

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Studi pustaka ataupun studi literatur merupakan suatu pembahasan materi berdasarkan sumber dari referensi-referensi yang telah dipergunakan dengan tujuan untuk memperkuat isi materi maupun sebagai dasar untuk perhitungan perencanaan dalam laporan tugas akhir ini.

Proses perencanaan jembatan yang terstruktur dan sistematis sangat diperlukan untuk menghasilkan produk perencanaan yang efektif dan efisien. JICA-1977 merekomendasikan Dasar-dasar Perencanaan Jembatan antara lain adalah :

Lokasi dan Alinyemen

Jembatan biasanya dirancang menurut trase lintasan tertentu yang diperoleh berdasarkan kesatuan pertimbangan dalam penentuan trase dan rancangan geometri jalannya. Dalam hal ini terkait dengan pertimbangan kehandalan alinyemen, stabilitas struktur, kemudahan pelaksanaan, pemeliharaan, dan pertimbangan ekonomi.

Faktor Eksternal

Permasalahan awal didalam perencanaan jembatan adalah penetapan panjang, bentang efektif, posisi pangkal dan pilar jembatan, arah lintasan, kebebasan ruang, dan penurunan pondasi. Faktor-faktor ini sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi, kekuatan tanah dasar, karakteristik perlintasan (sungai atau jalan), dan kondisi lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu sangat diperlukan survei yang memadai sesuai faktor-faktor yang dipertimbangkan tersebut.

Stabilitas Struktur dan Pertimbangan Ekonomi

Secara struktural, jembatan yang dirancang harus cukup stabil (kuat, kokoh, stabil). Akan tetapi perlu juga dipertimbangkan aspek ekonomi.

Perancangan alternatif termasuk didalamnya pelaksanaan konstruksi atau metode pelaksanaannya dilakukan untuk pertimbangan pemilihan alternatif terbaik.

Pertimbangan Pelaksanaan dan Pemeliharaan

Faktor biaya dalam skala mikro jangka pendek maupun makro jangka panjang biasanya menjadi faktor yang dominan dalam perancangan jembatan. Biaya pelaksanaan maupun pemeliharaan menjadi sangat penting. Sehingga pertimbangan pelaksanaan dan pemeliharaan tersebut perlu mendapat perhatian yang memadai.

Standarisasi

Dalam perencanaan jembatan, kesesuaian panjang dan tipe jembatan biasanya diuji secara individual setiap jembatan, tetapi pada tahap akhir perencanaan perlu dilakukan koordinasi secara keseluruhan dengan menganalisis seluruh jembatan yang diprogramkan. Dalam penanganan jembatan dengan kuantitas yang besar, produksi massal komponen jembatan menjadi lebih efisien dan efektif dibandingkan produksi satu persatu. Sehingga standarisasi jembatan baik menurut tipe, ukuran, kespesifikan rancangan, kemudahan pengawasan dan pelaksanaan perlu dilakukan.

Stabilitas Pelayanan dan Kenyamanan

Kondisi alinyemen termasuk komponen struktur jembatan khususnya pada sambungan-sambungan sangat berpengaruh terhadap pelayanan jembatan dan kenyamanan kendaraan yang melaluinya. Sehingga dalam perancangan jembatan, faktor keamanan dan kenyamanan jembatan dalam melayani kendaraan yang melaluinya perlu dipertimbangkan.

Aspek Keindahan (Aestetika)

Dalam perancangan struktur jembatan sangat perlu dipertimbangkan aspek keindahan elemen jembatan sejauh masih dalam jangkauan pertimbangan

ekonomi, sehingga jembatan menjadi indah, serasi, dan menyatu dengan lingkungan sekitarnya.

Sedangkan menurut BMS-1992, Prinsip-Prinsip Perancangan Jembatan antara lain meliputi :

- Kehandalan kekuatan elemen struktur dan stabilitas sistem struktur
- Kelayanan struktural
- Keawetan
- Kemudahan pelaksanaan
- Ekonomis
- Aestetis

Beberapa aspek yang perlu ditinjau dan diperlukan nantinya didalam pertimbangan perencanaan jembatan antara lain meliputi :

- Aspek Lalu Lintas atau Transportasi
- Aspek Geometri
- Aspek Kondisi Tanah
- Aspek Konstruksi

2.2 Aspek Lalu Lintas atau Transportasi

Lalu lintas merupakan aspek utama yang perlu dianalisis dalam menentukan klasifikasi jalan dan jumlah jalur lalu lintas khususnya untuk perancangan jembatan.

Ada dua cara untuk mengetahui aspek lalu lintas, yaitu :

a. Perhitungan biasa (manual)

Merupakan perhitungan dengan mencatat semua kendaraan yang lewat.

b. Perhitungan mekanik

Yaitu perhitungan dengan suatu unit mekanik, volume lalu lintas dinyatakan dalam lalu lintas harian rata – rata dalam satuan kendaraan maupun dalam satuan mobil penumpang (smp) dengan mengalikan suatu bilangan ekuivalen.

Jenis kendaraan juga dikelompokkan menjadi :

- a. Sepeda motor
- b. Mobil, meliputi sedan, kendaraan komersil kecil, dan semua kendaraan roda empat dengan berat kosong sampai dengan 1,5 ton
- c. Pick up, mobil hantaran, bis ukuran kecil dan truk ringan
- d. Heavy Good Vehicle (HGV) merupakan kendaraan barang berat yaitu trailer, bus panjang dan biasanya dengan enam roda atau lebih
- e. Public Service Vehicle (PSV) mencakup bus, trailer dan bus panjang

2.2.1. Sistem Jaringan Jalan dan Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Pedoman utama fungsi jalan seperti yang tercantum dalam Undang-undang No. 13 tahun 1980 tentang jalan. Berdasarkan fungsi / peranan, jalan dibagi menjadi :

- a. Sistem jaringan jalan primer
 - o Arteri primer
 - o Kolektor primer
 - o Lokal primer
- b. Sistem jaringan jalan sekunder
 - o Arteri sekunder
 - o Kolektor sekunder
 - o Lokal sekunder

Kelas jalan menurut Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya No. 13 tahun 1970 diklasifikasikan sebagai berikut :

Klasifikasi Fungsi	Kelas	LHR (smp)
Utama	I	> 20.000
	IIA	6.000 - 20.000
Sekunder	IIB	1.500 - 8000
	IIC	< 2.000
Penghubung	III	-

Tabel 2.1. Kelas Jalan

2.2.2. Kebutuhan Lajur

Penentuan lebar lajur dan kondisi permukaan mempunyai pengaruh yang sangat besar pada keamanan dan kenyamanan mengemudi. Lebar lajur terdiri atas lebar kendaraan dan ruang bebas menyiap yang berubah menurut kecepatan kendaraan.

Kelas jalan	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Kelas 5
Lebar jalan	3.50	3.25	3.00	2.75	4.50 (1 jalur)

Tabel 2.2. Lebar jalur

2.2.3. Arus dan Komposisi Lalu lintas

Berpedoman pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997), jalan luar kota (hal. 6 – 44) bahwa nilai arus lalu lintas (Q) mencerminkan lalu lintas dengan menyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp).

Semua nilai arus lalu lintas dikonversikan menjadi smp dengan menggunakan ekivalen mobil penumpang (EMP) yang diturunkan secara empiris untuk masing-masing tipe kendaraan.

Sesuai dengan tipe jalan yang akan direncanakan adalah jalan dua (2) lajur dua (2) arah terbagi (2/2 UD), dengan tipe alinyemen berbukit dan arus total kendaraan 650 – 1100 kendaraan/jam adalah, sebagai berikut :

- Kendaraan ringan (LV = 1)
Meliputi mobil penumpang, mini bus, truck pick up, jeep, dan sedan.
- Kendaraan berat menengah (MHV = 2,4)
Meliputi truck dua (2) gardan dan bus kecil.
- Bus besar (LB = 5,0)
Meliputi truck tiga (3) gardan atau lebih dan truck gandeng.

Pengaruh kendaraan tak bermotor (UMC) dimasukkan sebagai kejadian terpisahkan dalam faktor penyesuaian hambatan samping.

2.2.4. Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR)

Volume lalu lintas harian rata-rata menyatakan jumlah lalu lintas perhari dalam satu (1) tahun untuk dua (2) jalur yang dinyatakan dalam LHR, maka harus dilakukan penyelidikan lapangan selama 24 jam selama satu (1) tahun yang dilaksanakan tiap tahun dengan mencatat jenis kendaraan bermotor, kendaraan fisik atau tak motor.

Jumlah lalu lintas dalam satu (1) tahun dinyatakan sebagai lalu lintas harian rata-rata (LHR)

$$LHR = \frac{\text{Jumlah Lalu Lintas Dalam 1 Tahun}}{365}$$

Pada umumnya lalu lintas jalan raya terdiri dari campuran kendaraan ringan, cepat, lambat, kendaraan bermotor, maka hubungan dengan kapasitas jalan (jumlah kendaraan maksimum) yang melewati satu titik atau satu tempat dalam satu satuan waktu mengakibatkan adanya pengaruh dari setiap jenis kendaraan terhadap keseluruhan arus lalu lintas.

Pengaruh ini diperhitungkan dengan mengekivalenkan terhadap keadaan standart, yang dikelompokkan terhadap setiap jenis/tipe kendaraan menjadi satuan mobil penumpang (smp).

Untuk memperkirakan pertumbuhan lalu lintas untuk tahun yang akan datang dapat dihitung dengan rumus “bunga berganda”, yaitu :

$$LHR_{(n)} = LHR_{(0)} * (1 + i)^n$$

dimana :

$LHR_{(n)}$ = LHR tahun ke-n

$LHR_{(0)}$ = LHR awal tahun rencana

i = Faktor pertumbuhan

n = Umur rencana (%)

Untuk memprediksi faktor pertumbuhan (i). Didapat dari data LHR yang ada dihitung tingkat pertumbuhan tahunnya dan sebagai angka pertumbuhan pembandingan diambil dari data Statistik (Pertumbuhan penduduk, pendapatan domestik regional bruto dan data kepemilikan kendaraan), dari kedua data tersebut diambil pertumbuhan yang dianggap paling rasional.

Dapat juga digunakan rumus empiris untuk memperoleh nilai faktor pertumbuhan (i), yaitu :

$$b = a (1 + i) ^ n$$

dimana :

a = Data tahun awal

b = Data tahun akhir

n = Tahun data akhir – tahun data awal

i = Pertumbuhan

2.2.5. Kapasitas Jalan

Analisis Kapasitas untuk jalan tak terbagi, semua analisa (kecuali analisa kelandaian khusus) dilakukan pada kedua arah, menggunakan satu set formulir. Untuk jalan terbagi, analisa dilakukan pada masing-masing arah dan seolah-olah masing-masing arah adalah jalan satu arah yang terpisah.

Analisis Kapasitas standar berdasarkan MKJI 1997, jalan antar kota (inter urban road) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$C = C_o \times F_{cw} \times F_{csp} \times F_{csf} \quad (\text{smp/jam})$$

dimana :

C = Kapasitas

C_o = Kapasitas dasar

F_{cw} = faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas

F_{cs}p = faktor penyesuaian akibat pemisahan arah

F_{cs}f = faktor penyesuaian akibat hambatan samping

2.2.6. Degree of Saturation (DS)

Degree of saturation atau disebut juga derajat kejenuhan merupakan angka perbandingan antara Volume Jam Puncak (VJP) lalu lintas pada suatu jalan dengan kapasitas (C) itu sendiri. Derajat kejenuhan yang diisyaratkan oleh MKJI 1997 adalah sebesar 0,75. Apabila DS atau $\frac{VJP}{C} \leq 0.75$ atau bahkan sudah ≥ 0.75 , maka perlu diadakan manajemen lalu lintas ulang maupun diadakan pelebaran jalan.

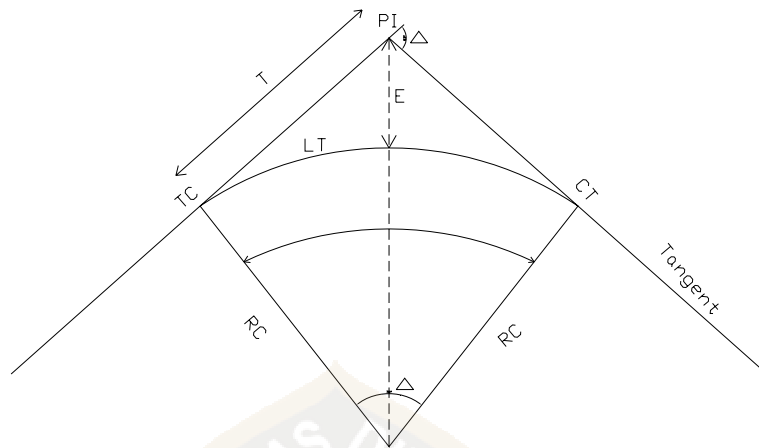
2.3 Aspek Geometri

Analisa terhadap geometrik jembatan dilakukan untuk mendapatkan desain jembatan yang ekonomis, tepat guna, aman, dan nyaman bagi pengendara kendaraan yang keluar masuk jembatan.

Perencanaan geometrik secara umum menyangkut aspek-aspek perencanaan bagian-bagian jalan seperti alinyemen horizontal dan vertikal, penampang melintang, jarak pandang, serta jalan pendekat (oprit).

2.3.1 Alinyemen Horizontal

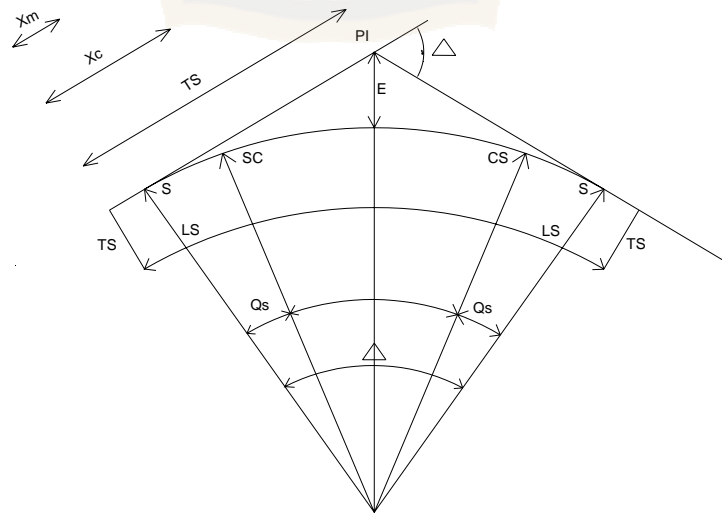
Alinyemen horizontal merupakan proyeksi sumbu jalan pada bidang horizontal, sering disebut sebagai situasi jalan atau trase jalan. Terdiri atas garis lurus dan garis lengkung yang berupa bagian dari lingkaran dan lengkung peralihan. Dalam perancangan tikungan dikenal 2 bentuk lengkung dasar yang sering digunakan yaitu lengkung lingkaran (*circle*) dan lengkung spiral (lengkung peralihan). Oleh karena itu dikenal beberapa bentuk tikungan dalam perancangan yaitu lingkaran penuh (*full circle*), spiral – spiral (S-S) dan spiral-lingkaran-spiral (S-C-S).



Gambar 2.1. Lingkaran Penuh (full circle)

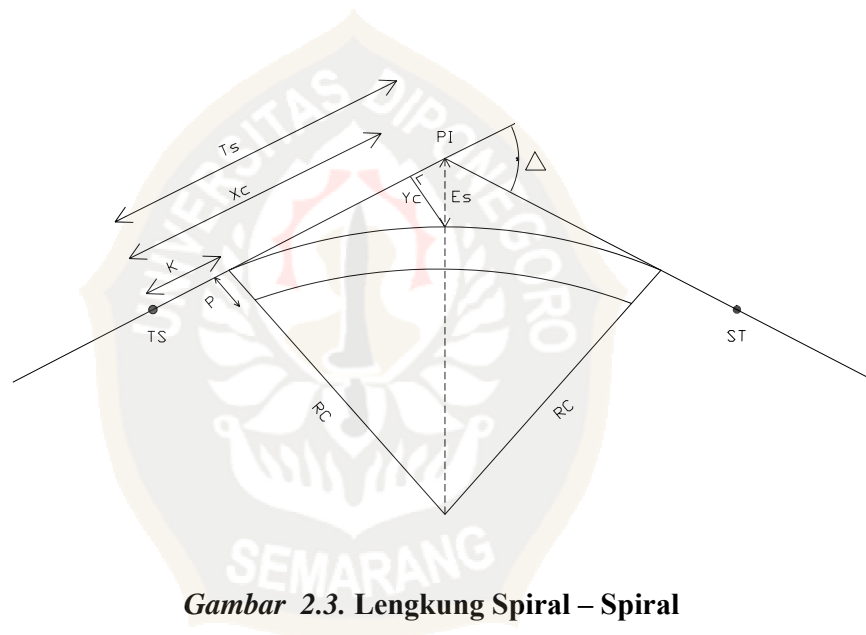
Bentuk tikungan ini digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari tikungan yang besar dan sudut tangent yang kecil.

Karena tikungan hanya berbentuk lingkaran saja, maka pencapaian superelevasi dilakukan sebagian pada bagian jalan yang lurus dan sebagian lagi dilakukan pada bagian lingkaran (lengkung).



Gambar 2.2. Lengkung Spiral – Circle - Spiral

Pada bentuk *Spiral-Circle-Spiral* ini, untuk lengkung S-C-S radius minimum ditentukan oleh panjang busur lingkaran yang terjadi. Hal ini sangat bergantung dari sudut tangen yang direncanakan. Rmin disini adalah radius yang menghasilkan $L_c \geq 20$ cm untuk sudut tangen yang direncanakan.



Gambar 2.3. Lengkung Spiral – Spiral

Bentuk tikungan ini merupakan lengkung horizontal tanpa busur lingkaran. Berupa tikungan tajam dengan sudut tangen (Δ) sangat besar.

$$L_c = 0 \text{ dan } \theta_s = \frac{1}{2} \Delta$$

R_c yang digunakan harus menghasilkan L_s yang dibutuhkan lebih besar dari L_s yang menghasilkan landai relatif yang minimum yang diisyaratkan.

2.3.2 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah garis potong yang dibentuk oleh bidang vertikal melalui sumbu jalan, yang menyatakan bentuk geometri jalan dalam arah vertikal, dapat disebut juga penampang vertikal.

Alinyemen vertikal dibagi dalam beberapa syarat. Antara lain :

- Lengkung vertikal berdasar jarak pandang henti dibagi menjadi :
lengkung vertikal cembung dan cekung
- Berdasar syarat drainase (Lengkung vertikal cembung dan cekung)
- Berdasar syarat kenyamanan
- Berdasar jarak panjang menyiap (hanya lengkung vertikal cembung)

2.3.3 Penampang Melintang

Tipe potongan penampang melintang jalan ditentukan oleh jumlah lajur dan arah pada suatu segmen jalan. Pada potongan penampang melintang jalan terdapat lebar lajur dan jumlah lajurnya, bahu jalan, median, dan trotoar.

- Lebar lajur

Tidak ada keistimewaan jalan raya yang mempunyai pengaruh yang lebih besar pada keamanan dan kenyamanan mengemudi selain lebar dan kondisi permukaan. Lebar lajur terdiri atas lebar kendaraan dan ruang bebas menyiap yang berubah menurut kecepatan kendaraan. Pada jalan raya dengan dua lajur – dua arah, diisyaratkan lebar lajur 3,50 m untuk memungkinkan ruang bebas yang diijinkan diantara truk atau kendaraan komersil lainnya. Lebar 2,75 m memenuhi kebutuhan minimum bagi 2 truk untuk saling melewati pada kecepatan yang paling rendah. Jadi lebar lajur 3,75 m diperuntukkan untuk kelas 1 dan diturunkan, kelas demi kelas sampai 2,75 m untuk kelas 4. Sedangkan untuk jumlah lajur didapat dari perbandingan volume lalu lintas standar dan volume lalu lintas rencana pada jalan raya yang diproyeksikan.

o Bahu jalan

Fungsi utama bahu jalan adalah untuk melindungi bagian utama jalan, berfungsi sebagai tempat parkir, menyediakan ruang bebas samping bagi lalu lintas, meningkatkan jarak pandang pada tikungan dan berfungsi sebagai trotoar dalam hal belum tersedianya trotoar. Bahu yang sempit dapat meningkatkan gangguan dari sisi jalan dan dapat mengurangi kapasitas jalan raya. Lebar bahu jalan harus ditentukan dengan mempertimbangkan manfaat maupun biaya pembangunannya. Bahu jalan harus memenuhi syarat lebar minimum mutlak seperti pada Tabel 2.3. Jika ada trotoar di samping bahu jalan, maka lebar bahu jalan bisa dipersempit sampai 0,5 m.

	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Kelas 5
Lebar minimum mutlak	1,25 m	1,00 m	0,75 m	0,75 m	0,75 m
Lebar bahu jalan yang diinginkan	3,00 m	2,50 m	2,50 m	2,50 m	1,50 m

Tabel 2.3. Lebar Bahu Jalan

o Median

Jalan raya yang memuat empat lajur atau lebih harus mempunyai median. Fungsi utama median adalah untuk memisahkan dua jurusan arus lalu lintas demi keamanan untuk memungkinkan kecepatan tinggi, membatasi belokan, membentuk lajur belok kanan pada persimpangan, dan untuk mengurangi sorot lampu. Manfaat lainnya median dapat menyediakan ruang hijau terbuka.

- o Trotoar

Trotoar tidak dibutuhkan pada jalan raya di daerah luar kota bila lalu lintas dan tingkat kepadatan penduduk rendah. Dalam situasi demikian sebagian lebar bahu jalan dapat menggantikan trotoar. Jika volume lalu lintas atau jumlah pejalan kaki lebih tinggi, maka harus dipakai bahu jalan yang lebih lebar.

2.3.4 Jarak Pandang

Jarak pandang adalah suatu jarak yang diperlukan pengemudi pada saat mengemudi sedemikian sehingga jika pengemudi melihat suatu penghalang yang membahayakan, pengemudi dapat melakukan sesuatu untuk menghindari bahaya tersebut dengan aman.

Jarak pandang dibedakan menjadi dua yaitu jarak pandang henti dan jarak pandang mendahului.

- o Jarak pandang henti.

Jarak pandang henti merupakan jarak minimum yang diperlukan oleh setiap pengemudi untuk menghentikan kendaraannya dengan aman begitu melihat halangan yang ada didepan.

- o Jarak pandang mendahului.

Jarak pandang mendahului merupakan jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain yang ada didepannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke jalur semula.

2.3.5 Oprit

Oprit jembatan berfungsi untuk melandaikan jalan yang menuju dan meninggalkan jembatan sehingga pada waktu memasuki jembatan tidak terlalu menanjak. Perencanaan oprit dibuat seekonomis mungkin sehingga dari segi biaya rendah serta segi estetikanya memenuhi syarat keindahan.

Konstruksi oprit ini juga memakai perlakuan khusus seperti :

- Penggunaan geotextile
Penggunaan geotextile dimaksudkan agar elevasi oprit tetap / tanahnya tidak turun.
- Pemakaian pasangan batu
Pasangan batu digunakan di sisi kiri dan kanan oprit. Penggunaannya adalah sebagai dinding penahan untuk mencegah longsoran pada konstruksi oprit.
- Pemakaian timbunan biasa
Pemakaian timbunan biasa dimaksudkan agar konstruksi oprit lebih ekonomis.

2.4 Aspek Kondisi Tanah

Tinjauan aspek tanah pada perencanaan jembatan ini meliputi tinjauan terhadap data-data tanah yang ada seperti : nilai kohesi, sudut geser tanah, γ tanah, nilai California Bearing Ratio (CBR), kadar air tanah dan void ratio, agar dapat ditentukan jenis pondasi yang akan digunakan, kedalaman serta dimensinya. Selain itu data-data tanah diatas juga dapat untuk menentukan jenis perkuatan tanah dan kestabilan lereng (stabilitas tanah) guna mendukung keamanan dari struktur yang akan dibuat. Penyelidikan tanah untuk perencanaan pondasi jembatan dan jalan pendekat oprit, dimasukkan untuk mengetahui daya dukung tanah (DDT) dilakukan dengan penyelidikan laboratorium terhadap contoh tanah timbunan yang akan digunakan. Selanjutnya untuk mengetahui jenis, ukuran, dan sifat-sifatnya dilakukan pengujian tanah, baik secara visual di lapangan maupun pengetesan di laboratorium.

Penyelidikan tanah untuk perencanaan pondasi jembatan dimaksudkan untuk mengetahui daya dukung tanah dasar setempat untuk perencanaan pondasi jembatan, daya dukung tanah (DDT) dilakukan dengan penyelidikan boring dan atau sondir selanjutnya untuk mengetahui jenis, ukuran, dan sifat-sifatnya dilakukan pengujian tanah, baik secara visual di lapangan maupun pengetesan di laboratorium mekanika tanah, kemudian dengan pemboran serta pengambilan

contoh tanah dan lokasi asli dapat memberikan informasi yang benar dan lebih teliti. Secara umum hal-hal yang diperlukan untuk perencanaan pondasi jembatan antara lain sebagai berikut :

- Kemampuan tanah (DDT)
- Penurunan yang terjadi harus minimal
- Jika terjadi penurunan harus merata
- Tegangan yang terjadi harus lebih kecil dari daya dukung tanah (DDT)

2.5 Aspek Konstruksi

Pada aspek konstruksi memerlukan perhatian yang khusus karena menyangkut keamanan dari struktur, oleh karena itu dalam perancangan dimensi selalu memperhatikan beban-beban yang bekerja pada bangunan yang berkaitan dengan umur rencana dari bangunan itu, sehingga bangunan tersebut akan berfungsi sebagai mana yang diharapkan dalam waktu yang telah direncanakan. Aspek konstruksi jembatan yang ditinjau meliputi komponen struktur jembatan, aspek pembebanan jembatan, rumus perhitungan untuk konstruksi atas (*upper structure*), dan rumus – rumus perhitungan untuk konstruksi bawah (*sub structure*).

2.5.1 Komponen Struktur Jembatan

Komponen atau bagian-bagian jembatan meliputi komponen struktur atas, komponen struktur bawah, dan bangunan pelengkap jembatan.

Komponen utama bangunan atas jembatan (*upper structure*) meliputi :

- Lantai jembatan
- Rangka utama jembatan
- Gelagar memanjang (*stringer*)
- Gelagar melintang (*cross girder*)
- Pertambatan angin (*bracing*)
- Tumpuan jembatan (*elastomeric*), *seismic buffer*

- *Side walk* / trotoar, *hand rail* (rel pegangan /pengaman), sambungan (*joint*), elastomer, plat injak.

Komponen utama bangunan bawah jembatan (*substructure*) meliputi :

- Abutment atau pangkal jembatan
- Pondasi jembatan

Bangunan pelengkap jembatan meliputi :

- Tembok samping dan tembok muka
- Dinding penahan tanah (*retaining wall*)
- Pelindung lereng (*slope protection*)
- Pelindung erosi dan gerusan (*scouring*)
- Drainase jembatan

2.5.2 Aspek Pembebanan Jembatan

Secara umum jembatan standar yang ada di Indonesia adalah jembatan jalan raya dan jalan rel. Fungsi utama dari struktur jembatan adalah memikul beban lalu lintas yang melintasinya, sehingga pemahaman terhadap karakteristik beban adalah sangat penting, dimana penggunaan yang sifatnya massal dituangkan dalam peraturan pembebanan jembatan.

Di Indonesia peraturan pembebanan jembatan untuk jalan raya masih mengacu pada Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya tahun 1987 (PPJJR 1987) yang dibuat oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum. Dalam tugas akhir ini menggunakan Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPJJR) 1987 dan Bridge Management System (BMS) 1992.

Pembebanan yang dijelaskan berikut ini adalah pembebanan statis dan quasistatis yang membebani struktur jembatan. Adapun penjelasan mengenai jenis dan intensitas beban adalah sebagai berikut :

2.5.2.1 Beban Tetap

Beban tetap jembatan adalah berat mati dari masing-masing bagian structural jembatan. Masing-masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang tak dipisahkan dan tak diberikan factor beban yang mengurangi besar sesungguhnya. Untuk itu diambil :

Bahan	Kerapatan Massa (kg/m ³)
Lapisan permukaan beraspal	2240
Beton	2240-2560
Beton Bertulang	2400-2600
Baja	7850

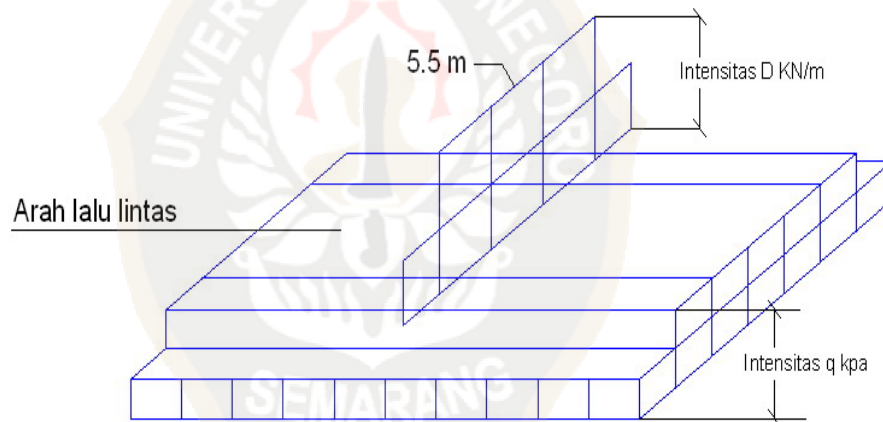
Tabel 2.4. Kerapatan Massa

Duration Jangka waktu	LOAD FACTORS- FAKTOR BEBAN			
	K_{MS}^S	K_{MS}^U		
	Normal Biasa	Relieving Terkurangi		
Permanent Tetap	<i>Steel, aluminium</i>			
	Baja, Aluminium	1.0	1.1	0.9
	<i>Precast concrete</i>			
	Beton pracetak	1.0	1.2	0.85
	<i>Cast in place concrete</i>			
	Beton cor ditempat	1.0	1.3	0.75
	<i>Wood Kayu</i>	1.0	1.4	0.7

Tabel 2.5. Faktor Beban Berat Sendiri

2.5.2.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan yang sebenarnya. Beban truk “T” adalah suatu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan ke beberapa posisi. Intensitas beban “D” adalah terdiri dari : beban tersebar merata (UDL) yang digabung dengan beban garis (KEL) seperti pada gambar 2.4



Gambar 2.4. Beban Lalu lintas

yang mana q adalah :

$$q = 8,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (\text{untuk } L < 30 \text{ m})$$

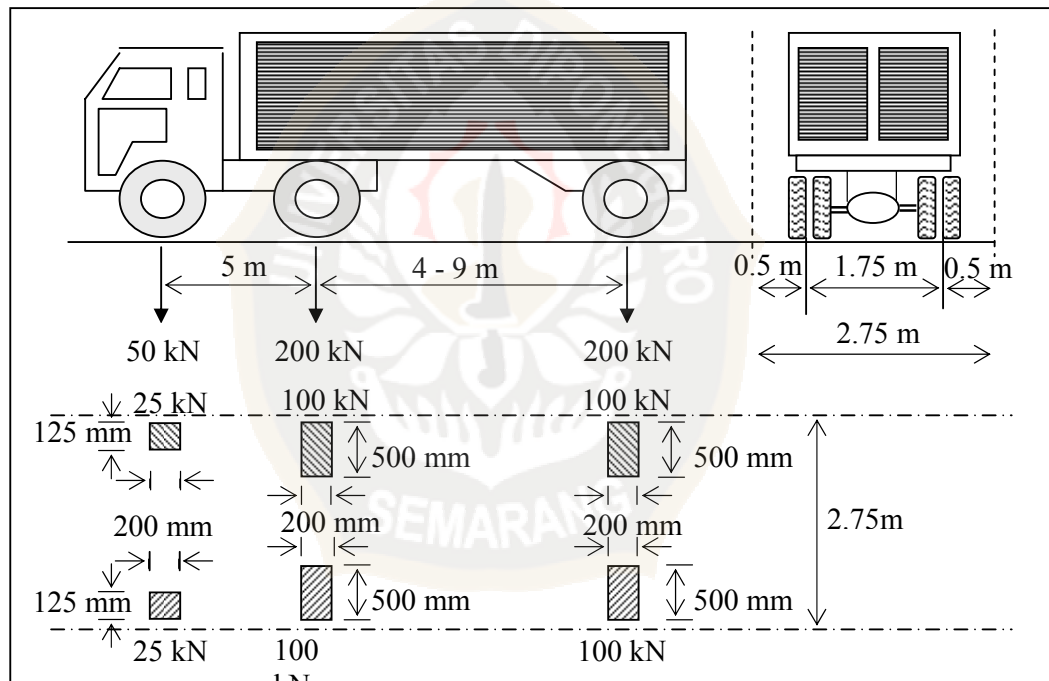
$$= 8,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \dots\dots\dots (\text{untuk } L > 30 \text{ m})$$

(L = panjang total UDL yang bekerja pada jembatan atau bagiannya)

Sedangkan beban garis “P” ditetapkan sebesar 44 kN/m. Dalam arah melintang, beban “D” akan ditempatkan sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen potongan elemen yang

maksimum dengan ketentuan bahwa beban “D” bekerja penuh 100% hanya selebar 5,5 m dan sebesar 50% diluar dari batas tersebut.

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Beban truk “ T ”

<i>Duration</i> Jangka Waktu	LOAD FACTORS-FAKTOR BEBAN	
	K_{TD}^S	K_{TD}^U
Transient	1.0	2.0

Tabel 2.6. Faktor Beban untuk Beban Lajur "D"

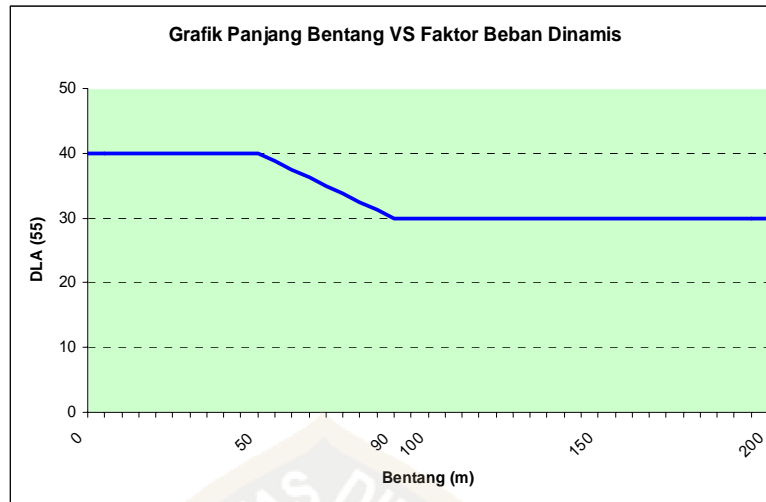
<i>Duration</i> Jangka Waktu	LOAD FACTORS-FAKTOR BEBAN	
	K_{TT}^S	K_{TT}^U
Transient	1.0	2.0

Tabel 2.7. Faktor Beban untuk Beban Truk "T"

Adapun penyebaran beban truk "T" adalah hanya satu kendaraan saja per lajur lalu lintas rencana dan ditempatkan di tengah lajur. Untuk perencanaan, beban "D" maupun "T" akan ditambah besarnya dengan factor beban dinamis yang mentransfer beban dinamis menjadi beban statis ekuivalen dengan ketentuan :

- a. Faktor beban untuk "T" adalah sebesar 0,3
- b. Faktor beban untuk "D" adalah sebesar 0,3 untuk $L_c \geq 90$

($L_c = AV AV L .L : L \max =$ bentang rata-rata & $L\max =$ bentang max). Faktor beban dinamis dapat dilihat pada gambar 2.6

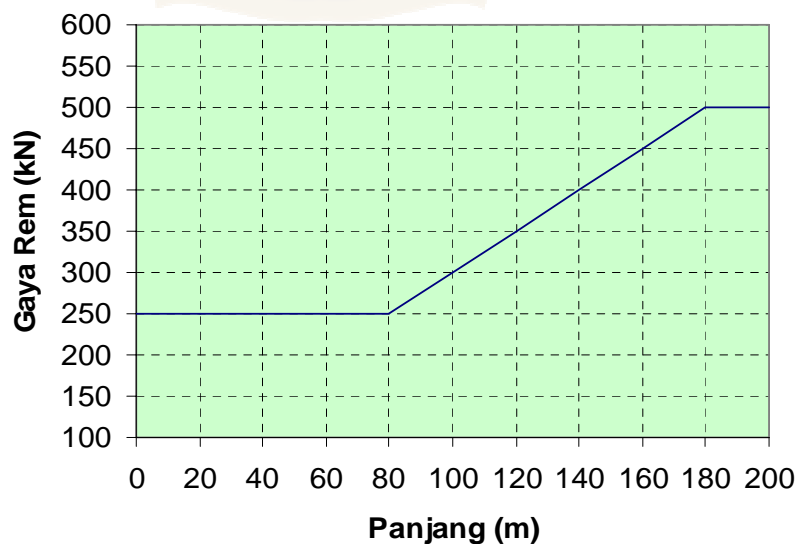


Gambar 2.6. Grafik Panjang Bentang vs Faktor Beban Dinamis

2.5.2.3 Gaya Rem

Pengaruh pengereman kendaraan diperhitungkan dalam analisis jembatan yang mana gaya tersebut bekerja pada permukaan lantai jembatan.

Adapun besar gaya rem ditetapkan berdasarkan gambar 2.8. yang mana lokasi beban adalah sama persis dengan lokasi beban "T" dan diperhitungkan 1 beban saja untuk 1 lajur.



Gambar 2.7. Gaya Rem

Duration Jangka Waktu	LOAD FACTORS-FAKTOR BEBAN	
	K_{TB}^S	K_{TB}^U
Transient	1.0	2.0

Tabel 2.8. Faktor Beban untuk Gaya Rem

2.5.2.4 Beban Angin

Pengaruh beban angin sebesar 150 Kg/m² pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horizontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan, dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Jumlah luas bidang vertikal bangunan atas jembatan yang dianggap terkena oleh angin ditetapkan sebesar suatu prosentase tertentu terhadap luas bagian-bagian sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup.

Bidang vertikal beban hidup ditetapkan sebagai suatu permukaan bidang vertikal yang mempunyai tinggi menerus sebesar 2 meter di atas lantai kendaraan.

Dalam menghitung jumlah luas bagian sisi jembatan yang terkena angin dapat digunakan ketentuan sebagai berikut :

Kedaaan tanpa beban hidup

- o Untuk jembatan gelagar penuh diambil sebesar 100% luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin, ditambah 50% luas bidang sisi lainnya.
- o Untuk jembatan rangka diambil sebesar 30% luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin, ditambah 15 % luas bidang sisi-sisi lainnya.

Keadaan dengan beban hidup

- o Untuk jembatan diambil sebesar 50% terhadap luas bidang menuru penjelasan di atas. Untuk beban hidup diambil sebesar 100% luas bidang sisi yang langsung terkena angin.

2.5.2.5 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasar suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

Setiap struktur bangunan, menurut SNI 03-1726-2002, harus direncanakan untuk menahan suatu beban geser dasar akibat gempa (V) dalam arah-arrah yang ditentukan menurut rumus:

$$V = \frac{C.I.W_t}{R}$$

Dimana :

C adalah Koefisien Gempa Dasar

I adalah Faktor Keutamaan

R adalah Faktor Reduksi Gempa

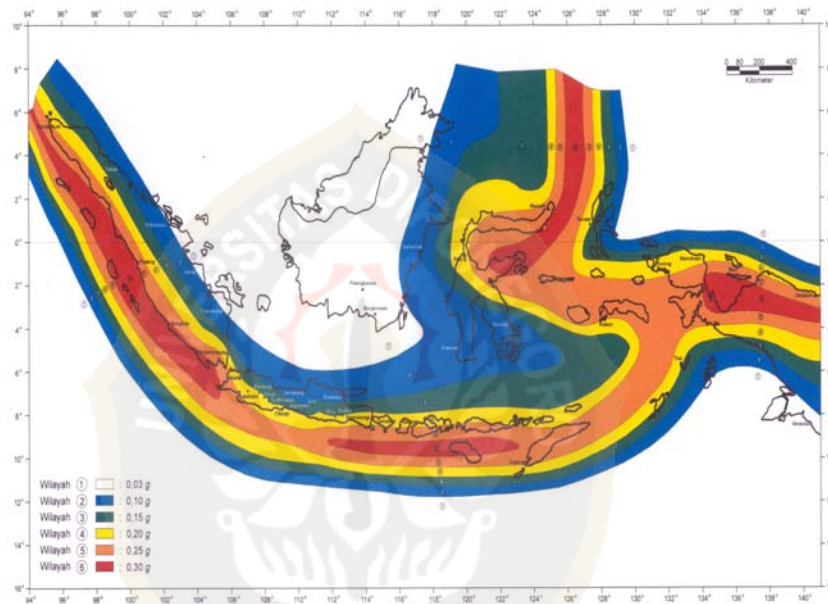
W_t adalah Kombinasi dari beban mati dan beban hidup

$W_t = 1,05(BM + 0,3 BH)$

- o **Koefisien Gempa Dasar (C)**

Telah disajikan pada SNI – 1726 – 2002, bahwa di Indonesia terdapat 6 daerah gempa. Pembagian daerah gempa ini didasarkan pada frekuensi kejadian dan potensi daya rusak gempa

yang terjadi pada daerah tersebut. Daerah gempa I adalah daerah gempa terbesar sedangkan daerah gempa VI adalah daerah gempa paling kecil. Pembagian daerah gempa tersebut adalah seperti pada Gambar 2.9



Gambar 2.8. Pembagian daerah gempa di Indonesia

Selanjutnya tiap-tiap daerah gempa akan mempunyai spektrum respon sendiri-sendiri, seperti pada Gambar 2.10 spektrum respon dalam hal ini adalah plot antara koefisien gempa dasar C lawan periode getar struktur T. Secara umum dapat dikatakan bahwa koefisien gempa dasar C utamanya dipengaruhi oleh daerah gempa, periode getar T dan jenis tanah. Untuk setiap respon spektrum disajikan juga pengaruh kondisi tanah, yaitu spektrum untuk tanah keras dan tanah lunak. Definisi tanah keras dan tanah lunak dapat didekati menurut beberapa kriteria. Kriteria yang dipakai untuk menentukan jenis tanah ini diantaranya adalah

jenis dan kedalaman tanah endapan, nilai N-SPT, nilai *undrain shear strenght*, c_u , atau kecepatan gelombang geser V_s .

Secara umum Spektrum Respons adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem Satu Derajat Kebebasan (SDK) akibat suatu gempa masukan tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami sistem SDK tersebut. Spektrum Respons C-T yang ditetapkan untuk masing-masing Wilayah Gempa, adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum (= Faktor Respons Gempa) C dan waktu getar alami T sistem SDK akibat Gempa Rencana, dimana sistem SDK tersebut dianggap memiliki fraksi redaman kritis 5%. Kondisi $T = 0$ mengandung arti, bahwa sistem SDK tersebut adalah sangat kaku dan karenanya mengikuti sepenuhnya gerakan tanah. Dengan demikian, untuk $T = 0$ percepatan respons maksimum menjadi identik dengan percepatan puncak muka tanah ($C = A_0$). Bentuk spektrum respons yang sesungguhnya menunjukkan suatu fungsi acak yang untuk T meningkat menunjukkan nilai yang mula-mula meningkat dulu sampai mencapai suatu nilai maksimum, kemudian turun lagi secara asimtotik mendekati sumbu- T . Bentuk tersebut distandarkan (diidealisasikan) sebagai berikut : untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik, C meningkat secara linier dari A_0 sampai A_m ; untuk $0,2 \leq T \leq T_c$, C bernilai tetap $C = A_m$; untuk $T > T_c$, C mengikuti fungsi hiperbola $C = A_m/T$. Dalam hal ini T_c disebut waktu getar alami sudut. Idealisasi fungsi hiperbola ini mengandung arti, bahwa untuk $T > T_c$ kecepatan respons maksimum yang bersangkutan bernilai tetap.

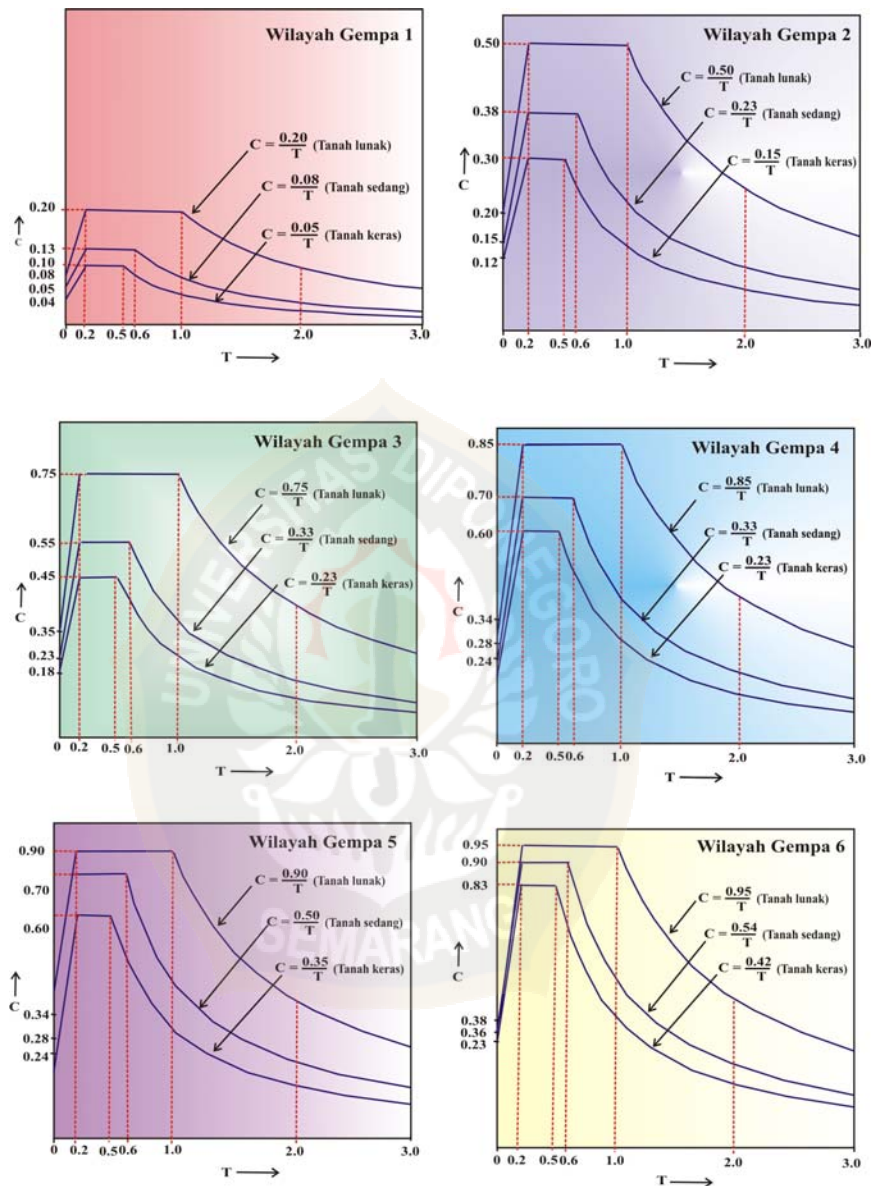
Dari berbagai hasil penelitian ternyata, bahwa untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik terdapat berbagai ketidakpastian, baik dalam karakteristik gerakan tanahnya sendiri maupun dalam sifat-sifat daktilitas sistem SDK yang bersangkutan. Karena itu untuk $0 \leq T \leq$

0,2 detik C ditetapkan harus diambil sama dengan A_m . Dengan demikian, untuk $T \leq T_c$ spektrum respons berkaitan dengan percepatan respons maksimum yang bernilai tetap, sedangkan untuk $T > T_c$ berkaitan dengan kecepatan respons maksimum yang bernilai tetap.

Berbagai hasil penelitian menunjukkan, bahwa A_m berkisar antara $2 A_0$ dan $3 A_0$, sehingga $A_m = 2,5 A_0$ merupakan nilai rata-rata yang dianggap layak untuk perencanaan. Selanjutnya, dari berbagai hasil penelitian juga ternyata, bahwa sebagai pendekatan yang baik waktu getar alami sudut T_c untuk jenis-jenis Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak dapat diambil sebesar berturut-turut 0,5 detik, 0,6 detik dan 1,0 detik.

<i>Duration</i> Jangka Waktu	LOAD FACTORS –FAKTOR BEBAN	
	K_{EQ}^S	K_{EQ}^U
Transient	<i>Not Applicable</i> Tidak dapat digunakan	1.0

Tabel 2.9. Faktor Beban untuk Pengaruh Gempa



Gambar 2.9. Spektrum respon untuk masing-masing daerah gempa

○ **Periode Getar (T)**

Periode getar yang mempunyai respons struktur terhadap getaran gempa besarnya dipengaruhi oleh masa dan kekakuan

struktur. Struktur yang kaku akan mempunyai periode getar yang lebih pendek dibandingkan struktur yang flexible.

Rumus pendekatan yang digunakan untuk menghitung waktu getar alami adalah sebagai berikut:

$$T_{empiris} = 0.085 H^{\frac{3}{4}} \text{ untuk portal baja}$$

$$T_{empiris} = 0.06 H^{\frac{3}{4}} \text{ untuk portal beton}$$

$$T_{empiris} = \frac{0.09H}{\sqrt{B}} \text{ untuk struktur lainnya}$$

Di mana:

H adalah tinggi bangunan

B adalah panjang bangunan pada arah yang ditinjau

2.5.2.6 Kombinasi Beban

Bangunan jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi akibat beberapa beban dan atau gaya yang mungkin bekerja. Sesuai dengan sifat-sifat serta kemungkinan-kemungkinan dari beban dan atau gaya pada setiap kombinasi sebagai berikut:

Aksi Tetap

- o Berat Sendiri (P_{MS}) dengan faktor beban seperti pada tabel 2.5

Aksi Transient

- o Beban Lajur "D" (T_{TD}) dengan faktor beban 2.0 pada keadaan Ultimate
- o Gaya Rem (T_{TB}) dengan faktor beban 2.0 pada keadaan Ultimate
- o Beban Pejalan Kaki (T_{TP}) dengan faktor beban 2.0 pada keadaan Ultimate

- o Beban Angin (T_{EW}) dengan faktor beban 1.2 pada keadaan Ultimate.

Aksi lain

- o Beban Gempa (T_{EQ}) dengan faktor beban 1.0 pada keadaan Ultimate.

Kombinasi beban yang lazim diberikan dalam Bridge Management System (BMS) 1992 dalam keadaan ultimate adalah :

ACTION AKSI	LOAD COMBINATION						ULTIMATE						
	SERVICEABILITY DAYA LAYAN												
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Aksi Tetap :													
Berat Sendiri Pms	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Beban Mati Tambahan Pma													
Penyusutan, Rangkak Psa													
Prategang Ppr													
Aksi Transient :													
Beban Lajur "D" atau Ttd	X	o	o	o	o		X	o	o	o			
Beban Truk "T" Ttt													
Gaya Rem, atau Ttb	X	o	o	o	o		X	o	o	o			
Gaya Sentrifugal Ttr													
Beban Pejalan Kaki Ttp		X						X					
Gesekan Pada Perletakan Tbf	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o		o	
Pengaruh Temperatur Tet	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o		o	
Aliran, Hanyutan, Tumbukan Tef	o		o	X	o	o	o		X	o		o	
dan Hidrostatik/ Apung Teu													
Beban Angin Tew			o	o	X	o	o		o	X		o	
Aksi Lain :													
Gempa Teq												X	
Beban Tumbukan Ttc													
Pengaruh Getaran Tvi	X	X											
Beban Pelaksanaan Tcl						X							X

Tabel 2.10. Kombinasi Pembebanan (Load Combination)

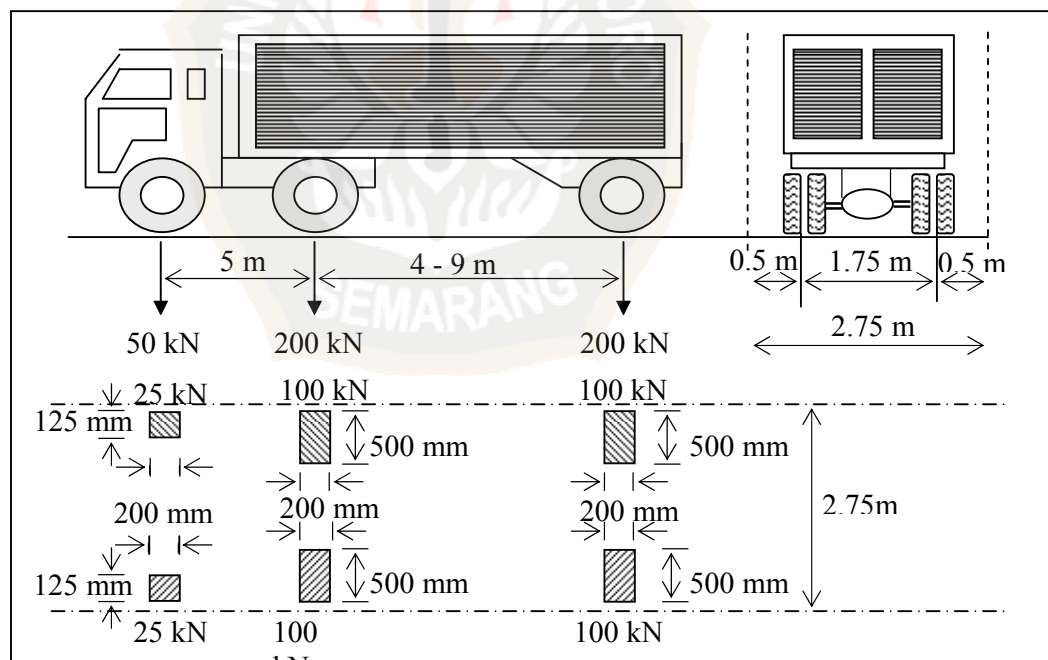
2.5.3 Rumus Perhitungan untuk Konstruksi Atas (*Upper Structure*)

Perhitungan konstruksi atas jembatan dilakukan dengan menggunakan program komputer SAP 2000 versi 9.0.3, dengan menggunakan metode perhitungan yang mengacu pada AISC-LRFD '93.

Adapun dasar pembahasan untuk perhitungan dengan menggunakan metode tersebut di atas adalah sebagai berikut.

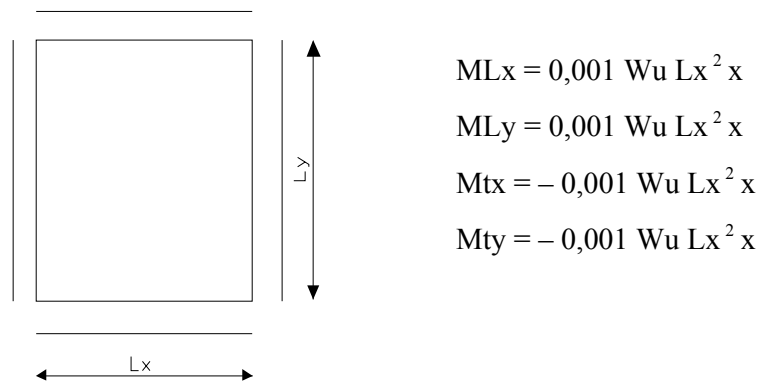
2.5.3.1 Perhitungan Plat Lantai Kendaraan

Untuk perhitungan plat lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan jembatan, harus digunakan beban "T". Beban "T" adalah beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (dual wheel load) sebesar 10 ton dengan ukuran-ukuran seperti tertera pada gambar.



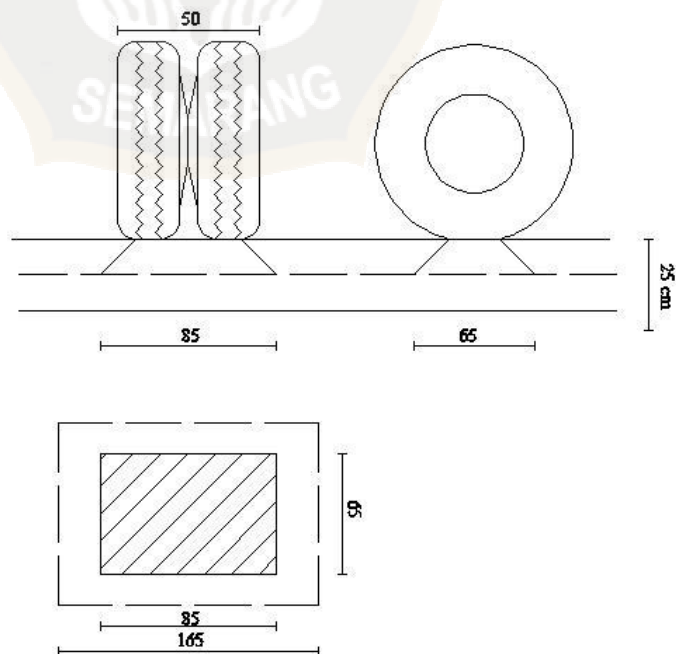
Gambar 2.10. Beban "T"

Untuk mendapatkan momen desain dari beban mati yaitu beban plat lantai berdasarkan buku Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang (CUR 4) adalah sebagai berikut :

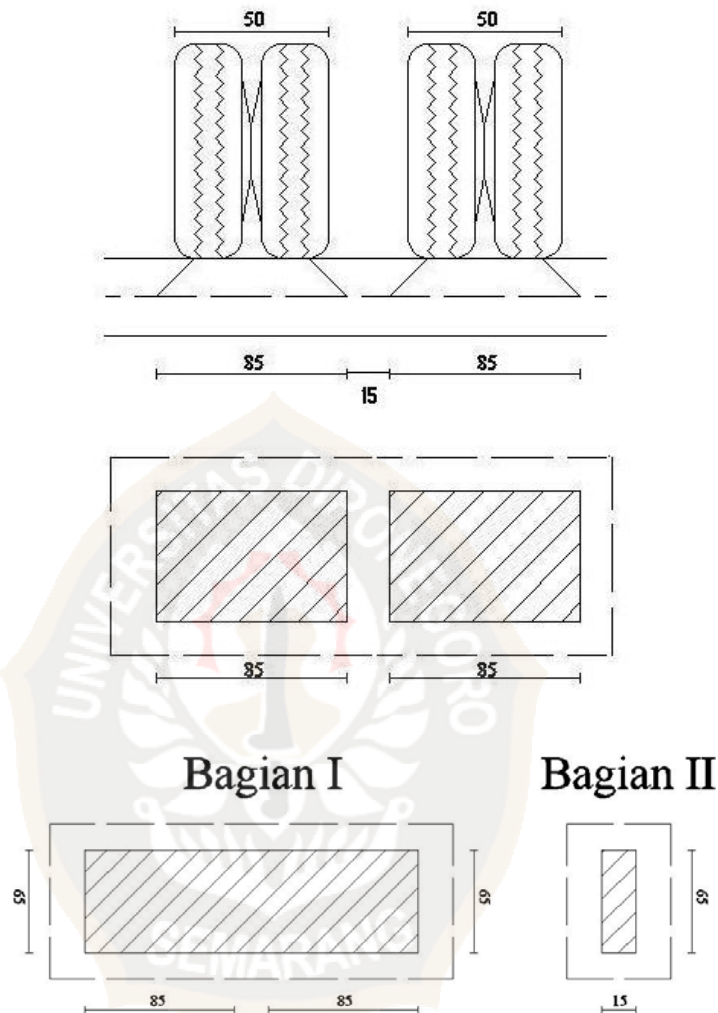


Gambar 2.11. Skema penyaluran beban pada plat

Untuk mendapatkan momen desain dari beban hidup lalu-lintas yang diharapkan, maka penyebaran beban "T" harus dikonfigurasi sehingga dapat menghasilkan pengaruh maksimum. Konfigurasi penyebaran beban "T" adalah pada saat satu roda berada di tengah-tengah plat lantai dan pada saat dua roda berada di tengah-tengah plat lantai.



Gambar 2.12. Beban "T" satu roda di tengah plat



Gambar 2.13. Beban "T" dua roda di tengah plat

2.5.3.2 Perhitungan Penulangan Plat Lantai Kendaraan

Berdasarkan buku *Menghitung Beton Bertulang* (Ir.Udiyanto), dalam keadaan *Underreinforced* atau dapat dikatakan tulangan tarik mencapai tegangan leleh f_y lebih awal daripada beton tertekan mencapai regangan batas, maka banyaknya penulangan tarik dibatasi sebesar harga tertentu. Hal ini dimaksudkan karena beton lebih getas daripada baja, sehingga

kehancuran tekan beton secara mendadak perlu dicegah dan supaya penampang dapat mengalami rotasi (perputaran) yang cukup.

Jika melihat penampang normal yang menahan momen lentur M, akan diperoleh :

Keseimbangan gaya : $RI.b.a = f_y.A_s$

$$a = f_y.A_s / (RI.b)$$

Keseimbangan momen : $M = RI.b.a.(d - a/2)$

$$= f_y.A_s.(d - a/2)$$

Jika kita ingin menggambar chart dari persamaan-persamaan di atas maka kita dapat menulis demikian :

$$M = f_y.A_s.d. \{1 - 0,5.(a / d)\}$$

sedangkan $a = f_y.A_s / (RI.b)$ dan $\rho = A_s / (b.d)$ maka

$$M = f_y.A_s.d. \{1 - 0,5.f_y.A_s / (RI.b.d)\}$$

$$= f_y.A_s.d. \{1 - 0,5.f_y. \rho / RI\}$$

$$M/(b.d^2 .f_y) = (A_s/b.d). \{1 - 0,5. \rho.f_y / RI\}$$

$$M/(b.d^2 .f_y) = \rho. \{1 - 0,5. \rho.f_y / RI\}$$

Jika kita ingin menghitung persamaan-persamaan keseimbangan di atas, maka kita dapat menulis sebagai berikut :

$M = RI.b.a.(d - a/2)$ jika $a = F.d$ atau $F = a/d$, maka :

$$M = RI.b.F.d (d - F.d/2)$$

$M = RI.b.d^2 .F(1 - F/2)$ jika $F(1 - F/2) = K$, maka :

$$M = K.b.d.RI$$

dapat diperoleh juga :

$$d^2 = M / \{K.b.RI\} \text{ atau } d = \sqrt{M / (K.b.RI)}$$

$$K = M / (b \cdot d^2 \cdot RI)$$

Dari $F(1 - F/2) = K$ akan diperoleh $F^2 - 2F + 2K = 0$

Sehinga diperoleh $F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$

Kita mengetahui bahwa $a = fy \cdot As / (RI \cdot b)$ maka $As = F \cdot b \cdot d \cdot RI / fy$

Juga akan diperoleh

$$F = \{As / (b \cdot d)\} \cdot \{fy / RI\} \text{ atau } F = \rho \cdot \{fy \cdot RI\}$$

Agar penampang tidak getas, maka rasio penulangan dibatasi sebesar

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \{600 / (600 + fy)\} \cdot (RI / fy)$$

$$= \beta_1 \cdot \{450 / (600 + fy)\} \cdot (RI / fy) \dots \dots \dots (RI \text{ dan } fy \text{ dalam Mpa})$$

$$F_{max} = \beta_1 \cdot \{450 / (600 + fy)\} \dots \dots \dots (RI \text{ dan } fy \text{ dalam Mpa})$$

2.5.3.3 *Buckling* (Tekuk) pada Struktur Baja

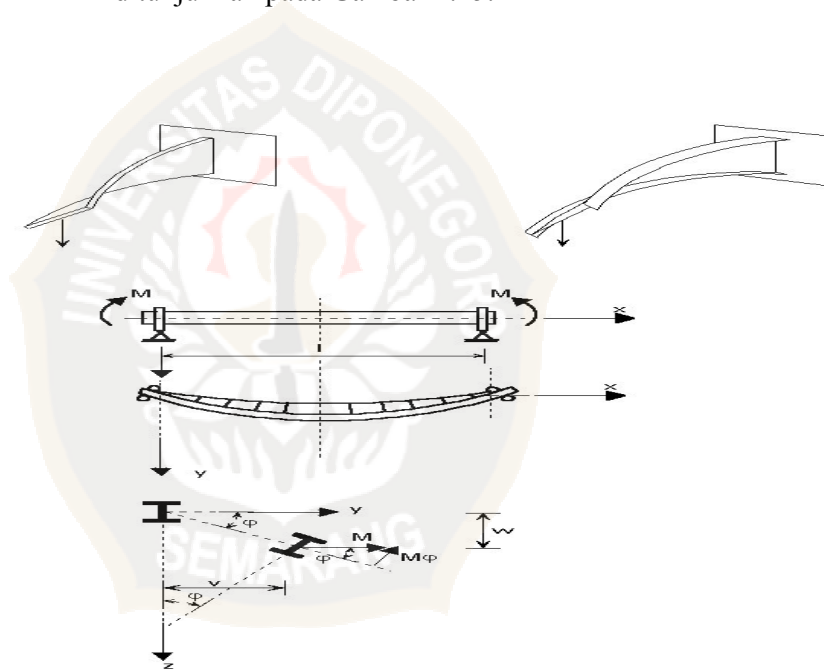
Beban tekuk kritis dapat mempengaruhi suatu struktur. Beban kritis tersebut, mengumpamakan syarat batas dan pembebanan sederhana, yang sering ditemui dalam berbagai kasus-kasus struktur, yakni:

- o *Lateral buckling* pada balok.
- o *Local buckling*
- o *Flexural buckling* pada kolom.
- o *Plate dan shell buckling*.

Dalam tugas akhir ini hanya akan menyinggung dua bahasan di atas yaitu *Lateral buckling* pada balok dan *Local buckling*

2.5.3.3.1 Lateral Buckling pada Balok

Manakala suatu balok dibengkokkan pada poros kuatnya, secara normal berdefleksi hanya di dalam wahana itu . Bagaimanapun, jika balok tidak mempunyai kekakuan lateral cukup atau tumpuan lateral untuk memastikan bahwa ini terjadi, kemudian mungkin menggesperkan ke luar dari wahana pembebanan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15.



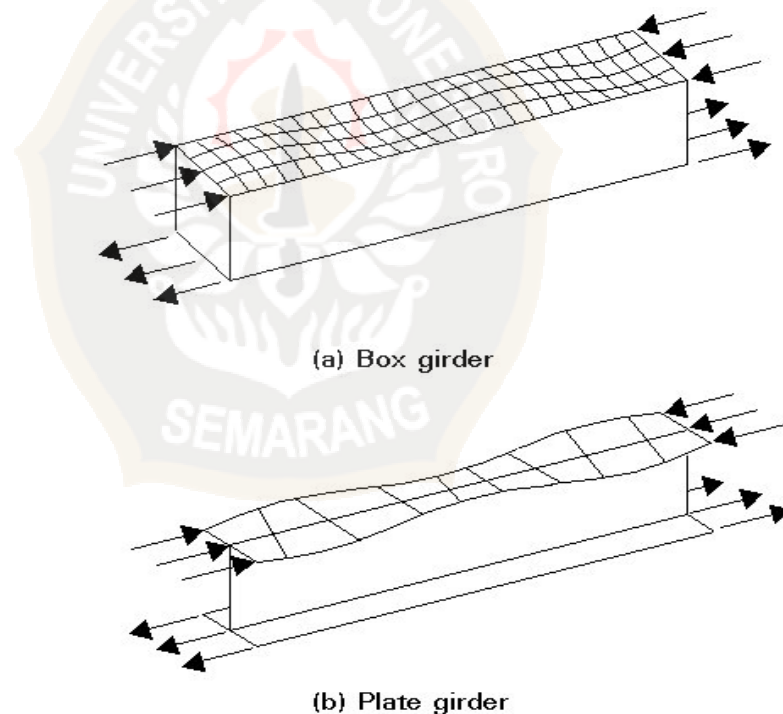
Gambar 2.14. Lateral buckling pada balok

Pada suatu balok elastis lurus, tidak ada penurunan (*displacements*) *out-of-plane* sampai momen terapan menjangkau nilai kritis nya, manakala balok menekuk oleh defleksi ke samping dan menjadi bengkok (Gambar 2.15), tekuk ke samping, oleh karena itu, melibatkan puntir dan lentur ke samping. Untuk kasus yang paling sederhana, dari suatu balok dengan tumpuan

sederhana simetris, memuat dalam bidang utama kaku nya oleh momen yang sama, persamaan kesetimbangan diferensial dari balok tersebut.

2.5.3.3.2 Tekuk Lokal (*Local Buckling*)

Local buckling adalah peristiwa tekuk pada pelat tipis yang mendapat beban tekan. Kondisi ini menyebabkan elemen pelat (dari suatu profil) menekuk sebelum tercapai kekuatan profil yang direncanakan, lihat gambar 2.16.



Gambar 2.15. *Local buckling*

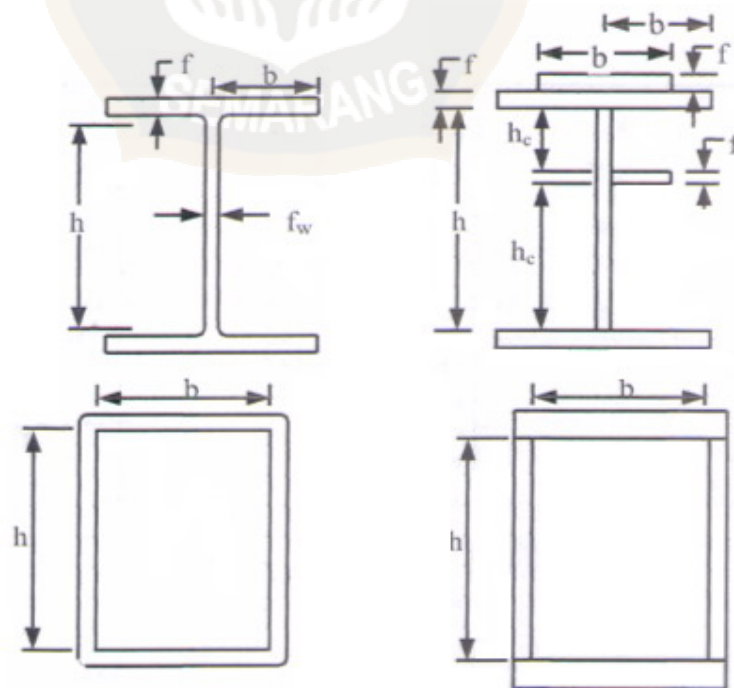
Local buckling dapat terjadi lebih dulu pada salah satu elemen pelat pembentuk penampang. Dengan adanya *Local buckling*, akan menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat memikul bagian beban yang harus

diterimanya, sehingga kapasitas dukung seluruh penampang akan berkurang. Untuk menghindari terjadinya *local buckling*, perbandingan lebar dan tebal pelat harus memenuhi persyaratan tertentu (Lihat tabel 2.11 dan 2.12).

Menurut Peraturan Baja Indonesia (SNI 03-1729-2002), penampang profil baja diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Penampang kompak (*compact section*), jika $\lambda \leq \lambda_p$
2. Penampang tidak kompak (*non compact section*), jika $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. Penampang langsing (*slender section*), jika $\lambda > \lambda_r$

Penampang kompak berarti tidak terjadi *local buckling*.



Gambar 2.16. Penampang melintang profil

Jenis Elemen	Perbandingan Lebar Terhadap Tebal (λ)	Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal		
		λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)	
Elemen tanpa Pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	$\frac{b}{t}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ [e]
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang dilas dalam lentur	$\frac{b}{t}$	$\frac{170}{\sqrt{f_{yf}}}$	$\frac{420}{\sqrt{\frac{(f_{yf} - f_r)}{k_e}}}$ [e] [f]
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{290}{\sqrt{\frac{f_y}{k_e}}}$ [f]
	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan pelat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{250}{\sqrt{f_y}}$

<p>Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya</p>	$\frac{b}{t}$	<p>-</p>	$\frac{200}{\sqrt{f_y}}$
<p>Pelat badan dari profil T</p>	$\frac{d}{t}$	<p>-</p>	$\frac{335}{\sqrt{f_y}}$

Tabel 2.11. Perbandingan maksimum lebar lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dalam Mpa, simbol mengacu pada gambar 2.17)

Jenis Elemen		Perbandingan Lebar Terhadap Tebal (λ)	Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen dengan Pengaku	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan, pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak diantara baut-baut atau las	$\frac{b}{t}$	$\frac{500}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{830}{\sqrt{f_y}}$

Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} [c]$	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} [g]$
Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	$\frac{h}{t_w}$	Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} \leq 0,125 [c]$	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right] [g]$
		$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$ Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} > 0,125 [c]$ $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	
Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya	$\frac{b}{t}$ $\frac{h}{t_w}$	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$
Penampang bulat berongga	$\frac{D}{t}$	[d] -	$\frac{22000}{\sqrt{f_y}}$
Pada tekan aksial		$\frac{14800}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{62000}{\sqrt{f_y}}$
Pada lentur			

<p>[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pada sayap f_{yf} sebagai ganti f_y.</p> <p>[b] Ambil luas netto pelat pada lubang terbesar.</p> <p>[c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3, untuk struktur-struktur pada zona gempa tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar.</p> <p>[d] Untuk perencanaan plastis gunakan $\frac{9000}{f_y}$</p>	<p>[e] f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang dirol = 115 MPa untuk penampang dilas</p> <p>[f] $k_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$ tapi, $0,35 \leq k_e \leq 0,763$</p> <p>[g] f_y adalah tegangan leleh minimum.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabel 2.12 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dalam Mpa, simbol mengacu pada Gambar 2.17)

2.5.3.4 Komponen Struktur Lentur

Perencanaan untuk Lentur berdasarkan analisis plastis harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- o Berpenampang kompak (lihat Tabel 2.11 dan Tabel 2.12)
- o Memenuhi persyaratan berikut ini

$$M_u \leq \phi M_n$$

Keterangan:

M_u adalah momen lentur rencana analisis plastis

M_n adalah kuat lentur nominal penampang

ϕ adalah faktor reduksi kekuatan (Tabel 2.13)

Kuat rencana untuk	Butir	Faktor reduksi
Komponen struktur yang memikul lentur:		
• balok	8.1, 8.2 & 8.3	0,90
• balok pelat berdinding penuh	8.4	0,90
• pelat badan yang memikul geser	8.8 & 8.9	0,90
• pelat badan pada tumpuan	8.10	0,90
• pengaku	8.11, 8.12, & 8.13	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial:		
• kuat penampang	9.1 & 9.2	0,85
• kuat komponen struktur	9.1 & 9.3	0,85
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial:		
• terhadap kuat tarik leleh	10.1 & 10.2	0,90
• terhadap kuat tarik fraktur	10.1 & 10.2	0,75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi:		
• kuat lentur atau geser	11.3 & 11.4	0,90
• kuat tarik	11.3 & 11.4	0,90
• kuat tekan	11.3 & 11.4	0,85
Komponen struktur komposit:		
• kuat tekan	12.3	0,85
• kuat tumpu beton	12.3.4	0,60
• kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik	12.4.2.1 & 12.4.2.3	0,85
• kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik	12.4.2.1 & 12.4.3	0,90
Sambungan baut:		
• baut yang memikul geser	13.2.2.1	0,75
• baut yang memikul tarik	13.2.2.2	0,75
• baut yang memikul kombinasi geser dan tarik	13.2.2.3	0,75
• lapis yang memikul tumpu	13.2.2.4	0,75
Sambungan las:		
• las tumpul penetrasi penuh	13.5.2.7	0,90
• las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	13.5.3.10	0,75
• las pengisi	13.5.4	0,75

Tabel 2.13 Faktor reduksi (ϕ) untuk keadaan kekuatan batas

2.5.3.4.1 Kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk local

- o Momen leleh M_y adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yaitu diambil sama dengan $f_y S$ dan S adalah modulus penampang elastis
- o Kuat lentur plastis M_p momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari $f_y Z$ atau $1,5 M_y$, dan Z adalah modulus penampang plastis.
- o Momen batas tekuk M_r diambil sama dengan $S (f_y - f_r)$ dan f_r adalah tegangan sisa.
- o Perhitungan modulus penampang elastis dan plastis harus dilakukan secermat mungkin dengan memperhitungkan adanya lubang-lubang, perbedaan tegangan leleh pada penampang hibrida, letak pelat tarik dan tekan, dan arah/sumbu lentur yang ditinjau sedemikian sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam batas-batas ketelitian yang dapat diterima.

2.5.3.4.2 Kelangsingan penampang

Pengertian penampang kompak, tak-kompak, dan langsing suatu komponen struktur yang memikul lentur, ditentukan oleh kelangsingan elemen-elemen tekannya yang ditentukan pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12.

2.5.3.4.3 Penampang kompak

Untuk penampang-penampang yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, kuat lentur nominal penampang adalah

$$M_n = M_p$$

M_p merupakan Momen leleh M_y yaitu momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh

2.5.3.5 Kekuatan momen nominal (M_n) dari suatu penampang komposit

Pada perhitungan gelagar memanjang dan melintang menggunakan analisa penampang komposit penuh, sehingga nantinya kekuatan momen nominal penampang komposit penuh dapat diketahui.

Kekuatan momen nominal M_n dari suatu penampang komposit yang slabnya dalam tekan (momen positif) tergantung pada tegangan leleh F_y dan sifat-sifat penampangnya (termasuk kerampingan $\lambda = \frac{h_c}{t_w}$ untuk badan balok) untuk balok baja, kekuatan slab beton f'_c , dan kekuatan konektor atau penghubung geser yang memberikan transfer geser *interface* di antara slab dan baloknya.

Secara tradisional, sejak laporan Joint Committee on Composite Construction AISC-ACI, desain balok komposit didasarkan atas kekuatan momen nominal meskipun menggunakan *Allowable Stress Design (ASD). Load and Resistance Factor*

Design (LRFD) secara khusus diadaptasi untuk penggunaan batang-batang fleksural komposit karena konsep-konsep kekuatan lebih mudah dipahami tanpa perlu usaha untuk mengkonversikannya menjadi beban layanan berdasarkan *Allowable Stress Design*.

Kekuatan momen nominal M_n bila slabnya dalam tekan (momen positif) dibagi menjadi dua kategori menurut LRFD, tergantung pada kerampingan badan sebagai berikut :

o Untuk $\frac{h_c}{t_w} \leq (\lambda_p = \frac{640}{\sqrt{F_{yf}}})$

M_n = berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit

$$\phi_b = 0,85$$

o Untuk $\frac{h_c}{t_w} > (\lambda_p = \frac{640}{\sqrt{F_{yf}}})$

M_n = berdasarkan superposisi tegangan-tegangan elastis

$$\phi_b = 0,90$$

dimana F_{yf} adalah tegangan leleh flens, ini akan memberikan batas (bawah) konservatif untuk λ_p karena plat badan dari gelagar hibrida akan memiliki tegangan leleh yang lebih rendah daripada flens.

Menurut Buku *Struktur Baja Desain dan Perilaku* (Charles G Salmon dan John E Johnson), Kekuatan nominal M_n berdasarkan distribusi tegangan plastis dapat dibagi menjadi dua kategori umum yaitu (1) sumbu netral plastis (PNA) terjadi pada slab dan (2) sumbu netral plastis terletak pada penampang baja. Bila PNA terletak pada penampang baja, perhitungan M_n akan

berbeda tergantung apakah PNA terletak pada flens ataukah pada badan.

Beton diasumsikan hanya memberikan gaya-gaya tekan saja. Meskipun beton mampu menahan tarik dengan suatu jumlah batas tertentu, kekuatan tarik diabaikan pada regangan-regangan yang terjadi bila tercapai kekuatan nominalnya.

2.5.3.5.1 Sumbu Netral Plastis (PNA) pada slab

Gaya tekan C adalah :

$$C = 0,85 f'c ab_E$$

Gaya tarik T adalah tegangan leleh pada balok kali luasnya :

$$T = A_s F_y$$

Bila gaya tekan C disamakan dengan gaya tarik T akan diperoleh :

$$a = \frac{A_s F_y}{0,85 f'c b_E}$$

Menurut distribusi tegangan persegi yang diterima ACI, jarak sumbu netral x sama dengan $\frac{a}{0,85}$ untuk $f'c \leq 400$ psi. Kekuatan momen nominal M_n menjadi :

$$M_n = C d_1 \text{ atau } T d_1$$

Bila slab tersebut mampu mengembangkan suatu gaya tekan paling tidak sama dengan kekuatan leleh penuh balok bajanya, PNA akan berada dalam slab, situasi yang lazim untuk penampang-penampang yang

sepenuhnya komposit. Bila kekuatan nominal dinyatakan dalam bentuk gaya baja akan diperoleh :

$$M_n = A_s F_y \left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right)$$

Prosedur biasa untuk menghitung kekuatan nominal adalah dengan mengasumsikan kedalaman a untuk distribusi tegangan persegi tidak akan melampaui t_s , yaitu menggunakan persamaan $a = \frac{A_s F_y}{0,85 f'_c b_E}$. Bila a

diverifikasikan tidak melampaui t_s , persamaan $M_n = A_s$

$F_y \left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right)$ dapat digunakan untuk mendapatkan kekuatan nominal M_n .

2.5.3.5.2 Sumbu Netral Plastis (PNA) pada Balok Baja

Apabila kedalaman a dari blok tegangan melampaui ketebalan slab, maka gaya tekan C_c dalam slab sebesar :

$$C_c = 0,85 f'_c b_E t_s$$

Gaya tarik T' yang sekarang lebih kecil daripada $A_s F_y$ harus sama dengan jumlah gaya-gaya tekan :

$$T' = C_c + C_s$$

Demikian pula :

$$T' = A_s F_y - C_s$$

Bila kedua persamaan diatas disamakan, maka akan diperoleh :

$$C_s = \frac{As Fy - Cc}{2}$$

atau

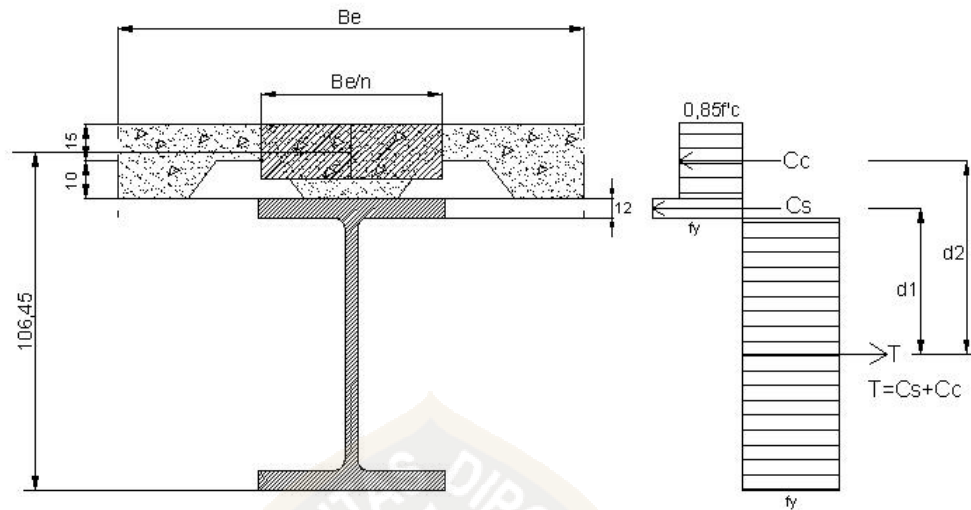
$$C_s = \frac{As Fy - 0,85 f'c b_E t_s}{2}$$

Dengan meninjau gaya tekan C_c dan C_s , kekuatan momen nominal Mn untuk kasus 2 (sumbu netral pada balok baja) adalah :

$$Mn = C_c d'_2 + C_s d''_2$$

Bila terjadi situasi kasus 2, balok baja tersebut harus mamapu mengakomodasi regangan plastis baik dalam tarik maupun tekan untuk mencapai kondisi kekuatan nominal. Semakin rendah PNA yang terjadi pada penampang baja, semakin besar pengaruh tekuk lokal terhadap perilakunya.

Bila flens penampang baja yang berdekatan dengan slab berada dalam tekan, mungkin kita perlu memperhatikan tekuk lokal pada flens. Kombinasi beton yang menahan flens tekan dan konektor geser yang digunakan untuk menghubungkan slab dengan balok baja akan mengeliminasi tekuk lokal maupun tekuk puntir lateral sebagai keadaan pembatas.



Gambar 2.17. Diagram Tegangan Balok Komposit

2.5.3.6 Komponen Struktur Tekan

Penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecil daripada nilai λ_c pada Tabel 2.11 dan 2.12, daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g f_{cr} = A_g \frac{f_y}{\omega}$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega}$$

untuk $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1$

untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$

$\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25 \lambda_c^{-2}$

Keterangan:

A_g adalah luas penampang bruto, mm²

f_{cr} adalah tegangan kritis penampang, MPa

f_y adalah tegangan leleh material, MPa

Sedangkan penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih besar daripada nilai λ_r pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12, analisis kekuatan dan kekakuannya dilakukan secara tersendiri dengan mengacu pada metode-metode analisis yang rasional

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, N_u , harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

o $N_u \leq \phi_n N_n$

Keterangan:

ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur tekan yang ditentukan berdasarkan perhitungan analisis plastis

o Perbandingan kelangsingan.

Kelangsingan elemen penampang (lihat Tabel 2.11 dan 2.12)

$< \lambda_r$

Kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = \frac{L_k}{r} < 200$

o Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar daripada nilai λ_r yang ditentukan dalam Tabel 2.11 dan Tabel

2.12 harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

2.5.3.6.1 Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur-torsi

Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur-torsi, $\phi_n N_{nlt}$ dari komponen struktur tekan yang terdiri dari siku-ganda atau berbentuk T, dengan elemen-elemen penampangnya mempunyai rasio lebar-tebal, λ lebih kecil daripada yang ditentukan dalam Tabel 7.5-1, harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi_n N_{nlt}$$

dengan ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan (lihat Tabel 6.4-2)

$$N_{nlt} = A_g f_{clt}$$

$$f_{clt} = \left(\frac{f_{cry} + f_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 f_{cry} f_{crz} H}{(f_{cry} + f_{crz})^2}} \right]$$

$$\text{dan } f_{crz} = \frac{GJ}{A r_0^{-2}}$$

dengan,

r_0^{-2} adalah jari-jari girasi polar terhadap pusat geser

$$r_0^{-2} = \frac{I_x + I_y}{A} + x_0^2 + y_0^2$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_0^2 + y_0^2}{r_0^{-2}} \right)$$

Keterangan:

x_0, y_0 adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat, $x_0 = 0$ untuk siku ganda dan profil T (sumbu y - sumbu simetris)

f_{cry} dihitung sesuai dengan persamaan sebelumnya, untuk tekuk lentur terhadap sumbu lemah $y-y$, dan dengan menggunakan harga λ_c , yang dihitung dengan rumus

$$\lambda_c = \frac{Lky}{\pi r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}},$$

dengan Lky adalah panjang tekuk dalam arah sumbu lemah $y-y$.

2.5.3.6.2 Komponen struktur tersusun prismatis dengan elemen yang dihubungkan oleh pelat melintang dan memikul gaya sentris

- o Komponen struktur tersusun dari beberapa elemen yang disatukan pada seluruh panjangnya boleh dihitung sebagai komponen struktur tunggal
- o Pada komponen struktur tersusun yang terdiri dari beberapa elemen yang dihubungkan pada tempat-tempat tertentu, kekuatannya harus dihitung terhadap sumbu bahan dan sumbu bebas bahan. Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua elemen komponen struktur itu; sedangkan, sumbu bebas bahan adalah sumbu yang sama sekali tidak, atau hanya memotong sebagian dari elemen komponen struktur itu.

Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua elemen komponen struktur (lihat Gambar 2.18):

$x-x$ adalah sumbu bahan,

$y-y$ adalah sumbu bebas bahan,

$l-l$ adalah sumbu minimum dari elemen komponen struktur,

----- adalah pelat kopel.

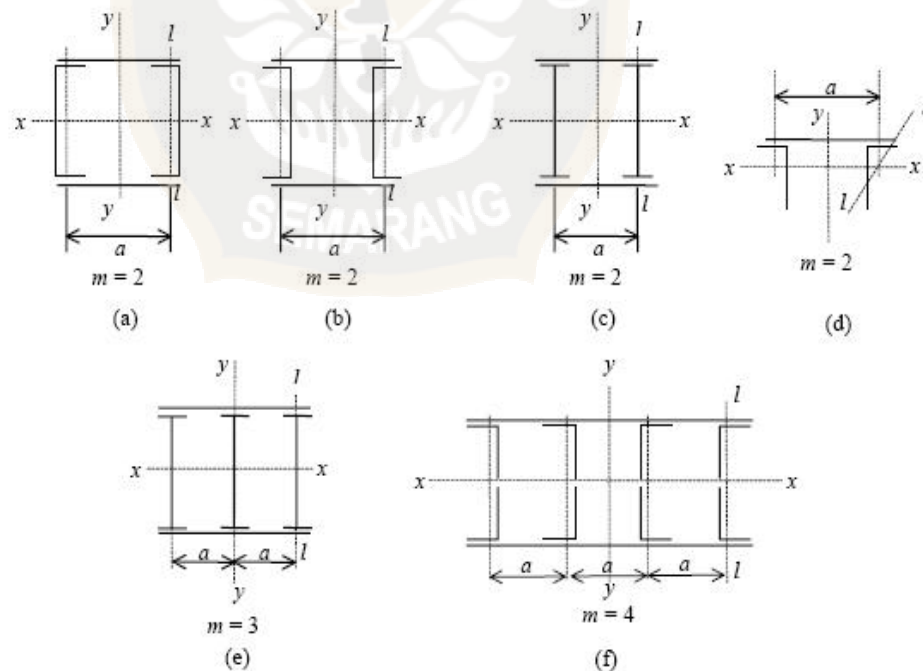
- o Kelangsingan pada arah tegak lurus sumbu $x-x$ dihitung dengan persamaan:

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x}$$

Keterangan:

L_{kx} adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu $x-x$, dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada, dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, mm

r_x adalah jari-jari girasi komponen struktur tersusun terhadap sumbu $x-x$, mm



Gambar 2.18. Komponen tersusun

Pada arah tegak lurus sumbu bebas bahan $y-y$, harus dihitung kelangsingan ideal λ_{iy} dengan persamaan:

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_l^2}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y}$$

$$\lambda_l = \frac{L_l}{r_{\min}}$$

Keterangan:

m adalah konstanta seperti tercantum pada Gambar 2.18

L_{ky} adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu $y-y$, dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, mm

r_y adalah jari-jari girasi dari komponen struktur tersusun terhadap sumbu $y-y$, mm

L_l adalah spasi antar pelat kopel pada arah komponen struktur tekan, mm

r_{\min} adalah jari-jari girasi elemen komponen struktur terhadap sumbu yang memberikan nilai yang terkecil (sumbu $l-l$), mm

Agar persamaan λ_{iy} dapat dipakai, harus dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- Pelat-pelat kopel membagi komponen struktur tersusun menjadi beberapa bagian yang sama panjang atau dapat dianggap sama panjang,
- Banyaknya pembagian komponen struktur minimum adalah 3,

- Hubungan antara pelat kopel dengan elemen komponen struktur tekan harus kaku,
- Pelat kopel harus cukup kaku, sehingga memenuhi persamaan:

$$\frac{I_p}{a} \geq 10 \frac{I_l}{L_l}$$

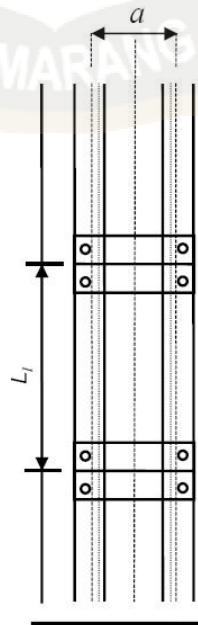
Keterangan:

I_p adalah momen inersia pelat kopel; untuk pelat kopel di muka dan di belakang yang tebalnya t dan tingginya h , maka: $I_p = 2 \times$

$$\frac{1}{12} th^3, \text{ mm}^4$$

I_l adalah momen inersia elemen komponen struktur terhadap sumbu $l-l$, mm^4

a adalah jarak antara dua pusat titik berat elemen komponen struktur (lihat Gambar 2.19), mm



Gambar 2.19. Plat kopel

- Koefisien tekuk ω_x dan ω_{iy} selanjutnya ditentukan oleh harga-harga λ_x dan λ_{iy} , sehingga kuat tekan nominal diambil sebagai nilai yang terkecil di antara:

$$N_n = \frac{A_g f_y}{\omega_x}$$

dan

$$N_n = \frac{A_g f_y}{\omega_{iy}}$$

- Selanjutnya, perencanaan komponen struktur tersusun ini dihitung sesuai dengan persamaan
- Untuk menjaga kestabilan elemen-elemen penampang komponen struktur tersusun maka harga-harga λ_x dan λ_{iy} harus memenuhi:

$$\lambda_x \geq 1,2\lambda_1$$

$$\lambda_{iy} \geq 1,2\lambda_1$$

dan

$$\lambda_1 \leq 50$$

- Pelat-pelat kopel harus dihitung dengan menganggap bahwa pada seluruh panjang komponen struktur tersusun itu bekerja gaya lintang sebesar:

$$Du = 0,02Nu$$

dengan Nu adalah kuat tekan perlu komponen struktur tersusun akibat beban-beban terfaktor.

Anggapan di atas tidak boleh dipakai apabila komponen struktur yang ditinjau dibebani oleh gaya-gaya tegak lurus sumbu komponen struktur atau dibebani oleh momen. Jadi tidak berlaku untuk komponen struktur tersusun yang bebannya bukan hanya tekan sentris saja.

Dalam hal ini komponen struktur tersebut harus direncanakan terhadap gaya lintang yang terbesar di antara yang dihitung dengan persamaan di atas dan gaya lintang yang sebenarnya terjadi.

2.5.3.7 Komponen Struktur Yang Mengalami Gaya Tarik Aksial

Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor N_u harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n$$

dengan ϕN_n adalah kuat tarik rencana yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan menggunakan harga-harga ϕ dan N_n di bawah ini:

$$\phi = 0,9$$

$$N_n = A_g f_y$$

dan

$$\phi = 0,75$$

$$N_n = A_e f_u$$

Keterangan:

A_g adalah luas penampang bruto, mm²

A_e adalah luas penampang efektif, mm²

f_y adalah tegangan leleh, MPa

f_u adalah tegangan tarik putus, MPa

2.5.3.7.1 Penampang efektif

Luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut:

$$A_e = AU$$

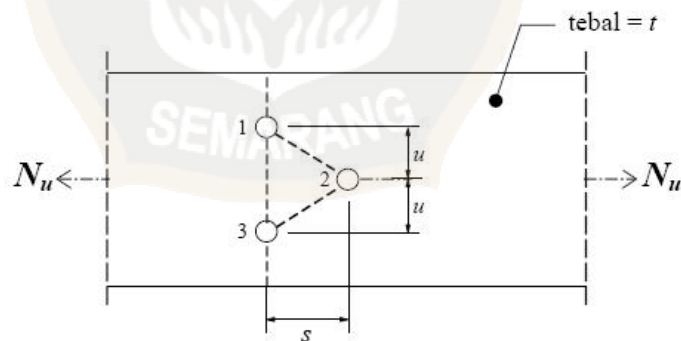
Keterangan:

- A adalah luas penampang, mm²
 U adalah faktor reduksi = $1 - (x / L) \leq 0,9$
 x adalah eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan, mm
 L adalah panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut yang terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik, mm

2.5.3.7.2 Kasus gaya tarik hanya disalurkan oleh baut

➤ $A = A_{nt}$

adalah luas penampang neto terkecil antara potongan 1-3 dan potongan 1-2-3,



Gambar 2.20. Potongan penampang dengan sambungan baut

Potongan 1-3: $A_{nt} = A_g - n d t$

Potongan 1-2-3: $A_{nt} = A_g - n d t + \sum \frac{s^2 t}{4u}$

Keterangan:

A_g adalah luas penampang bruto, mm²

t adalah tebal penampang, mm

- d adalah diameter lubang, mm
 n adalah banyaknya lubang dalam garis potongan
 s adalah jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur, mm
 u adalah jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur
- Dalam suatu potongan jumlah luas lubang tidak boleh melebihi 15% luas penampang utuh.

2.5.3.8 Komponen Struktur Yang Mengalami Geser

Komponen struktur yang memikul gaya geser terfaktor V_u harus memenuhi:

$$V_u \leq \phi V_n$$

dengan

ϕ adalah factor reduksi

V_n adalah kuat geser nominal

2.5.3.8.1 Cek kelangsingan penampang

$$\circ \quad \frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{KnE}{f_y}}$$

$$\text{dengan } Kn = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$\circ \quad 1,1 \sqrt{\frac{KnE}{f_y}} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \sqrt{\frac{KnE}{f_y}}$$

(untuk kuat tekuk geser elastoplastis)

○ $1,37 \sqrt{\frac{KnE}{f_y}}$ (untuk kuat tekuk geser elastis)

2.5.3.8.2 Kuat Geser Nominal penampang adalah

○ $V_n = 0,6 f_y A_w$ dengan A_w adalah luas plat badan

2.5.3.8.3 Kuat Tekuk Geser Elastoplastis

Syarat adalah ($A_n \geq 0,9 A_{br}$) jika ya maka $A_w = A_{br}$

jika tidak $A_w = A_n$

○ $V_n = 0,6 f_y A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}} \frac{1}{h/t_w} \right]$ atau,

○ $V_n = 0,6 f_y A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right]$

dengan $C_v = 1,10 \frac{\sqrt{\frac{K_n E}{f_y}}}{\frac{h}{t_w}}$

2.5.3.8.4 Kuat Tekuk Geser Elastis

○ $V_n = \frac{0,9 A_w K_n E}{(h/t_w)^2}$

○ $V_n = 0,6 f_y A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right]$

dengan $C_v = 1,5 \frac{K_n E}{f_y} \frac{1}{(h/t_w)^2}$

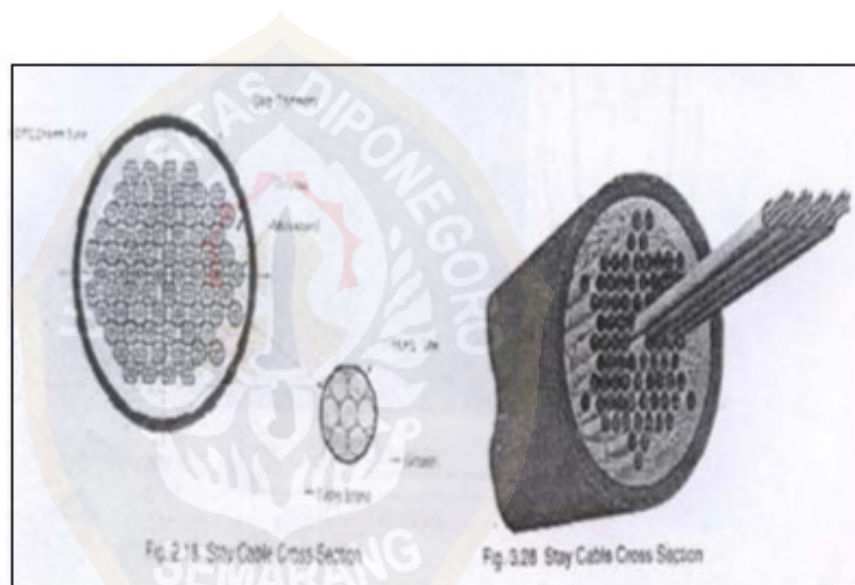
2.5.3.9 Konstruksi dan Perilaku Kabel

Beberapa hal penting yang harus menjadi perhatian apabila membicarakan kabel pada konstruksi jembatan yaitu ; material pembentuk, konstruksi dan cara pembuatan. Material dan konstruksi akan mempengaruhi kekuatan, ketahanan dan kekakuan dari kabel berikut ini akan dijelaskan secara detail.

2.5.3.9.1 Kabel pada struktur jembatan

Kabel baja (*steel cable*) merupakan elemen dasar bagi kabel modern yang berfungsi sebagai pendukung jembatan yang biasanya lebih kuat dibanding baja struktur biasa. Dilihat dari segi kekuatannya, kawat baja 5 kali lebih kuat dibanding baja structural lunak (*mild structural steel*) yang umumnya digunakan untuk baja tulangan pada konstruksi beton. Namun daya tahan terhadap perpanjangan saat putus adalah 1/5 kali dibanding baja structural. Hal ini dikarenakan, kandungan karbon pada kawat baja hampir 5 kali dibanding baja structural oleh karena itu kabel baja sulit untuk dilas. Umumnya, konstruksi kabel untuk pendukung jembatan adalah dalam bentuk “strand” (untaian kawat). Strand paling sederhana yang sering ditemui pada jembatan adalah strand dengan 7 buah kawat yang digunakan sebagai tendon pada beton pratekan (*prestressed concrete*). Strand yang dibuat dari 7 buah kawat berdiameter 5 mm terdiri dari sebuah inti kawat (*wire core*) yang dikelilingi 6 kawat sebagai lapisan pertama akan membentuk strand berdiameter 15,3 mm. Konstruksi ini sering disebut dengan 7-wire strand 0,6” dan juga sering dipakai sebagai pada jembatan cable stayed.

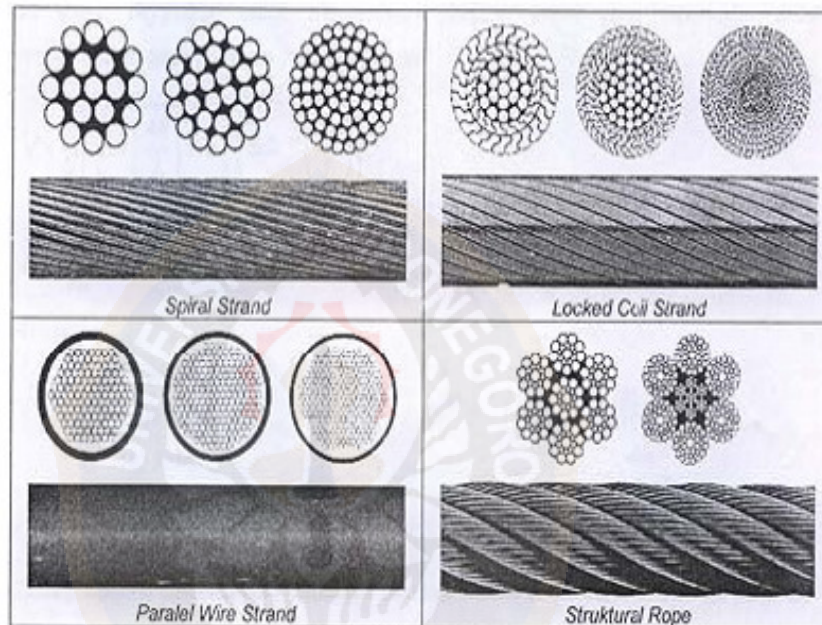
Tipikal modulus elastisitas nominal dari sebuah kabel 7-wire strand kira-kira 195.000 MPa, lebih rendah 5 – 6 % dibanding satu buah kawat (*single wire/cable*). Pengurangan dari kekakuan ini akibat puntiran kawat-kawat dalam helical *strand*, dimana kurva perpanjangna strand (*curved strand*) tidak seperti pada individual kawat-kawat.



Gambar 2.21. Konfigurasi kabel

2.5.3.9.2 Tipe-tipe Kabel

Tipe-tipe kabel yang umumnya ada dipasaran adalah Spiral Strand, Locked Coil Strand, Parallel Wire Strand, Structural Rope.



Gambar 2.22. Tipe Struktural Kabel

2.5.3.10 Sambungan Las

Pengelasan pada jaman lampau dilakukan dengan metode yang sangat sederhana, yaitu kedua potongan logam yang akan disambung dipanasi sampai membara, kemudian kedua sisi yang akan disambung tadi disatukan dan ditempa bersama-sama sehingga menyatu. Untuk sambungan struktural maka hal demikian sangat tidak dianjurkan, karena tidak terjamin kekuatannya.

Sekarang ini orang mengenal dua macam pengelasan yang umum dipergunakan yaitu:

- o Las yang menggunakan campuran gas *acetylen* (gas karbit) dan oksigen. Api yang timbul digunakan untuk memanasi kedua ujung logam yang akan disambung, kemudian batang kawat sebagai bahan pengisi dilumerkan dan disatukan pada sambungan tersebut. Pengelasan macam ini hanya digunakan untuk penyambungan ringan dan untuk pekerjaan-pekerjaan dengan bahan dasar yang tipis. Pengelasan ini terbanyak justru digunakan untuk memotong bahan-bahan logam.
- o Elektroda las. Saat ini paling umum digunakan untuk pekerjaan konstruksi. Arus listrik dialirkan melalui batang elektroda pada batang yang akan disambung, karena hubungan pendek yang terjadi mengakibatkan elektroda dan batang yang disambung meleleh bersama-sama sehingga menyatu. Elektroda las yang dibungkus dengan bahan yang apabila merupakan akan menghasilkan gas dan kerak yang melindungi sambungan terhadap oksidasi lebih lanjut.

2.5.3.10.1 Jenis Las

- o Las tumpul

Las tumpul penetrasi penuh adalah las tumpul di mana terdapat penyatuan antara las dan bahan induk sepanjang kedalaman penuh sambungan. Las tumpul penetrasi sebagian adalah las tumpul di mana kedalaman penetrasi lebih kecil daripada kedalaman penuh sambungan. Bentuk las tumpul tergantung dari tebal bagian yang akan disambung.

- o Las sudut

Kekuatan las sudut didasarkan atas tebal efektif dari las tersebut. Kekuatan suatu las sudut tergantung pada arah gaya yang bekerja padanya, yang mungkin sejajar atau melintang pada arah panjang las.

Macam las sudut :

- 1) Las sudut pipih/datar (paling banyak digunakan)
- 2) Las sudut cekung
- 3) Las sudut cembung



Gambar 2.23. Macam las sudut

- o Las pengisi

Las pengisi adalah las sudut di sekeliling lubang bulat atau selot. Las pengisi harus dianggap sebagai las sudut.

2.5.3.10.2 Penentuan Tebal Las

- o **Tebal las tumpul**

Tebal rencana las tumpul ditetapkan sebagai berikut:

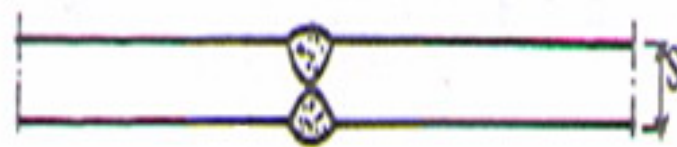
- a) Las tumpul penetrasi penuh: tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi penuh adalah ukuran las
- b) Las tumpul penetrasi sebagian: tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi sebagian ditetapkan sesuai dengan ketentuan dibawah ini:
 - 1) Sudut antara bagian yang akan disambung $\leq 60^\circ$
Satu sisi: $t_1 = (d-3)$ mm
Dua sisi: $t_1 = (d_1 + d_2 - 6)$ mm
 - 2) Sudut antara bagian yang akan disambung $> 60^\circ$
Satu sisi: $t_1 = d$ mm
Dua sisi: $t_1 = (d_1 + d_2)$ mm

Dimana:

d adalah kedalaman yang dipersiapkan untuk las.

d_1 dan d_2 adalah nilai untuk tiap sisi las.

Penentuan bentuk las tumpul berdasarkan tebal pelat yang akan disambung adalah sebagai berikut:



Gambar 2.24. Las tumpul

a) $s : 4 \text{ mm}$; digunakan las sebelah, tanpa pekerjaan pendahuluan.

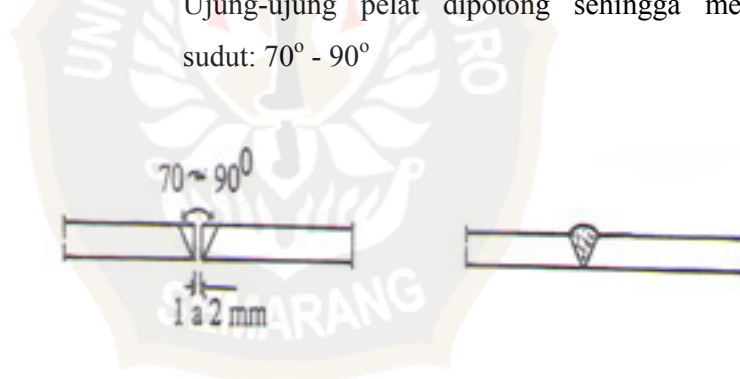
Kedua pelat dilekatkan satu sama lain, selanjutnya di las.

b) $s : 4 - 8 \text{ mm}$; digunakan las dua belah, tanpa pekerjaan pendahuluan.

Mula-mula pengelasan dilakukan dibagian atas, kemudian dibalik dan di las. Las ini disebut las-I

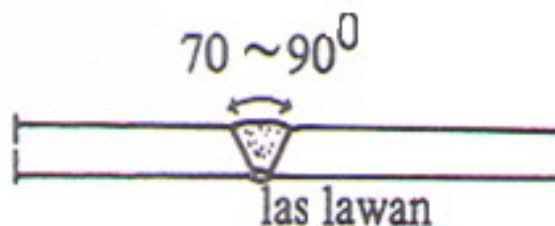
c) $s : 4 - 20 \text{ mm}$; karena tidak bisa dibalik, maka digunakan las-V, perlu pekerjaan pendahuluan.

Ujung-ujung pelat dipotong sehingga membuat sudut: $70^\circ - 90^\circ$



Gambar 2.25. Las-V tanpa las lawan

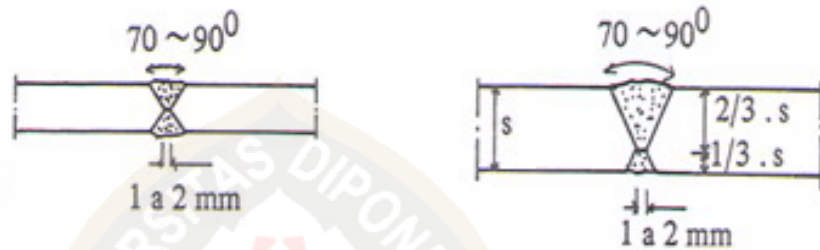
Jika benda kerja (pelat) dapat dibalik, maka dari yang $4 - 12 \text{ mm}$ dipergunakan las-V dengan las-lawan.



Gambar 2.26. Las-V dengan las lawan

d) $s : 12 - 30 \text{ mm}$; jika benda kerja tidak bisa dibalik, lakukan las-V (las dari sebelah).

Jika benda kerja bisa dibalik, gunakan las-X (las dari 2 belah)



Gambar 2.27. Las-X

o **Tebal las sudut**

1) Berdasarkan syarat pembakaran

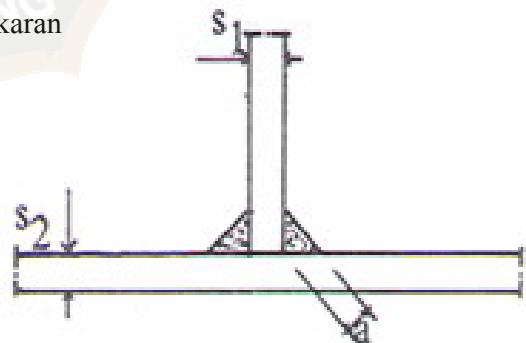
o $5 \text{ mm} < s \leq 9 \text{ mm}$

$$a \leq \frac{s+1}{2} (\text{mm})$$

o $9 \text{ mm} < s \leq 13 \text{ mm}$

$$a \leq \frac{s+2}{2} (\text{mm})$$

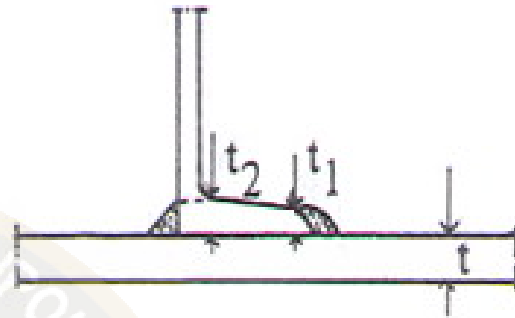
o $s > 14 \text{ mm}$



Gambar 2.28. Las sudut datar

Tidak lagi digunakan satu lapis las, tetapi berlapis-lapis. Sebab lebih efektif bila tebal las (a) dalam satu lapis diambil tidak lebih besar dari 7 mm.

- o $t_1 < t$
 $a_1 \leq 0,7 \cdot t_1$ (mm)
- o $t_1 > t$
 $a_1 \leq \frac{s+1}{2}$ (mm)
- o $t_2 < t$
 $a_2 \leq 0,7 \cdot t_2$ (mm)



Gambar 2.29. Las sudut dua lapis

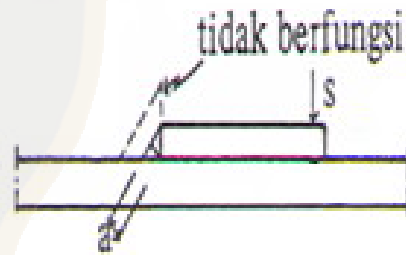
2) Berdasarkan tebal pelat yang akan disambung

$$a \leq \frac{1}{2} \cdot s \cdot \sqrt{2} \approx 0,7 \cdot s \text{ (mm)}$$

Keterangan:

s = tebal pelat yang terkecil

a = tebal las



Gambar 2.30. Las sudut untuk pelat

2.5.3.10.3 Kekuatan las

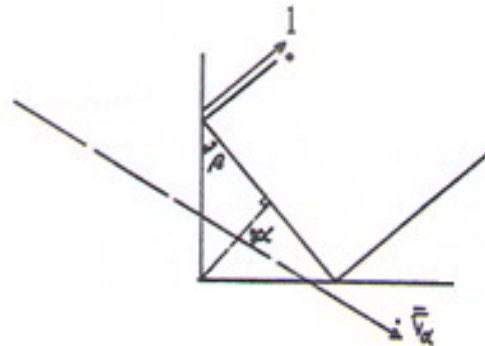
$$P = \frac{\bar{\sigma}_\alpha}{\bar{\sigma}} \cdot \bar{\sigma} \cdot n \cdot F \quad (\text{kg})$$

$$F = a \cdot L_{nt} \quad (\text{mm}^2)$$

$$L_{nt} = L_{brt} - (3 \cdot a) \quad (\text{mm})$$

$$L_{nt} = \frac{P}{\frac{\bar{\sigma}_\alpha}{\bar{\sigma}} \cdot \bar{\sigma} \cdot n \cdot a} \quad (\text{mm})$$

$$\frac{\bar{\sigma}_\alpha}{\bar{\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cdot \cos^2 \alpha}}$$



Gambar 2.31. Tebal las efektif

Syarat: $L_{nt} \leq 40.a$

$L_{nt} > 4 \text{ cm}$

Untuk profil I gaya yang bekerja pada badan dan sayap adalah sebagai berikut:

$$P_{flens} = \frac{F_{flens}(I)}{F_{total}(I)} \cdot P \quad (\text{kg})$$

$$P_{web} = \frac{F_{web}(I)}{F_{total}(I)} \cdot P \quad (\text{kg})$$

Keterangan:

P = gaya yang bekerja pada bidang las

F = luas bidang las

L_{nt} = panjang netto las

L_{brt} = panjang bruto las

F_{flens} = luas sayap

F_{web} = luas badan

P_{flens} = gaya yang bekerja pada sayap

P_{web} = gaya yang bekerja pada badan

2.5.3.10.4 Kontrol tegangan

- o Cek tegangan akibat gaya normal dan momen

$$\sigma_N = \left(\frac{N}{F}\right) \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\sigma_M = \left(\frac{M}{W}\right) \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\sigma = \sigma_N \pm \sigma_M \leq \bar{\sigma} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

- o Cek tegangan geser rata-rata akibat gaya geser

$$\tau_r = \left(\frac{D}{F}\right) \leq 0.58\bar{\sigma} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

- o Cek tegangan akibat geser dan normal

$$\sigma_{iditil} = \sqrt{\sigma^2 + 3.\tau_r^2} \leq \bar{\sigma} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Keterangan:

N = gaya arah normal

D = gaya geser

M = momen yang timbul

F = luas bidang las

α = sudut yang dibentuk oleh arah gaya dan bidang geser las

σ_N = tegangan akibat normal

$\bar{\sigma}_M$ = tegangan akibat momen

σ = tegangan normal ijin

$$= 1666,667 \text{ kg/cm}^2$$

τ_r = tegangan geser

2.5.4 Struktur Bawah

Pemilihan tipe dan jenis pondasi pada daerah yang berbeda berdasarkan pertimbangan, antara lain sebagai berikut :

- o Perkiraan beban yang akan dipikul pondasi
- o Daya dukung tanah
- o Formasi tanah keras

Jenis pondasi tipikal untuk berbagai kedalaman stratum pendukung (tanah keras) adalah sebagai berikut :

- o Pondasi langsung, 0 sampai 3 meter kedalaman ke lapis pendukung.
- o Pondasi sumuran, 3 sampai 10 meter ke lapis pendukung.
- o Pondasi tiang beton, 10 sampai 20 m kedalaman ke lapis pendukung.

- Pondasi tiang baja, > 10 meter kedalaman ke lapis pendukung.

Tipe pondasi tidak sekedar mendasarkan sisi rekayasa praktis tetapi juga berdasarkan sisi perancangan. Jenis pondasi yang digunakan adalah sumuran, ditinjau dari segi harga pondasi ini tidak terlalu mahal akan tetapi getaran dan kebisingan yang terjadi lebih sedikit daripada pondasi tiang pancang.

2.5.4.1 Pemilihan Jenis Pondasi

Dalam merencanakan suatu struktur bawah dari konstruksi bangunan dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi, pemilihan tipe pondasi didasarkan pada hal-hal sebagai berikut :

- Fungsi bangunan atas
- Besarnya beban dan berat dari bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Jumlah biaya yang dikeluarkan

Tipe pondasi yang sering digunakan dalam struktur bangunan antara lain pondasi tiang bor, dan pondasi kaison bor (sumuran). Sedangkan keuntungan pemakaian pondasi kaison bor dan tiang bor, antara lain :

- Pembangunannya tidak menyebabkan getaran dan penggembungan tanah, seperti pada pemancangan pondasi tiang pancang.
- Penggalian tidak mengganggu tanah di sekitarnya.
- Biaya pelaksanaan umumnya relatif rendah, berhubung alat yang dipakai adalah alat ringan.
- Kondisi-kondisi tanah atau batu pada dasar sumuran sering dapat diperiksa dan diuji secara fisik.
- Alat gali tidak banyak menimbulkan suara.