

DESAIN DAN ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA

Penulis

Dr. Miftahul Iman, S.T., M.Eng.

Aminullah, S.T., M.T.

Dr. Ir. Drs. Edison Hatoguan Manurung, S.T., M.T., M.M., M.H.

Dr. Lisa Oksri Nelfia, S.T., M.T., M.Sc.

Dr. Ir. Pio Ranap Tua Naibaho, S.T., M.T.

Editor/Penyunting

Dr. Ir. Muslikh, M.Sc. M.Phil.

Cover & Layout

Indonesia Society of Steel Construction (ISSC)



Penerbit:

Gama Bakti Wahana

Jl. Jembatan Baru UGM, Sinduadi

Mlati, Sleman

Email: admin@gbwgroup.com

Cetakan 1, September 2024

xxiv + 320: 14.8 x 21 cm

ISBN : 978-623-8719-02-0

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha kuasa atas berkah dan rahmat-Nya sehingga buku **DESAIN & ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA** dapat terselesaikan. Buku ini disusun sesuai dengan perkembangan regulasi pelaksanaan konstruksi baja, salah satunya adalah Permen PUPR Nomor: 19/PRT/M/2015 tentang Standar dan Pedoman Pengadaan Pekerjaan Konstruksi Terintegrasi Rancang dan Bangun (*Design and Build*) sehingga lebih memudahkan produsen industri baja di Indonesia untuk mengetahui kebutuhan pasar.

Jalanan komunikasi yang baik antara pengguna dan penyedia jasa serta produsen baja dalam negeri agar pemanfaatan produk dalam negeri khususnya baja dapat berfungsi maksimal pada kue pembangunan infrastruktur di Indonesia. Permen ini dibuat agar penyelenggaraan jasa konstruksi dalam merencanakan penggunaan baja pada sebuah proyek dapat lebih efektif dan efisien.

Permasalahan hulu-hilir industri baja dalam negeri harus diselesaikan bersama dengan melepaskan ego sektoral, berkonsolidasi guna mengamankan industri baja nasional. Dukungan pemerintah berupa SNI, penataan bea impor, kebijakan TKDN, *tax allowance*, serta peningkatan penyerapan produk baja terutama untuk proyek pemerintah yang menggunakan APBN diharapkan dapat menggerakkan industri baja nasional untuk tetap terus bertumbuh.

ISSC dan Perguruan Tinggi mewujudkan terbitnya buku ini dan tentu saja apresiasi untuk penulis. Buku ini diharapkan mampu memotivasi para akademisi, praktisi dan masyarakat baja di Indonesia. Sekali lagi terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pihak yang berkepentingan dan menciptakan budaya dan iklim penelitian yang ilmiah. Amin.

Jakarta, September 2024
Direktur Kelembagaan dan Sumber Daya Konstruksi
Kementerian PUPR

Ir. Nicodemus Daud, M.Si.



Syukur Alhamdulillah, dengan rahmat dan hidayah-Nya, kami telah merampungkan penulisan dan penyusunan buku ini sebagai panduan bagi mahasiswa dan dosen. Terima kasih kepada para penulis, penerbit dan ISSC yang telah memberikan dukungan dan bantuan materiil, sehingga penerbitan buku ini dapat dirampungkan sesuai waktunya.

Universitas Janabadra Jogjakarta adalah salah satu Universitas yang memiliki tugas mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan pada preambule UUD-RI. Bertolak dari itu, maka Universitas Janabadra dalam membangun sumber daya manusia, selain mendidik, kegiatan penelitian tetap menjadi program prioritas dalam upaya pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, yang kemudian hasil penelitian itu diimplementasikan kepada masyarakat, itulah yang disebut sebagai Pengabdian pada Masyarakat.

Buku adalah piranti penting yang harus dimiliki oleh dosen dan mahasiswa. Saya menyambut baik karya tulis kolaborasi ISSC dan dosen tentang **DESAIN & ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA** untuk itu saya ucapkan selamat atas karya ini, dan berterima kasih karena telah menambah pustaka yang berarti bagi dunia perguruan tinggi, tidak hanya dimanfaatkan oleh Universitas Janabadra saja tetapi seluruh perguruan tinggi dan masyarakat Indonesia. Team 9 Universitas menjadi wadah pengembangan dunia konstruksi baja di tanah air. Dalam hal ini ISSC sebagai asosiasi rantai pasok yang terakreditasi oleh LPJK mengambil peran yang sangat strategis.

Buku ini akan memotivasi dosen dan mahasiswa untuk berpacu dalam menciptakan karya ilmu pengetahuan dan teknologi rancang bangun konstruksi baja. Disadari bahwa membangun bangsa dan negara diperlukan pemikir-pemikir yang cerdas, arif dan bijaksana, oleh karenanya tidak berlebihan dikatakan bahwa sesungguhnya Perguruan Tinggi adalah “*think-tank*” negara. Tanggung jawab ini mendorong saya agar kolaborasi ISSC dengan Perguruan Tinggi semakin signifikan sumbangsihnya pada pembangunan Indonesia. Akhirnya, kita sebagai ciptaan Tuhan Yang Maha Esa harus berperan dalam memanusiakan manusia lain.

Yogyakarta, September 2024
Rektor Universitas Janabadra

Dr.Risdiyanto, ST, MT



Puji syukur senantiasa disampaikan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas perkenan-Nya telah memberikan karunia-Nya berupa kesehatan dan kelapangan berpikir kepada kita semua. Saya selaku Rektor Universitas Mpu tantular menyambut baik dan memberi apresiasi kepada penyusun yang telah merampungkan buku ini. Menulis buku adalah kegiatan mulia yang merupakan bagian dari Tri Dharma Perguruan Tinggi. Penulis dengan berbagai cara dan pendekatan sehingga buku **DESAIN & ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA** dapat terbit. Selain meningkatkan kapasitas profesional, dosen dan praktisi yang menulis ini juga berniat untuk memberikan gambaran baru sebagai temuan penelitian yang berguna bagi kehidupan; bagi pengembangan ilmu dan masyarakat pada umumnya.

Kehadiran buku ini, sebagai sebuah pendekatan dalam merancang dan melaksanakan konstruksi baja bersama masyarakat, sejatinya turut memperkaya ragam pendekatan dalam dunia rancang baja di Indonesia. Buku **DESAIN & ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA** memayungi ragam perencanaan konstruksi baja yang melibatkan dan atau dilaksanakan bersama-sama dengan Team 9 Universitas dan ISSC. Kehadiran buku ini merupakan langkah maju bagi kolaborasi akademisi dengan ISSC.

Melalui buku ini, sejumlah dosen dan praktisi berkolaborasi untuk belajar bersama mengenai pendekatan maupun cara dalam merencanakan konstruksi baja. Atas dukungan ISSC tersebut, kemudian dan atas dukungan proyek mengembangkan ilmu yang telah didapat; melalui seminar, *International Guest Lecturers TRISEP 2024*. Buku ini menjadi bagian dari pengarusutamaan Team 9 Universitas dengan ISSC. Buku ini ditulis bersama-sama melalui serangkaian kegiatan yang didukung dan difasilitasi oleh ISSC. Atas kerja keras dan dedikasinya, saya mengucapkan terimakasih kepada para penulis yang secara khusus berkontribusi pada terwujudnya buku ini. Kami mengucapkan terima kasih atas perhatian semua pihak, kami harapkan dengan adanya buku ini, publikasi karya ilmiah dosen jauh lebih meningkat baik secara kuantitas dan juga kualitas.

Jakarta, September 2024
Rektor, Universitas Mpu Tantular

Prof. Dr. Ratlan Pardede



Syukur Alhamdulillah kepada Allah subhana wa taala atas lindungan dan Rahmat-Nya karena Team 9 Universitas dan ISSC kembali mampu menambah koleksi produk pengetahuan yang lebih aplikatif, yakni buku **DESAIN & ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA** yang merancang dan melaksanakan penelitian bersama komunitas. Buku yang dihasilkan dari serangkaian kajian tentang *rancang bangun konstruksi baja*, ini diharapkan bisa memperkaya khazanah pendekatan dan metode penelitian dalam penguatan konstruksi baja yang lebih update sebagai kemitraan antara dunia akademisi dengan praktisi. Semoga pencapaian ini bisa menjadi langkah baik untuk menuju Indonesia maju yang semakin dekat dan berbaur dengan masyarakat konstruksi baja sebagai *community engaged university dengan ISSC*.

Kehadiran buku ini juga merupakan perwujudan dari penterjemahan rencana strategis (Renstra) kemitraan ISSC dengan Team 9 Universitas. Renstra team 9 Universitas merupakan cikal bakal dan induk bagi pengembangan kemitraan team 9 universitas dengan Masyarakat baja Indonesia (ISSC). Desain struktur baja yang dijabarkan dalam buku ini diharapkan akan memperkuat dan memperkaya ragam pendekatan penelitian dalam mengantarkan masyarakat baja sebagai subyek yang aktif dan kreatif.

Dengan demikian kehadiran buku ini seyogyanya diapresiasi agar dapat mendorong insan-insan kampus untuk terus vmengembangkan pendekatan dalam melakukan *community engagement*. Secara teknis buku ini diharapkan dapat memudahkan kerja dosen, mahasiswa, dan masyarakat baja Indonesia dalam merancang dan melaksanakan penelitian yang dilakukan bersama masyarakat. Ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada ISSC yang telah memberi dukungan penuh atas lahirnya buku ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para penulis dan semua pihak yang sudah berkenan mengorbankan waktu, perhatian, dan sumberdaya untuk kemajuan kolaborasi Team 9 universitas dengan Asosiasi Indonesia Society of Steel Construction (ISSC) secara umum, dan pengembangan ragam metodologi penelitian di kampus dan Masyarakat secara khusus.

Jakarta, September 2024
Rektor Universitas Trisakti,

Prof.Dr.Ir.Kadarsah Suryadi, DEA



Assalamualaikum Wr Wb.

Puji syukur penulisan buku ke-2 ISSC dengan judul **DESAIN & ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA** dapat berjalan dengan baik dan kita panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya, shalawat serta salam semoga tercurah kepada Rasulullah SAW. Adapun tujuan dari penyusunan buku ini adalah untuk memenuhi visi misi ISSC dan tentu sebagai pengejawantahan ISSC sebagai Asosiasi rantai pasok yang terakreditasi.

Dengan terbitnya buku ini diharapkan kolaborasi akademisi dan praktisi semakin mesra, dan juga sebagai turunan dari kurikulum MBKM. Fokus penulisan buku ini adalah terjadinya proses disain konstruksi baja sampai manfaat bagi masyarakat. Hal ini sejalan dengan pendekatan yang dikembangkan dalam disain buku ini, yaitu verifikasi numerik untuk berbagai struktur baja seperti off shore, Menara, jembatan, baja ringan Dimana selalu memperhatikan sambungan, disain batang tekan, batang Tarik struktur rangka dan bahkan historis dari rangka baja.

Tentu saya selaku ketua ISSC sangat mengapresiasi penerbitan buku ini, untuk itu terimakasih kepada para penulis, penerbit, dan tak lupa juga apresiasi saya kepada para pimpinan universitas yang memberikan sabutan dalam buku ini. Semoga kedepan ISSC dapat berkolaborasi lebih baik. Aamiin.

Jakarta, September 2024
Ketua Umum ISSC

H. Budi Harta Winata

SEJARAH PEMBENTUKAN ISSC

Indonesian Society of Steel Construction atau dalam istilah Indonesia Masyarakat Baja Konstruksi Indonesia merupakan salah satu wadah dari masyarakat yang peduli terhadap perkembangan dan kemajuan dunia konstruksi baja di Indonesia. Berdirinya organisasi ini diprakarsai oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang dalam hal ini didukung penuh oleh Kementerian Perindustrian dan kalangan industri, kontraktor, konsultan, praktisi, serta pihak akademisi.

Diawali dengan kerjasama kegiatan pengiriman insinyur baja untuk studi ke Jepang pada tahun 2016 melalui kerjasama antara The Human Resources and Industry Development Association (HIDA) mewakili Jepang dengan Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI) yang untuk selanjutnya tongkat estafet diserahkan kepada Asosiasi Masyarakat Baja Indonesia (AMBI). Pada kerjasama lanjutan ini, pihak HIDA Jepang menyerahkan kelanjutan program dengan Indonesia kepada Japan International Cooperation Agency (JICA) yang didukung oleh Japanese Society of Steel Construction (JSSC). kolaborasi baru antara JICA, JSSC dengan AMBI menemui persoalan kompleks dalam dunia konstruksi baja di Indonesia, dimana persoalan ini menuntut pihak pemangku kebijakan negara harus ikut turun tangan.

Maka akhirnya diinisiasi pertemuan antara pihak Jepang yang diwakili delegasi JICA & JSSC untuk menggelar pertemuan dengan pemangku kebijakan negara yang disini adalah Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat oleh AMBI. Dalam perjalanannya, dirumuskanlah mengenai pembentukan sebuah wadah organisasi yang berisikan seluruh elemen konstruksi baja di Indonesia. Maka pada hari Rabu, tanggal 12 bulan September 2018 dideklarasikan pembentukan Indonesian Society of Steel Construction atau Masyarakat Baja Konstruksi Indonesia yang kemudian dikenal dengan ISSC bertempat di ruang Rapat Utama Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan telah disetujui oleh semua pihak.

HISTORY OF ESTABLISHING ISSC

ISSC is a forum for communities that care about the development of Indonesian steel construction. The establishment of this organization was initiated by the Ministry of Public Works and Housing which in this case is fully supported by the Ministry of Industry and the steel industries, contractors, consultants, practitioners and academics

Starting from the collaboration of Japanese study activities for Indonesian steel engineers in 2016 through collaboration between the Human Resources and Industry Development Association (HIDA) and the Indonesian Construction Experts Association (HAKI), which subsequently was handed over to the Indonesian Steel Society Association (AMBI) In this continued collaboration, the Japanese HIDA handed over the continuation of the program with Indonesia to the Japan International Cooperation Agency (JICA) which was supported by the Japanese Society of Steel Construction (JSSC). Then a new collaboration between JICA, JSSC and AMBI encountered a complex problem in the world of steel construction in Indonesia, where this issue requires the state stakeholders to intervene.

Then a meeting was held between the JICA delegation and the JSSC with the Ministry of Public Works and Public Housing that initiated by AMBI. Until finally, it was agreed to establish an organization that contained all elements of steel construction in Indonesia. Then on Wednesday, September 12th 2018, the establishment of the Indonesian Society of Steel Construction was announced, which became known as the ISSC in the Main Meeting Room of the Directorate General of Bina Konstruksi of the Ministry of Public Works and Public Housing and was approved by all parties.

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul	i
Kata Pengantar	ii
Daftar isi	ix
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Lambang dan Singkatan	xxii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Historis	1
1.2. Profil Baja	6
1.2.1 Baja canai panas	7
1.2.2 Baja ringan	9
1.3. Sifat Material Baja	11
1.3.1 Sifat kimia	11
1.3.2 Sifat fisik	13
1.3.3 Sifat mekanik	16
1.3.4 Propertis baja ringan	20
1.4. Metode Desain	21
1.4.1 Desain Tegangan Ijin (DTI)	21
1.4.2 Desain Faktor Beban Kerja (DFBK)	21
BAB 2. STRUKTUR RANGKA	23
2.1 Konsep Dasar dan Filosofi	23
2.2 Tipe Struktur Rangka	24
2.2.1 Struktur kuda-kuda atap	24
2.2.2 Struktur jembatan rangka baja	26
2.2.3 Struktur menara	28
2.2.4 Struktur derek	31
2.2.5 Struktur pengeboran minyak	32
2.3 Analisis Pembebanan	36
2.3.1 Beban mati	36
2.3.2 Beban hidup	38
2.3.3 Beban angin	38

2.4	Analisis Struktur	40
2.4.1	Analisis titik buhul	40
2.4.2	Metode Cremona	41
2.4.3	Metode potongan	42
2.4.4	Metode kekakuan langsung	43
2.4.5	Metode elemen hingga	46
Bab 3.	DESAIN GORDING	53
3.1	Filosofi Desain	54
3.2	Jenis Profil	56
3.3	Kapasitas Momen Lentur	58
3.3.1	Kriteria leleh	61
3.3.2	Tekuk lateral torsi	62
3.3.3	Tekuk lokal pada kaki	67
3.4	Lendutan	68
Bab 4.	DESAIN BATANG TARIK	71
4.1	Profil Batang Tarik	71
4.2	Kapasitas Tarik	72
4.3	Kriteria Desain	74
4.3.1	Kriteria leleh	75
4.3.2	Kriteria putus	75
4.4	Metode Desain Batang Tarik	84
4.4.1	Desain tegangan ijin	84
4.4.2	Desain faktor beban kerja	85
4.5	Contoh Kasus Elemen Tarik	85
Bab 5	DESAIN BATANG TEKAN	90
5.1	Angka Kelangsingan	91
5.2	Formula Euler	92
5.3	Kapasitas Tekan	100
5.4	Metode Desain Batang Tekan	101
5.3.1	Desain tegangan ijin	101
5.3.2	Desain faktor beban kerja	101
5.5	Contoh Kasus Elemen Tekan	101

Bab 6	SAMBUNGAN	104
6.1	Sambungan Las	104
6.1.1	<i>Fillet welding</i>	106
6.1.2	<i>Groove welding</i>	108
6.2	Sambungan Baut	111
6.2.1	Kekuatan sambungan baut	114
6.2.2	Kombinasi tarik-geser tipe tumpu	115
6.2.3	Baut mutu tinggi kritis-slip	116
6.3	Contoh Kasus Sambungan Baut	117
 Bab 7	 STRUKTUR RANGKA ATAP BAJA	 131
7.1	Struktur Rangka Atap Baja Tipe Howie	131
7.1.1	Perhitungan panjang elemen	132
7.1.2	Analisis pembebanan	134
7.1.3	Desain gording	135
7.1.4	Beban penutup atap	152
7.1.5	Beban gording	152
7.1.6	Berat sendiri	153
7.2	Pemodelan Numerik Rangka Atap Baja	154
7.2.1	Menentukan koordinat	154
7.2.2	Idealisasi elemen rangka	155
7.2.3	Input pembebanan pada model	155
7.3	Rekapitulasi Beban	170
7.3.1	Rekapitulasi beban mati sementara	170
7.3.2	Beban alat sambung	170
7.3.3	Estimasi beban kuda-kuda	171
7.3.4	Rekapitulasi beban mati terkoreksi	176
7.3.5	Gaya dalam terkoreksi	176
7.4	Analisis Struktur Batang	177
7.4.1	Analisis batang tarik	177
7.4.2	Analisis batang tekan	180
7.5	Analisis Sambungan Baut	184
7.5.1	Data sambungan	184
7.5.2	Jarak baut	185
7.5.3	Kekuatan geser baut	187
7.5.4	Kekuatan tumpu total	190
7.5.5	Kapasitas kuat geser blok	191
7.5.6	Cek jumlah baut	193

Bab 8	STRUKTUR ATAP BAJA RINGAN	195
8.1	Analisis Struktur Atap Baja Ringan Tipe Fink	195
8.1.1	Analisis pembebanan	195
8.1.2	Analisis gaya batang	198
8.2	Desain Batang	199
8.2.1	Desain batang tarik	199
8.2.2	Desain batang tekan	203
8.3	Verifikasi numerik	209
8.3.1	Model numerik atap baja ringan tipe Fink	209
8.3.2	Input pembebanan	210
8.3.3	Hasil analisis numerik	211
 Bab 9	 STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA	 214
9.1	Data Jembatan	214
9.2	Perhitungan <i>Deck</i> dan <i>Trotoir</i>	214
9.2.1	Analisis muatan	215
9.2.2	Beban sementara	216
9.2.3	Analisis momen pada deck (<i>self-weight</i>)	219
9.2.4	Analisis momen pada trotoir	220
9.3	Analisis Intensitas Momen Beban Angin	220
9.4	Desain Gelagar	222
9.4.1	Analisis pembebanan gelagar	222
9.4.2	Desain gelagar memanjang	222
9.4.3	Desain gelagar melintang	223
9.5	Perhitungan Tambatan Angin	225
9.6	Analisis Dimensi Profil	234
9.6.1	Batang tepi atas	243
9.6.2	Batang tepi bawah	244
9.6.3	Batang diagonal	245
9.7	Perletakan	247
9.7.1	Dimensi blok landasan	248
9.7.2	Perletakan rol	250
9.7.3	Perletakan sendi	250
9.8	Kontrol Lendutan dan Berat Konstruksi	253
9.8.1	Kontrol lendutan	253
9.8.2	Kontrol berat konstruksi	255

Bab 10	STRUKTUR MENARA	258
10.1	Analisis Pembebanan	259
10.1.1	Analisis beban gravitasi	259
10.1.2	Analisis beban angin	261
10.1.3	Analisis beban gempa	265
10.1.4	Kombinasi pembebanan	267
10.2	Analisis Elemen Struktur	268
10.2.1	Analisis Elemen Tarik	268
10.2.2	Analisis Elemen Tekan	270
10.3	Verifikasi Numerik	271
10.3.1	Model numerik	273
10.3.2	Input beban numerik <i>tower</i>	274
10.3.3	Hasil analisis numerik menara	279
 BAB 11	 OFF SHORE STRUCTURE	 282
11.1	<i>Derrick Structure</i>	282
11.1.1	Analisis pembebanan <i>derrick</i>	283
11.1.2	Kombinasi beban <i>derrick</i>	287
11.1.3	Analisis elemen <i>derrick</i>	288
11.1.4	Verifikasi numerik struktur <i>derrick</i>	292
11.2	<i>Offshore Structure Tipe Jacket</i>	299
11.2.1	Analisis pembebanan <i>off shore structure</i>	301
11.2.2	Analisis struktur <i>off shore</i>	302
11.2.3	Analisis elemen <i>off shore structure</i>	306
11.2.4	Verifikasi numerik <i>off shore structure</i>	310

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Propertis mekanis baja ringan lembaran	20
Tabel 7.1	Rekapitulasi panjang elemen	134
Tabel 7.2	Koefisien tekanan dinding, C_p	166
Tabel 7.3	Rekapitulasi beban elemen rangka	175
Tabel 7.4	Gaya batang maksimum terkoreksi	177
Tabel 7.5	Rekapitulasi analisis elemen tarik	180
Tabel 7.6	Rekapitulasi analisis elemen tekan	184
Tabel 9.1	Kombinasi pembebanan jembatan	241
Tabel 9.2	Dimensi dan kapasitas kekuatan elastomer	248
Tabel 9.3	Nilai W Muller-Breslin	251
Tabel 9.4	Rekapitulasi gaya batang jembatan	254
Tabel 10.1	<i>Force Coefficients (C_a) for Appurtenances</i>	264
Tabel 10.2	Gaya geser dasar	279
Tabel 11.1	Luas bersih permukaan (A_f)	285
Tabel 11.2	Gaya batang struktur <i>derrick</i>	288
Tabel 11.3	Batas lendutan	304

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Pedang Damaskus	2
Gambar 1.2	Henry Bessemer	2
Gambar 1.3	William Kelly	3
Gambar 1.4	Jembatan Coalbrookdale	4
Gambar 1.5	William Le Baron Jenny	5
Gambar 1.6	Alexandre Gustave Eiffel	5
Gambar 1.7	Rand-McNally	6
Gambar 1.8	Profil yang digunakan untuk elemen balok	7
Gambar 1.9	Profil yang digunakan untuk elemen kolom	8
Gambar 1.10	Profil yang digunakan untuk struktur rangka	9
Gambar 1.11	Profil baja ringan	10
Gambar 1.12	Penutup atap baja ringan	10
Gambar 1.13	Berat sendiri berdasarkan tabel profil	13
Gambar 1.14	Berat jenis input propertis material	14
Gambar 1.15	Kurva tegangan-regangan baja	16
Gambar 1.16	Spesimen uji tarik baja	17
Gambar 1.17	Spesimen baja ASTM E-8M	17
Gambar 1.18	Mesin uji tarik UTM	18
Gambar 2.1	Parameter batang rangka	23
Gambar 2.2	Tipe struktur rangka baja untuk atap	25
Gambar 2.3	Tipe rangka atap baja ringan	25
Gambar 2.4	Tipe jembatan rangka baja	26
Gambar 2.5	Menara BTS	28
Gambar 2.6	Jenis menara BTS	29

Gambar 2.7	Komponen menara derek	31
Gambar 2.8	<i>Steel jacket offshore structure</i>	33
Gambar 2.9	<i>Onshore derrick structure</i>	34
Gambar 2.10	<i>Standard derrick</i>	35
Gambar 2.11	Tipe beban angin	39
Gambar 2.12	Prinsip metode titik buhul	41
Gambar 2.13	Metode Cremona	42
Gambar 2.14	Metode potongan	42
Gambar 2.15	Metode kekakuan langsung	46
Gambar 2.16	Elemen rangka	46
Gambar 2.17	Sistem koordinat natural	47
Gambar 2.18	Diagram gaya batang	51
Gambar 2.19	Hasil analisis gaya batang	52
Gambar 3.1	Gording	53
Gambar 3.2	Profil gording	57
Gambar 3.3	Profil reng gording baja ringan	57
Gambar 3.4	Kriteria desain balok	58
Gambar 3.5	Profil baja siku L65x65x8	60
Gambar 3.6	Tabel profil baja siku L65x65x8	60
Gambar 3.7	Model balok gording	64
Gambar 3.8	Vektor gaya gording	64
Gambar 4.1	Profil batang tarik	72
Gambar 4.2	Profil batang tarik struktur rangka	73
Gambar 4.3	Data geometrik L70x70x6	74
Gambar 4.4	Profil baja siku dengan baut	76
Gambar 4.5	Luas efektif penampang melintang	78

Gambar 4.6	Tabel D3.1 nilai <i>shear leg factor</i>	80
Gambar 4.7	Parameter <i>U</i> tipe sambungan baut	82
Gambar 4.8	Parameter <i>U</i> tipe sambungan las	83
Gambar 4.9	Sambungan las untuk pelat	84
Gambar 4.10	Tabel profil 60x60x5	87
Gambar 4.11	Profil L60x60x5 dan lubang baut	89
Gambar 4.12	Dimensi lubang baut nominal	89
Gambar 5.1	Kegagalan tekuk pada elemen tekan	92
Gambar 5.2	Nilai <i>K</i> dan beban kritis (P_{cr})	94
Gambar 5.3	Model tekuk Euler	95
Gambar 5.4	Leonhard Euler (1707-1783)	95
Gambar 6.1	Tipe sambungan las	107
Gambar 6.2	Kerusakan geser pada jalur las <i>fillet</i>	108
Gambar 6.3	Penempatan <i>fillet welding</i>	110
Gambar 6.4	Sambungan las alur (<i>groove welding</i>)	111
Gambar 6.5	Contoh 1 sambungan las <i>fillet</i>	111
Gambar 6.6	Sistem sambungan baut rangka atap	113
Gambar 6.7	Sambungan baut sentris	114
Gambar 6.8	Sambungan perpanjangan batang	115
Gambar 6.9	Kapasitas tarik baut	115
Gambar 6.10	Kapasitas geser baut	116
Gambar 6.11	Contoh sambungan baut	119
Gambar 6.12	Contoh 4 sambungan baut	122
Gambar 6.13	Contoh 6 sambungan baut	127
Gambar 7.1	Struktur rangka atap baja tipe <i>Howie</i>	133
Gambar 7.2	Identifikasi elemen rangka	134

Gambar 7.3	Proyeksi vektor beban gording	137
Gambar 7.4	<i>Tributary area</i>	138
Gambar 7.5	Idealisasi pembebanan gording	141
Gambar 7.6	<i>Bending Moment Diagram gording</i>	143
Gambar 7.7	Modulus penampang profil baja kanal	144
Gambar 7.8	Propertis geometrik baja kanal	148
Gambar 7.9	<i>Bending Momen Diagram</i>	152
Gambar 7.10	<i>Equivalent joint load</i>	154
Gambar 7.11	Input jumlah dan panjang grid	156
Gambar 7.12	Input panjang batang vertikal	156
Gambar 7.13	Model numerik rangka 2D	157
Gambar 7.13	Model numerik rangka 2D	157
Gambar 7.14	Beban angin kiri	159
Gambar 7.15	Beban angin kanan	160
Gambar 7.16	Koefisien faktor arah angin (K_d)	161
Gambar 7.17	Faktor topografi (K_{zt})	162
Gambar 7.18	Faktor elevasi permukaan tanah (K_e)	163
Gambar 7.19	SPGU untuk bangunan tertutup	164
Gambar 7.20	Koefisien tekanan internal	165
Gambar 7.21	Sistem penahan gaya angin utama	166
Gambar 7.22	Model numerik beban angin	171
Gambar 7.23	Model rangka baja tanpa profil	173
Gambar 7.24	Definisi beban yang bekerja	174
Gambar 7.25	<i>Running analysis</i>	174
Gambar 7.26	Kombinasi pembebanan	175
Gambar 7.27	Gaya batang maksimum	175

Gambar 7.28	L70x70x6 dengan lubang baut	180
Gambar 7.29	Join sambungan	187
Gambar 7.30	Jarak tepi minimum	189
Gambar 7.31	Dimensi baut	190
Gambar 7.32	Geser blok	193
Gambar 8.1	Kuda-kuda atap baja ringan	197
Gambar 8.2	Gaya normal akibat beban kombinasi	200
Gambar 8.3	Penampang profil C75-0,75	205
Gambar 8.4	Model numerik atap tipe Fink	211
Gambar 8.5	Input pembebanan numerik	212
Gambar 8.6	<i>Cold formed steel parameter-AISI</i>	213
Gambar 8.7	<i>Load combination input-AISI</i>	213
Gambar 8.8	<i>Analysis results-ASD AISI</i>	214
Gambar 8.9	<i>Detail analysis results-ASD AISI</i>	215
Gambar 9.1	Jembatan rangka baja	216
Gambar 9.2	Tabel faktor momen metode Bittner	219
Gambar 9.3	Ilustrasi beban angin pada roda	222
Gambar 9.4	Tambatan angin atas	227
Gambar 9.5	<i>Freebody</i> tambatan angin	228
Gambar 9.6	Tambatan angin bawah dengan beban	229
Gambar 9.7	Pola beban angin tambatan bawah	229
Gambar 9.8	Propertis geometrik profil siku simetri	230
Gambar 9.9	Pola beban angin tambatan atas	232
Gambar 9.10	Panjang elemen tekan	234
Gambar 9.11	Model jembatan 2-D	236
Gambar 9.12	Proyeksi beban mati jembatan	239

Gambar 9.13	Vektor beban hidup lantai jembatan	240
Gambar 9.14	Proyeksi beban hidup jembatan	242
Gambar 9.15	Gaya batang pada jembatan	243
Gambar 9.16	Standar desain jembatan model numerik	244
Gambar 9.17	Cek desain model struktur jembatan	244
Gambar 9.18	Reaksi tumpuan struktur jembatan	250
Gambar 9.19	Perletakkan struktur jembatan	254
Gambar 9.20	3D-model numerik jembatan	255
Gambar 9.21	Diagram gaya batang pada jembatan	257
Gambar 10.1	Struktur menara BTS	260
Gambar 10.2	Proyeksi beban angin pada antenna	262
Gambar 10.3	Parameter gerak tanah S_s ,	268
Gambar 10.4	Spektrum respon desain	269
Gambar 10.5	Cek desain model menara BTS	274
Gambar 10.6	Hasil analisis elemen tekan	274
Gambar 10.7	3D- <i>truss</i> BTS <i>tower model</i>	275
Gambar 10.8	Perbandingan model tower 2D dan 3D	276
Gambar 10.9	Model pembebanan gravitasi pada menara	277
Gambar 10.10	Model beban angin pada menara	278
Gambar 10.11	Definisi pembebanan numerik	278
Gambar 10.12	Input koefisien seismik	279
Gambar 10.13	Nilai R , C_d , dan Ω_0	280
Gambar 10.14	Deformasi seismik statik ekuivalen	280
Gambar 10.15	Analisis numerik elemen tarik	282
Gambar 10.16	Analisis numerik elemen tekan	282
Gambar 11.1	<i>Derrick structure prototype</i>	285

Gambar 11.2	Pemodelan beban gravitasi	286
Gambar 11.3	Pemodelan beban angin	289
Gambar 11.4	3D- <i>truss derrick model</i>	294
Gambar 11.5	NFD- <i>derrick structure model</i>	295
Gambar 11.6	Standar desain struktur <i>derrick</i>	296
Gambar 11.7	<i>Steel stress check information</i>	297
Gambar 11.8	<i>Steel section check</i>	297
Gambar 11.9	Pola tekuk numerik struktur <i>derrick</i>	298
Gambar 11.10	3D-solid dengan lubang baut	299
Gambar 11.11	<i>Prototipe off-shore structure</i> Bekapai	300
Gambar 11.12	Penampang pipa baja	301
Gambar 11.13	Kurva <i>time-history</i>	306
Gambar 11.14	Kurva S-N untuk join tubular	307
Gambar 11.15	Diagram gaya normal <i>off shore structure</i>	308
Gambar 11.16	Model 3D- <i>truss off shore structure</i>	311
Gambar 11.17	Respon gempa dinamik	311
Gambar 11.18	Deformasi kombinasi beban seismik	312
Gambar 11.19	Cek desain struktur API RP WSD	313
Gambar 11.20	API-RP WSD 2000 <i>steel section analysis</i>	314
Gambar 11.21	<i>Freebody</i> elemen tekan	316
Gambar 11.22	Uji tekuk eksperimental	318
Gambar 11.23	Solusi tekuk nonlinier P - δ	319
Gambar 11.24	<i>Equilibrium path</i>	319
Gambar 11.25	Perbandingan kurva nonlinier	320
Gambar 11.26	Komparasi model tekuk	320

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

A	: luas
A_g	: luas bruto
A_n	: luas netto
A_e	: luas efektif
$\{D\}$	: vektor displasemen
d_b	: diameter baut
d_h	: diameter lubang baut
E_s	: modulus elastisitas baja
F_{cr}	: tegangan kritis
F_e	: tegangan tekuk
F_y	: tegangan leleh
F_u	: tegangan ultimit
G	: modulus geser
h_g	: tinggi gelagar kepala
I_y	: momen inersia arah-y
I_z	: momen inersia arah-z
J	: momen inersia puntir
$[K]$	: matriks kekakuan
K	: konstanta tumpuan
k	: faktor kejut
L	: panjang
L_e	: panjang tekuk
l_k	: panjang elemen
OD	: Diameter luar
ID	: Diameter dalam

P : beban
 P_a : beban aktual
 P_e : beban tekuk
 P_n : beban nominal
 P_u : beban ultimit
 Q : beban merata
 r : jari-jari kelengkungan
 s_I : jarak antara baut
 T : Torsi
 t : tebal
 Z_x : momen plastis arah- x
 α : sudut kemiringan atap
 β : sudut luar
 δ : lendutan
 ε : regangan
 π : phi = 3,141592654...
 θ : rotasi
 λ : angka kelangsingan
 ν : rasio Poisson
 ρ : massa jenis
 σ : tegangan
 τ : tegangan geser

AISC : American Institute Steel Construction

ANSI : American National Standard Institute

ASD : Allowable Strength Design

API : American Petroleum Institute

DTI : Desain Tegangan Ijin

DFBK : Desain Faktor Beban Kerja

LRFD : Load Resistance Factor Design

SMAW: Shields Metal Arch Welding