



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Teknik Konstruksi Baja

Pedagogik : Penelitian Tindakan Kelas
Profesional : Merancang Sambungan Struktur Konstruksi Baja

KELOMPOK
KOMPETENSI





MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Teknik Konstruksi Baja

Penyusun :

**Nursamsi, ST., MT
USU Medan
njnirsyamsi@gmail.com
08126527197**

Reviewer :

**Prof. Dr. Ing. Johannes Tarigan
USU Medan
johannes.tarigan@usu.ac.id
0811604853**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
PUSAT PENGEMBANGAN DAN PEMBERDAYAAN
PENDIDIK DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK
MEDAN
2016**



KATA PENGANTAR

Profesi guru dan tenaga kependidikan harus dihargai dan dikembangkan sebagai profesi yang bermartabat sebagaimana diamanatkan Undang-undang Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen. Hal ini dikarenakan guru dan tenaga kependidikan merupakan tenaga profesional yang mempunyai fungsi, peran, dan kedudukan yang sangat penting dalam mencapai visi pendidikan 2025 yaitu “Menciptakan Insan Indonesia Cerdas dan Kompetitif”. Untuk itu guru dan tenaga kependidikan yang profesional wajib melakukan pengembangan keprofesian berkelanjutan.

Pedoman Penyusunan Modul Diklat Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan Bagi Guru dan Tenaga Kependidikan merupakan petunjuk bagi penyelenggara pelatihan di dalam melaksanakan pengembangan modul. Pedoman ini disajikan untuk memberikan informasi tentang penyusunan modul sebagai salah satu bentuk bahan dalam kegiatan pengembangan keprofesian berkelanjutan bagi guru dan tenaga kependidikan.

Pada kesempatan ini disampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi secara maksimal dalam mewujudkan pedoman ini, mudah-mudahan pedoman ini dapat menjadi acuan dan sumber informasi bagi penyusun modul, pelaksanaan penyusunan modul, dan semua pihak yang terlibat dalam penyusunan modul diklat PKB.

Jakarta, Agustus 2015
Direktur Jenderal Guru dan
Tenaga Kependidikan,

Sumarna Surapranata, Ph.D,
NIP 19590801 198503 1002

DAFTAR ISI

A. Pendahuluan	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi	3
D. Ruang Lingkup	4
E. Saran Cara Menggunakan Modul	5
Pembelajaran 1 Merancang Sambungan Struktur Pada Konstruksi Baja	
A. Tujuan Pembelajaran	6
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	6
C. Uraian Materi	6
C. I. Sambungan Paku Keling	7
C. I. I. Bagian Utama Paku Keling	8
C. I. II. Jenis Paku Keling Berdasarkan Bentuk	9
C. I. III. Jenis Paku Keling Berdasarkan Pembebanan	10
C. I. IV. Proses Pemasangan Paku Keling	10
C. I. V. Paku Keling Dibandingkan dengan Baut Mutu Tinggi	13
C. II. Sambungan Baut	14
C. II. I Jenis-jenis Baut	16
C. II. II Keuntungan Sambungan Baut	17
C. II. III Jenis-jenis Sambungan Baut	18
C. II. IV Perencanaan Sambungan Baut	20
C. II. V Perhitungan Sambungan Baut	23
C. III. Sambungan Las	27
C. III. I. Metode Pengelasan	29
C. III. II. Jenis Sambungan Las	33
C. III. III. Jenis Las	36
C. III. IV. Faktor yang Mempengaruhi Mutu Sambungan Las	37
C. IV. Kerusakan yang Biasa Terjadi Pada Struktur Baja	40
D. Aktifitas Pembelajaran	43
E. Latihan/Kasus/Tugas	46
F. Rangkuman	47

G. Umpan balik dan tindak lanjut	48
Pembelajaran 2 Mengevaluasi Model Proyek Konstruksi Baja	
A. Tujuan Pembelajaran	50
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	50
C. Uraian Materi	50
C. I. Struktur Rangka Batang	51
C. II. Prinsip – prinsip Umum Rangka Batang	51
C. III. Bentuk-bentuk Rangka Batang	54
C. IV. Analisa Rangka Batang	56
C. IV. I. Analisa Desain Rangka Batang	61
C. IV. II. Konfigurasi Rangka Batang	62
C. IV. III. Tinggi Rangka Batang	65
C. V. Masalah-masalah pada Desain Elemen	66
C. VI. Rangka Batang Bidang dan Rangka Batang Ruang	68
C. VII. Rangka Batang pada Struktur Balok	69
D. Aktivitas Pembelajaran	73
E. Latihan/Kasus/Tugas	74
F. Rangkuman	75
G. Umpan balik dan tindak lanjut	75
Pembelajaran 3 Merancang Konstruksi Baja dengan Software (SAP2000)	
A. Tujuan Pembelajaran	77
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	77
C. Uraian Materi	77
C. I. Langkah Menganalisis dan Mendesain Struktur Baja dengan SAP2000	78
C. II. Langkah Kerja pada SAP2000	83
D. Aktivitas Pembelajaran	95
E. Latihan/Kasus/Tugas	97
F. Rangkuman	98
G. Umpan balik dan tindak lanjut	98

Pembelajaran 4 Merencanakan Rencana Anggaran Belanja (RAB) pada Proyek Konstruksi Baja

A. Tujuan Pembelajaran	100
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	100
C. Uraian Materi	100
C. I. Penentuan Metode Konstruksi	101
C. II. Penjabaran Kegiatan / Work Breakdown Structure (WBS)	102
C. III. Biaya Proyek	104
C. IV. Analisa Bahan, Upah, Alat dan Harga Satuan Pekerjaan	105
C. V. Pemeriksaan Khusus	106
D. Aktifitas Pembelajaran	107
E. Latihan/Kasus/Tugas	109
F. Rangkuman	109
G. Umpan balik dan tindak lanjut	110

Pembelajaran 5 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pekerjaan Konstruksi Baja

A. Tujuan Pembelajaran	111
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	111
C. Uraian Materi	111
C. I. Tujuan Pembuatan Rencana Anggaran Belanja (RAB)	112
C. II. Data untuk Membuat Rencana Anggaran Biaya (RAB)	112
C. III. Proses Penusunan Rencana Anggaran Biaya	112
C. IV. Perhitungan RAB Secara Keseluruhan	113
C. V. Perhitungan Presentase Bobot Pekerjaan	113
C. VI. <i>Time Schedule</i> (Rencana Kerja)	114
C. VII. Program Perhitungan RAB	114
C. VIII. Contoh Sederhana Perhitungan RAB Konstruksi Baja	116
D. Aktifitas Pembelajaran	127
E. Latihan/Kasus/Tugas	128
F. Rangkuman	129
G. Umpan balik dan tindak lanjut	129

Pembelajaran 6 Merancang Pelaksanaan Pendirian (erection) Konstruksi Baja	
A. Tujuan Pembelajaran	131
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	131
C. Uraian Materi	131
C. I. Cara Menghitung Material Konstruksi Baja	138
D. Aktifitas Pembelajaran	143
E. Latihan/Kasus/Tugas	144
F. Rangkuman	144
G. Umpan balik dan tindak lanjut	144
Pembelajaran 7 Merancang Pekerjaan Finishing Konstruksi Struktur Baja	
A. Tujuan Pembelajaran	146
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	146
C. Uraian Materi	146
C. I. Proses Pelapisan Galvanis	148
D. Aktifitas Pembelajaran	152
E. Latihan/Kasus/Tugas	153
F. Rangkuman	154
G. Umpan balik dan tindak lanjut	154
Kunci Jawaban	156
Daftar Pustaka	158

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Paku Keling	7
Gambar 1.2	Detail Paku Keling	8
Gambar 1.3.	Paku Keling Kepala Mungkum / Utuh	9
Gambar 1.4.	Paku Keling Kepala Setengah Terbenam	9
Gambar 1.5.	Paku Keling Kepala Terbenam	10
Gambar 1.6	Proses Pemasangan Paku Keling	11
Gambar 1.7	Hasil Sambungan Paku Keling	12
Gambar 1.8	Cara Pemasangan Paku Keling	12
Gambar 1.9	Detail Baut	15
Gambar 1.10.	Detail Bagian-bagian Baut	16
Gambar 1.11	Ukuran-ukuran Diameter Baut	17
Gambar 1.12	Sambungan Baut 1 Irisan	18
Gambar 1.13	Sambungan Baut 2 Irisan	18
Gambar 1.14	Sambungan Baut Sejajar Sumbu Beban	19
Gambar 1.15	Sambungan Baut Sejajar dan Tegak Lurus Sumbu Beban	19
Gambar 1.16	Tata Letak Baut	25
Gambar 1.17.	Pengelasan	28
Gambar 1.18	Pengelasan pada Sambungan Profil Baja	35
Gambar 1.19.	Grafik Perkembangan Kehilangan Bahan Akibat Korosi Permukaan sebagai Fungsi dari Waktu dan Kondisi Lingkungan	42
Gambar 1.20	Contoh Soal 1	46
Gambar 1.21	Contoh Soal 2	47
Gambar 2.1.	Rangka Batang dan Prinsip-prinsip Dasar Triangulasi (Schodek, 1999)	52
Gambar 2.2.	Bentuk – Bentuk Rangka Batang	55
Gambar 2.3.	Rangka Batang Untuk Jembatan	55
Gambar 2.4.	Kestabilan Internal pada Rangka Batang (Schodek,1999)	56
Gambar 2.5.	Penggunaan batang kaku (<i>bracing</i>) diagonal (Schodek, 1999)	57
Gambar 2.6.	Diagram gaya-gaya batang yang bekerja pada titik	

hubung (Schodek, 1999)	58
Gambar 2.7. Jenis-jenis Umum Rangka Batang (Schodek, 1999)	64
Gambar 2.8. Tekuk Batang : hubungan dengan pola segitiga (Schodek, 1999)	67
Gambar 2.9. Tekuk lateral pada rangka (Schodek, 1999)	68
Gambar 2.10. Rangka batang ruang tiga dimensi (Schodek, 1999)	69
Gambar 2.11. Balok pada Gedung (Schodek, 1999)	71
Gambar 2.12. Jenis-jenis perilaku balok (Schodek, 1999)	72
Gambar 2.13 Contoh Soal 1	74
Gambar 3.1. Tampilan Struktur pada SAP2000 3D	80
Gambar 3.2. Gambar Gaya Lintang pada SAP2000	81
Gambar 3.3. Detail Bangunan Pada SAP2000	82
Gambar 3.4. Tampilan SAP 2000 versi 14	83
Gambar 3.5 Ikon New Model	83
Gambar 3.6 Menu New Model	84
Gambar 3.7 Pemilihan Satuan pada SAP2000	85
Gambar 3.8. Menu New Model Initialization	85
Gambar 3.9. Menu Modify/Show Info	86
Gambar 3.10 Contoh Soal SAP2000	87
Gambar 3.11 Sub Menu 2D Truss	87
Gambar 3.12 Pilihan Jenis 2D Truss	88
Gambar 3.13 Pemilihan 2D Truss - Sloped Truss	88
Gambar 3.14 Sub Menu Use Custom Grid Spacing and Locate Origin	89
Gambar 3.15 Sub Menu Define Grid System Data	90
Gambar 3.16 Hasil Rangka Batang 2D	91
Gambar 3.17 Tampilan Template Blank	92
Gambar 3.18 Pilihan Menu Draw	92
Gambar 3.19 Sub Menu Draw pada Sisi Kiri	93
Gambar 3.20 Sub Menu Draw Frame	94
Gambar 3.21 Keterangan Bantu Sub Menu Draw Frame	94
Gambar 3.22 Pilihan Jenis Garis yang Ingin Dibuat	95
Gambar 3.23 Soal 1 SAP 2000	97
Gambar 3.24 Soal 2 SAP2000	98
Gambar 4.1 Bagan Alir Total Biaya Proyek	105

Gambar 4.2	Bagan Harga Satuan Pekerjaan	106
Gambar 5.1	Bagan Alir Rencana Anggaran Biaya Total	115
Gambar 5.2.	Denah Rangka Atap Baja	116
Gambar 5.3	Detail kuda-kuda	117
Gambar 5.4	Detail $\frac{1}{2}$ kuda-kuda	118
Gambar 5.5	Detail $\frac{1}{4}$ kuda-kuda	119
Gambar 5.6	Detail Kuda-kuda KT1	120
Gambar 5.7	Detail kuda-kuda KT2	121
Gambar 5.8	Detail kuda-kuda KP	122
Gambar 5.9	Detail Jurai	123
Gambar 6.1	Bangunan rangka baja	134
Gambar 6.2	Hot Rolled Sections	136
Gambar 6.3	Cold Rolled Sections	136
Gambar 7.1	Baja yang Diberi Galvanis	152

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Tipe-tipe Baut	15
Tabel 2.1	Mekanisme Gaya-gaya pada Rangka Batang (Schodek, 1999)	53
Tabel 2.2	Batasan Ketinggian Berdasarkan Jenis Rangka Batang	65
Tabel 5.1	Keterangan Gambar	116
Tabel 5.2	Jenis Profil Baja yang Digunakan	117
Tabel 5.3	Perhitungan berat kuda-kuda	118
Tabel 5.4	Perhitungan berat $\frac{1}{2}$ kuda-kuda	119
Tabel 5.5	Perhitungan berat $\frac{1}{4}$ kuda-kuda	120
Tabel 5.6	Berat Kuda-kuda KT1	121
Tabel 5.7	Berat Kuda-kuda KT2	122
Tabel 5.8	Berat Kuda-kuda KP	123
Tabel 5.9	Berat Jurai	124
Tabel 5.10	Berat Gording	125
Tabel 5.11	Persentase Baut Kebutuhan Sambungan Baja	126
Tabel 6.1	Berat Besi Baja H Beam	140
Tabel 6.2	Berat Besi Baja WF (Wide Flange)	140
Tabel 6.3	Berat Besi Bajakanal C / CNP	142

A. Latar Belakang

Pendidik adalah tenaga kependidikan yang berkualifikasi sebagai guru, dosen, konselor, pamong belajar, widyaiswara, tutor, instruktur, fasilitator, dan sebutan lain yang sesuai dengan kekhususannya, serta berpartisipasi dalam menyelenggarakan pendidikan. Guru dan tenaga kependidikan wajib melaksanakan kegiatan pengembangan keprofesian secara berkelanjutan agar dapat melaksanakan tugas profesionalnya.

Pengembangan keprofesian berkelanjutan merupakan pengembangan kompetensi guru dan tenaga kependidikan yang dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan, bertahap, berkelanjutan untuk meningkatkan profesionalitasnya. Dengan demikian pengembangan keprofesian berkelanjutan adalah suatu kegiatan bagi guru dan tenaga kependidikan untuk memelihara dan meningkatkan kompetensinya secara keseluruhan, berurutan dan terencana, mencakup bidang-bidang yang berkaitan dengan profesinya didasarkan pada kebutuhan individu guru dan tenaga kependidikan.

Agar kegiatan pengembangan diri guru tercapai secara optimal diperlukan Guru dan tenaga kependidikan wajib melaksanakan PKB baik secara mandiri maupun kelompok. Khusus untuk PKB dalam bentuk diklat dilakukan oleh lembaga pelatihan sesuai dengan jenis kegiatan dan kebutuhan guru. Penyelenggaraan diklat PKB dilaksanakan oleh PPPPTK dan LPPPTK KPTK atau penyedia layanan diklat lainnya. Pelaksanaan diklat tersebut memerlukan modul sebagai salah satu sumber belajar bagi peserta diklat. Pedoman penyusunan modul diklat PKB bagi guru dan tenaga kependidikan ini merupakan acuan bagi penyelenggara pendidikan dan pelatihan dalam mengembangkan modul pelatihan yang diperlukan guru dalam melaksanakan kegiatan PKB.

Modul merupakan bahan ajar yang dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta diklat berisi materi, metode, batasan-batasan, dan cara mengevaluasi yang disajikan secara sistematis dan menarik untuk mencapai tingkatan kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya.

Modul-modul yang digunakan sebagai salah satu sumber belajar pada kegiatan diklat fungsional dan kegiatan kolektif guru dan tenaga kependidikan lainnya. Modul Diklat PKB pada intinya merupakan model bahan belajar (*learning material*) yang menuntut peserta pelatihan untuk belajar lebih mandiri dan aktif. Modul diklat merupakan substansi materi pelatihan yang dikemas dalam suatu unit program pembelajaran yang terencana guna membantu pencapaian peningkatan kompetensi yang didesain dalam bentuk bahan tercetak (*printed materials*).

Modul diklat PKB ini dikembangkan untuk memenuhi kegiatan PKB bagi guru dan tenaga kependidikan paket keahlian Konstruksi Baja pada grade/level 10 yang terfokus dalam pemenuhan peningkatan kompetensi pedagogik dan professional yang memenuhi prinsip: berpusat pada kompetensi (*competencies oriented*), pembelajaran mandiri (*self-instruction*), maju berkelanjutan (*continuous progress*), penataan materi yang utuh dan lengkap (*whole-contained*), rujuk-silang antar isi mata diklat (*cross referencing*), dan penilaian mandiri (*self-evaluation*).

Modul Konstruksi Baja Grade 10 ini bertujuan agar siswa menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan Konstruksi Baja.

B. Tujuan

Tujuan penulisan modul Konstruksi Baja Grade 10 adalah agar siswa mampu :

1. Merancang sambungan-sambungan yang akan dipakai pada konstruksi baja.
2. Merencanakan dan mengevaluasi model proyek konstruksi baja.
3. Mampu menguraikan berbagai prinsip dasar dan peraturan - peraturan terkait dengan teknologi konstruksi baja (SNI).
4. Merencanakan, mendesain dan menggambar dengan menggunakan software terbaru.

5. Mampu menganalisa berbagai pekerjaan persiapan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi baja.
6. Merancang, mendirikan, dan melakukan pekerjaan finishing konstruksi baja.

C. Peta Kompetensi

No	Nama Modul	Komp. Inti Guru	Kompetensi Guru Mata Pelajaran	Indikator Esensial/ Indikator Pencapaian Kompetensi	
1	Modul Level X	20.1. Menguasai materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu.	20.1.6. Merancang sambungan -sambungan struktur Konstruksi Baja	20.1.6.3. Merancang sambungan struktur konstruksi baja	
			20.1.7. Merencanakan proyek konstruksi baja	20.1.7.3. Mengevaluasi model proyek konstruksi baja.	
			20.1.9. Merancang gambar konstruksi baja.	20.1.9.3. Merencanakan gambar kerja (shop drawing) konstruksi baja dengan menggunakan perangkat lunak (software) SAP2000	
			20.1.10. Merencanakan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan konstruksi baja	20.1.10.2. Menganalisis harga satuan pada pekerjaan konstruksi baja.	
				20.1.10.3. Mengevaluasi perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan konstruksi baja.	
			20.1.12. Merancang pelaksanaan pendirian (erection) konstruksi baja.	20.1.12.3. Mendirikan (erection) konstruksi struktur baja.	
				20.1.12.4. Merancang pekerjaan finishing konstruksi struktur baja.	

D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup modul Konstruksi Baja level 10 konstruksi baja berikut meliputi:

- Merancang sambungan-sambungan struktur pada konstruksi baja
 - Merancang jenis sambungan yang dipakai pada konstruksi baja.
- Merencanakan proyek konstruksi baja
 - Mendesain proyek konstruksi baja
 - Mengevaluasi model proyek konstruksi baja yang sudah tersedia.
- Merancang gambar konstruksi baja dengan menggunakan software
 - Merancang gambar kerja dengan SAP2000, sebagai dasar yang nantinya dapat diteruskan untuk perhitungan.
- Menganalisis berbagai macam pengetahuan Teknologi dasar Konstruksi Baja
 - Menguraikan berbagai prinsip dasar dan peraturan-peraturan terkait dengan teknologi konstruksi baja (SNI)
- Merencanakan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan konstruksi baja.
 - Menganalisis harga satuan pekerjaan pada konstruksi baja
 - Mengevaluasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang sudah ada.
- Merancang pelaksanaan pendirian konstruksi baja.
 - Mengetahui tahapan-tahapan pelaksanaan pendirian konstruksi baja.
 - Merancang pekerjaan finishing pada konstruksi baja.

E. Saran Cara Penggunaan Modul

Ikutilah petunjuk ini selama anda mengikuti kegiatan belajar

- a. Sebelum melakukan kegiatan belajar mulailah dengan doa, sebagai ucapan syukur bahwa anda masih memiliki kesempatan belajar dan memohon kepada Tuhan agar di dalam kegiatan belajar Konstruksi Baja selalu dalam bimbinganNya.
- b. Pelajari dan pahami lebih dahulu teori Konstruksi Bajayang disajikan, kemudian anda dapat menguasai materi, struktur, konsep, dan pola pikir ilmu konstruksi baja.
- c. Dalam pembelajaran menggunakan modul diharapkan siswa harus aktif, baik secara individual maupun kelompok untuk mencari, menggali dan menemukan konsep serta prinsip-prinsip secara holistik dan otentik
- d. Siswa harus siap mengikuti kegiatan dan memahami cara - cara pembelajaran dengan menggunakan modul, yang pelaksanaannya dapat dilaksanakan secara individual, secara berpasangan, kelompok kecil atau klasikal, serta memiliki minat baca yang tinggi.
- e. Bertanyalah kepada fasilitator bila mengalami kesulitan dalam memahami materi pelajaran.
- f. Anda dapat menggunakan buku referensi yang menunjang bila dalam modul ini terdapat hal-hal yang kurang jelas.
- g. Kerjakan tugas-tugas yang diberikan dalam lembar kerja dengan baik
- h. Dalam mengerjakan tugas merancang dan memasang utamakan ketelitian, kebenaran, dan kerapian pekerjaan Jangan membuang-buang waktu saat mengerjakan tugas dan juga jangan terburu-buru yang menyebabkan kurangnya ketelitian dan menimbulkan kesalahan.
- i. Setelah tugas merancang dan memasang selesai, sebelum diserahkan kepada fasilitator sebaiknya anda periksa sendiri terlebih dahulu secara cermat, dan perbaikilah bila ada kesalahan, serta lengkapilah terlebih dahulu bila ada kekurangan.

PEMBELAJARAN 1

Merancang Sambungan Struktur pada Konstruksi Baja

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran 1 ini adalah menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu. Agar hal tersebut dapat dikuasai pada modul Konstruksi Baja Grade 10 ini pembelajaran 1 yang dimaksud adalah merancang sambungan struktur pada konstruksi baja.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator Pencapaian Kompetensi pada pembelajaran 1 adalah merancang jenis sambungan yang dipakai pada konstruksi baja.

C. Uraian Materi

Merancang Sambungan Struktur Konstruksi Baja

Struktur konstruksi baja terdiri dari komponen-komponen kecil produksi pabrikasi yang kemudian dimobilisasi ke lokasi. Komponen-komponen kecil ini kemudian dirakit (erection) dan disatukan sehingga menjadi kesatuan sesuai rencana dan rancangan awal. Untuk menyatukan komponen-komponen baja tersebut diperlukan suatu sistem sambungan.

Pemilihan jenis sambungan pada struktur baja termasuk dalam proses perencanaan. Sistem sambungan yang dipilih akan mempengaruhi kekuatan struktur baja, biaya (cost), cara pengerjaan dilapangan, dan waktu pelaksanaan dilapangan.

Pada tahap perencanaan, pemilihan tipe sambungan akan mempengaruhi strategi analisis struktur. Untuk jenis sambungan yang berbeda maka distribusi gaya-gayanya dapat juga dibedakan. Oleh sebab itu, jika dipakai jenis sambungan yang tidak sama antara perencanaan dengan pelaksanaan tentu perlu diperhatikan kembali analisis strukturnya. Kondisi seperti itu bisa

menyebabkan kinerja struktur secara keseluruhan berkurang, bahkan memicu terjadinya kegagalan.

Terjadinya perbedaan detail antara rencana dan saat pelaksanaan umumnya terjadi akibat masalah di lapangan, misalnya tidak tersedianya ukuran baut yang ditentukan, atau akibat dipilihnya tipe sambungan yang perlu persyaratan khusus sedangkan bengkel pembuatan mempunyai keterbatasan, baik alat atau sumber daya manusianya. Ini akan menyebabkan detail desain awal dimodifikasi atau disesuaikan dengan detail lain yang dianggap bisa dikerjakan, tanpa melihat terlebih dahulu prinsip-prinsip rekayasa yang mendasarinya (Wiryanto, 2015)

Secara garis besar ada 3 jenis sambungan untuk struktur baja, diantaranya : Sambungan Paku Keling, Sambungan Baut dan Sambungan Las.

C. I. Sambungan Paku Keling

Paku keling (rivet) adalah jenis paling diandalkan untuk pekerjaan konstruksi baja sampai era 1960-an. Berdasarkan ketahanan bangunan, sambungan rivet terbukti sebagai sambungan yang kuat. Sebagai contoh, konstruksi jembatan gantung Golden Gate di San Fransisco, California yang dibangun pada tahun 1937, masih berdiri tegak dan masih dapat digunakan dengan baik. Salah satu contoh konstruksi baja yang menggunakan sambungan paku keling di Indonesia adalah jembatan Bantar di sungai Progo, DIY yang dibangun pada tahun 1932. Adapun bentuk paku keling yang seperti di gambar 1.1.



Gambar 1.1 Paku Keling

Paku keling (rivet) dapat juga digunakan untuk sambungan tetap antara 2 plat atau lebih misalnya pada tangki dan boiler. Paku keling dalam ukuran yang kecil dapat digunakan untuk menyambung dua komponen yang tidak membutuhkan kekuatan yang besar, misalnya peralatan rumah tangga, furnitur, alat-alat elektronika, dll. Sambungan dengan paku keling sangat kuat dan tidak dapat dilepas kembali dan jika dilepas maka akan terjadi kerusakan pada sambungan tersebut. Karena sifatnya yang permanen, maka sambungan paku keling harus dibuat sekuat mungkin untuk menghindari kerusakan atau patah.

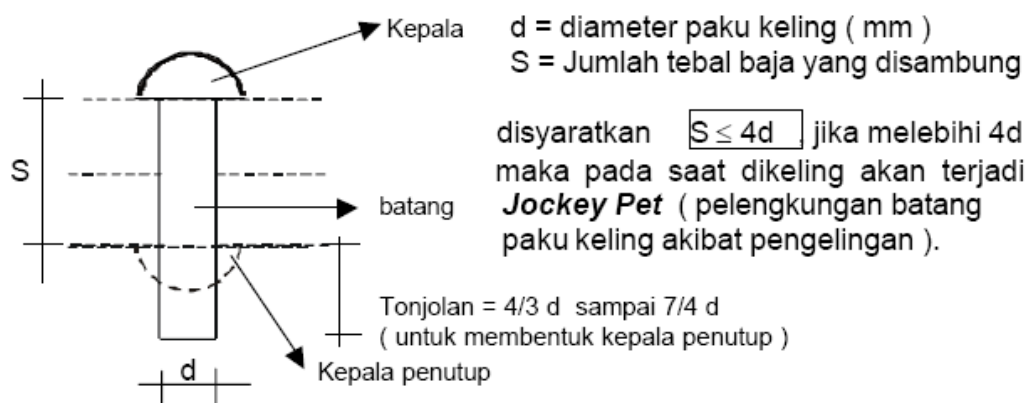
Seiring perkembangan jaman, penggunaan paku keling telah tergeser dengan adanya baut mutu tinggi. Kalaupun ada yang memakai maka tentu bukan karena keperluan struktur tetapi lebih kepada nilai estetikanya.

C. I. I. Bagian Utama Paku Keling

Paku keling terdiri dari beberapa bagian, diantaranya :

- a. Kepala
- b. Badan
- c. Ekor
- d. Kepala lepas

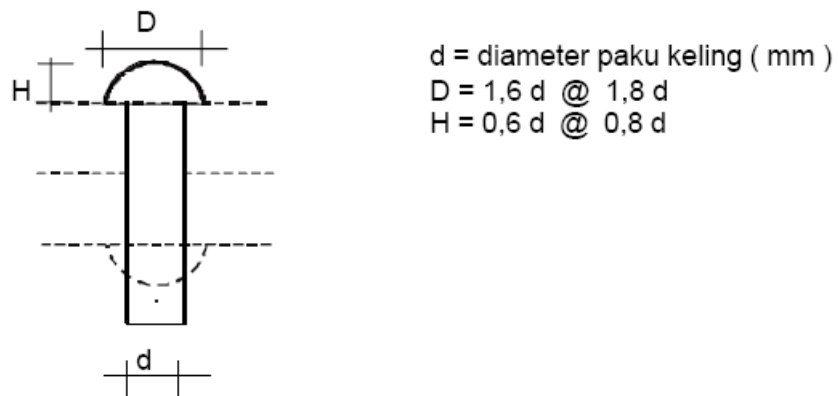
Untuk lebih mendetail bentuk paku keling dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1.2 Detail Paku Keling

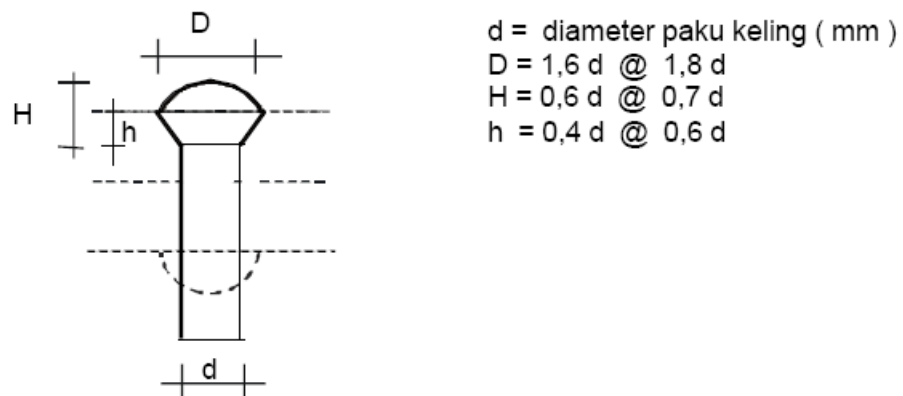
C. I. II. Jenis Paku Keling Berdasarkan Bentuk

- a. Paku Keling Kepala Mungkum / utuh



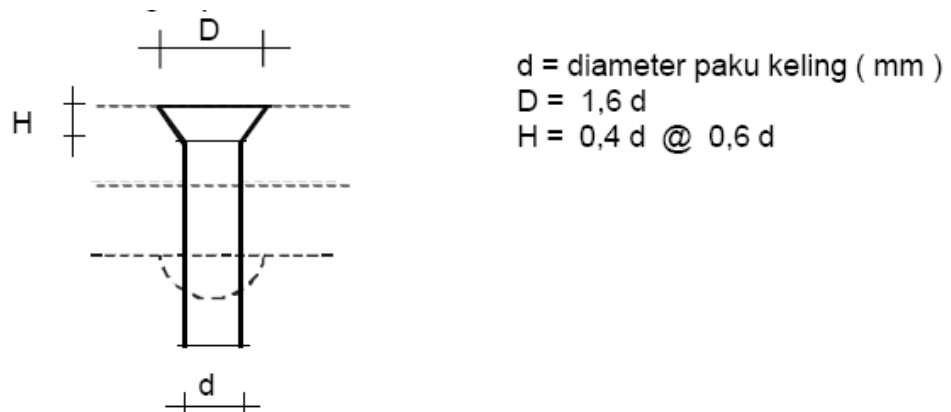
Gambar 1.3. Paku Keling Kepala Mungkum / Utuh

- b. Paku Keling Kepala Setengah Terbenam



Gambar 1.4. Paku Keling Kepala Setengah Terbenam

c. Paku Keling Kepala Terbenam



Gambar 1.5. Paku Keling Kepala Terbenam

C. I. III. Jenis Paku Keling Berdasarkan Pembebanan

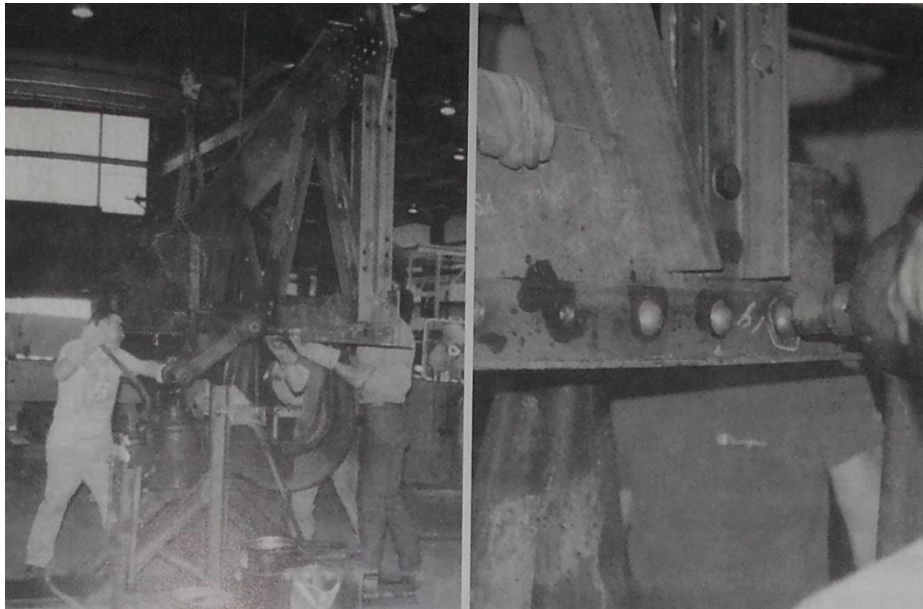
Bila dilihat dari bentuk pembebanannya, sambungan paku keling ini dibedakan yaitu :

1. Pembebanan tangensial.
2. Pembebanan eksentrik.

C. I. IV. Proses Pemasangan Paku Keling

Bahan paku keling yang biasa digunakan antara lain adalah baja, brass, aluminium, dan tembaga tergantung jenis sambungan/ beban yang diterima oleh sambungan. Penggunaan umum bidang mesin : ductile (low carbor), steel, wrought iron. Penggunaan khusus : weight, corrosion, or material constraints apply : copper (+alloys) aluminium (+alloys), monel, dll.

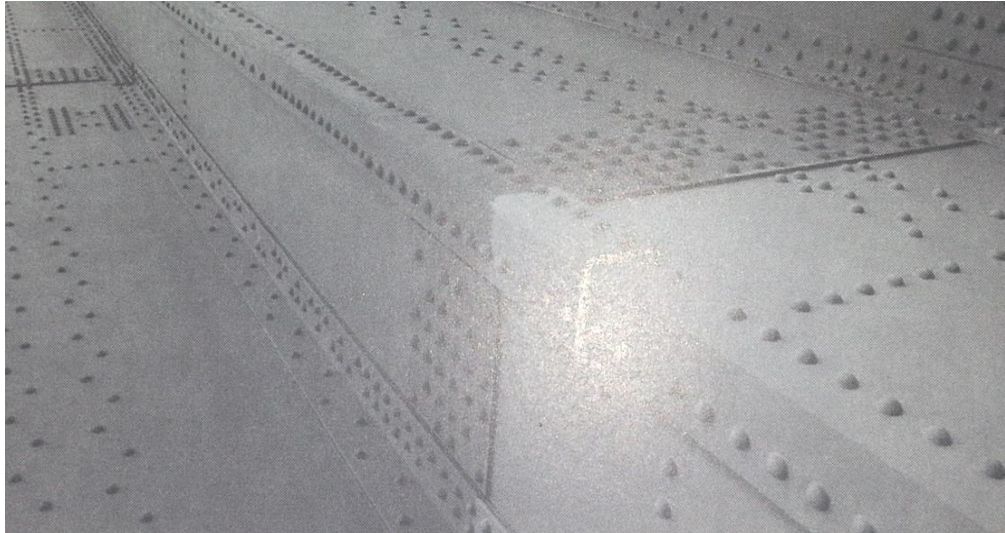
Pelaksanaan sambungan paku keling yang sebelum dipasang harus dipanaskan terlebih dahulu sampai berwarna merah atau orange (kira-kira mencapai suhu 980 celcius), setelah itu dipasang dengan tekanan menggunakan alat khusus. Kemudian paku keling dimasukkan ke dalam lubang, dan kepalanya ditekan sambil mendesak ujung lainnya sehingga terbentuk kepala lain yang bulat. Selama proses ini, tangkai (shank) paku keling mengisi lubang (tempat paku dimasukkan) secara penuh atau hampir penuh, sehingga menghasilkan gaya jepit (klem) seperti yang terlihat pada gambar 1.6. Namun, besarnya jepitan akibat pendinginan paku keling bervariasi dari satu paku keling ke lainnya, sehingga tidak dapat diperhitungkan dalam perencanaan. (Wiryanto, 2015)



Gambar 1.6 Proses Pemasangan Paku Keling

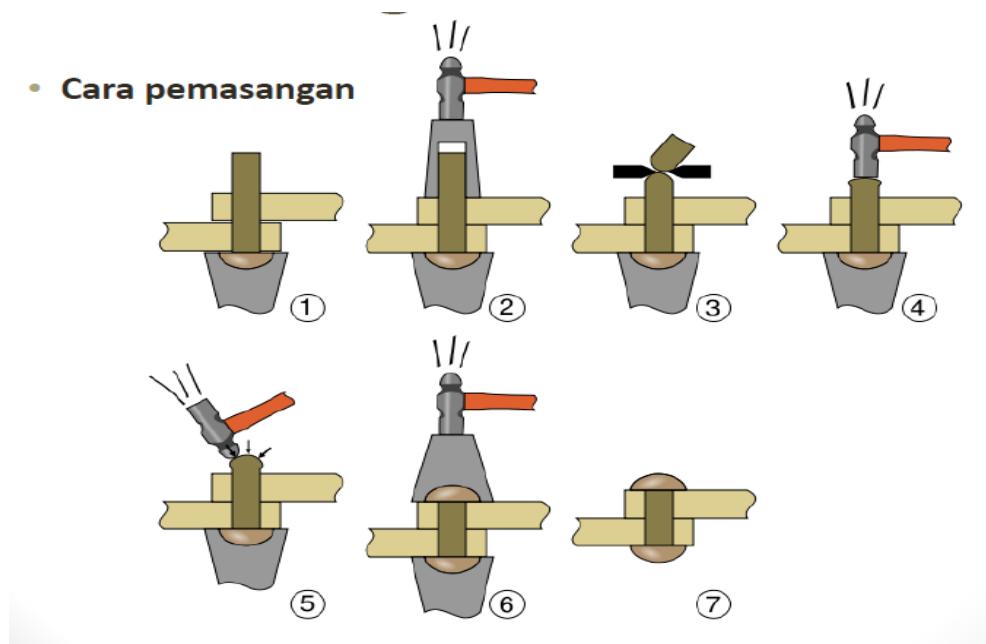
Paku keling juga dapat dipasang pada keadaan dingin tetapi akibatnya gaya jepit tidak terjadi karena paku tidak menyusut setelah dipasang. Proses pemanasan terlebih dahulu paku keling pada suhu tinggi dan pemasangan dengan tekanan dan mengalami pendinginan alami menyebabkan sistem menghasilkan efek clamping atau jepit pada elemen-elemen yang disambung. Meskipun sifatnya mirip dengan baut mutu tinggi, tetapi paku keling mempunyai keunggulan alami. Paku keling akan menyatu secara utuh dengan pelat sehingga tidak ada sedikitpun rongga yang tercipta. Kondisi ini menyebabkan sambungan

tidak akan mengalami slip. Hasil pemasangan paku keling dapat dilihat pada gambar 1.7.



Gambar 1.7 Hasil Sambungan Paku Keling

Proses pemasangan paku keling berdasarkan tahapan visualisasinya dapat dilihat dalam gambar 1.8.



Gambar 1.8 Cara Pemasangan Paku Keling

C. I. V. Paku Keling Dibandingkan dengan Baut Mutu Tinggi

Sudah sejak lama paku keling diterima sebagai alat penyambung batang, tetapi beberapa tahun terakhir ini sudah jarang digunakan di Amerika. Paku keling dibuat dari baja batangan dan memiliki bentuk silinder dengan kepala di salah satu ujungnya. Baja paku keling adalah baja karbon sedang dengan identifikasi ASTM A502 Mutu I ($F_v = 28 \text{ ksi}$) (1190 MPa) dan Mutu 2 ($F_y = 38 \text{ ksi}$) (260 MPa), serta kekuatan leleh minimum yang ditetapkan didasarkan pada bahan baja batangan. Pembuatan dan pemasangan paku keling menimbulkan perubahan sifat mekanis.

Meskipun paku keling mempunyai keunggulan, tetapi kenyataannya saat ini jarang ditemukan. Hal ini disebabkan biaya pelaksanaan yang lebih mahal, perlu inspeksi khusus yang teliti, jika dijumpai kerusakan akan menimbulkan biaya yang besar untuk proses penggantian, dan pelaksanaannya relatif bising sehingga mengganggu lingkungan. Maka dari itu, sistem paku keling sekarang mulai digantikan dengan sistem sambungan baut mutu tinggi dan sistem sambungan las.

Sambungan paku keling ini dibandingkan dengan sambungan las mempunyai keuntungan yaitu :

1. Sambungan keling lebih sederhana dan murah untuk dibuat.
2. Pemeriksaannya lebih mudah
3. Sambungan keling dapat dibuka dengan memotong kepala dari paku keling tersebut.

C. II. Sambungan Baut

Salah satu alat pengencang di samping las yang cukup populer adalah baut, terutama baut mutu tinggi. Baut mutu tinggi menggeser penggunaan paku keling sebagai alat pengencang karena beberapa kelebihan yang dimiliki dibandingkan paku keling, seperti jumlah tenaga kerja yang lebih sedikit, kemampuan menerima gaya yang lebih besar, dan secara keseluruhan dapat menghemat biaya konstruksi. Selain mutu tinggi ada pula baut mutu normal A307 terbuat dari baja kadar karbon rendah.

Dua tipe dasar baut mutu tinggi distandarkan oleh ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini mempunyai kepala berbentuk segi enam. Baut A325 terbuat dari baja karbon yang memiliki kuat leleh 560 – 630 Mpa, baut A490 terbuat dari baja alloy dengan kuat leleh 790 – 900 Mpa, tergantung pada diameternya. Diameter baut mutu tinggi berkisar antara $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$ in, yang sering digunakan dalam struktur bangunan berdiameter $\frac{3}{4}$ dan $\frac{7}{8}$ in, dalam desain jembatan antara $\frac{7}{8}$ hingga 1 in.

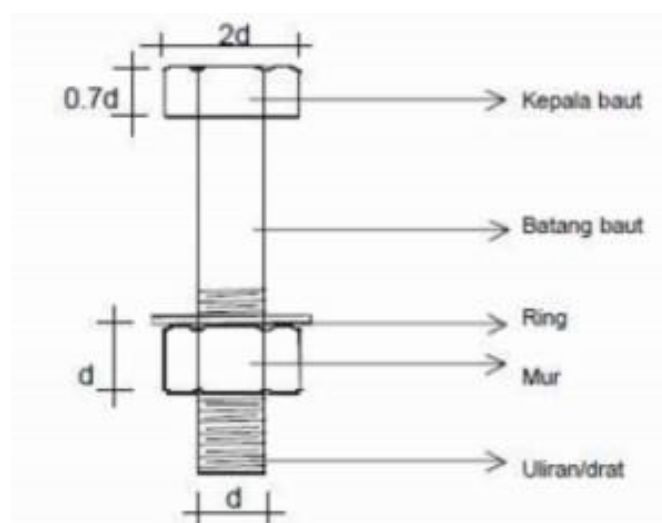
Baut kekuatan tinggi dikencangkan (*tightened*) untuk menimbulkan tegangan tarik yang ditetapkan pada baut sehingga terjadi gaya jepit (*klem/clamping force*) pada sambungan. Oleh karena itu, pemindahan beban kerja yang sesungguhnya pada sambungan terjadi akibat adanya gesekan (*friksi*) pada potongan yang disambung. Sambungan dengan baut kekuatan tinggi dapat direncanakan sebagai tipe geser (*friction type*), bila daya tahan gelincir (*slip*) yang tinggi dikehendaki; atau sebagai tipe tumpu (*bearing type*), bila daya tahan gelincir yang tinggi tidak dibutuhkan.

Mutu baut normal dikencangkan dengan kekuatan tangan. Baut mutu tinggi mula – mula dikencangkan dengan kekuatan tangan dan kemudian diikuti $\frac{1}{2}$ putaran lagi. Pada tabel 1.1 dibawah ini ditampilkan tipe – tipe baut dengan diameter, *proof load* dan kuat tarik minimumnya.

Tabel 1.1 Tipe – tipe baut

Tipe Baut	Diameter (mm)	Proof stress (Mpa)	Kuat Tarik Min. (Mpa)
A307	6.35 – 104	-	60
A325	12.7 – 25.4	585	825
	28.6 – 38.1	510	725
A490	12.7 – 38.1	825	1035

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya dibentuk kepala baut (umumnya bentuk kepala segi enam) dan ujung lainnya dipasang mur/pengunci, seperti yang terlihat ada gambar 1.9. Dalam pemakaian di lapangan, baut dapat digunakan untuk membuat konstruksi sambungan tetap, sambungan bergerak, maupun sambungan sementara yang dapat dibongkar/dilepas kembali. Bentuk uliran batang baut untuk baja bangunan pada umumnya ulir segi tiga (ulir tajam) sesuai fungsinya yaitu sebagai baut pengikat. Sedangkan bentuk ulir segi empat (ulir tumpul) umumnya untuk baut-baut penggerak atau pemindah tenaga misalnya dongkrak atau alat-alat permesinan yang lain.



Gambar 1.9 Detail Baut

C. II. I Jenis-jenis Baut

- **Baut hitam**

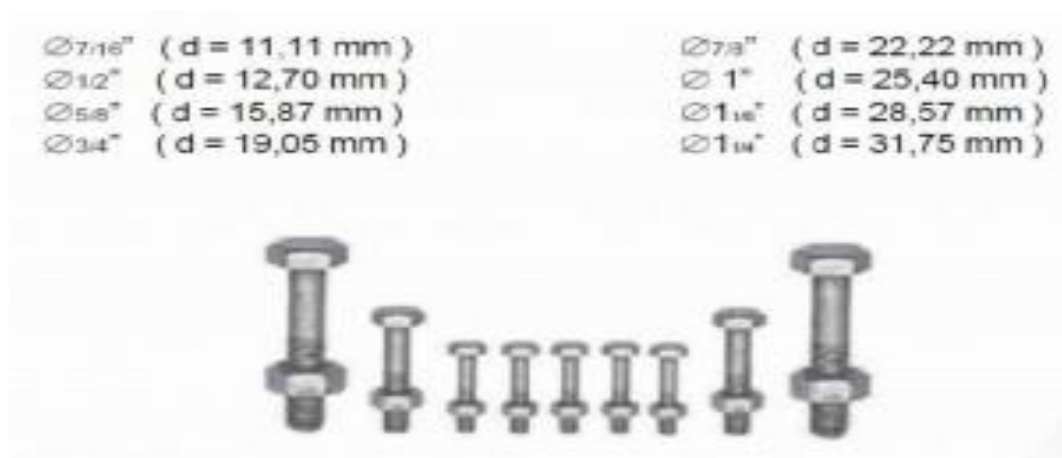
Yaitu baut dari baja lunak (St-34) banyak dipakai untuk konstruksi ringan / sedang misalnya bangunan gedung, diameter lubang dan diameter batang baut memiliki kelonggaran 1 mm. Baut ini dibuat dari baja karbon rendah yang diidentifikasi sebagai ASTM A307, dan merupakan jenis baut yang paling murah. Namun, baut ini belum tentu menghasilkan sambungan yang paling murah karena banyaknya jumlah baut yang dibutuhkan pada suatu sambungan. Pemakaiannya terutama pada struktur yang ringan, batang sekunder atau pengaku, anjungan (platform), gording, rusuk dinding, rangka batang yang kecil dan lain-lain yang bebannya kecil dan bersifat statis. Baut ini juga dipakai sebagai alat penyambung sementara pada sambungan yang menggunakan baut kekuatan tinggi, paku keling, atau las. Baut hitam (yang tidak dihaluskan) kadang-kadang disebut baut biasa, mesin, atau kasar, serta kepala dan murnya dapat berbentuk bujur sangkar. Detail baut hitam seperti yang terlihat pada gambar 1.10.



Gambar 1.10. Detail Bagian-bagian Baut

- **Baut pass**

Yaitu baut dari baja mutu tinggi (>St-42) dipakai untuk konstruksi berat atau beban bertukar seperti jembatan jalan raya, diameter lubang dan diameter batang baut relatif pass yaitu kelonggaran < 0,1 mm. Variasi ukuran baut pass seperti gambar 1.11.



Gambar 1.11 Ukuran-ukuran Diameter Baut

C. II. II Keuntungan Sambungan Baut

Keuntungan sambungan baut dibandingkan dengan sambungan lainnya :

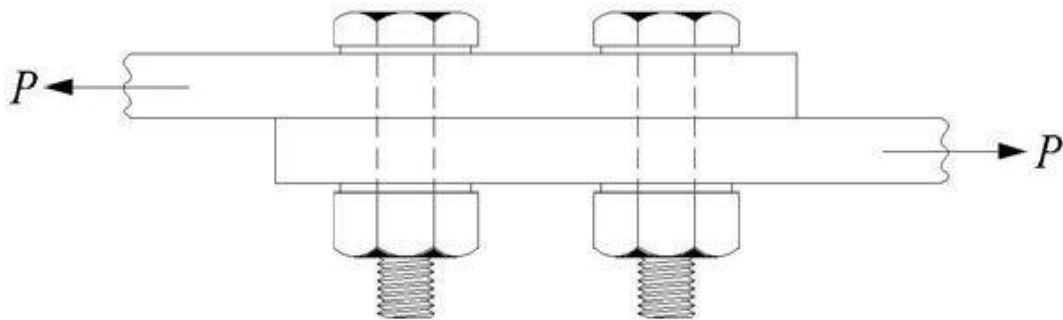
1. Lebih mudah dalam pemasangan/penyetelan konstruksi di lapangan.
2. Konstruksi sambungan dapat dibongkar-pasang.
3. Dapat dipakai untuk menyambung dengan jumlah tebal baja > 4d (tidak seperti paku keling dibatasi maksimum 4d).
4. Dengan menggunakan jenis Baut Pass maka dapat digunakan untuk konstruksi berat /jembatan.

C. II. III Jenis-jenis Sambungan Baut

Jenis- Jenis sambungan baut diantaranya :

1. Sambungan baut dengan 1 irisan

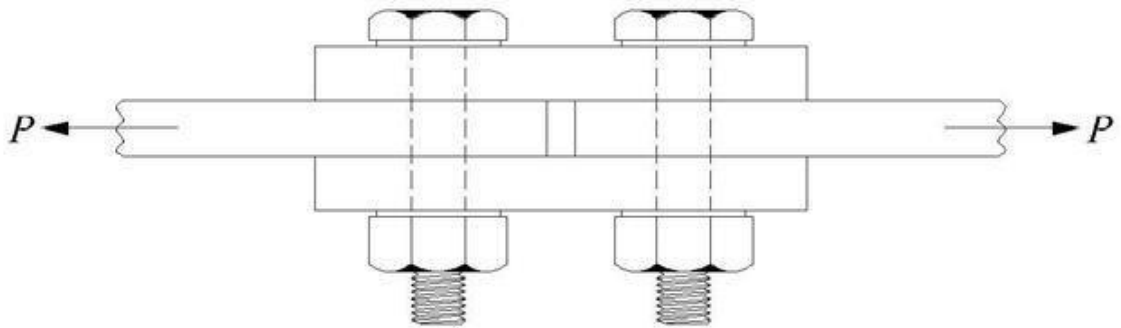
Tegangan geser tegak lurus dengan sumbu baut



Gambar 1.12 Sambungan Baut 1 Irisan

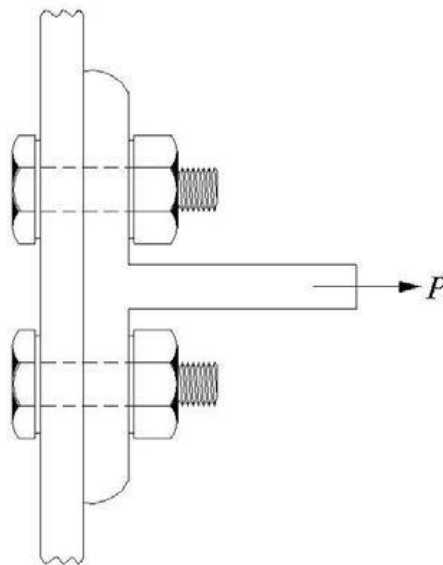
2. Sambungan baut dengan 2 irisan

Tegangan geser tegak lurus dengan sumbu baut



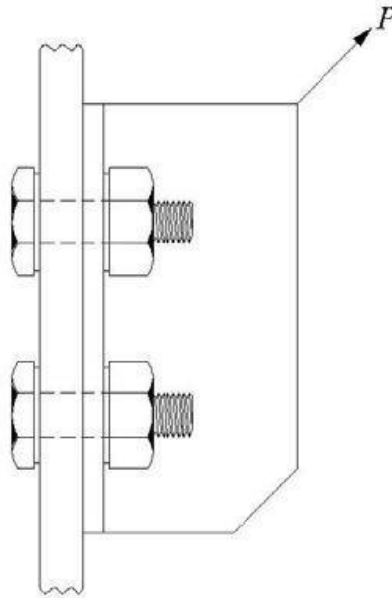
Gambar 1.13 Sambungan Baut 2 Irisan

3. Sambungan baut yang dibebani sejajar dengan sumbunya



Gambar 1.14 Sambungan Baut Sejajar Sumbu Beban

4. Sambungan baut yang dibebani sejajar sumbu dan tegak lurus sumbu



Gambar 1.15 Sambungan Baut Sejajar dan Tegak Lurus Sumbu Beban

C. II. IV Perencanaan Sambungan Baut

Jenis baut yang dapat digunakan untuk struktur bangunan sesuai SNI 03 – 1729 – 2002 TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BAJA UNTUK BANGUNAN GEDUNG adalah baut yang jenisnya ditentukan dalam SII (0589-81, 0647-91 dan 0780-83, SII 0781-83) atau SNI (0541-89-A, 0571-89-A, dan 0661-89-A) yang sesuai, atau penggantinya. Baut yang digunakan pada sambungan struktural, baik baut A325 maupun baut A490 merupakan baut berkepala segi enam yang tebal.

Keduanya memiliki mur segi enam tebal yang diberi tanda standar dan simbol pabrik pada salah satu mukanya. Bagian berulir baut dengan kepala segienam lebih pendek dari pada baut standar yang lain; keadaan ini memperkecil kemungkinan adanya ulir pada tangkai baut yang memerlukan kekuatan maksimum.

Dalam perencanaan sambungan baut ada beberapa proses yang harus dilakukan, diantaranya :

a) Beban leleh dan penarikan baut

Syarat utama dalam pemasangan baut kekuatan tinggi ialah memberikan gaya pratarik (*pretension*) yang memadai. Gaya pratarik harus sebesar mungkin dan tidak menimbulkan deformasi permanen atau kehancuran baut. Bahan baut menunjukkan kelakuan tegangan-regangan (beban-deformasi) yang tidak memiliki titik leleh yang jelas. Sebagai pengganti tegangan leleh, istilah beban leleh (beban tarik awal/*proof load*) akan digunakan untuk baut. Beban leleh adalah beban yang diperoleh dari perkalian luas tegangan tarik dan tegangan leleh yang ditentukan berdasarkan regangan tetap (*offset strain*) 0,2% atau perpanjangan 0,5% akibat beban. Tegangan beban leleh untuk baut A325 dan A490 masing-masing minimal sekitar 70% dan 80% dari kekuatan tarik maksimumnya.

b) Teknik pemasangan

Tiga teknik yang umum untuk memperoleh pratarik yang dibutuhkan adalah metode kunci yang dikalibrasi (*calibrated wrench*), metode putaran mur (*turn-of the nut*), dan metode indikator tarikan langsung (*direct tension indicator*). Metode kunci yang dikalibrasi dapat dilakukan dengan kunci puntir manual (kunci Inggris) atau kunci otomatis yang diatur agar berhenti pada harga puntir yang ditetapkan. Secara umum, masing-masing proses pemasangan memerlukan minimum 2 1/4 putaran dari titik erat untuk mematahkan baut. Bila metoda putaran mur digunakan dan baut ditarik secara bertahap dengan kelipatan 1/8 putaran, baut biasanya akan patah setelah empat putaran dari titik erat. Metode putaran mur merupakan metode yang termurah, lebih handal, dan umumnya lebih disukai.

Metode ketiga yang paling baru untuk menarik baut adalah metode indikator tarikan langsung. Alat yang dipakai adalah cincin pengencang dengan sejumlah tonjolan pada salah satu mukanya. Cincin dimasukkan di antara kepala

baut dan bahan yang digenggam, dengan bagian tonjolan menumpu pada sisi bawah kepala baut sehingga terdapat celah akibat tonjolan tersebut. Pada saat baut dikencangkan, tonjolan-tonjolan tertekan dan memendek sehingga celahnya mengecil. Tarikan baut ditentukan dengan mengukur lebar celah yang ada.

c) Perancangan sambungan baut

Sambungan-sambungan yang dibuat dengan baut tegangan tinggi digolongkan menjadi:

1. Jenis sambungan gesekan
2. Jenis sambungan penahan beban dengan uliran baut termasuk dalam bidang geseran
3. Jenis sambungan penahan beban dengan uliran baut tidak termasuk dalam bidang geseran

Sambungan-sambungan baut (tipe N atau X) atau paku keling bisa mengalami keruntuhan dalam empat cara yang berbeda.

Pertama, batang-batang yang disambung akan merigalaini keruntuhan melalui satu atau lebih lubang-lubang alat penyambung akibat bekerjanya gaya tarik

Kedua, apabila lubang-lubang dibor terlalu dekat pada tepi batang tarik, maka baja di belakang alat-alat penyambung akan meletih akibat geseran

Ketiga, alat penyambung sendiri mengalami keruntuhan akibat bekerjanya geseran

Keempat, satu-satu atau lebih batang tarik mengalami keruntuhan karena tidak dapat menahan gaya-gaya yang disalurkan oleh alat-alat penyambung.

Untuk mencegah terjadinya keruntuhan maka baik sambungan maupun batang-batang yang disambung harus direncanakan supaya dapat mengatasi keempat jenis keruntuhan yang dikemukakan di atas.

1. Untuk menjamin tidak terjadinya keruntuhan pada bagian yang disambung, bagian tersebut harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga tegangan tarik yang bekerja pada penampang bruto lebih kecil dari $0,6 F_y$, dan yang bekerja pada penampang efektif netto lebih kecil dari $0,5 F_y$.
2. Untuk mencegah robeknya baja yang terletak di belakang alat penyambung, maka jarak minimum dari pusat lubang alat penyambung ke tepi batang

dalam arah yang sama dengan arah gaya tidak boleh kurang dari $2 P / F_u t$. Di sini P adalah gaya yang ditahan oleh alat penyambung, dan t adalah tebal kritis dari bagian yang disambung.

3. Untuk menjamin supaya alat penyambung tidak runtuh akibat geseran, maka jumlah alat penyambung harus ditentukan sesuai dengan peraturan, supaya dapat membatasi tegangan geser maksimum yang terjadi pada bagian alat penyambung yang kritis.
4. Untuk mencegah terjadinya kehancuran pada bagian yang disambung akibat penyaluran gaya dari alat penyambung ke batang maka harus ditentukan jumlah minimum alat penyambung yang dapat mencegah terjadinya kehancuran tersebut.

C. II. V Perhitungan Sambungan Baut

Dalam merencanakan sambungan baut tentunya ada beberapa perhitungan yang perlu diperhatikan, diantaranya :

- Tahanan Nominal Baut
Suatu baut yang memikul beban terfaktor, R_u , sesuai persyaratan LRFD harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_n$$

Dengan : R_n = Tahanan nominal baut

ϕ = Faktor reduksi yang diambil sebesar 0,75

Besarnya R_u berbeda-beda untuk masing-masing tipe sambungan.

- Tahanan Geser Baut

Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan :

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dengan : $r_1 = 0,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$= 0,4$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

f_u^b = kuat tarik baut (Mpa)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

m = jumlah bidang geser

- Tahanan Tarik Baut

Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominalnya dihitung menurut :

$$R_n = 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dengan : f_u^b = kuat tarik baut (Mpa)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

- Tahanan Tumpu Baut

Tahanan tumpu nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Besarnya ditentukan sebagai berikut :

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

Dengan : d_b = diameter baut pada daerah tak berulir

t_p = tebal pelat

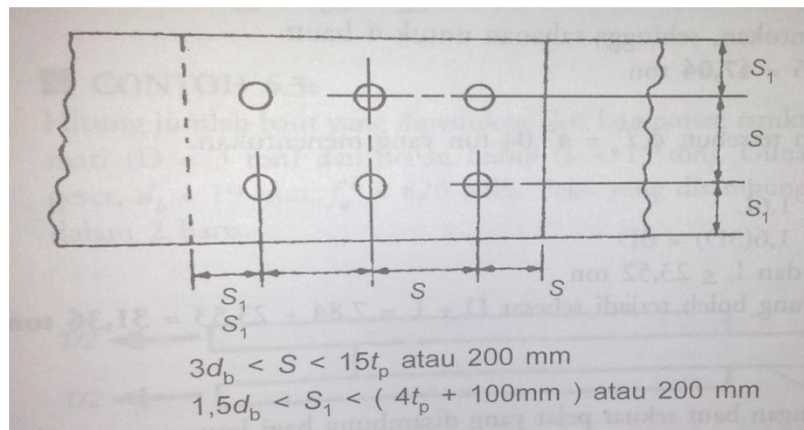
f_u = kuat tarik putus terendah dari baut atau pelat

Persamaan diatas berlaku untuk semua baut, sedangkan untuk lubang baut selot panjang tegak lurus arah gaya berlaku :

$$R_n = 2 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

- Tata Letak Baut

Tata letak baut diatur dalam SNI pasal 13.4. Jarak antar pusat lubang baut harus diambil tidak kurang dari 3 kali diameter nominal baut, dan jarak antara baut tepi dengan ujung pelat harus sekurang-kurangnya 1,5 diameter nominal baut. Dan jarak maksimum antar pusat lubang baut tidak boleh melebihi $15t_p$ (dengan t_p adalah tebal pelat lapis tertipis dalam sambungan) atau 200 mm, sedangkan jarak tepi maksimum harus tidak melebihi $(4t_p + 100 \text{ mm})$ atau 200 mm. Dapat dilihat lebih detail dalam gambar 1.16.



Gambar 1.16 Tata Letak Baut

- Sambungan Tipe Fiksi

Apabila dikehendaki sambungan tanpa slip (tipe friksi), maka satu baut yang hanya memikul gaya geser terfaktor, V_u , dalam bidang permukaan friksi harus memenuhi :

$$V_u < V_d (= \phi \cdot V_n)$$

Kuat rencana, $V_d = \phi V_n$, adalah kuat geser satu baut dalam sambungan tipe friksi yang besarnya dihitung menurut :

$$V_d = \phi V_n = 1,13 \phi \cdot \mu \cdot m \cdot proofload$$

Dengan : μ = koefisien gesek = 0,35

m = jumlah bidang geser

$\phi = 0,1$ untuk lubang standar

$\phi = 0,85$ untuk lubang slot pendek dan lubang besar

$\phi = 0,7$ untuk lubang slot panjang tegak lurus arah gaya

$\phi = 0,6$ untuk lubang slot panjang sejajar arah gaya

- Kuat Tarik Rencana

$$\phi T_n = 0,75 [0,75 \cdot A_b \cdot f_u^b]$$

Dengan : f_u^b = kuat tarik baut (Mpa)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

- Kuat Geser Rencana

Tumpu Baut

$$\phi V_n = 0,75 [m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b]$$

Tumpu Pelat

$$\phi R_n = 0,75 [2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u]$$

Friksi

$$\phi V_n = 0,75 (1,13) \mu [(0,7 f_u^b) (0,75 A_b)] m$$

Dengan : μ = koefisien gesek = 0,35

m = jumlah bidang geser

f_u^b = kuat tarik baut (Mpa)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

C. III. Sambungan Las

Proses pengelasan merupakan proses penyambungan dua potong logam dengan pemanasan sampai keadaan plastis atau cair, dengan atau tanpa tekanan. Pengelasan dalam bentuk paling sederhana telah dikenal dan digunakan sejak beberapa ribu tahun yang lalu. Para ahli sejarah memperkirakan bahwa orang Mesir kuno mulai menggunakan pengelasan dengan tekanan pada tahun 5500 sebelum masehi (SM), untuk membuat pipa tembaga dengan memalu lembaran yang tepinya saling menutup. Disebutkan bahwa benda seni orang Mesir yang dibuat pada tahun 3000 SM terdiri dari bahan dasar tembaga dan emas hasil peleburan dan pemukulan. Jenis pengelasan ini, yang disebut pengelasan tempa (*forge welding*), merupakan usaha manusia yang pertama dalam menyambung dua potong logam. Dewasa ini pengelasan tempa secara praktis telah ditinggalkan dan terakhir dilakukan oleh pandai besi. Pengelasan yang kita lihat sekarang ini jauh lebih kompleks dan sudah sangat berkembang.

Asal mula pengelasan tahanan listrik (*resistance welding*) dimulai sekitar tahun 1877 ketika Profesor Elihu Thompson memulai percobaan pembalikan polaritas pada gulungan transformator. Dia mendapat hak paten pertamanya pada tahun 1885 dan mesin las tumpul tahanan listrik (*resistance butt welding*) pertama diperagakan di American Institute Fair pada tahun 1887. Pada tahun 1889, Coffin diberi hak paten untuk pengelasan tumpul nyala partikel (*flash-butt welding*) yang menjadi salah satu proses las tumpul yang penting. Zerner pada tahun 1885 memperkenalkan proses las busur nyala karbon (*carbon arc welding*) dengan menggunakan dua elektroda karbon.

Pada tahun 1888, N.G. Slavinoff di Rusia merupakan orang pertama yang menggunakan proses busur nyala logam dengan memakai elektroda telanjang (tanpa lapisan). Coffin yang bekerja secara terpisah juga menyelidiki proses busur nyala logam dan mendapat hak Paten Amerika dalam 1892. Pada tahun 1889, A.P. Strohmeyer memperkenalkan konsep elektroda logam yang dilapis untuk menghilangkan banyak masalah yang timbul pada pemakaian elektroda telanjang.

Thomas Fletcher pada tahun 1887 memakai pipa tiup hidrogen dan oksigen yang terbakar, serta menunjukkan bahwa ia dapat memotong atau mencairkan logam. Pada tahun 1901-1903 Fouche dan Picard mengembangkan tangkai las yang dapat digunakan dengan asetilen (gas karbit), sehingga sejak itu dimulailah zaman pengelasan dan pemotongan oksiasetilen (gas karbit oksigen).

Setelah 1919, pemakaian las sebagai teknik konstruksi dan fabrikasi mulai berkembang dengan pertama menggunakan elektroda paduan (*alloy*) tembaga-wolfram untuk pengelasan titik pada tahun 1920. Pada periode 1930-1950 terjadi banyak peningkatan dalam perkembangan mesin las. Proses pengelasan busur nyala terbenam (*submerged*) yang busur nyalanya tertutup di bawah bubuk fluks pertama dipakai secara komersial pada tahun 1934 dan dipatenkan pada tahun 1935. Sekarang terdapat lebih dari 50 macam proses pengelasan yang dapat digunakan untuk menyambung berbagai logam dan padua, salah satunya pengelasan standar yang dapat dilihat dalam gambar 1.17.



Gambar 1.17. Pengelasan

C. III. I. Metode Pengelasan

a) Proses dasar

Menurut Welding Handbook, proses pengelasan adalah “proses penyambungan bahan yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanaskannya hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi.” ; Energi pembangkit panas dapat dibedakan menurut sumbernya: listrik, kimiawi, optis, mekanis, dan bahan semikonduktor. Panas digunakan untuk mencairkan logam dasar dan bahan pengisi agar terjadi aliran bahan (atau terjadi peleburan). Selain itu, panas dipakai untuk menaikkan daktilitas (*ductility*) sehingga aliran plastis dapat terjadi walaupun jika bahan tidak mencair; lebih jauh lagi, pemanasan membantu penghilangan kotoran pada bahan.

Proses pengelasan yang paling umum, terutama untuk mengelas baja struktural yang memakai energi listrik sebagai sumber panas; dan paling banyak digunakan adalah busur listrik (nyala). **Busur nyala** adalah pancaran arus listrik yang relatif besar antara elektroda dan bahan dasar yang dialirkan melalui kolom gas ion hasil pemanasan. Kolom gas ini disebut plasma. Pada pengelasan busur nyala, peleburan terjadi akibat aliran bahan yang melintasi busur dengan tanpa diberi tekanan. Proses lain (yang jarang dipakai untuk struktur baja) menggunakan sumber energi yang lain, dan beberapa proses ini menggunakan tekanan tanpa memandang ada atau tidak adanya pencairan bahan. Pelekatan (*bonding*) dapat juga terjadi akibat difusi. Dalam proses difusi, partikel seperti atom di sekitar pertemuan saling bercampur dan bahan dasar tidak mencair.

b) Pengelasan Busur Nyala Logam Terlindung (SMAW)

Pengelasan busur nyala logam terlindung (*Shielded metal arc welding*) merupakan salah satu jenis yang paling sederhana dan paling canggih untuk pengelasan baja struktural. Proses SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan busur listrik (nyala) antara elektroda yang dilapis dan bahan yang akan disambung. Rangkaian pengelasan

diperlihatkan pada. Elektroda yang dilapis akan habis karena logam pada elektroda dipindahkan ke bahan dasar selama proses pengelasan. Kawat elektroda (kawat las) menjadi bahan pengisi dan lapisannya sebagian dikonversi menjadi gas pelindung, sebagian menjadi terak (*slag*), dan sebagian lagi diserap oleh logam las. Bahan pelapis elektroda adalah campuran seperti lempung yang terdiri dari pengikat silikat dan bahan bubuk, seperti senyawa flour, karbonat, oksida, paduan logam, dan selulosa. Campuran ini ditekan dari acuan dan dipanasi hingga diperoleh lapisan konsentris kering yang keras.

Pemindahan logam dari elektroda ke bahan yang dilas terjadi karena penarikan molekul dan tarikan permukaan tanpa pemberian tekanan. Perlindungan busur nyala mencegah kontaminasi atmosfer pada cairan logam dalam arus busur dan kolam busur, sehingga tidak terjadi penarikan nitrogen dan oksigen serta pembentukan nitrit dan oksida yang dapat mengakibatkan kegetasan.

Lapisan elektroda berfungsi sebagai berikut:

1. Menghasilkan gas pelindung untuk mencegah masuknya udara dan membuat busur stabil.
2. Memberikan bahan lain, seperti unsur pengurai oksida, untuk memperhalus struktur butiran pada logam las.
3. Menghasilkan lapisan terak di atas kolam yang mencair dan memadatkan las untuk melindunginya dari oksigen dan nitrogen dalam udara, serta juga memperlambat pendinginan.

c) Pengelasan Busur Nyala Terbenam (SAW)

Pada proses SAW (*Submerged Arc Welding*), busurnya tidak terlihat karena tertutup oleh lapisan bahan granular (berbentuk butiran) yang dapat melebur. Elektroda logam telanjang akan habis karena ditimbun sebagai bahan pengisi. Ujung elektroda terus terlindung oleh cairan fluks yang berada di bawah lapisan fluks granular yang tak melebur. Fluks, yang merupakan ciri khas dari metode ini, memberikan penutup sehingga pengelasan tidak menimbulkan kotoran, percikan api, atau asap. Fluks granular biasanya terletak secara otomatis sepanjang kampuh (*seam*) di muka lintasan gerak elektroda. Fluks

melindungi kolam las dari atmosfer, berlaku sebagai pembersih logam las, dan mengubah komposisi kimia dari logam las.

Las yang dibuat dengan proses busur nyala terbenam memiliki mutu yang tinggi dan merata, daktilitas yang baik, kekuatan kejut (*impact*) yang tinggi, kerapatan yang tinggi dan tahan karat yang baik. Sifat mekanis las ini sama baiknya seperti bahan dasar.

d) Pengelasan Busur Nyala Logam Gas (GMAW)

Pada proses GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), elektrodanya adalah kawat menerus dari 1 gulungan yang disalurkan melalui pemegang elektroda. Perlindungan dihasilkan seluruhnya dari gas atau campuran gas yang diberikan dari luar. Mula-mula metode ini dipakai hanya dengan perlindungan gas mulia (tidak reaktif) sehingga disebut MIG (Metal Inert Gas/gas logam mulia). Gas yang reaktif biasanya tidak praktis, kecuali CO₂ (karbon dioksida). Gas CO₂, baik CO₂ saja atau dalam campuran dengan gas mulia, banyak digunakan dalam pengelasan baja.

Argon sebenarnya dapat digunakan sebagai gas pelindung untuk pengelasan semua logam, namun, gas ini tidak dianjurkan untuk baja karena mahal serta kenyataan bahwa gas pelindung dan campuran gas lain dapat digunakan. Untuk pengelasan baja karbon dan beberapa baja paduan rendah baik (1) 75% argon dan 25% CO, ataupun (2) 100% CO₂ lebih dianjurkan. Untuk baja paduan rendah yang ketiutannya (*toughness*) penting, disarankan pemakaian campuran dari 60-70% helium, 25-30% argon, dan 4-5% CO₂.

Selain melindungi logam yang meleleh dari atmosfer, gas pelindung mempunyai fungsi sebagai berikut.

1. Mengontrol karakteristik busur nyala dan perindahan logam.
2. Mempengaruhi penetrasi, lebar peleburan, dan bentuk daerah las.
3. Mempengaruhi kecepatan pengelasan.
4. Mengontrol peleburan berlebihan (*undercutting*).

Pencampuran gas mulia dan gas reaktif membuat busur nyala lebih stabil dan kotoran selama perindahan logam lebih sedikit. Pemakaian CO₂ saja untuk

pengelasan baja merupakan prosedur termurah karena rendahnya biaya untuk gas pelindung, tingginya kecepatan pengelasan, lebih baiknya penetrasi sambungan, dan baiknya sifat mekanis timbunan las. Satu-satunya kerugian ialah pemakaian CO₂ menimbulkan kekasaran dan kotoran yang banyak.

e) Pengelasan Busur Nyala Berinti Fluks (FCAW)

Proses FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) sama seperti GMAW tetapi elektroda logam pengisi yang menerus berbentuk tubular (seperti pipa) dan mengandung bahan fluks dalam intinya. Bahan inti ini sama fungsinya seperti lapisan pada SMAW atau fluks granular pada SAW. Untuk kawat yang diberikan secara menerus, lapisan luar tidak akan tetap lekat pada kawat. Gas pelindung dihasilkan oleh inti fluks tetapi biasanya diberi gas pelindung tambahan dengan gas CO₂.

f) Pengelasan-Terak Listrik (ESW)

Proses ESW (*Electroslag Welding*) merupakan proses mesin yang digunakan terutama untuk pengelasan dalam posisi vertikal. Ini biasanya dipakai untuk memperoleh las lintasan tunggal (satu kali jalan) seperti untuk sambungan pada penampang kolom yang besar. Logam las ditimbun ke dalam alur yang dibentuk oleh tepi plat yang terpisah dan "sepatu" (alas) yang didinginkan dengan air. Terak cair yang konduktif melindungi las serta mencairkan bahan pengisi dan tepi plat. Karena terak padat tidak konduktif, busur nyala diperlukan untuk mengawali proses dengan mencairkan terak dan memanaskan plat. Busur nyala dapat dihentikan setelah proses berjalan dengan baik. Selanjutnya, pengelasan dilakukan oleh panas yang ditimbulkan melalui tahanan terak terhadap aliran arus listrik. Karena pemanasan akibat tahanan digunakan untuk seluruh proses kecuali sumber panas mula-mula, proses SAW sebenarnya bukan merupakan proses pengelasan busur nyala.

g) Pengelasan *Stud*

Proses yang paling umum digunakan dalam pengelasan *stud* (baut tanpa ulir) ke bahan dasar disebut pengelasan stud busur nyala (*arc stud welding*). Proses ini bersifat otomatis tetapi karakteristiknya sama seperti proses SMAW. *Stud* berlaku sebagai elektroda, dan busur listrik timbul dari

ujung *stud* ke plat. *Stud* dipegang oleh penembak yang mengontrol waktu selama proses. Perlindungan dilakukan dengan meletakkan cincin keramik di sekeliling ujung *stud* pada penembak. Penembak diletakkan dalam posisinya dan busur ditimbulkan pada saat cincin keramik berisi logam cair. Setelah beberapa saat, penembak mendorong *stud* ke kolam yang mencair dan akhirnya terbentuk las sudut (*fillet weld*) keil di sekeliling *stud*. Penetrasi sempurna di seluruh penampang lintang *stud* diperoleh dan pengelasan biasanya selesai dalam waktu kurang dari satu detik.

C. III. II. Jenis Sambungan Las

Jenis sambungan tergantung pada faktor-faktor seperti ukuran dan profil batang yang bertemu di sambungan, jenis pembebanan, besarnya luas sambungan yang tersedia untuk pengelasan, dan biaya relatif dari berbagai jenis las. Sambungan las terdiri dari lima jenis dasar dengan berbagai macam variasi dan kombinasi yang banyak jumlahnya. Kelima jenis dasar ini adalah sambungan sebidang (*butt*), lewatan (*lap*), tegak (T), sudut, dan sisi

- Sambungan Sebidang

Sambungan sebidang dipakai terutama untuk menyambung ujung-ujung plat datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama. Keuntungan utama jenis sambungan ini ialah menghilangkan eksentrisitas yang timbul pada sambungan lewatan tunggal. Bila digunakan bersama dengan las tumpul penetrasi sempurna (*full penetration groove weld*), sambungan sebidang menghasilkan ukuran sambungan minimum dan biasanya lebih estetik dari pada sambungan bersusun. Kerugian utamanya ialah ujung yang akan disambung biasanya harus disiapkan secara khusus (diratakan atau dimiringkan) dan dipertemukan secara hati-hati sebelum dilas. Hanya sedikit penyesuaian dapat dilakukan, dan potongan yang akan disambung harus diperinci dan dibuat secara teliti. Akibatnya, kebanyakan sambungan sebidang dibuat di bengkel yang dapat mengontrol proses pengelasan dengan akurat.

- Sambungan Lewatan

Sambungan lewatan merupakan jenis yang paling umum. Sambungan ini mempunyai dua keuntungan utama:

1. Mudah disesuaikan.

Potongan yang akan disambung tidak memerlukan ketepatan dalam pembuatannya bila dibanding dengan jenis sambungan lain. Potongan tersebut dapat digeser untuk mengakomodasi kesalahan kecil dalam pembuatan atau untuk penyesuaian panjang.

2. Mudah disambung.

Tepi potongan yang akan disambung tidak memerlukan persiapan khusus dan biasanya dipotong dengan nyala (api) atau geseran. Sambungan lewatan menggunakan las sudut sehingga sesuai baik untuk pengelasan di bengkel maupun di lapangan. Potongan yang akan disambung dalam banyak hal hanya dijepit (diklem) tanpa menggunakan alat pemegang khusus. Kadang-kadang potonganpotongan diletakkan ke posisinya dengan beberapa baut pemasangan yang dapat ditinggalkan atau dibuka kembali setelah dilas. Keuntungan lain sambungan lewatan adalah mudah digunakan untuk menyambung plat yang tebalnya berlainan.

- Sambungan Tegak

Jenis sambungan ini dipakai untuk membuat penampang bentukan (*built-up*) seperti profil T, profil 1, gelagar plat (*plat girder*), pengaku tumpuan atau penguat samping (*bearing stiffener*), penggantung, konsol (*bracket*). Umumnya potongan yang disambung membentuk sudut tegak lurus seperti pada Gambar 6.16(c). Jenis sambungan ini terutama bermanfaat dalam pembuatan penampang yang dibentuk dari plat datar yang disambung dengan las sudut maupun las tumpul.

- Sambungan Sudut

Sambungan sudut dipakai terutama untuk membuat penampang berbentuk boks segi empat seperti yang digunakan untuk kolom dan balok yang memikul momen puntir yang besar.

- Sambungan Sisi

Sambungan sisi umumnya tidak struktural tetapi paling sering dipakai untuk menjaga agar dua atau lebih plat tetap pada bidang tertentu atau untuk mempertahankan kesejajaran (*alignment*) awal. Seperti yang dapat disimpulkan dari pembahasan di muka, variasi dan kombinasi kelima jenis sambungan las dasar sebenarnya sangat banyak. Karena biasanya terdapat lebih dari satu cara untuk menyambung sebuah batang struktural dengan lainnya, perencana harus dapat memilih sambungan (atau kombinasi sambungan) terbaik dalam setiap persoalan. Dapat dilihat dalam gambar 1.18.



Gambar 1.18 Pengelasan pada Sambungan Profil Baja

C. III. III. Jenis Las

Jenis las yang umum adalah las tumpul, sudut, baji (*slot*), dan pasak (*plug*). Setiap jenis las memiliki keuntungan tersendiri yang menentukan jangkauan penia-kaianya. Secara kasar, persentase pemakaian keempat jenis tersebut untuk konstruksi las adalah sebagai berikut: las tumpul, 15%; las sudut, 80%; dan sisanya 5% terdiri dari las baji, las pasak dan las khusus lainnya.

1) Las Tumpul

Las tumpul (*groove weld*) terutama dipakai untuk menyambung batang struktural yang bertemu dalam satu bidang. Karena las tumpul biasanya ditujukan untuk menyalurkan semua beban batang yang disambungnya, las ini harus memiliki kekuatan yang sama seperti potongan yang disambungnya. Las tumpul seperti ini disebut las tumpul penetrasi sempurna. Bila sambungan direncanakan sedemikian rupa hingga las tumpul tidak diberikan sepanjang ketebalan potongan yang disambung, maka las ini disebut las tumpul penetrasi parsial.

Banyak variasi las tumpul dapat dibuat dan masing-masing dibedakan menurut bentuknya. Las tumpul umumnya memerlukan penyiapan tepi tertentu dan disebut menurut jenis penyiapan yang dilakukan. Pemilihan las tumpul yang sesuai tergantung pada proses pengelasan yang digunakan, biaya penyiapan tepi, dan biaya pembuatan las. Las tumpul juga dapat dipakai pada sambungan tegak.

2) Las Sudut

Las sudut bersifat ekonomis secara keseluruhan, mudah dibuat, dan mampu beradaptasi, serta merupakan jenis las yang paling banyak dipakai dibandingkan jenis las dasar yang lain. Las ini umumnya memerlukan lebih sedikit presisi dalam pemasangan karena potongannya saling bertumpang (*overlap*), sedang las tumpul memerlukan kesejajaran yang tepat dan alur tertentu antara potongan. Las sudut terutama menguntungkan untuk pengelasan di lapangan, dan untuk menyesuaikan kembali batang atau sambungan yang difabrikasi dengan toleransi tertentu tetapi tidak cocok dengan yang dikehendaki. Selain itu, tepi potongan yang disambung jarang memerlukan penyiapan khusus, seperti pemiringan (*beveling*). atau penegakan, karena kondisi tepi dari proses pemotongan nyala (*flame cutting*) atau pemotongan geser umumnya memadai.

3) Las Baji dan Pasak

Las baji dan pasak dapat dipakai secara tersendiri pada sambungan atau dipakai bersama-sama dengan las sudut. Manfaat utama las baji dan pasak ialah menyalurkan gaya geser pada sambungan lewat bila ukuran sambungan membatasi panjang yang tersedia untuk las sudut atau las sisi lainnya. Las baji dan pasak juga berguna untuk mencegah terjadinya tekuk pada bagian yang saling bertumpang.

C. III. IV. Faktor yang Mempengaruhi Mutu Sambungan Las

Untuk memperoleh sambungan las yang memuaskan, gabungan dari banyak keahlian individu diperlukan, mulai dari perencanaan las sampai operasi pengelasan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas sambungan las adalah Cacat yang mungkin terjadi pada las. Teknik dan prosedur pengelasan yang tidak baik menimbulkan cacat pada las yang menyebabkan diskontinuitas dalam las. Cacat yang umumnya dijumpai ialah:

- Peleburan Tak Sempurna

Peleburan tak sempurna terjadi karena logam dasar dan logam las yang berdekatan tidak melebur bersama secara menyeluruh. Ini dapat terjadi

jika permukaan yang akan disambung tidak dibersihkan dengan baik dan dilapisi kotoran, terak, oksida, atau bahan lainnya. Penyebab lain dari cacat ini ialah pemakaian peralatan las yang arus listriknya tidak memadai, sehingga logam dasar tidak mencapai titik lebur. Laju pengelasan yang terlalu cepat juga dapat menimbulkan pengaruh yang sama.

- **Penetrasi Kampuh yang Tak Memadai**

Penetrasi kampuh yang tak memadai ialah keadaan di mana kedalaman las kurang dari tinggi alur yang ditetapkan. Keadaan ini diperlihatkan pada sambungan dalam Gambar 9.37 yang seharusnya merupakan penetrasi sempurna. Penetrasi kampuh parsial hanya dapat diterima bila memang ditetapkan demikian.

Cacat ini, yang terutama berkaitan dengan las tumpul, terjadi akibat perencanaan alur yang tak sesuai dengan proses pengelasan yang dipilih, elektroda yang terlalu besar, arus listrik yang tak memadai, atau laju pengelasan yang terlalu cepat.

- **Porositas**

Porositas terjadi bila rongga-rongga atau kantung-kantung gas yang kecil terperangkap selama proses pendinginan. Cacat ini ditimbulkan oleh arus listrik yang terlalu tinggi atau busur nyala yang terlalu panjang. Porositas dapat terjadi secara merata tersebar dalam las, atau dapat merupakan rongga yang besar terpusat di dasar las sudut atau dasar dekat plat pelindung pada las tumpul. Yang terakhir diakibatkan oleh prosedur pengelasan yang buruk dan pemakaian plat pelindung yang ceroboh.

- **Peleburan Berlebihan**

Peleburan berlebihan (*uncercutting*) ialah terjadinya alur pada bahan dasar di dekat ujung kaki las yang tidak terisi oleh logam las. Arus listrik dan panjang busur nyala yang berlebihan dapat membakar atau menimbulkan alur pada logam dasar. Cacat ini mudah terlihat dan dapat diperbaiki dengan memberi las tambahan.

- Kemasukan Terak

Terak terbentuk selama proses pengelasan akibat reaksi kimia lapisan elektroda yang mencair, serta terdiri dari oksida logam dan senyawa lain. Karena kerapatan terak kecil dari logam las yang mencair, terak biasanya berada pada permukaan dan dapat dihilangkan dengan mudah setelah dingin. Namun, pendinginan sambungan yang terlalu cepat dapat menjerat terak sebelum naik ke permukaan. Las menghadap ke atas sering mengalami kemasukan terak dan harus diperiksa dengan teliti. Bila beberapa lintasan las dibutuhkan untuk memperoleh ukuran las yang dikehendaki, pembuat las harus membersihkan terak yang ada sebelum memulai pengelasan yang baru. Kelalaian terhadap hal ini merupakan penyebab utama masuknya terak.

- Retak

Retak adalah pecah-pecah pada logam las, baik searah ataupun transversal terhadap garis las, yang ditimbulkan oleh tegangan internal. Retak pada logam las dapat mencapai logam dasar, atau retak terjadi seluruhnya pada logam dasar di sekitar las. Retak mungkin merupakan cacat las yang paling berbahaya, namun, retak halus yang disebut retak mikro (*mikrofissures*) umumnya tidak mempunyai pengaruh yang berbahaya. Retak kadang-kadang terbentuk ketika las mulai memadat dan umumnya diakibatkan oleh unsur-unsur yang getas (baik besi ataupun elemen paduan) yang terbentuk sepanjang serat perbatasan. Pemanasan yang lebih merata dan pendinginan yang lebih lambat akan mencegah pembentukan retak “panas”. Retak pada bahan dasar yang sejajar las juga dapat terbentuk pada suhu kamar. Retak ini terjadi pada baja paduan rendah akibat pengaruh gabungan dari hidrogen, mikrostruktur martensit yang getas, serta pengekangan terhadap susut dan distorsi. Pemakaian elektroda rendah-hidrogen bersama dengan pemanasan awal dan akhir yang sesuai akan memperkecil retak “dingin” ini.

C. IV. Kerusakan yang Biasa Terjadi Pada Struktur Baja

Umumnya kerusakan pada struktur baja terjadi disebabkan oleh korosi dan fatik.

Korosi adalah faktor yang paling umum yang mengarah pada penurunan kualitas bagian struktural dan sambungannya. Ada lima format korosi yang teramati pada konstruksi baja, yaitu:

1. korosi permukaan, yang menyebabkan kerusakan seragam pada permukaan yang relatif besar pada baja struktural dan mengarah pada pengurangan penampang-lintang di dalam bagian struktural,
2. korosi cekungan, terjadi pada permukaan yang sangat kecil (oleh karena itu, efek nya sukar dideteksi dalam banyak kasus), mengembang sangat dalam di dalam baja dan secara umum mengarah pada konsentrasi tegangan lokal,
3. korosi celah, terjadi di lapisan kontak antara dua elemen tipe yang sama baja (sebagai contoh, pada pelat yang diperkuat dengan baut, pelat penyambung, pelat buhul, dll.) dan mengarah pada kerusakan oleh kekuatan yang merobek sebagai hasil dari efek pengembangan hasil korosi, dalam banyak kasus sangat sulit untuk mendeteksi efek yang membahayakan akibat tipe korosi ini karena muncul pada banyak tempat yang tidak mudah diakses di dalam struktur baja,
4. korosi galvanis, yang umumnya terjadi pada sambungan dua tipe baja atau logam yang berbeda (sebagai contoh , dalam pengelasan, hubungan dengan

menggunakan sekrup, baut atau paku keling yang disebut sel galvanis dapat dibentuk) dan mengarah pada pengrusakan bahan lokal, sulit untuk pendeteksian,

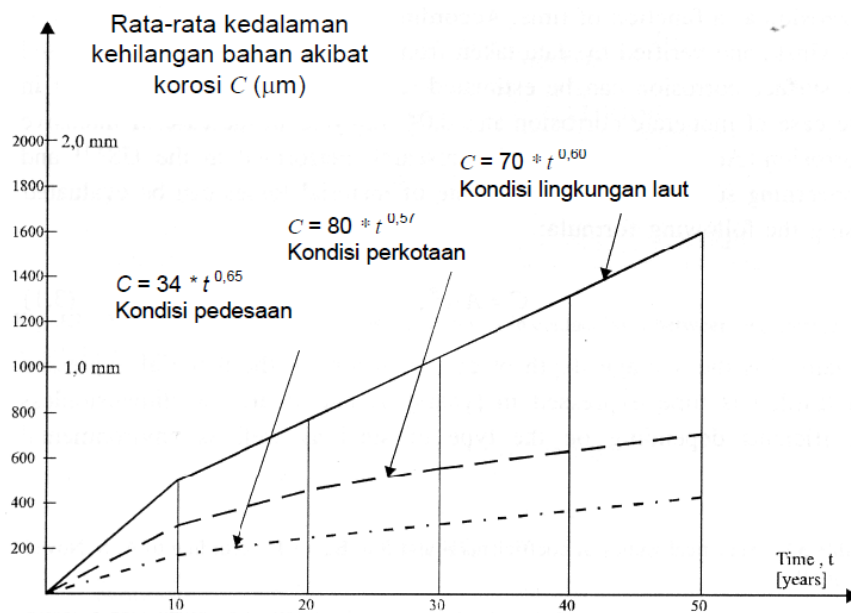
5. korosi tegangan, terjadi kebanyakan di dalam kabel pada jembatan gantung dan jembatan *cable-stayed*, relatif jarang di dalam elemen jembatan struktural yang dibangun dengan baja karbon, korosi tegangan bersama-sama dengan korosi cekungan dan korosi celah kadang-kadang dianggap sebagaikorosi fatik.

Korosi permukaan, korosi cekungan dan korosi celah, yang ditandai di atas dengan (a), (b) dan (c), adalah yang paling sering diamati dalam struktur jembatan baja. Penyelesaian masalah fisik dan penyelesaian masalah kimia korosi tipe ini serupa dan seperti ditunjukkan gambar-gambar di bawah ini. Untukmembandingkan penyelesaian masalah korosi ini dalam baja struktural dan di dalam tulangan baja dari beton, ilustrasi yang relevan diberikan. Informasi yang lebih detail tentang korosi adalah di luar modul ini dan dapat ditemukan lain dalam banyak sumber.

Intensitas korosi kebanyakan tergantung pada bentuk bagian struktural yang memadai mudah untuk pengeluaran air, mudah untuk dapat diakses dalam pemeliharaan), kualitas perlindungan anti-korosi, kualitas pekerjaan konstruksi, program dan kualitas pemeliharaan seperti halnya kondisi-kondisi lingkungan, sebagian besar kelembaban dan polusi yang merusak di dalam atmosfer.

Kerusakan oleh korosi secara umum mengarah pada peningkatan nilai tegangan dalam bagian struktural akibat pengurangan penampang, dan pengurangan kekakuan struktur yang mendorong satu sama lain pada perubahan bentuk yang lebih besar (mencakup lendutan) seperti halnya perubahan karakteristik dinamis jembatan. Konsentrasi tegangan lokal yang dihasilkan oleh korosi cekungan sebagai contoh dapat mengarah pada pengurangan ketahanan fatik beberapa bagian struktural. Lebih dari itu, beberapa efek berbahaya tambahan yang dapat diamati akibat berbagai tipe korosi seperti hilangnya kestabilan lokal bagian individu struktural, kerusakan pada perletakan jembatan baja mengarah pada penguncian perletakan, dan lain lain.

Kerusakan akibat korosi juga dapat dipengaruhi dari daerah tempat struktur bangunan baja berdiri. Pada daerah pedesaan korosi yang terjadi cenderung lambat jika dibandingkan dengan daerah perkotaan yang memiliki tingkat polusi lebih tinggi. Dan korosi terjadi paling cepat pada daerah sekitar laut yang disebabkan oleh air laut itu sendiri. Dapat dilihat grafik hubungannya pada gambar 1.19 dibawah ini.



Gambar 1.19. Grafik Perkembangan Kehilangan Bahan Akibat Korosi Permukaan sebagai Fungsi dari Waktu dan Kondisi Lingkungan

Tipe kedua paling utama dari kerusakan bangunan konstruksi baja adalah efek fatik dan retak fraktur, yang diwujudkan kebanyakan oleh retak. Gejala yang dihubungkan dengan kegagalan fatik adalah sangat kompleks dan tergantung sebagian besar pada struktur internal baja, intensitas beban siklis, tingkat tegangan dalam bagian struktur primer dan sekunder, bentuk mereka, termasuk ketidak menerusan struktural lokal dan takikan, mengarah pada konsentrasi tegangan, dll.

Retak fraktur dapat muncul akibat kekurangan daktilitas atau kekerasan bahan dan penurunan suhu secara dramatis seperti halnya kondisi tegangan.

Analisa fatik dan retak fraktur berada di luar bidang buku ini. Informasi yang relevan dapat dengan mudah ditemukan banyak lain sumber. Informasi yang memperhatikan kegagalan fatik di sini terbatas pada indikasi sensitif fatik secara detil tipikal dan penempatannya dalam bangunan konstruksi baja dengan berbagai tipe.

D. Aktivitas Pembelajaran

- Studi literatur
- Mengamati gambar
- Mengerjakan soal – soal latihan

LK 1.01 Kegiatan Studi Literatur

No.	Kegiatan	Hasil Diskusi/Pemahaman	Sumber/Studi Literatur
1.	Pengertian sambungan <ul style="list-style-type: none"> • Jelaskan pengertian sambungan 		
2.	Sambungan paku keling <ul style="list-style-type: none"> • Jelaskan pengertian paku keling • Sebutkan bagian – bagian paku keling 		
3.	Jenis – jenis paku keling <ul style="list-style-type: none"> • Sebutkan jenis – jenis paku keling berdasarkan bentuknya 		

	<ul style="list-style-type: none"> Sebutkan jenis paku keling berdasarkan pembebanannya 		
4.	<p>Proses pemasangan paku keling</p> <ul style="list-style-type: none"> Sebutkan bahan paku keling yang biasa digunakan 		
5.	<p>Bandingkan paku keling dengan baut mutu tinggi</p> <ul style="list-style-type: none"> Sebutkan keuntungan paku keling 		
6.	<p>Pengertian sambungan baut</p> <ul style="list-style-type: none"> Jelaskan pengertian sambungan baut 		
7.	<p>Jenis – jenis baut</p> <ul style="list-style-type: none"> Sebutkan jenis – jenis baut dan jelaskan Sebutkan keuntungan sambungan baut 		
8.	<p>Jenis – jenis sambungan baut</p> <ul style="list-style-type: none"> Sebutkan dan gambarkan jenis – jenis sambungan baut 		

9.	<p>Perencanaan sambungan baut</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sebutkan dan jelaskan proses yang harus dilakukan dalam perencanaan sambungan baut 		
10.	<p>Perhitungan sambungan baut</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sebutkan beberapa perhitungan yang perlu diperhatikan dalam merencanakan sambungan baut 		
11.	<p>Sambungan las</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jelaskan proses pengelasan • Sebutkan dan jelaskan metode pengelasan • Sebutkan jenis – jenis sambungan las • Sebutkan dan jelaskan faktor yang mempengaruhi mutu sambungan las 		
12.	<p>Kerusakan yang biasa terjadi pada struktur baja</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jelaskan pengertian 		

	korosi • Sebutkan dan jelaskan format korosi yang teramati pada kontruksi baja		
--	---	--	--

LK 1.02 Kegiatan Pengamatan

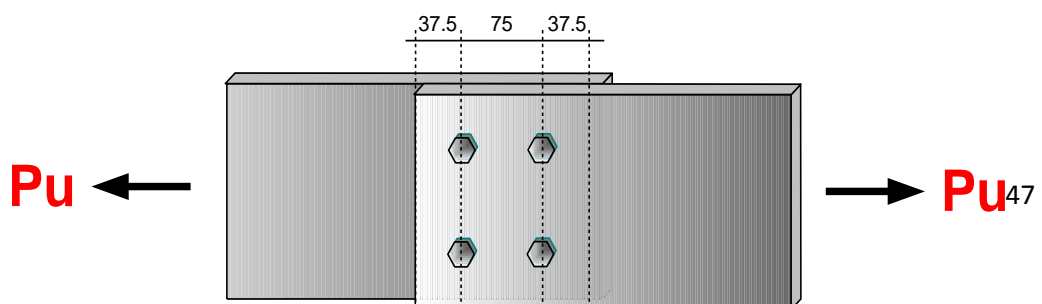
1.



Sebutkan bagian – bagian yang diberi tanda panah pada gambar baut diatas

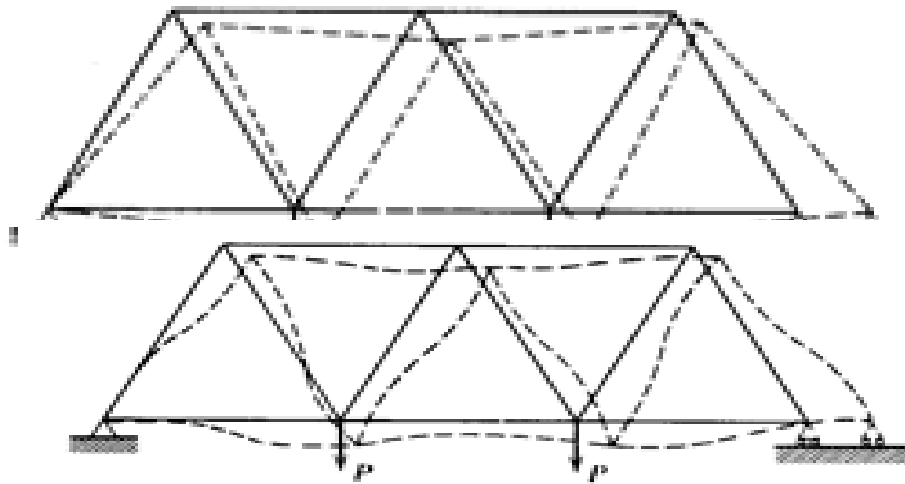
E. Latihan/Kasus/Tugas

1). Perhatikanlah gambar sambungan sebidang di bawah ini. Diketahui banyak baut adalah 4 buah, diameter baut 22mm, $f_{ub} = 825 \text{ Mpa}$. Jumlah bidang kontak adalah 1 buah, dan tanpa ada uliran pada bidang geser. Kuat rencana sistem sambungan adalah



Gambar 1.20 Contoh Soal 1

2). Kegagalan yang terjadi pada rangka baja seperti gambar di bawah berkemungkinan besar akibat?



Gambar 1.21 Contoh Soal 2

F. Rangkuman

Dalam proyek konstruksi baja harus diperhatikan dengan baik perencanaan dan pelaksanaannya di lapangan.

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Pada bentuk segiempat atau bujursangkar, bila struktur tersebut diberi beban, maka akan terjadi deformasi masif dan menjadikan struktur tak stabil.

Pada struktur stabil, gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang yaitu gaya tarik dan tekan murni. Metode untuk menggambarkan gaya-gaya pada rangka batang adalah berdasarkan pada tinjauan keseimbangan titik hubung.

Langkah pertama pada analisis rangka batang adalah menentukan apakah rangka batang itu mempunyai konfigurasi yang stabil atau tidak. Prinsip yang mendasari teknik analisis gaya batang adalah bahwa setiap struktur atau setiap bagian dari setiap struktur harus berada dalam kondisi seimbang.

Rangka batang statis tak tentu tidak dapat dianalisis hanya dengan menggunakan persamaan kesimbangan statika, karena kelebihan banyaknya tumpuan atau banyaknya batang yang menjadi variabel.

Pada rangka batang bidang, bentuk segitiga sederhana merupakan dasar, sedangkan bentuk dasar pada rangka batang ruang adalah tetrahedron.

Penentuan tinggi optimum yang meminimumkan volume total rangka batang umumnya dilakukan dengan proses optimasi. Beberapa permasalahan yang umumnya timbul pada menyangkut faktor desain elemen –faktor. Beberapa kriteria pokok yang harus dipenuhi, antara lain : kemampuan layan, efisiensi, kemudahan.

G. Umpan balik dan tindak lanjut

Waktu proses pembelajaran berlangsung, guru hendaknya mengamati kegiatan siswa. Pada saat ini umpan balik dapat dilakukan sebagai berikut :

- 1) Ketika siswa mengajukan pertanyaan, biasakan janganlah langsung dijawab oleh guru, beri kesempatan siswa lainnya untuk memberikan jawaban atau untuk didiskusikan dengan teman temannya. Komentar datang dari berbagai pihak sehingga terjadi pembicaraan antara guru dengan siswa, dan siswa dengan siswa. Dengan diskusi semacam ini, siswa yang bertanya akan mengetahui bagaimana cara pemecahannya.
- 2) Pada waktu diskusi berlangsung, guru hendaknya melibatkan diri agar dapat mengetahui proses berpikir siswa dalam memahami suatu konsep.

Pada Pekerjaan Siswa

Siswa ingin mengetahui seberapa jauh pekerjaannya dinilai oleh guru atau temannya. Dalam hal ini, guru hendaknya memberikan apresiasi kepada siswa yang hasil pekerjaannya benar/baik. Jika hasil pekerjaan siswa salah, janganlah sekali-kali mengatakan: "Ini salah!" Sebab, hal ini akan mengurangi semangat siswa untuk belajar.

Terhadap siswa yang melakukan kesalahan/ mendapat kesulitan, guru hendaknya membantu bagaimana memecahkan masalah yang dihadapi. Petunjuk ataupun saran dapat diberikan dalam bentuk lisan atau tulisan. Yang siswa merasakan bahwa pekerjaannya mendapat perhatian dari gurunya.

Terhadap hasil pekerjaan siswa, guru harus memberikan tanggapan bagaimana pendapatnya mengenai hasil tersebut dan saran atau komentar apa yang perlu disampaikan.

PEMBELAJARAN 2

Merencanakan Proyek Konstruksi Baja

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran 2 ini adalah menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu. Agar hal tersebut dapat dikuasai pada modul Konstruksi Baja Grade 10 ini pembelajaran 2 yang dimaksud adalah merencanakan proyek konstruksi baja.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator Pencapaian Kompetensi pada pembelajaran 2 adalah mengevaluasi kembali perencanaan proyek konstruksi baja yang sudah ada.

C. Uraian Materi

Mengevaluasi Model Proyek Konstruksi Baja

Dalam proyek konstruksi baja harus diperhatikan dengan baik perencanaan dan pelaksanaannya di lapangan. Meskipun pada awal perencanaan sudah ditinjau kondisi lapangan, ada baiknya setelah selesai perencanaan di tinjau kembali. Kondisi lapangan memiliki banyak faktor yang mempengaruhinya. Peninjauan kembali (evaluasi) tidak hanya pada keadaan lapangan, tetapi juga pada perencanan desain yang sudah jadi.

Beberapa kendala sehingga perlunya pengevaluasian ulang dalam perencanaan baja dapat disebabkan ukuran material yang tidak dapat di sekitar lokasi proyek, ukuran baut yang direncanakan tidak sesuai dengan yang ada

dilapangan, dsb. Hal-hal yang perlu diperhatikan ulang dalam pengevaluasian perencanaan konstruksi proyek, diantaranya :

C.I. Struktur Rangka Batang

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk bila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya. Setiap elemen tersebut dianggap tergabung pada titik hubungannya dengan sambungan sendi. Sedangkan batang-batang tersebut dihubungkan sedemikian rupa sehingga semua beban dan reaksi hanya terjadi pada titik hubung.

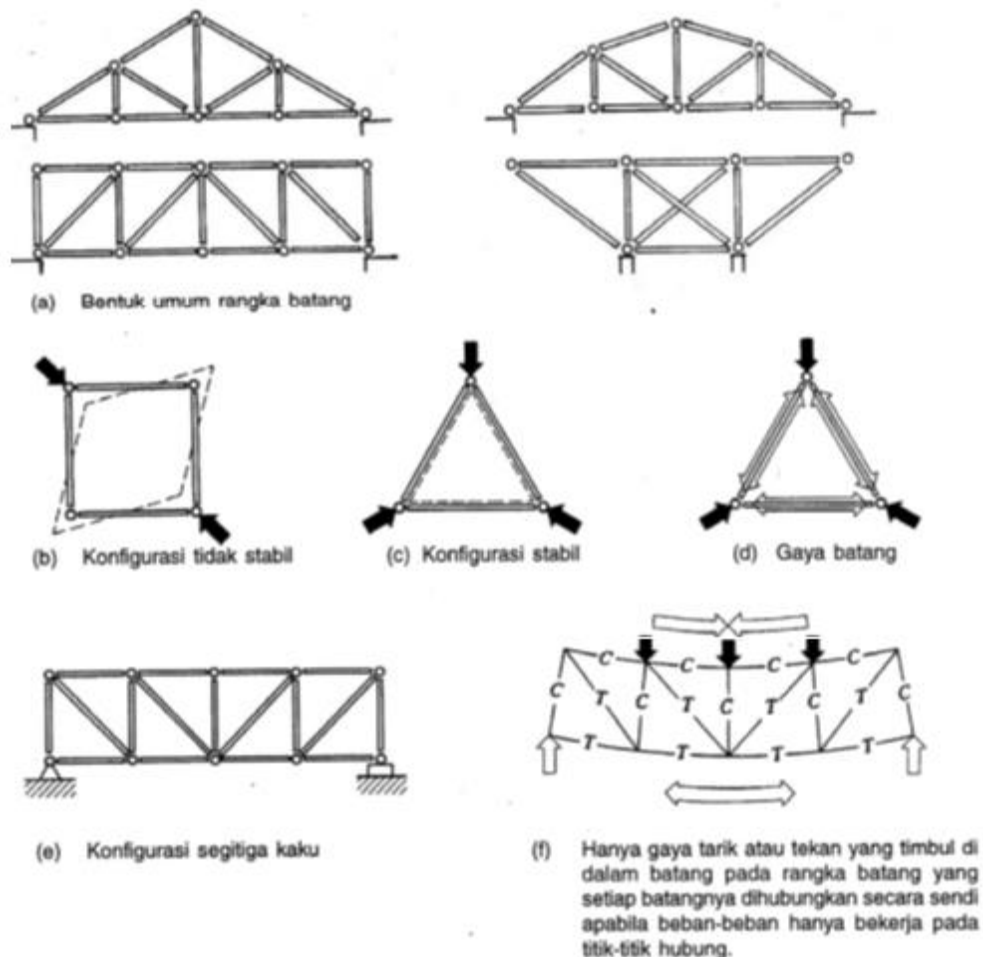
C. II. Prinsip – prinsip Umum Rangka Batang

1. Prinsip Dasar Triangulasi

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Pada bentuk segiempat atau bujursangkar, bila struktur tersebut diberi beban, maka akan terjadi deformasi masif dan menjadikan struktur tak stabil. Bila struktur ini diberi beban, maka akan membentuk suatu mekanisme runtuh (*collapse*), sebagaimana diilustrasikan pada gambar berikut ini. Struktur yang demikian dapat berubah bentuk dengan mudah tanpa adanya perubahan pada panjang setiap batang. Sebaliknya, konfigurasi segitiga tidak dapat berubah bentuk atau runtuh, sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk ini stabil.

Pada struktur stabil, setiap deformasi yang terjadi relatif kecil dan dikaitkan dengan perubahan panjang batang yang diakibatkan oleh gaya yang timbul di dalam batang sebagai akibat dari beban eksternal. Selain itu, sudut yang terbentuk antara dua batang tidak akan berubah apabila struktur stabil tersebut dibebani. Hal ini sangat berbeda dengan mekanisme yang terjadi pada bentuk tak stabil, dimana sudut antara dua batangnya berubah sangat besar.

Pada struktur stabil, gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya tarik dan tekan murni. Lentur (*bending*) tidak akan terjadi selama gaya eksternal berada pada titik nodal (titik simpul). Bila susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk stabil, maka sembarang susunan segitiga juga membentuk struktur stabil dan kukuh. Hal ini merupakan prinsip dasar penggunaan rangka batang pada gedung. Bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga-segitiga itu. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan, dan pada tepi bawah umumnya timbul gaya tarik. Gaya tarik atau tekan ini dapat timbul pada setiap batang dan mungkin terjadi pola yang berganti-ganti antara tarik dan tekan.



Visualisasinya dapat dilihat dalam gambar 2.1 seperti dibawah ini.

Gambar 2.1. Rangka Batang dan Prinsip-prinsip Dasar Triangulasi (Schodek, 1999)

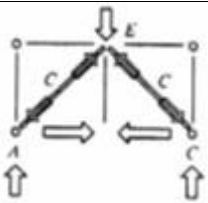
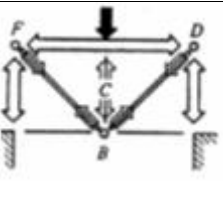
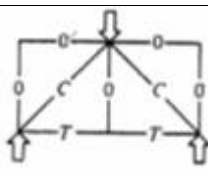
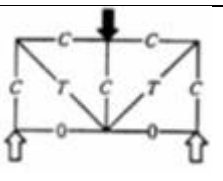
Penekanan pada prinsip struktur rangka batang adalah bahwa struktur hanya dibebani dengan beban-beban terpusat pada titik-titik hubung agar batang-batangnya mengalami gaya tarik atau tekan. Bila beban bekerja langsung pada batang, maka timbul pula tegangan lentur pada batang itu sehingga desain batang sangat rumit dan tingkat efisiensi menyeluruh pada batang menurun.

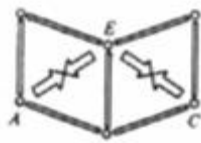
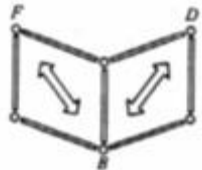
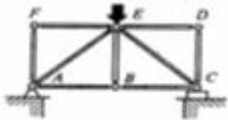

2. Analisa Kualitatif Gaya Batang

Perilaku gaya-gaya dalam setiap batang pada rangka batang dapat ditentukan dengan menerapkan persamaan dasar keseimbangan. Untuk konfigurasi rangka batang sederhana, sifat gaya tersebut (tarik, tekan atau nol) dapat ditentukan dengan memberikan gambaran bagaimana rangka batang tersebut memikul beban. Salah satu cara untuk menentukan gaya dalam batang pada rangka batang adalah dengan menggambarkan bentuk deformasi yang mungkin terjadi. Mekanisme gaya yang terjadi pada konfigurasi rangka batang sederhana dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Metode untuk menggambarkan gaya-gaya pada rangka batang adalah berdasarkan pada tinjauan keseimbangan titik hubung. Secara umum rangka batang kompleks memang harus dianalisis secara matematis agar diperoleh hasil yang benar.

Tabel 2.1 Mekanisme Gaya-gaya pada Rangka Batang (Schodek, 1999)

Mekanisme Gaya Batang	Rangka Batang A	Rangka Batang B
Susunan Rangka Batang Dasar		
Sifat gaya (tarik / tekan) batang diagonal dapat ditentukan dengan membayangkan batang itu tidak ada dan melihat kecenderungan deformasinya. Jadi, diagonal yang		

terletak di antara B – F pada rangka batang A mengalami tarik karena mencegah menjauhnya titik B dan F.		
Distribusi gaya batang pada rangka batang tersebut adalah : C = gaya tekan T = gaya Tarik		
Analogi 'kabel' atau 'pelengkung' dapat digunakan untuk menentukan sifat (tarik / tekan) gaya batang. Di dalam rangka batang kiri, batang FBD dibayangkan sebagai 'kabel' yang mengalami tarik. Batang-batang lain berfungsi mempertahankan keseimbangan konfigurasi 'kabel' dasar tersebut.		

C. III. Bentuk-bentuk Rangka Batang

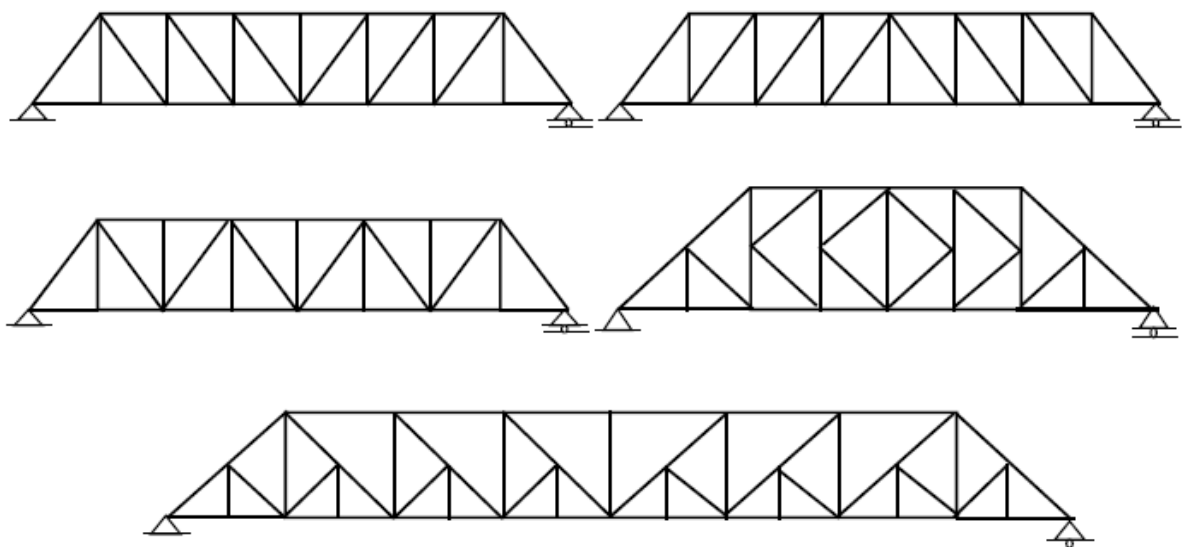
Seperti yang kita ketahui bentuk rangka batang memiliki banyak jenis. Umumnya mengambil prinsip dasar dari triangulasi untuk menjaga kestabilan. Pada bentuk rangka batang dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu, rangka sederhana, rangka pelengkung, dan rangka portal seperti yang terlihat pada gambar 2.2.

Adapun untuk penggunaannya, rangka sederhana biasanya digunakan untuk rangka pada jembatan dengan berbagai variasi yang dapat dilihat pada gambar 2.3. Rangka sederhana terkadang juga digunakan untuk rangka atap dalam skala kecil. Rangka pelengkung biasanya digunakan dalam struktur jembatan komposit, dimana rangka baja pelengkung untuk bagian atas dan beton untuk struktur bawah sebagai jalur transportasi. Rangka pelengkung juga bisa digunakan dalam rangka atap yang berbentuk lengkung. Sedangkan rangka portal, merupakan rangka yang cukup kompleks karena menggabungkan fungsi

kolom dan atap dalam satu kesatuan. Rangka portal biasa digunakan dalam pembangunan pabrik atau gudang.



Gambar 2.2. Bentuk – Bentuk Rangka Batang

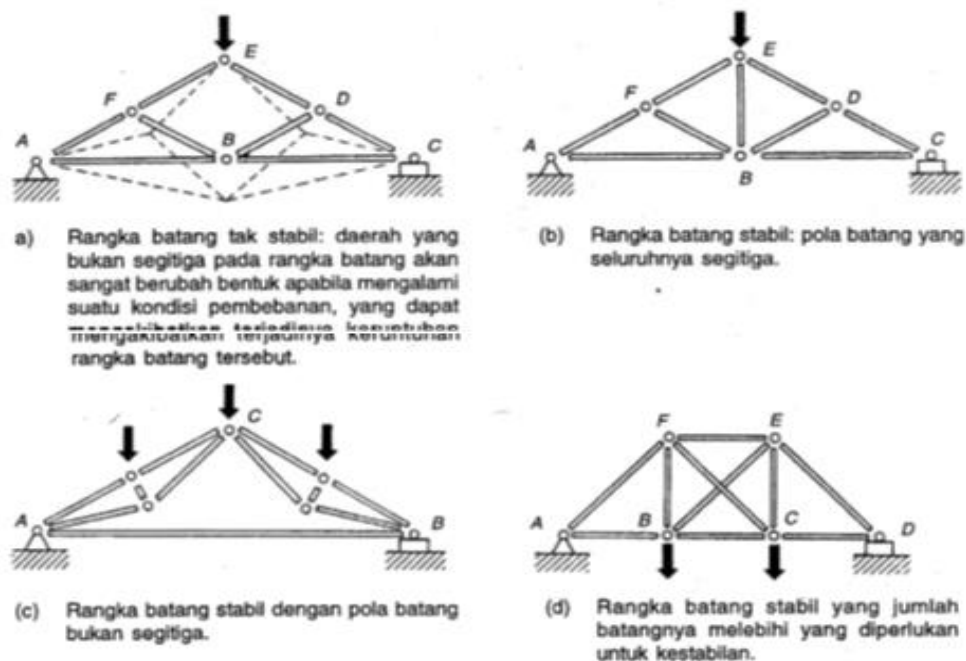


Gambar 2.3. Rangka Batang Untuk Jembatan

C. IV. Analisa Rangka Batang

1. Stabilitas

Langkah pertama pada analisis rangka batang adalah menentukan apakah rangka batang itu mempunyai konfigurasi yang stabil atau tidak. Secara umum, setiap rangka batang yang merupakan susunan bentuk dasar segitiga merupakan struktur yang stabil. Pola susunan batang yang tidak segitiga, umumnya kurang stabil. Rangka batang yang tidak stabil dan akan runtuh apabila dibebani, karena rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang yang mencukupi untuk mempertahankan hubungan geometri yang tetap antara titik-titik hubungannya.

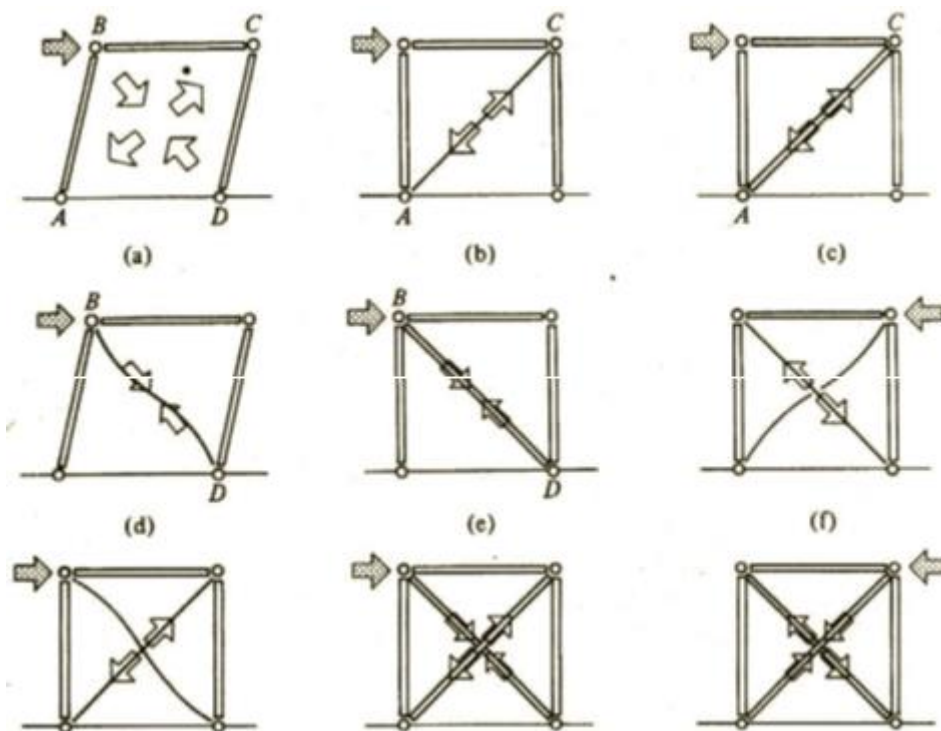


Gambar 2.4. Kestabilan Internal pada Rangka Batang (Schodek, 1999)

Penting untuk menentukan apakah konfigurasi batang stabil atau tidak stabil. Keruntuhan total dapat terjadi bila struktur tak stabil terbebani. Pola yang tidak biasa seringkali menyulitkan penyelidikan kestabilannya. Pada suatu rangka batang, dapat digunakan batang melebihi jumlah minimum yang diperlukan untuk mencapai kestabilan. Untuk menentukan kestabilan rangka

batang bidang, digunakan persamaan yang menghubungkan banyaknya titik hubung pada rangka batang dengan banyaknya batang yang diperlukan untuk mencapai kestabilan. Aspek lain dalam stabilitas adalah bahwa konfigurasi batang dapat digunakan untuk menstabilkan struktur terhadap beban lateral.

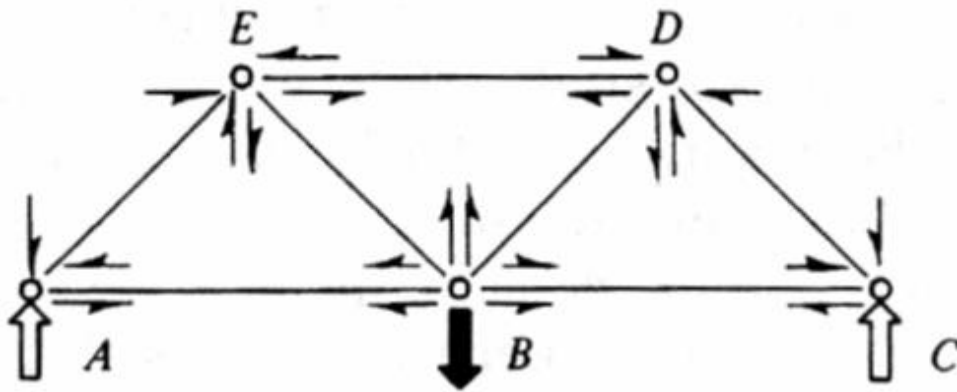
Gambar dibawah menunjukkan cara menstabilkan struktur dengan menggunakan batangbatang kaku (*bracing*). Kabel dapat digunakan sebagai pengganti dari batang kaku, bila gaya yang dipikul adalah gaya tarik saja. Tinjauan dapat memikul gaya tarik dan tekan dengan sama baiknya. Elemen kabel tidak dapat memenuhi asumsi ini, karena kabel akan melengkung bila dibebani gaya tekan. Ketika pembebanan datang dari suatu arah, maka gaya tekan atau gaya tarik mungkin timbul pada diagonal, sesuai dengan arah diagonal tersebut. Suatu struktur dengan satu kabel diagonal mungkin tidak stabil. Namun bila kabel digunakan dengan sistem kabel silang, dimana satu kabel memikul seluruh gaya horisontal dan kabel lainnya menekuk tanpa menimbulkan bahaya terhadap struktur, maka kestabilan dapat tercapai. Stabilitas sejauh ini beranggapan bahwa semua elemen rangka batang.



Gambar 2.5. Penggunaan batang kaku (*bracing*) diagonal (Schodek, 1999)

2. Gaya Batang

Prinsip yang mendasari teknik analisis gaya batang adalah bahwa setiap struktur atau setiap bagian dari setiap struktur harus berada dalam kondisi seimbang. Gaya-gaya batang yang bekerja pada titik hubung rangka batang pada semua bagian struktur harus berada dalam keseimbangan, seperti pada dibawah. Prinsip ini merupakan kunci utama dari analisis rangka batang.



Gambar 2.6. Diagram gaya-gaya batang yang bekerja pada titik hubung
(Schodek, 1999)

3. Metode Analisis Rangka Batang

Beberapa metode digunakan untuk menganalisa rangka batang. Metode-metode ini pada prinsipnya didasarkan pada prinsip keseimbangan. Metode-metode yang umum digunakan untuk analisa rangka batang adalah sebagai berikut :

- Keseimbangan Titik Hubung pada Rangka Batang

Pada analisis rangka batang dengan metode titik hubung (*joint*), rangka batang dianggap sebagai gabungan batang dan titik hubung. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik hubung. Setiap titik hubung harus berada dalam keseimbangan.

- Keseimbangan Potongan

Prinsip yang mendasari teknik analisis dengan metode ini adalah bahwa setiap bagian dari suatu struktur harus berada dalam keseimbangan. Dengan demikian, bagian yang dapat ditinjau dapat pula mencakup banyak titik hubung dan batang. Konsep peninjauan keseimbangan pada bagian dari suatu struktur yang bukan hanya satu titik hubung merupakan cara yang sangat berguna dan merupakan dasar untuk analisis dan desain rangka batang, juga banyak desain struktur lain.

Perbedaan antara kedua metode tersebut di atas adalah dalam peninjauan keseimbangan rotasionalnya. Metode keseimbangan titik hubung, biasanya digunakan apabila ingin mengetahui semua gaya batang. Sedangkan metode potongan biasanya digunakan apabila ingin mengetahui hanya sejumlah terbatas gaya batang.

- Gaya Geser dan Momen pada Rangka Batang metode ini merupakan cara khusus untuk meninjau bagaimana rangka batang memikul beban yang melibatkan gaya dan momen eksternal, serta gaya dan momen tahanan internal pada rangka batang. Agar keseimbangan vertikal potongan struktur dapat dijamin, maka gaya geser eksternal harus diimbangi dengan gaya geser tahanan total atau gaya geser tahanan internal (V_R), yang besarnya sama tapi arahnya berlawanan dengan gaya geser eksternal. Efek rotasional total dari gaya internal tersebut juga harus diimbangi dengan momen tahanan internal (M_R) yang besarnya sama dan berlawanan arah dengan momen lentur eksternal. Sehingga memenuhi syarat keseimbangan, dimana :

$$M_E = M_R \text{ atau } M_E - M_R = 0$$

4. Rangka Batang Statis Tak Tentu

Rangka batang statis tak tentu tidak dapat dianalisis hanya dengan menggunakan persamaan keseimbangan statika, karena kelebihan banyaknya tumpuan atau banyaknya batang yang menjadi variabel. Pada struktur statis tak

tentu, keseimbangan translasional dan rotasional ($\sum F_x=0, \sum F_y=0$, dan $\sum M_o=0$) masih berlaku. Pemahaman struktur statis tak tentu adalah struktur yang gaya-gaya dalamnya bergantung pada sifat-sifat fisik elemen strukturnya.

5. Penggunaan Elemen (Batang) Tarik Khusus : Kabel

Selain elemen batang yang sudah dibahas di atas, ada elemen lain yang berguna, yaitu elemen kabel, yang hanya mampu memikul tarik. Secara fisik, elemen ini biasanya berupa batang baja berpenampang kecil atau kabel terjal. Elemen ini tidak mampu memikul beban tekan, tetapi sering digunakan apabila hasil analisis diketahui selalu memikul beban tarik. Elemen yang hanya memikul beban tarik dapat mempunyai penampang melintang yang jauh lebih kecil dibanding dengan memikul beban tekan.

6. Rangka Batang Ruang

Kestabilan yang ada pada pola batang segitiga dapat diperluas ke dalam tiga dimensi. Pada rangka batang bidang, bentuk segitiga sederhana merupakan dasar, sedangkan bentuk dasar pada rangka batang ruang adalah tetrahedron. Prinsip-prinsip yang telah dibahas pada analisis rangka batang bidang secara umum dapat diterapkan pada rangka batang ruang. Kestabilan merupakan tinjauan utama. Gaya-gaya yang timbul pada batang suatu rangka batang ruang dapat diperoleh dengan meninjau keseimbangan ruang potongan rangka batang ruang tersebut. Jelas bahwa persamaan statika yang digunakan untuk benda tegar tiga dimensi, yaitu :

$$\sum F_x = \sum F_y = \sum F_z = 0$$

dan

$$\sum M_x = \sum M_y = \sum M_z = 0$$

Apabila diterapkan langsung pada rangka batang ruang yang cukup besar, persamaan-persamaan ini akan melibatkan banyak titik hubung dan batang.

7. Kekakuan Titik Hubung

Pada perhitungan rangka batang, diasumsikan bahwa semua titik hubung dimodelkan sebagai titik hubung sendi. Dalam beberapa hal, membuat hubungan yang benar-benar sendi kadang-kadang tidak mungkin atau bahkan tidak dikehendaki. Apabila kondisi titik hubung aktual sedemikian rupa sehingga ujung-ujung batang tidak bebas berotasi, maka momen lentur lokal dan gaya aksialnya dapat timbul pada batang-batang. Apabila momen lentur itu cukup besar, maka batang tersebut harus didesain agar mampu memikul tegangan kombinasi akibat gaya aksial dan momen lentur. Besar tegangan lentur yang terjadi sebagai akibat dari titik hubung kaku umumnya $\leq 20\%$ dari tegangan normal yang terjadi. Pada desain awal, biasanya tegangan lentur sekunder ini diabaikan. Salah satu efek positif dari adanya titik hubung kaku ini adalah untuk memperbesar kekakuan rangka batang secara menyeluruh, sehingga dapat mengurangi defleksi. Merencanakan titik hubung yang kaku biasanya tidak akan mempengaruhi pembentukan akhir dari rangka batang.

C. IV. I. Analisa Desain Rangka Batang

Kriteria yang digunakan untuk merancang juga menjadi sangat bervariasi. Ada beberapa tujuan yang menjadi kriteria dalam desain rangka batang, yaitu:

1. Efisiensi Struktural

Tujuan efisiensi struktural biasa digunakan dan diwujudkan dalam suatu prosedur desain, yaitu untuk meminimumkan jumlah bahan yang digunakan dalam rangka batang untuk memikul pembebanan pada bentang yang ditentukan. Tinggi rangka batang merupakan variabel penting dalam

meminimumkan persyaratan volume material, dan mempengaruhi desain elemennya.

2. Efisiensi Pelaksanaan (Konstruksi)

Alternatif lain, kriteria desain dapat didasarkan atas tinjauan efisiensi pelaksanaan (konstruksi) sehubungan dengan fabrikasi dan pembuatan rangka batang. Untuk mencapai tujuan ini, hasil yang diperoleh seringkali berupa rangka batang dengan konfigurasi eksternal sederhana, sehingga diperoleh bentuk triangulasi yang sederhana pula. Dengan membuat semua batang identik, maka pembuatan titik hubung menjadi lebih mudah dibandingkan bila batang-batang yang digunakan berbeda.

C. IV. II. Konfigurasi Rangka Batang

Konfigurasi eksternal selalu berubah-ubah, begitu pula pola internalnya. Konfigurasi-konfigurasi ini dipengaruhi oleh faktor eksternal, tinjauan struktural maupun konstruksi. Masing-masing konfigurasi mempunyai tujuan yang berbeda. Beberapa hal yang menjadi bahasan penting dalam konfigurasi rangka batang adalah :

1. Faktor Eksternal

Faktor-faktor eksternal memang bukanlah hal yang utama dalam menentukan konfigurasi rangka batang. Namun faktor eksternal juga dapat mempengaruhi bentuk-bentuk yang terjadi.

2. Bentuk-bentuk Dasar

Ditinjau dari segi struktural maupun konstruksi, bentuk-bentuk dasar yang digunakan dalam rangka batang merupakan respon terhadap pembebanan yang ada. Gaya-gaya internal akan timbul sebagai respon terhadap momen dan gaya

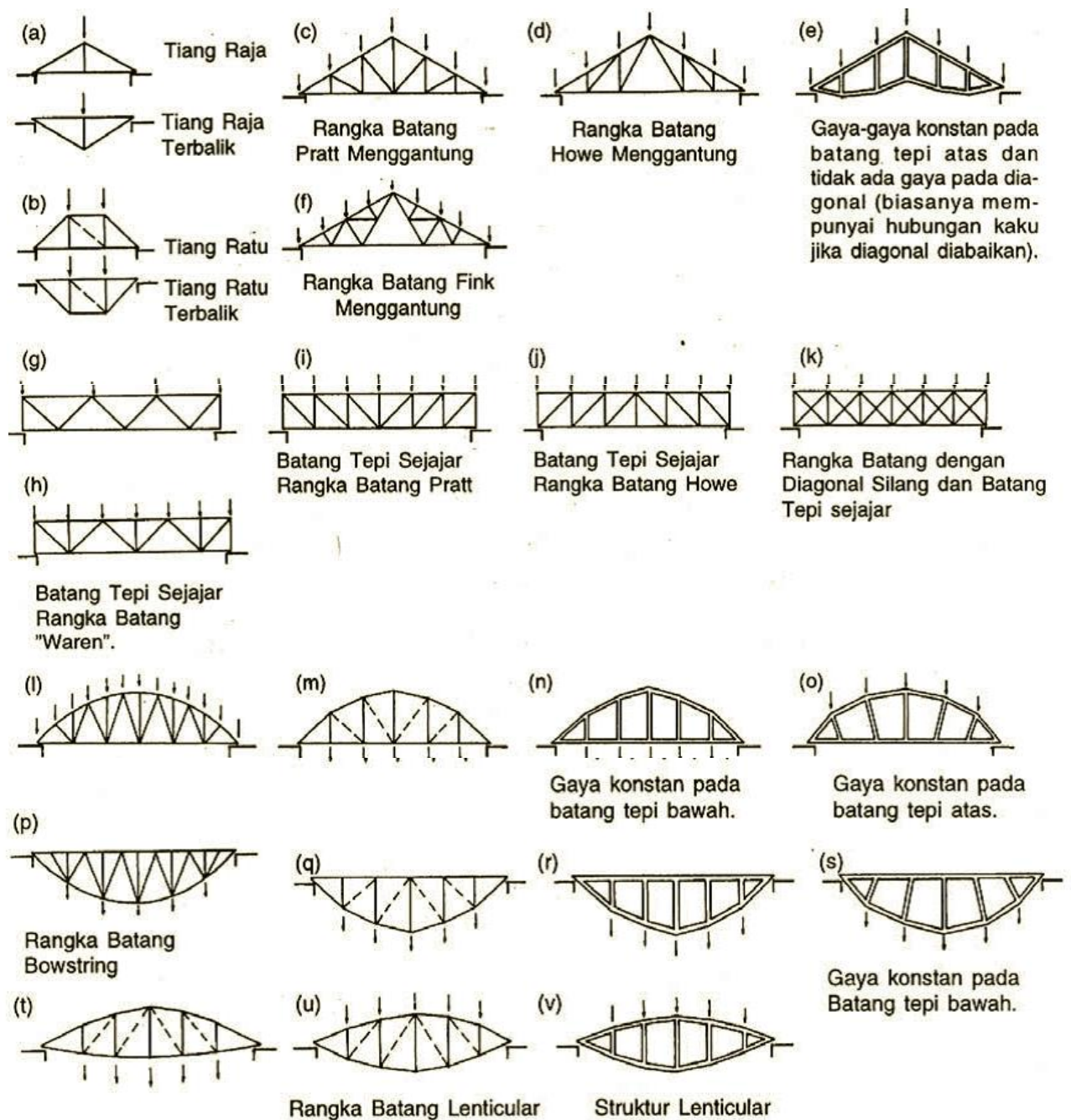
geser eksternal. Momen lentur terbesar pada umumnya terjadi di tengah rangka batang yang ditumpu sederhana yang dibebani merata, dan semakin mengecil ke ujung. Gaya geser eksternal terbesar terjadi di kedua ujung, dan semakin mengecil ke tengah.

3. Rangka Batang Sejajar

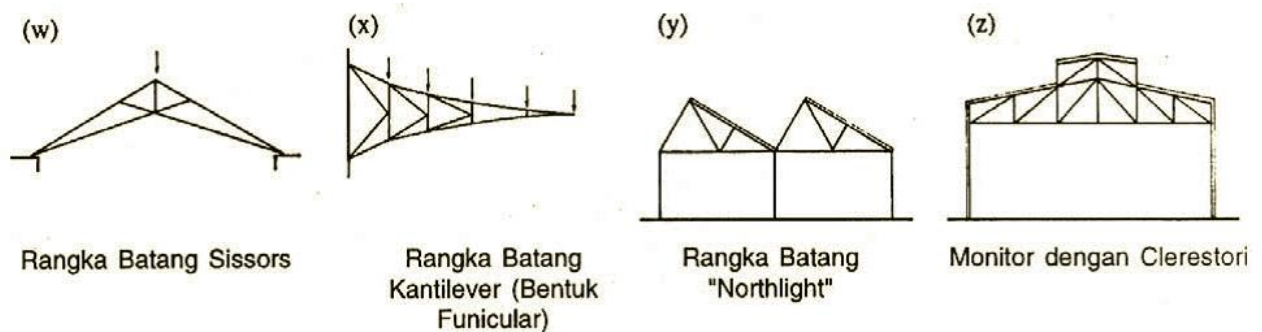
Pada rangka batang dengan batang tepi sejajar, momen eksternal ditahan terutama oleh batang-batang tepi atas dan bawah. Gaya geser eksternal akan dipikul oleh batang diagonal karena batangbatang tepi berarah horisontal dan tidak mempunyai kontribusi dalam menahan gaya arah vertikal. Gaya-gaya pada diagonal umumnya bervariasi mengikuti variasi gaya geser dan pada akhirnya menentukan desain batang.

4. Rangka Batang *Funicular*

Rangka batang yang dibentuk secara *funicular* menunjukkan bahwa secara konsep, batang nol dapat dihilangkan hingga terbentuk konfigurasi bukan segitiga, namun tanpa mengubah kemampuan struktur dalam memikul beban rencana. Batang-batang tertentu yang tersusun di sepanjang garis bentuk funicular untuk pembebanan yang ada merupakan transfer beban eksternal ke tumpuan. Batangbatang lain adalah batang nol yang terutama berfungsi sebagai *bracing*. Tinggi relatif pada struktur ini merupakan fungsi beban dan lokasinya.



Gambar 2.7. Jenis-jenis Umum Rangka Batang (Schodek, 1999)



Gambar 2.7. Jenis-jenis Umum Rangka Batang - Lanjutan (Schodek, 1999)

C. IV. III. Tinggi Rangka Batang

Penentuan tinggi optimum yang meminimumkan volume total rangka batang umumnya dilakukan dengan proses optimasi. Proses optimasi ini membuktikan bahwa rangka batang yang relatif tinggi terhadap bentangnya merupakan bentuk yang efisien dibandingkan dengan rangka batang yang relatif tidak tinggi. Sudut-sudut yang dibentuk oleh batang diagonal dengan garis horisontal pada umumnya berkisar antara 300 – 600 dimana sudut 45⁰ biasanya merupakan sudut ideal. Berikut ini pedoman sederhana untuk menentukan tinggi rangka batang berdasarkan pengalaman. Pedoman sederhana di bawah ini hanya untuk pedoman awal, bukan digunakan sebagai keputusan akhir dalam desain.

Tabel 2.2 Batasan Ketinggian Berdasarkan Jenis Rangka Batang

Jenis Rangka Batang	Tinggi
Rangka batang dengan beban relatif ringan dan berjarak dekat	1/20 dari bentangan
Rangka batang kolektor sekunder yang memikul reaksi yang dihasilkan oleh rangka batang lain	1/10 dari bentangan
Rangka batang kolektor primer yang memikul beban sangat besar, misalnya: rangka batang yang memikul beban kolom dari gedung bertingkat banyak	1/4 atau 1/5 dari bentangan

C. V. Masalah-masalah pada Desain Elemen

Beberapa permasalahan yang umumnya timbul pada desain elemen menyangkut faktor-faktor yang diuraikan berikut ini.

1. Beban Kritis

Pada rangka batang, setiap batang harus mampu memikul gaya maksimum (kritis) yang mungkin terjadi. Dengan demikian, dapat saja terjadi setiap batang dirancang terhadap kondisi pembebanan yang berbeda-beda.

2. Desain Elemen, meliputi :

- Batang Tarik

L penampang yang diperlukan = gaya tarik/ tegangan ijin

- Batang Tekan

Untuk batang tekan, harus diperhitungkan adanya kemungkinan keruntuhan tekuk (*buckling*) yang dapat terjadi pada batang panjang yang mengalami gaya tekan. Untuk batang tekan panjang, kapasitas pikul-beban berbanding terbalik dengan kuadrat panjang batang. Untuk batang tekan yang relatif pendek, maka tekuk bukan merupakan masalah sehingga luas penampang melintang hanya bergantung langsung pada besar gaya yang terlibat dan tegangan ijin material, dan juga tidak bergantung pada panjang batang tersebut.

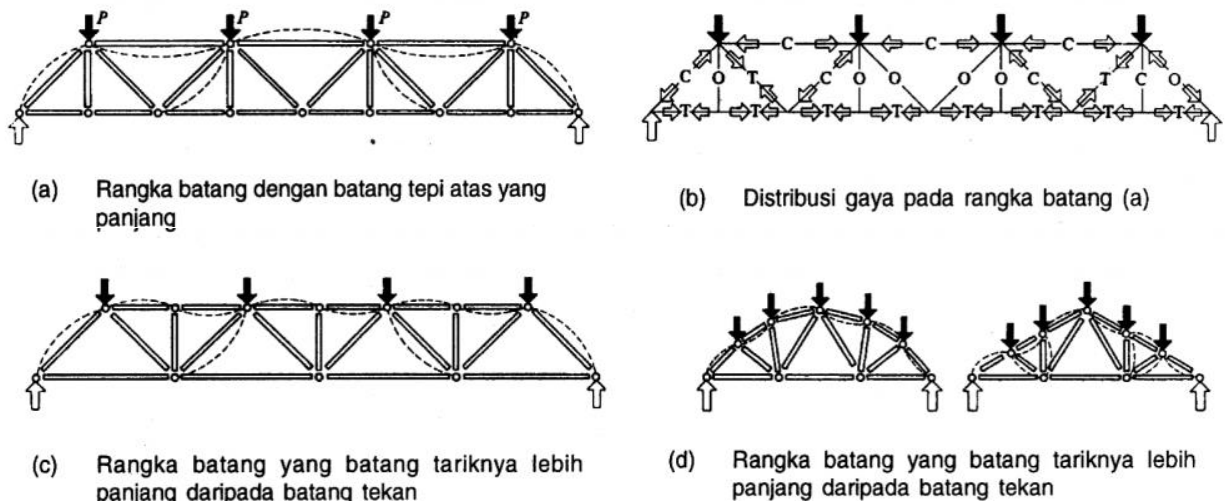
3. Batang Berukuran Konstan dan/atau Tidak Konstan

Bila batang tepi atas dirancang sebagai batang yang menerus dan berpenampang melintang konstan, maka harus dirancang terhadap gaya maksimum yang ada pada seluruh batang tepi atas, sehingga penampang tersebut akan berlebihan dan tidak efisien. Agar efisien, maka penampang konstan yang dipakai dikombinasikan dengan bagian-bagian kecil sebagai

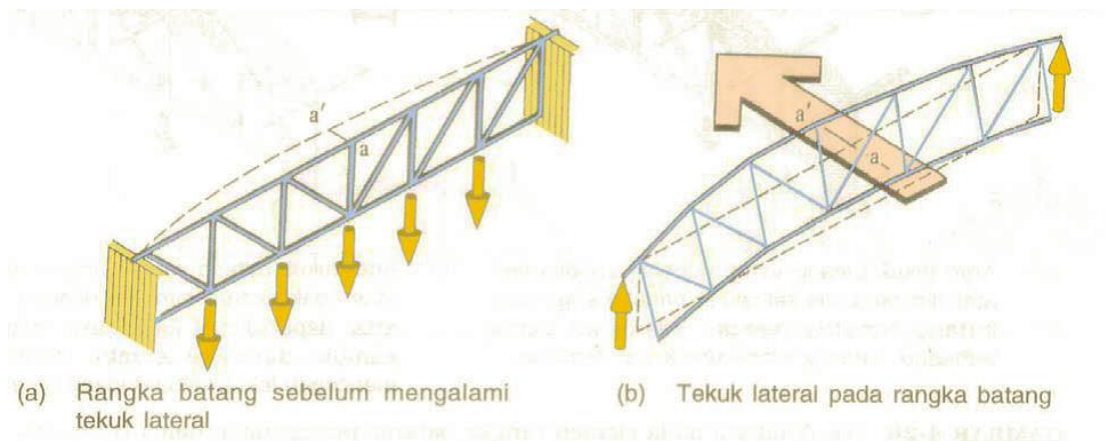
tambahan luas penampang yang hanya dipakai pada segmen-segmen yang memerlukan.

4. Pengaruh Tekuk terhadap Pola

Ketergantungan kapasitas pikul beban suatu batang tekan pada panjangnya serta tujuan desain agar batang tekan tersebut relatif lebih pendek seringkali mempengaruhi pola segitiga yang digunakan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8. Tekuk Batang : hubungan dengan pola segitiga (Schodek, 1999)



Gambar 2.9. Tekuk lateral pada rangka (Schodek, 1999)

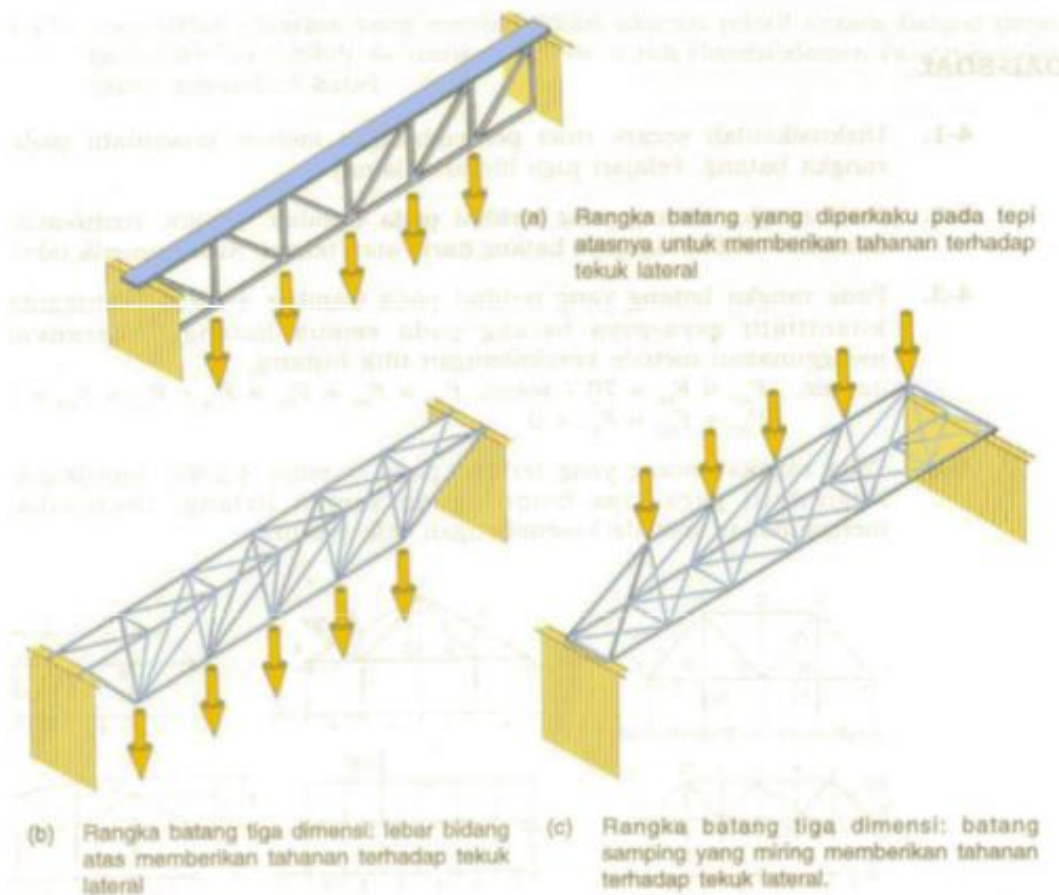
5. Pengaruh Tekuk Lateral pada desain batang dan susunan batang.

Jika rangka berdiri bebas seperti pada Gambar 2.9, maka ada kemungkinan struktur tersebut akan mengalami tekuk lateral pada seluruh bagian struktur. Untuk mencegah kondisi ini maka struktur rangka batang yang berdiri bebas dapat dihindari. Selain itu penambahan balok transversal pada batang tepi atas dan penggunaan rangka batang ruang juga dapat mencegah tekuk transversal .

C. VI. Rangka Batang Bidang dan Rangka Batang Ruang

Rangka batang bidang memerlukan material lebih sedikit daripada rangka batang tiga dimensi untuk fungsi yang sama. Dengan demikian, apabila rangka batang digunakan sebagai elemen yang membentang satu arah, sederetan rangka batang bidang akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan sederetan rangka batang ruang (tiga dimensi). Sebaliknya, konfigurasi tiga dimensi seringkali terbukti lebih efisien dibandingkan beberapa rangka batang yang digunakan untuk membentuk sistem dua arah. Rangka batang tiga dimensi juga terbukti lebih efisien bila dibandingkan beberapa rangka batang yang digunakan sebagai rangka berdiri bebas (tanpa balok transversal yang menjadi

penghubung antar rangka batang di tepi atas). Hal ini seperti ditunjukkan pada gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10. Rangka batang ruang tiga dimensi (Schodek, 1999)

C. VII. Rangka Batang pada Struktur Balok

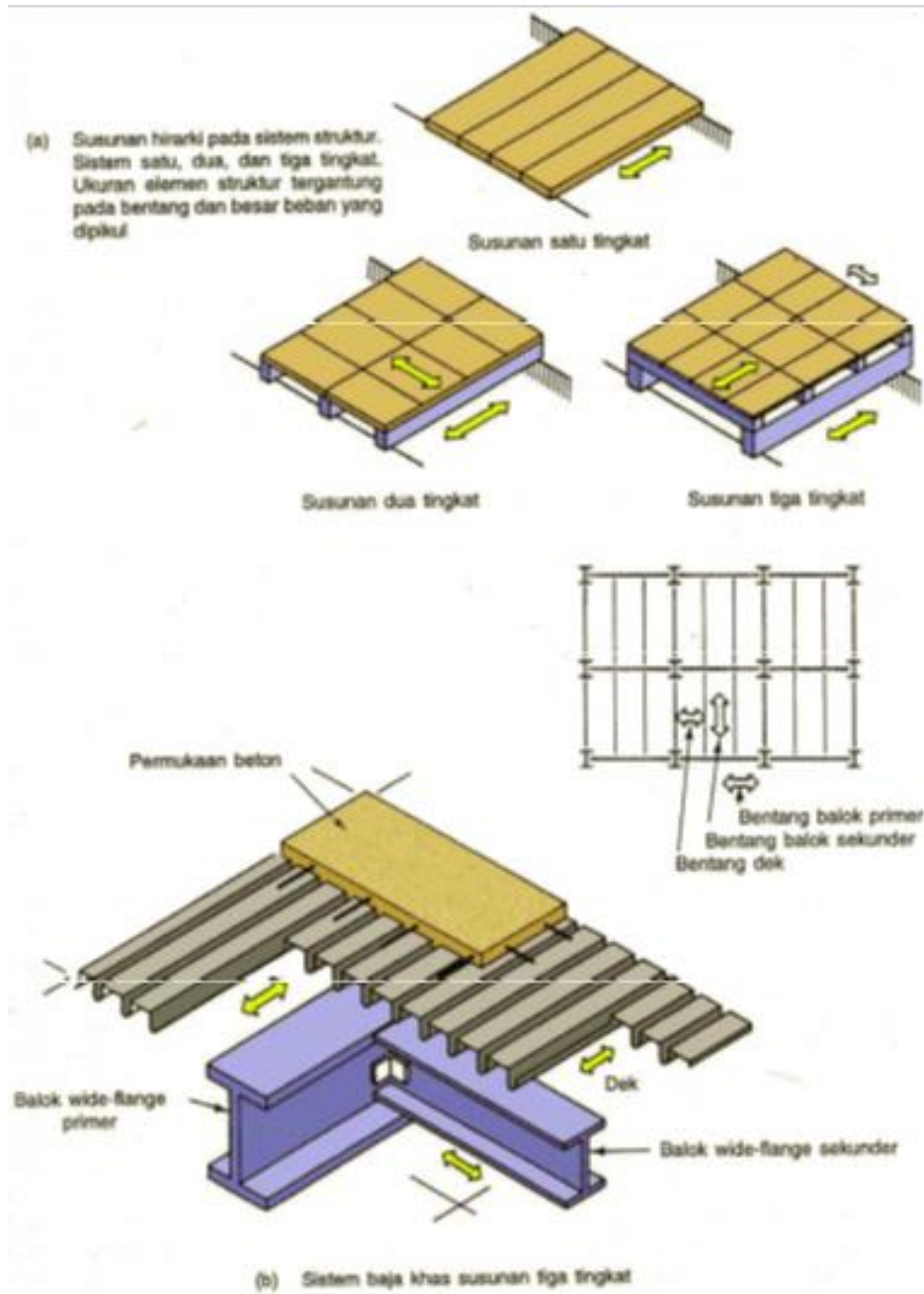
Secara sederhana, balok sebagai elemen lentur digunakan sebagai elemen penting dalam konstruksi. Balok mempunyai karakteristik internal yang lebih rumit dalam memikul beban dibandingkan dengan jenis elemen struktur lainnya. Balok menerus dengan lebih dari dua titik tumpuan dan lebih dari satu tumpuan jepit merupakan struktur statis tak tentu. Struktur statis tak tentu adalah struktur yang reaksi, gaya geser, dan momen lenturnya tidak dapat ditentukan secara langsung dengan menggunakan persamaan keseimbangan dasar $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, dan $\sum F_z = 0$. Balok statis tak tentu sering juga digunakan dalam

praktek, karena struktur ini lebih kaku untuk suatu kondisi bentang dan beban daripada struktur statis tertentu. Jadi ukurannya bisa lebih kecil. Kerugian struktur statis tak tentu adalah pada kepekaannya terhadap penurunan (*settlement*) tumpuan dan efek termal.

- Prinsip Desain Balok

Pada sistem struktural yang ada di gedung, elemen balok adalah elemen yang paling banyak digunakan dengan pola berulang. Umumnya pola ini menggunakan susunan hirarki balok, dimana beban pada permukaan mula-mula dipikul oleh elemen permukaan diteruskan ke elemen struktur sekunder, dan selanjutnya diteruskan ke kolektor atau tumpuan. Semakin besar beban, yang disertai dengan bertambahnya panjang, pada umumnya akan memperbesar ukuran atau tinggi elemen struktur. Susunan hirarki bisa sangat bervariasi, tetapi susunan yang umum digunakan adalah satu dan dua tingkat. Sedangkan susunan tiga tingkat adalah susunan yang maksimum digunakan. Untuk ukuran bentang tertentu, pada umumnya sistem dengan berbagai tingkat dapat digunakan. Ukuran elemen struktur untuk setiap sistem dapat ditentukan berdasarkan analisis bentang, beban dan material. Ada beberapa kriteria pokok yang harus dipenuhi, antara lain : kemampuan layan, efisiensi, kemudahan.

Tegangan aktual yang timbul pada balok tergantung pada besar dan distribusi material pada penampang melintang elemen struktur. Semakin besar balok maka semakin kecil tegangannya. Luas penampang dan distribusi beban merupakan hal yang penting. Semakin tinggi suatu elemen, semakin kuat kemampuannya untuk memikul lentur. Variabel dasar yang penting dalam desain adalah besar beban yang ada, jarak antara beban-beban dan perilaku kondisi tumpuan balok. Kondisi tumpuan jepit lebih kaku daripada yang ujung-ujungnya dapat berputar bebas. Balok dengan tumpuan jepit dapat memikul beban terpusat di tengah bentang dua kali lebih besar daripada balok yang sama tidak dijepit ujungnya. Seperti yang terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Balok pada Gedung (Schodek, 1999)

Beban lentur pada balok menyebabkan terjadinya gaya-gaya internal, tegangan serta deformasi. Gaya serta momen ini berturut-turut disebut gaya geser dan momen lentur. Agar keseimbangan pada bagian struktur tersebut diperoleh untuk bagian struktur yang diperlihatkan, sekumpulan gaya internal pasti timbul pada struktur yang efek jaringnya adalah untuk menghasilkan momen rotasional yang sama besar tapi berlawanan arah dengan momen lentur eksternal dan gaya vertikal yang sama dan berlawanan arah dengan gaya geser eksternal.



Gambar 2.12. Jenis-jenis perilaku balok (Schodek, 1999)

D. Aktivitas Pembelajaran

- Studi literatur
- Diskusi dan pemaparan/presentasi
- Mengerjakan soal – soal latihan

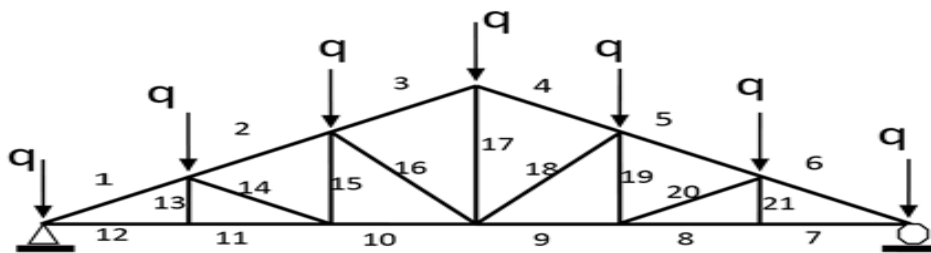
LK 2.01 Kegiatan Studi Literatur

No.	Kegiatan	Hasil Diskusi/Pemahaman	Sumber/Studi Literatur
1.	Merencanakan proyek konstruksi baja <ul style="list-style-type: none">• Apa yang harus diperhatikan dalam proyek konstruksi baja		
2.	Struktur rangka batang <ul style="list-style-type: none">• Apa yang dimaksud dengan rangka batang• Jelaskan prinsip – prinsip umum rangka batang		
3.	Analisa desain rangka batang <ul style="list-style-type: none">• Apa yang dimaksud dengan efisiensi struktural• Apa yang dimaksud dengan efisiensi pelaksanaan		

	(konstruksi)		
4.	Desain elemen <ul style="list-style-type: none"> Jelaskan beberapa permasalahan yang timbul pada desain elemen 		

E. Latihan/Kasus/Tugas

Perhatikanlah gambar di bawah ini. Pada perencanaan dan ekerjaan rangka baja, telah dilakukan perhitungan, lalu menentukan profil yang hendak digunakan sebagai bahan pendukung pada konstruksi tersebut. Hal-hal yang perlu diperhitungkan dan perlu dihitung ulang setelah dirakit dengan kontrol ulang adalah: luas penampang, kelangsingan batang terhadap tekuk. Dari gambar dibawah ini yang paling mendapat perhatian khusus tentang faktor kelangsingan adalah



Gambar 2.13 Contoh Soal 1

F. Rangkuman

SAP 2000 merupakan suatu program yang dipergunakan untuk menganalisis dan mendisain struktur, baik bangunan maupun jembatan.

Dengan menggunakan SAP 2000, maka akan mempermudah analisa dan desain struktur suatu konstruksi baja.

Untuk mendapatkan hasil yang akurat dari analisa SAP 2000, pengguna harus memahami langkah langkah penggunaan dan ketelitian dalam memasukkan data.

G. Umpan balik dan tindak lanjut

Waktu proses pembelajaran berlangsung, guru hendaknya mengamati kegiatan siswa. Pada saat ini umpan balik dapat dilakukan sebagai berikut :

- 1) Ketika siswa mengajukan pertanyaan, biasakan janganlah langsung dijawab oleh guru, beri kesempatan siswa lainya untuk memberikan jawaban atau untuk didiskusikan dengan teman temannya. Komentar datang dari berbagai pihak sehingga terjadi pembicaraan antara guru dengan siswa, dan siswa dengan siswa. Dengan diskusi semacam ini, siswa yang bertanya akan mengetahui bagaimana cara pemecahannya.
- 2) Pada waktu diskusi berlangsung, guru hendaknya melibatkan diri agar dapat mengetahui proses berpikir siswa dalam memahami suatu konsep.

Pada Pekerjaan Siswa

Siswa ingin mengetahui seberapa jauh pekerjaannya dinilai oleh guru atau temannya. Dalam hal ini, guru hendaknya memberikan apresiasi kepada siswa yang hasil pekerjaannya benar/baik. Jika hasil pekerjaan siswa salah, janganlah sekali- kali mengatakan: "Ini salah!" Sebab, hal ini akan mengurangi semangat siswa untuk belajar.

Terhadap siswa yang melakukan kesalahan/ mendapat kesulitan, guru hendaknya membantu bagaimana memecahkan masalah yang

dihadapi. Petunjuk ataupun saran dapat diberikan dalam bentuk lisan atau tulisan. Yang siswa merasakan bahwa pekerjaannya mendapat perhatian dari gurunya.

Terhadap hasil pekerjaan siswa, guru harus memberikan tanggapan bagaimana pendapatnya mengenai hasil tersebut dan saran atau komentar apa yang perlu disampaikan.

PEMBELAJARAN 3

Merancang Konstruksi Baja dengan Software

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran 3 ini adalah menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu. Agar hal tersebut dapat dikuasai pada modul Konstruksi Baja Grade 10 ini pembelajaran 3 yang dimaksud adalah merancang gambar konstruksi baja dengan menggunakan perangkat lunak (software).

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator Pencapaian Kompetensi pada pembelajaran 3 adalah mampu untuk menggambarkan konstruksi baja pada program SAP 2000.

C. Uraian Materi

Merencanakan gambar kerja (shop drawing) konstruksi baja dengan menggunakan perangkat lunak (software) SAP2000

SAP 2000 merupakan suatu program yang dipergunakan untuk menganalisis dan mendisain struktur, baik bangunan maupun jembatan. SAP 2000 Versi 14 merupakan generasi baru yang telah dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas yang lebih lengkap dan menarik dari versi-versi sebelumnya, salah satu fasilitas tersebut adalah fasilitas bridge. Program ini akan membantu untuk mempercepat proses analisis dan desain yang sebelumnya dilakukan dengan cara manual yang cukup memakan waktu, serta tidak terjamin ketelitiannya.

Paket Program SAP2000 sebagai salah satu paket program rekayasa teknik sipil yang berbeda dengan paket program komputer pada umumnya. Hal ini disebabkan karena pengguna program ini dituntut untuk memahami latar belakang metode penyelesaian dan batasan-batasan yang dihasilkan serta

bertanggung jawab penuh terhadap outputnya. Program ini digunakan untuk Analisis dan Design struktur menggunakan konsep metode elemen hingga yang didukung dengan analisis Statis, Dinamis, Linear, maupun Nonlinear.

Fasilitas design yang disediakan program ini hanya untuk struktur beton dan baja dengan menggunakan peraturan perencanaan dari Amerika, Eropa serta negara lainnya. Perencanaan dengan menggunakan peraturan Indonesia dapat dilakukan dengan cara memodifikasi beberapa faktor reduksi kekuatan. Segala resiko sehubungan dengan pemakaian program ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab pemakai, seperti pada salah satu *disclamer* pada setiap tutorial program ini.

Banyak tipe struktur yang dapat dianalisis dengan menggunakan paket program SAP2000 ini misalnya: struktur rangka beton bertulang, struktur rangka baja, struktur jembatan, 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D). Sedangkan bahan lainnya, kita hanya mendapatkan gaya-gaya dalam (momen, gaya lintang, dan gaya normal), dimana penyelesaian disainnya memerlukan perhitungan manual seperti struktur kayu, struktur dengan bahan lainnya.

C. I. Langkah Menganalisis dan Mendesain Struktur Baja dengan SAP2000

Ada beberapa langkah-langkah dasar dalam analisis dan disain struktur menggunakan SAP2000 ini, antara lain:

1. Menetapkan satuan

Satuan (kg-m, t-m, kg-cm, dan sebagainya) ini sangat penting ditentukan terlebih dahulu, karena akan sangat berpengaruh pada saat pemodelan maupun pembebanan pada struktur. Setiap kita akan menginput grid maupun beban selalu memperhatikan satuan yang aktif. Satuan ini setiap saat bisa berubah, namun setelah kita melakukan running satuan akan kembali ke satuan semula yang kita pilih.

2. Definisi

Definisi ini dapat Anda temukan pada menu *define*. Hal-hal utama yang perlu didefinisikan sebelum memulai memodel atau pembebanan meliputi: definisi material, penampang, jenis beban, jenis analisis, kombinasi beban. Definisi material merupakan definisi material atau bahan yang digunakan dalam komponen struktur (balok, kolom, pelat) apakah berbahan beton bertulang, baja atau bahan lainnya. Dari definisi beban ini kita bisa membuat dimensi penampang, karena akan memilih material yang digunakan. Disamping definisi material dan penampang, juga terdapat definisi jenis beban yang diperkirakan akan bekerja pada struktur yang dimodel, misalnya beban mati, beban hidup, beban gempa, beban angin, dan sebagainya. Jenis analisis perlu didefinisikan, untuk mengetahui apakah struktur ini bersifat linear atau nonlinear, statik, atau dinamis. Sedangkan untuk keperluan disain, sangat perlu mendefinisikan jenis kombinasi sesuai dengan Standar SNI.

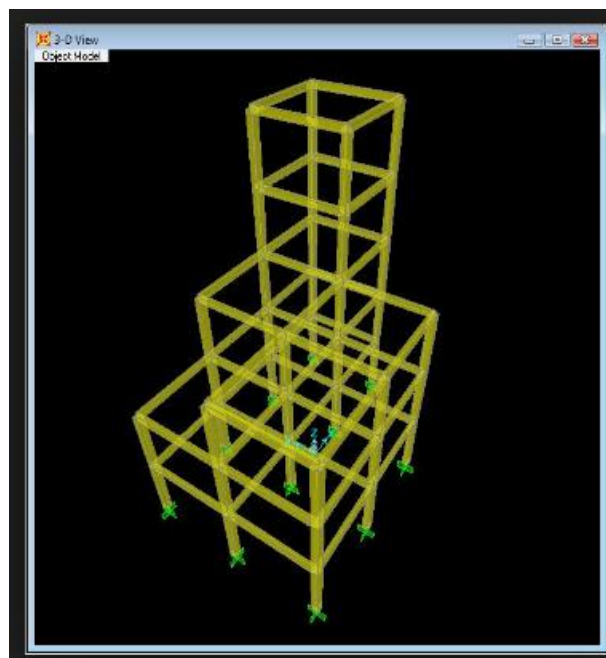
3. Pemodelan struktur

Ruang lingkup pemodelan struktur antara lain: menentukan grid struktur secara menyeluruh, menggambar komponen struktur (balok, kolom, dan pelat) termasuk perletakan, pembebanan terhadap model struktur. Menentukan grid dalam pemodelan, mengandung arti: menentukan as-as utama struktur, sehingga memudahkan kita dalam menggambar komponen strukturnya. Kita harus berhati-hati dalam proses penggambaran komponen struktur ini, karena menyangkut stabilitas struktur secara keseluruhan. Misalnya, tidak bertemunya antara komponen balok dan kolom. Khusus pemodelan 3D dengan menyertakan model pelat, perlu dilakukan *meshing* terhadap balok dan pelat, untuk menjaga rigiditas struktur balok dan pelat. Kemudian struktur memerlukan kondisi batas dengan memasukkan jenis perletakan pada pondasi struktur. Ada beberapa jenis perletakan yang disediakan, antara lain: sendi, rol, jepit, serta perletakan lainnya yang dapat Anda tentukan sendiri. Selanjutnya dilakukan pembebanan terhadap struktur. Memasukkan beban dapat ditemukan pada menu *assign*. Beberapa model beban yang tersedia, misalnya beban titik pada joint, beban titik pada

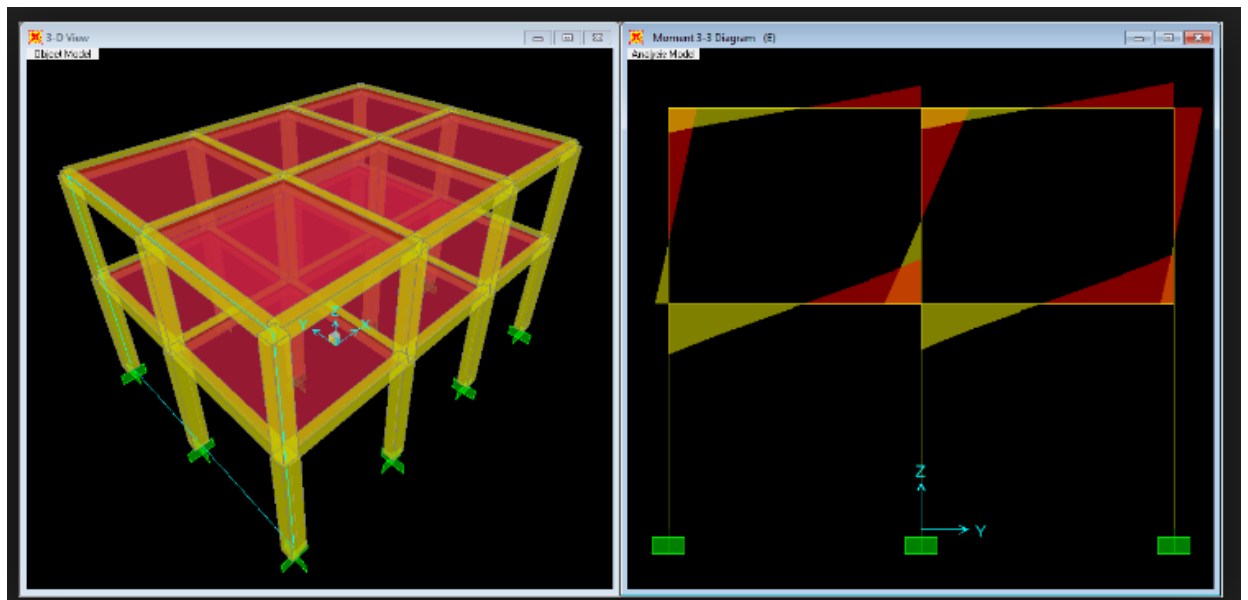
batang, beban merata segiempat, beban merata segitiga, beban merata trapesium, beban suhu, serta beban luasan pada pelat. Catatan: untuk menggambar balok dan kolom boleh langsung dipilih nama penampangnya atau digambar dulu kemudian lakukan assign penampang (*Assign Frame*).

4. Analisis

Setelah proses pemodelan selesai dilakukan dan sebelumnya dilakukan pemeriksaan terhadap model yang dibuat, maka langkah berikutnya adalah melakukan analisis struktur untuk mengetahui gaya-gaya dalam (M, D, N), reaksi perletakan serta deformasi struktur. Analisis struktur ini dapat Anda temukan pada menu *Analyze*. Sebelum kita melakukan analisis, terlebih dahulu harus menentukan pilihan terhadap analisis yang dilakukan. Pilihan ini dapat Anda jumpai pada menu *Set Option Analysis*, apakah analisis yang dilakukan 2D atau 3D. selanjutnya lakukan *Run Analysis*.



Gambar 3.1. Tampilan Struktur pada SAP2000 3D



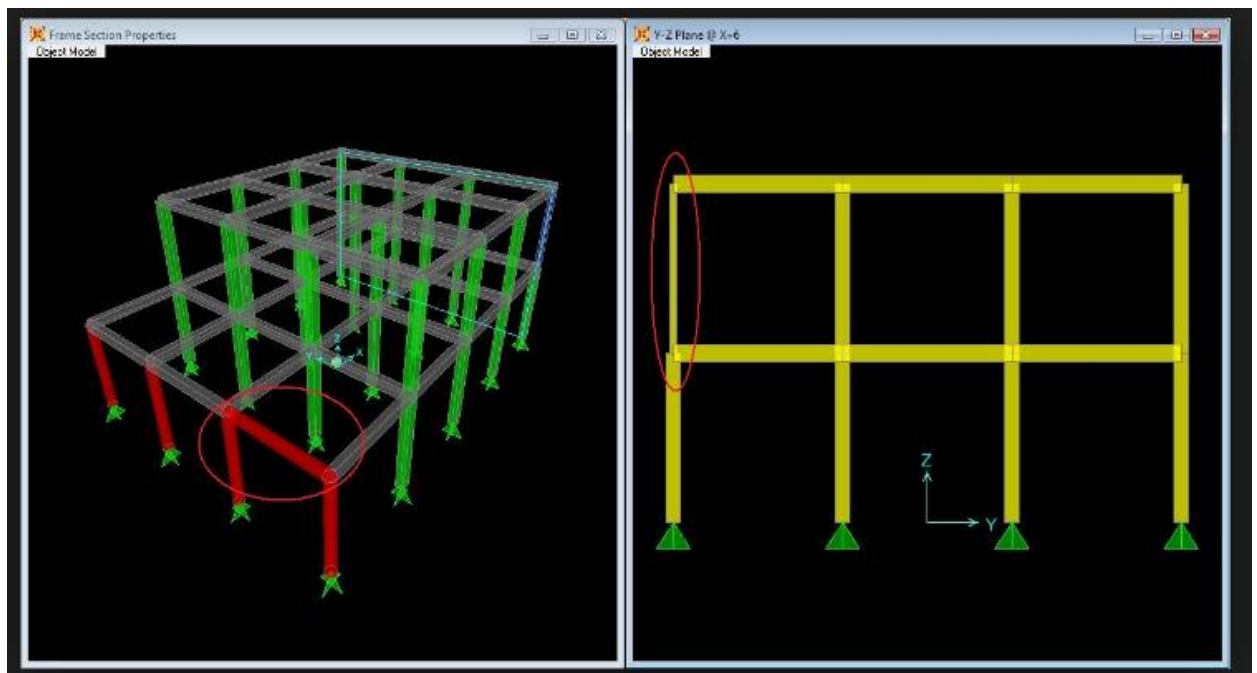
Gambar 3.2. Gambar Gaya Lintang pada SAP2000

5. Design

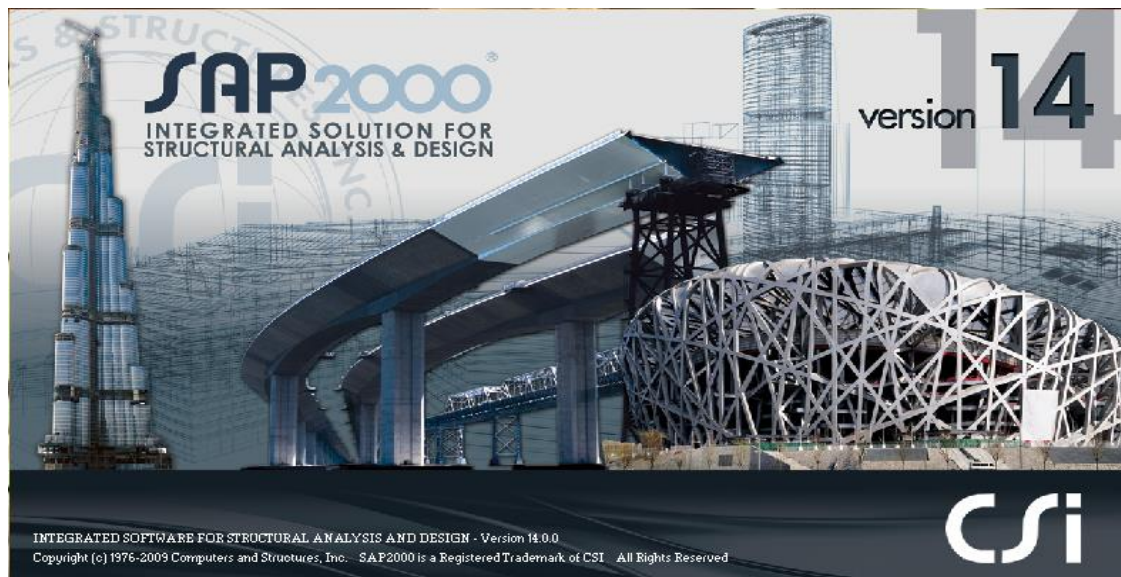
Tujuan melakukan design adalah untuk menentukan kecukupan penampang terhadap beban-beban luas yang bekerja pada masing-masing komponens struktur tersebut. Design ini harus berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Tanpa melakukan analisis, langkah design ini tidak bisa dilakukan, karena design memerlukan gaya-gaya dalam serta deformasi dari model struktur. Untuk melakukan design, hal paling utama yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah menentukan faktor reduksi kekuatan serta pemilihan kombinasi beban yang akan digunakan untuk mendisain komponen struktur tersebut. Faktor reduksi kekuatan yang di input disesuaikan dengan peraturan standar SNI Indonesia. Langkah terakhir adalah melakukan *start design*.

6. Interpretasi

Interpretasi berhubungan dengan bagaimana membaca hasil keluaran analisis yang berupa M, D, N deformasi, serta Design yang berupa luas tulangan perlu serta mengaplikasikan kedalam gambar kerja. Namun terlebih dahulu, harus memeriksa apakah sudah sesuai dengan teori-teori dasar atau sesuai dengan logika-logika struktur. Apabila belum, maka perlu diadakan pemeriksaan kembali terhadap model yang telah kita buat, mungkin ada kesalahan dalam memodel atau input beban bahkan bisa juga terjadi dalam input definisi. Kuncinya dalam input data terhadap struktur harus mengetahui satuan yang aktif.

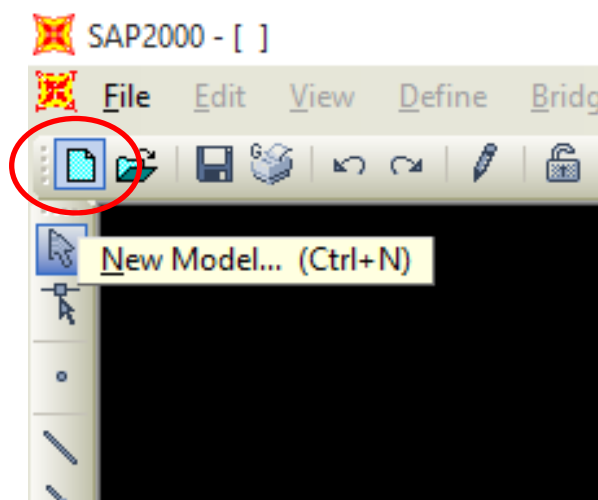


Gambar 3.3. Detail Bangunan Pada SAP2000



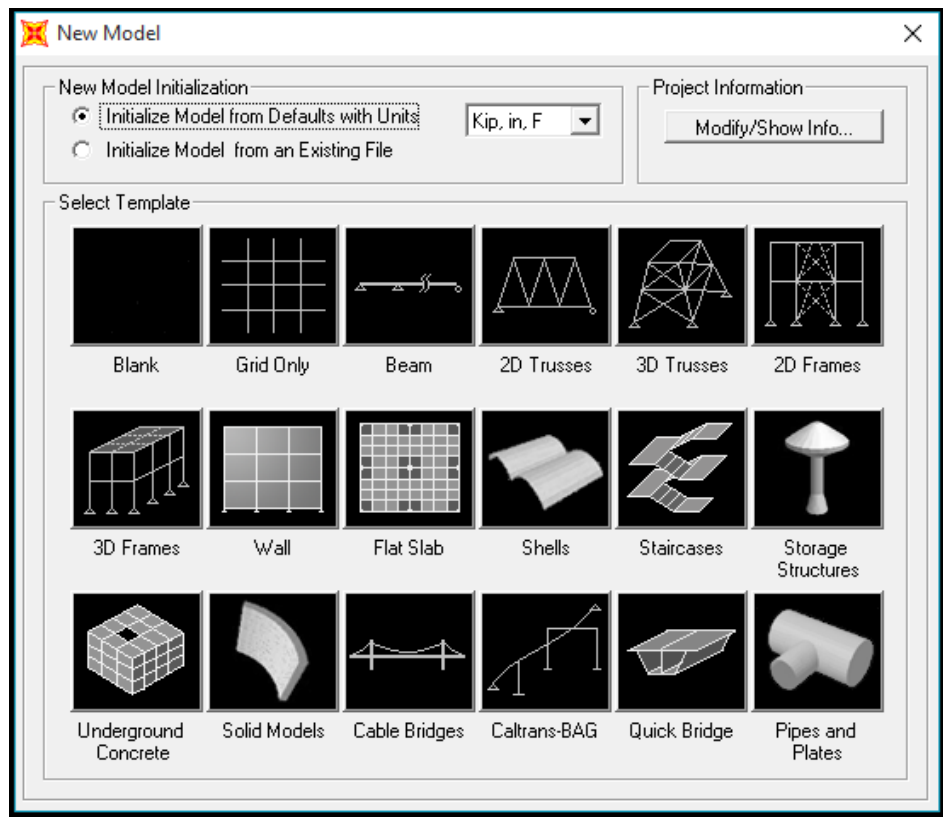
Gambar 3.4. Tampilan SAP 2000 versi 14

C. II. Langkah Kerja pada SAP2000



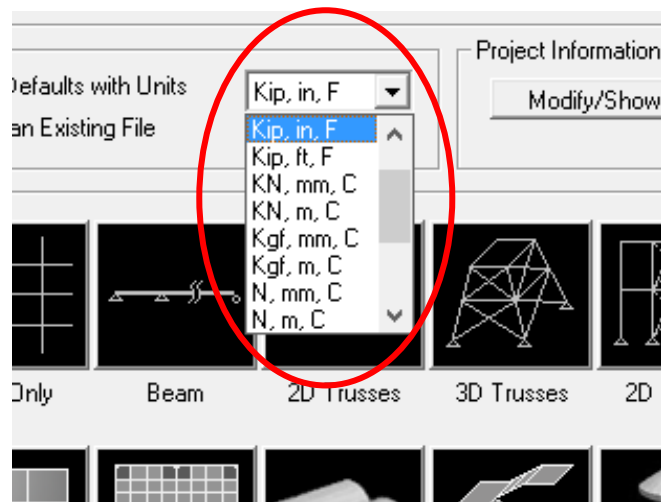
Gambar 3.5 Ikon New Model

Untuk memulai program SAP 2000, pertama klik kiri di sudut kiri atas menu New Model atau bisa juga dengan CTRL+N pada keyboard

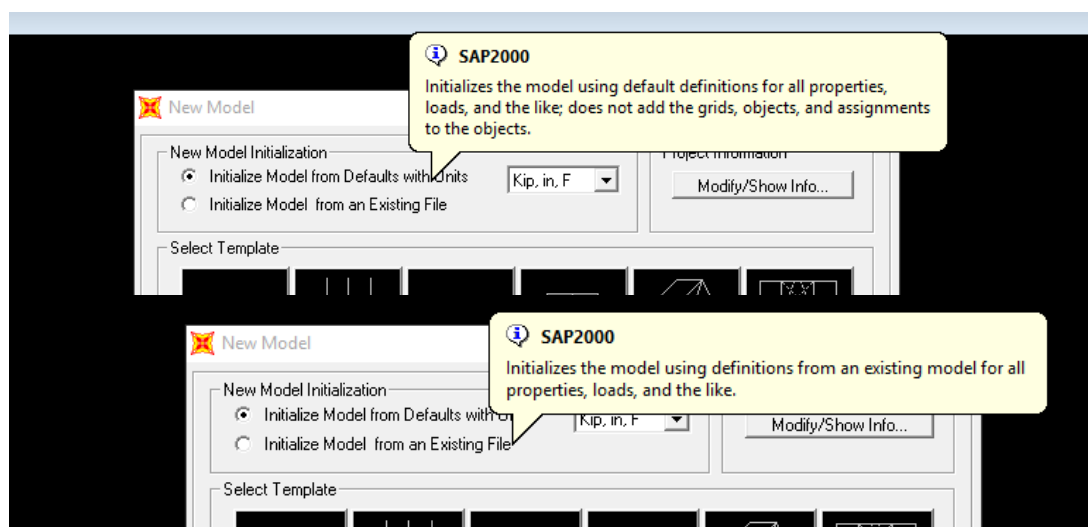


Gambar 3.6 Menu New Model

Kemudian akan keluar menu New Model seperti gambar 3.6 di atas. Perhatikan satuan yang akan kita gunakan, ubah sesuai dengan kebutuhan, pada gambar 3.7 tertera Kip, in, F.



Gambar 3.7 Pemilihan Satuan pada SAP2000



Gambar 3.8. Menu New Model Initialization

New Model Initialization : memilih satuan yang akan dipakai dalam menggambar pada SAP 2000 berupa satuan panjang, satuan gaya, satuan massa, dsb.

- Initializes Model from Defalut with Unit
Menginisialkan satuan mengikuti satuan yang sudah ada pada SAP 2000. Satuan yang tersedia biasanya yang umum dipakai.

- Initialize Model from an Existing File

Menginisialkan satuan dengan satuan khusus sesuai kebutuhan, biasa digunakan jika satuan yang diinginkan tidak tersedia pada Initializes Model from Defalut with Unit.

- ✓ Modify/Show Info : Bagian keterangan mengenai proyek pada SAP 2000 yang akan kita kerjakan, dapat berupa nama perusahaan, nama proyek, dll.

Project Information

Edit

Project Information List

Item	Data
1 Company Name*	
2 Client Name*	
3 Project Name*	
4 Project Number*	
5 Model Name*	
6 Model Description	
7 Revision Number*	
8 Frame Type	
9 Engineer	
10 Checker	
11 Supervisor	
12 Issue Code	
13 Design Code	

Clear Data

Clear All

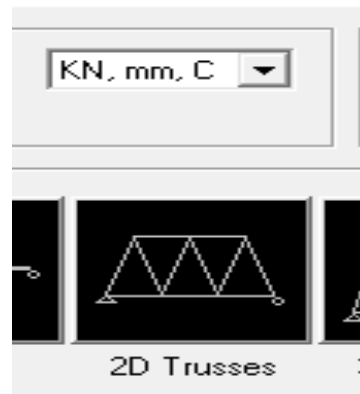
Add Row Insert Row Delete Row

* Item is used on Report cover page

OK Cancel

Gambar 3.9. Menu Modify/Show Info

Salah satu contoh:

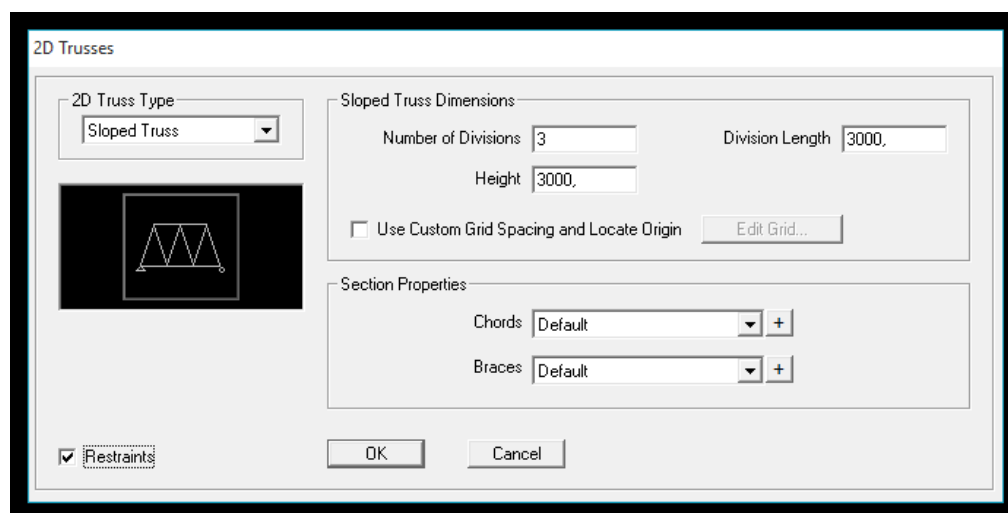


Gambar 3.10 Contoh Soal SAP2000

Dengan satuan yang sudah diubah menjadi KN, mm, C.

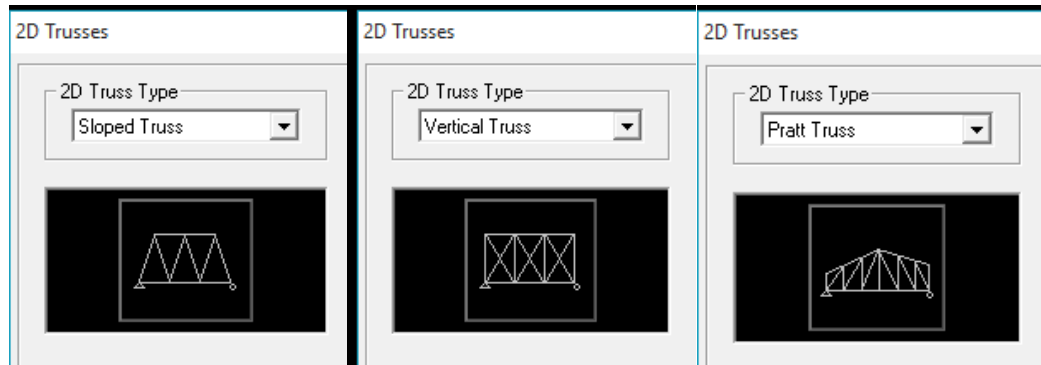
Untuk menggambarkan jembatan bentang sederhana dengan memilih Template – 2D Trusses.

Maka selanjutnya akan keluar menu:



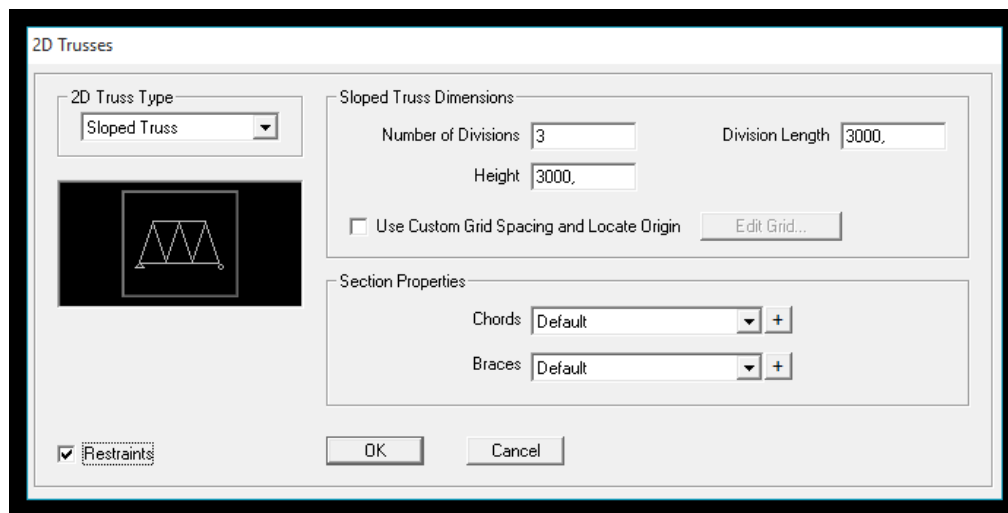
Gambar 3.11. Sub Menu 2D Truss

Pada SAP 2000, untuk rangka batang sederhana ada 3 jenis tipe yang disediakan, diantaranya:



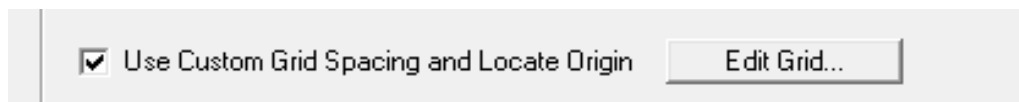
Gambar 3.12. Pilihan Jenis 2D Truss

Pada contoh ini kita pilih yang Sloped Truss



Gambar 3.13. Pemilihan 2D Truss - Sloped Truss

- ✓ Sloped Truss Dimensions : Rencana kita dalam mendesain, menentukan jumlah bentang dan ukurannya.
- ✓ Number of Divisions : Banyaknya jumlah bentang horizontal, dapat dilihat pada gambar number of divisions ada 3 sama dengan jumlah bentang dari tumpuan ke tumpuan ada 3.
- ✓ Division Length : Panjang bentang horizontal, pada contoh tertera $3000\text{mm} = 3\text{m}$
- ✓ Height : Tinggi batang, tinggi batang yang dimaksud adalah jarak dari bentang horizontal yang ada di bawah dengan yang ada di atas, pada contoh tertera $3000\text{mm} = 3\text{m}$.



Gambar 3.14. Sub Menu Use Custom Grid Spacing and Locate Origin

- ✓ Use Custom Grid Spacing and Locate Origin : Pilihan ini dipakai saat bentang yang akan kita pakai tidak simetris seperti contoh sebelumnya. Misalkan antara bentang 1 dengan bentang yang lainnya memiliki perbedaan panjang dan elevasi. Semuanya bisa disesuaikan dengan perencanaan yang kita inginkan. Setelah Edit Grid di klik, maka akan muncul :

Define Grid System Data

System Name CSYS1 **Units** KN, mm, C **Grid Lines** Quick Start...

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Bubble Loc.
1	A	-4500,	Primary	Show	End	
2	B	-3000,	Primary	Show	End	
3	C	-1500,	Primary	Show	End	
4	D	0,	Primary	Show	End	
5	E	1500,	Primary	Show	End	
6	F	3000,	Primary	Show	End	
7	G	4500,	Primary	Show	End	
8						

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Bubble Loc.
1	1	0,	Primary	Show	Start	
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Bubble Loc.
1	Z1	0,	Primary	Show	End	
2	Z2	3000,	Primary	Show	End	
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Display Grids as
☒ Ordinates ☐ Spacing

☐ Hide All Grid Lines
☐ Glue to Grid Lines

Bubble Size 750,

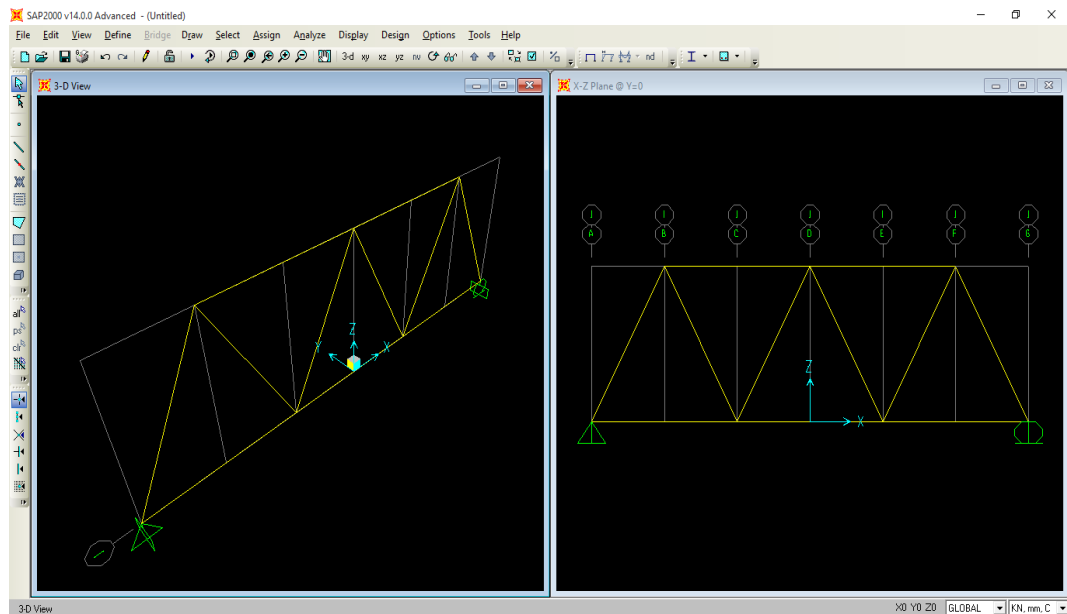
Reset to Default Color
 Reorder Ordinates
 Locate System Origin...

OK Cancel

Gambar 3.15. Sub Menu Define Grid System Data

Ordinate pada sumbu X,Y, dan Z dapat kita atur sesuai dengan perencanaan apabila bentang yang diinginkan berbeda-beda.

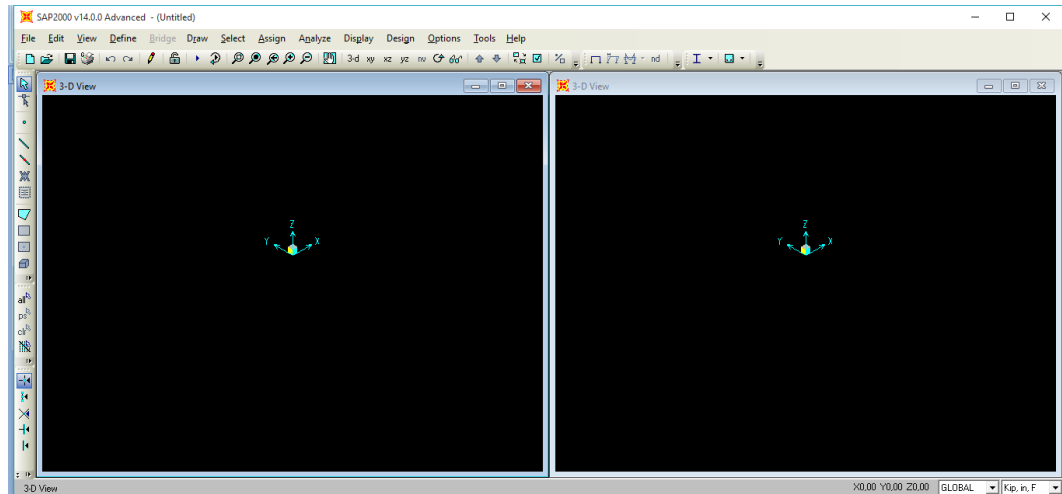
Setelah selesai, klik OK



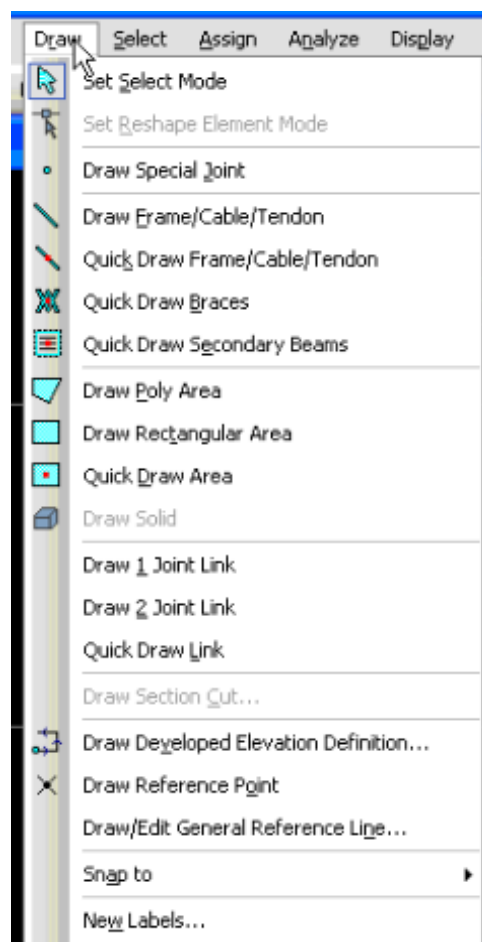
Gambar 3.16. Hasil Rangka Batang 2D

Maka akan keluar gambar desain kita tadi. Yang sebelah kiri adalah tampak 3-D sedangkan yang kanan tampak 2-D nya dimana sumbu Z mengarah vertikal, sumbu X mengarah Horizontal dan sumbu $Y=0$. Gambar rangka sederhana yang kita buat ditunjukkan dengan warna kuning, sedangkan untuk garis berwarna abu-abu merupakan garis bantu. Tumpuan sendi dan rol yang berwarna hijau.

Apabila ingin mendesain bentuk yang tidak ada pada template, dapat memilih black. Tampilan yang diberikan berupa area gambar kosong berwarna hitam dengan petunjuk sumbu arah X,Y, dan Z.



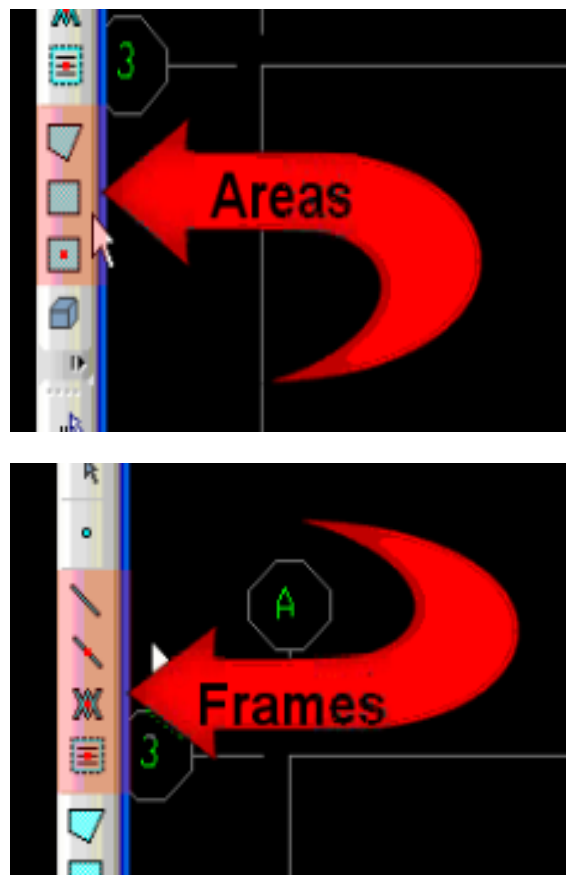
Gambar 3.17. Tampilan Template Blank



Gambar 3.18. Pilihan Menu Draw

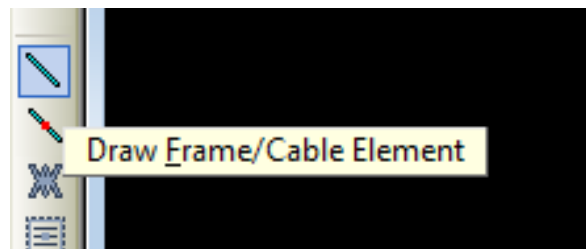
Selanjutnya untuk memulai menggambar dapat memilih dari Menu Draw, atau langsung memilih dari toolbar yang ada di sisi kiri

Untuk menggambar pada SAP 2000 mirip seperti menggambar pada AutoCAD. Dalam menggambar tidak perlu di skalakan, dalam artian skala = 1 : 1. Selain mempermudah dalam menggambar, hal ini juga dapat mempermudah apabila ingin melanjutkan perhitungan. Penggunaan skala baru berlaku ketika nantinya kita akan meng-output dalam hardcopy (memprintnya). Tapi pada umumnya hal ini tidak terlalu diperhatikan, mengingat detail gambar sebenarnya yang lebih diperhatikan.

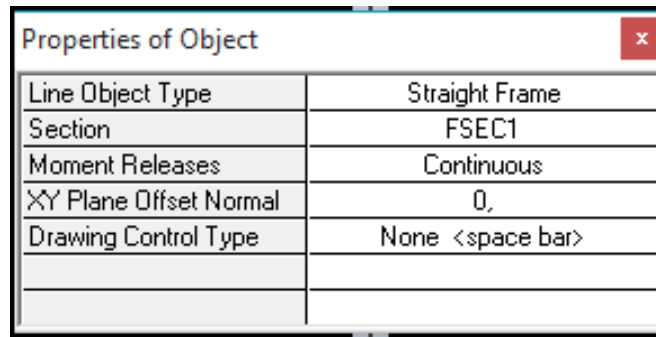


Gambar 3.19. Sub Menu Draw pada Sisi Kiri

Untuk membuat garis dapat memilih menu yang ada di gambar samping dan akan keluar menu seperti di gambar bawah ini.

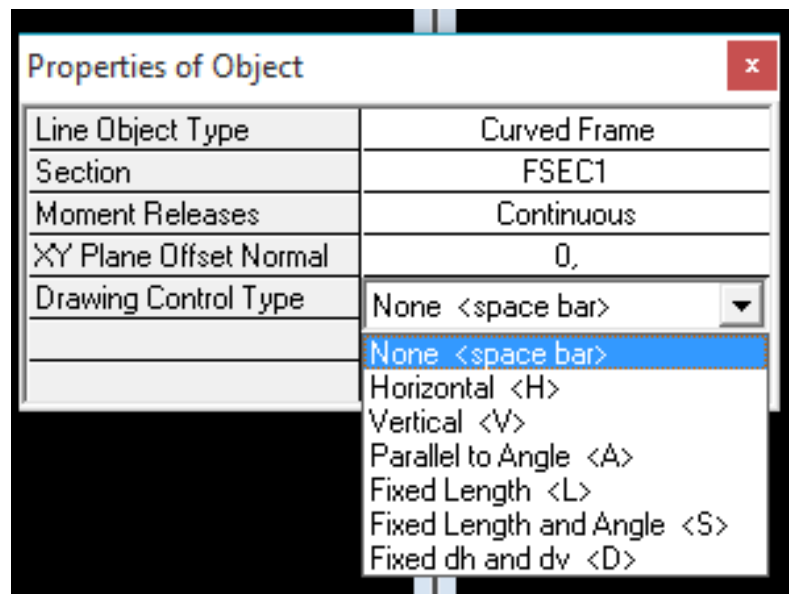


Gambar 3.20. Sub Menu Draw Frame



Gambar 3.21. Keterangan Bantu Sub Menu Draw Frame

- Properties of Object : merupakan keterangan untuk garis yang kita buat
- Line Object Type : tipe garis yang akan kita buat, ada empat jenis yaitu Straight Frame untuk garis lurus, Curved Frame untuk membuat garis lengkung, Cable dan Tendon.
- Moment Releases : untuk melihat pembebanan yang diinginkan, Continuous untuk menerus dan Pinned untuk di titik tertentu.
- XY Plane Offset Normal : untuk menentukan koordinat tertentu yang diinginkan.
- Drawing Control Type : untuk membantu mengarahkan garis sesuai kebutuhan.



Gambar 3.22. Pilihan Jenis Garis yang Ingin Dibuat

D. Aktivitas Pembelajaran

- Studi literatur
- Diskusi dan pemaparan/presentasi
- Mengerjakan soal – soal latihan

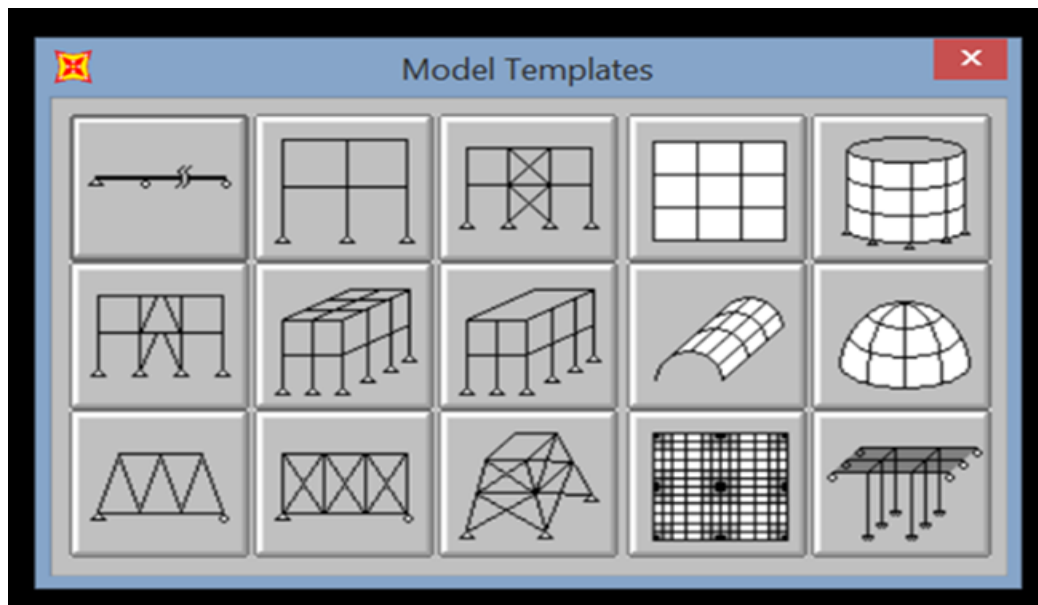
LK 3.01 Kegiatan Studi Literatur

No.	Kegiatan	Hasil Diskusi/Pemahaman	Sumber/Studi Literatur
1.	Pengertian SAP2000 <ul style="list-style-type: none"> • Jelaskan pengertian SAP2000 		
2.	Menganalisis desain struktur menggunakan		

	<p>SAP2000</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sebutkan langkah-langkah dalam menganalisis struktur baja dalam SAP2000 • Jelaskan langkah-langkah menganalisis struktur baja dalam SAP2000 		
3.	<p>Cara menggambar struktur baja pada SAP2000</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sebutkan langkah-langkah menggambarkan struktur baja pada SAP2000 		
4.	<p>Menampilkan gambar 2D dan 3D pada SAP2000</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sebutkan cara menampilkan hasil gambar 2D dan 3D pada SAP2000 		

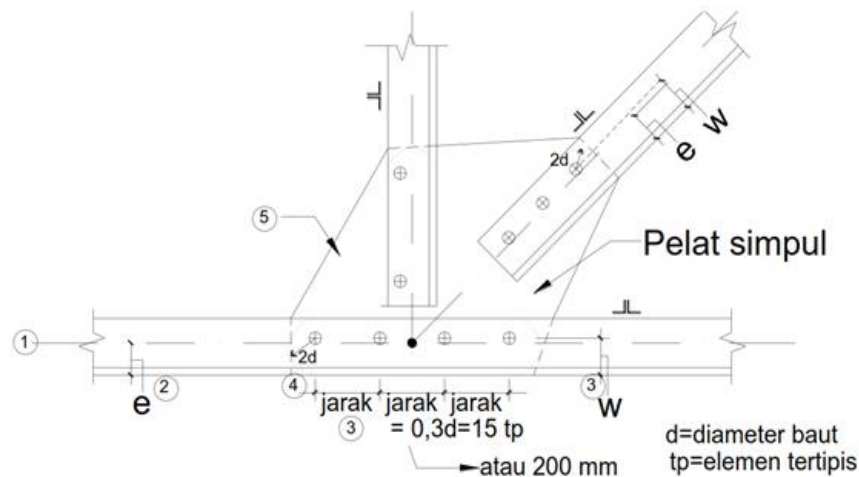
E. Latihan/Kasus/Tugas

1). Pada program SAP 2000, ketika hendak menggambar struktur konstruksi baja, namun tidak terdapat pada panel seperti tergambar dibawah ini. Langkah selanjutnya adalah.....



Gambar 3.23 Soal 1 SAP 2000

2). Perhatikan gambar di bawah ini! Gambar tersebut adalah gambar hasil perhitungan, ketika hendak dibuat ke bentuk gambar kerja idealnya dengan skala gambar.....



Gambar 3.24 Soal 2 SAP2000

F. Rangkuman

SAP 2000 merupakan suatu program yang dipergunakan untuk menganalisis dan mendisain struktur, baik bangunan maupun jembatan. Dengan menggunakan SAP 2000, maka akan mempermudah analisa dan desain struktur suatu konstruksi baja.

Untuk mendapatkan hasil yang akurat dari analisa SAP 2000, pengguna harus memahami langkah langkah penggunaan dan ketelitian dalam memasukkan data.

G. Umpan balik dan tindak lanjut

Waktu proses pembelajaran berlangsung, guru hendaknya mengamati kegiatan siswa. Pada saat ini umpan balik dapat dilakukan sebagai berikut :

- 1) Ketika siswa mengajukan pertanyaan, biasakan janganlah langsung dijawab oleh guru, beri kesempatan siswa lainnya untuk memberikan jawaban atau untuk didiskusikan dengan teman temannya. Komentar datang dari berbagai pihak sehingga terjadi pembicaraan antara guru dengan siswa, dan siswa

dengan siswa. Dengan diskusi semacam ini, siswa yang bertanya akan mengetahui bagaimana cara pemecahannya.

- 2) Pada waktu diskusi berlangsung, guru hendaknya melibatkan diri agar dapat mengetahui proses berpikir siswa dalam memahami suatu konsep.

Pada Pekerjaan Siswa

Siswa ingin mengetahui seberapa jauh pekerjaannya dinilai oleh guru atau temannya. Dalam hal ini, guru hendaknya memberikan apresiasi kepada siswa yang hasil pekerjaannya benar/baik. Jika hasil pekerjaan siswa salah, janganlah sekali-kali mengatakan: "Ini salah!" Sebab, hal ini akan mengurangi semangat siswa untuk belajar.

Terhadap siswa yang melakukan kesalahan/ mendapat kesulitan, guru hendaknya membantu bagaimana memecahkan masalah yang dihadapi. Petunjuk ataupun saran dapat diberikan dalam bentuk lisan atau tulisan. Yang siswa merasakan bahwa pekerjaannya mendapat perhatian dari gurunya.

Terhadap hasil pekerjaan siswa, guru harus memberikan tanggapan bagaimana pendapatnya mengenai hasil tersebut dan saran atau komentar apa yang perlu disampaikan.

PEMBELAJARAN 4

Merencanakan Rencana Anggaran Belanja (RAB) pada Proyek Konstruksi Baja

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran 4 ini adalah menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu. Agar hal tersebut dapat dikuasai pada modul Konstruksi Baja Grade 10 ini pembelajaran 4 yang dimaksud adalah merencanakan Rencana Anggaran Belanja (RAB) pada proyek konstruksi baja.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator Pencapaian Kompetensi pada pembelajaran 4 adalah menganalisis dan membuat RAB sederhana untuk pengerjaan proyek konstruksi baja

C. Uraian Materi

Merencanakan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pekerjaan Konstruksi Baja

Anggaran biaya merupakan salah satu unsur fungsi perencanaan proyek konstruksi. Penyusunan anggaran merupakan perencanaan secara detail perkiraan biaya bagian atau keseluruhan kegiatan proyek, yang selanjutnya digunakan untuk menerapkan fungsi pengawasan dan pengendalian biaya dan waktu pelaksanaan. Anggaran biaya proyek dapat didefinisikan sebagai perencanaan biaya yang akan dikeluarkan sehubungan adanya suatu proyek dengan rencana kerja dan syarat-syarat tertentu, yang dihitung oleh cost estimator dan disetujui oleh pemberi tugas (pemilik). Pada tahap perencanaan selain gambar rencana dan spesifikasi, konsultan perencanaan juga menghitung

rencana anggaran biaya bangunan demikian juga kontraktor akan membuat rencana anggaran biaya konstruksi (RAB) untuk penawaran.

C. I. Penentuan Metode Konstruksi

Dalam tahap perencanaan, sangatlah penting untuk menentukan metode konstruksi terlebih dahulu, karena setiap jenis metode konstruksi akan memberikan karakteristik pekerjaan yang berbeda, mempengaruhi sumber daya proyek yang akan digunakan yang selanjutnya akan mempengaruhi estimasi biaya. Pada tahap pelaksanaan metode konstruksi yang telah di pilih pada tahap perencanaan dimungkinkan dilakukan perubahan oleh kontraktor setelah mendapat persetujuan dari pemilik, berbagai pertimbangan yang diajukan kontraktor untuk merubah metode konstruksi antara lain ketersediaan sumber daya , ataupun factor teknis yang lain yang selanjutnya akan memepengaruhi pada estimasi biaya kontraktor. pada saat melaksanakan penawaran maupun biaya pelaksanaan.

Faktor - faktor yang mempengaruhi pemilihan metode konstruksi yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan, yaitu :

- Sumber daya manusia dengan skill yang cukup untuk melaksanakan suatu metode pelaksanaan konstruksi.
- Tersedianya peralatan penunjang pelaksanaan metode konstruksi yang dipilih.
- Material yang cukup tersedia.
- Waktu pelaksanaan yang maksimum dibanding pilihan metode konstruksi lainnya.
- Biaya yang bersaing.

C. II. Penjabaran Kegiatan / Work Breakdown Structure (WBS)

Tahap berikutnya adalah menjabarkan lingkup proyek konstruksi yang umum disebut WBS. WBS merupakan suatu cara untuk membagi –bagi pekerjaan suatu proyek konstruksi dan mempunyai sifat hirarkis dan logic , yaitu makin lama makin terinci dengan lingkup yang juga mengecil, menjadi divisi-divisi dan sub divisi pekerjaan sampai pada bagian terkecil yang disebut dengan paket pekerjaan (Work Package). Sedangkan kompleksibilitasnya makin berkurang sampai akhirnya dianggap cukup terinci tetapi masih dapat dikelola dengan baik.

- Hirarkis mengandung pengertian bahwa pembagian pada WBS harus dimulai dari pekerjaan yang bersifat umum ke pekerjaan yang bersifat khusus, atau dengan kata lain dari pekerjaan yang cakupannya lebih luas ke pekerjaan yang cakupannya lebih kecil
- Logis berarti pembagian pekerjaan tersebut harus mengikuti alur pelaksanaan pekerjaan yang umum sehingga memungkinkan pelaksanaan dapat berjalan dengan lancar. Hal tersebut juga akan memudahkan penyusunan jadwal kegiatan.

Pada tahap perencanaan WBS juga digunakan sebagai langkah awal untuk perhitungan rencana anggaran biaya. rencana dimulai dengan mencari informasi yang dibutuhkan pada tahap-tahap awal proyek. makin lama kebutuhan informasi ini akan meningkat sesuai dengan berkembangnya suatu proyek. Suatu proyek akan dipecah menjadi beberapa bagian dan seterusnya menjadi sub-bagian. Pada tiap tahap perancangan perencana harus memisahkan bagian-bagian dari rencana proyek. Misalkan pada awal desain lingkup pekerjaan secara umum dapat dilihat. Selanjutnya detail lebih lanjut. Sehingga tiap bagian dapat dibagi menjadi komponen yang lebih rinci. Memecah lingkup proyek dan menyusun kembali komponennya dengan mengikuti struktur hirarki tertentu.

Struktur WBS menyerupai gambar piramida di mana sebagai level satu yaitu posisi puncak mengidentifikasikan proyek secara keseluruhan, Selanjutnya level 2 dibagi berdasarkan kriteria tertentu seperti bidang keahlian, lokasi pekerjaan, atau urutan pelaksanaan pekerjaan. Demikian level-level di bawahnya

disebut level 3, level 4 dan seterusnya sampai pada level terkecil yang disebut paket pekerjaan yang disebut work package (WP)

- Pembagian pekerjaan dalam WBS dapat dibedakan atas dasar kriteria :
 - a. Bidang keahlian pekerjaan.
 - b. Lokasi pekerjaan.
 - c. Urut-urutan pekerjaan dll

- Paket kerja/ sub divisi-sub divisi/ Work Package terkecil memenuhi sifat-sifat:
 - a. Masih dapat dikelola dengan baik
 - b. Dapat direncanakan jadwal pelaksanaan dan jadwal anggarannya
 - c. Mudah diukur kemajuan pelaksanaan serta pemakaian biayanya
 - d. Dapat dikaji kualitas kerja dan hasil akhirnya
 - e. Jika diintegrasikan dengan WBS lainnya akan menjadi lingkup proyek secara keseluruhan

- Fungsi WBS
 - a. WBS digunakan sebagai kerangka pembagian kerja untuk pelaksanaan proyek,
 - b. WBS juga dapat digunakan untuk sarana perencanaan, pemantauan dan pengendalian.
 - c. Dengan membagi lingkup proyek menjadi sejumlah paket kerja berarti dengan WBS memungkinkan mengisolasi suatu resiko hanya pada satu item WBS yang bersangkutan

C. III. Biaya Proyek

Secara umum biaya dalam suatu proyek dapat digolongkan menjadi:

A. Biaya Tetap (Modal Tetap/*Fixed Capital*)

Merupakan bagian dari biaya proyek yang digunakan untuk menghasilkan produk yang diinginkan, mulai dari studi kelayakan sampai atau instalasi suatu proyek/pekerjaan berjalan penuh.

Dalam hal ini biaya tetap sendiri dibedakan menjadi dua, yaitu:

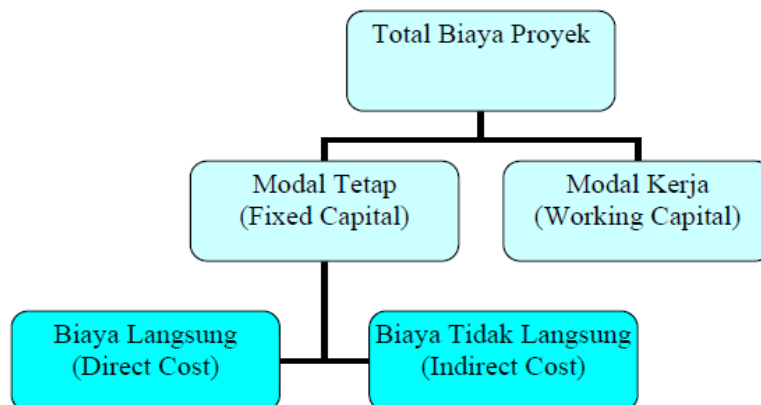
A.1. Biaya Langsung (*Direct Cost*), yaitu himpunan pengeluaran untuk tenaga kerja, bahan, alat-alat dan sub kontraktor. Apabila waktu (*duration*) dipercepat, maka pada umumnya biaya langsung secara total akan semakin tinggi.

A.2. Biaya Tidak Langsung (*Indirect Cost*), yaitu himpunan pengeluaran untuk overhead, pengawasan resiko-resiko dan lain-lain. Apabila waktu (*duration*) diperlambat, maka biaya tidak langsungnya akan semakin tinggi.

B. Biaya Tidak Tetap (Modal Kerja/*Working Capital*)

Merupakan biaya yang digunakan untuk menutupi kebutuhan pada tahap awal operasi.

Total biaya yang dikeluarkan pada suatu proyek dapat dilihat pada bagan sebagai berikut :



Gambar 4.1. Bagan Alir Total Biaya Proyek

C. IV. Analisa Bahan, Upah, Alat dan Harga Satuan Pekerjaan

a. Analisa Bahan

Analisa bahan suatu pekerjaan adalah menghitung banyaknya volume masing-masing bahan untuk setiap aktifitas, serta biaya yang dibutuhkan.

b. Analisa Upah

Menghitung banyaknya tenaga yang diperlukan untuk setiap kegiatan, serta besar biaya yang diperlukan untuk pekerjaan tersebut

c. Analisa Alat

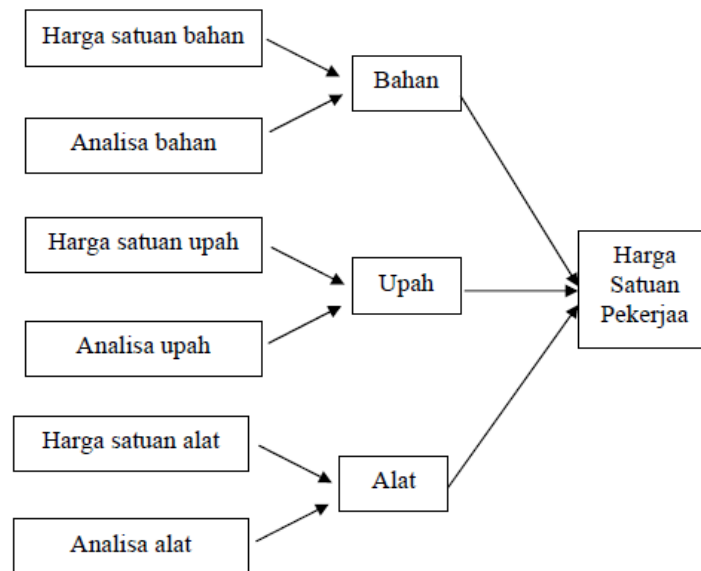
Analisa terhadap peralatan yang dibutuhkan dalam setiap pekerjaan dalam suatu proyek dimana digunakan alat-alat yang membutuhkan biaya.

d. Analisa harga Satuan Pekerjaan

Analisa terhadap harga satuan pekerjaan merupakan penjumlahan dari harga satuan bahan dengan harga satuan upah.

$$\text{Satuan Pekerjaan} = \text{Harga Bahan} + \text{Upah}$$

Skema Harga Satuan Pekerjaan dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.2 Bagan Harga Satuan Pekerjaan

C. V. Pemeriksaan Khusus

Pemeriksaan khusus biasanya disarankan oleh pemeriksa konstruksi pada waktu pemeriksaan detail karena pemeriksa merasa kurangnya data, pengalaman atau keahlian untuk menentukan kondisi konstruksi baja. Semua jenis pemeriksaan di atas dilakukan oleh seorang sarjana yang berpengalaman dalam bidang konstruksi baja atau oleh staf teknik yang mempunyai keahlian dalam bidang konstruksi baja. Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran yang realistik mengenai kondisi struktur yang ada. Jenis kegiatan yang dilakukan pada pemeriksaan khusus umumnya adalah :

1. Pemeriksaan ketebalan dengan alat *covermeter*

Pemeriksaan selimut beton dengan alat *covermeter* dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai ketebalan profil, serta diameter, dan jarak. Dengan mengetahui tebal profil, penurunan mutu baja dapat diperkirakan dan juga dapat mendeteksi apakah proses karbonasi sudah mencapai tulangan atau belum.

2. Pemeriksaan retak dengan alat *Pundit* atau *UPV* dan alat pengukur retak

Pemeriksaan retakan diperlukan untuk mendapatkan data yang akurat dan lengkap mengenai kondisi retak yang ada sehingga dapat diambil kesimpulan seberapa jauh retakan yang ada mempengaruhi struktur serta untuk mengetahui atau mengindikasikan penyebab terjadinya keretakan. Alat yang digunakan untuk memeriksa kedalaman keretakan ini adalah *Pundit* yaitu alat pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity*-UPV dan untuk lebar retak digunakan *crackmeter* yaitu berupa kaca pembesar untuk mengukur lebar retak yang terjadi. Dari pengujian dengan alat *Pundit* dan pengukur retak ini akan didapatkan data-data kedalaman, lebar dan panjang retak serta ada tidaknya rongga atau keropos pada bajanya. Bagian-bagian konstruksi baja yang diperiksa kondisinya (kemungkinan retaknya) adalah bagian-bagian yang bersifat struktural dan nonstruktural seperti sambungan.

D. Aktivitas Pembelajaran

- Studi literatur
- Diskusi dan pemaparan/presentasi
- Mengerjakan soal – soal latihan

LK 4.01 Kegiatan Studi Literatur

No.	Kegiatan	Hasil Diskusi/Pemahaman	Sumber/Studi Literatur
1.	Pengertian RAB <ul style="list-style-type: none"> Jelaskan pengertian RAB 		
2.	Menentukan metode konstruksi <ul style="list-style-type: none"> Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi metode konstruksi baja 		
3.	Pengertian WBS <ul style="list-style-type: none"> Jelaskan pengertian WBS Sebutkan kegiatan-kegiatan WBS Sebutkan fungsi WBS 		
4.	Pengertian Biaya Proyek <ul style="list-style-type: none"> Sebutkan pengertian biaya proyek Sebutkan perbedaan harga satuan pekerjaan, analisa bahan dan analisa upah 		

E. Latihan/Kasus/Tugas

Salah satu Persyaratan/Kondisi Unjuk Kerja di dalam pengawasan pekerjaan fabrikasi adalah tersedianya Prosedur Operasional Baku (SOP). Namun akibat keterbatasan pemahaman operator, tidak menutup terjadi kesalahan pada pekerjaan tersebut dan bahkan terjadi cacat produk pada konstruksi baja tersebut. Untuk cacat retak permukaan, dapat dilakukan dengan pengamatan visual, namun jika terjadi retak di bawah permukaan digunakan alat

F. Rangkuman

Penyusunan anggaran merupakan perencanaan secara detail perkiraan biaya bagian atau keseluruhan kegiatan proyek, yang selanjutnya digunakan untuk menerapkan fungsi pengawasan dan pengendalian biaya dan waktu pelaksanaan Anggaran biaya proyek dapat didefinisikan sebagai perencanaan biaya yang akan dikeluarkan sehubungan adanya suatu proyek dengan rencana kerja dan syarat-syarat tertentu, yang dihitung oleh cost estimator dan disetujui oleh pemberi tugas (pemilik).

WBS merupakan suatu cara untuk membagi – bagi pekerjaan suatu proyek konstruksi dan mempunyai sifat hirarkis dan logic , yaitu makin lama makin terinci dengan lingkup yang juga mengecil, menjadi divisi-divisi dan sub divisi pekerjaan sampai pada bagian terkecil yang disebut dengan paket pekerjaan (Work Package).

Biaya proyek dibagi menjadi biaya tetap dan biaya tidak tetap.

Pemeriksaan khusus biasanya disarankan oleh pemeriksa konstruksi pada waktu pemeriksaan detail karena pemeriksa merasa kurangnya data, pengalaman atau keahlian untuk menentukan kondisi konstruksi baja.

G. Umpan balik dan tindak lanjut

Waktu proses pembelajaran berlangsung, guru hendaknya mengamati kegiatan siswa. Pada saat ini umpan balik dapat dilakukan sebagai berikut :

- 1) Ketika siswa mengajukan pertanyaan, biasakan janganlah langsung dijawab oleh guru, beri kesempatan siswa lainnya untuk memberikan jawaban atau untuk didiskusikan dengan teman temannya. Komentar datang dari berbagai pihak sehingga terjadi pembicaraan antara guru dengan siswa, dan siswa dengan siswa. Dengan diskusi semacam ini, siswa yang bertanya akan mengetahui bagaimana cara pemecahannya.
- 2) Pada waktu diskusi berlangsung, guru hendaknya melibatkan diri agar dapat mengetahui proses berpikir siswa dalam memahami suatu konsep.

Pada Pekerjaan Siswa

Siswa ingin mengetahui seberapa jauh pekerjaannya dinilai oleh guru atau temannya. Dalam hal ini, guru hendaknya memberikan apresiasi kepada siswa yang hasil pekerjaannya benar/baik. Jika hasil pekerjaan siswa salah, janganlah sekali-kali mengatakan: "Ini salah!" Sebab, hal ini akan mengurangi semangat siswa untuk belajar.

Terhadap siswa yang melakukan kesalahan/ mendapat kesulitan, guru hendaknya membantu bagaimana memecahkan masalah yang dihadapi. Petunjuk ataupun saran dapat diberikan dalam bentuk lisan atau tulisan. Yang siswa merasakan bahwa pekerjaannya mendapat perhatian dari gurunya.

Terhadap hasil pekerjaan siswa, guru harus memberikan tanggapan bagaimana pendapatnya mengenai hasil tersebut dan saran atau komentar apa yang perlu disampaikan.

PEMBELAJARAN 5

Merencanakan Rencana Anggaran Belanja (RAB) pada Proyek Konstruksi Baja

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran 5 ini adalah menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu. Agar hal tersebut dapat dikuasai pada modul Konstruksi Baja Grade 10 ini pembelajaran 4 yang dimaksud adalah mengevaluasi Rencana Anggaran Belanja (RAB) pada proyek konstruksi baja.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator Pencapaian Kompetensi pada pembelajaran 4 adalah menganalisis dan mengevaluasi RAB sederhana pada pengerjaan proyek konstruksi baja

C. Uraian Materi

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pekerjaan Konstruksi Baja

Definisi tentang pengertian Rencana Anggaran Biaya (RAB) dilihat dari asal katanya yaitu :

1. Rencana, adalah himpunan *planning*, termasuk detail/penjelasan dan tata cara pelaksanaan pembuatan sebuah bangunan, terdiri dari : bestek dan gambar bestek.
2. Anggaran, adalah perkiraan/perhitungan biaya suatu bangunan berdasarkan bestek dan gambar bestek.
3. Biaya, adalah besar pengeluaran yang berhubungan dengan borongan yang tercantum dalam persyaratan-persyaratan yang terlampir.

Jadi Rencana Anggaran Belanja meliputi :

- Perencanaan bentuk bangunan yang memenuhi syarat
- Perkiraan terhadap biaya yang diperlukan
- Penyusunan tata cara pelaksanaan teknis dan administrasi

C. I. Tujuan Pembuatan Rencana Anggaran Belanja (RAB)

Tujuan pembuatan Rencana Anggaran Belanja (RAB) adalah untuk memberikan gambaran yang pasti mengenai : bentuk/konstruksi, besar biaya dan pelaksanaan serta penyelesaian.

C. II. Data untuk Membuat Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Untuk membuat Rencana Anggaran Biaya Konstruksi diperlukan data :

- Gambar rencana , gambar potongan , detail
- Spesifikasi dan Rencana Kerja
- Harga satuan Material, Harga satuan Peralatan, Harga satuan Upah
- Informasi yang berkaitan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi harga satuan material, harga satuan peralatan dan harga satuan Upah

C. III. Proses Penusunan Rencana Anggaran Biaya

Proses Penyusunan Rencana Anggaran Biaya Konstruksi

- a. Menentukan metode konstruksi
- b. Menjabarkan Lingkup Kegiatan Proyek Konstruksi atau disebut Work Break Down Structure (WBS)
- c. Membuat Organisasi pelaksanaan atau disebut Organization Analisis Tabel (OAT) untuk RAB yang dibuat oleh kontraktor
- d. Integrasi antara WBS dan OAT untuk RAB yang dibuat oleh kontraktor
- e. Menghitung Volume masing-masing pekerjaan (sesuai dengan WBS)
- f. Menganalisis Harga Satuan (Menetapkan AHS yang akan digunakan)
- g. Menetapkan Harga Satuan Pekerjaan

- h. Membuat Rencana Anggaran Biaya

C. IV. Perhitungan RAB Secara Keseluruhan

Pada dasarnya perhitungan RAB merupakan perhitungan biaya-biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan analisis tertentu dan biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan. Dapat pula dinyatakan bahwa RAB merupakan jumlah dari masing-masing hasil perkalian Volume dan Harga Satuan Pekerjaan.

Perhitungan RAB secara keseluruhan :

$$\text{RAB} = \sum (\text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan})$$

C. V. Perhitungan Presentase Bobot Pekerjaan

Prosentase bobot penjadwalan merupakan besarnya nilai prosentase dari total sub pekerjaan, yang akan digunakan untuk memperhitungkan lama waktu pekerjaan. Berdasarkan perbandingan antara anggaran biaya pekerjaan dengan waktu proses pembangunan. Secara skematis dapat digambarkan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Sub Total Pekerjaan}}{\text{Jumlah Total Rekapitulasi}} = \text{Prosentasi Bobot Pekerjaan}$$

C. VI. *Time Schedule* (Rencana Kerja)

Pengendalian waktu atau penjadwalan merupakan pokok yang sangat diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek. Untuk proyek dengan beberapa kegiatan, tahap pelaksanaan umumnya dapat dibayangkan sehingga penjadwalan tidak begitu mutlak dilakukan. Penjadwalan atau *Time Schedule* adalah mengatur rencana kerja dari satu bagian atau unit pekerjaan dalam pelaksanaan pekerjaan pembangunan. Dalam perancangan rencana kerja ini akan dilakukan setelah didapatkan perhitungan keseluruhan dari RAB.

C. VII. Program Perhitungan RAB

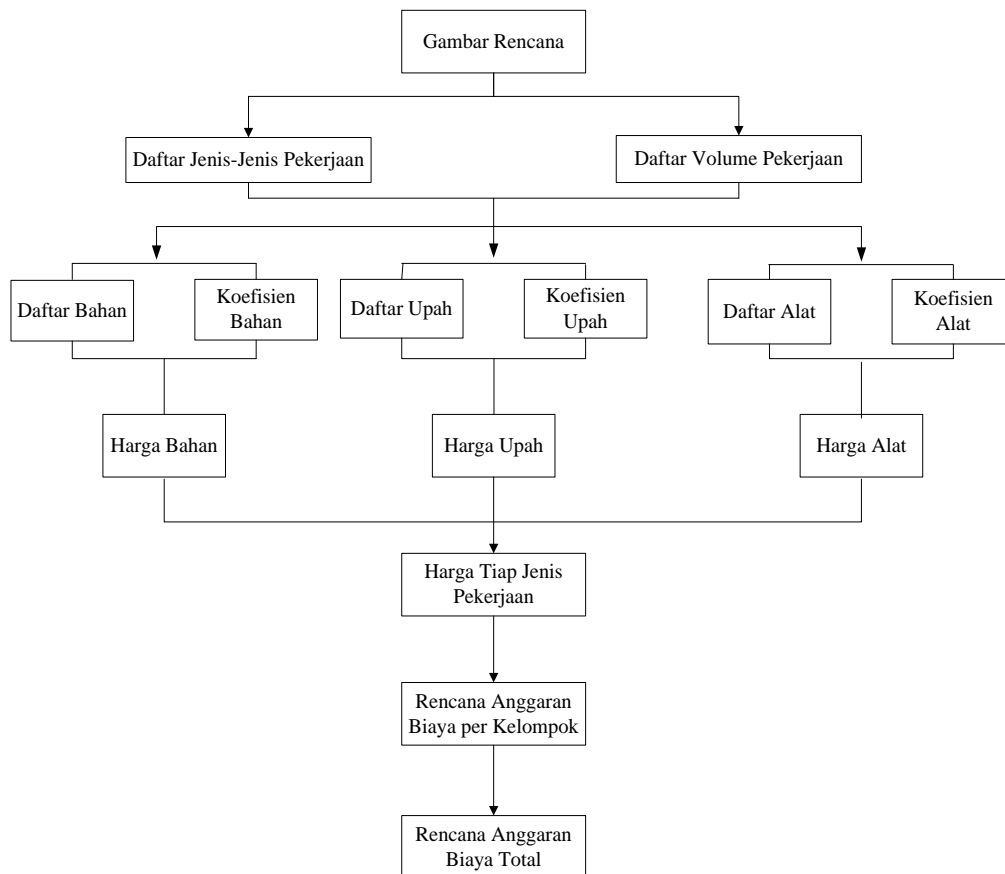
1. Program *Macro Excel*

Program *Macro Excel* merupakan salah satu aplikasi gabungan dari Program *Microsoft Excel* dan Program *Microsoft Visual Basic*. Program *MacroExcel* ini memiliki keistimewaan karena bisa mengkombinasikan antara perintah – perintah dalam Program *Microsoft Visual Basic* dengan formula-formula yang ada dalam Program *Microsoft Excel*. Dengan keistimewaan yang ada dalam Program *Macro Excel* tersebut, program ini dapat digunakan dalam penyusunan suatu *database* dalam pembuatan program bantu perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan analisa BOW ini. Program *Macro Excel* ini dapat diaplikasi melalui Program *Microsoft Excel*, yaitu melalui menu Tools→ Macro. Untuk masuk ke menu Program *Microsoft Visual Basic* pilih *Visual Basic Editor*.

2. Program *Microsoft Project*

Program *Microsoft Project* merupakan sistem perencanaan yang dapat membantu dalam penyusunan jadwal (*scheduling*) suatu proyek atau rangkaian pekerjaan. Dengan program ini suatu proyek dapat direncanakan secara terperinci pekerjaan demi pekerjaan dan dapat menghubungkan antara satu sub proyek dengan sub proyek yang lain yang saling berkaitan. Selain itu dari program ini juga dapat diketahui kapan suatu proyek mulai dan selesai. Program

Microsoft Project juga mampu membantu melakukan pencatatan dan pemantauan terhadap penggunaan sumber daya (*resource*), baik yang berupa sumber daya manusia, bahan/material maupun peralatan. Selain membantu dalam tahap perencanaan suatu proyek, program ini juga dapat membantu pada tahap pelaksanaan dan pengawasannya.



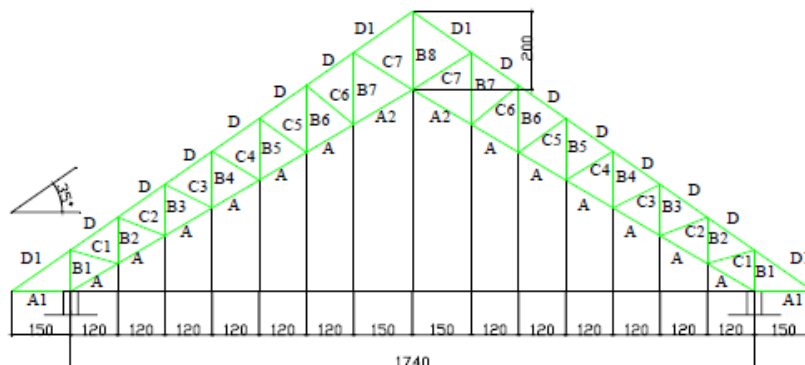
Gambar 5.1 Bagan Alir Rencana Anggaran Biaya Total

Perhitungan berat kuda – kuda pada struktur dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu meliputi :

- | | |
|--------------------------|----------------|
| A. Berat kuda-kuda utama | E. Berat KT2 |
| B. Berat 1/2 kuda-kuda | F. Berat KP |
| C. Berat 1/4 kuda-kuda | G. Berat Jurai |
| D. Berat KTI | |

Tabel 5.2. Jenis Profil Baja yang Digunakan

KODE	KETERANGAN PROFIL	BERAT PROFIL (Kg/m)
A	BAJA SIKU 2 X L 70.70.7	7,38
B	BAJA SIKU 2 X L 50.50.5	3,77
C	BAJA SIKU 2 X L 40.40.4	2,42
D	BAJA SIKU 2 X L 70.70.7	7,38
Gording	BAJA C 2 X 125.50.20.3,2	6,13
Mutu Baja	BJ - 37	



Gambar 5.3. Detail kuda-kuda

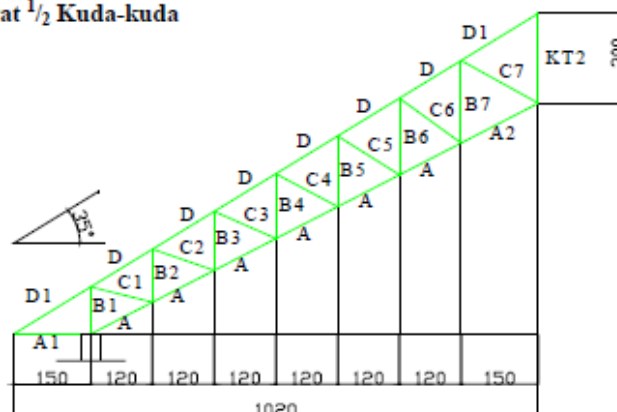
Tabel 5.3. Perhitungan berat kuda-kuda

No	Simbol	Panjang (m)	Jumlah	Profil	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
1	A	1,394	12	2.L 70.70.7	7,38	246,905
2	A1	1,500	2	2.L 70.70.7	7,38	44,280
3	A2	1,742	2	2.L 70.70.7	7,38	51,4234
4	B1	1,050	2	2.L 50.50.5	3,77	15,834
5	B2	1,181	2	2.L 50.50.5	3,77	17,810
6	B3	1,312	2	2.L 50.50.5	3,77	19,785
7	B4	1,443	2	2.L 50.50.5	3,77	21,760
8	B5	1,574	2	2.L 50.50.5	3,77	23,736
9	B6	1,705	2	2.L 50.50.5	3,77	25,711
10	B7	1,836	2	2.L 50.50.5	3,77	27,687
11	B8	2,000	1	2.L 50.50.5	3,77	15,080
12	C1	1,248	2	2.L 40.40.4	2,42	12,081
13	C2	1,290	2	2.L 40.40.4	2,42	12,487
14	C3	1,343	2	2.L 40.40.4	2,42	13,000
15	C4	1,407	2	2.L 40.40.4	2,42	13,620
16	C5	1,480	2	2.L 40.40.4	2,42	14,326
17	C6	1,560	2	2.L 40.40.4	2,42	15,101
18	C7	1,775	2	2.L 40.40.4	2,42	17,182
19	D	1,465	12	2.L 70.70.7	7,38	259,481
20	D1	1,831	4	2.L 70.70.7	7,38	108,102
Berat Total Kuda – Kuda Utama						975,392

Jumlah total kuda – kuda utama dalam struktur rangka atap adalah 13 buah ,
sehingga berat total kuda – kuda utama struktur adalah

$$13 \times 975,392 \text{ Kg} = 12680,096 \text{ Kg}$$

Berat $\frac{1}{2}$ Kuda-kuda



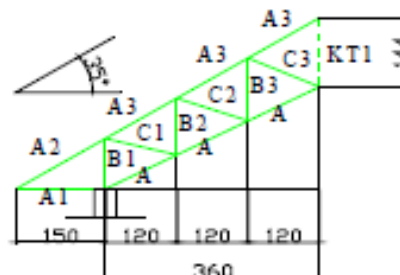
Gambar 5.4. Detail $\frac{1}{2}$ kuda-kuda

Tabel 5.4. Perhitungan berat ½ kuda-kuda

No	Simbol	Panjang (m)	Jumlah	Profil	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
1	A	1,394	6	2.L 70.70.7	7,38	123,453
2	A1	1,500	1	2.L 70.70.7	7,38	22,140
3	A2	1,742	1	2.L 70.70.7	7,38	25,712
4	B1	1,050	1	2.L 50.50.5	3,77	7,917
5	B2	1,181	1	2.L 50.50.5	3,77	8,905
6	B3	1,312	1	2.L 50.50.5	3,77	9,893
7	B4	1,443	1	2.L 50.50.5	3,77	10,880
8	B5	1,574	1	2.L 50.50.5	3,77	11,868
9	B6	1,705	1	2.L 50.50.5	3,77	12,856
10	B7	1,836	1	2.L 50.50.5	3,77	13,844
11	C1	1,248	1	2.L 40.40.4	2,42	6,040
12	C2	1,290	1	2.L 40.40.4	2,42	6,244
13	C3	1,343	1	2.L 40.40.4	2,42	6,500
14	C4	1,407	1	2.L 40.40.4	2,42	6,810
15	C5	1,480	1	2.L 40.40.4	2,42	7,163
16	C6	1,560	1	2.L 40.40.4	2,42	7,550
17	C7	1,775	1	2.L 40.40.4	2,42	8,591
18	D	1,465	6	2.L 70.70.7	7,38	129,741
19	D1	1,831	2	2.L 70.70.7	7,38	54,051
Berat Total ½ Kuda – Kuda						480,156

Jumlah total 1/2 Kuda-kuda dalam struktur rangka atap adalah 4 buah , sehingga berat total 1/2 Kuda-kuda struktur adalah
 $4 \times 480,156 \text{ Kg} = 1920,624 \text{ Kg}$

Berat ¼ Kuda-kuda



Gambar 5.5.

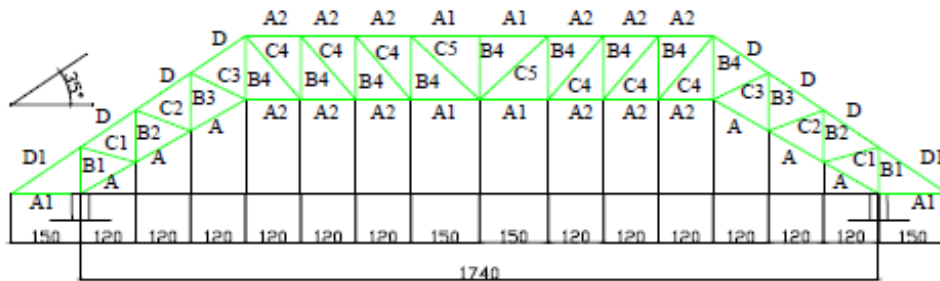
Detail ¼ kuda-kuda

Tabel 5.5.Perhitungan berat ¼ kuda-kuda

No	Simbol	Panjang (m)	Jumlah	Profil	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
1	A	1,394	6	2.L 70.70.7	7,38	123,453
2	A1	1,500	1	2.L 70.70.7	7,38	22,140
3	A2	1,831	1	2.L 70.70.7	7,38	27,026
4	B1	1,050	1	2.L 50.50.5	3,77	7,917
5	B2	1,181	1	2.L 50.50.5	3,77	8,905
6	B3	1,312	1	2.L 50.50.5	3,77	9,892
11	C1	1,248	1	2.L 40.40.4	2,42	6,040
12	C2	1,290	1	2.L 40.40.4	2,42	6,244
13	C3	1,343	1	2.L 40.40.4	2,42	6,500
Berat Total ¼ Kuda – Kuda						218,116

Jumlah total 1/4 Kuda-kuda dalam struktur rangka atap adalah 4 buah , sehingga berat total 1/4 Kuda-kuda struktur adalah

$$4 \times 218,116 \text{ Kg} = 872,464 \text{ Kg}$$

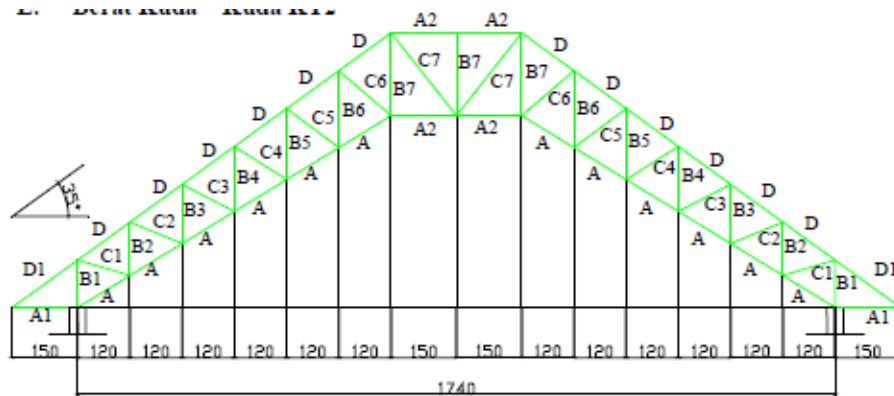


Gambar 5.6. Detail Kuda-kuda KT1

Tabel 5.6. Berat Kuda-kuda KT1

No	Simbol	Panjang (m)	Jumlah	Profil	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
1	A	1,394	6	2.L 70.70.7	7,38	123,453
2	A1	1,500	6	2.L 70.70.7	7,38	132,840
3	A2	1,500	12	2.L 70.70.7	7,38	265,680
4	B1	1,050	2	2.L 50.50.5	3,77	15,834
5	B2	1,181	2	2.L 50.50.5	3,77	17,810
6	B3	1,312	2	2.L 50.50.5	3,77	19,785
7	B4	1,443	9	2.L 50.50.5	3,77	97,922
8	C1	1,248	2	2.L 40.40.4	2,42	12,081
9	C2	1,290	2	2.L 40.40.4	2,42	12,487
10	C3	1,343	2	2.L 40.40.4	2,42	13,000
11	C4	1,407	6	2.L 40.40.4	2,42	40,859
12	C5	1,480	2	2.L 40.40.4	2,42	14,326
13	D	1,465	6	2.L 70.70.7	7,38	129,740
14	D1	1,831	2	2.L 70.70.7	7,38	54,051
Berat Total Kuda – Kuda KT1						949,868

Jumlah total kuda-kuda KT1 dalam struktur rangka atap adalah 2 buah ,
sehingga berat total kuda-kuda KT1 struktur adalah
 $2 \times 949,868 \text{ Kg} = 1800,084 \text{ Kg}$

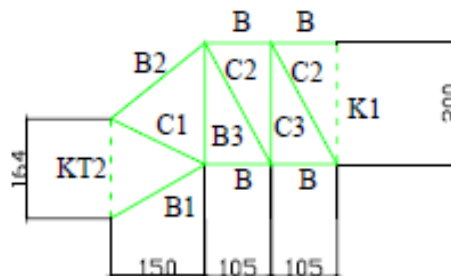


Gambar 5.7. Detail kuda-kuda KT2

Tabel 5.7. Berat Kuda-kuda KT2

No	Simbol	Panjang (m)	Jumlah	Profil	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
1	A	1,394	12	2.L 70.70.7	7,38	246,905
2	A1	1,500	2	2.L 70.70.7	7,38	44,280
3	A2	1,500	4	2.L 70.70.7	7,38	88,560
4	B1	1,050	2	2.L 50.50.5	3,77	15,834
5	B2	1,181	2	2.L 50.50.5	3,77	17,809
6	B3	1,312	2	2.L 50.50.5	3,77	19,694
7	B4	1,443	2	2.L 50.50.5	3,77	21,685
8	B5	1,574	2	2.L 50.50.5	3,77	23,736
9	B6	1,705	2	2.L 50.50.5	3,77	25,711
10	B7	1,836	3	2.L 50.50.5	3,77	41,530
11	C1	1,248	2	2.L 40.40.4	2,42	12,081
12	C2	1,290	2	2.L 40.40.4	2,42	12,487
13	C3	1,343	2	2.L 40.40.4	2,42	13,000
14	C4	1,407	2	2.L 40.40.4	2,42	13,620
15	C5	1,480	2	2.L 40.40.4	2,42	14,326
16	C6	1,560	2	2.L 40.40.4	2,42	15,101
17	C7	2,371	2	2.L 40.40.4	2,42	22,951
18	D	1,465	12	2.L 70.70.7	7,38	259,481
19	D1	1,831	2	2.L 70.70.7	7,38	54,051
Berat Total Kuda – Kuda KT2						963,010

Jumlah total kuda-kuda KT2 dalam struktur rangka atap adalah 2 buah ,
 sehingga berat total kuda-kuda KT2 struktur adalah
 $2 \times 963,010 \text{ Kg} = 1926,02 \text{ Kg}$



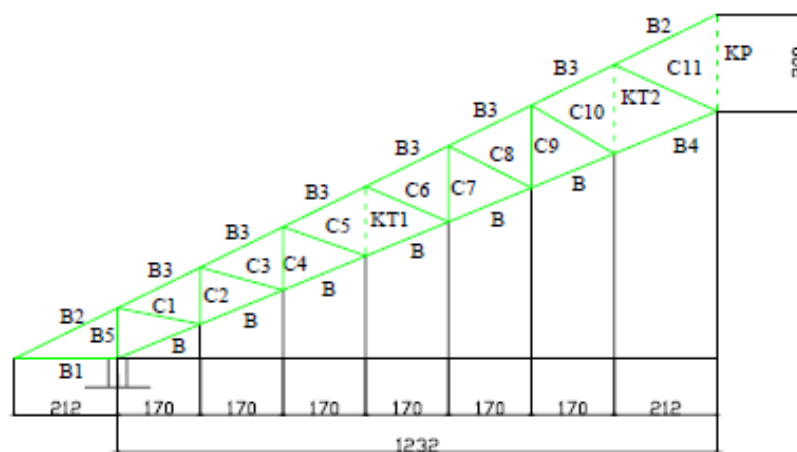
Gambar 5.8. Detail kuda-kuda KP

Tabel 5.8. Berat Kuda-kuda KP

No	Simbol	Panjang (m)	Jumlah	Profil	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
1	B	1,05	6	2.L 50.50.5	3,77	92,988
2	B1	1,749	1	2.L 50.50.5	3,77	25,815
3	B2	1,951	1	2.L 50.50.5	3,77	28,797
4	B3	2,000	1	2.L 50.50.5	3,77	15,080
5	C1	1,678	1	2.L 40.40.4	2,42	8,122
6	C2	2,229	1	2.L 40.40.4	2,42	10,788
7	C3	2,000	1	2.L 40.40.4	2,42	9,680
Berat Total Kuda – Kuda KP						119,070

Jumlah total kuda-kuda KP dalam struktur rangka atap adalah 2 buah , sehingga berat total kuda-kuda KP struktur adalah

$$2 \times 119,070 \text{ Kg} = 238,140 \text{ Kg}$$



Gambar 5.9. Detail Jurai

Tabel 5.9. Berat Jurai

No	Simbol	Panjang (m)	Jumlah	Profil	Berat (Kg/m)	Berat Total (kg)
1	B	1,84	6	2.L 50.50.5	3,77	83,242
2	B1	2,12	1	2.L 50.50.5	3,77	15,985
3	B2	2,363	2	2.L 50.50.5	3,77	35,634
4	B3	1,895	6	2.L 50.50.5	3,77	85,730
5	B4	1,038	1	2.L 50.50.5	3,77	7,827
6	B5	2,295	1	2.L 50.50.5	3,77	17,304
7	C1	1,732	1	2.L 40.40.4	2,42	8,383
8	C2	1,170	1	2.L 40.40.4	2,42	5,663
9	C3	1,763	1	2.L 40.40.4	2,42	8,533
10	C4	1,303	1	2.L 40.40.4	2,42	6,307
11	C5	1,802	1	2.L 40.40.4	2,42	8,722
12	C6	1,851	1	2.L 40.40.4	2,42	8,959
13	C7	1,569	1	2.L 40.40.4	2,42	7,594
14	C8	1,910	1	2.L 40.40.4	2,42	9,244
15	C9	1,701	1	2.L 40.40.4	2,42	8,233
16	C10	1,971	1	2.L 40.40.4	2,42	9,540
17	C11	2,326	1	2.L 40.40.4	2,42	11,258
Berat Total Jurai						338,155

Jumlah total Jurai dalam struktur rangka atap adalah 4 buah , sehingga berat total Jurai struktur adalah

$$4 \times 338,155 \text{ Kg} = 1352,620 \text{ Kg}$$

Dari perhitungan berat struktur kuda – kuda di atas, didapatkan berat total struktur kuda – kuda atap :

$$12680,096 + 1920,624 + 872,464 + 1800,084 + 1926,020 + 248,14 + 1352,620 = 20790,038 \text{ Kg}$$

Tabel 5.10. Berat Gording

No	Simbol	Panjang (m)	Jumlah	Profil	Berat (Kg/m)	Berat Total (Kg)
1	G1	65,4	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	1603,608
2	G2	62,4	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	1530,048
3	G3	60	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	1471,200
4	G4	57,6	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	1412,352
5	G5	55,2	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	1353,504
6	G6	52,8	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	1294,656
7	G7	50,4	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	1235,808
8	G8	48	3	2x C.125.50.20.3,2	6,13	1765,440
9	GA	20,4	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	500,208
10	GB	17,4	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	426,648
11	GC	15	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	367,800
12	GD	10,2	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	250,104
13	GE	7,8	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	191,256
14	GF	5,4	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	132,408
15	GG	3	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	73,560
16	GH	1,971	2	2x C.125.50.20.3,2	6,13	48,329
Berat Gording						13656,929

Berat Profil Siku L.50.50.5 Penahan Gording

Berat = Jumlah profil x Panjang x Berat Profil

$$= 370 \times 0,14 \text{ m} \times 3,77 \text{ Kg/m} = 195,286 \text{ Kg}$$

Berat Gording + Berat Penahan Gording

Berat Total = Berat Gording + Berat Penahan Gording

$$= 13659,929 \text{ Kg} + 195,286 \text{ Kg} = 13855,215 \text{ Kg}$$

Berat struktur atap = Berat Struktur Kuda-kuda Atap + Berat gording

$$= 20790,038 \text{ Kg} + 13855,215 \text{ Kg} = 34645,253 \text{ Kg}$$

Tabel 5.11. Persentase Baut Kebutuhan Sambungan Baja

Bentuk Profil	Paku Keling atau Baut (%)	Bagian-bagian Detail Konstruksi (%) Pelat Penghubung dll
Kolom	3 - 4	10 - 15
Balok Pemikul	1 - 2	5 - 20
Balok Pemikul Bersusun	5 - 6	10 - 12
Kerangka Atap	3 - 4	15 - 20

Sumber : buku *Analisa (secara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan*, halaman 277

Berdasarkan tabel di atas maka dapat dihitung berat baut dan pelat penghubung pada struktur atap :

Berat Baut Pada Struktur Atap

= 4% x (Berat total kuda-kuda + Berat total gording)

= 4% x (20790,038 Kg + 13855,215 Kg) = 4% x 34645,253 Kg = 1385,81 Kg

Berat Pelat Penghubung

= 20 % x (Berat total kuda-kuda + Berat total gording)

= 20 % x (20790,038 Kg + 13855,215 Kg) = 20 % x 34645,253 Kg = 6929,051 Kg

Berat Total Struktur Atap

= Berat total kuda-kuda + Berat total gording + Berat baut + Berat pelat penghubung = 34645,253 Kg + 1385,81 Kg + 6929,051 Kg = 42960,114 Kg

PERHITUNGAN RAB STRUKTUR ATAP

Dari perhitungan berat struktur atap dan buku Daftar Harga Satuan Pekerjaan Bahan dan Upah Pekerjaan Konstruksi kota Semarang, propinsi Jawa tengah didapatkan data sebagai berikut :

- Berat Total Struktur Atap Baja = 42960,114 Kg
- Harga Bahan Material Besi Profil = Rp. 10.500,00 / Kg

Maka RAB Struktur Atap = Berat total struktur atap baja x harga besi profil per Kg

$$= 42960,114 \times \text{Rp. } 10.500,00$$

$$= \text{Rp. } 451.081.197,00$$

D. Aktivitas Pembelajaran

- Studi literature
- Diskusi dan pemaparan/presentasi
- Mengerjakan soal – soal latihan

LK 5.01 Kegiatan Studi Literatur

No.	Kegiatan	Hasil Diskusi/Pemahaman	Sumber/Studi Literatur
1.	Menghitung RAB pekerjaan baja <ul style="list-style-type: none">• Jelaskan cara menghitung RAB pekerjaan baja• Sebutkan tujuan RAB• Sebutkan data-data		

	untuk membuat RAB		
2.	Menyusun RAB <ul style="list-style-type: none"> • Sebutkan cara menyusun RAB • Sebutkan cara menghitung RAB keseluruhan • Jelaskan cara menghitung presentase bobot pekerjaan 		
3.	Pengertian <i>Time Schedule</i> <ul style="list-style-type: none"> • Jelaskan pengertian <i>Time Schedule</i> 		
4.	Program untuk menghitung RAB <ul style="list-style-type: none"> • Sebutkan program untuk menghitung RAB 		

E. Latihan/Kasus/Tugas

Setelah selesai melakukan perhitungan dimensi, maka si perencana menuangkan hasil analisisnya ke dalam gambar. Jika di RAB tertulis baja dengan profil L 100X100X6X8mm-12 M' 206 kg di butuhkan 150 m', maka berat profil tersebut seluruhnya adalah....

F. Rangkuman

Pada dasarnya perhitungan RAB merupakan perhitungan biaya-biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan analisis tertentu dan biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan.

Tujuan pembuatan Rencana Anggaran Belanja (RAB) adalah untuk memberikan gambaran yang pasti mengenai : bentuk/konstruksi, besar biaya dan pelaksanaan serta penyelesaian

Prosentase bobot penjadwalan merupakan besarnya nilai prosentase dari total sub pekerjaan, yang akan digunakan untuk memperhitungkan lama waktu pekerjaan.

Time Schedule adalah mengatur rencana kerja dari satu bagian atau unit pekerjaan dalam pelaksanaan pekerjaan pembangunan.

G. Umpan balik dan tindak lanjut

Waktu proses pembelajaran berlangsung, guru hendaknya mengamati kegiatan siswa. Pada saat ini umpan balik dapat dilakukan sebagai berikut :

- i. Ketika siswa mengajukan pertanyaan, biasakan janganlah langsung dijawab oleh guru, beri kesempatan siswa lainya untuk memberikan jawaban atau untuk didiskusikan dengan teman temannya. Komentar datang dari berbagai pihak sehingga terjadi pembicaraan antara guru dengan siswa, dan siswa dengan siswa. Dengan diskusi semacam ini, siswa yang bertanya akan mengetahui bagaimana cara pemecahannya.
- ii. Pada waktu diskusi berlangsung, guru hendaknya melibatkan diri agar dapat mengetahui proses berpikir siswa dalam memahami suatu konsep.

Pada Pekerjaan Siswa

Siswa ingin mengetahui seberapa jauh pekerjaannya dinilai oleh guru atau temannya. Dalam hal ini, guru hendaknya memberikan apresiasi kepada siswa yang hasil pekerjaannya benar/baik. Jika hasil pekerjaan siswa salah, janganlah sekali- kali mengatakan: "Ini salah!" Sebab, hal ini akan mengurangi semangat siswa untuk belajar.

Terhadap siswa yang melakukan kesalahan/ mendapat kesulitan, guru hendaknya membantu bagaimana memecahkan masalah yang dihadapi. Petunjuk ataupun saran dapat diberikan dalam bentuk lisan atau tulisan. Yang siswa merasakan bahwa pekerjaannya mendapat perhatian dari gurunya.

Terhadap hasil pekerjaan siswa, guru harus memberikan tanggapan bagaimana pendapatnya mengenai hasil tersebut dan saran atau komentar apa yang perlu disampaikan.

PEMBELAJARAN 6

Merancang Pelaksanaan Pendirian (erection) Konstruksi Baja

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran 6 ini adalah menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu. Agar hal tersebut dapat dikuasai pada modul Konstruksi Baja Grade 10 ini pembelajaran 6 yang dimaksud adalah mendirikan konstruksi baja.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator Pencapaian Kompetensi pada pembelajaran 6 adalah mendirikan konstruksi baja secara benar

C. Uraian Materi

Mendirikan (erection) konstruksi struktur baja

Proses erection adalah proses perakitan modul – modul struktur untuk disambung satu dengan lainnya membentuk kesatuan struktur sesuai perencanaan. Prosesnya sendiri sangat tergantung kondisi lapangan dimana proyek tersebut dilaksanakan. Oleh karena karakter lapangan antara proyek bangunan gedung dan jembatan berbeda, maka strategi erectionnya juga berbeda.

Proyek bangunan gedung atau industri, umumnya terletak pada bidang tanah yang telah diolah rapi, relatif datar, karena memang direncanakan sebagai hunian, maka lokasinya dipilih yang mudah terjangkau, atau minimal telah tersedia prasarana. Akses bagi pekerja, alat dan sebagainya ke proyek tentu tidak jadi masalah. Oleh karenanya tidak ada hal khusus yang perlu dipertimbangkan. Jadi strategi erection konstruksi baja untuk gedung, umumnya diserahkan kontraktor untuk memilihnya yang dianggap terbaik. Para perencana

struktur baja bangunan gedung, berkonsentrasi pada konfigurasi final, tahap pelaksanaan tidak menjadi fokusnya.

Kebiasaa itu kadang kala membuat kontraktor memodifikasi detail, alasannya agar sesuai dengan peralatan yang mereka punyai. Jadi untuk sistem struktur yang khusus, yang akan terpengaruh gaya – gaya internal oleh tahapan pelaksanaan maka perlu mendapat perhatian. Proses erectio lain, dimana komponen bajanya relatif ringan dan tersedia kapasitas crane yang mencukupi, dapat dilihat secara langsung dann cepat.

Kalaupun tidak ada perubahan dari rencana awal, akibat adanya kebebasan kontraktor memilih metoda pelaksnaan, kadang kala ada beberapa hal yang tidak diperhatiakn dan beresiko. Seperti tentang K3 bagi pekerjaan yang kadang tidak memadai, yang dipentingkan untung saja. Untuk mendapatkan gambaran itu, ada baiknya melihat perbandingan kondisi kerja berikut, yang satu proyek kecil berlokasi di jabodetabek dan bandingkan antara kelengkapan K3 yang dipakai, seperti sabuk, helm dan sepatu penyelamatnya.

Jika masalah K3 yang menyangkut masalah nyawa pekerja saja diabaikan, maka bisa saja hal – hal lain yang menyangkut stabilitas elemen baja yang dirakit juga akan terabaikan. Hasilnya malapetaka tidak hanya bagi pekerjaan, tetapi juga bagi kelangsungan proyek dari kontruksi baja tersebut. Inilah yang harus diperhatikan pada pelaksanaan erection di bangunan gedung.

Pelaksanaa erection proyek jembatan seringkali mendapatkan kondisi lapangan yang lebih berat, tidak dapat mendapatkan alat – alat berat untuk mengangkat modul – modul struktur yang akan dirangkai. Oleh karena hal itu, maka pada saat perencanaan telah diperhitungkan secara matang metoda pelaksanaan yang akan dipakai, yang umumnya memanfaatkan modul yang akan dipasang, seperti teknik kantilever pada rangka baja standart.

Secara umum konstruksi baja harus difabrikasi dengan memperhatikan anti lendut khususnya untuk kuda-kuda dan kantilever. Besarnya anti lendut adalah minimum sama dengan besarnya lendutan akibat beban mati. Besarnya anti lendut tersebut dapat dilihat pada gambar atau jika tidak disebutkan secara khusus besarnya adalah sebesar $1/350$ kali bentang

SNI 2002 tidak secara khusus memberi batasan lendutan pada struktur beton prategang, tetapi lendutan untuk struktur secara umum ditentukan, BS 8110 membatasi cumber pada saat transfer tidak melebihi $1 / 300$ atau $1 / 250$ (tanpa finishing) dan terkecil dari $1 / 350$ atau 20 mm (dengan finishing)

Meskipun secara realnya, situasi dan kondisi lapangan di proyek jembatan lebih berat, dengan kondisi medan yang belum tentu pernah dijamah manusia umum, maka mendatangkan alat berat merupakan sesuatu yang tidak sederhana dan murah. Tetapi karena hal tersebut sudah dijadikan pertimbangan selama tahap perencanaan, yang tentunya dapat dicari berbagai alternatif jenis struktur jembatan yang kondisinya paling optimal.

Sebagai contohnya saja, dengan dipilih jembatan rangka baja dan sekaligus metode erection tipe kantilever, maka dapat diketahui bahwa rangka baja itu sendiri yang dijadikan alat angkat secara tidak langsung pada proses konstruksi jembatannya. Jadi perlu menjadi pertimbangan, karena dibutuhkan dua bentang jembatan tangka baja yang identik, maka perlu dipilih sistem mana yang paling optimal, pelaksanaan jembatan dua bentang permanen, atau yang satu bentang dibongkar lagi jika jembatan bentang utamanya telah menyeberang melewati sungai.

Sistem Konstruksi Baja WF merupakan material yang memiliki sifat struktural yang sangat baik sehingga pada akhir tahun 1900, mulai menggunakan baja WF sebagai bahan struktural (konstruksi), saat itu metode pengolahan baja WF yang murah dikembangkan dalam skala besar. Sifat baja WF memiliki kekuatan tinggi dan kuat pada kekuatan tarik maupun tekan dan oleh karena itu baja WF menjadi elemen struktur yang memiliki batas yang sempurna akan menahan jenis beban tarik aksial, tekan aksial, dan lentur dengan fasilitas serupa dalam pembangunan strukturnya. Kepadatan tinggi baja WF, tetapi rasio berat antara kekuatan komponen baja WF juga tinggi sehingga tidak terlalu berat dalam kaitannya dengan kapasitas muat beban, memastikan selama bentuk struktur (konstruksi) yang digunakan yang bahan yang digunakan secara efisien.

Sistem konstruksi baja WF bangunan merupakan kombinasi dari elemen struktur yang cukup rumit. Dalam sistem struktur Baja WF sistem seperti tujuan ini dapat membawa beban dengan aman dan efektif semua gaya yang bekerja pada bangunan, kemudian dikirim ke pondasi. Berbagai beban dan gaya yang bekerja pada bangunan termasuk beban vertikal, horisontal, perbedaan suhu, getaran dan sebagainya. Dalam sebuah bangunan baja, seperti gambar 6.1, selalu ada unsur-unsur yang berfungsi untuk menahan gaya gravitasi dan gaya lateral.



Gambar 6.1 Bangunan rangka baja

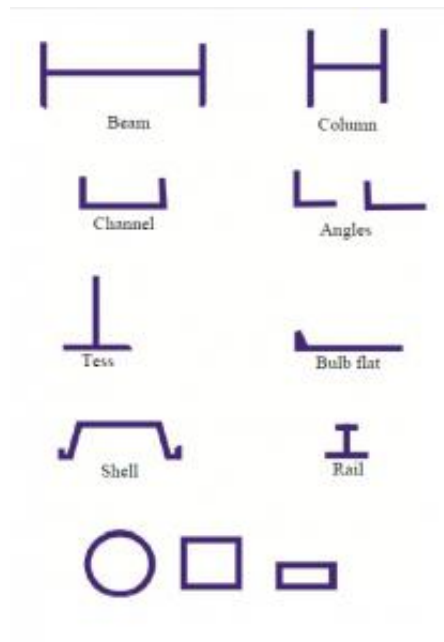
Gaya gravitasi bekerja ke bawah ke arah gravitasi akan melewati balok ke kolom, kemudian ke pondasi. Dalam sistem penahan gaya menggunakan konstruksi baja WF kaku (rigid). Pada sistem struktur baja WF lainnya, cara yang berbeda juga bisa dilakukan. Sistem konstruksi baja menggunakan batang baja sebagai kolom dan balok, sementara untuk pondasi menggunakan pondasi beton pile atau setapak, atau sesuai kebutuhan. Kolom yang di sekrup ke atas pondasi. Sistem sambungan antara kolom, balok dan tras penyangga lantai. diatas tras dapat diletakkan lembaran galvalum sebagai konstruksi bawah lantai, kemudian diatasnya dapat di cor. Sambungan antara kolom dan balok menggunakan prinsip sambungan kaku.

Struktur kolom baja dapat digunakan untuk berbagai macam bangunan, bermacam kelebihan bisa didapatkan jika menggunakan baja sebagai bahan bangunan, namun penggunaanya tidak bisa dengan cara perkiraan atau “biasanya begini” karena dapat berakibat fatal seperti keruntuhan bangunan yang berpotensi menjadi penyebab kecelakaan atau bahkan hilangnya nyawa seseorang. dan walaupun kuat bisa jadi bahan yang dipilih terlalu besar sehingga terjadi pemborosan biaya pembangunan yang seharusnya dapat dihemat. Jadi perlu perhitungan secara teliti dan benar sehingga bisa ditentukan jenis profil baja yang akan digunakan. dari jenis profil tersebut maka dapat dilihat detail ukuran dan data lainnya dari tabel baja yang dikeluarkan resmi oleh pemerintah maupun lembaga lainnya. Jika sudah begini maka bangunan yang kuat, indah dan murah dapat dengan mudah kita wujudkan.

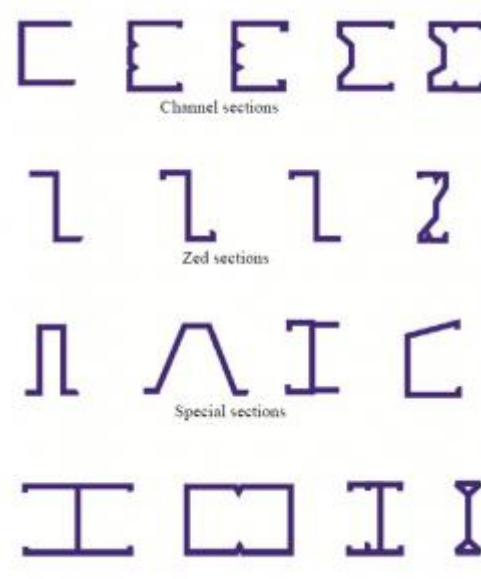
Sistem konstruksi bangunan baja memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan struktur beton bangunan, termasuk:

- Sistem konstruksi baja memiliki berbagai jenis tampilan estetika dan terlihat modern.
- Sistem konstruksi baja memiliki dimensi lebih kecil dari sistem konstruksi beton.
- Bekerja dengan struktur baja tidak memerlukan perancah sebagai struktur beton, kecuali untuk pekerjaan beton / minor tambahan.
- Baja sistem konstruksi dapat dibuat dengan relatif lebih cepat

Baja tersedia dalam berbagai bentuk penampang yang sering dikenal dengan profil. Berdasarkan cara pembentukan penampang profil baja, dikenal 2 macam baja, yaitu Hot Rolled Sections dan Cold Rolled Sections. Baja tipe hot rolled section dibentuk (rolled) pada kondisi panas sedangkan baja tipe cold rolled section dibentuk pada kondisi dingin. Contoh bentuk profil baja dari masing-masing tipe baja dapat dilihat pada gambar 6.2 dan gambar 6.3.



Gambar 6.2 Hot Rolled Sections



Gambar 6.3 Cold Rolled Sections

Bangunan dibuat dengan konstruksi baja umumnya memiliki daya tahan dan kekuatan yang cukup besar. Biasanya dalam membuat desain yang menggunakan baja mengacu pada American Institute of Steel Construction (AISC) sebagai filosofi manufaktur dan didasarkan pada ambang batas (limited states). Desain konstruksi harus mampu menahan kelebihan dalam hal perubahan fungsi struktur principle disebabkan oleh penyederhanaan yang berlebihan dalam analisis struktur dan variasi dalam prosedur konstruksi.

Untuk insinyur sipil, konstruksi baja yang dirancang untuk dapat menjamin keamanan kemungkinan bahwa berkelanjutan yang berlebihan (overload) sehingga bisa membahayakan bangunan dalam jangka panjang. Selain itu, juga perlu diperhitungkan kemungkinan daya tahan atau kekuatan lebih rendah Iranian perhitungan di atas kertas (understrenght). Secara umum, masalah 'salah perhitungan' ini terjadi pada batang, menghubungkan atau sistem konstruksi itu sendiri.

Untuk menghindari kesalahan dalam perhitungan konstruksi baja, ahli bangunan atau orang-orang yang mendirikan rumah dan bangunan telah menghitung volume material sebelum strukturnya, khususnya komponen penting yang membuat itu sebagai kolom, balok, purlins, piring bahan, trekstang, ikatan angina (bracing), jarum keras (turn buckle), baut, rangka besi datar dan sudut talang. Sementara komponen lain di luar pokok adalah tie beam / sloof dan diperkuat pelat lantai beton.

Untuk kolom biasanya menggunakan material baja Lebar rim (WF). Ini adalah salaat satu profil baja struktural fencing yang banyak digunakan dalam semua konstruksi baja. Sebagian besar pengguna kadang-kadang bingung karena profil jenis ini memiliki beberapa variasi nama, misalnya, sering disebut profil H, HWF, H-BEAM, IWF atau I. Beberapa tempat bahkan disebut WH, SH dan MH. Sama dengan kolom, balok baja juga menggunakan WF. Sementara Gording cenderung menggunakan jenis bahan baja CNP atau yang biasa disebut sebagai balok purlin, kanal C, C-Channel, profil Gording C. Selain itu, CNP baja cradle juga digunakan untuk menutupi balok atap, bingkai komponen arsitektur, dan untuk terus penutup dinding seperti lembaran logam.

Komponen utama di atas lalu dihitung volumenya sesuai dengan gambar konstruksi baja yang telah direncanakan, untuk menghindari kesalahan dan kegagalan seperti tekukan, kelelahan, retak dan geser, defleksi, getaran, deformasi permanen dan rekahan. Oleh karena itu, beban dan ketahanan terhadap beban merupakan variabel principle harus diperhitungkan. Bahkan, agak sulit untuk melakukan analisis principle komprehensif Iranian hal-hal principle tidak pasti principle dapat mempengaruhi pencapaian keadaan batas. Jadi perhitungan kasar dapat digunakan sebagai referensi umum untuk mencegah kegagalan konstruksi.

Sebagai bahan bangunan, kelebihan baja terletak pada segi bentuk dan struktur yang solid. Kedua nilai-nilai ini membantu para ahli sipil untuk memprediksi lebih matang lagi dalam membangun konstruksi baja dengan presisi dan akurasi yang tinggi. Selain itu, baja juga memiliki daktilitas tinggi, dalam arti bahwa meskipun tarik dan tegangan tinggi tidak membuat bahan langsung hancur atau putus.

Bandingkan dengan kayu. Kelebihan inilah yang dapat mencegah runtuhnya bangunan tiba-tiba. Ini adalah salah satu aspek keselamatan (safety) baja yang dimiliki dibandingkan bahan lainnya. Jika terjadi gempa bumi yang dahsyat, konstruksi baja cenderung tetap stabil dan tidak jatuh secara bersamaan. Tak sedikit, untuk daerah yang rawan gempa, penggunaan konstruksi baja sebagai bahan untuk pembangunan perumahan sangat dianjurkan.

C. I. Cara Menghitung Material Konstruksi Baja

Cara Menghitung Material Konstruksi Baja yang akan di gunakan dalam proyek konstruksi baja perlu adanya perhitungan yang matang untuk menentukan berapa jumlah material untuk bangunan struktur baja, terutama saat menghitung volume material baja yang akan di gunakan, pertama kita harus mengetahui material komponen pokok atau yang di perlukan untuk pembentuk struktur baja tersebut.

Ada beberapa material komponen pokok yang pasti di perlukan dalam pekerjaan struktur baja (di luar pondasi, tie beam/sloof, dan pelat lantai beton bertulang) diantaranya :

1. Pelat baja biasanya digunakan untuk base plate kolom, pengaku, dan pada sambungan.
2. Trekstang atau sagrod biasa berupa besi polos dia. 12 mm.
3. Kolom biasanya menggunakan material baja WF
4. Balok biasanya menggunakan material baja WF
5. Gording biasanya menggunakan material baja CNP
6. Ikatan angin atau bracing biasa berupa besi polos dia. 16 mm.
7. Jarum keras atau turn buckle.
8. Finishing baja biasanya menggunakan cat zinchromate dan cat finish.
9. Baut-baut.
10. Penutup atap menggunakan atap spandek atau atap metal lainnya.
11. Talang datar dan rangka besi siku.
12. Penutup dinding menggunakan cladding atau pasangan bata.

Pada dasarnya setelah mengetahui material utamanya kita hitung vokume nya sesuai skema gambar. Biasanya volume baja dalam satuan kg, maka hitunglah dulu panjang materialnya berapa lalu lihat tabel baja berapa beratnya /m (kg/m). Dari situ kita akan mengetahui volume material baja dalam satuan per/kg.

Dibawah ini disediakan bebarapa tabel berat komponen material konstruksi besi baja yang dapat jadikan sebagai referensi sebelum membangun gedung:

Tabel6.1 Berat Besi Baja H Beam

No	UKURAN (mm)	PANJANG (M)	Weight (Kg)	BERAT /M1 (Kg)
1	L 100x100x6x8	12	206	17.167
2	L 125x125x5x7	12	222	18.500
3	L 125x125x6.5x9	12	286	23.833
4	L 150x150x7x10	12	378	31.500
5	L 175x175x7x11	12	482	40.167
6	L 200x200x8x12	12	599	49.917
7	L 250x250x9x14	12	869	72.417
8	L 300x300x10x15	12	1128	94.000
9	L 250x350x12x19	12	1644	137.000
10	L 400x400x13x21	12	2064	172.000

Tabel 6.2Berat Besi Baja WF (Wide Flange)

NO.	UKURAN (mm)	PANJANG (M)	Weight (Kg)	BERAT /M1 (Kg)
1	WF 100X50X5 X7	12	112	9.333
2	WF 125X60X6 X8	12	158	13.200
3	WF 148X100X6X9	12	253	21.100
4	WF 150X75X5X7	12	168	14.000

5	WF 175X90X5X8	12	217	18.100
6	WF 198X99X4,5X7	12	218	18.200
7	WF 200X100X3,2X4,5	12	143	11.917
8	WF 200X100X5,5X8	12	256	21.333
9	WF 248X124X5X8	12	308	25.700
10	WF 250X125X6X9	12	355	29.600
11	WF 298X149X6X8	12	384	32.000
12	WF 300X150X6,5X9	12	440	36.700
13	WF 346X174X6X9	12	497	41.417
14	WF 350X175X7X11	12	595	49.600
15	WF 396X199X7X11	12	680	56.625
16	WF 400X200X8 X13	12	792	66.000
17	WF 446X199X8X12	12	794	66.200
18	WF 450X200X9X14	12	912	76.000
19	WF 500X200X10X16	12	1075	89.583
20	WF 588X300X10X16	12	1812	151.000
21	WF 600X200X11X17	12	1272	106.000
22	WF 700X300X13X24	12	2220	185.000
23	WF 800X300X14X26	12	2520	210.000

Tabel6.3. Berat Besi Baja kanal C/ CNP

No	UKURAN (mm)	PANJANG (M)	Weight (Kg)	BERAT /M1 (Kg)
1	L 60X30X10X1,6	6	9.76	1.627
2	L 75X35X15X1,6	6	12.4	2.067
3	L 75 X45X15X1,6	6	13.9	2.320
4	L 75X45X15X2,3	6	19.5	3.250
5	L 100X50X20X1,6	6	17.5	2.917
6	L 100X50X20X2,3	6	24.4	4.067
7	L 100X50X20X3,2	6	33	5.500
8	L 125X50X20X2,3	6	27.1	4.517
9	L 125X50X20X3,2	6	36.8	6.133
10	L 150X50X20X2,3	6	29.8	4.967
11	L 150X50X20X3,2	6	40.6	6.767
12	L 150X65X20X2,3	6	33	5.500
13	L 150X65X20X3,2	6	45.1	7.517
14	L 200X75X20X3,2	6	55.6	9.270

D. Aktivitas Pembelajaran

- Studi literatur
- Diskusi dan pemaparan/presentasi
- Mengerjakan soal – soal

LK 6.01 Kegiatan Studi Literatur

No.	Kegiatan	Hasil Diskusi/Pemahaman	Sumber/Studi Literatur
1.	Mendirikan (erection)konstruksi struktur baja <ul style="list-style-type: none">• Apa yang dimaksud dengan proses erection• Sebutkan keuntungan sistem konstruksi baja dibanding konstruksi beton		
2.	Menghitung material konstruksi baja <ul style="list-style-type: none">• Sebutkan beberapa material komponen pokok yang diperlukan dalam pekerjaan struktur baja		

E. Latihan/Kasus/Tugas

Secara umum konstruksi baja harus difabrikasi dengan memperhatikan anti lendut khususnya untuk kuda-kuda dan kantilever. Besarnya anti lendut adalah minimum sama dengan besarnya lendutan akibat beban mati. Besarnya anti lendut tersebut dapat dilihat pada gambar atau jika tidak disebutkan secara khusus besarnya adalah sebesar ?

F. Rangkuman

Proses erection adalah proses perakitan modul – modul struktur untuk disambung satu dengan lainnya membentuk kesatuan struktur sesuai perencanaan.

SNI 2002 tidak secara khusus memberi batasan lendutan pada struktur beton prategang, tetapi lendutan untuk struktur secara umum ditentukan, BS 8110 membatasi cumber pada saat transfer tidak melebihi $1 / 300$ atau $1 / 250$ (tanpa finishing) dan terkecil dari $1 / 350$ atau 20 mm (dengan finishing)

G. Umpan balik dan tindak lanjut

Waktu proses pembelajaran berlangsung, guru hendaknya mengamati kegiatan siswa. Pada saat ini umpan balik dapat dilakukan sebagai berikut :

- 1) Ketika siswa mengajukan pertanyaan, biasakan janganlah langsung dijawab oleh guru, beri kesempatan siswa lainya untuk memberikan jawaban atau untuk didiskusikan dengan teman temannya. Komentar datang dari berbagai pihak sehingga terjadi pembicaraan antara guru dengan siswa, dan siswa dengan siswa. Dengan diskusi semacam ini, siswa yang bertanya akan mengetahui bagaimana cara pemecahannya.
- 2) Pada waktu diskusi berlangsung, guru hendaknya melibatkan diri agar dapat mengetahui proses berpikir siswa dalam memahami suatu konsep.

Pada Pekerjaan Siswa

Siswa ingin mengetahui seberapa jauh pekerjaannya dinilai oleh guru atau temannya. Dalam hal ini, guru hendaknya memberikan apresiasi kepada siswa yang hasil pekerjaannya benar/baik. Jika hasil pekerjaan siswa salah, janganlah sekali-kali mengatakan: “Ini salah!” Sebab, hal ini akan mengurangi semangat siswa untuk belajar.

Terhadap siswa yang melakukan kesalahan/ mendapat kesulitan, guru hendaknya membantu bagaimana memecahkan masalah yang dihadapi. Petunjuk ataupun saran dapat diberikan dalam bentuk lisan atau tulisan. Yang siswa merasakan bahwa pekerjaannya mendapat perhatian dari gurunya.

Terhadap hasil pekerjaan siswa, guru harus memberikan tanggapan bagaimana pendapatnya mengenai hasil tersebut dan saran atau komentar apa yang perlu disampaikan.

PEMBELAJARAN 7

Merancang Pelaksanaan Pendirian (erection) Konstruksi Baja

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan dari pembelajaran 7 ini adalah menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu. Agar hal tersebut dapat dikuasai pada modul Konstruksi Baja Grade 10 ini pembelajaran 7 yang dimaksud adalah merancang pelaksanaan pendirian konstruksi baja.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator Pencapaian Kompetensi pada pembelajaran 7 adalah mengetahui pekerjaan akhir (finishing) pada proyek konstruksi baja.

C. Uraian Materi

Merancang Pekerjaan Finishing Konstruksi Struktur Baja

Pekerjaan finishing merupakan pekerjaan terakhir dilakukan dalam suatu proyek konstruksi. Hal-hal yang biasa dilakukan adalah dengan memberikan pelapis yang berguna untuk melindungi struktur baja dari korosi, atau biasa disebut dengan galvanis.

Galvanisasi adalah proses pemberian lapisan seng pelindung untuk besi dan baja yang bertujuan untuk melindunginya dari karat. Istilah ini diturunkan dari ilmuwan Italia Luigi Galvani. Galvanisasi umumnya dilakukan dengan metode celupan panas di mana baja dicelupkan ke seng cair. Metode galvanisasi lainnya dapat dilakukan secara elektrokimia dan elektrodposisi. Galvanis adalah proses pelapisan logam anti karat atau non corrosive metal pada besi. Galvanis dapat

juga dikenali dari warnanya yang silver atau bronze namun tidak mengkilat atau doff. Warna itu juga sering disebut dull silver.

Untuk tingkat ketebalannya, *galvanis* punya tingkat ketebalan yang beragam. Mulai dari 1 micron (seperseribu milimeter) sampai 9 micron juga bahkan lebih. Untuk ketebalan 1 micron itu biasanya produsen akan memberi jaminan selama 3 tahun anti karat (*3years rustfree*) dan untuk ketebalan 7 micron produsen bisa memberi jaminan hingga 30 tahun. Jadi, semakin tinggi tingkat ketebalannya maka akan semakin tinggi pula tingkat ketebalannya terhadap karat.

Proses galvanis ini memiliki dua macam cara. Yang pertama adalah *Electro Plating* atau dalam bahasa proyek biasa disingkat dengan EP. Proses ini dengan cara memberi aliran listrik dalam kolam galvanis. Sehingga partikel galvanis menempel pada besi sampai ketebalan yang diinginkan. Sedangkan proses yang kedua adalah *Hot Dip galvanis* (hot dipped galvanized) atau dalam bahasa proyek biasa disingkat dengan HD. Proses yang kedua ini dengan cara mencelupkan besi ke dalam kolam galvanis panas. Semakin sering dicelup semakin tebal lapisan galvanisnya.

Istilah galvanisasi sebelumnya merujuk kepada sengatan listrik karena ketika itu Luigi Galvani berhasil menggerakkan kaki kodok yang telah ia potong dengan menggunakan aliran listrik. Pelapisan logam secara elektrokimia (tidak selalu dengan seng) lalu menggunakan istilah galvanisasi.

Namun besi yang pertama kali diproses secara mirip galvanisasi ditemukan pada abad ke 17 pada zirah prajurit India, 100 tahun sebelum kelahiran Luigi Galvani.

Istilah galvanisasi merujuk kepada pelapisan baja dan besi dengan seng untuk mencegah korosi. Seng merupakan logam yang relatif tahan karat pada kebanyakan kondisi lingkungan di mana besi dan baja berada. Seng bekerja sebagai proteksi katodik yang melindungi baja, yang berarti walau logam galvanis tergores hingga baja terekspos udara, baja tetap terlindung dari karat. Galvanisasi juga banyak digunakan karena murah dan mudah perawatannya.

Metode galvanisasi merupakan cara yang relative murah daripada cara lain dalam melindungi logam dari korosi. Hal ini dikarenakan banyak fakta bahwa metode lain membutuhkan tenaga kerja dan biaya yang tidak sedikit dalam perawatan logam agar terhindar dari korosi. Pelapisan zat seng terhadap seluruh bagian pipa memberikan perlindungan katodik atau sacrificial protection, yang membuat seluruh bagian-bagian mulai dari kecil dari lapisan seng telah tergores atau rusak, sehingga logam yang telah dilapisi bawahnya masih tetap terlindungi. Dan pipa galvanis ini juga melindungi bagian pipa Anda yang biasanya bermasalah yaitu di bagian sudut. Dan keunggulan proses ini adalah untuk melindungi pipa secara keseluruhan.

C. I. Proses Pelapisan Galvanis

Seperti yang diketahui, dalam dunia perkonstruksian dan pembangunan sering kali kita mendengar kata - kata galvanis. Galvanis adalah proses pelapisan besi dengan menggunakan cairan timah. Proses ini sering dibagi menjadi dua, yaitu electrogalvanis dan hot dip galvanis.

Pelapisan secara Hot Dip Galvanizing (pelapisan secara celup panas) adalah suatu proses pelapisan dimana logam pelapisnya dipanaskan terlebih dahulu hingga mencair, kemudian logam yang akan dilapisi yang biasa disebut logam dasar dicelupkan ke dalam bak galvanis yang telah berisi seng cair tadi, sehingga dalam beberapa saat logam tersebut akan terlapisi oleh lapisan berupa lapisan paduan antara logam pelapis (seng) dengan logam dasar dalam bentuk ikatan metalurgi yang kuat dan tersusun secara berlapis-lapis yang disebut fasa. Pelapisan dengan metode Hot Dip Galvanizing sering juga disebut dengan proses pelapisan logam dengan logam lain yang lebih anodik sesuai dengan deret galvanik. Berikut tahapannya:

1. Persiapan

Hal ini dilakukan untuk menghilangkan zat asam atau basa yang terdapat pada besi. Asam dan basa adalah dua zat yang paling sering menempel dan dapat menyebabkan lapisan besi menjadi tidak bersih dan mulus. Proses pembersihan ini dibagi menjadi:

- Fisik: pengamplasan dengan menggunakan mesin gerinda yang gunanya untuk menghaluskan permukaan yang tidak rata serta menghilangkan goresan-goresan yang ada
- Kimiawi: proses pembersihan lapisan besi dengan menggunakan bahan kimia.

Proses pembersihan secara kimiawi meliputi:

a. Degreasing

Proses degreasing merupakan proses yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran, minyak, lemak, cat dan kotoran padat lainnya yang menempel pada permukaan spesimen. Proses pembersihan dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH (soda kaustik) dengan konsentrasi 5% – 10% pada suhu 70oC – 90oC selama kurang lebih 10 menit.

b. Rinsing1

Proses rinsing I bertujuan untuk membersihkan soda kaustik pada proses degreasing yang masih menempel pada permukaan spesimen dalam dengan menggunakan air bersih pada temperatur kamar.

c. Pickling

Proses pickling bertujuan untuk menghilangkan karat yang melekat pada permukaan spesimen dengan cara dicelupkan ke dalam larutan HCl

(asam klorida) atau larutan H_2SO_4 (asam sulfat) dengan konsentrasi 10% – 15% selama 15 – 20 menit.

d. Rinsing²

Proses rinsing 2 bertujuan untuk membersihkan larutan HCl atau H_2SO_4 yang menempel pada spesimen saat proses pickling dengan menggunakan air bersih pada temperatur kamar.

e. Fluxing

Proses fluxing merupakan proses pelapisan awal dengan menggunakan Zinc Amonium Chloride (ZAC) dengan konsentrasi 20% – 30% selama 5 – 8 menit.

f. Proses fluxing dilakukan dengan tujuan:

- Sebagai lapisan dasar untuk memperkuat lapisan seng pada saat dilakukan proses pelapisan.
- Sebagai katalisator reaksi terjadinya pelapisan Fe-Zn.
- Untuk menghindari terjadinya proses oksidasi sebelum proses galvanizing dilakukan.

Proses fluxing berlangsung pada temperatur $60^{\circ}C$ – $80^{\circ}C$, hal ini dimaksudkan agar perpindahan panas pada spesimen berlangsung secara perlahan dan bertahap sehingga dapat menghindari terjadinya deformasi plastis yang dapat mengganggu proses pelekatan seng pada benda kerja saat proses galvanizing berlangsung.

g. Drying

Proses drying merupakan proses pengeringan dan pemanasan awal dengan menggunakan gas panas yang suhunya kurang lebih $150^{\circ}C$, tujuannya untuk menghilangkan cairan yang mungkin terdapat pada permukaan spesimen yang dapat menyebabkan terjadinya ledakan uap saat proses galvanizing berlangsung.

2. Pelapisan

Saat inilah yang disebut sebagai proses galvanisasi. Setelah melalui proses persiapan, besi akan memasuki proses pelapisan. Pada saat ini, lapisan seng akan melapisi besi dengan membentuk lapisan besi seng dan akhirnya membentuk lapisan yang berunsur seng pada permukaan luar besi. Larutan yang biasa digunakan dalam proses ini adalah 98% murni unsur seng. Ketebalan seng pada pelapisan dengan metode ini sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan, temperatur pelapisan, dan berapa lama waktu yang dipakai untuk pelapisan. Proses pelapisan ini memakan waktu kira-kira selama 1,5 menit dengan suhu 450 Celcius.

3. Penyelesaian

Setelah menjalani kedua tahapan di atas, kini saatnya besi-besi tadi melalui tahap terakhir yaitu penyelesaian yang dibagi menjadi dua tahap:

- Pendinginan (*quenching*): proses ini dilakukan dengan mencelupkan spesimen ke dalam larutan sodium kromat dengan konsentrasi 0,015% pada suhu kamar ataupun dengan menggunakan air. Proses pendinginan ditujukan untuk mencegah terjadinya *white rust* (munculnya bintik-bintik putih pada permukaan besi).
- Akhir (*finishing*): Ini merupakan tahap paling terakhir dari proses galvanisasi. Proses ini dilakukan dengan menghaluskan permukaan runcing yang disebabkan oleh cairan seng yang akan menetes tapi kemudian mengering.



Gambar 7.1. Baja yang Diberi Galvanis

D. Aktivitas Pembelajaran

- Studi literatur
- Diskusi dan pemaparan/presentasi
- Mengerjakan soal – soal

LK 6.01 Kegiatan Studi Literatur

No.	Kegiatan	Hasil Diskusi/Pemahaman	Sumber/Studi Literatur
1.	Pekerjaan finishing <ul style="list-style-type: none"> • Apa yang dimaksud dengan pekerjaan finishing 		

	<ul style="list-style-type: none"> • Apa yang dimaksud dengan galvanisasi • Jelaskan 2 macam proses galvanis 		
2.	Proses pelapisan galvanis <ul style="list-style-type: none"> • Apa yang dimaksud dengan hot dip galvanizing 		

E. Latihan/Kasus/Tugas

1. Memilih produksi galvanis yang tepat
2. Hilangnya kecembungan (camber) gelagar
3. Prngaturan ketebalan galvanis.
4. Perubahan bentuk yang dihasilkan dari cara celup panas galvanisasi dan metoda pengkoreksiannya
5. Memerlukan penutup pada sambungan-sambungan yang harus dilakukan pengelasan di lapangan
6. Kemungkinan terjadinya perbedaan warna apabila gelagar dicelupkan dua kali, karena batas panjang dari kolam galvanisasi membatasi gelagar yang tercelup pada setiap pencelupan.
7. Membuat ulir mur dan baut kembali setelah proses galvanisasi
8. Perbaikan kerusakan terhadap galvanisasi akibat operasi pengangkatan dan pemasangan.
9. Pengecatan ulang setelah selesai dibangun
10. Pemberian warna sesuai dengan galvanis

Dari kegiatan di atas hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam kegiatan finishing dengan menggunakan galvanisasi adalah....

F. Rangkuman

Pekerjaan finishing merupakan pekerjaan terakhir dilakukan dalam suatu proyek konstruksi. Hal-hal yang biasa dilakukan adalah dengan memberikan pelapis yang berguna untuk melindungi struktur baja dari korosi, atau biasa disebut dengan galvanis.

Galvanisasi adalah proses pemberian lapisan seng pelindung untuk besi dan baja yang bertujuan untuk melindunginya dari karat.

Galvanisasi umumnya dilakukan dengan metode celupan panas di mana baja dicelupkan ke seng cair.

Electro Plating adalah proses galvanisasi yang dilakukan dengan cara memberi aliran listrik dalam kolam galvanis. Sehingga partikel galvanis menempel pada besi sampai ketebalan yang diinginkan.

Sedangkan *Hot Dip galvanis* (hot dipped galvanized) atau dalam bahasa proyek biasa disingkat dengan HD adalah proses yang dilakukan dengan cara mencelupkan besi ke dalam kolam galvanis panas. Semakin sering dicelup semakin tebal lapisan galvanisnya.

G. Umpan balik dan tindak lanjut

Waktu proses pembelajaran berlangsung, guru hendaknya mengamati kegiatan siswa. Pada saat ini umpan balik dapat dilakukan sebagai berikut :

- 1) Ketika siswa mengajukan pertanyaan, biasakan janganlah langsung dijawab oleh guru, beri kesempatan siswa lainya untuk memberikan jawaban atau untuk didiskusikan dengan teman temannya. Komentar datang dari berbagai pihak sehingga terjadi pembicaraan antara guru dengan siswa, dan siswa dengan siswa. Dengan diskusi semacam ini, siswa yang bertanya akan mengetahui bagaimana cara pemecahannya.
- 2) Pada waktu diskusi berlangsung, guru hendaknya melibatkan diri agar dapat mengetahui proses berpikir siswa dalam memahami suatu konsep.

Pada Pekerjaan Siswa

Siswa ingin mengetahui seberapa jauh pekerjaannya dinilai oleh guru atau temannya. Dalam hal ini, guru hendaknya memberikan apresiasi kepada siswa yang hasil pekerjaannya benar/baik. Jika hasil pekerjaan siswa salah, janganlah sekali-kali mengatakan: “Ini salah!” Sebab, hal ini akan mengurangi semangat siswa untuk belajar.

Terhadap siswa yang melakukan kesalahan/ mendapat kesulitan, guru hendaknya membantu bagaimana memecahkan masalah yang dihadapi. Petunjuk ataupun saran dapat diberikan dalam bentuk lisan atau tulisan. Yang siswa merasakan bahwa pekerjaannya mendapat perhatian dari gurunya.

Terhadap hasil pekerjaan siswa, guru harus memberikan tanggapan bagaimana pendapatnya mengenai hasil tersebut dan saran atau komentar apa yang perlu disampaikan.

KUNCI JAWABAN

Kunci Jawaban (Pembelajaran 1)

$$\begin{aligned} 1). \phi V_n &= 0,75 (1,13) \mu [(0,7 f_u^b)(0,75 A_b)] m . n \\ &= 0,75 (1,13)(0,35)[(0,7 \times 825)(0,75 \times 380)](1). (4) \\ &= 195,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

2). Sambungan tidak kaku

Kunci Jawaban (pembelajaran 2)

Batang 17

Kunci Jawaban (pembelajaran 3)

1). Klik File, lalu pilih New Model , masuk ke bidang gambar.

Perlu diperhatikan bahwasalnya untuk SAP 2000 versi terbaru template tidak seperti gambar soal melainkan seperti gambar pada bagian uraian materi dan jawaban mesti disesuaikan sesuai acuan SAP 2000 yang dipakai.

2). Skala 1 : 1

Kunci Jawaban (Pembelajaran 4)

Magnetic Particle Test, Radiographi sinar x dan Ultrasonic

Kunci Jawaban (Pembelajaran 5)

Profil dengan panjang 12 M' memiliki berat 206 kg. Sehingga untuk profil sepanjang 150 M' memiliki berat :

$$\frac{206 \text{ kg}}{12 \text{ M}'} = \frac{x \text{ kg}}{150 \text{ M}'}$$

$$x \text{ kg} = \frac{206 \text{ kg} \times 150 \text{ M}'}{12 \text{ M}'} = 2575 \text{ kg}$$

Kunci Jawaban (Pembelajaran 6)

1/350 kali bentang

Kunci Jawaban (Pembelajaran 7)

2,4,5,6,7,8

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *Baja Profil I-beam Proses Canai Panas*. SNI 07-0329-2005.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-1729-2002.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI-1726-2002.
- Dewobroto, Wiryanto. 2004. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000*. Jakarta : PT.Elex Media Komputindo.
- Dewobroto, Wiryanto. 2013. *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000*. Jakarta : Lumina.
- Dewobroto, Wiryanto. 2015. *Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010*. Jakarta : Lumina.
- Salmon, Charles G, dkk. 1990. *Struktur Baja Desain dan Perilaku*. Madison : Erlangga.
- Schodek, Daniel L. 1999. *Struktur, Edisi Kedua*. Jakarta : Erlangga.
- Setiawan, Agus. 2003. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Edisi Kedua*. Jakarta : Erlangga.
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta : Erlangga.