \end{aligned}$$

$$s < \frac{68,8976}{2,9235}$$

$$s = 23,493 \text{ in (598,597 mm)}$$

Tulangan geser horisontal (*tie 10*)

$$\begin{aligned} \text{Av} &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$F_{10} \cdot \cos \alpha = 114,38 \text{ kip}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_{10} \cos \alpha}{\phi.Av.fy} = \frac{114,38}{0,75 \cdot 0,6235 \cdot 56,565} \\ &= 4,324 \end{aligned}$$

$$s < \frac{39,3701}{4,324}$$

$$s = 9,1046 \text{ in (231,256 mm)}$$

Kontrol kapasitas *nodal*

Kuat tekan efektif untuk *nodal* 4 ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2-15

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n \cdot f_c'$$

Untuk *nodal* 4 jenis *nodal* adalah compression-compression-tension (CCT), sehingga besarnya $\beta_n = 0,8$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *nodal* 4 adalah

$$f_{cu}(4) = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 5,0764$$

$$= 3,452 \text{ ksi}$$

$$\phi f_{cu}(4) = 0,75 \cdot 3,452$$

$$= 2,589 \text{ ksi}$$

Kontrol tegangan pada tumpuan *nodal* 1 adalah

$$f(\text{base}) = \frac{R}{b \cdot l_b} = \frac{863,899}{15,74798 \cdot 39,36996}$$

$$= 1,3934 \text{ ksi}$$

$$f(\text{base}) = 1,3934 \text{ ksi} < 2,589 \text{ ksi} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Kontrol kapasitas *strut*

Kuat tekan nominal suatu *strut* ditentukan dengan Persamaan 2-10. Diambil gaya *strut* terbesar yaitu pada batang 12 sebesar 438,33 kip

Menghitung lebar dari *tie* (w_t) batang 3

$$w_t(3) = \frac{F_3}{\phi \cdot b \cdot f_{cu}(4)} = \frac{108,71}{0,75 \cdot 15,74798 \cdot 3,452}$$

$$= 2,66 \text{ in} \approx 2,7 \text{ in}$$

atau

$$w_t(3) = D_{\text{tulangan}} + D_{\text{sengkang}} + (2 \cdot \text{selimut beton})$$

$$= 25 + 16 + (2 \cdot 50)$$

$$= 141 \text{ mm} (5,55 \text{ in})$$

Kuat tekan efektif untuk *strut* 12

Dengan asumsi bahwa *strut* 12 akan diperkuat dengan tulangan maka besarnya $\beta_s = 0,75$. Sehingga kuat tekan efektif untuk *strut* 12 berdasarkan Persamaan 2-11 adalah

$$f_{cu}(12) = 0,85 \cdot \beta_s \cdot f_c'$$

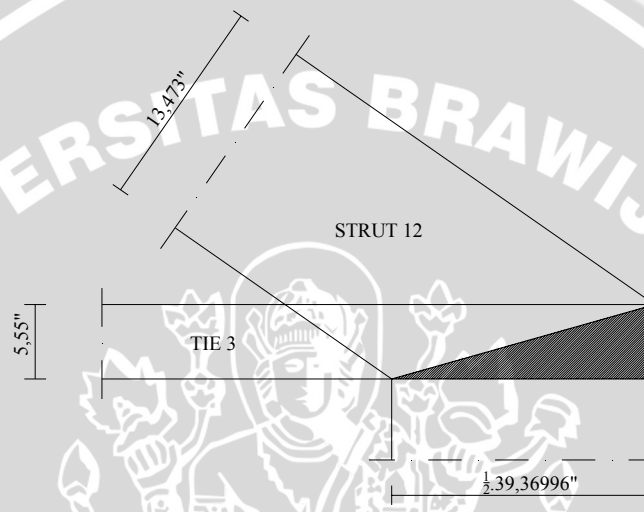
$$= 0,85 \cdot 0,75 \cdot 5,0764$$

$$= 3,2362 \text{ ksi}$$

$$\begin{aligned}
 ws(12) &= w_t(3) \cdot \cos\theta + l_b \cdot \sin\theta \\
 &= 5,55 \cdot \cos 25,46^\circ + (1/2 \cdot 39,36996) \cdot \sin 25,46^\circ \\
 &= 5,011 + 8,462 \\
 &= 13,473 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Kapasitas *strut* 12

$$\begin{aligned}
 \phi F_{ns}(12) &= \phi \cdot f_{cu} \cdot ws(12) \cdot b \\
 &= 0,75 \cdot 3,2362 \cdot 13,473 \cdot 15,74798 \\
 &= 514,98 \text{ kip} > 438,33 \text{ kip}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.34 *Strut* 12 balok tinggi dimensi 40/150

Luas tulangan minimum *strut*

Tulangan minimum pada *strut* 12 untuk memberikan kekuatan terhadap retak-retak sepanjang sumbu *strut*. Luasan tulangan yang minimum yang diperlukan didapat dari Persamaan 2-12

Jarak tulangan geser vertikal dan horisontal maksimum berdasarkan ACI 318-2002 Code 11.8.4 dan 11.8.5, sebesar :

$$d/5 = 53,149446 \text{ in} / 5 = 10,629 \text{ in} (269,999 \text{ mm})$$

$$12 \text{ in} = 304,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_1(\text{vertikal}) &= 90^\circ - 25,46^\circ \\
 &= 64,54^\circ
 \end{aligned}$$

Dicoba sengkang D16

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\
 &= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

$$\rho v = \frac{Av}{s.b} > 0,0025$$

$$\frac{0,6235}{s \cdot 15,74798} = 0,00258$$

$$S = 389,79 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho v (\sin \gamma_1) &= 0,00258 \cdot 0,9029 \\ &= 0,00233 \end{aligned}$$

$$\gamma_2 (\text{horizontal}) = 25,46^0$$

Dicoba sengkang D16

$$Avh = 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D^2)$$

$$= 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) = 402,286 \text{ mm}^2 = 0,6235 \text{ in}^2$$

$$\rho h = \frac{Avh}{s.b} > 0,0015$$

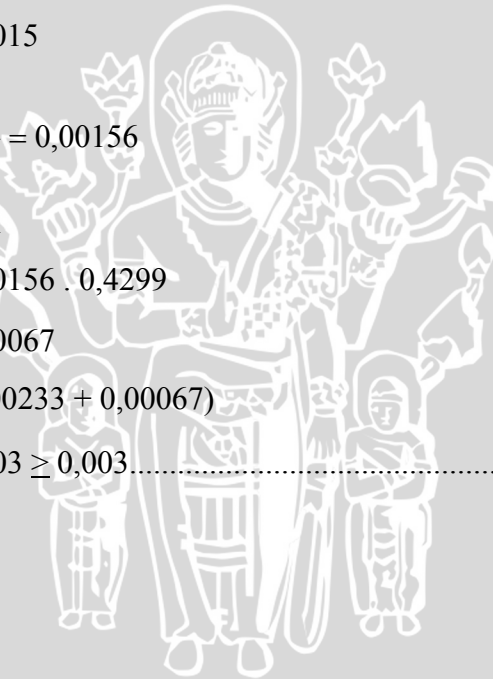
$$\frac{0,6235}{s \cdot 15,74798} = 0,00156$$

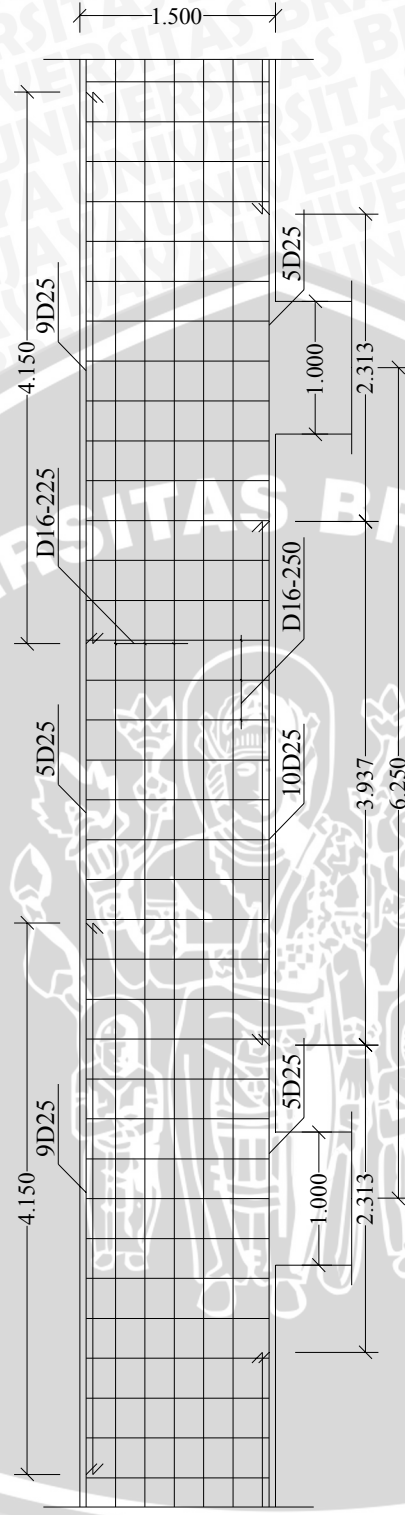
$$S = 644,65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho h (\sin \gamma_2) &= 0,00156 \cdot 0,4299 \\ &= 0,00067 \end{aligned}$$

$$\Sigma \rho i (\sin \gamma_i) = (0,00233 + 0,00067)$$

$$= 0,003 \geq 0,003 \dots \dots \dots \text{OK}$$





Gambar 4.35 Penulangan Balok 40/150 dengan Strut and Tie Model

4.5.4.2 Perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka silang

Perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka silang hampir sama dengan menggunakan rangka miring. Batang dan nodal yang digunakan dalam perhitungan *strut and tie model* dipilih yang memiliki gaya batang terbesar .

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan dipilih 3 *tie* untuk mewakili. *Tie* 29 untuk mewakili tulangan tumpuan, *tie* 1 untuk mewakili tulangan lapangan, dan *tie* 25 untuk mewakili tulangan geser. Batang 15 yang memiliki gaya tekan terbesar dipilih untuk mewakili *strut*. *Nodal* yang dipilih untuk dilakukan kontrol kapasitasnya adalah *nodal* 4 yang menerima gaya paling besar. Hasil perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka silang dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Perhitungan *strut and tie model* dengan bentuk rangka silang bentang 6,25 m

Strut and Tie Model			Rangka silang		
			80/170	60/160	40/150
Tie	Tumpuan	F_{UT} (kip)	290.07	294.6	299.62
		Ast (mm)	4411.245	4477.094	4556.5
	Lapangan	F_{UT} (kip)	299.05	302.5	306.77
		Ast (mm)	4547.809	4600.275	4665.2
	Geser V	F_{UT} (kip)	72.012	69.496	66.681
		s (mm)	642.8	666	694.19
	Geser H	F_{UT} (kip)	111.19	114.027	116.71
		s (mm)	269.59	247.43	226.64
Nodal	F_{BASE} (ksi)	0.73	0.9533	1.402	
	ϕF_{CU} (ksi)	2.589	2.589	2.589	
Strut	F_{US} (kip)	1088.124	794.82	514.98	
	ϕF_{NS} (kip)	447.96	440.38	432.74	
Tulangan Strut	Vertikal	s (mm)	195.65	260.87	259.86
	Horisontal	s (mm)	322.3	429.8	429.76

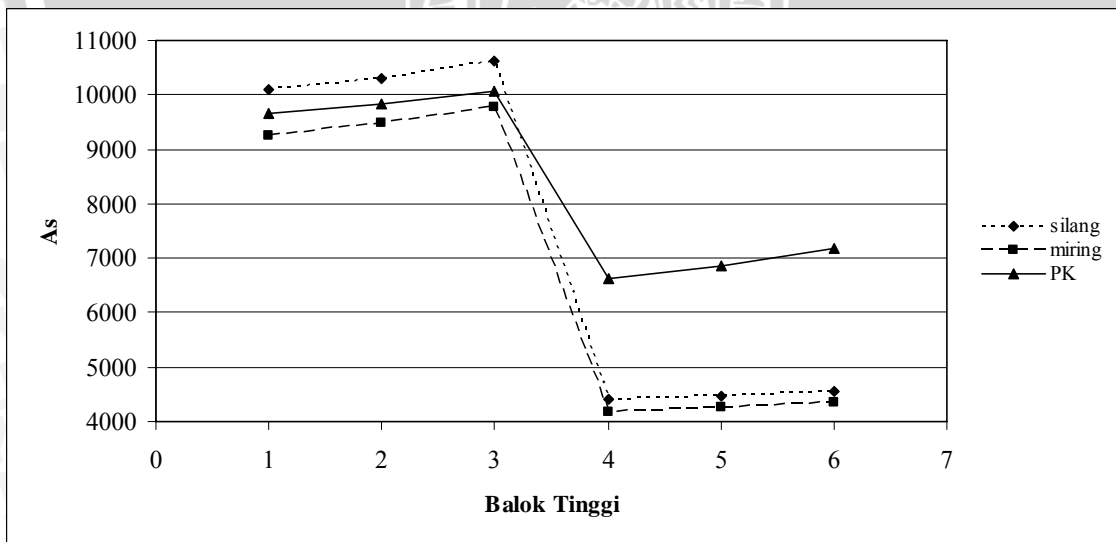
4.6 Pembahasan

Dari perhitungan balok tinggi dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak dengan menggunakan metode penampang kritis dan *strut and tie model* terdapat perbedaan pada luas tulangan geser maupun lentur yang diperlukan.

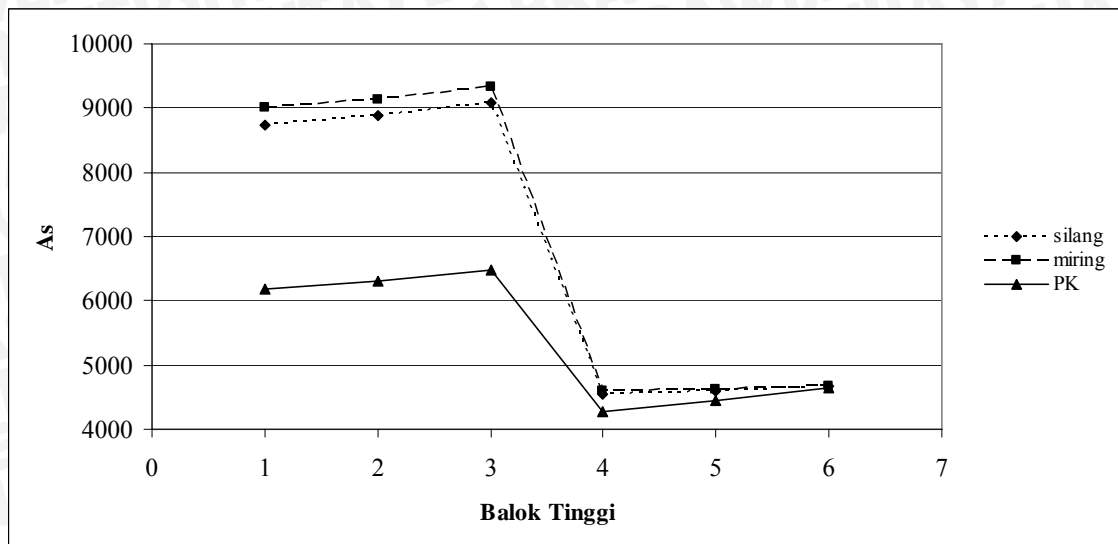
Tabel 4.8 Kebutuhan luas tulangan lentur

Balok Tinggi		Kebutuhan Luas Tulangan Lentur (mm ²)					
		Penampang Kritis		Strut and Tie Model			
		Tumpuan	Lapangan	Rangka miring		Rangka silang	
Tumpuan	Lapangan			Tumpuan	Lapangan		
8	100/220	9648.71	6173.93	9247.84	9002.00	10109.96	8743.56
	80/210	9839.995	6316.41	9471.09	9126.64	10313.44	8873.89
	60/200	10072.07	6485.38	9783.61	9327.68	10610.74	9079.497
6.25	80/170	6619.94	4271.46	4174.60	4586.59	4411.245	4547.809
	60/160	6868.75	4445.19	4263.12	4628.56	4477.094	4600.275
	40/150	7168.33	4652.08	4360.45	4681.63	4556.477	4665.21

Perbedaan luas tulangan tumpuan dan lapangan yang dibutuhkan dalam perencanaan balok tinggi dengan menggunakan metode *strut and tie model* dan penampang kritis dapat dilihat pada Gambar 4.36



Gambar 4.36 Kebutuhan tulangan tumpuan



Gambar 4.37 Kebutuhan tulangan lapangan

Perencanaan balok tinggi dengan *strut and tie model* memberikan kebutuhan yang tidak jauh berbeda antara tulangan tumpuan dan lapangan Gambar 4.37. Perbedaan kebutuhan tulangan tumpuan dan lapangan dengan metode penampang kritis adalah 35,55%. Perbedaan kebutuhan tulangan tumpuan dan lapangan dengan metode *strut and tie model* adalah 5,78% untuk bentuk rangka miring dan 8,32% untuk bentuk rangka silang.

Perbedaan luas tulangan diatas dapat dipengaruhi oleh bentuk rangka yang dipilih dalam perhitungan dengan *strut and tie model*. Penggunaan bentuk rangka yang berbeda akan menghasilkan besarnya gaya batang yang berbeda, sehingga menghasilkan kebutuhan tulangan yang berbeda pula. Bentuk rangka silang yang gunakan pada *strut and tie model* lebih mendekati hasil perencanaan penampang kritis. Perbedaan luas tulangan antara metode penampang kritis dan *strut and tie model* dengan rangka miring adalah 19,079%, sedangkan untuk rangka silang adalah 17,946%

Dalam perencanaan balok tinggi dengan metode penampang kritis dan *strut and tie model*, terdapat pula beberapa perbedaan seperti terlihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Perbedaan perencanaan dengan penampang kritis dan *strut and tie model*

No	Metode Penampang Kritis	<i>Strut and Tie Model</i>
1	Memisahkan antara perhitungan tulangan geser dan lentur. Perencanaan tulangan geser berdasarkan besarnya gaya geser dan momen yang terjadi pada penampang kritis Perencanaan tulangan lentur berdasarkan besarnya momen yang terjadi pada daerah tumpuan dan lapangan.	Perhitungan tulangan geser dan lentur secara bersamaan. Perencanaan tulangan geser berdasarkan besarnya <i>tie</i> pada rangka batang bagian tengah. Perencanaan tulangan lentur berdasarkan besarnya <i>tie</i> pada rangka batang bagian atas dan bawah.
2	Perbedaan faktor reduksi kekuatan yang digunakan untuk perencanaan geser dan lentur Faktor reduksi geser = 0,75 Faktor reduksi lentur = 0,8	Faktor reduksi kekuatan yang digunakan untuk seluruh komponen adalah sama sebesar 0,75
3	Menggunakan spasi tulangan geser yang sama disepanjang bentang balok tinggi. Hasil perencanaan tulangan geser berdasarkan besarnya gaya geser dan momen yang terjadi pada penampang kritis, dipasang disepanjang bentang balok tanpa memperhitungkan perbedaan gaya geser disepanjang bentang balok tinggi.	Spasi tulangan geser yang digunakan dapat berbeda-beda disepanjang bentang balok tinggi. Perencanaan tulangan geser ini didasarkan pada besarnya gaya tarik pada tiap-tiap <i>tie</i> pada rangka batang. Batang yang memiliki <i>tie</i> besar akan membutuhkan spasi tulangan yang lebih kecil dibandingkan Batang yang memiliki <i>tie</i> kecil
4	Luas tulangan geser minimum Vertikal = $0,0015 \cdot b \cdot s$ Horisontal = $0,0025 \cdot b \cdot s$	Luas tulangan geser minimum Vertikal = $0,0025 \cdot b \cdot s$ Horisontal = $0,0015 \cdot b \cdot s$
5	Spasi tulangan geser maksimum $d/3$ 500 mm	Spasi tulangan geser maksimum $d/5$ 12 in (304,8 mm)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari perhitungan balok tinggi dermaga petikemas pelabuhan Tanjung Perak dengan menggunakan metode penampang kritis dan *strut and tie model* dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Perencanaan balok tinggi dengan metode penampang kritis menggunakan besarnya gaya-gaya pada penampang kritis dalam menentukan kebutuhan tulangan geser disepanjang bentang. Pada metode penampang kritis kebutuhan tulangan lentur ditentukan dari besarnya momen pada daerah tumpuan dan lapangan. Sedangkan perencanaan balok tinggi dengan *strut and tie model* menggunakan besarnya *tie* pada tiap-tiap bagian rangka batang dalam menentukan kebutuhan tulangan geser maupun lentur
2. *Strut and tie model* memberikan perbedaan luasan tulangan yang kecil antara daerah tumpuan dan lapangan jika dibandingkan dengan metode penampang kritis. *Strut and tie model* meberikan perbedaan luas tulangan antara daerah tumpuan dan lapangan sebesar 5,78% untuk bentuk rangka miring dan 8,32% untuk bentuk rangka silang. Sedangkan perbedaan tersebut mencapai 35,55% pada metode penampang kritis

Bentuk rangka yang digunakan sangat mempengaruhi dalam *strut and tie model*. Bentuk rangka silang lebih mendekati hasil perhitungan penampang kritis jika dibandingkan bentuk rangka miring.

5.2 Saran

1. Hendaknya memilih peraturan yang lebih terbaru apabila dalam proses perencanaan menemukan pasal-pasal yang saling bertolak belakang
2. Diharapkan para perencana dapat mencoba beberapa model rangka batang sebelum menentukan pilihan.
3. Lokasi batang yang mengalami tarik dan tekan pada model rangka batang yang dipilih harus dapat menggambarkan hasil perhitungan statika dari balok tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318, 2002. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-2002) and Commentary (ACI 318R-2002)*. ACI, Farmington Hills, MI, 145-161.
- Anonim. 1997. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Kontruksi Terbaru, Topik Pelaksanaan Proyek Dermaga Petikemas Antar Pulau Tanjung Perak Surabaya*. HMS FTSP-ITS, Sheraton Hotel 4 – 5 November 1997
- Dewobroto, Wiryanto & Harianto Hardjasaputra. 2005. Eksperimen Struktur Beton Balok Tinggi untuk Pengembangan *Strut -and-Tie* Model.
<http://wiryanto.wordpress.com/2007/01/29>
- Dipohusodho, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta : Gramedia
- Joego, Herwindo. 2001. *Perencanaan Geser Balok Menggunakan Strut and Tie Model*. Kontruksi No 297 Tahun XXIV Februari – Maret 2001 halaman 25
- Juwana, Jimmy S. 2005. *Panduan Sistem Bangunan Tinggi Untuk Arsitek dan Praktisi Bangunan*. Jakarta : Erlangga
- McGregor James G. 1997. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, edisi ke tiga. New Jersey : Prentise Hall
- Marti, Peter. 1985. *Basic Tools of Reinforced Concrete Beam Design*, ACI Journal, Title No 82 - 4
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Penekatan Dasar*. Bandung : PT Eresco
- Park R. & T. Paulay. 1975. *Reinforced Concrete*. Canada : John Wiley and Sons
- Panitia Teknik Standardisasi. 2002. *SNI 03-2847-2002 : Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung
- Porwono, Rachmat dkk. 1995. *Perhitungan Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. Surabaya : ITS
- Tjhin, Tjen. 1992. *Strut -and-Tie Method*.
http://cee.uiuc.edu/kuchma/Strut_and_Tie/STM/Models.Htm
- Wight, James K & Gustavo J. Parra-Montesinos. 2003. *Strut-and-Tie Model for Deep Beam Design*. Concrete International
- Winter, Goerge & Arthur H. Nilson. 1993. *Perencanaan Struktur Beton*. Jakarta : Pradnya Paramita

Lampiran 1. Perhitungan statika balok tinggi dimensi 100/220

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 20:41:30

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 2
8/23/07 20:41:30

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-8.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-2.10000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	3.50000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	5.60000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	8.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 3
8/23/07 20:41:30

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	5.900
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3.500
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.400

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 4
8/23/07 20:41:30

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
2	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 5
8/23/07 20:41:30

FRAME SPAN DISTRIBUTED LOADS Load Case LOAD1

FRAME	TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
1	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-47.7040	1.0000	-47.7040
2	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-47.7040	1.0000	-47.7040
3	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-47.7040	1.0000	-47.7040
4	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-47.7040	1.0000	-47.7040
5	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-47.7040	1.0000	-47.7040

JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	8.048E-03	0.0000
2 LOAD1	0.0000	0.0000	-8.064E-03	0.0000	-5.599E-03	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	9.463E-04	0.0000
4 LOAD1	0.0000	0.0000	-0.0208	0.0000	4.356E-03	0.0000
5 LOAD1	0.0000	0.0000	-0.0209	0.0000	-4.630E-03	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0108	0.0000

JOINT REACTIONS

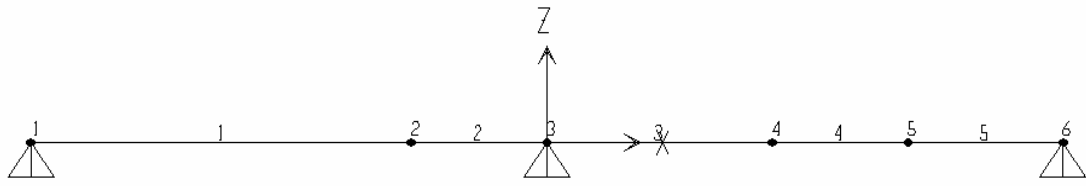
JOINT LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	1409.9730	0.0000	0.0000	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	5743.8482	0.0000	0.0000	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	1712.0179	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

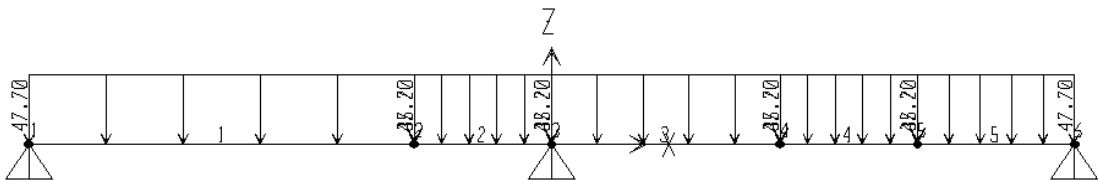
FRAME LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1 LOAD1							
0.00	0.00	-1409.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.48	0.00	-719.94	0.00	0.00	0.00	1570.81	0.00
2.95	0.00	-29.91	0.00	0.00	0.00	2123.83	0.00
4.43	0.00	660.11	0.00	0.00	0.00	1659.06	0.00
5.90	0.00	1350.14	0.00	0.00	0.00	176.50	0.00
2 LOAD1							
0.00	0.00	1695.34	0.00	0.00	0.00	176.50	0.00
5.3E-01	0.00	1940.94	0.00	0.00	0.00	-778.03	0.00
1.05	0.00	2186.55	0.00	0.00	0.00	-1861.49	0.00
1.58	0.00	2432.15	0.00	0.00	0.00	-3073.90	0.00
2.10	0.00	2677.75	0.00	0.00	0.00	-4415.25	0.00
3 LOAD1							
0.00	0.00	-2720.90	0.00	0.00	0.00	-4415.25	0.00
8.8E-01	0.00	-2311.56	0.00	0.00	0.00	-2213.55	0.00
1.75	0.00	-1902.22	0.00	0.00	0.00	-370.01	0.00
2.63	0.00	-1492.88	0.00	0.00	0.00	1115.34	0.00
3.50	0.00	-1083.54	0.00	0.00	0.00	2242.53	0.00
4 LOAD1							
0.00	0.00	-738.35	0.00	0.00	0.00	2242.53	0.00
5.3E-01	0.00	-492.75	0.00	0.00	0.00	2565.69	0.00
1.05	0.00	-247.14	0.00	0.00	0.00	2759.92	0.00
1.58	0.00	-1.54	0.00	0.00	0.00	2825.19	0.00
2.10	0.00	244.06	0.00	0.00	0.00	2761.53	0.00
5 LOAD1							
0.00	0.00	589.26	0.00	0.00	0.00	2761.53	0.00
6.0E-01	0.00	869.95	0.00	0.00	0.00	2323.77	0.00
1.20	0.00	1150.64	0.00	0.00	0.00	1717.59	0.00
1.80	0.00	1431.33	0.00	0.00	0.00	943.00	0.00
2.40	0.00	1712.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



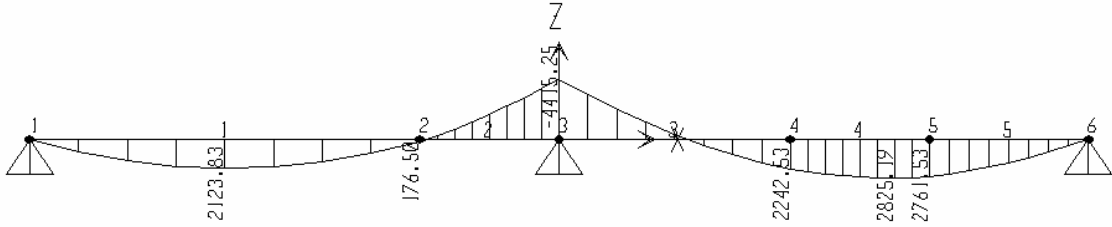
Balok Tinggi dimensi 100/220



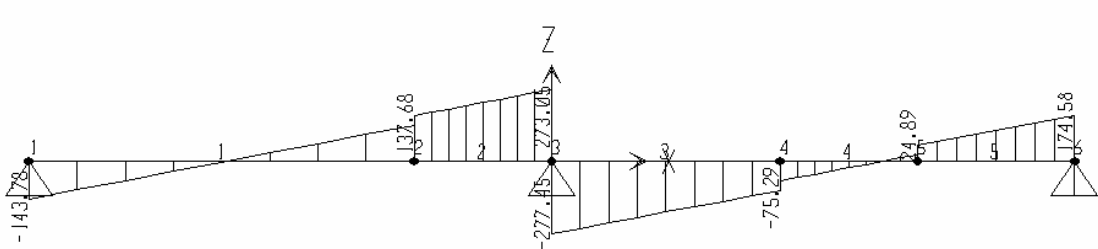
Pembebanan Balok Tinggi dimensi 100/220



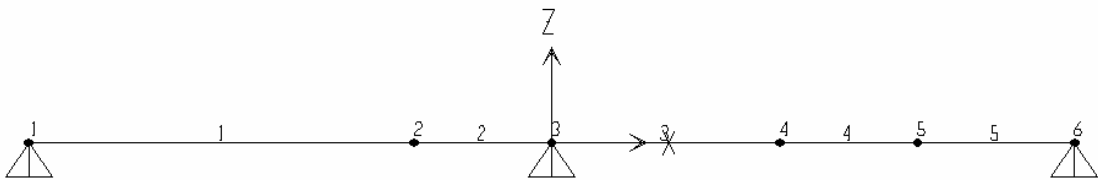
Bidang Momen Balok Tinggi dimensi 100/220



Bidang Geser Balok Tinggi dimensi 100/220



Bidang Normal Balok Tinggi dimensi 100/220



Lampiran 2. Perhitungan statika balok tinggi dimensi 80/210

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 20:41:35

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 2
8/23/07 20:41:35

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-8.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-2.10000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	3.50000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	5.60000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	8.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 3
8/23/07 20:41:35

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	5.900
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3.500
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.400

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 4
8/23/07 20:41:35

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
2	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 5
8/23/07 20:41:35

FRAME SPAN DISTRIBUTED LOADS Load Case LOAD1

FRAME	TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
1	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-46.2060	1.0000	-46.2060
2	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-46.2060	1.0000	-46.2060
3	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-46.2060	1.0000	-46.2060
4	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-46.2060	1.0000	-46.2060
5	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-46.2060	1.0000	-46.2060

JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7.795E-03	0.0000
2 LOAD1	0.0000	0.0000	-7.800E-03	0.0000	-5.428E-03	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	9.463E-04	0.0000
4 LOAD1	0.0000	0.0000	-0.0204	0.0000	4.252E-03	0.0000
5 LOAD1	0.0000	0.0000	-0.0204	0.0000	-4.527E-03	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0105	0.0000

JOINT REACTIONS

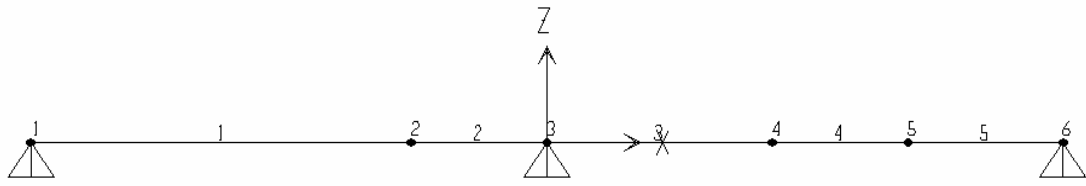
JOINT LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	1365.8574	0.0000	0.0000	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	5597.0341	0.0000	0.0000	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	1667.9022	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

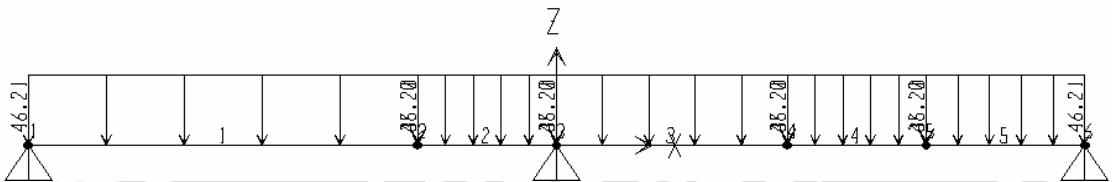
FRAME LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1 LOAD1							
0.00	0.00	-1365.86	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.48	0.00	-697.50	0.00	0.00	0.00	1521.72	
2.95	0.00	-29.14	0.00	0.00	0.00	2057.61	
4.43	0.00	639.23	0.00	0.00	0.00	1607.67	
5.90	0.00	1307.59	0.00	0.00	0.00	171.90	
2 LOAD1							
0.00	0.00	1652.78	0.00	0.00	0.00	171.90	
5.3E-01	0.00	1890.67	0.00	0.00	0.00	-758.26	
1.05	0.00	2128.56	0.00	0.00	0.00	-1813.31	
1.58	0.00	2366.45	0.00	0.00	0.00	-2993.25	
2.10	0.00	2604.35	0.00	0.00	0.00	-4298.08	
3 LOAD1							
0.00	0.00	-2647.49	0.00	0.00	0.00	-4298.08	
8.8E-01	0.00	-2251.01	0.00	0.00	0.00	-2154.99	
1.75	0.00	-1854.52	0.00	0.00	0.00	-358.82	
2.63	0.00	-1458.04	0.00	0.00	0.00	1090.43	
3.50	0.00	-1061.55	0.00	0.00	0.00	2192.75	
4 LOAD1							
0.00	0.00	-716.36	0.00	0.00	0.00	2192.75	
5.3E-01	0.00	-478.47	0.00	0.00	0.00	2506.39	
1.05	0.00	-240.58	0.00	0.00	0.00	2695.14	
1.58	0.00	-2.69	0.00	0.00	0.00	2759.00	
2.10	0.00	235.21	0.00	0.00	0.00	2697.96	
5 LOAD1							
0.00	0.00	580.40	0.00	0.00	0.00	2697.96	
6.0E-01	0.00	852.28	0.00	0.00	0.00	2268.16	
1.20	0.00	1124.15	0.00	0.00	0.00	1675.23	
1.80	0.00	1396.03	0.00	0.00	0.00	919.18	
2.40	0.00	1667.90	0.00	0.00	0.00	0.00	



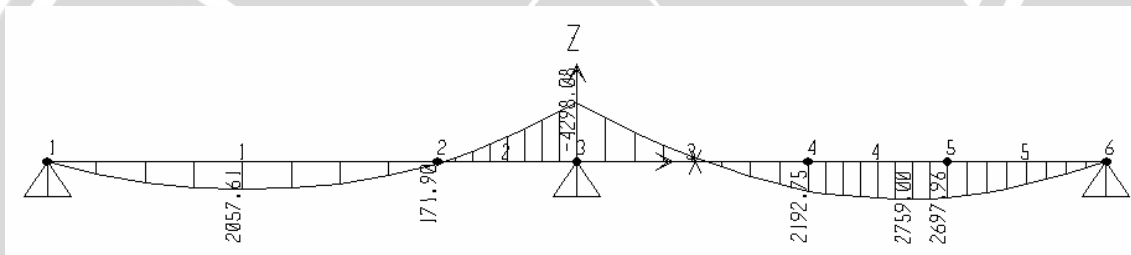
Balok Tinggi dimensi 80/210



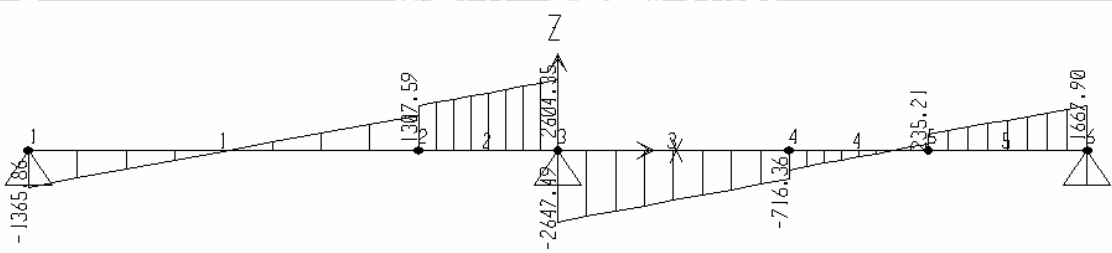
Pembebanan Balok Tinggi dimensi 80/210



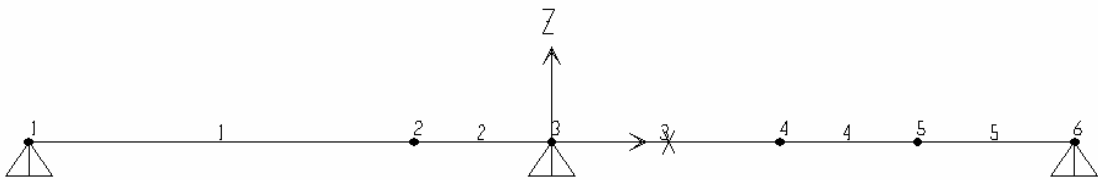
Bidang Momen Balok Tinggi dimensi 80/210



Bidang Geser Balok Tinggi dimensi 80/210



Bidang Normal Balok Tinggi dimensi 80/210



Lampiran 3. Perhitungan statika balok tinggi dimensi 60/200

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 20:42:10

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 20:42:10

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-8.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-2.10000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	3.50000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	5.60000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	8.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 20:42:10

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	5.900
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3.500
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.400

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 20:42:10

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
2	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: S18 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 20:42:10

FRAME SPAN DISTRIBUTED LOADS Load Case LOAD1

FRAME	TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
1	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-44.8239	1.0000	-44.8239
2	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-44.8239	1.0000	-44.8239
3	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-44.8239	1.0000	-44.8239
4	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-44.8239	1.0000	-44.8239
5	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-44.8239	1.0000	-44.8239

JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7.562E-03	0.0000
2 LOAD1	0.0000	0.0000	-7.556E-03	0.0000	-5.270E-03	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	9.463E-04	0.0000
4 LOAD1	0.0000	0.0000	-0.0199	0.0000	4.155E-03	0.0000
5 LOAD1	0.0000	0.0000	-0.0200	0.0000	-4.431E-03	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0103	0.0000

JOINT REACTIONS

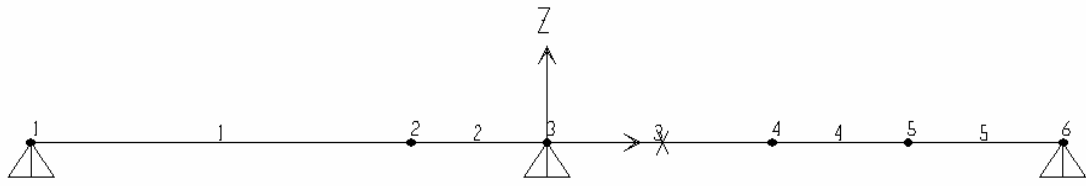
JOINT LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	1325.1549	0.0000	0.0000	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	5461.5785	0.0000	0.0000	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	1627.1997	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

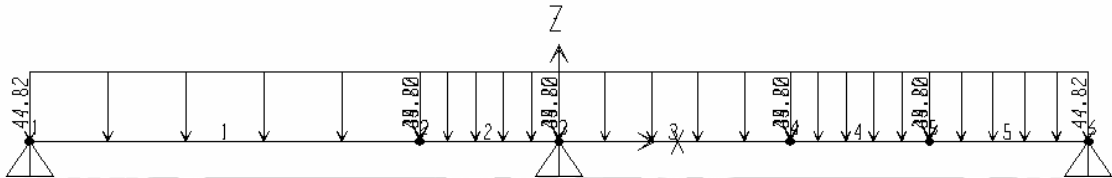
FRAME LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1 LOAD1							
0.00	0.00	-1325.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.48	0.00	-676.79	0.00	0.00	0.00	1476.43	0.00
2.95	0.00	-28.42	0.00	0.00	0.00	1996.52	0.00
4.43	0.00	619.95	0.00	0.00	0.00	1560.26	0.00
5.90	0.00	1268.32	0.00	0.00	0.00	167.66	0.00
2 LOAD1							
0.00	0.00	1613.52	0.00	0.00	0.00	167.66	0.00
5.3E-01	0.00	1844.29	0.00	0.00	0.00	-740.02	0.00
1.05	0.00	2075.07	0.00	0.00	0.00	-1768.85	0.00
1.58	0.00	2305.84	0.00	0.00	0.00	-2918.84	0.00
2.10	0.00	2536.62	0.00	0.00	0.00	-4189.98	0.00
3 LOAD1							
0.00	0.00	-2579.77	0.00	0.00	0.00	-4189.98	0.00
8.8E-01	0.00	-2195.14	0.00	0.00	0.00	-2100.96	0.00
1.75	0.00	-1810.52	0.00	0.00	0.00	-348.49	0.00
2.63	0.00	-1425.89	0.00	0.00	0.00	1067.44	0.00
3.50	0.00	-1041.26	0.00	0.00	0.00	2146.82	0.00
4 LOAD1							
0.00	0.00	-696.07	0.00	0.00	0.00	2146.82	0.00
5.3E-01	0.00	-465.29	0.00	0.00	0.00	2451.68	0.00
1.05	0.00	-234.52	0.00	0.00	0.00	2635.38	0.00
1.58	0.00	-3.74	0.00	0.00	0.00	2697.92	0.00
2.10	0.00	227.03	0.00	0.00	0.00	2639.31	0.00
5 LOAD1							
0.00	0.00	572.23	0.00	0.00	0.00	2639.31	0.00
6.0E-01	0.00	835.97	0.00	0.00	0.00	2216.85	0.00
1.20	0.00	1099.71	0.00	0.00	0.00	1636.15	0.00
1.80	0.00	1363.46	0.00	0.00	0.00	897.20	0.00
2.40	0.00	1627.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



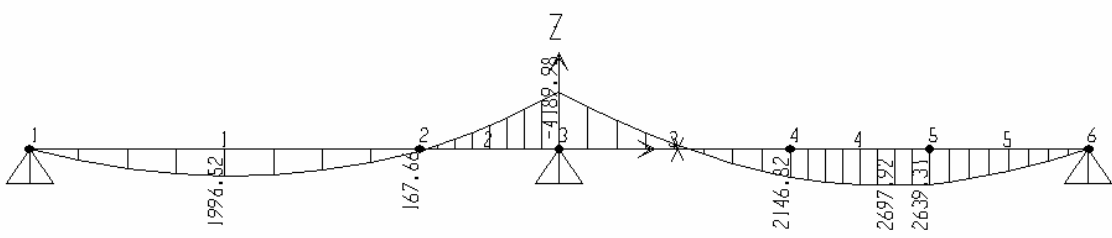
Balok Tinggi dimensi 60/200



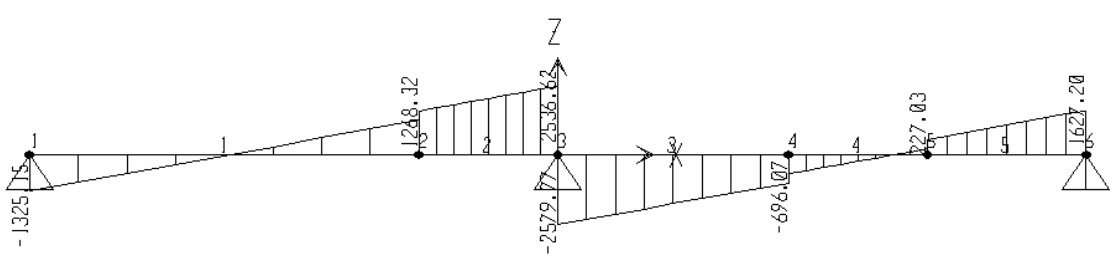
Pembebanan Balok Tinggi dimensi 60/200



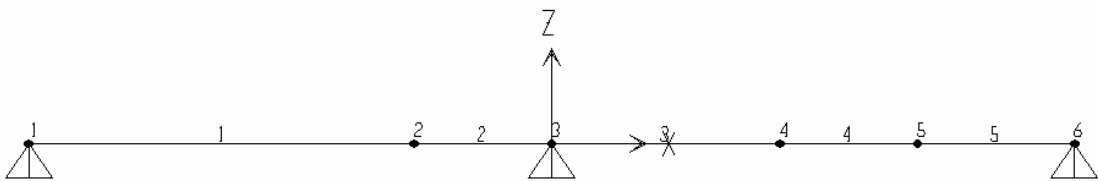
Bidang Momen Balok Tinggi dimensi 60/200



Bidang Geser Balok Tinggi dimensi 60/200



Bidang Normal Balok Tinggi dimensi 60/200



Lampiran 4. Perhitungan statika balok tinggi dimensi 80/170

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 21:45:17

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 2
8/23/07 21:45:17

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-6.25000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-2.10000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	3.50000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	5.60000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	6.25000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 3
8/23/07 21:45:17

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4.150
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3.500
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	0.650

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 4
8/23/07 21:45:17

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
2	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 5
8/23/07 21:45:17

FRAME SPAN DISTRIBUTED LOADS Load Case LOAD1

FRAME	TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
1	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-39.7920	1.0000	-39.7920
2	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-39.7920	1.0000	-39.7920
3	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-39.7920	1.0000	-39.7920
4	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-39.7920	1.0000	-39.7920
5	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-39.7920	1.0000	-39.7920

JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.562E-03	0.0000
2 LOAD1	0.0000	0.0000	-4.245E-03	0.0000	-2.242E-03	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.555E-04	0.0000
4 LOAD1	0.0000	0.0000	-7.418E-03	0.0000	2.643E-04	0.0000
5 LOAD1	0.0000	0.0000	-2.918E-03	0.0000	-4.081E-03	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-4.508E-03	0.0000

JOINT REACTIONS

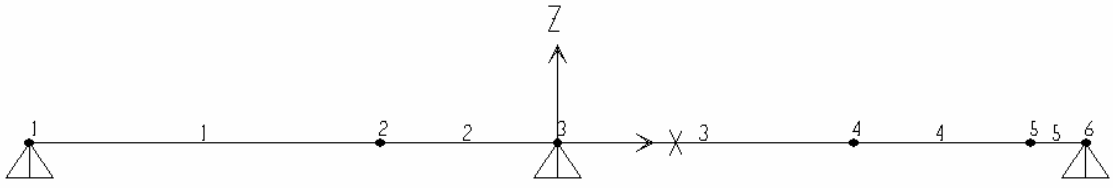
JOINT LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	960.9116	0.0000	0.0000	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	3950.1635	0.0000	0.0000	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	1347.5290	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

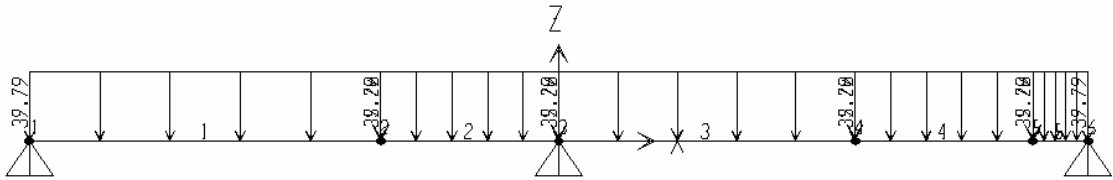
FRAME LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1 LOAD1							
0.00	0.00	-960.91	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.04	0.00	-556.05	0.00	0.00	0.00	786.92	
2.08	0.00	-151.19	0.00	0.00	0.00	1153.81	
3.11	0.00	253.67	0.00	0.00	0.00	1100.65	
4.15	0.00	658.53	0.00	0.00	0.00	627.45	
2 LOAD1							
0.00	0.00	1003.72	0.00	0.00	0.00	627.45	
5.3E-01	0.00	1208.59	0.00	0.00	0.00	46.72	
1.05	0.00	1413.46	0.00	0.00	0.00	-641.57	
1.58	0.00	1618.33	0.00	0.00	0.00	-1437.42	
2.10	0.00	1823.20	0.00	0.00	0.00	-2340.82	
3 LOAD1							
0.00	0.00	-1781.77	0.00	0.00	0.00	-2340.82	
8.8E-01	0.00	-1440.33	0.00	0.00	0.00	-931.15	
1.75	0.00	-1098.88	0.00	0.00	0.00	179.75	
2.63	0.00	-757.43	0.00	0.00	0.00	991.89	
3.50	0.00	-415.98	0.00	0.00	0.00	1505.25	
4 LOAD1							
0.00	0.00	-70.79	0.00	0.00	0.00	1505.25	
5.3E-01	0.00	134.08	0.00	0.00	0.00	1488.64	
1.05	0.00	338.95	0.00	0.00	0.00	1364.47	
1.58	0.00	543.82	0.00	0.00	0.00	1132.74	
2.10	0.00	748.69	0.00	0.00	0.00	793.46	
5 LOAD1							
0.00	0.00	1093.88	0.00	0.00	0.00	793.46	
1.6E-01	0.00	1157.29	0.00	0.00	0.00	610.55	
3.3E-01	0.00	1220.71	0.00	0.00	0.00	417.34	
4.9E-01	0.00	1284.12	0.00	0.00	0.00	213.82	
6.5E-01	0.00	1347.53	0.00	0.00	0.00	0.00	



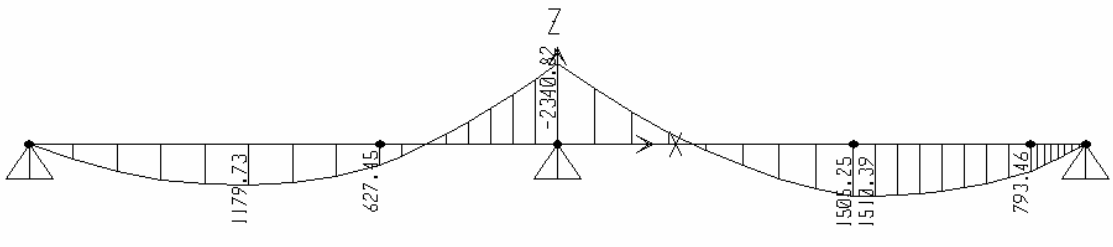
Balok Tinggi dimensi 80/170



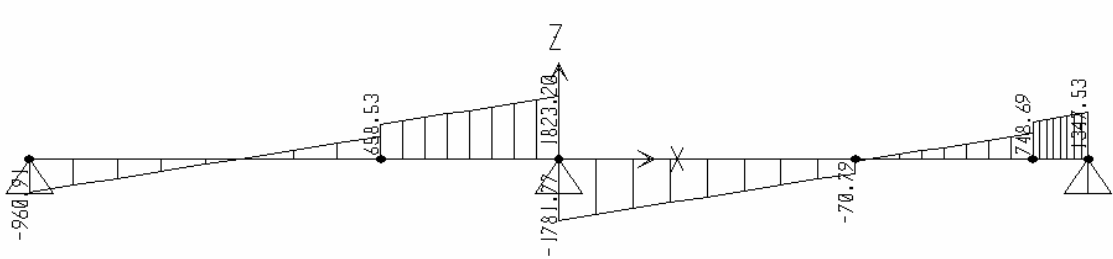
Pembebanan Balok Tinggi dimensi 80/170



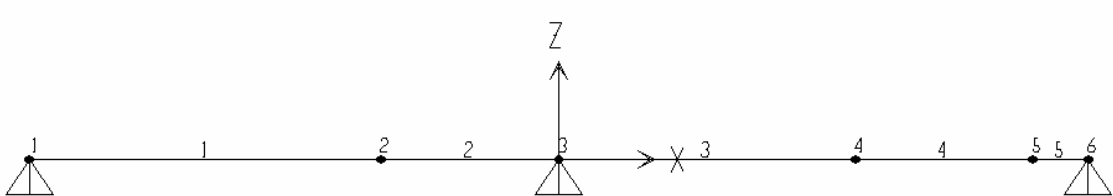
Bidang Momen Balok Tinggi dimensi 80/170



Bidang Geser Balok Tinggi dimensi 80/170



Bidang Normal Balok Tinggi dimensi 80/170



Lampiran 5. Perhitungan statika balok tinggi dimensi 60/160

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 21:55:33

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 2
8/23/07 21:55:33

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-6.25000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-2.10000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	3.50000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	5.60000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	6.25000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 3
8/23/07 21:55:33

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4.150
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3.500
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	0.650

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 4
8/23/07 21:55:33

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
2	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 5
8/23/07 21:55:33

FRAME SPAN DISTRIBUTED LOADS Load Case LOAD1

FRAME	TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
1	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-38.6400	1.0000	-38.6400
2	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-38.6400	1.0000	-38.6400
3	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-38.6400	1.0000	-38.6400
4	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-38.6400	1.0000	-38.6400
5	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-38.6400	1.0000	-38.6400

JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.468E-03	0.0000
2 LOAD1	0.0000	0.0000	-4.139E-03	0.0000	-2.185E-03	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.555E-04	0.0000
4 LOAD1	0.0000	0.0000	-7.262E-03	0.0000	2.598E-04	0.0000
5 LOAD1	0.0000	0.0000	-2.858E-03	0.0000	-3.995E-03	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-4.414E-03	0.0000

JOINT REACTIONS

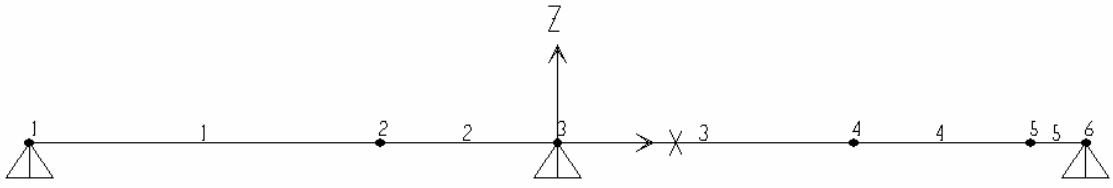
JOINT LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	934.3898	0.0000	0.0000	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	3861.9913	0.0000	0.0000	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	1321.0072	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

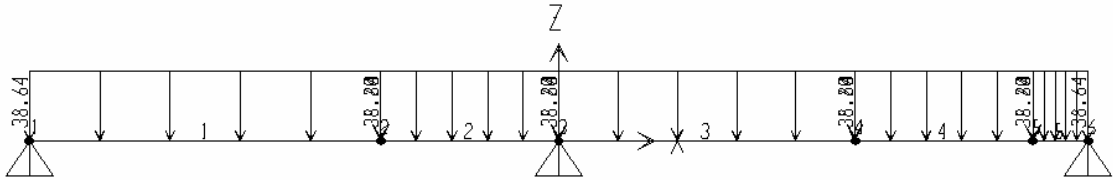
FRAME LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1 LOAD1							
0.00	0.00	-934.39	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.04	0.00	-541.25	0.00	0.00	0.00	765.49	
2.08	0.00	-148.11	0.00	0.00	0.00	1123.10	
3.11	0.00	245.03	0.00	0.00	0.00	1072.82	
4.15	0.00	638.17	0.00	0.00	0.00	614.67	
2 LOAD1							
0.00	0.00	983.36	0.00	0.00	0.00	614.67	
5.3E-01	0.00	1182.30	0.00	0.00	0.00	46.18	
1.05	0.00	1381.23	0.00	0.00	0.00	-626.75	
1.58	0.00	1580.17	0.00	0.00	0.00	-1404.12	
2.10	0.00	1779.11	0.00	0.00	0.00	-2285.93	
3 LOAD1							
0.00	0.00	-1737.69	0.00	0.00	0.00	-2285.93	
8.8E-01	0.00	-1406.12	0.00	0.00	0.00	-910.51	
1.75	0.00	-1074.56	0.00	0.00	0.00	174.79	
2.63	0.00	-743.00	0.00	0.00	0.00	969.97	
3.50	0.00	-411.44	0.00	0.00	0.00	1475.04	
4 LOAD1							
0.00	0.00	-66.24	0.00	0.00	0.00	1475.04	
5.3E-01	0.00	132.70	0.00	0.00	0.00	1457.59	
1.05	0.00	331.63	0.00	0.00	0.00	1335.71	
1.58	0.00	530.57	0.00	0.00	0.00	1109.38	
2.10	0.00	729.51	0.00	0.00	0.00	778.61	
5 LOAD1							
0.00	0.00	1074.70	0.00	0.00	0.00	778.61	
1.6E-01	0.00	1136.28	0.00	0.00	0.00	598.96	
3.3E-01	0.00	1197.86	0.00	0.00	0.00	409.32	
4.9E-01	0.00	1259.43	0.00	0.00	0.00	209.66	
6.5E-01	0.00	1321.01	0.00	0.00	0.00	0.00	



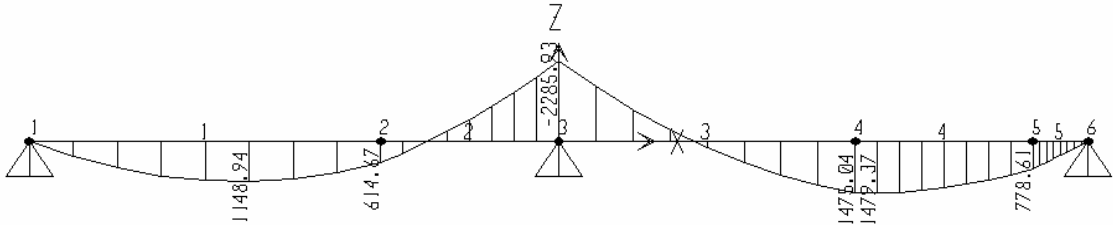
Balok Tinggi dimensi 60/160



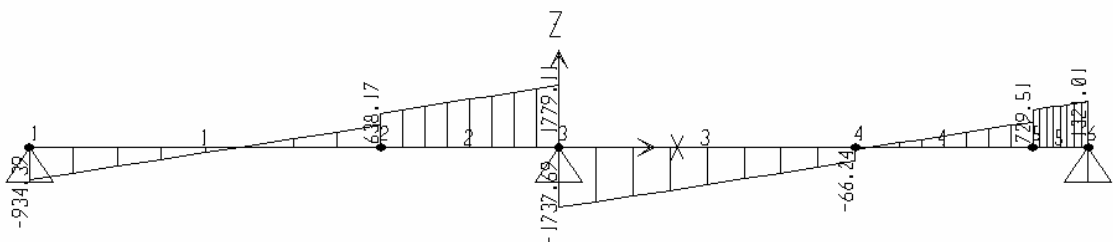
Pembebanan Balok Tinggi dimensi 60/160



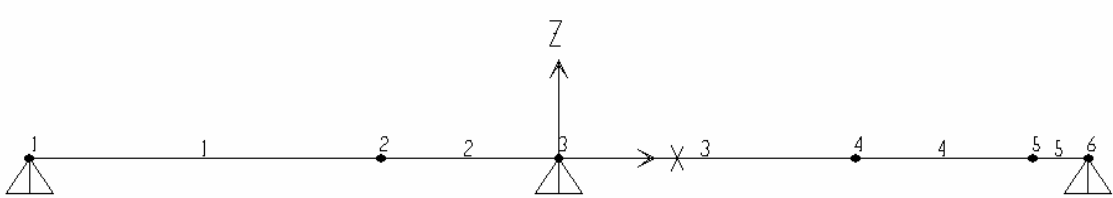
Bidang Momen Balok Tinggi dimensi 60/160



Bidang Geser Balok Tinggi dimensi 60/160



Bidang Normal Balok Tinggi dimensi 60/160



Lampiran 6. Perhitungan statika balok tinggi dimensi 40/150

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 1
8/23/07 22:03:44

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 2
8/23/07 22:03:44

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-6.25000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-2.10000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	3.50000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	5.60000	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	6.25000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 3
8/23/07 22:03:44

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4.150
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3.500
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2.100
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	0.650

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 4
8/23/07 22:03:44

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
2	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	-35.200	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: 11 Ton-m Units PAGE 5
8/23/07 22:03:44

FRAME SPAN DISTRIBUTED LOADS Load Case LOAD1

FRAME	TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
1	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-37.6030	1.0000	-37.6030
2	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-37.6030	1.0000	-37.6030
3	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-37.6030	1.0000	-37.6030
4	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-37.6030	1.0000	-37.6030
5	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-37.6030	1.0000	-37.6030

JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.384E-03	0.0000
2 LOAD1	0.0000	0.0000	-4.043E-03	0.0000	-2.134E-03	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.555E-04	0.0000
4 LOAD1	0.0000	0.0000	-7.122E-03	0.0000	2.557E-04	0.0000
5 LOAD1	0.0000	0.0000	-2.804E-03	0.0000	-3.919E-03	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-4.330E-03	0.0000

JOINT REACTIONS

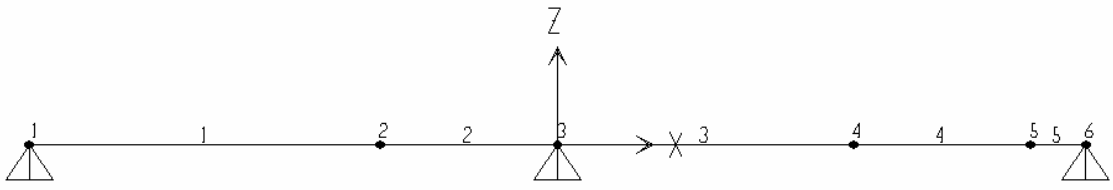
JOINT LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	910.5156	0.0000	0.0000	0.0000
3 LOAD1	0.0000	0.0000	3782.6211	0.0000	0.0000	0.0000
6 LOAD1	0.0000	0.0000	1297.1330	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

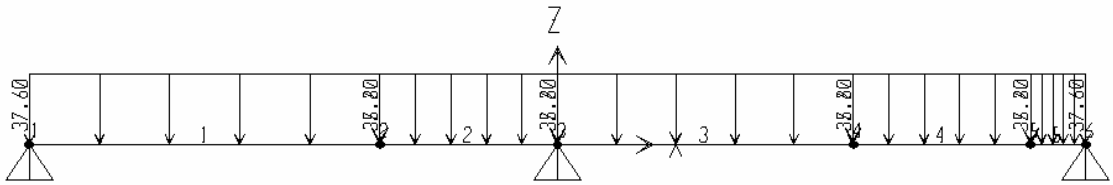
FRAME LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1 LOAD1							
0.00	0.00	-910.52	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.04	0.00	-527.93	0.00	0.00	0.00	746.19	
2.08	0.00	-145.34	0.00	0.00	0.00	1095.45	
3.11	0.00	237.25	0.00	0.00	0.00	1047.77	
4.15	0.00	619.84	0.00	0.00	0.00	603.16	
2 LOAD1							
0.00	0.00	965.03	0.00	0.00	0.00	603.16	
5.3E-01	0.00	1158.63	0.00	0.00	0.00	45.70	
1.05	0.00	1352.23	0.00	0.00	0.00	-613.40	
1.58	0.00	1545.83	0.00	0.00	0.00	-1374.14	
2.10	0.00	1739.43	0.00	0.00	0.00	-2236.52	
3 LOAD1							
0.00	0.00	-1698.00	0.00	0.00	0.00	-2236.52	
8.8E-01	0.00	-1375.34	0.00	0.00	0.00	-891.93	
1.75	0.00	-1052.67	0.00	0.00	0.00	170.32	
2.63	0.00	-730.01	0.00	0.00	0.00	950.24	
3.50	0.00	-407.34	0.00	0.00	0.00	1447.84	
4 LOAD1							
0.00	0.00	-62.15	0.00	0.00	0.00	1447.84	
5.3E-01	0.00	131.45	0.00	0.00	0.00	1429.65	
1.05	0.00	325.05	0.00	0.00	0.00	1309.81	
1.58	0.00	518.65	0.00	0.00	0.00	1088.35	
2.10	0.00	712.25	0.00	0.00	0.00	765.24	
5 LOAD1							
0.00	0.00	1057.44	0.00	0.00	0.00	765.24	
1.6E-01	0.00	1117.36	0.00	0.00	0.00	588.53	
3.3E-01	0.00	1177.29	0.00	0.00	0.00	402.09	
4.9E-01	0.00	1237.21	0.00	0.00	0.00	205.92	
6.5E-01	0.00	1297.13	0.00	0.00	0.00	0.00	



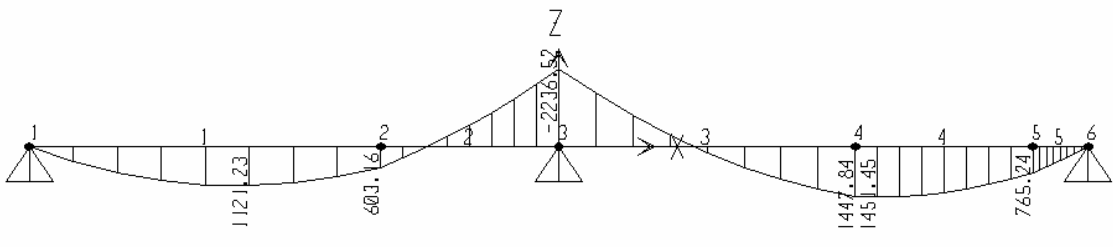
Balok Tinggi 40/150



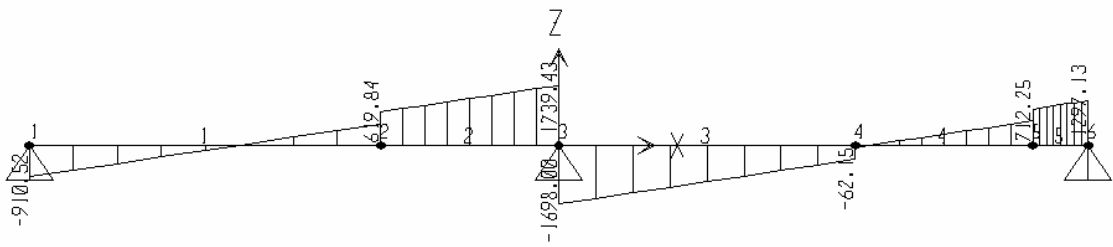
Pembebanan Balok Tinggi dimensi 40/150



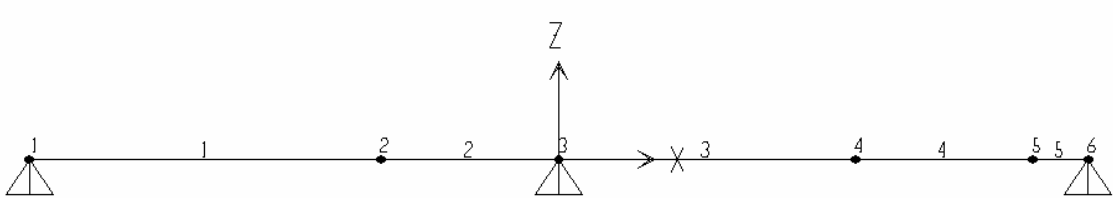
Bidang Momen Balok Tinggi dimensi 40/150



Bidang Geser Balok Tinggi dimensi 40/150



Bidang Normal Balok Tinggi dimensi 40/150



Lampiran 7. Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 100/220

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 100220 Kip-in Units PAGE 1
8/23/07 22:27:24

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 100220 Kip-in Units PAGE 2
8/23/07 22:27:24

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-314.96063	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-237.53281	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	-160.10499	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	-82.67717	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	68.89764	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7	137.79528	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
8	220.47244	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
9	314.96063	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
10	-237.53281	0.00000	57.48031	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
11	-160.10499	0.00000	57.48031	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
12	-82.67717	0.00000	57.48031	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
13	0.00000	0.00000	57.48031	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14	68.89764	0.00000	57.48031	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
15	137.79528	0.00000	57.48031	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
16	220.47244	0.00000	57.48031	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 100220 Kip-in Units PAGE 3
8/23/07 22:27:24

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
6	6	7	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
7	7	8	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
8	8	9	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	94.488
9	10	1	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	96.432
10	2	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	57.480
11	2	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	96.432
12	3	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	57.480
13	11	4	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	96.432
14	4	12	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	57.480
15	12	5	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	100.695
16	5	13	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	57.480
17	5	14	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	89.727
18	6	14	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	57.480
19	6	15	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	89.727
20	7	15	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	57.480
21	15	8	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	100.695
22	8	16	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	57.480
23	9	16	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	110.598
24	11	10	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
25	12	11	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
26	13	12	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
27	14	13	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
28	15	14	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
29	16	15	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
10	0.000	0.000	-310.249	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	-206.833	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	-291.447	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	-280.053	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	-184.046	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	-280.053	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	-440.436	0.000	0.000	0.000

JOINT REACTIONS

JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	LOAD1	0.0000	0.0000	304.6451	0.0000	0.0000	0.0000
5	LOAD1	0.0000	0.0000	1328.3630	0.0000	0.0000	0.0000
9	LOAD1	0.0000	0.0000	360.1090	0.0000	0.0000	0.0000

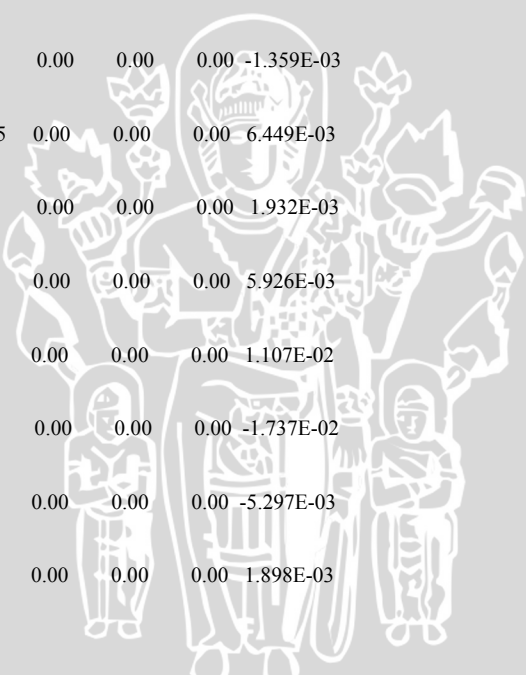
FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	LOAD1	77.43	410.37	-1.176E-04	0.00	0.00	0.00	7.640E-03
2	LOAD1	77.43	402.82	6.719E-06	0.00	0.00	0.00	2.351E-03
3	LOAD1	77.43	402.82	7.972E-05	0.00	0.00	0.00	-6.000E-04
4	LOAD1	82.68	116.66	4.623E-04	0.00	0.00	0.00	-2.181E-02
5	LOAD1	68.90	44.46	-5.824E-04	0.00	0.00	0.00	1.640E-02
6	LOAD1	68.90	476.42	-1.708E-04	0.00	0.00	0.00	8.534E-03
7	LOAD1	82.68	476.42	-4.789E-05	0.00	0.00	0.00	5.356E-03
8	LOAD1	94.49	591.96	1.229E-04	0.00	0.00	0.00	-1.334E-03
9	LOAD1	96.43	-511.09	2.489E-05	0.00	0.00	0.00	1.466E-03
10	LOAD1	57.48	-5.60	-7.816E-05	0.00	0.00	0.00	1.933E-03
11	LOAD1	96.43	9.40	1.897E-06	0.00	0.00	0.00	2.026E-03
12	LOAD1	57.48	-7.300E-05	1.133E-04	0.00	0.00	0.00	-3.289E-03
13	LOAD1	96.43	-356.39	6.020E-06	0.00	0.00	0.00	1.685E-03



FRAME ELEMENT FORCES

FRAME LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
14 LOAD1 57.48	212.44	5.595E-04	0.00	0.00	0.00	-1.684E-02	
15 LOAD1 100.70	-882.71	1.695E-04	0.00	0.00	0.00	-1.118E-02	
16 LOAD1 57.48	-280.05	3.481E-06	0.00	0.00	0.00	-1.194E-04	
17 LOAD1 89.73	-849.85	-1.386E-04	0.00	0.00	0.00	3.250E-03	
18 LOAD1 57.48	360.38	-6.234E-04	0.00	0.00	0.00	1.816E-02	
19 LOAD1 89.73	-562.55	2.613E-06	0.00	0.00	0.00	1.726E-03	
20 LOAD1 57.48	-1.229E-04	-2.588E-04	0.00	0.00	0.00	7.740E-03	
21 LOAD1 100.70	140.72	-7.059E-06	0.00	0.00	0.00	3.300E-03	
22 LOAD1 57.48	-80.33	5.191E-05	0.00	0.00	0.00	-1.359E-03	
23 LOAD1 110.60	-692.89	-4.625E-05	0.00	0.00	0.00	6.449E-03	
24 LOAD1 77.43	-410.37	1.220E-05	0.00	0.00	0.00	1.932E-03	
25 LOAD1 77.43	-116.66	-7.500E-05	0.00	0.00	0.00	5.926E-03	
26 LOAD1 82.68	608.11	-3.455E-04	0.00	0.00	0.00	1.107E-02	
27 LOAD1 68.90	608.11	3.917E-04	0.00	0.00	0.00	-1.737E-02	
28 LOAD1 68.90	-44.46	2.293E-04	0.00	0.00	0.00	-5.297E-03	
29 LOAD1 82.68	-591.96	3.861E-05	0.00	0.00	0.00	1.898E-03	



Lampiran 8. Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 80/210

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 80210 Kip-in Units PAGE 1
8/24/07 6:14:54

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 80210 Kip-in Units PAGE 2
8/24/07 6:14:54

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-314.96063	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-237.53281	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	-160.10499	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	-82.67717	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	68.89764	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7	137.79528	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
8	220.47244	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
9	314.96063	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
10	-237.53281	0.00000	55.11811	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
11	-160.10499	0.00000	55.11811	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
12	-82.67717	0.00000	55.11811	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
13	0.00000	0.00000	55.11811	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14	68.89764	0.00000	55.11811	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
15	137.79528	0.00000	55.11811	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
16	220.47244	0.00000	55.11811	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 80210 Kip-in Units PAGE 3
8/24/07 6:14:54

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
6	6	7	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
7	7	8	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
8	8	9	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	94.488
9	1	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	95.042
10	10	2	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	55.118
11	2	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	95.042
12	3	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	55.118
13	11	4	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	95.042
14	4	12	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	55.118
15	12	5	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	99.366
16	5	13	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	55.118
17	5	14	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	88.232
18	14	6	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	55.118
19	6	15	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	88.232
20	15	7	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	55.118
21	15	8	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	99.366
22	8	16	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	55.118
23	16	9	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	109.389
24	10	11	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
25	11	12	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
26	12	13	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
27	13	14	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
28	14	15	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
29	15	16	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
10	0.000	0.000	-300.509	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	-200.339	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	-284.733	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	-273.698	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	-178.268	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	-273.698	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	-429.046	0.000	0.000	0.000

JOINT REACTIONS

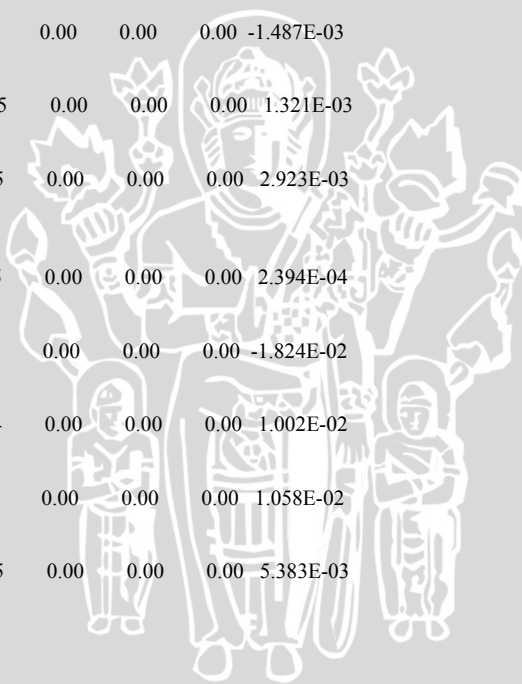
JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	LOAD1	0.0000	0.0000	294.2275	0.0000	0.0000	0.0000
5	LOAD1	0.0000	0.0000	1295.9800	0.0000	0.0000	0.0000
9	LOAD1	0.0000	0.0000	350.0834	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	LOAD1	77.43	413.32	-1.195E-04	0.00	0.00	0.00	7.832E-03
2	LOAD1	77.43	404.50	6.500E-06	0.00	0.00	0.00	2.435E-03
3	LOAD1	77.43	404.50	8.498E-05	0.00	0.00	0.00	-7.580E-04
4	LOAD1	82.68	114.24	4.741E-04	0.00	0.00	0.00	-2.237E-02
5	LOAD1	68.90	40.87	-5.909E-04	0.00	0.00	0.00	1.658E-02
6	LOAD1	68.90	481.70	-1.807E-04	0.00	0.00	0.00	8.928E-03
7	LOAD1	82.68	481.70	-4.968E-05	0.00	0.00	0.00	5.549E-03
8	LOAD1	94.49	600.14	1.273E-04	0.00	0.00	0.00	-1.321E-03
9	LOAD1	95.04	-507.35	-2.863E-05	0.00	0.00	0.00	4.140E-03
10	LOAD1	55.12	-6.28	8.438E-05	0.00	0.00	0.00	-2.613E-03
11	LOAD1	95.04	10.83	1.413E-06	0.00	0.00	0.00	2.146E-03
12	LOAD1	55.12	-7.848E-05	1.245E-04	0.00	0.00	0.00	-3.473E-03
13	LOAD1	95.04	-356.28	1.130E-05	0.00	0.00	0.00	1.501E-03



	FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
14	LOAD1	55.12	206.62	6.144E-04	0.00	0.00	0.00	-1.778E-02	
15	LOAD1	99.37	-885.80	1.856E-04	0.00	0.00	0.00	-1.199E-02	
16	LOAD1	55.12	-273.70	7.185E-06	0.00	0.00	0.00	-1.990E-04	
17	LOAD1	88.23	-849.90	-1.565E-04	0.00	0.00	0.00	3.777E-03	
18	LOAD1	55.12	352.66	6.808E-04	0.00	0.00	0.00	-1.848E-02	
19	LOAD1	88.23	-564.53	-6.238E-06	0.00	0.00	0.00	2.178E-03	
20	LOAD1	55.12	-1.311E-04	2.837E-04	0.00	0.00	0.00	-7.487E-03	
21	LOAD1	99.37	142.35	-8.413E-06	0.00	0.00	0.00	3.510E-03	
22	LOAD1	55.12	-78.96	5.692E-05	0.00	0.00	0.00	-1.487E-03	
23	LOAD1	109.39	-694.79	5.072E-05	0.00	0.00	0.00	1.321E-03	
24	LOAD1	77.43	-413.32	-1.060E-05	0.00	0.00	0.00	2.923E-03	
25	LOAD1	77.43	-114.24	7.398E-05	0.00	0.00	0.00	2.394E-04	
26	LOAD1	82.68	622.79	3.605E-04	0.00	0.00	0.00	-1.824E-02	
27	LOAD1	68.90	622.79	-4.073E-04	0.00	0.00	0.00	1.002E-02	
28	LOAD1	68.90	-40.87	-2.298E-04	0.00	0.00	0.00	1.058E-02	
29	LOAD1	82.68	-600.14	-4.165E-05	0.00	0.00	0.00	-5.383E-03	



Lampiran 9. Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 60/200

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 60200 Kip-in Units PAGE 1
8/24/07 6:25:03

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 60200 Kip-in Units PAGE 2
8/24/07 6:25:03

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-314.96063	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-237.53281	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	-160.10499	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	-82.67717	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	68.89764	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7	137.79528	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
8	220.47244	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
9	314.96063	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
10	-237.53281	0.00000	52.49344	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
11	-160.10499	0.00000	52.49344	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
12	-82.67717	0.00000	52.49344	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
13	0.00000	0.00000	52.49344	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14	68.89764	0.00000	52.49344	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
15	137.79528	0.00000	52.49344	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
16	220.47244	0.00000	52.49344	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS 60200 Kip-in Units PAGE 3
8/24/07 6:25:03

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
3	3	4	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
6	6	7	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
7	7	8	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
8	8	9	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	94.488
9	1	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	93.545
10	2	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	52.493
11	2	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	93.545
12	3	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	52.493
13	11	4	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	93.545
14	4	12	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	52.493
15	12	5	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	97.934
16	5	13	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	52.493
17	5	14	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	86.617
18	6	14	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	52.493
19	6	15	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	86.617
20	7	15	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	52.493
21	15	8	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	97.934
22	8	16	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	52.493
23	16	9	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	108.091
24	10	11	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
25	11	12	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	77.428
26	12	13	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
27	13	14	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
28	14	15	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
29	15	16	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
10	0.000	0.000	-291.518	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	-194.346	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	-278.536	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	-267.831	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	-172.935	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	-267.831	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	-418.531	0.000	0.000	0.000

JOINT REACTIONS

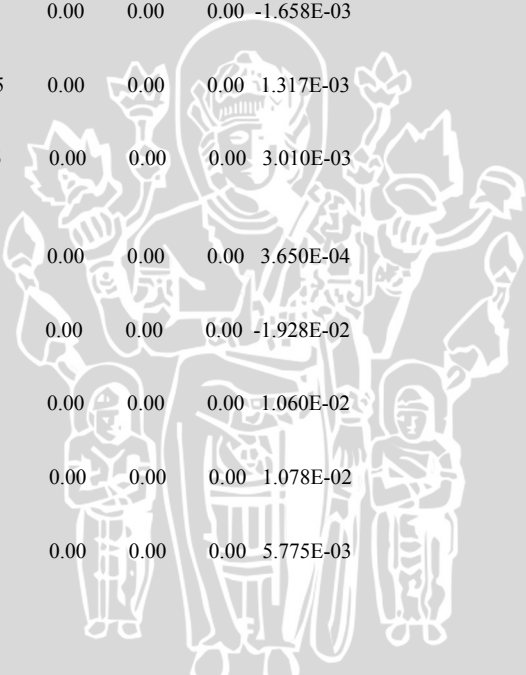
JOINT LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	284.5376	0.0000	0.0000	0.0000
5 LOAD1	0.0000	0.0000	1266.2368	0.0000	0.0000	0.0000
9 LOAD1	0.0000	0.0000	340.7535	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

FRAME LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1 LOAD1	77.43	419.69	-1.229E-04	0.00	0.00	0.00	8.136E-03
2 LOAD1	77.43	409.40	6.332E-06	0.00	0.00	0.00	2.555E-03
3 LOAD1	77.43	409.40	9.220E-05	0.00	0.00	0.00	-9.604E-04
4 LOAD1	82.68	112.44	4.926E-04	0.00	0.00	0.00	-2.324E-02
5 LOAD1	68.90	37.25	-6.063E-04	0.00	0.00	0.00	1.694E-02
6 LOAD1	68.90	490.86	-1.942E-04	0.00	0.00	0.00	-9.476E-03
7 LOAD1	82.68	490.86	-5.232E-05	0.00	0.00	0.00	5.827E-03
8 LOAD1	94.49	613.36	1.336E-04	0.00	0.00	0.00	-1.317E-03
9 LOAD1	93.54	-507.05	-3.342E-05	0.00	0.00	0.00	4.504E-03
10 LOAD1	52.49	-6.98	-9.315E-05	0.00	0.00	0.00	2.187E-03
11 LOAD1	93.54	12.44	0.00	0.00	0.00	0.00	2.311E-03
12 LOAD1	52.49	-8.586E-05	1.402E-04	0.00	0.00	0.00	-3.735E-03
13 LOAD1	93.54	-358.77	1.806E-05	0.00	0.00	0.00	1.283E-03



FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
14	LOAD1	52.49	201.33	6.907E-04	0.00	0.00	0.00	-1.909E-02
15	LOAD1	97.93	-895.25	2.069E-04	0.00	0.00	0.00	-1.308E-02
16	LOAD1	52.49	-267.83	1.220E-05	0.00	0.00	0.00	-2.982E-04
17	LOAD1	86.62	-855.62	-1.801E-04	0.00	0.00	0.00	4.453E-03
18	LOAD1	52.49	345.61	-7.605E-04	0.00	0.00	0.00	2.031E-02
19	LOAD1	86.62	-570.27	-1.747E-05	0.00	0.00	0.00	2.746E-03
20	LOAD1	52.49	-1.419E-04	-3.180E-04	0.00	0.00	0.00	8.720E-03
21	LOAD1	97.93	145.10	-1.015E-05	0.00	0.00	0.00	3.791E-03
22	LOAD1	52.49	-77.78	6.379E-05	0.00	0.00	0.00	-1.658E-03
23	LOAD1	108.09	-701.65	5.657E-05	0.00	0.00	0.00	1.317E-03
24	LOAD1	77.43	-419.69	-8.947E-06	0.00	0.00	0.00	3.010E-03
25	LOAD1	77.43	-112.44	7.386E-05	0.00	0.00	0.00	3.650E-04
26	LOAD1	82.68	643.34	3.816E-04	0.00	0.00	0.00	-1.928E-02
27	LOAD1	68.90	643.34	-4.294E-04	0.00	0.00	0.00	-1.060E-02
28	LOAD1	68.90	-37.25	-2.326E-04	0.00	0.00	0.00	1.078E-02
29	LOAD1	82.68	-613.36	-4.557E-05	0.00	0.00	0.00	5.775E-03



Lampiran 10. Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 80/170

SAP2000 v7.40 File: TRUSS80170 Kip-in Units PAGE 1
8/24/07 6:42:31

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
-------------	-----------	----------------

LOAD1	DEAD	0.0000
-------	------	--------

SAP2000 v7.40 File: TRUSS80170 Kip-in Units PAGE 2
8/24/07 6:42:31

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-246.06299	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-164.37008	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	-82.67717	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	68.89764	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	137.79528	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7	220.47244	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
8	246.06299	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
9	-164.37008	0.00000	44.61942	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
10	-82.67717	0.00000	44.61942	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
11	0.00000	0.00000	44.61942	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
12	68.89764	0.00000	44.61942	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
13	137.79528	0.00000	44.61942	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14	220.47244	0.00000	44.61942	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS80170 Kip-in Units PAGE 3
8/24/07 6:42:31

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
3	4	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
6	7	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
7	8	7	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	25.591
8	1	9	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	93.084
9	9	2	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	44.619
10	2	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	93.084
11	10	3	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	44.619
12	10	4	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	93.949
13	4	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	44.619
14	4	12	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	82.084
15	12	5	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	44.619
16	5	13	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	82.084
17	13	6	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	44.619
18	7	13	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	93.949
19	7	14	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	44.619
20	14	8	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	51.437
21	10	9	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
22	10	11	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
23	11	12	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
24	12	13	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
25	13	14	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677

JOINT FORCES Load Case LOAD1

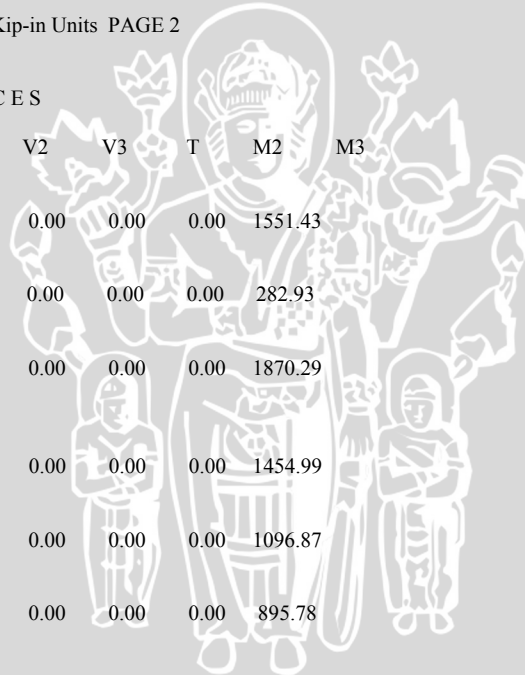
JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
10	0.000	0.000	-260.731	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	-246.475	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	-246.475	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	-226.737	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	-273.047	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	-153.520	0.000	0.000	0.000

JOINT REACTIONS

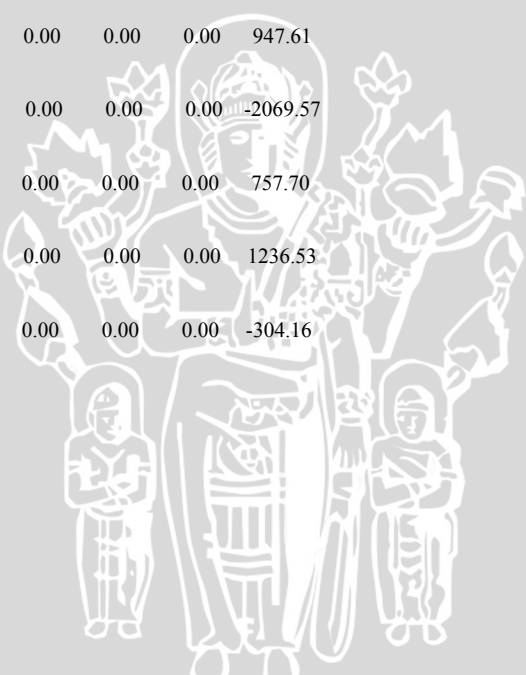
JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	LOAD1	0.0000	0.0000	196.9304	0.0000	0.0000	0.0000
4	LOAD1	0.0000	0.0000	898.9565	0.0000	0.0000	0.0000
8	LOAD1	0.0000	0.0000	311.0974	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	LOAD1	81.69	301.60	-20.65	0.00	0.00	0.00	1551.43
2	LOAD1	81.69	195.05	7.59	0.00	0.00	0.00	282.93
3	LOAD1	82.68	120.67	-52.15	0.00	0.00	0.00	1870.29
4	LOAD1	68.90	20.36	-56.31	0.00	0.00	0.00	1454.99
5	LOAD1	68.90	266.10	-17.98	0.00	0.00	0.00	1096.87
6	LOAD1	82.68	274.72	-9.58	0.00	0.00	0.00	895.78
7	LOAD1	25.59	151.99	-62.33	0.00	0.00	0.00	1076.40
8	LOAD1	93.08	-349.19	-10.13	0.00	0.00	0.00	1079.02
9	LOAD1	44.62	-89.44	4.59	0.00	0.00	0.00	-73.47
10	LOAD1	93.08	126.87	4.312E-01	0.00	0.00	0.00	534.86
11	LOAD1	44.62	-44.56	-74.38	0.00	0.00	0.00	1587.36
12	LOAD1	93.95	-452.28	31.38	0.00	0.00	0.00	-1759.53



FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
13	LOAD1	44.62	-325.81	12.08	0.00	0.00	0.00	-274.11
14	LOAD1	82.08	-368.33	-26.27	0.00	0.00	0.00	645.33
15	LOAD1	44.62	84.84	70.06	0.00	0.00	0.00	-1514.94
16	LOAD1	82.08	-214.41	-7.88	0.00	0.00	0.00	729.00
17	LOAD1	44.62	-27.56	8.61	0.00	0.00	0.00	-201.09
18	LOAD1	93.95	-111.67	-5.69	0.00	0.00	0.00	702.65
19	LOAD1	44.62	5.29	27.15	0.00	0.00	0.00	-407.23
20	LOAD1	51.44	-291.41	-8.08	0.00	0.00	0.00	518.71
21	LOAD1	81.69	-306.20	-7.33	0.00	0.00	0.00	947.61
22	LOAD1	82.68	262.44	42.28	0.00	0.00	0.00	-2069.57
23	LOAD1	68.90	274.51	-37.06	0.00	0.00	0.00	757.70
24	LOAD1	68.90	-90.42	-20.97	0.00	0.00	0.00	1236.53
25	LOAD1	82.68	-179.14	16.74	0.00	0.00	0.00	-304.16



Lampiran 11. Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 60/160

SAP2000 v7.40 File: TRUSS60160 Kip-in Units PAGE 1
8/24/07 6:51:19

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS60160 Kip-in Units PAGE 2
8/24/07 6:51:19

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-246.06299	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-164.37008	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	-82.67717	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	68.89764	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	137.79528	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7	220.47244	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
8	246.06299	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
9	-164.37008	0.00000	41.99475	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
10	-82.67717	0.00000	41.99475	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
11	0.00000	0.00000	41.99475	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
12	68.89764	0.00000	41.99475	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
13	137.79528	0.00000	41.99475	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14	220.47244	0.00000	41.99475	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS60160 Kip-in Units PAGE 3
8/24/07 6:51:19

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
3	4	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
6	7	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
7	8	7	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	25.591
8	1	9	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	91.855
9	2	9	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	41.995
10	2	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	91.855
11	3	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	41.995
12	10	4	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	92.731
13	4	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	41.995
14	12	4	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	80.687
15	5	12	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	41.995
16	13	5	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	80.687
17	6	13	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	41.995
18	13	7	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	92.731
19	7	14	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	41.995
20	14	8	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	49.178
21	9	10	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
22	10	11	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
23	11	12	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
24	12	13	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
25	13	14	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677

JOINT FORCES Load Case LOAD1

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
9	0.000	0.000	-265.142	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	-255.429	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	-241.586	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	-241.586	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	-222.419	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	-149.076	0.000	0.000	0.000

JOINT REACTIONS

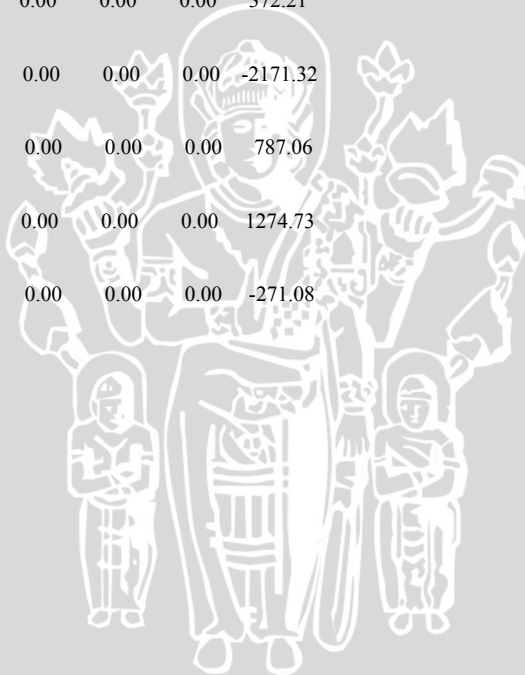
JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	LOAD1	0.0000	0.0000	190.7134	0.0000	0.0000	0.0000
4	LOAD1	0.0000	0.0000	880.4336	0.0000	0.0000	0.0000
8	LOAD1	0.0000	0.0000	304.0913	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	LOAD1	81.69	304.36	-21.69	0.00	0.00	0.00	1637.60
2	LOAD1	81.69	197.11	8.06	0.00	0.00	0.00	290.44
3	LOAD1	82.68	115.00	-53.82	0.00	0.00	0.00	1925.49
4	LOAD1	68.90	13.78	-57.26	0.00	0.00	0.00	1458.99
5	LOAD1	68.90	269.02	-19.08	0.00	0.00	0.00	1156.41
6	LOAD1	82.68	278.80	-10.15	0.00	0.00	0.00	943.58
7	LOAD1	25.59	156.51	-60.61	0.00	0.00	0.00	1064.88
8	LOAD1	91.85	-347.96	-11.18	0.00	0.00	0.00	1160.88
9	LOAD1	41.99	-88.36	-5.22	0.00	0.00	0.00	155.17
10	LOAD1	91.85	126.83	7.039E-01	0.00	0.00	0.00	559.60
11	LOAD1	41.99	-45.76	82.10	0.00	0.00	0.00	-1812.86
12	LOAD1	92.73	-445.32	33.84	0.00	0.00	0.00	-1876.22



FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
13	LOAD1	41.99	-324.56	13.63	0.00	0.00	0.00	-286.67
14	LOAD1	80.69	-361.97	28.76	0.00	0.00	0.00	-1628.48
15	LOAD1	41.99	81.28	-77.12	0.00	0.00	0.00	1676.40
16	LOAD1	80.69	-214.27	9.31	0.00	0.00	0.00	54.76
17	LOAD1	41.99	-29.23	-9.77	0.00	0.00	0.00	197.62
18	LOAD1	92.73	-108.00	6.55	0.00	0.00	0.00	159.95
19	LOAD1	41.99	4.30	28.96	0.00	0.00	0.00	-415.28
20	LOAD1	49.18	-289.37	-6.95	0.00	0.00	0.00	486.10
21	LOAD1	81.69	-309.58	7.75	0.00	0.00	0.00	372.21
22	LOAD1	82.68	266.71	44.20	0.00	0.00	0.00	-2171.32
23	LOAD1	68.90	280.33	-38.78	0.00	0.00	0.00	787.06
24	LOAD1	68.90	-90.90	-21.37	0.00	0.00	0.00	1274.73
25	LOAD1	82.68	-185.47	16.77	0.00	0.00	0.00	-271.08



Lampiran 12. Perhitungan rangka batang balok tinggi dimensi 40/150

SAP2000 v7.40 File: TRUSS40150 Kip-in Units PAGE 1
8/24/07 7:03:24

STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	0.0000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS40150 Kip-in Units PAGE 2
8/24/07 7:03:24

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-246.06299	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
2	-164.37008	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	-82.67717	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	68.89764	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	137.79528	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7	220.47244	0.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
8	246.06299	0.00000	0.00000	0 0 1 0 0 0	0.000	0.000	0.000
9	-164.37008	0.00000	39.37008	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
10	-82.67717	0.00000	39.37008	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
11	0.00000	0.00000	39.37008	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
12	68.89764	0.00000	39.37008	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
13	137.79528	0.00000	39.37008	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14	220.47244	0.00000	39.37008	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000

SAP2000 v7.40 File: TRUSS40150 Kip-in Units PAGE 3
8/24/07 7:03:24

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
2	2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
3	4	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
4	4	5	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
5	5	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
6	7	6	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
7	8	7	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	25.591
8	1	9	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	90.685
9	2	9	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	39.370
10	2	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	90.685
11	3	10	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	39.370
12	10	4	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	91.572
13	4	11	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	39.370
14	4	12	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	79.353
15	12	5	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	39.370
16	5	13	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	79.353
17	6	13	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	39.370
18	13	7	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	91.572
19	7	14	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	39.370
20	14	8	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	46.956
21	9	10	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	81.693
22	10	11	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677
23	11	12	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
24	12	13	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	68.898
25	13	14	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	82.677

JOINT FORCES Load Case LOAD1

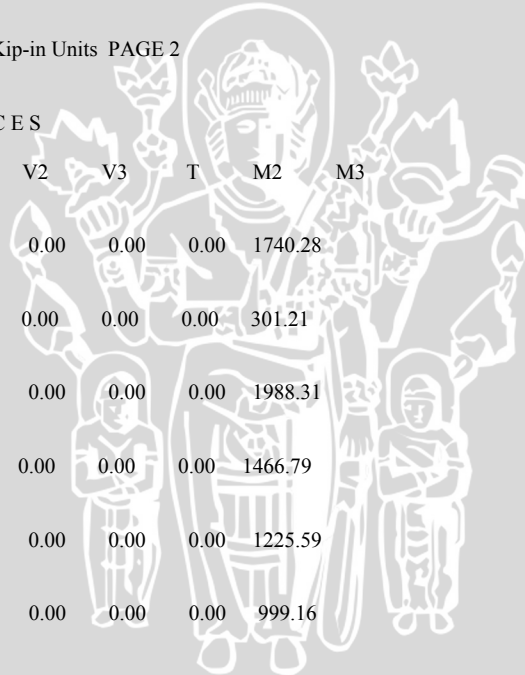
JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
9	0.000	0.000	-258.029	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	-250.657	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	-237.186	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	-237.195	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	-218.544	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	-145.086	0.000	0.000	0.000

JOINT REACTIONS

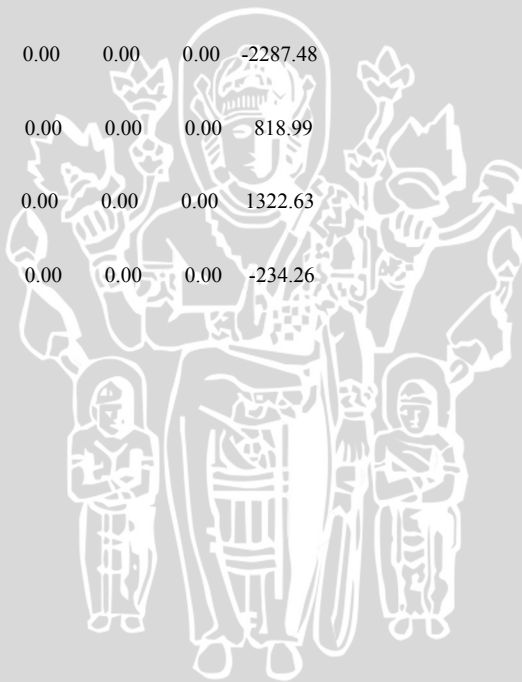
JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	LOAD1	0.0000	0.0000	185.0570	0.0000	0.0000	0.0000
4	LOAD1	0.0000	0.0000	863.8988	0.0000	0.0000	0.0000
8	LOAD1	0.0000	0.0000	297.7420	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	LOAD1	81.69	307.85	-22.94	0.00	0.00	0.00	1740.28
2	LOAD1	81.69	199.90	8.62	0.00	0.00	0.00	301.21
3	LOAD1	82.68	108.71	-55.78	0.00	0.00	0.00	1988.31
4	LOAD1	68.90	6.46	-58.50	0.00	0.00	0.00	1466.79
5	LOAD1	68.90	272.47	-20.32	0.00	0.00	0.00	1225.59
6	LOAD1	82.68	283.68	-10.77	0.00	0.00	0.00	999.16
7	LOAD1	25.59	161.71	-59.24	0.00	0.00	0.00	1062.35
8	LOAD1	90.68	-347.71	-12.39	0.00	0.00	0.00	1257.37
9	LOAD1	39.37	-87.62	-5.96	0.00	0.00	0.00	182.40
10	LOAD1	90.68	126.97	1.05	0.00	0.00	0.00	587.56
11	LOAD1	39.37	-47.16	91.19	0.00	0.00	0.00	-1902.87
12	LOAD1	91.57	-438.33	36.59	0.00	0.00	0.00	-2008.13
13	LOAD1	39.37	-324.29	15.42	0.00	0.00	0.00	-299.66



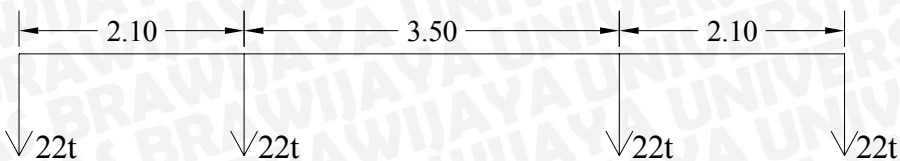
FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
14	LOAD1	79.35	-355.70	-31.52	0.00	0.00	0.00	741.39
15	LOAD1	39.37	77.57	85.41	0.00	0.00	0.00	-1614.31
16	LOAD1	79.35	-214.23	-10.90	0.00	0.00	0.00	891.77
17	LOAD1	39.37	-31.08	-11.21	0.00	0.00	0.00	214.87
18	LOAD1	91.57	-104.26	7.48	0.00	0.00	0.00	155.43
19	LOAD1	39.37	3.10	31.06	0.00	0.00	0.00	-424.93
20	LOAD1	46.96	-288.10	-5.60	0.00	0.00	0.00	453.72
21	LOAD1	81.69	-313.82	8.29	0.00	0.00	0.00	397.88
22	LOAD1	82.68	271.31	46.37	0.00	0.00	0.00	-2287.48
23	LOAD1	68.90	286.73	-40.74	0.00	0.00	0.00	818.99
24	LOAD1	68.90	-91.88	-21.93	0.00	0.00	0.00	1322.63
25	LOAD1	82.68	-192.76	16.86	0.00	0.00	0.00	-234.26



Lampiran 13. Beban hidup dermaga

Beban hidup pada dermaga	t/m ²
1 General Cargo	3
2 Barang-barang khusus misalnya untuk batubara, pasir besi	5
3 Untuk menampung muatan-muatan minyak, air, barang curah	2 - 4
4 Dermaga petikemas	
- Untuk penumpukan sementara	5
- Tidak untuk penumpukan sementara	1,5

Lampiran 14. Konfigurasi roda *Straddle Crane*



Lampiran 15. Pemilihan struktur balok tinggi

Bentang	Dimensi		BJ Beton (Ton/m ³)	Berat Balok (Ton/m)	Beban Terfaktor Balok (Ton/m)	Beban Terfaktor Plat (Ton/m)	Beban Terfaktor Total (Ton/m)
	b (m)	h (m)					
8 m	0.6	1.7	2.4	2.448	2.9376	41.3679	44.306
	0.6	1.6	2.4	2.304	2.7648	41.3679	44.133
	0.6	1.5	2.4	2.16	2.592	41.3679	43.960
	0.6	1.4	2.4	2.016	2.4192	41.3679	43.787

Bentang (l) = 8000 m

Bentang bersih (ln) = 7000 mm

Dimensi		Mu max kNm	Diameter Tulangan		Jumlah Tulangan	d mm	Mn kNm	ln/d mm
b (m)	h (m)		Lentur	Geser				
0.6	1.7	4149.47	25	16	18	1596.5	4166.0	4.384591
0.6	1.6	4135.94	25	16	18	1496.5	3890.3	4.677581
0.6	1.5	4122.41	25	16	18	1396.5	3614.7	5.012531
0.6	1.4	4108.88	25	16	18	1296.5	3339.0	5.399152

