

Seminar dan Eksibisi “*Future Prospect of Steel for Construction in Indonesia*”
PT. Krakatau Steel & Nippon Steel Cooperation
Gran Melia Hotel, Jl. HR. Rasuna Said Kav. X-O, Jakarta
Kamis, 7 April 2011

Prospek dan Kendala pada Pemakaian Material Baja untuk Konstruksi Bangunan di Indonesia

Wiryanto Dewobroto



Jurusan Teknik Sipil
UNIVERSITAS PELITA HARAPAN



Prospek dan Kendala pada Pemakaian Material Baja untuk Konstruksi Bangunan di Indonesia

ABSTRAK

- Bahan material konstruksi bangunan (jembatan dan gedung) relatif terbatas, yaitu kayu, beton, dan baja, atau kombinasinya.
- Tahap memilih material penting. Kriteria kekuatan, kekakuan dan daktilitas adalah pertimbangan utama para insinyur.
- Material yang unggul pada kriteria tadi tidak berarti dominan pemakaiannya. Seperti konstruksi baja Indonesia, mengapa ?
- Untuk itu akan dibahas prospek dan kendala pemakaian konstruksi baja di Indonesia dari sisi akademis. Penting bagi penyelenggara proyek (owner, arsitek, insinyur, kontraktor) agar mendapat kepuasan ketika memilih konstruksi baja.
- Kata kunci: prospek dan kendala, bahan material, konstruksi baja.



Prospek dan Kendala pada Pemakaian Material Baja untuk Konstruksi Bangunan di Indonesia

Daftar Isi :

1. Motivasi Yang Mendasari Penulisan ►
2. Perilaku Mekanik Material Konstruksi ►
3. Sifat Material Baja ►
4. Superioritas Konstruksi Baja ►
5. Perencanaan Umum ►
6. Code Perencanaan Bangunan Baja ►
7. Pemodelan dan Realisasinya Pada Struktur Baja ►
8. Analisa Struktur Konstruksi Baja ►
9. Hati-hati Perencanaan Baja Dengan Komputer ►
10. Pentingnya Konsistensi pada Perencanaan Dan Pelaksanaan ►
11. Perencanaan Khusus Untuk Optimasi ►
12. Sistem Struktur Baja Tahan Gempa ►
13. Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Baja ►
14. Perawatan Bangunan Baja ►
15. Tulisan Tentang Baja ►
16. Kesimpulan ►



Konstruksi Bangunan dan Peradaban



di Mesir : piramida Giza 5000 tahun yang lalu



di Indonesia: Borobudur peninggalan abad 9

- konstruksi bangunan kegiatan **mewujudkan prasarana fisik** yang mendukung **peradaban**
- dari konstruksi bangunan, suatu bangsa dapat dilihat **tingkat kemajuannya**
- untuk itu banyak usaha **memakai** dan **meneliti** berbagai **bahan material** untuk konstruksi bangunan



Konstruksi Bangunan **Jembatan - Gedung** dan bahan materialnya



BETON: jembatan busur

- Jenis material konstruksi yang dapat dipilih (apalagi di Indonesia) **terbatas**
- KAYU, BETON, **BAJA** atau kombinasinya



BAJA: jembatan pelengkung



KAYU: rumah joglo



KAYU : rumah gadang



Strategi Pemilihan Material Konstruksi

- Pemilihan bahan material konstruksi adalah **tahapan penting** suatu perencanaan.
- Kriteria yang digunakan adalah:
 - 1) **kekuatan** (tegangan);
 - 2) **kekakuan** (deformasi); dan
 - 3) **daktilitas** (perilaku runtuh).
- Tetapi **meskipun disemua kriteria unggul**, tapi **tak ada jaminan** bahwa material tersebut akan **mendominasi** pemakaiannya.



Strategi Pemilihan Material Konstruksi

- Pemilihan bahan material konstruksi adalah **tahapan penting** suatu perencanaan.
- Kriteria yang digunakan adalah:
 - 1) **kekuatan** (tegangan);
 - 2) **kekakuan** (deformasi); dan
 - 3) **daktilitas** (perilaku runtuh).
- Tetapi **meskipun disemua kriteria unggul**, tapi **tak ada jaminan** bahwa material tersebut akan **mendominasi** pemakaiannya.
- Contoh: **konstruksi bangunan baja** di Indonesia



Baja **belum mendominasi** konstruksi bangunan di Indonesia



- material **baja unggul** di segi **kekuatan**, **kekakuan** dan **daktilitas** (dibanding beton atau kayu),
- tetapi fakta lapangan, konstruksi baja **belum mendominasi proyek bangunan di Indonesia**, kalah populer dari konstruksi beton.
- Banyak gedung tinggi **masih mengutamakan konstruksi beton**, juga jembatan khususnya dengan adanya beton prategang, lihat Proyek Cipularang toll road (2005 – 2006).



Proyek Cipularang toll road (Cikampek - PUrwakarta - PadaLARANG)

(± 41 km bergunung-gunung selesai 2005 – 2006)



Cikao bridge (80 m)



Ciujung bridge (500 m)



Cikubang bridge (520 m)



Cisomang bridge (252 m)



Cipada bridge (707 m)



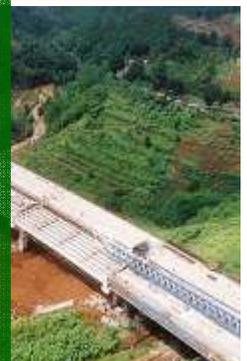
Proyek Cipularang toll road (Cikampek - PURwakarta - PadaLARANG)

(+ 41 km bergunung-gunung selesai 2005 – 2006)

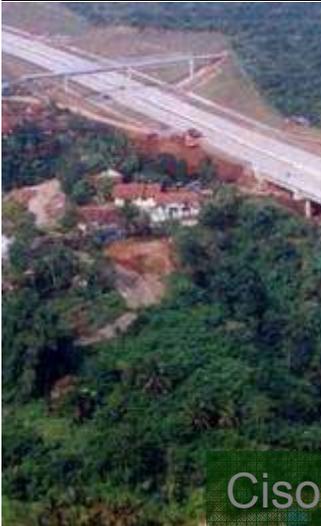
Padahal untuk proyek
yang butuh
kecepatan biasanya
konstruksi baja
dianggap lebih unggul !



Cikao bridge



Cipada bridge (520 m)



Cisomang bridge (252 m)



Cipada bridge (707 m)



Mengapa baja yang dianggap unggul,
belum populer di sini ?



- **Harganya mahal !**





Mengapa baja yang dianggap unggul,
belum populer di sini ?



- **Harganya mahal !**



Murah



Mahal

gengsi ?



Mengapa baja yang dianggap unggul,
belum populer di sini ?



- **Harganya mahal !**



Murah



Mahal

fungsi / fitur ?



Mengapa baja yang dianggap unggul, **belum populer** di sini ?



- Harganya mahal !
- Apakah benar karena mahal ?
- Apakah bukan **hal lain, seperti ketidak-tahuan pemakai**, sehingga konstruksi bajanya **menjadi tidak optimal** dan pada **akhirnya merasa kecewa**.

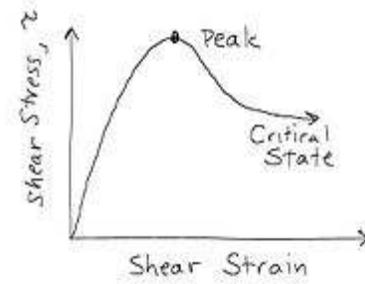




Mengapa baja yang dianggap unggul, **belum populer** di sini ?



- Harganya mahal !
- Apakah benar karena mahal ?
- Apakah bukan hal lain, seperti ketidak-tahuan pemakai, sehingga konstruksi bajanya menjadi tidak optimal dan pada akhirnya merasa kecewa.
- Mari kita bahas hal-hal yang dapat dianggap **prospek** maupun **kendala** agar dapat mengoptimalkan pemakaian material baja pada proyek konstruksi di Indonesia



PERILAKU MEKANIK BAJA



Properti Mekanik Beberapa Bahan Material Konstruksi

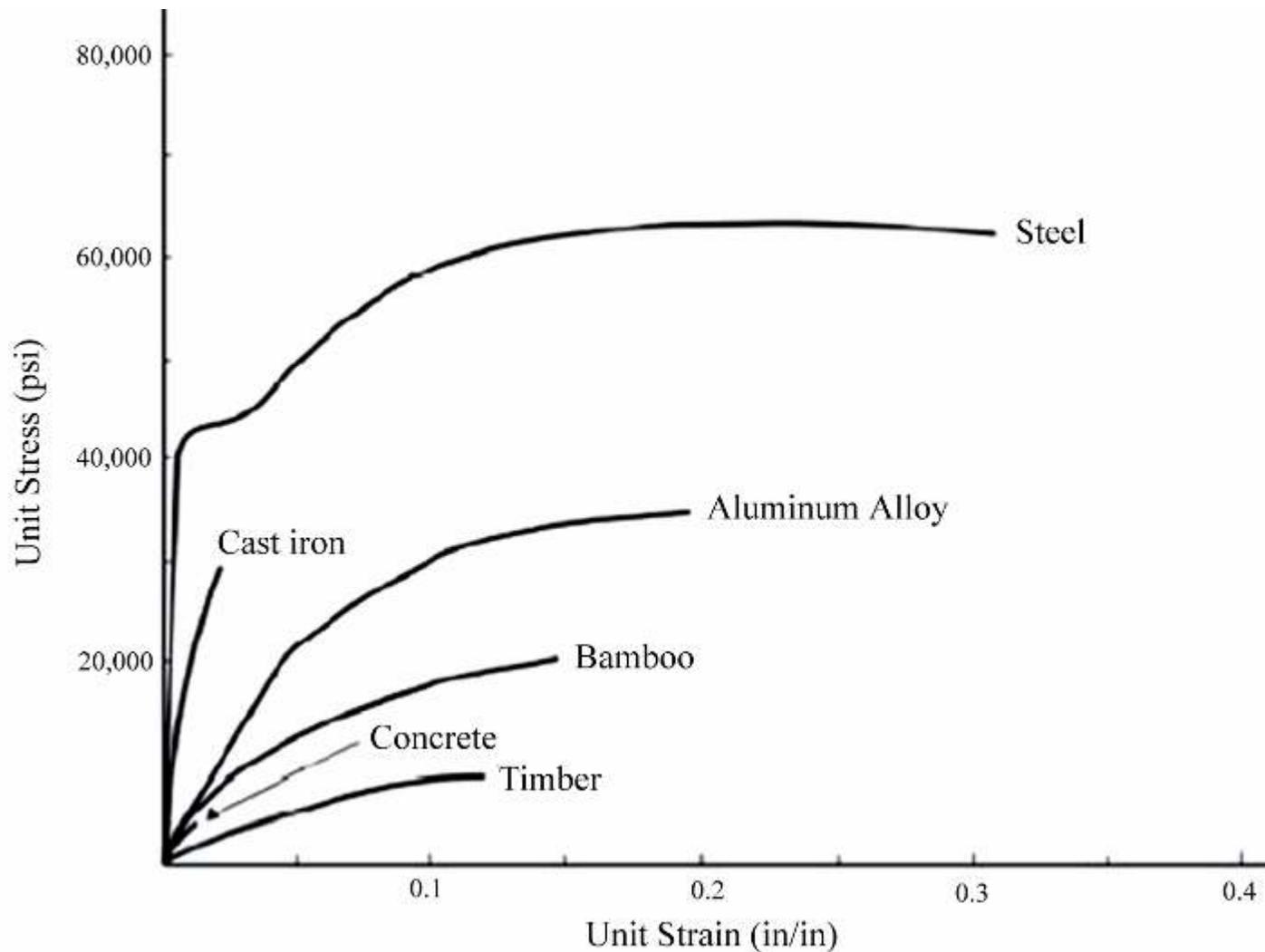


Material	Berat Jenis (BJ) (kg/m ³)	Modulus Elastis (MPa)	Kuat (MPa)		Rasio Kuat ÷ BJ (1E+6 * 1/mm)
			Leleh	Ultimate	
Serat karbon	1760	150,305	-	5,650	321
Baja A 36	7850	200,000	250	400 – 550	5.1 – 7.0
Baja A 992	7850	200,000	345	450	5.7
Aluminum	2723	68,947	180	200	7.3
Besi cor	7000	190,000	-	200	2.8
Bambu	400	18,575	-	60*	15
Kayu	640	11,000	-	40*	6.25
Beton	2200	21,000 – 33,000	-	20 – 50	0.9 – 2.3

* Rittironk and Elnieiri (2008)



Properti Mekanik Beberapa Bahan Material Konstruksi



Sumber : Rittironk and Elnieiri (2008)



Evaluasi berdasarkan kriteria KUAT, KAKU dan DAKTAIL



- Untuk kuat, kaku dan daktail → baja unggul. **Rasio kuat dibanding berat** maka baja lebih tinggi dibanding beton.
- konstruksi baja → sistem **struktur ringan**, hemat pondasi dibanding beton, meskipun kalah dari kayu atau bambu.
- Bangunan ringan → baik untuk **bangunan tahan gempa**.
- Tapi **masih kalah populer** → ada sesuatu yang membuat orang menjadi ragu memilih baja.
- atau karena **pengetahuan tentang baja kurang**,
- konstruksi baja **banyak keunggulan** dan **prospeknya baik**, meskipun itu **perlu kompetensi** serius.



Jika unggul dan baik tentu akan dicari meskipun itu mahal dan susah.



- Agar populer → perlu banyak informasi disebarakan tentang prospek dan kendalanya tetapi sekaligus strategi mengatasinya, sehingga tidak jadi kendala lagi.
- Bagaimanapun, jika dianggap unggul maka itu akan menjadi tujuan untuk diraih.
- Jika itu terjadi maka dominasi baja sebagai bahan material konstruksi di Indonesia tinggal soal waktu saja.





SIFAT MATERIAL BAJA



SIFAT MATERIAL BAJA

Umum



- Karena unggul dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya.



- Tidak heran jika di setiap proyek konstruksi bangunan (jembatan atau gedung), baja selalu ada.





SIFAT MATERIAL BAJA

Material buatan pabrik

- buatan pabrik maka **kontrol mutunya baik**. Oleh karena itu kualitas material baja adalah relatif **homogen** dan **konsisten** dibanding yang lain. Lebih **dapat diandalkan**.



produk **massal** dan perlu **standarisasi**



perlu **transportasi khusus**
[1] pabrik baja → workshop;
[2] workshop → proyek



SIFAT MATERIAL BAJA

Ketahanan korosi

- Korosi pada baja merupakan **kelemahan** dibanding beton.
- Korosi ibarat **kanker**, senyap tetapi **mematikan**.
- **Negara maju** ternyata bisa **kecolongan** karena korosi.



Jembatan I-35 di sungai Mississippi, Minneapolis, Minnesota, USA, dibangun 1967, **tiba-tiba runtuh** pada hari Rabu tanggal **1 Agustus 2007**.



SIFAT MATERIAL BAJA

Dampak korosi yang tidak teridentifikasi

- Hasil penyelidikan penyebab keruntuhan adalah korosi logam (Sumber : en.wikipedia.org)



Photo tahun 2005 sebelum runtuh



Komponen pemicu keruntuhan.



SIFAT MATERIAL BAJA

Strategi - usaha mengatasi korosi logam

Kata kunci **pengecegan korosi** adalah

- selalu **waspada**, diawali dengan **pemilihan sistem pengecegan korosi yang tepat**, dan
- dilanjutkan dengan **perawatan rutin dan berkelanjutan**.

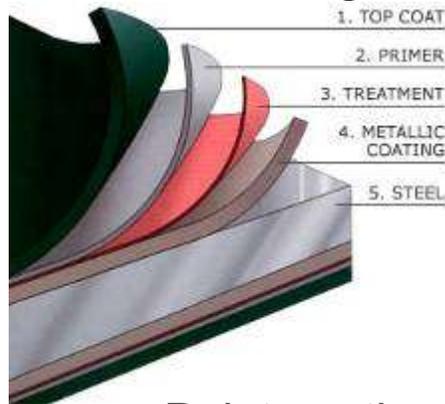




SIFAT MATERIAL BAJA

Sistem pencegahan korosi

■ Steel coating



Paint coating



Epoxy coating



Hot dip galvanized

■ Corrosion resistant steel



COR-TEN®

Weather & Corrosion Resistant Steel

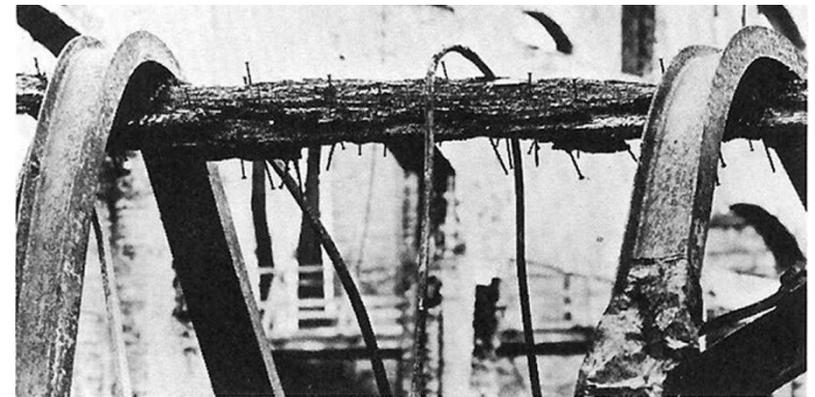
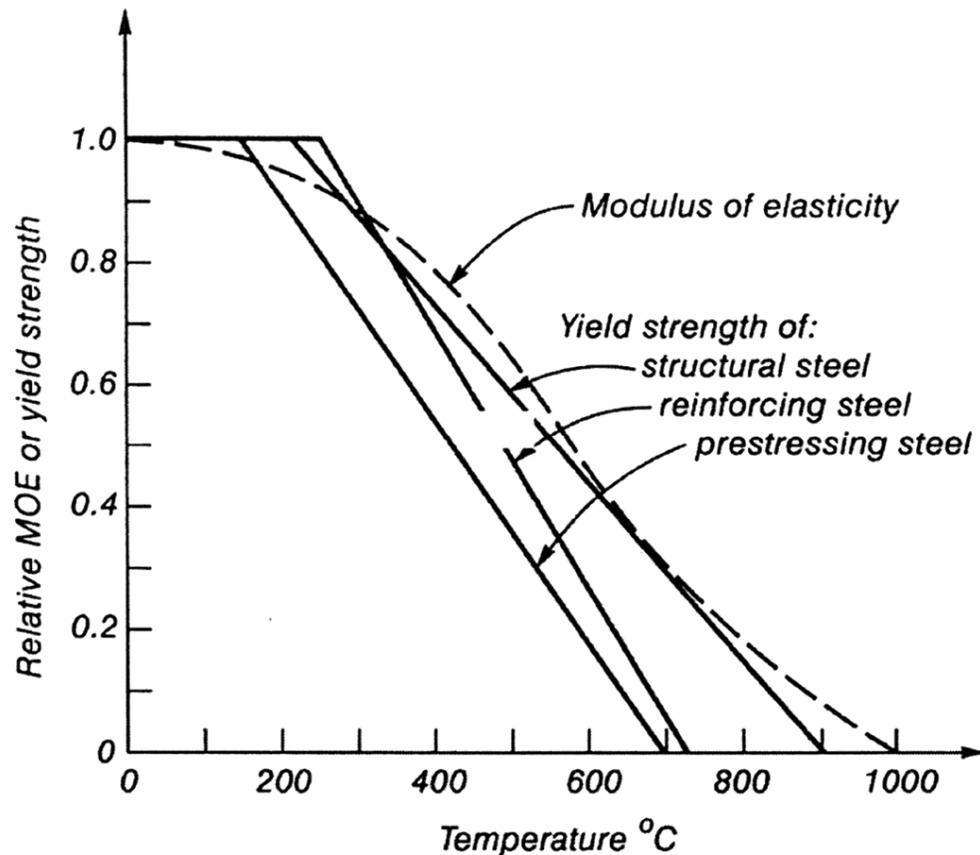




SIFAT MATERIAL BAJA

Perilaku pada suhu tinggi

- Material baja **tidak terbakar**, tetapi pada suhu tinggi kekuatannya **menurun drastis** → keruntuhan.



Profil baja setelah suatu kebakaran





SIFAT MATERIAL BAJA

Perilaku pada suhu tinggi

- *Fireproofing* untuk mencegah kenaikan temperatur ekstrim saat kebakaran, bukan membuat konstruksi baja tahan api.



Fireproofing pada balok-atap

fireproofing → menambah **beban** dan **biaya**, tapi **pencegah korosi** juga.

Jadi fungsinya adalah **double protection** bagi konstruksi baja.



SUPERIORITAS KONSTRUKSI BAJA



SUPERIORITAS KONSTRUKSI BAJA

Pentingnya keunggulan alami

- Superioritas produk akan membantu marketing.
- Dikaitkan **keunggulan alami**, untuk material baja misalnya
 1. **Kekuatannya relatif lebih tinggi** dibanding yang lain;
 2. **Tingginya ratio kuat terhadap berat-volume**;
 3. Berupa material / modul **siap pakai** karena **produk pabrik**.





SUPERIORITAS KONSTRUKSI BAJA

Struktur dengan berat sendiri dominan

- Struktur bentang besar, beban hidup relatif lebih kecil dibanding berat sendiri (beban mati).



Konstruksi atap



Jembatan bentang panjang



SUPERIORITAS KONSTRUKSI BAJA

Struktur sekaligus metode pelaksanaan

- Dipakai **sekaligus** sebagai **alat untuk pelaksanaan**. Efektif untuk kondisi lapangan tertentu yang mahal jika dibuatkan perancah terlebih dulu.



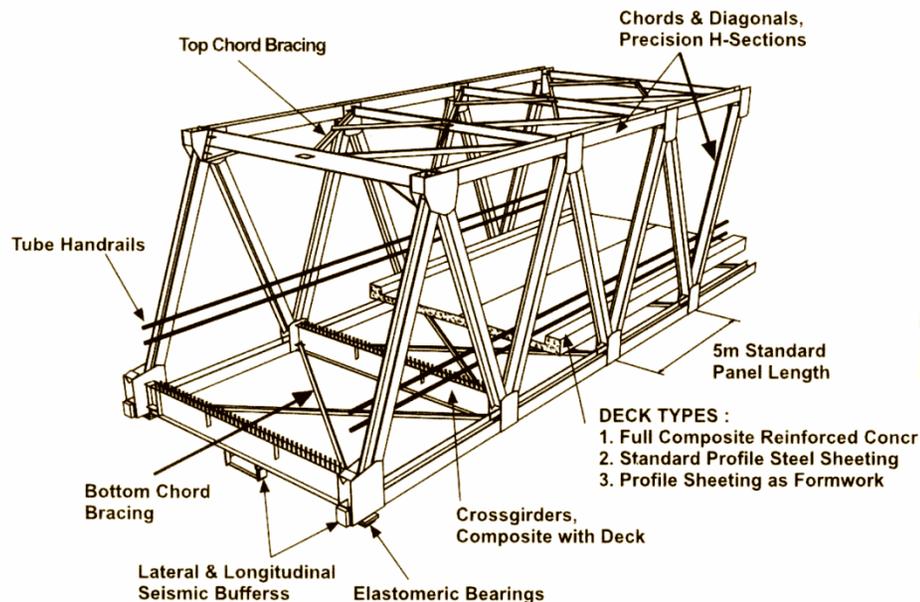
Konstruksi jembatan



SUPERIORITAS KONSTRUKSI BAJA

Modul seragam, berulang dan banyak

- Keunggulan produk pabrik, yaitu jika dapat dibuat seragam, berulang, jumlahnya banyak → optimasi



a). Jembatan Rangka Baja Standar

b). Pre-Engineering Steel Buildings

Standar (seragam), berulang dan jumlah banyak



SUPERIORITAS KONSTRUKSI BAJA kuat ringan, cepat bangun juga di pelosok

- Bila perlu yang **kuat tapi ringan** dan **cepat** dibangun, bahkan dapat dirakit di tempat terpencil



jembatan darurat



karena ringan, komponen dibawa helicopter



SUPERIORITAS KONSTRUKSI BAJA arsitektur berkesan ringan dan transparan

- bangunan yang tidak bisa dipisahkan antara elemen **struktur** dan elemen **bungkusnya** (*finishing*).



Konsep ringan dan transparan dari prof Werner Sobek dari Uni Stuttgart, Jerman



SUPERIORITAS KONSTRUKSI BAJA arsitektur berkesan ringan dan transparan



<http://www.wernersobek.com>

Imajinasi yang mudah terwujud
jika pakai *steel structure*



PERENCANAAN UMUM



PERENCANAAN UMUM

sambungan - perilaku khas struktur baja

- Struktur **beton** → **monolit**, khususnya cor di tempat (*cast in situ*) maka sistem **strukturnya statis tak-tentu**.
- Struktur **baja** → tersusun dari **modul-modul terpisah** dan **harus disambung**.
- **Ukuran modul** ditentukan sistem **transportasi** dan **kapasitas crane** (alat angkat) di lapangan
- Sistem sambungan ada **bermacam bentuk** dan **cara pemasangan**, meskipun **alat sambungannya** hanya*) ada **las** dan **baut mutu tinggi**.
- Catatan : *) khusus baja profil *hot-rolled*



PERENCANAAN UMUM

karakter sambungan las dan baut

- Teoritis, **las** mampu menghasilkan sambungan monolit, tapi pelaksanaannya perlu kontrol mutu ketat → di bengkel fabrikasi, bukan di lapangan.
- **Baut mutu tinggi** relatif lebih sulit menghasilkan sambungan monolit tetapi relatif mudah menjaga mutu pelaksanaan di lapangan.





PERENCANAAN UMUM

suatu perencanaan struktur yang baik

- Menghasilkan modul-modul struktur yang disiapkan dengan sistem sambungan las berkualitas di bengkel
- Berukuran sesuai ketersediaan alat transportasi dan alat angkat (crane) di lapangan
- Akhirnya perakitan (*erection*) modul-modul jadi struktur utuh pakai sambungan baut mutu tinggi.

FRABRIKASI

TRANSPORTASI

ERECTION



PERENCANAAN UMUM

Pemilihan jenis sambungan baut

- Berbagai **macam sambungan** memberikan **perilaku mekanik berbeda** → mempengaruhi perilaku struktur secara keseluruhan.
- Perencanaan: pemilihan sambungan penting, perlu kompromi antara **pelaksanaan** dan **perilaku struktur**, serta **biaya** (juga **waktu**).
- Jika sistem sambungan antara rencana dan pelaksanaan **tidak sesuai** → masalah karena perilaku strukturnya tidak sesuai rencana





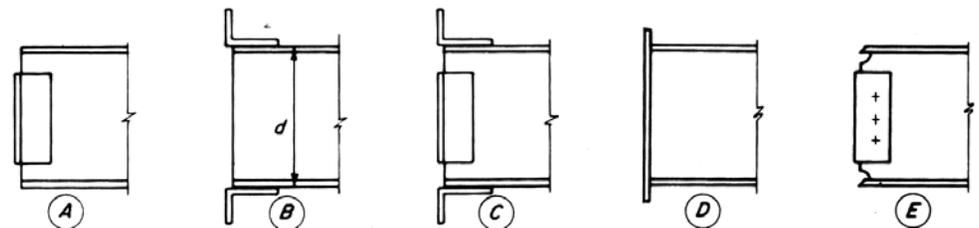
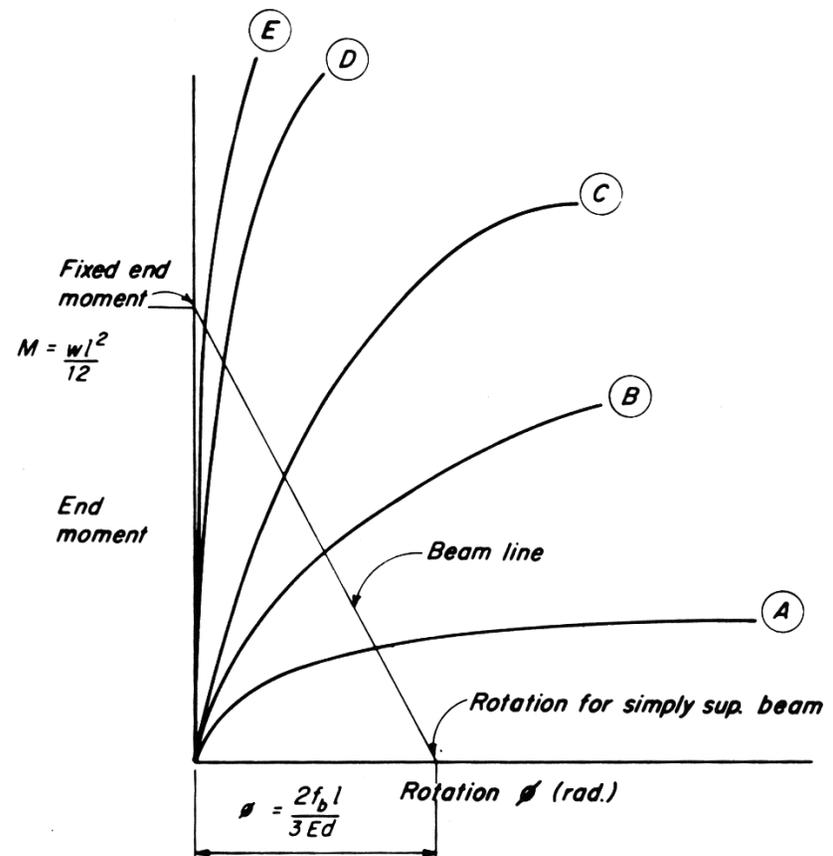
PERENCANAAN UMUM

Perilaku mekanik sistem sambungan

Sambungan tipe [e], las → paling kaku, momen lebih besar untuk rotasi sama.

Sambungan las → monolit berkemampuan lebih baik.

Sambungan tipe [a] kurang kaku, hanya cocok untuk gaya geser, dipilih karena sederhana, murah dan mudah pemasangannya.

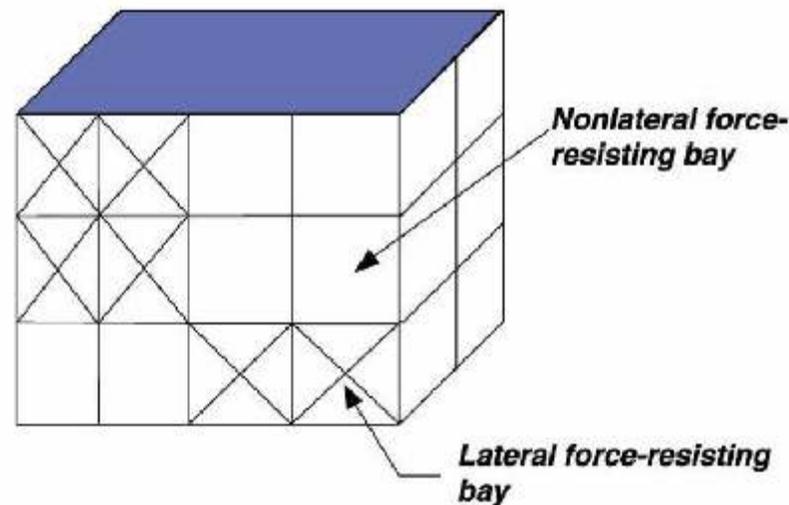




PERENCANAAN UMUM

Konsekuensi macam jenis sambungan

- Pemilihan sistem sambungan **menentukan kompleks tidak-nya konstruksi baja** yang akan dibuat.
- dipilih **sistem struktur sederhana** (statis tertentu).
- jika perlu **sistem penahan lateral khusus** → **terpisah**
- jika masih perlu sistem struktur yang kompleks (rumit) maka **jumlahnya dilokalisir** (minimalis).





PERENCANAAN UMUM

Keuntungan memakai sambungan

- Modul struktur **siap pakai** → tinggal disambung → waktu pelaksanaan **relatif cepat**.
- **Relatif ringan** sehingga cocok untuk proyek di **pedalaman**, karena lebih mudah pengangkutannya.
- **Konstruksi baja tua** tapi masih baik dan tidak cocok lagi → **dapat dibongkar dan dipindahkan**.





**CODE / STANDAR PADA
BANGUNAN BAJA INDONESIA**



STANDAR BANGUNAN BAJA

Pentingnya code / standar suatu negara

- Code atau standar → penting, jadi **rujukan formal berkekuatan hukum** menentukan apakah suatu perencanaan memenuhi syarat atau tidak.
- Kesesuaian dng *code* **dapat terhindar dari klaim** jika terjadi **kegagalan bangunan** → sebagai **musibah**.





STANDAR BANGUNAN BAJA

Standar Perencanaan Berbagai Negara

Negara	Profil baja <i>hot-rolled</i> (canai panas)	Profil baja <i>cold-formed</i> (canai dingin)
Amerika (USA)	ANSI/AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, June 22, 2010	S100-07KIT 2007 Edition: North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members; and 2007 Edition: Commentary on the Specification
Australia	AS4100-1998 Steel Structures, Standards Australia	AS/NZS 4600:2005 Cold-formed steel structures
Canada	S16-09 - Design of steel structures Publicaton Year : 2009	CAN/CSA-S136-07 - North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members
China	Steel Design Per GBJ 17- 88 (1988)	"Technical Standard for Thin-Walled Steel Structures", GBJ 88, Beijing, People's Republic of China, 1988
British / Eropa	EUROCODE 3 , PART 1-1 , BS EN 1993-1-1 Design of steel structures – General rules and rules for buildings (Published on 31/12/2008)	EUROCODE 3 , PART 1-3 , BS EN 1993-1-3 General – Cold formed thin gauge members and sheeting (Published on 28/02/2009)
Indonesia	SNI 03 - 1729 – 2002 (Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung), Departemen Pekerjaan Umum	Belum ada !
Jerman	DIN EN 1993-1-1 (2010-12) Eurocode 3: Design Of Steel Structures - Part 1-1: General Rules And Rules For Buildings	DIN V ENV 1993-1-3, versi Jerman Eurocode
Jepang	Japanese Architectural Standard Specification JASS 6 (1996) Structural Steelwork Specification for Building Construction	Architectural Institute of Japan: "Recommendations for the Design and Fabrication of Light Weight Steel Structure", 1985



STANDAR BANGUNAN BAJA

Konstruksi baja berdasarkan profilnya

Profil baja *hot-rolled* (canai panas)



Profil baja *cold-formed* (canai dingin)



SNI 03 – 1729 – 2002 “Tata Cara
Perencanaan Struktur Baja untuk
Bangunan Gedung”





STANDAR BANGUNAN BAJA

adakah hal khusus tentang cold-formed

- Pemakaian baja *cold-formed* berbeda dibanding baja *hot-rolled* (Wei-Wen Yu 2000, Dewobroto et. al 2006).
- Meskipun ringan → baja *cold-formed* = baja ringan, perilaku bahan dan keruntuhan relatif lebih kompleks
- Resiko kegagalan lebih tinggi bila memakai konfigurasi struktur yang tidak biasa dipakai.





STANDAR BANGUNAN BAJA

adakah hal khusus tentang cold-formed

- baja *cold-formed* \approx struktur dinding tipis \rightarrow pengaruh **bentuk geometri penampang** sangat besar terhadap perilaku dan kekuatannya.
- Adanya perubahan bentuk yang sedikit saja dari penampangnya maka **kekuatan** elemen struktur berbeda termasuk **perilaku tekuknya**.





STANDAR BANGUNAN BAJA

adakah hal khusus tentang cold-formed

- Perencanaan baja *cold-formed* relatif lebih rumit.
- Tetapi populer karena keuntungannya banyak,
 1. kemudahan fabrikasi,
 2. rasio kuat/berat yang relatif tinggi, dan
 3. sesuai untuk berbagai aplikasi,





STANDAR BANGUNAN BAJA

populerkah baja *cold-formed* di sini

- Di sini populer, perusahaan Australia (PT. BHP Steel Lysaght), bahkan beroperasi sejak 1973 sampai sekarang tetap eksis dan maju pesat.
- Dipromosikan gencar sebagai pengganti kayu yang harganya semakin mahal dan langka.





STANDAR BANGUNAN BAJA

dampak tidak adanya code cold-formed

- Tiadanya *code baja cold-formed*, tidak ada kewajiban menjadi kurikulum pendidikan insinyur, sehingga banyak yang tidak menguasainya.
- Jika ada proyek yang berkaitan dengan *cold-formed* → menyerahkan bulat-bulat pada **kontraktor spesialis yang sekaligus pemasok material** tersebut.
- Pasar di Indonesia untuk konstruksi baja ringan hanya menjadi **objek pemasaran** bagi produsennya saja.





STANDAR BANGUNAN BAJA

Bagaimana code baja hot-rolled kita ?

- Code baja **setebal 215 hal** (SNI 03 – 1729 – 2002) mempunyai cakupan **materi yang luas**.
- Buku SNI kita **sudah mencakup** perencanaan **umum** juga **sekaligus** perencanaan baja **tahan gempa**.
- **Bandungkan dengan AISC** (2010) tebal **612 hal** atau hampir 3 kali **code SNI baja kita**, **itu belum termasuk** materi bangunan **tahan gempa** (buku terpisah).
- Apa artinya itu ?





STANDAR BANGUNAN BAJA

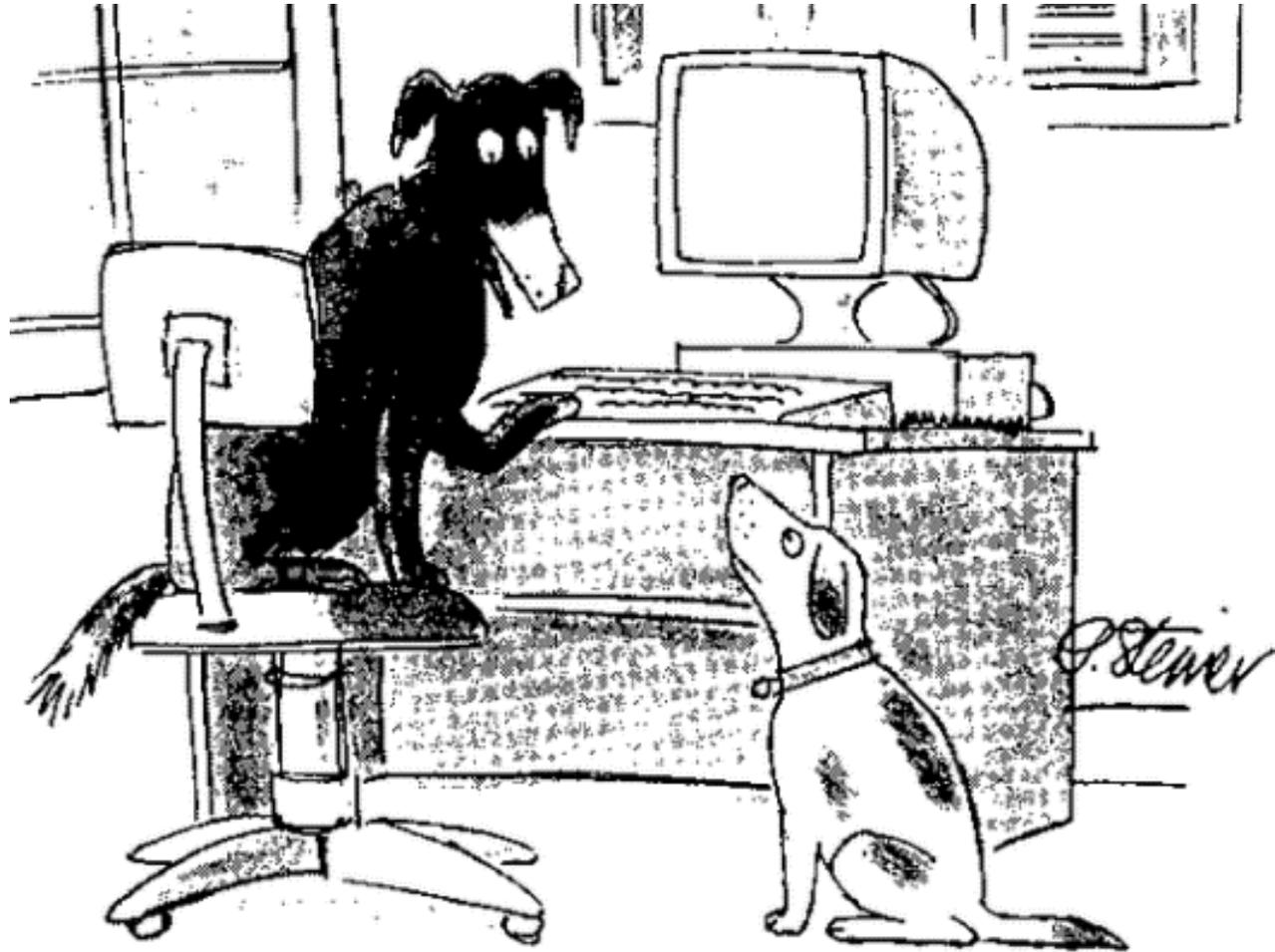
Bagaimana code baja hot-rolled kita ?

- **Lebih tipis** → isi SNI adalah inti sari, yang perlu saja, mungkin **agar lebih fokus** dan mudah dipelajari.
- Tapi bagi insinyur yang ingin serius mendalami struktur baja, memakai rujukan SNI sangat **terbatas**.
- Ada beberapa hal **tidak diungkap secara detail** atau **bahkan tidak tercakup sama sekali**.
- SNI **tidak mencantumkan daftar pustaka** yang dipakai, bahkan nama **penyusun ANONIM** → cara yang **tidak biasa dilakukan ilmuwan** terpelajar.





Apa kata orang tentang ANONIM !?



"On the Internet, nobody knows you're a dog."



STANDAR BANGUNAN BAJA

Jadi bagaimana code baja kita ?

- Standar SNI baja (SNI 03 – 1729 – 2002) hanya berlaku untuk bangunan gedung.
- Jadi untuk meningkatkan penggunaan konstruksi baja untuk bangunan gedung :
 - Perlu perbaikan standar baja *hot-rolled* yang ada,
 - Perlu dibuat standar baja *cold-formed* yang belum tersedia.



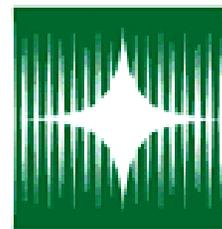
STANDAR BANGUNAN BAJA

Jadi bagaimana code baja kita ?

- Standar SNI baja (SNI 03 – 1729 – 2002) hanya berlaku untuk bangunan gedung.
- Jadi untuk meningkatkan penggunaan konstruksi baja untuk bangunan gedung :
 - Perlu perbaikan standar baja hot-rolled yang ada,
 - Perlu dibuat standar baja cold-formed yang belum tersedia.



code untuk
hot-rolled di USA



**American
Iron and Steel
Institute**

code untuk
cold-formed di USA



STANDAR BANGUNAN BAJA

Bagaimana code baja jembatan kita ?

- Situasi **berbeda**, ada **UU RI No.38 Th 2004 ttg JALAN**. (termasuk jembatan atau bangunan sarana lain)
- Pasal 13 UU berbunyi:
 - 1) **Penguasaan** atas jalan **ada pada negara**.
 - 2) Penguasaan oleh negara sebagaimana dimaksud pada ayat (1) memberi **wewenang kepada Pemerintah** dan Pemerintah Daerah untuk **melaksanakan penyelenggaraan jalan**.
- Pelaksananya **Kementrian PU**, melalui Dirjen Bina Marga, dan pelaksana teknis **Direktorat Bina Teknik**



STANDAR BANGUNAN BAJA

Perbedaan proyek gedung dan jembatan

- Proyek jembatan → kebijaksanaan satu pintu
- Pemerintah (**Kementrian PU**) menjadi **pemilik**, **perencana**, sekaligus **pengawas** proyek, sedangkan **pihak luar sebagai pelaksana**.
- Beresiko terjadi manipulasi (korupsi), tapi ini masalah teknis (real) ada aturannya dan logis, sehingga jika ada masalah maka akan kembali ke mereka juga.
- Jadi yang ada di dalamnya, **mau tidak mau harus bersikap profesional**.



STANDAR BANGUNAN BAJA

Perkembangan pada proyek jembatan

- Semangat “*mau tidak mau harus profesional*” juga adanya bantuan teknis luar negeri maka bidang perencanaan jembatan ada peningkatan kualitas.
- Tahun 1989 – 1992, dapat bantuan proyek jembatan Australia (Transfield & Trans Bakrie), terjalin juga kerja sama teknis dalam pembuatan code jembatan lengkap.
- Ada hasil \pm 17 modul, namanya **Bridge Management System (BMS-92)**. Modul lengkap untuk perencanaan dan pelaksanaan jembatan sampai bentang 200 m.



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA
DIREKTORAT BINA PROGRAM JALAN

PERATURAN PERENCANAAN TEKNIK JEMBATAN

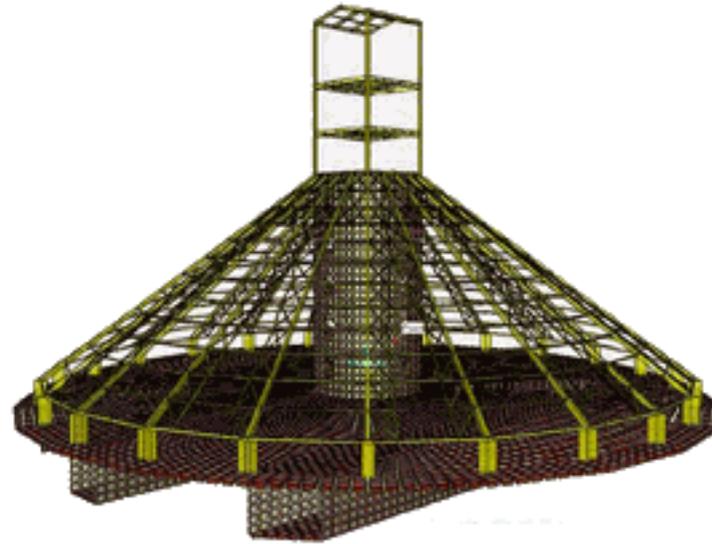
LAMPIRAN A

PERSYARATAN TAHAN GEMPA



BRIDGE DESIGN CODE
APPENDIX A - DETAILED EARTHQUAKE DESIGN

26 May 1992



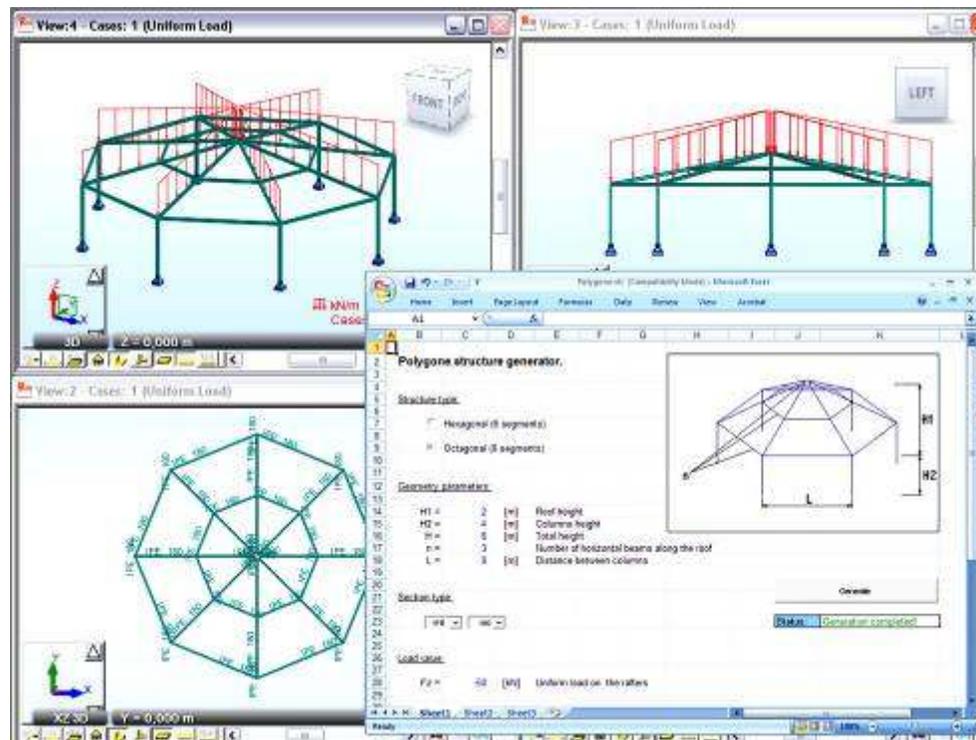
PEMODELAN STRUKTUR DAN KONDISI AKTUAL



PERENCANAAN UMUM

Pengaruh pemodelan struktur dan aktual

- Tahapan penting sebelum analisa struktur adalah menyiapkan **model struktur**.
- Pakai komputer tetapi model tidak tepat hasilnya juga tidak berguna. *Garbage in garbage out.*





PERENCANAAN UMUM

Analisa struktur di era komputer

- Parameter struktur yang dievaluasi **meningkat** hingga variasi pemodelan juga **banyak**.
- Struktur 2D (bidang) atau 3D (ruang) sama mudah.
- Tapi **apakah semakin banyak parameter** atau semakin lengkap yang dianalisis **maka hasilnya semakin baik**.
- Ketelitian hasil komputer dapat dijamin, tapi **jika keluarannya juga kompleks**, maka **ketidak-telitian manusia** adalah sisi lemahnya bahkan **bingung** memilih yang tepat, **semua bisa terlihat logis** → **rujukan empiris** satu-satunya pembanding handal.



PERENCANAAN UMUM

Kategori model struktur dari sisi geometri

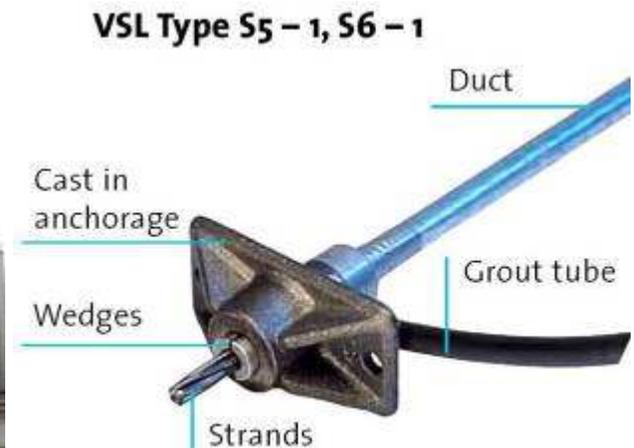
- Struktur bisa berbentuk apa saja, dari sisi geometri dikategorikan jadi, struktur **garis** / 1D; **permukaan** / 2D; dan **pejal** / solid / 3D.



a). Struktur Garis - 1D



b). Struktur Permukaan - 2D

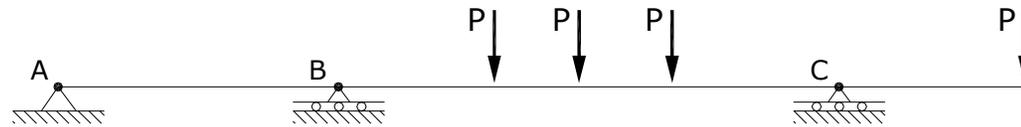


c). Struktur Pejal - 3D

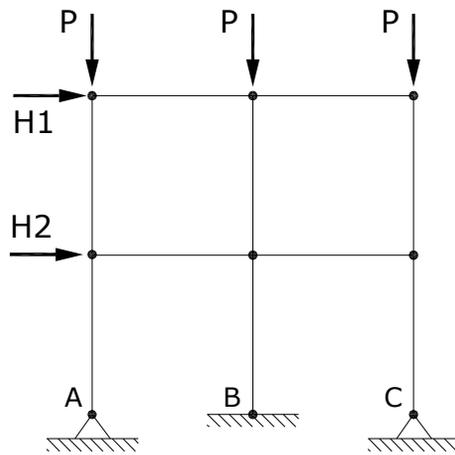


PERENCANAAN UMUM

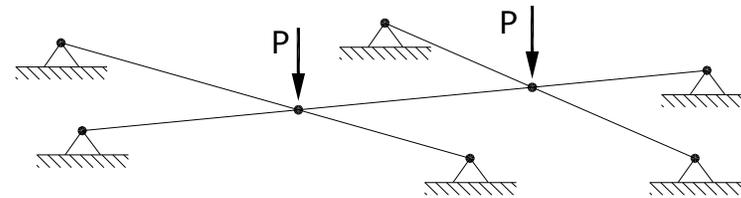
Pemodelan sebagai struktur garis



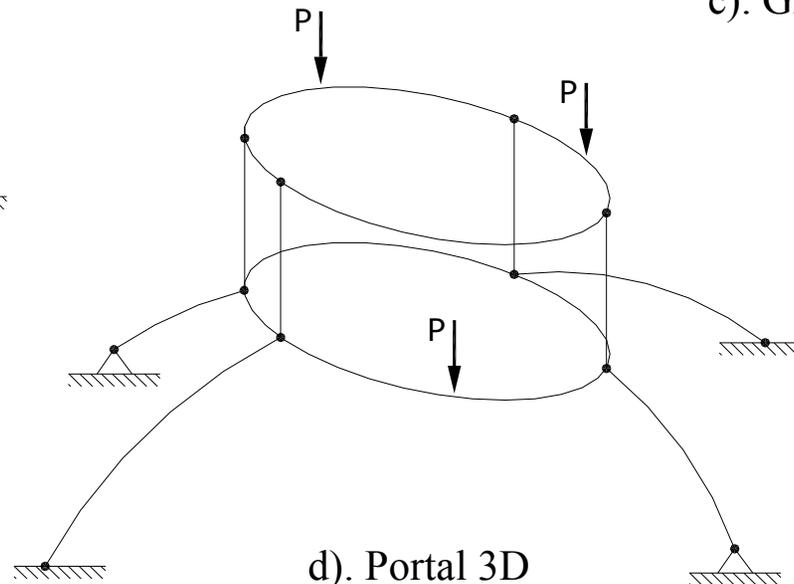
a). Balok



b). Portal 2D



c). Grid



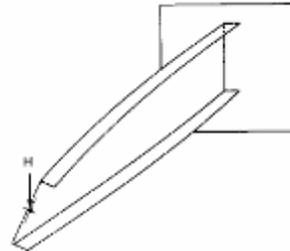
d). Portal 3D



PERENCANAAN UMUM

Hati-hati model struktur garis utk baja

- **Perilaku penampang** real dan model **tidak sesuai**, misal profil U dng *shear-centre* tidak berhimpit *neutral axis* memakai model struktur garis → **fenomena *warping*** tidak akan terdeteksi. Umumnya model struktur garis **hanya cocok** → **profil I atau H**.



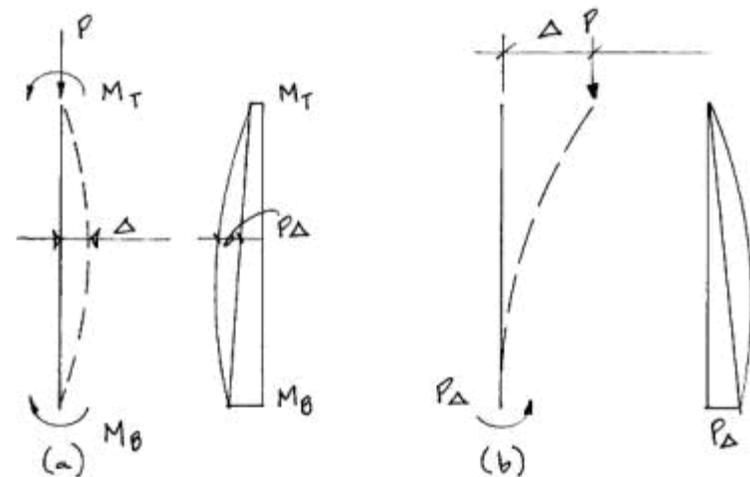
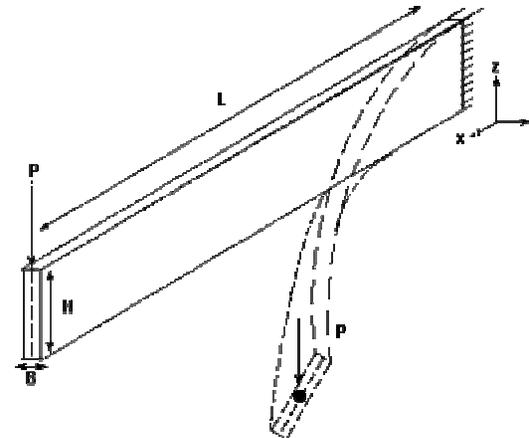
- **Sistem sambungan baja** banyak variasi bentuk juga perilaku mekaniknya. Pemodelan untuk SAP biasanya dianggap menerus atau di-relase (sendi). Bagaimana **jika kondisi aktual semi-rigid**, jepit tidak tetapi sendi juga tidak.
- Sambungan baut mutu tinggi, **slip tidak mudah dihitung**. Jadi hasil komputer yang kesannya kecil, bisa beda dng lapangan.

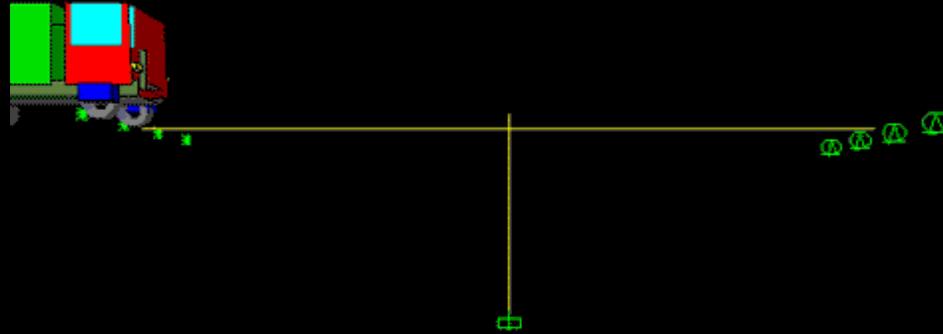


PERENCANAAN UMUM

Hati-hati model struktur garis utk baja

- **Kondisi pertambahan lateral.** Umumnya diabaikan, karena perlu analisa 3D. Data ini penting untuk desain dengan Structural Analysis Program.
- **Opsi $P-\Delta$** yang bisa digunakan untuk analisis gedung bertingkat tinggi **belum tentu bisa** mengevaluasi pengaruh $P-\delta$ akibat adanya **kelangsingan elemen** struktur.





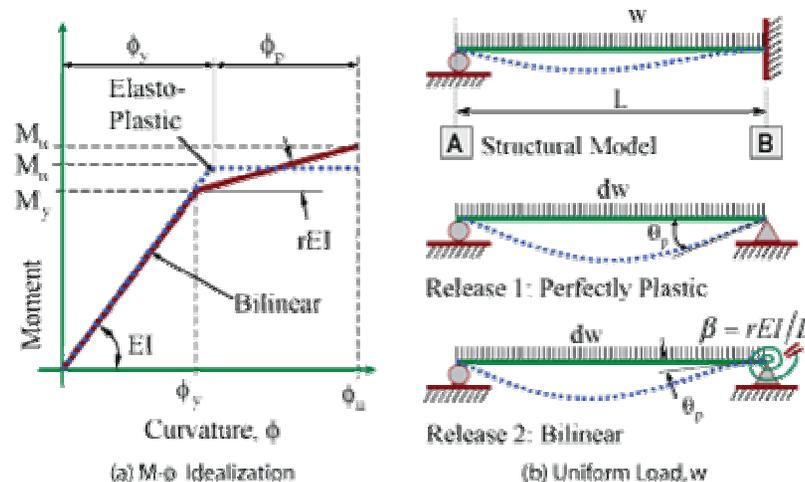
Analisa struktur bangunan baja



PERENCANAAN UMUM

Analisa struktur bangunan baja

- Analisa struktur baja → **elastik-linier**. LRFD desain **beban batas (ultimate) dikalikan beban terfaktor** (pendekatan probabilitas).
- Dari sisi material, baja istimewa, **punya rasio kuat dan berat volume yang tinggi** → **ukuran penampang relatif langsing**. Struktur langsing beresiko terhadap **stabilitas (buckling)**.
- Sifat daktail baja → **diberdayakan sampai leleh (kondisi plastis)** tanpa kerusakan. Dengan cara itu maka **redistribusi momen** dapat diberikan → struktur lebih ekonomis.





PERENCANAAN UMUM

Analisa struktur bangunan baja

- Analisa struktur **elastik-linier** tidak cukup memprediksi perilaku struktur berkaitan **stabilitas** dan **plastis**.
- Insinyur belum dapat secara optimal mengeksplorasi baja. Perlu analisa struktur **inelastik non-linier**.
- Saat ini ada dukungan **komputer** → analisa struktur inelastik non-linier **dapat dipakai secara praktis**.
- Peraturan baja Amerika terbaru (AISC 2010) untuk perencanaan struktur terhadap stabilitas sudah merekomendasikan **metode *Direct Analysis***, suatu **analisa struktur berbasis komputer** yang memperhitungkan sekaligus **pengaruh geometri non-linier**.



PERENCANAAN UMUM

Code baja paling *up-to-dated* saat ini

ANSI/AISC 360-10
An American National Standard

Specification for Structural Steel Buildings

June 22, 2010

Supersedes the
Specification for Structural Steel Buildings
dated March 9, 2005
and all previous versions of this specification

Approved by the AISC Committee on Specifications



AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION
One East Wacker Drive, Suite 700
Chicago, Illinois 60601-1802



PERENCANAAN UMUM

Metode analisis baru dari AISC (2010)

- Metode *Direct Analysis* → metode terbaru berbasis komputer untuk perencanaan struktur baja.
- Metode lama → elastik-linier + manipulasi menghitung pengaruh stabilitas → metode alternatif (Appendix 7).
- Manipulasi pengaruh stabilitas: [1] *Effective Length* dan [2] *First-Order Analysis*.
- Metode *Effective Length* → cara lama, pakai faktor K untuk memperhitungkan panjang tekuk elemen.
- Metode *First-Order Analysis* → versi pendek metode *Direct Analysis*, manipulasi matematik menghitung stabilitas → dihitung langsung sebagai bagian analisis struktur order ke-1 (*Kuchenbecker et al. 2004*).



PERENCANAAN UMUM

Metode Direct Analysis → metode terbaru

Untuk menghitung pengaruh stabilitas struktur dan yang terkait (elemen dan sambungan) dengan **Metode Direct Analysis** akan dipertimbangkan hal-hal berikut :

1. Semua deformasi yang dapat mempengaruhi struktur (lentur, geser, aksial, torsi);
2. *second-order effects* ($P-\Delta$ dan $P-\delta$);
3. geometri *imperfections*;
4. reduksi kekakuan akibat in-elastisitas; dan
5. ketidak-pastian kekakuan dan kekuatan.
6. Semua pengaruh pembebanan dihitung pada kombinasi beban LRFD yang berkesesuaian.



PERENCANAAN UMUM

Metode Direct Analysis → metode terbaru

- Adanya rekomendasi baru AISC (2010) memakai *metode Direct Analysis* → era komputerisasi penuh pada perencanaan baja telah dimulai.



SAP2000 ver 11.0.7 dan ETABS ver 9.1.6 sudah mampu menanganinya.



Hati-hati desain penampang baja dengan komputer (Dewobroto 2010)



PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Hati-hati desain baja dengan komputer

- Adanya metode *Direct Analysis* (AISC 2010) → komputer menjadi sangat penting.
- Jika ada komputer → Apakah semuanya beres ?
- Akan ditunjukkan kasus bahwa memakai software canggih (SAP2000), ternyata hasilnya tidak baik → kasus desain penampang balok baja.

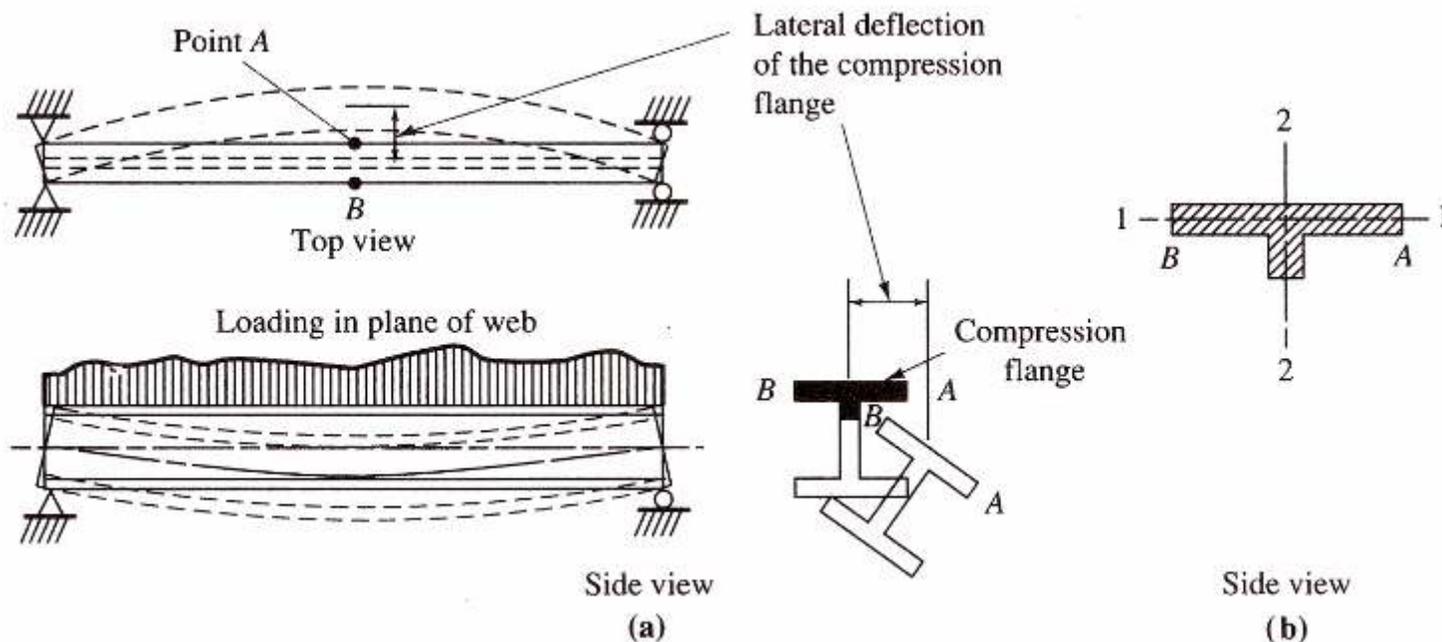




PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Analisis Struktur \neq Desain Penampang

- Hal penting di desain penampang balok baja, **tetapi diabaikan** di analisis struktur adalah **stabilitas**.
- Pada balok, stabilitas yang menentukan adalah *lateral torsional buckling (LTB)*





PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Fasilitas canggih program komputer

- Analisis dan desain: untuk model struktur yg **tidak memperhitungkan** pertambahan lateral → **data lokasi pertambahan lateral harus** diberikan khusus.
- Komputer canggih saat ini: desain penampang **tanpa perlu data tambahan**, tapi **otomatis pakai data dari analisis struktur (!)**
- Contoh : opsi **design-preference (CSI 2007)** yang bekerja otomatis → SAP2000 atau ETABS terkesan **lebih user-friendly** dan **praktis**.





PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Analisis dan desain yang seakan menyatu

- Proses langsung “**analisa-struktur - section desain**” **tanpa data baru** → kesannya kedua tahapan tsb **seakan-akan menyatu**, tidak ada bedanya.
- Padahal keduanya itu **dua hal berbeda**, ditinjau dari tujuan atau strategi pelaksanaannya.
- Kalaupun bisa **dianggap menyatu** maka **tentu ada penghubung**, dan tentunya **hanya benar pada suatu batasan tertentu**.



PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Analisis dan desain seakan menyatu

- Ketentuan desain AISC (2005) “**penghubung**” dapat disusun dari **fakta empiris** yang diolah **statistik**, bahkan ada yang berupa **keepakatan bersama** berdasarkan *engineering judgement* saja.
- Bayangkan, yang dimaksud “penghubung” tadi selanjutnya **dituliskan dalam program**.
- Karena banyak ketentuan, bisa saja terjadi bahwa **langkah-langkah yang disiapkan programmer tidak bekerja dengan baik** karena input data pemakai tidak sesuai.



PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Analisis dan desain seakan menyatu

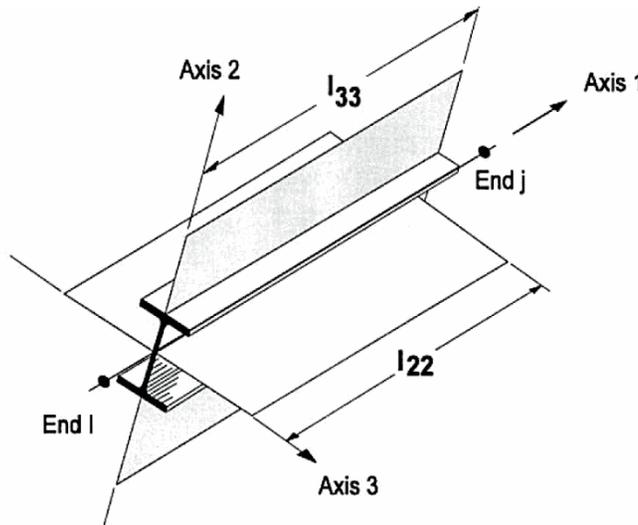
- Ketidaksesuaian akibat **adanya variasi pemodelan struktur yang beragam**, juga akibat faktor *engineering judgement* yang subyektif.
- **Masalahnya** timbul **jika kekurangan data-data** tadi langsung **diambil-alih** oleh **default design settings** yang menanganinya otomatis.
- Kondisi seperti ini umumnya **dapat diatasi** jika **insinyur waspada** dan **mengetahui potensi-potensi yang dapat menyebabkan** kondisi buruk itu terjadi.



PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Interprestasi terhadap LT-Buckling

- *Lateral Torsional Buckling* di balok adalah L_b atau jarak bersih tanpa pertambahan lateral. Manual SAP2000 (CSI 2007) :
 - In determining the values for L_{22} and L_{33} of the members, the program **recognizes various aspects** of the structure that have an effect on these lengths. **The program automatically** locates the member support points and **evaluates** the corresponding **unsupported length**. . . .
 - By default, L_b , is taken to be **equal to the L_{22} factor**.

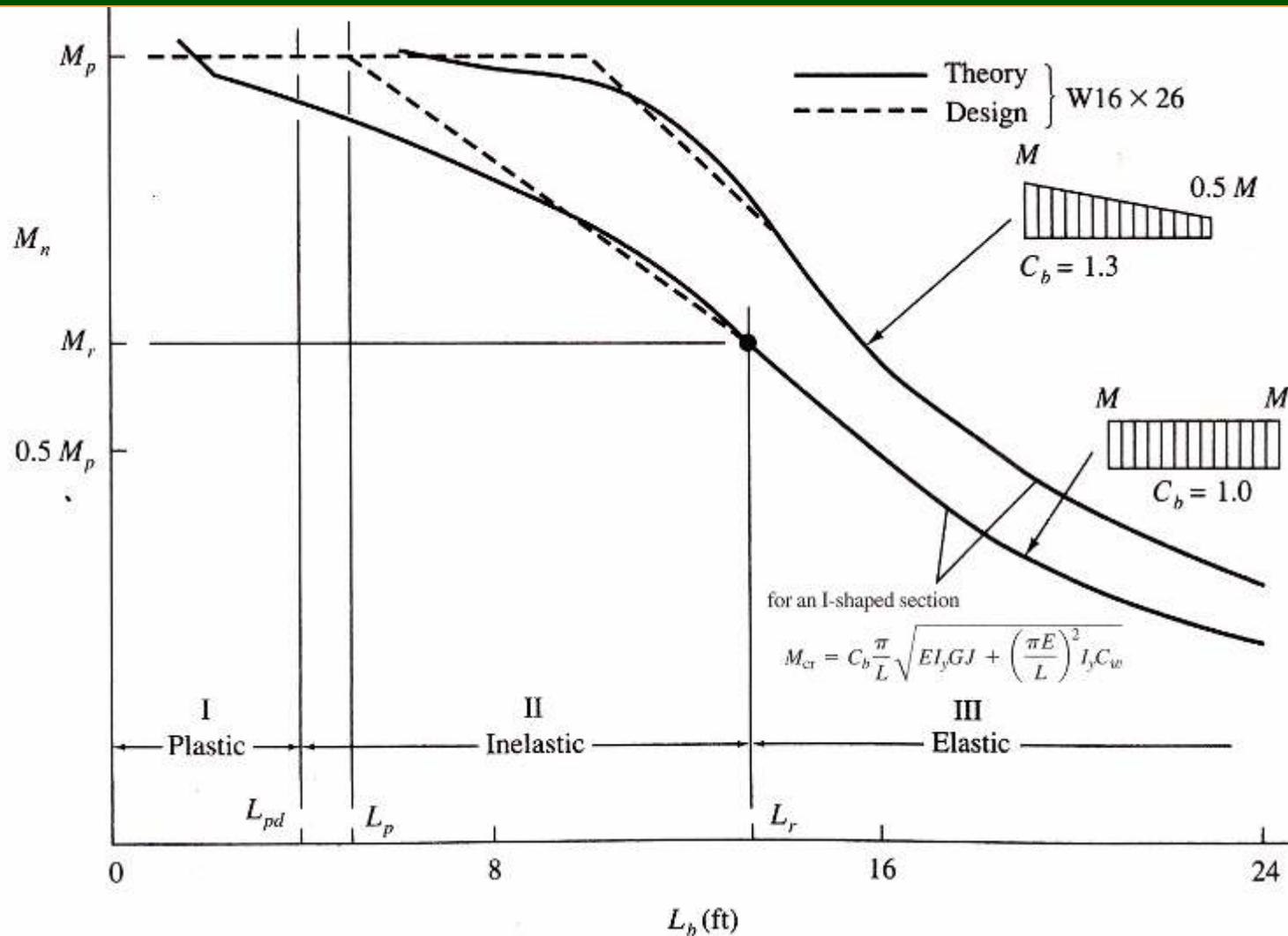


- Apakah berarti SAP2000 **dapat menentukan L_b , otomatis** ?



PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Pengaruh L_b dan C_b pada kekuatan balok



Pengaruh L_b dan C_b terhadap Kuat Lentur Balok Baja (Salmon et. al. 2009)



PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Penentuan nilai L_b pada suatu model

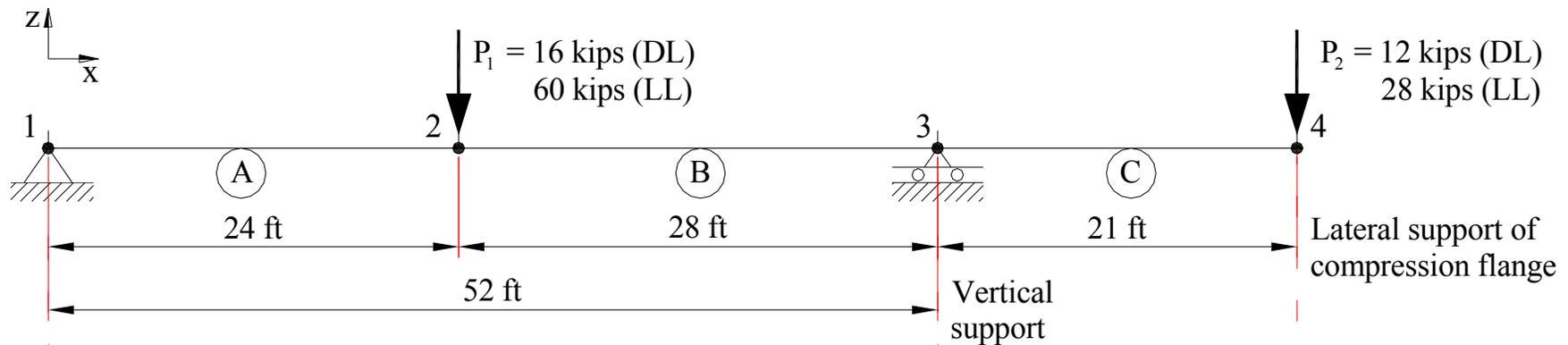
- Menentukan kondisi pertambatan lateral tidak gampang, kadang *perlu engineering judgement* (McCormac 2008) yang bersifat subyektif.
- Manual SAP2000 (CSI 2007) tidak ada penjelasan, petunjuknya *The preferred method is to model a beam, column or brace member as one single element. . . . If the member is manually meshed (broken) into segments, maintaining the integrity of the design algorithm becomes difficult.*
- Dari kutipan itu tersirat algoritma program punya keterbatasan. Ada ketentuan khusus yang harus diikuti, dimulai dari pemodelan struktur untuk analisis sampai desain.
- Jadi pengertian otomatis perlu disikapi hati-hati !
- Penelitian Dewobroto (2010) membuktikan itu →



Balok dan kantilever

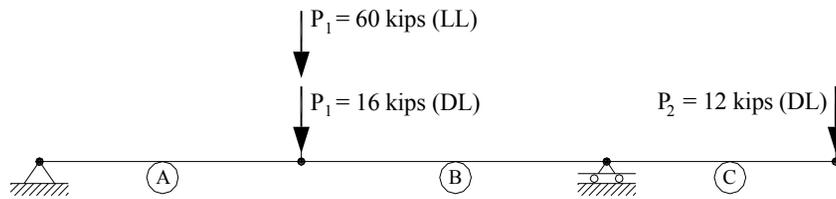
(Salmon et.al 2009 hal. 455)

- **Kasus-2** diambil dari **Example 9.9.3** (Salmon et.al 2009 p.455) : profil baja W33 x 118, mutu $F_y = 50$ ksi, **kondisi terkekang lateral** pada titik tumpuan dan setiap beban terpusat, berat sendiri diabaikan. Solusi design memakai cara LRFD dari AISC 360-05 / IBC 2006 (AISC 2005).

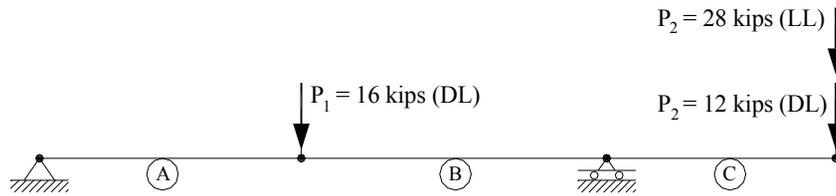




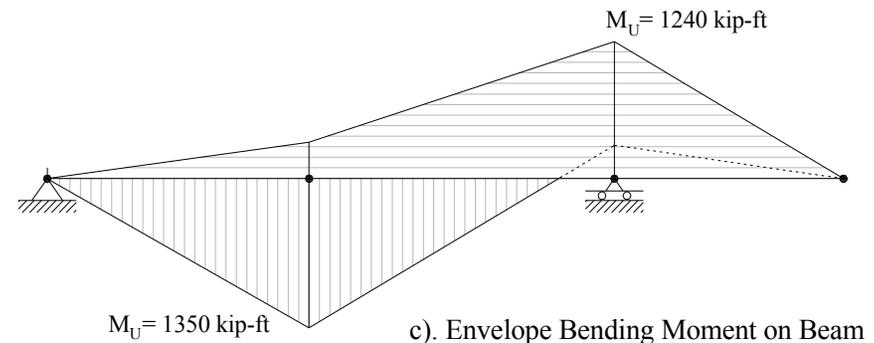
Balok dan kantilever (Salmon et.al 2009 hal. 455)



a). Load Case I



b). Load Case II



c). Envelope Bending Moment on Beam

Balok dan kantilever

(Salmon et.al 2009 hal. 455)

Design Balok Kasus-2 mengikuti Design-Preference SAP2000

No	Materi Design	M_u (k-ft)	C_b	L_b (ft)	L_{factor}	ϕM_n (k-ft)	R	%	Keterangan
1	Manual – segment A	1350	1.67	24	-	1510	0.894	100%	Ref .segment A
	Manual – segment B	1350	2.00	28	-	1390	0.971	100%	Ref. segment B
	Manual – segment C	1240	1.00	21	-	1027	1.207	100%	Ref. segment C
2	SAP*1 : 3 EL(1-2)	1349	1.00	-	2.167	270	4.988	558%	Segment A
	SAP*1 : 3 EL(2-3)	1349	1.00	-	1.857	270	4.988	515%	Segment B
	SAP*1 : 3 EL(3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C
3	SAP*2 : 3 EL(1-2)	1349	1.67	-	2.167	1508	0.895	100%	Segment A
	SAP*2 : 3 EL(2-3)	1349	1.49	-	1.857	987	1.260	128%	Segment B
	SAP*2 : 3 EL (3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C
4	SAP*3 : 3 EL (1-2)	1349	1.00	-	2.167	270	4.988	558%	Segment A
	SAP*3 : 3 EL (2-3)	1349	1.00	-	1.857	270	4.988	515%	Segment B
	SAP*3 : 3 EL (3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C
5	SAP*4 : 3 EL(1-2)	1349	1.67	-	2.167	1508	0.895	100%	Segment A
	SAP*4 : 3 EL (2-3)	1349	1.49	-	1.857	987	1.260	128%	Segment B
	SAP*4 : 3 EL (3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C

Keterangan Versi Program yang digunakan dan opsi yang diaktifkan:

*1 SAP2000 versi 7.4, LRFD 1993, Analysis Option : Plane Frame

*2 SAP2000 versi 7.4, LRFD 1993, Analysis Option : Plane Frame, D.O.F titik 2 dan 4 pada arah sb.2 di restraint

*3 SAP2000 versi 11 , LRFD 2005, Analysis Option : Space Frame

*4 SAP2000 versi 11 , LRFD 2005, Analysis Option : Space Frame, D.O.F titik 2 dan 4 pada arah sb.2 di restraint

Balok o (Salmon e Design Balok Kasus-2 me

**SAP2000 over-estimate
karena menganggap telah
terjadi over-stress**

No	Materi Design	M _u (k-ft)	C						
1	Manual – segment A	1350	1.67	24	-	1510	0.894	100%	segment A
	Manual – segment B	1350	2.00	28	-	1390	0.971	100%	segment B
	Manual – segment C	1240	1.00	21	-	1027	1.207	100%	Ref. segment C
2	SAP*1 : 3 EL(1-2)	1349	1.00	-	2.167	270	4.988	558%	Segment A
	SAP*1 : 3 EL(2-3)	1349	1.00	-	1.857	270	4.988	515%	Segment B
	SAP*1 : 3 EL(3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C
3	SAP*2 : 3 EL(1-2)	1349	1.67	-	2.167	1508	0.895	100%	Segment A
	SAP*2 : 3 EL(2-3)	1349	1.49	-	1.857	987	1.260	128%	Segment B
	SAP*2 : 3 EL (3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C
4	SAP*3 : 3 EL (1-2)	1349	1.00	-	2.167	270	4.988	515%	Segment B
	SAP*3 : 3 EL (2-3)	1349	1.00	-	1.857	270	4.988	515%	Segment B
	SAP*3 : 3 EL (3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C
5	SAP*4 : 3 EL(1-2)	1349	1.67	-	2.167	1508	0.895	100%	Segment A
	SAP*4 : 3 EL (2-3)	1349	1.49	-	1.857	987	1.260	128%	Segment B
	SAP*4 : 3 EL (3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C

**Sehingga profil perlu
diperbesar → BOROS**

Keterangan Versi Program yang digunakan dan opsi yang diaktifkan:

*1 SAP2000 versi 7.4, LRFD 1993, Analysis Option : Plane Frame

*2 SAP2000 versi 7.4, LRFD 1993, Analysis Option : Plane Frame, D.O.F titik 2 dan 4 pada arah sb.2 di restraint

*3 SAP2000 versi 11 , LRFD 2005, Analysis Option : Space Frame

*4 SAP2000 versi 11 , LRFD 2005, Analysis Option : Space Frame, D.O.F titik 2 dan 4 pada arah sb.2 di restraint

Balok dan kantilever

(Salmon et.al 2009 hal. 455)

Design Balok Kasus-2 mengikuti Design-Preference SAP2000

No	Materi Design	M_u (k-ft)	C_b	L_b (ft)	L_{factor}	ϕM_n (k-ft)	R	%	Keterangan
1	Manual – segment A	1350	1.67	24	-	1510	0.894	100%	Ref .segment A
	Manual – segment B	1350	2.00	28	-	1390	0.971	100%	Ref. segment B
	Manual – segment C	1240	1.00	21	-	1027	1.207	100%	Ref. segment C
2	SAP*1 : 3 EL(1-2)	1349	1.00	-	2.167	270	4.988	558%	Segment A
	SAP*1 : 3 EL(2-3)	1349	1.00	-	1.857	270	4.988	515%	Segment B
	SAP*1 : 3 EL(3-4)	1243	1.67	-	1.000	1556	0.799	66%	Segment C
3	SAP*2 : 3 EL(1-2)	1349	1.67	-	2.167	1508	0.895		Segment A
	SAP*2 : 3 EL(2-3)	1349	1.49	-	1.857	987	1.260		Segment B
	SAP*2 : 3 EL (3-4)	1243							
4	SAP*3 : 3 EL (1-2)	1349							
	SAP*3 : 3 EL (2-3)	1349							
	SAP*3 : 3 EL (3-4)	1243							
5	SAP*4 : 3 EL(1-2)	1349							
	SAP*4 : 3 EL (2-3)	1349							
	SAP*4 : 3 EL (3-4)	1243							

**SAP2000 under-estimate
Padahal sudah over-stress
jadi hasilnya tidak aman,
berbahaya !**

Keterangan Versi Program yang digunakan dan opsi yang diaktifkan:

*1 SAP2000 versi 7.4, LRFD 1993, Analysis Option : Plane Frame

*2 SAP2000 versi 7.4, LRFD 1993, Analysis Option : Plane Frame, D.O.F titik 2 dan 4 pada arah sb.2 di restraint

*3 SAP2000 versi 11 , LRFD 2005, Analysis Option : Space Frame

*4 SAP2000 versi 11 , LRFD 2005, Analysis Option : Space Frame, D.O.F titik 2 dan 4 pada arah sb.2 di restraint



PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Penelitian pemakaian L_b pada program

- analisis dan desain dengan opsi *default*, *design preference* (CSI 2007), **tidak memberi hasil yang memuaskan** dibanding buku rujukan (McCormac 2008, Salmon et.al. 2009).
- Hasilnya bervariasi, ada yang *under-design*, ada yang *over-stress*, → *unreliable* (tidak dipercaya).
- Hasilnya **tergantung pemakai**, karena **ketika dilakukan beberapa cara pemodelan yang berbeda** maka hasilnya langsung berubah **ke arah mendekati hasil buku rujukan** (hasil yang dianggap benar).



PERENCANAAN dengan KOMPUTER

Penelitian pemakaian L_b pada program

- Penyebab kesalahan: **cara program memproses input-data “analisis struktur”** untuk menghasilkan L_b dan C_b yang merupakan **input-data “desain penampang”**.





PERENCANAAN DENGAN KOMPUTER

Petunjuk bagaimana memakai komputer

- Adanya kasus menunjukkan bahwa meskipun ada program komputer canggih ternyata **tidak dapat dipakai** tanpa insinyur paham tentang proses perancangan struktur baja.
- Bagaimanapun juga program **komputer hanya alat bantu** keputusan akhir tetap di tangan insinyur.





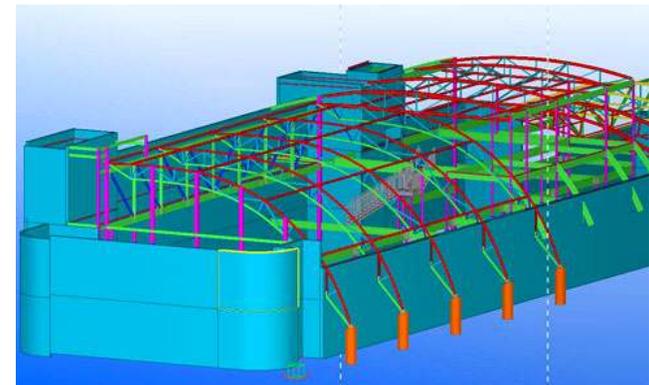
Pentingnya konsistensi perencanaan dan pelaksanaan



PERENCANAAN DENGAN KOMPUTER

Pentingnya konsistensi perencanaan & pelaksanaan

- Pemakaian program komersil yg canggih → umum
- Pendapat awam : **semakin canggih analisis, hasilnya semakin realistis** (\approx teliti).
- Misalnya **model struktur 3D lebih teliti** dibanding 2D, karena **geometrinya akan mendekati sebenarnya** sehingga hasilnya juga lebih teliti.
Apakah benar demikian ?

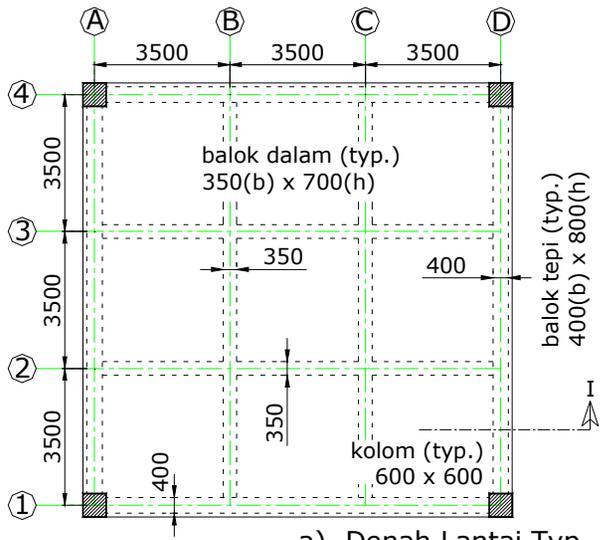




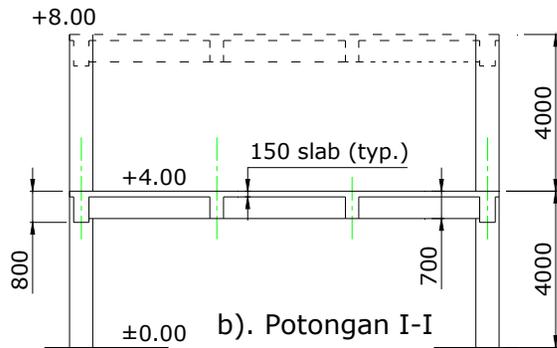
PERENCANAAN DENGAN KOMPUTER

Pemodelan 3D atau 2D

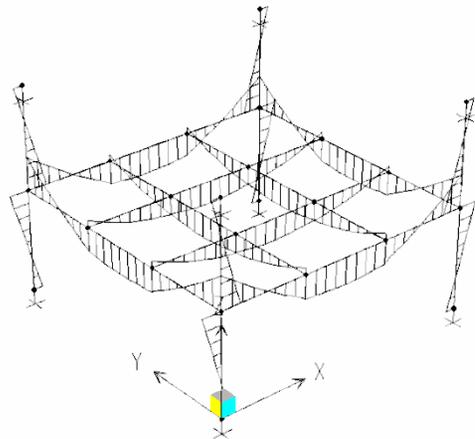
- Memang ada struktur yang harus dianalisis secara 3D, tetapi umumnya dapat dimodelkan 2D.
- Analisis 3D menuntut pemahaman yang lebih banyak tentang gaya-internal yang terjadi.
- Bisa terjadi perilaku model dengan yang aktual → berbeda akibat perbedaan proses konstruksi
- Kadangkala konfigurasi struktur dan strategi pelaksanaan saling terkait, harus ada konsistensi rencana dan aktual.
- Contoh kasus yang memerlukan konsistensi.



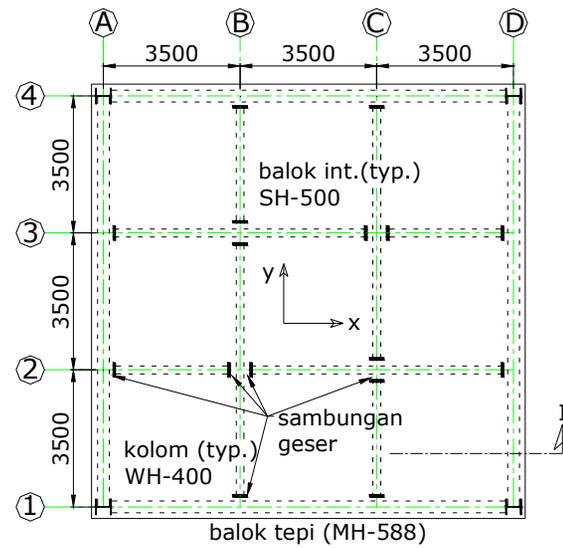
a). Denah Lantai Typ.



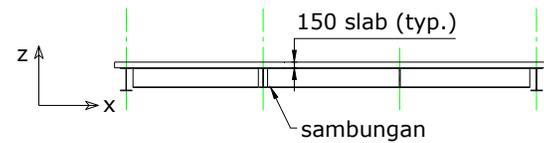
b). Potongan I-I



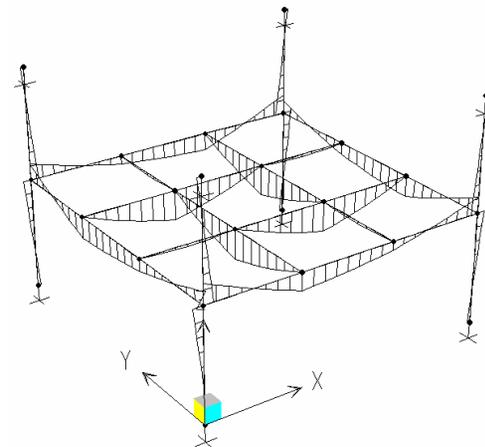
Model 3D pada Struktur Beton



a). Denah Lantai Typ.



b). Potongan I-I



Model 3D pada Struktur Baja



PERENCANAAN DENGAN KOMPUTER

Konfigurasi model 3D dan strategi pelaksanaan

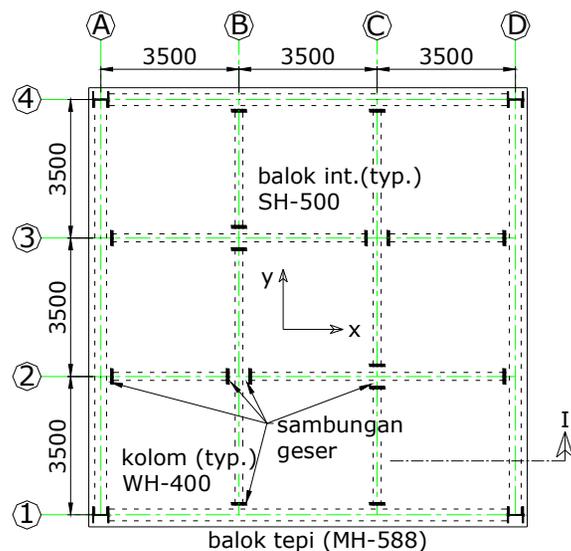
- Dalam pelaksanaan **model baja 3D** punya kendala → balok tidak bisa dipakai sebagai perancah jadi **perlu perancah khusus** → mahal.
- Kontraktor ingin mengubah sesuai kebiasaannya.
- Bagi awam **perubahan penempatan sambungan dapat dianggap sepele**, apalagi jika tidak melihat **kronologi perencanaannya**.
- Bagi insinyur junior juga bisa terkecoh, dianggap metode pelaksanaan → tanggung jawab kontraktor.



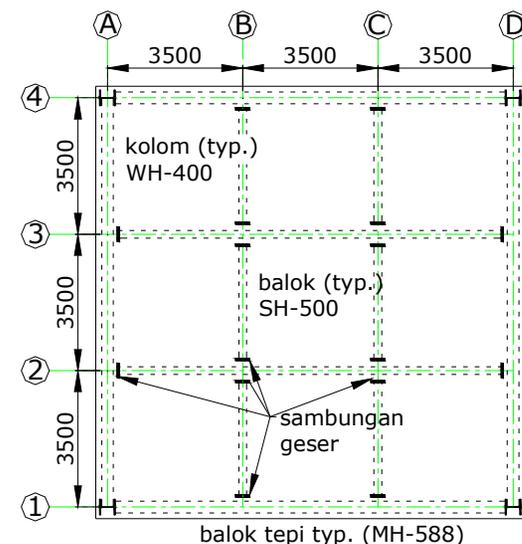
PERENCANAAN DENGAN KOMPUTER

Konfigurasi model 3D dan strategi pelaksanaan

- Bila tak ada spek khusus, kontraktor mengajukan usulan berdasarkan pengalaman yang dimilikinya,
- Misal : balok as 2 dan as 3 **dipasang menerus** sebagai perancah → letak sambungan diubah.
- Jika usul diterima → penghematan biaya.



a). Denah Lantai Typ.



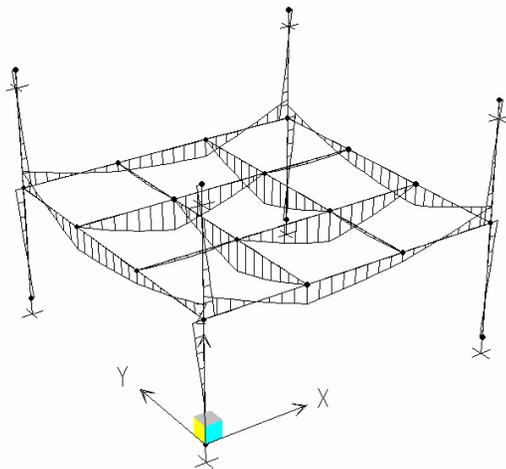
a). Denah Lantai Typ.



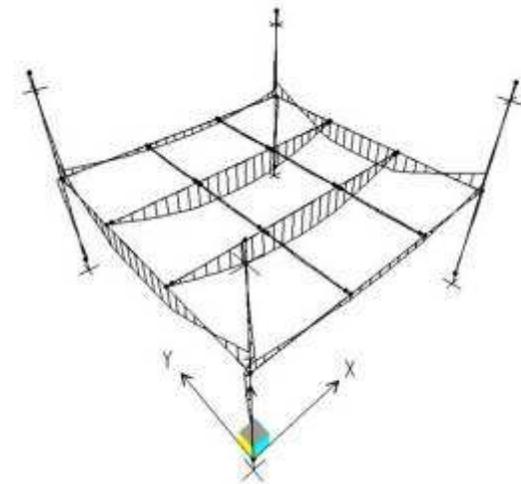
PERENCANAAN DENGAN KOMPUTER

Akibat perubahan, perilaku distribusi gaya berubah

- Perilaku sistem struktur \rightarrow berubah. Distribusi gaya tidak tersebar ke semua balok, hanya pada balok tertentu saja, terjadi konsentrasi tegangan \rightarrow bisa overstress \rightarrow failure.



Perilaku rencana



Perilaku setelah perubahan



PERENCANAAN DENGAN KOMPUTER

Penggunaan opsi canggih tanpa tahu konsekuensi

- Maksud hati **ingin memanfaatkan** fasilitas canggih komputer (analisis 3D)
- Tapi ketika diaplikasikan pada konstruksi baja **tanpa memahami aspek-aspek pelaksanaan** maka **risikonya tinggi** dan berbahaya.





Perencanaan Khusus



PERENCANAAN KHUSUS

Mengapa ini diperlukan ?

- **Baja** buatan pabrik, **punya keunggulan** mekanik tinggi dibanding lainnya (beton / kayu) **relatif mahal**.
- Pemakaiannya **kadangkala tidak efisien**, ada bagian yang bahkan tidak bekerja.
- **Perlu strategi optimasi**.
- Setiap strategi mengandung **resiko / konsekuensi**. Tapi jika diketahui tentu bukan suatu masalah lagi.
- Beberapa strategi optimalisasi yang ada : ➔



PERENCANAAN KHUSUS

Sistem Tapered

- Dasar pemikirannya sederhana bahwa ukuran (tinggi) profil disesuaikan dengan besarnya momen yang terjadi.

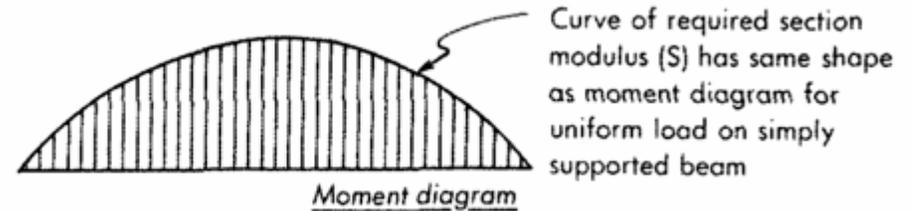
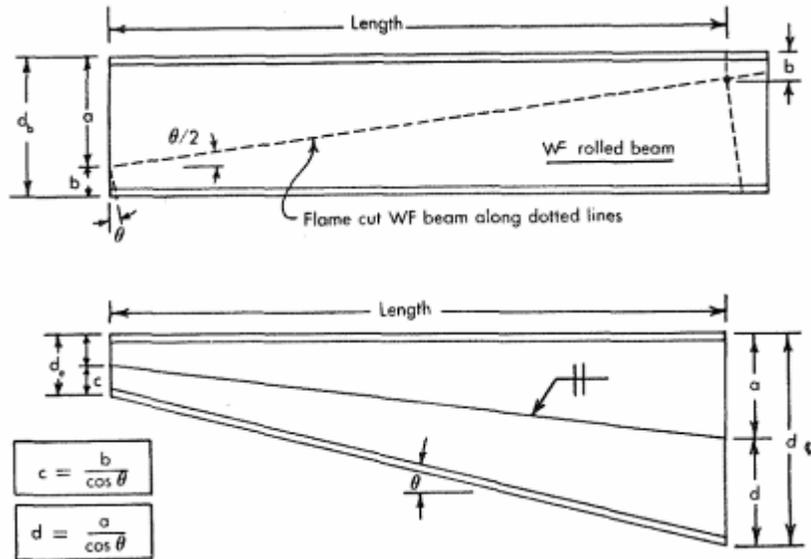


- Cocok digabung dengan bentuk modul seragam, berulang dan berkuantitas besar → Pre-engineered Steel Building.

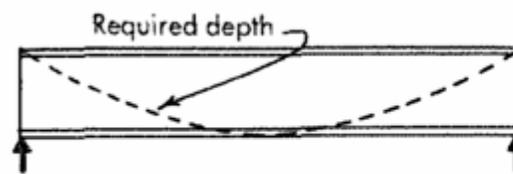


PERENCANAAN KHUSUS

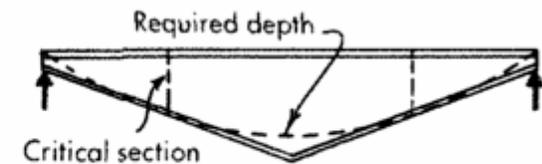
Rumus Pemotongan Batang Tapered (Blodget 1976)



Balok sederhana terhadap pembebanan merata maka lokasi tinggi kritis akan terletak pada $\frac{1}{4}$ bentangnya, dan bukan ditengah-tengahnya Blodget (1976)



(a) Conventional beam



(b) Tapered girder

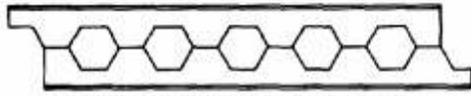


PERENCANAAN KHUSUS

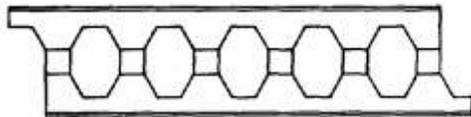
Sistem castellated – pada balok lentur



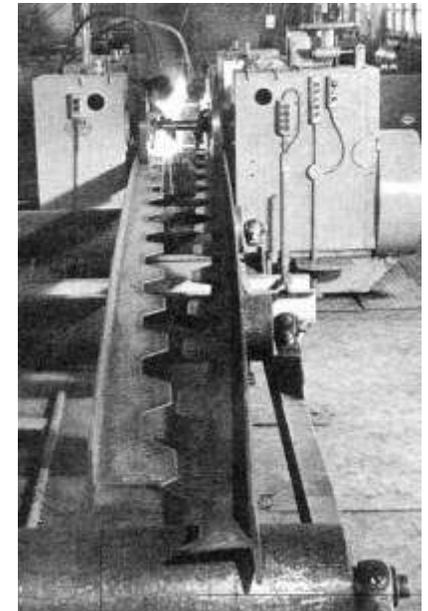
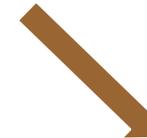
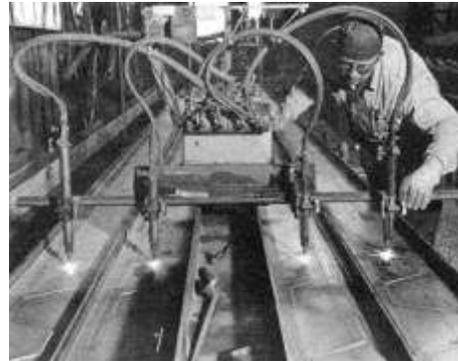
Buming Pattern



Rejoined Beam without Increment Plates



Rejoined Beam with Increment Plates

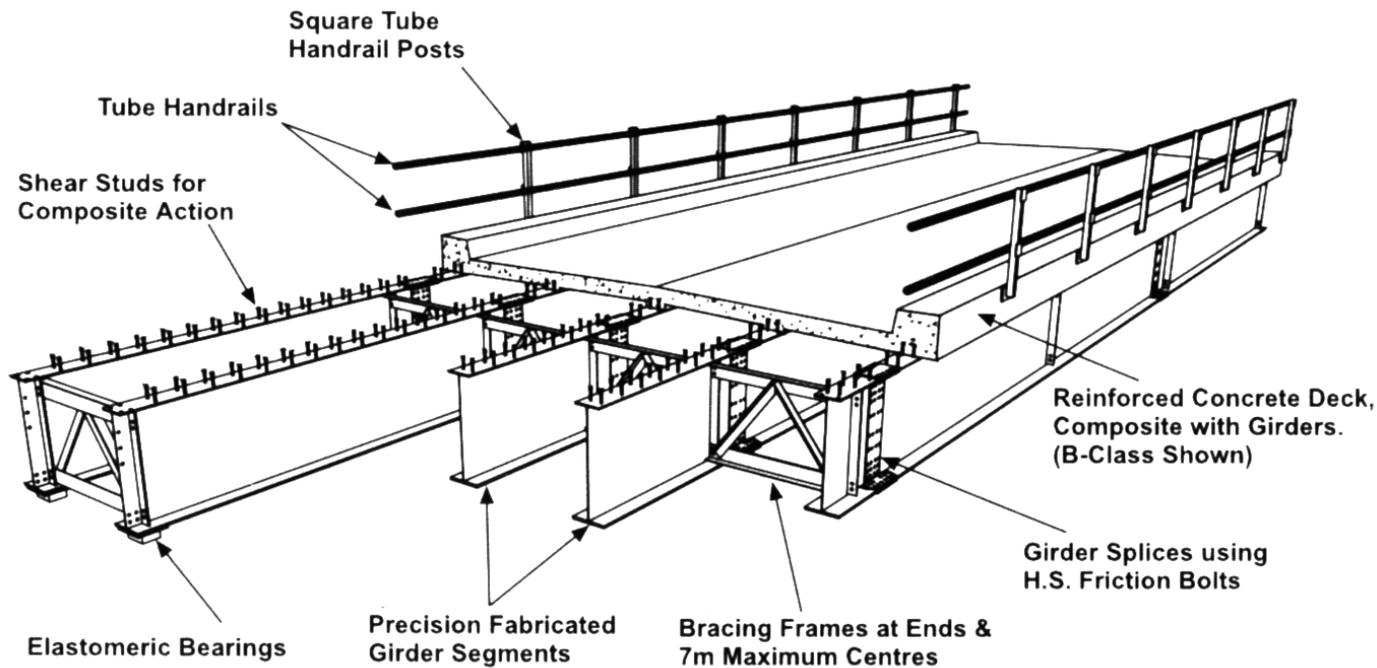




PERENCANAAN KHUSUS

Sistem gelagar komposit (dengan pelat lantai)

- Menguntungkan pada balok lentur, sisi tarik ditahan baja secara efisien, sisi desak ditahan beton yang besar dan tahanan tekuk yang lebih baik.
- Jika pakai baja di sisi desak → tidak efisien, kegagalan tekuk akan terjadi. Pemakaian baja mutu tinggi tak efisien.





PERENCANAAN KHUSUS

Sistem prategang pada konstruksi baja

- Agar efisien maka baja diposisikan **hanya menerima tarik** saja → **struktur kabel**.



Struktur kabel pada atap Olympic Stadium, Munich (Sumber : Wikipedia)

architect Günther Behnisch and the engineer Frei Otto

- Sistem ini juga contoh keunggulan baja dan **belum ada material lain** yang dapat diaplikasikan **dengan sistem struktur** seperti itu.



PERENCANAAN KHUSUS

Sistem prategang konvensional pada baja

- Penggunaan sistem prategang pada baja konvensional **prinsipnya mirip beton prategang**.
- Intinya **memberi gaya aktif pada struktur** → memberikan **reaksi arah berlawanan terhadap beban**.
- Masalah **gaya tekan** pada **elemen baja** beresiko **tekuk**.
- Struktur relatif ringan → gaya prategang → terangkat
- Struktur baja prategang menguntungkan untuk **konstruksi yang beban mati dominan**, misal balok (komposit) pemikul lantai beton gedung / jembatan.



PERENCANAAN KHUSUS

Sistem prategang pada balok baja

Perbandingan Pemakaian Material (Densford et. al 1990)

Kondisi Jembatan	Kebutuhan Baja (lbs)		Tulangan	Beton (cy)
	Profil			
I-Beams non-komposit	51,920 (A36)	100%	6535	35.7
I-Beams komposit	29,700 (A36)	57%	9310	44.4
	25,520 (A588)	49%		
Prategang komposit	18,150 (A588)	35%	6412	32.4

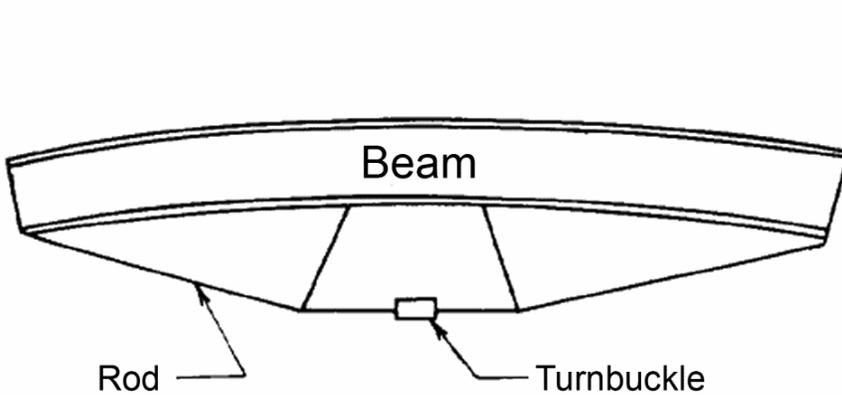
Ada tiga metode pemberian prategang balok baja

1. melalui kabel / batang prategang yang **diangkur di ujung-ujung**, seperti balok beton prategang biasa;
2. komponen mutu tinggi yang diberi prategang disatukan (dengan las) pada profil baja lain yang menghasilkan **balok hibrida**;
3. **pracetak prategang balok komposit**, saat pelat beton dicor pada profil baja dengan camber, diberikan gaya-gaya luar berlawanan arah camber.

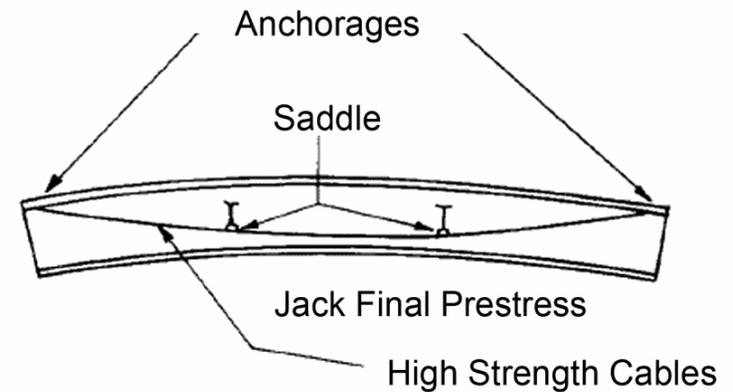


Sistem Prategang Balok Baja

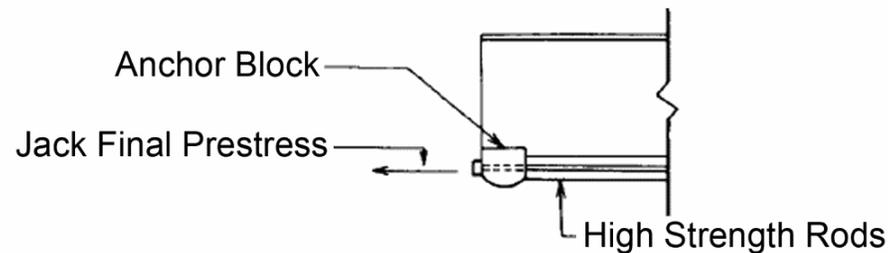
Sistem prategang dengan kabel yang diangkur



(a) Beam with Tensioned Rod



(b) Prestressed Beam with Draped Cable



(c) Part Elevation and Section Views of Prestressed Beam with Straight Rods



Sistem Prategang Balok Baja

Sistem prategang dengan kabel yang diangkur

- Karena kabel prategang ditempatkan di luar (external prestressing) → **cocok untuk perkuatan jembatan** yang ada.



a). Kabel dan saddle



b). Anchorages

Sistem perkuatan kabel pada jembatan Condret, Jakarta

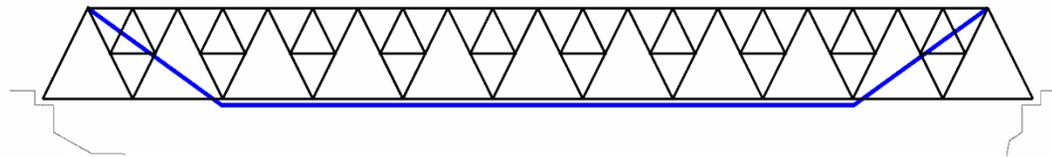
(Sumber : Daly dan Winarwan)



Sistem Prategang Balok Baja

Sistem prategang dengan kabel yang diangkur

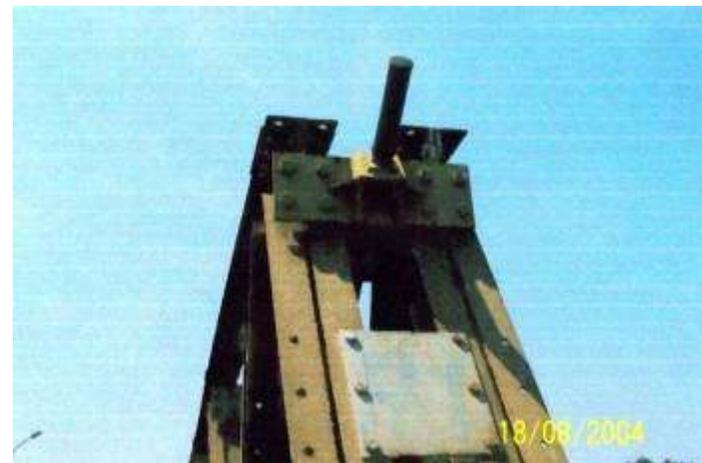
- Cara prategang luar (*external prestressing*) juga sukses diterapkan pada jembatan rangka baja.



a). Orientasi penempatan kabel prategang



b). Kabel dan saddle



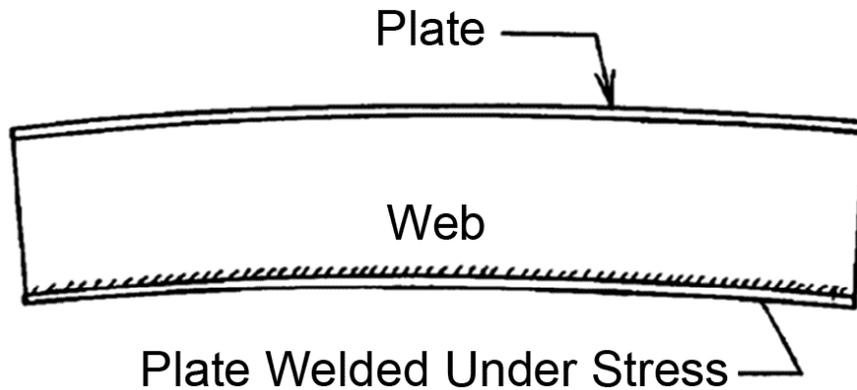
c). Anchorages

Aplikasi prategang pada jembatan Callendar Hamilton di Pantura (Zarkasi 2005)

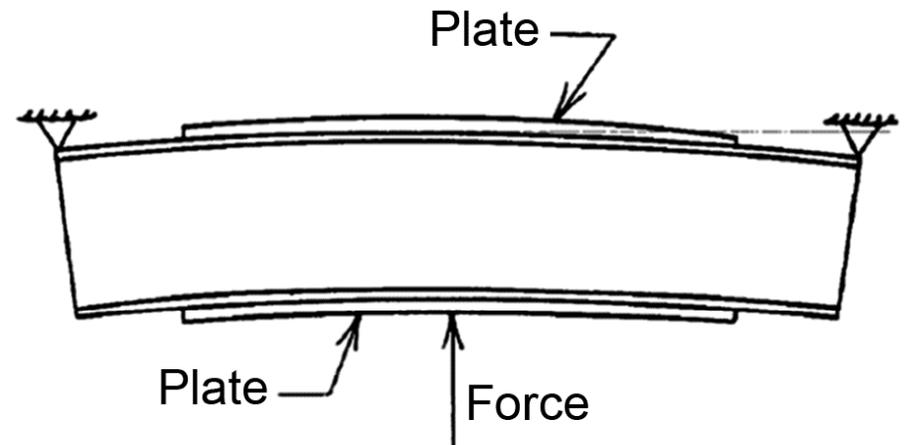


Sistem Prategang Balok Baja

Sistem prategang balok hibrida



a). Prestressing by Applying Direct Tension to High Strength Plate



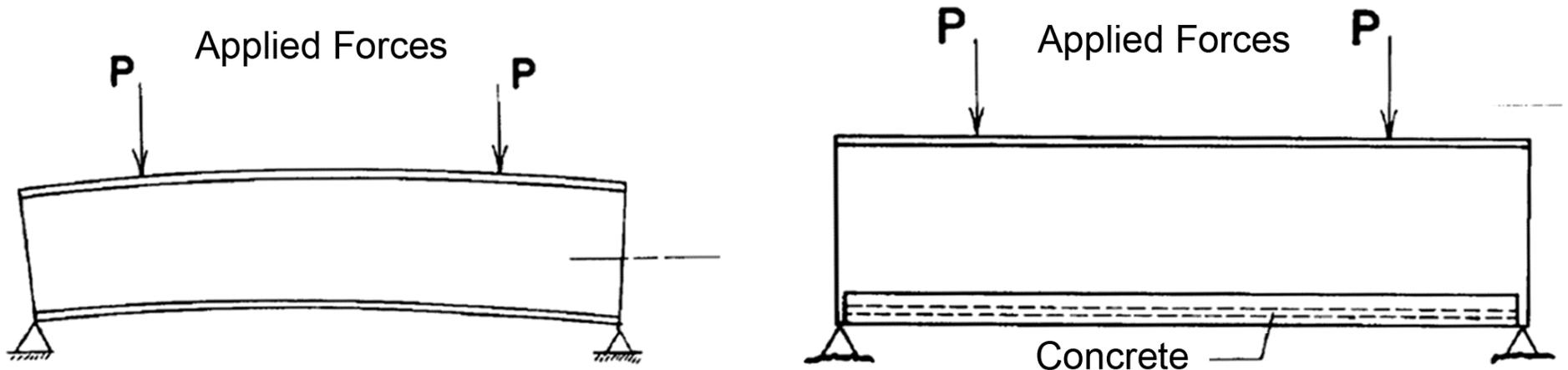
b). Prestressing by Deflecting a Beam and Attaching Cover Plate

- Tidak mudah diterapkan di lapangan → workshop fabrikasi.
- Fabrikasinya perlu alat khusus → biaya investasi. Hanya cocok untuk produk massal berkesinambungan.
- Ukurannya dibatasi alat transportasi



Sistem Prategang Balok Baja

Pracetak prategang balok komposit



a). Step 1 - Forces are Applied to Beam Furnished by Mill with Predetermined Camber

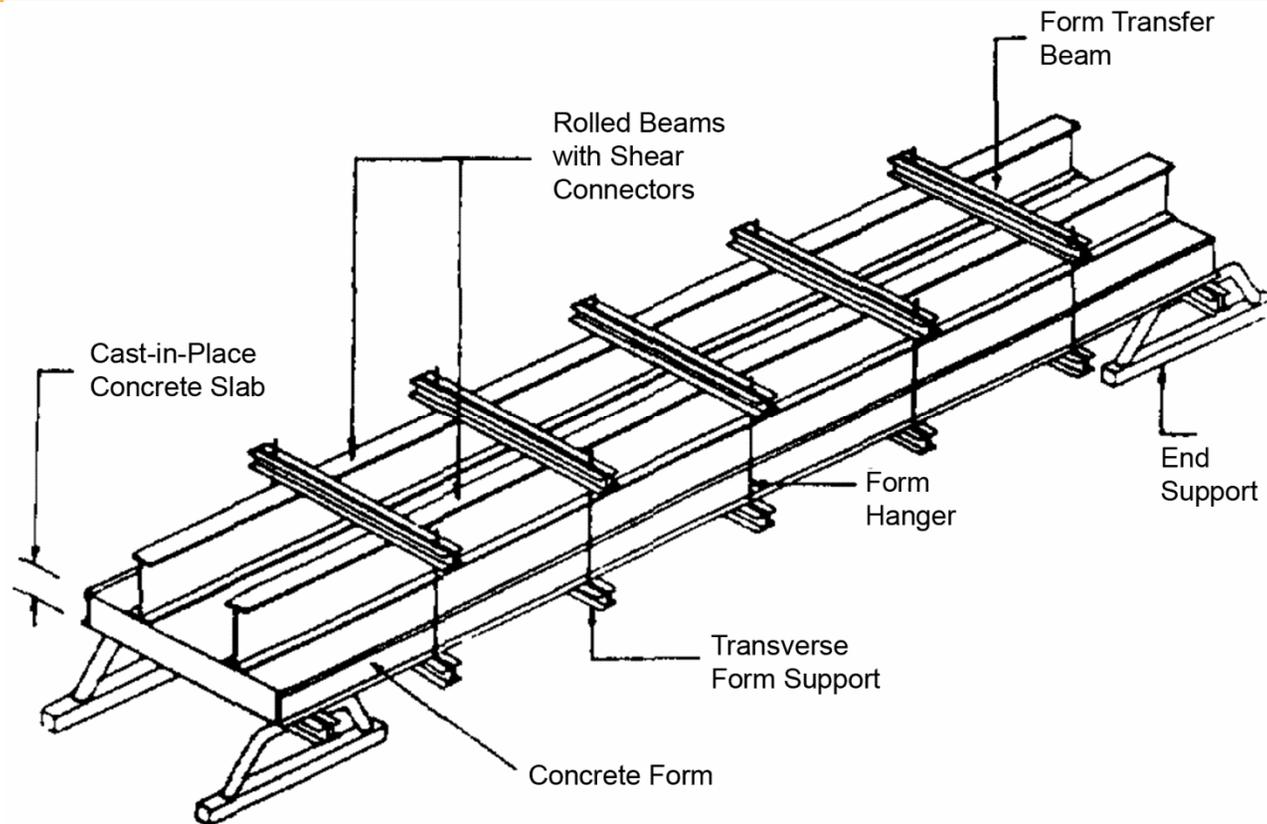
b). Step 2 - Concrete is Placed While Forces are Maintained

- Alternatif lain dari balok hibrida dengan memanfaatkan beban luar (gravitasi) sebagai gaya aktif prategang.
- Jika beban luar berupa sistem jack / dongkrak dikenal sebagai "Preflex Technique"



Sistem Prategang Balok Baja

Pracetak prategang balok komposit



- Jika beban luar berupa **berat sendiri pelat betonnya** dikenal sebagai sistem INVERSET, **inovasi riset** Fears Structural Engineering Laboratory, Universitas Oklahoma

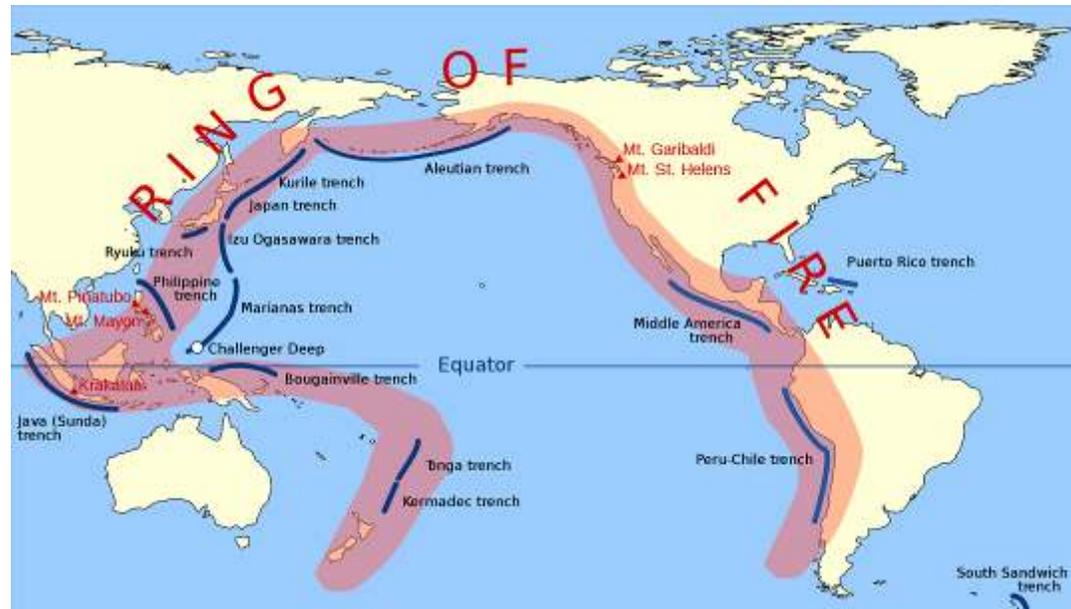


SISTEM STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA



SISTEM STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Indonesia masuk dalam wilayah peta Ring of Fire



- 26 Desember 2004 di Aceh 9.3 Skala Richter (SR)
- 27 Mei 2006 di Yogyakarta pada 5.9 SR
- 30 September 2009 di Padang pada 7.6 SR.
- 5 Agustus 2007 di Peru, pada 7.9 SR.
- 22 Februari 2011 di Christchurch, Selandia Baru pada 6.5 SR
- 11 Maret 2011 di Jepang pada 8.9 SR



STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Perilaku sistem struktur yang diharapkan

- Untuk beban tetap (gravitasi), angin dan gempa sedang → struktur berperilaku elastis.
- Tapi gempa besar, jika desain elastis sangat tidak praktis dan mahal maka diperbolehkan mengalami kondisi inelastis.
- Karena tidak ada jaminan bahwa gempa yang akan terjadi pasti selalu dibawah gempa rencana (code), → cara perencanaan struktur tahan gempa → metodologi *capacity design*.
- Struktur direncanakan sedemikian sehingga bila terjadi kondisi inelastis hanya terjadi ditempat tertentu sesuai terencana.
- Kondisi inelastis dapat dikontrol → tempat dissipasi energi. Sedangkan bagian struktur lain tetap berperilaku elastis.
- Jadi cara kerjanya seperti alat sekring (*fuse*) pada peralatan listrik saat menerima *overload*.



STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Sistem struktur baja tahan gempa

- Adanya bagian terpisah (**elastis** dan **inelastis**) mudah diterapkan pada konstruksi baja yang sifatnya modular atau segmen terpisah yang **tidak monolit**.
- Bandingkan konstruksi beton yang monolit (beton cast-in-situ).
- Selanjutnya **mana dari sistem yang akan bekerja seperti fuse** dan bagian mana yang tidak, **disitulah yang menjadi variasinya**.
- Struktur Special Moment Frames misalnya, yang akan berfungsi sebagai fuse, tempat **dissipasi energi** gempa, adalah **sendi plastis** yang terbentuk di balok.
- Untuk sistem struktur yang lain, bisa berbentuk lain (AISC 2005b, Geschwinder 2008). Akan ditinjau satu persatu.



STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Sistem portal (Moment-Frame Systems)

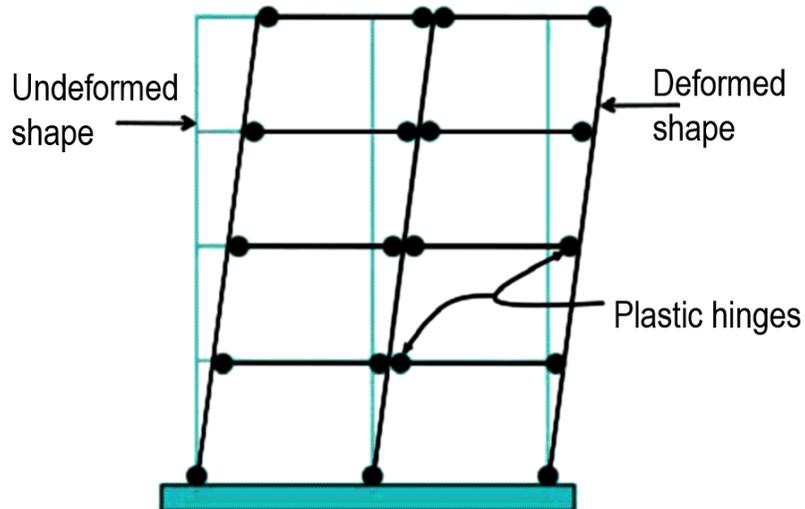
- Special Moment Frames (SMF)
- Intermediate Moment Frames (IMF)
- Ordinary Moment Frames (OMF)



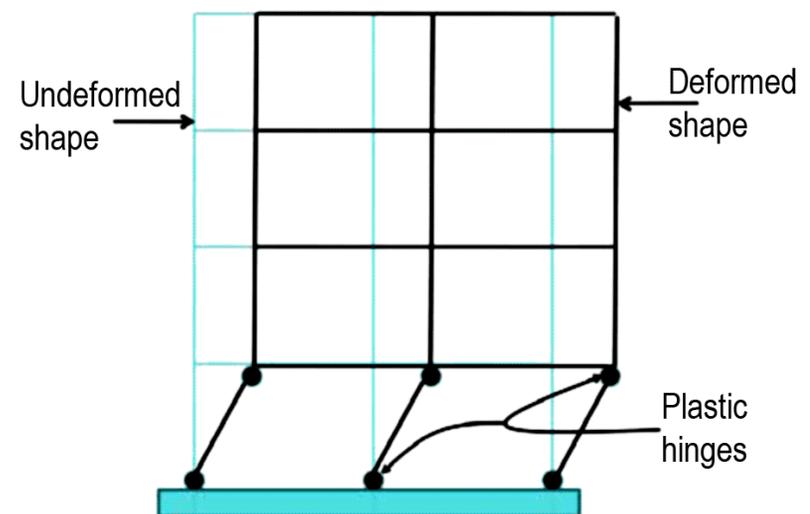
STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Sistem portal (Moment-Frame Systems)

- Struktur rangka harus berperilaku *strong-column-weak-beam* agar tidak ada sendi plastis di kolom → story mechanisms.



a). *Strong column-weak beam*



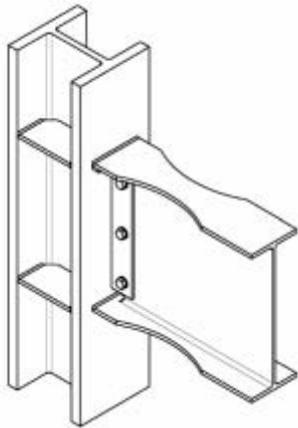
b). *Story mechanism*



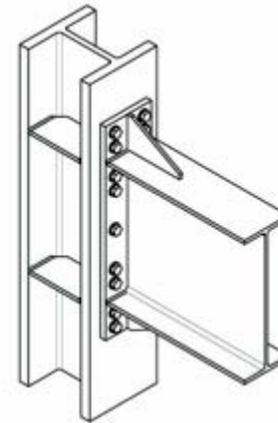
STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Sistem portal (Moment-Frame Systems)

- Jenis sambungan kolom-balok pada SMF harus didukung data empiris laboratorium, punya daktilitas yang cukup → mampu menahan perputaran sudut *interstory-drift* minimum sebesar 0.04 radian (Section 9.2a AISC 2005b).



a). Reduced beam



b). Extended End-Plate



STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Sistem rangka silang (Braced-Frame Systems)

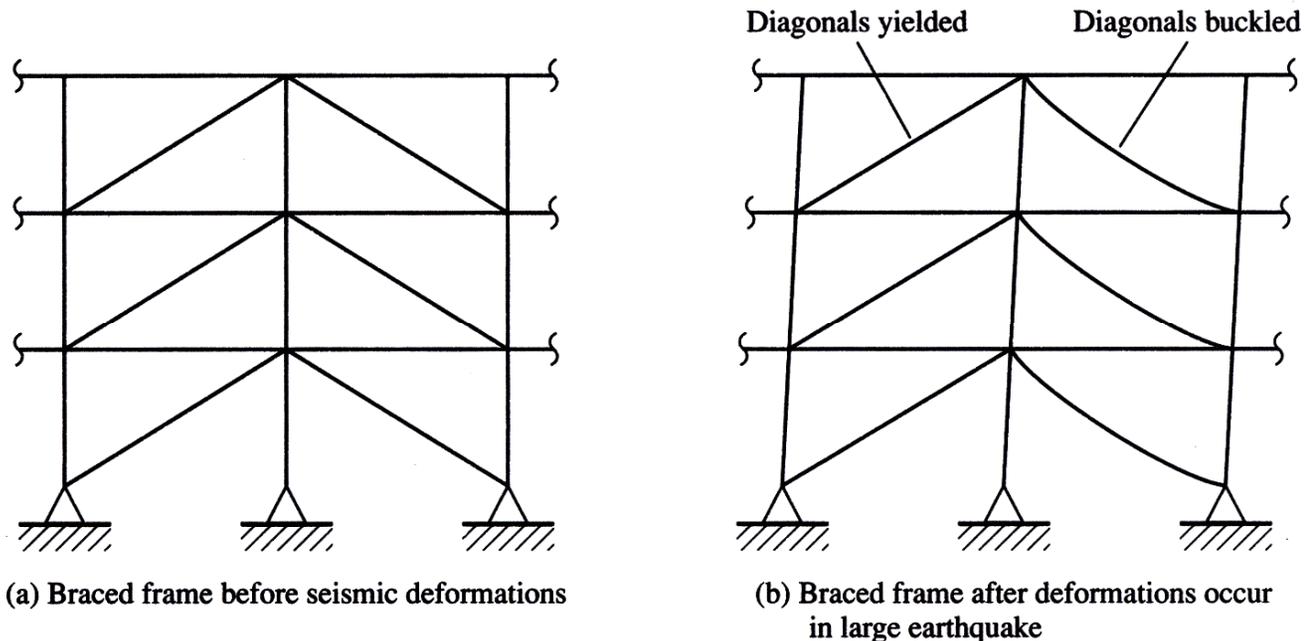
- Special Concentrically Braced Frames (SCBF)
- Ordinary Concentrically Braced Frames (OCBF)
- Eccentrically Braced Framed (EBF)



STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Special Concentrically Braced Frames (SCBF)

- Rangka yang menganut SCBF dikonfigurasi sedemikian sehingga **bracing bekerja sebagai fuse** melalui **aksi leleh tarik** atau **tekuk tekan batang diagonal** ketika terjadi gempa besar.



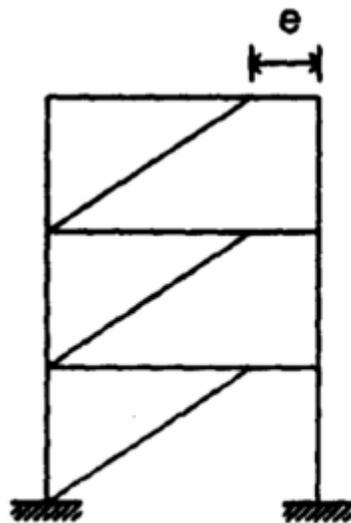
Mekanisme inelastis SCBF



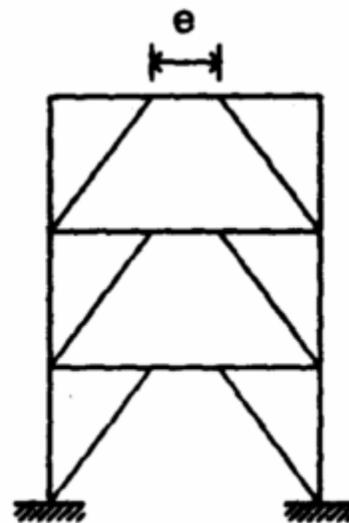
STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Eccentrically Braced Framed (EBF)

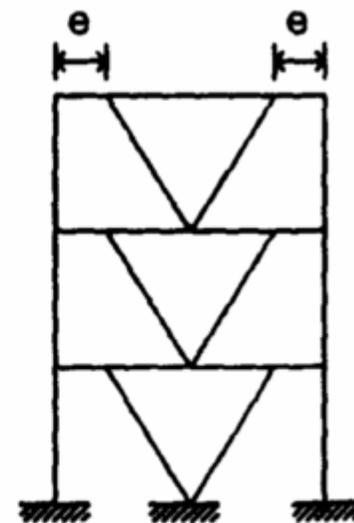
- Cara kerja rangka EBF mirip dengan SCBF hanya saja fuse atau **LINK** diharapkan bekerja secara **inelastik** memanfaatkan adanya **leleh geser** atau **leleh lentur** atau kombinasi keduanya.



a. D-braced EBF



b. Split-K-braced EBF



c. V-braced EBF

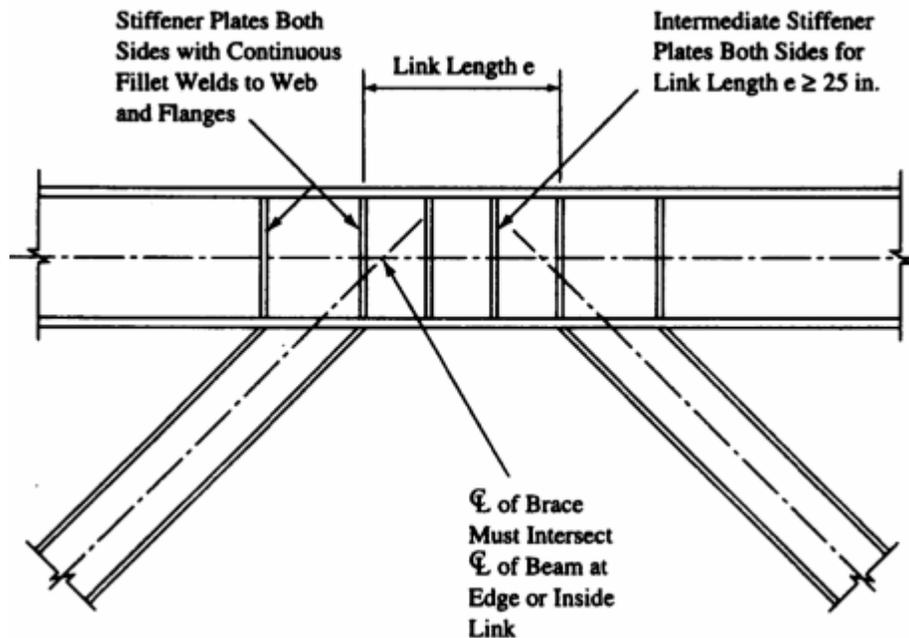
Berbagai variasi konfigurasi EBF (Sumber A. Whittaker)



STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Jenis Split-K-braced (EBF)

- Jenis Split-K-braced → **terbaik**, karena momen terbesar yang akan mendekati **kondisi plastik tidak terjadi di dekat kolom**.



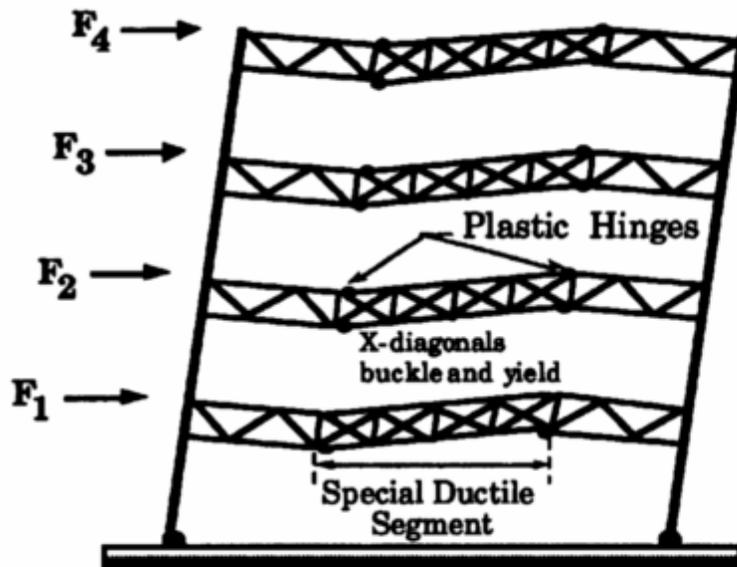
Split-K-braced EBF :Detail Link (kiri) dan Tampak (kanan)



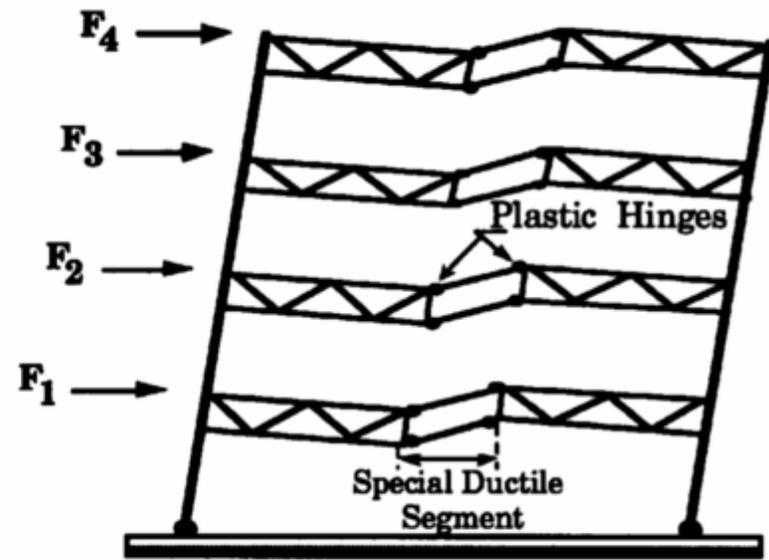
STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Special Truss Moment Frames (STMF)

- Sistem struktur dengan **truss** atau **Vierendeel** sebagai elemen horizontalnya. Saat gempa besar ada bagian **elemen horizontal yang mengalami inelastis**, bekerja sbgi *fuse* (dissipasi energi).



X-Diagonal Configuration of Special Segment



Vierendeel Configuration of Special Segment

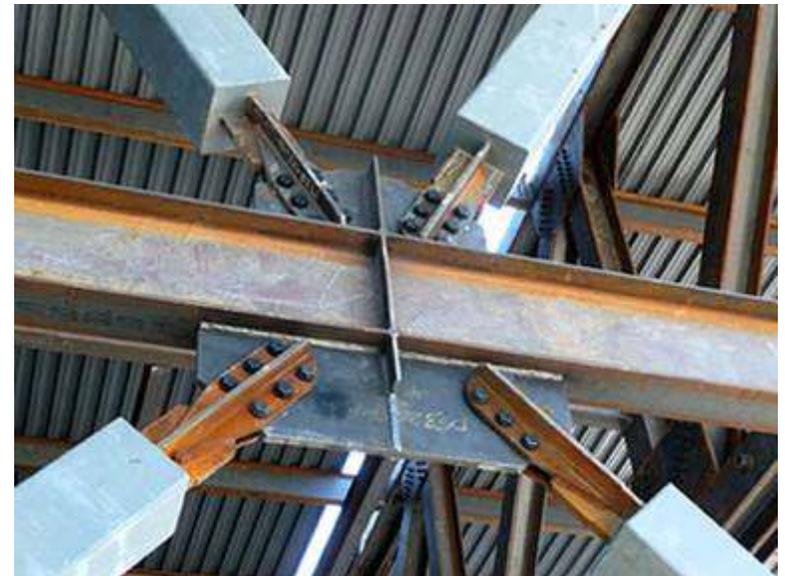
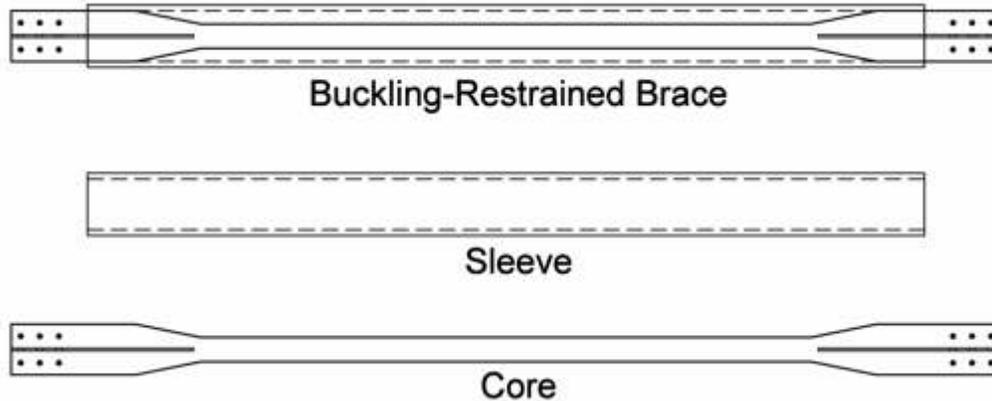
Perilaku inelastis STMF (Basha and Goel 1996)



STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Buckling-Restrained Braced Frames (BRBF)

- BRBF sejenis Concentrically Braced Frames tetapi bracing-nya berupa elemen khusus, **mampu berperilaku inelastis terhadap tarik dan tekan**. Untukantisipasi tekuk batang terbungkus elemen penutup mencegah tekuk.



Detail dan tampak BRBF (Sabelli and López 2004)



STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA

Special Plate Shear Walls (SPSW)

- Ini berbentuk struktur rangka dengan **dinding pengisi** berupa pelat baja di dalamnya, yang akan bekerja sebagai **fuse** dengan **mekanisme leleh pelat dan tekuk** (*tension field action*).



Steel Plate Shear Walls (Seilie and Hooper 2005)



PELAKSANAAN KONSTRUKSI BANGUNAN BAJA



PELAKSANAAN KONSTRUKSI BAJA

Perencana (Umum) – Kontraktor (Spesialis)

- Struktur baja belum mendominasi pemakaiannya di Indonesia sehingga **konsultan perencana umumnya bukan spesialis baja** saja, tetapi umum / general (tergantung proyek).
- **Kontraktor baja umumnya spesialis**, karena **mengerjakan pekerjaan baja perlu investasi lebih**, seperti misalnya peralatan khusus di bengkel kerja juga kompetensi s.d.m-nya.
- Ini bisa bikin masalah, **misal ketersediaan profil baja**. Konsultan berdasarkan tabel baja umum, sedang kontraktor berdasarkan ketersediaan stock pasaran. Hal-hal sepele ini kadang sumber inefisiensi proyek.



PELAKSANAAN KONSTRUKSI BAJA

Kelengkapan bengkel fabrikasi

- Cara sederhana pemilik proyek untuk mendapatkan **keyakinan** apakah proyek konstruksi baja miliknya akan berjalan lancar atau tidak adalah **mengunjungi bengkel fabrikasi** kontraktornya.



Workshop fabrikasi minimal ada alat angkat (*crane*), untuk yang modern ada mesin CNC, untuk memotong atau melubangi profil dengan kontrol komputer untuk menjamin tingkat presisinya.



PELAKSANAAN KONSTRUKSI BAJA

Sarana transportasi

- Jika fabrikasi selesai, selanjutnya mengangkut ke lapangan. Alat angkut tergantung dari jenis dan lokasi proyeknya





PELAKSANAAN KONSTRUKSI BAJA

Sarana Transportasi



Transportasi dan erection segmen jembatan Suramadu (Sumber : L. Hidayat)



PELAKSANAAN KONSTRUKSI BAJA

Erection / perakitan modul-modul di lapangan

- *Erection* tergantung kondisi lapangan. Oleh karena karakter lapangan gedung dan jembatan beda, maka strategi erection juga berbeda.
- Proyek gedung umumnya telah rapi terolah, datar. Jadi akses pekerja, alat berat tidak jadi masalah → dianggap tidak ada hal khusus dan dianggap biasa.
- Jadi strategi erection untuk gedung diserahkan kontraktor untuk memilihnya yang ekonomis.
- Perencana proyek baja gedung tidak memikirkan secara khusus strategi erection-nya. konsentrasi perencanaan struktur pada konfigurasi final.



PELAKSANAAN KONSTRUKSI BAJA

Erection di proyek gedung / industri

- Kontraktor bisa modifikasi detail sesuai kebiasaan. Jadi untuk sistem struktur khusus → perlu perhatian.
- Kebebasan memilih metoda pelaksanaan kadang terlalu kreatif (pelit) asal untung → K3 pekerja lupa.



a). Jabotabek



b). Luar negeri

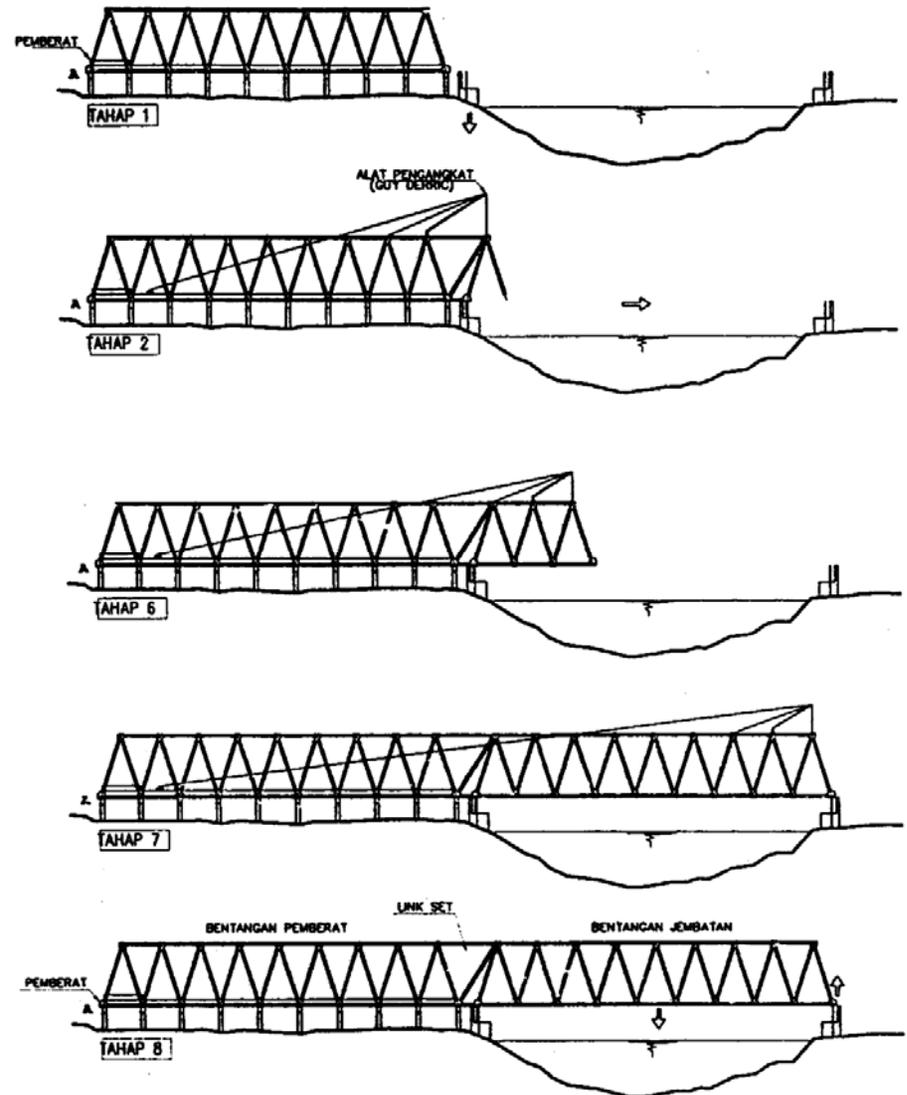
Kondisi K3 pada proses erection bangunan baja



PELAKSANAAN KONSTRUKSI BAJA

Erection di proyek jembatan

- *Erection* jembatan kondisi lapangannya kadang berat, susah menempatkan alat-alat berat dsb.
- Jadi perlu **dipikirkan saat perencanaan** → masuk dokumen perencanaan. Misal metode kantilever di gambar kanan.





PELAKSANAAN KONSTRUKSI BAJA

Erection di proyek jembatan

- Meskipun situasi dan kondisi proyek jembatan **lebih berat**, tapi **karena sudah direncanakan** maka tidak heran jika pelaksanaan proyek jembatan **lebih tertata dan lancar**.



Proses erection jembatan Berbak, Jambi (Sumber: L. Hidayat)



PERAWATAN BANGUNAN BAJA



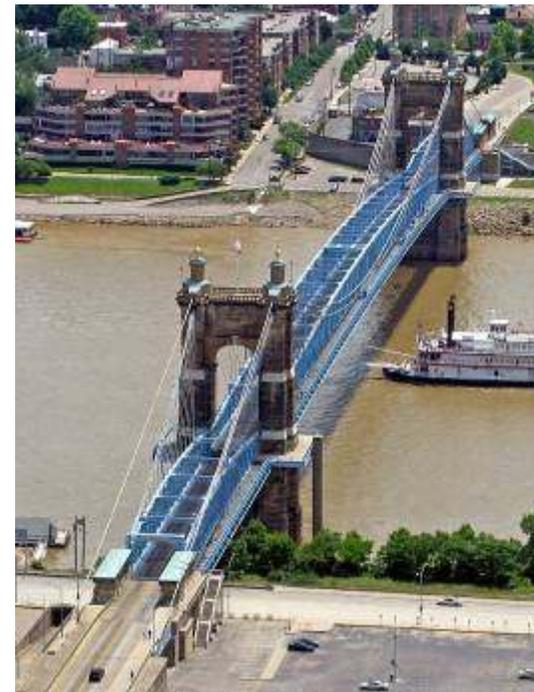
PERAWATAN BANGUNAN BAJA

Bangunan adakah usianya

- Sampai berapa lama usia suatu bangunan ?



a). Bantar Lama - Yogyakarta (1932)



b). Roebling – Ohio (1867)

- Apa penyebabnya, perencanaan atau pelaksanaan. Tapi jelas **faktor perawatan** yang membedakannya.



PERAWATAN BANGUNAN BAJA

Pentingnya perawatan

- Bangunan yang dirawat baik, fungsi bangunan tidak terbatas, selama pemakainya suka dan perlu.
- Boleh ganti fungsi, dulunya transportasi (jembatan), sekarang cagar budaya untuk daya tarik pariwisata.
- Tindakan perawatan baja jembatan lebih *urgent* dibanding gedung, sebab [a] beban jembatan bervariasi dan beresiko *fatigue*, [b] lokasi terbuka rentan pengaruh lingkungan alam.
- Adanya ketidak-sempurnaan proses perencanaan dan pelaksanaan → biaya perawatan lebih tinggi.



PUBLIKASI TENTANG BAJA



PUBLIKASI TENTANG BAJA

Pentingnya tulisan dan publikasi

- Menulis → bentuk komunikasi terpenting, apa yang di pikiran dapat diekspresikan tanpa perlu penulis hadir.
- Tulisan adalah dokumentasi pikiran, dapat disimpan dan berakumulasi, komunikasi lisan tidak bisa.
- Tulisan mempengaruhi masa depan masyarakat .





PUBLIKASI TENTANG BAJA

Peran publikasi tertulis dengan promosi baja

- Popularitas baja akan terwujud jika didukung **tulisan-tulisan positif** tentang itu.
- Seminar → OK, tapi keberhasilannya tergantung **besarnya penetrasi ke massa**, variabelnya **jumlah peserta** dan **frekuensi penyelenggaraannya / tahun**.
- Perlu **kerja keras**, **waktu** dan **dana (sponsor)**. Jadi perlu kerja sama dengan
 1. **Industri**,
 2. **Perguruan tinggi** dan
 3. **Asosiasi profesi**.





PUBLIKASI TENTANG BAJA

Ketersediaan tulisan dan keahlian baja

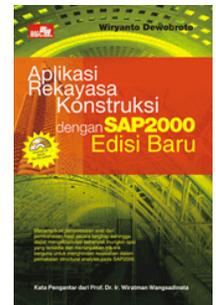
- Dari pemaparan sebelumnya diketahui bahwa **banyak pengetahuan dan ilmu tentang baja**.
- Perlu dipelajari → cari ahli atau guru.
- **Jika tak ada guru**, cara lainnya dengan membaca **publikasi tertulis** (buku, jurnal ilmiah) tentang hal itu.
- **Ketersediaan literatur** disuatu tempat **akan berbanding lurus** dengan **banyaknya profesional (ahli)**.
- Jika ahlinya yang memilih maka tentu **lebih memilih** material yang menjadi keahliannya tersebut.



PUBLIKASI TENTANG BAJA

Siapa yang mau buat publikasi baja

- Ahli baja di Indonesia pasti ada, tapi **yg ahli sekaligus mampu menulis baik**, adalah hal yang tidak mudah.
- Mengatasinya → **penerjemahan buku asing** terkenal. Tapi siapa yang memulai → keterbatasan dana.
- Jika penerbit → keuntungan → buku-buku **yang banyak dibutuhkan (populer)** saja.
- Buku **advance**, **pasarnya sedikit resiko rugi**. **Tidak mudah cari penerbitnya** → pengalaman penulis dengan buku-bukunya





PUBLIKASI TENTANG BAJA

Sponsor untuk penerbitan buku-buku baja

- Buku bermutu tapi langka peminat perlu sponsor, punya modal besar dan mau berinvestasi untuk tujuan lebih besar dari sekedar keuntungan jualan buku.
- Sponsor → konsorsium industri baja / semacamnya.
- Logikanya jelas, investasi untuk penerbitan buku, nilainya tidak sebanding dengan keuntungan finansial jika produknya dicari karena dibutuhkan orang.
- *Link-and-match* : industri – praktisi – perguruan tinggi.

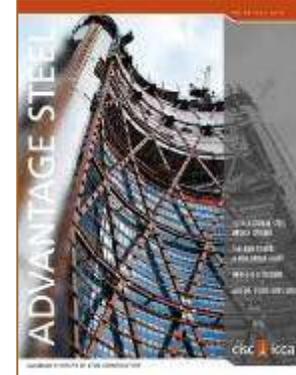
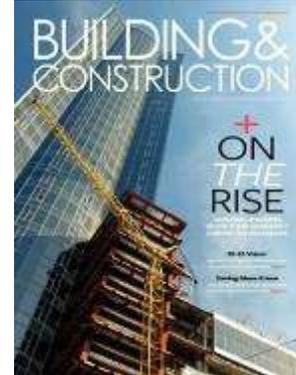
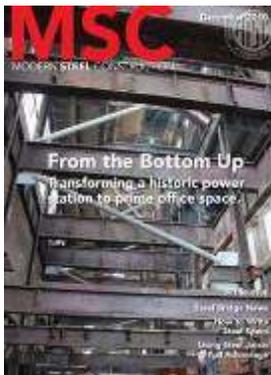




PUBLIKASI TENTANG BAJA

Literatur baja dan asosiasi profesi di USA

- Amerika Serikat (dan Kanada), konstruksi bajanya 'kuat' → ketersediaan literatur baja melimpah.
- Asosiasi profesi / industri membentuk komunitas saling menguntungkan → publikasi mengalir.
- Produk publikasi dari asosiasi berupa buku, jurnal, majalah, brosur, booklet dsb.





KESIMPULAN

Banyak hal telah diungkapkan tentang material baja pada gedung dan jembatan. Kendala dan prospek.

Juga ketersediaan publikasi tertulis yang terbatas terkait material baja. Meskipun ini terkesan sepele, tetapi diyakini akan jadi alat efektif promosi material baja pada konstruksi bangunan di Indonesia.

Terimakasih