

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karya Ilmiah Sejenis Sebelumnya

Tugas Akhir/hasil penelitian dan jurnal mengenai Jembatan Gantung digunakan sebagai referensi dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Persamaan dan Perbedaan dari karya ilmiah sebelumnya dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Karya Ilmiah Sejenis Sebelumnya.

No.	Judul dan tahun	Jenis	Penulis	Persamaan	Perbedaan
1.	Perancangan Jembatan Gantung Cideng untuk Pejalan Kaki di Rancamanyar Kabupaten Bandung (2019)	Tugas Akhir	Afdhal Lazuardiansyah Ramdhani	Perancangan jembatan gantung menjadi topik utama	Dengan dua menara (<i>pylon</i>). Tidak dilakukan perhitungan dengan JUDESA
2.	Kajian Analisis Struktur Jembatan Gantung Pejalan Kaki Asimetris Ganda (2018)	Jurnal	Altie Santika Arifin, Bernerdinus Herbudiman, Gatot Sukmara	Struktur JUDESA sebagai topik utama	Hanya dilakukan analisis pada JUDESA tipe Ganda
3.	Perancangan Jembatan Gantung Ciketa dengan Material Utama Baja di Kabupaten Bandung (2018)	Tugas Akhir	Muhamad Haikal Abdullah	Perancangan jembatan gantung menjadi topik utama	Bentang jembatan 30 meter
4.	Analisis Optimasi Jembatan Gantung Pejalan Kaki dengan JUDESA (2019)	Jurnal	Hydrowansi Siregar dan Torang Sitorus	JUDESA sebagai topik utama	Tidak dilakukan perancangan hanya analisis

Sumber: Analisis Penulis

Ramdhani (2019) membuat Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Jembatan Gantung Cideng untuk Pejalan Kaki di Rancamanyar Kabupaten Bandung”. Tugas akhir tersebut membahas perancangan jembatan gantung pejalan kaki dengan bentang 60 meter dan lebar 1,8 meter. Struktur jembatan menggunakan material baja dan menggunakan dua buah menara simetris. Dalam Karya Tulis ini Penulis merancang Jembatan Gantung Ratu Jaya dengan menggunakan teknologi Jembatan Gantung untuk Pedesaan Asimetris (JUDESA). Jembatan Ratu Jaya akan

dirancang menggunakan satu buah menara ganda yang akan membuat desain jembatan berbentuk asimetris. Pembebanan yang bekerja di Jembatan Ratu Jaya adalah beban mati dari struktur yang digunakan, beban hidup sebesar 3 KPa yang merupakan gabungan antara beban pejalan kaki dan beban sepeda motor, serta beban angin.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Jembatan

Jembatan digunakan untuk menyeberangi suatu rintangan. Rintangan yang dilewati oleh jembatan dapat berupa sungai, rel kereta api ataupun jalan raya. Berdasarkan Lampiran Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 07/SE/M/2015 tentang Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan definisi jembatan yaitu bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai penghubung dua ujung jalan yang terputus oleh sungai, saluran, lembah dan selat atau laut, jalan raya dan jalan kereta api.

Jembatan dibangun untuk mempermudah transportasi masyarakat dari satu tempat ke tempat lainnya. Maka, jembatan harus mampu menahan beban-beban yang disebabkan oleh lalu lintas di atasnya ataupun gaya-gaya lainnya dari lingkungan disekitar jembatan. Hal ini menyebabkan suatu jembatan perlu dilakukan perencanaan sesuai dengan standar yang berlaku untuk jembatan yang akan dibangun.



Gambar 2.1 Jembatan.
Sumber: Google 2020

1) Perencanaan Jembatan

Pada perencanaan jembatan kegagalan struktur dari perencanaan itu tidak dapat dihindari, tetapi bisa dikurangi kemungkinannya. Kemungkinan dalam

kegagalan itu dihitung dengan menggunakan angka reduksi kekuatan dan angka faktor pembebanan. Angka yang digunakan untuk faktor reduksi setiap elemen akan berbeda dan juga angka yang digunakan untuk faktor pembebanan disesuaikan dengan bebanya. Maka, secara umum perencanaan didasari dengan teori LFRD (*Load Resistance Factor Design*). Keadaan struktur dinyatakan aman untuk digunakan jika memenuhi persyaratan beban kerja terfaktor yang bekerja lebih kecil dari nilai kekuatan nominal yang tereduksi. Penggunaan faktor beban dan faktor reduksi harus mengikuti peraturan di dalam standar perencanaan yang berlaku, seperti RSNI T-03-2005 untuk struktur baja dan RSNI T-12-2004 untuk struktur beton.

2) Pokok – Pokok Perencanaan Jembatan

Sesuai dengan pedoman persyaratan umum perencanaan jembatan, struktur jembatan yang berfungsi paling tepat untuk suatu lokasi tertentu adalah yang paling baik memenuhi pokok-pokok perencanaan jembatan seperti:

a. Kekuatan dan stabilitas struktur (*Structural safety*)

Tanggung jawab utama seorang perencana jembatan harus mengutamakan keselamatan masyarakat, dimana perencana harus merencanakan suatu jembatan yang memiliki keselamatan struktural (*structural safety*) yang memadai.

b. Keawetan dan kelayakan jangka panjang (*Durability*)

Jembatan dibuat dari bahan yang berkualitas serta menggunakan standar yang tinggi selama proses fabrikasi dan perakitannya. Baja struktur harus terlindung dari korosi, memiliki sistem lapis pelindung (*coating*) atau proteksi katodik (*cathodic protection*) yang berusia panjang.

c. Kemudahan pemeriksaan (*Inspectability*)

Kemudahan aspek pemeriksaan harus dipertimbangkan oleh perencana kedepannya. Pemeriksaan jembatan dapat dilakukan dengan menyediakan tangga inspeksi, jalan pemeriksaan, catwalk, lubang pemeriksaan, akses penggantian lampu penerangan dan sebagainya.

d. Kemudahan pemeliharaan (*Maintainability*)

Sistem struktur tertentu yang diperkirakan kegiatan pemeliharaannya sulit dilakukan harus dihindari. Daerah di sekitar dudukan perletakan dan di bawah

sambungan lantai harus dirancang untuk pendongkrakkan, pembersihan, perbaikan dan penggantian perletakan dan sambungan.

e. Kenyamanan bagi pengguna jembatan (*Rideability*)

Pada perencanaan lantai jembatan harus dirancang untuk menghasilkan pergerakan lalu lintas yang mulus. Pada jalan yang diperkeras, pelat injak (*structural transition slab*) harus dipasang diantara jalan pendekat dan kepala jembatan.

f. Ekonomis

Desain atau rencana yang baik akan memperhatikan faktor ekonomis dari sumber pendanaan untuk pelaksanaan jembatan tersebut kelak setelah selesai direncanakan. Pemilihan tipe bangunan atas, penentuan jumlah dan panjang bentang dan sebagainya akan menentukan seberapa besar biaya yang diperlukan untuk membangun jembatan tersebut.

g. Kemudahan pelaksanaan (*Construcability*)

Suatu jembatan tidak hanya harus dapat direncanakan dengan baik, namun juga harus dapat dilaksanakan atau dibangun, oleh karena itu seorang perencana juga harus memiliki wawasan tentang teknik-teknik konstruksi jembatan dan komponen-komponennya sehingga gambar yang diterbitkan dari proses perencanaan dapat dilaksanakan.

h. Estetika

Nilai estetika suatu jembatan dapat dilihat dari bentuk komponen jembatan yang unik dibandingkan bangunan di sekitarnya. Pada saat perencanaan jembatan, pertimbangan estetika dapat dipilih untuk menentukan bentuk visual jembatan yang diinginkan. Hal seperti ini biasanya terjadi pada suatu daerah yang menginginkan jembatan menjadi ciri khas (*landmark*) suatu daerah.

i. Dampak lingkungan pada tingkat yang wajar dan cenderung minimal

Seorang perencana dalam merancang suatu jembatan harus mempertimbangkan dampak lingkungan yang paling minimal akibat pembangunan jembatan tersebut.

3) Klasifikasi Jembatan

Jembatan dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kategori, yaitu:

- a. Jenis jembatan berdasarkan fungsinya:
 - Jembatan Jalan Raya (*Highway Bridge*)
 - Jembatan Lintasan Kereta Api (*Railway Bridge*)
 - Jembatan Pejalan Kaki atau Penyeberangan (*Pedestrian Bridge*)
- b. Jenis jembatan berdasarkan fungsinya:
 - Jembatan Kayu (*Log Bridge*)
 - Jembatan Beton (*Concrete Bridge*)
 - Jembatan Beton Prategang (*Prestressed Concrete Bridge*)
 - Jembatan Baja (*Steel Bridge*)
 - Jembatan Komposit (*Compossite Bridge*)
- c. Jenis jembatan berdasarkan tipe strukturnya:
 - Jembatan Plat (*Slab Bridge*)
 - Jembatan Plat Berongga (*Voided Slab Bridge*)
 - Jembatan Gelagar (*Girder Bridge*)
 - Jembatan Rangka (*Trussl Bridge*)
 - Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)
 - Jembatan Kabel (*Cable Stayed Bridge*)
 - Jembatan Cantilever (*Cantilever Bridge*)

Berdasarkan tipe strukturnya untuk jembatan gantung (*Suspension bridge*) yang menjadi topik pembahasan laporan ini akan dibahas dalam sub-bab selanjutnya.

2.2.2 Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Dalam Buku *Bridge Engineering Handbook* (1999) Atsushi Okukawa mengemukakan bahwa jembatan gantung telah dikonstruksi menggunakan kabel rantai besi di China lebih dari 2000 tahun yang lalu, serta terdapat jejak peninggalan yang sama di India. Di Benua Eropa Jembatan Gantung dikenal pada abad ke-16 dan mulai dikembangkan pada abad ke-18. Saat ini jembatan gantung cocok digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang.

Berdasarkan Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 02/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi

Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki, definisi Jembatan Gantung yaitu Bangunan atas jembatan yang berfungsi sebagai pemikul langsung beban lalu lintas yang melewati jembatan tersebut. Jembatan Gantung terdiri dari lantai jembatan, gelagar pengaku, batang penggantung, kabel pemikul dan pagar pengaman. Seluruh beban lalu lintas dan gaya-gaya yang bekerja dipikul oleh sepasang kabel pemikul yang menumpu di atas 2 pasang menara dan 2 pasang blok angkur. Pada **Gambar 2.2** dapat dilihat gambar jembatan gantung.



Gambar 2.2 Jembatan Gantung.
Sumber: Google 2020

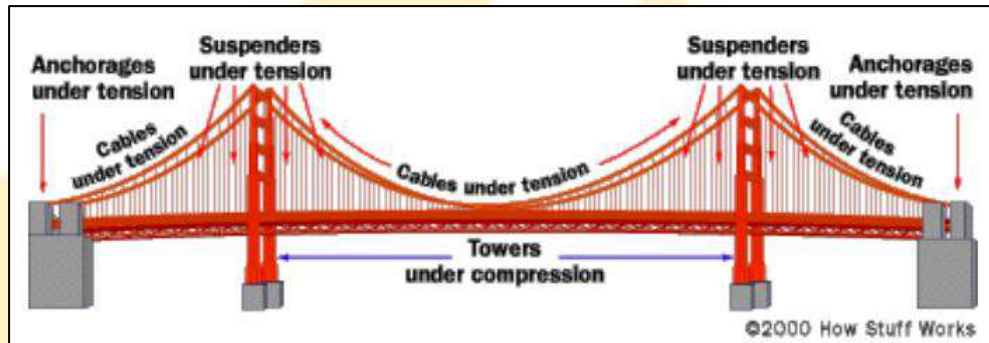
Struktur jembatan gantung lebih fleksibel dari jenis jembatan lain dan struktur utama terlihat kuat serta berfungsi dengan baik. Garis-garis yang dibuat oleh kabel utama dan kabel penggantung membuat jembatan gantung terkesan ramping serta memiliki nilai estetika. Jembatan gantung juga sering digunakan karena lebih ekonomis untuk jembatan dengan bentang lebih dari 60 meter.

1) Sistem Struktur Jembatan Gantung

Jembatan Gantung memiliki dua buah menara tinggi yang berfungsi memikul mayoritas beban pada jembatan. Beban yang bekerja pada lantai jembatan (*deck*) didistribusikan ke kabel penggantung yang kemudian menyalurkan beban tersebut ke menara. Pernyataan tersebut merupakan definisi dari jembatan gantung menurut Robert Lamb dan Michael Morrissey dalam *How Bridge Work* (2000).

Beban yang bekerja pada lantai jembatan mengakibatkan terjadinya gaya tekan pada jembatan. Kemudian, gaya tekan tersebut didistribusikan ke batang penggantung berupa tali atau batang yang akan disalurkan melalui kabel utama menuju menara (*pylon*). Menara tersebut akan menyalurkan beban pada jembatan melalui pondasi ke dalam tanah. Selain itu gaya yang disalurkan melalui kabel

utama akan mengakibatkan kabel utama memiliki gaya tegangan yang akan didukung oleh dua buah angkur pada kedua sisi jembatan. Pada umumnya angkur jembatan gantung terbuat dari batuan padat atau blok beton yang besar. Ilustrasi dari sistem struktur jembatan gantung dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Ilustrasi Sistem Struktur Jembatan Gantung.

Sumber: <https://www.explainthatstuff.com/bridges>

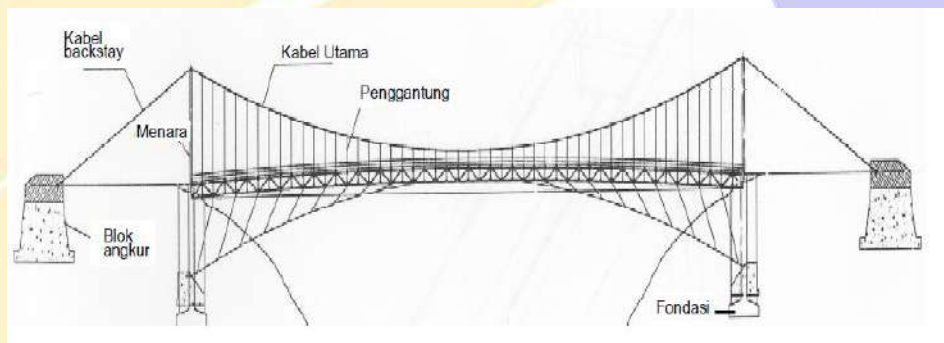
2) Komponen Jembatan Gantung

Berdasarkan pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki, komponen Jembatan Gantung adalah:

- Bangunan atas jembatan terdiri dari:
 1. Lantai jembatan (*deck*), berfungsi untuk menopang beban lalu lintas yang melewati jembatan serta mendistribusikan beban-beban dan gaya-gaya yang tersebut ke gelagar.
 2. Gelagar melintang berfungsi sebagai pemikul lantai dan sandaran serta menyalurkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar memanjang.
 3. Gelagar memanjang berfungsi sebagai pemikul gelagar serta menyalurkan beban dan gaya-gaya tersebut ke batang penggantung.
 4. Batang penggantung (*hanger/suspended*) berfungsi untuk menopang gelagar utama serta mendistribusikan beban-beban dan gaya-gaya yang bekerja ke kabel utama.
 5. Kabel utama dan *backstay* berfungsi untuk menopang beban-beban dan gaya-gaya yang bekerja pada batang penggantung, serta mendistribusikan beban-beban dan gaya-gaya tersebut ke menara dan blok angkur.
 6. Pagar pengaman (*railing*) sebagai pengaman bagi pengguna jembatan.
 7. Kabel ikatan angin berfungsi untuk memikul gaya angin yang bekerja pada bangunan atas.

8. Menara (*pylon*) berfungsi untuk menopang kabel utama, serta mendistribusikan beban-beban dan gaya-gaya yang bekerja melalui struktur pilar ke fondasi.
- Bangunan bawah jembatan terdiri dari:
 1. Blok ankur merupakan tipe gravitasi untuk semua jenis tanah yang berfungsi sebagai penahan ujung-ujung kabel utama serta menyalurkan gaya-gaya yang dipikulnya ke fondasi;
 2. Fondasi menara dan fondasi ankur berfungsi untuk menopang menara dan blok ankur serta mendistribusikan beban dan gaya-gaya yang bekerja ke lapisan tanah pendukung.

Komponen-komponen jembatan gantung dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Bagian Jembatan Gantung.

Sumber: pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki

2.2.3 Jembatan Gantung untuk Pedesaan Asimetris (JUDESA)

Jembatan Gantung untuk Pedesaan Asimetris (JUDESA) merupakan pengembangan desain jembatan gantung untuk pejalan kaki oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan. JUDESA didesain untuk wilayah pedesaan dengan biaya murah dan ketika pelaksanaan masyarakat setempat dapat ikut serta membantu proses pelaksanaannya. Pada Perancangan Jembatan Gantung Ratu Jaya ini, Penulis menggunakan Teknologi JUDESA untuk membangun jembatan tersebut. Contoh dari JUDESA dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Jembatan Gantung untuk Pedesaan Asimetris.
Sumber: Sukmara G. dan Nugraha W. 2015

Jembatan Gantung Ratu Jaya didesain menggunakan Teknologi Jembatan Gantung untuk Pedesaan Asimetris (JUDESA) pada perancangan struktur atasnya karena memiliki beberapa keunggulan dari jembatan gantung biasa. Keunggulan dari Teknologi JUDESA ini adalah:

- Proses pengerjaan konstruksi jembatan dapat melibatkan masyarakat, sehingga masyarakat dapat memiliki rasa tanggung jawab untuk menjaga dan memelihara jembatan tersebut.
- Biaya untuk pembuatan atau konstruksinya relatif lebih murah jika dibandingkan dengan sistem jembatan konvensional.
- Proses pembangunannya lebih cepat karena kecuali komponen fondasi, komponen konstruksi lainnya dapat langsung dirangkai di lokasi.
- Pembangunan jembatan gantung menggunakan konsep *flying fox*, yaitu material disebrangkan menggunakan elemen yang digantung pada kabel utama untuk mengurangi biaya pengangkutan material dan membuka akses daerah terisolir.

1) **Kriteria Lokasi JUDESA**

Sesuai dengan Aspek Teknis Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Penelitian dan Pengembangan Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan tentang Jembatan Gantung Untuk Pedesaan Asimetris (JUDESA), pada pemilihan lokasinya harus mempertimbangkan beberapa aspek yaitu aspek ekonomis, aspek teknis, dan aspek kondisi lingkungan. Pertimbangan tersebut disesuaikan dengan biaya pembuatan jembatan harus seminimal mungkin,

kemudahan untuk proses pemasangan dan perawatan, kemudahan akses dan memberikan keuntungan untuk masyarakat yang akan menggunakannya, serta memiliki resiko minimal terhadap erosi aliran sungai, dan lain sebagainya. Proses pemilihan lokasi jembatan juga harus mempertimbangkan keseluruhan aspek pemasangan jembatan dan jalan penghubung akses jembatan.

a. Aksesibilitas

JUDESA berfungsi untuk membuka akses transportasi antara dua wilayah yang terpisahkan oleh rintangan. Lokasi yang dipilih untuk penerapannya harus mempertimbangkan aksesibilitas sebelum dan sesudah JUDESA dibangun. Jalan masuk yang baik harus tersedia untuk memudahkan mobilisasi material, alat, dan pekerja selama pembangunan. Ketika proses pembangunan selesai JUDESA diharapkan bisa membantu masyarakat dalam berkegiatan setiap harinya untuk bertransportasi menuju pusat pendidikan, pusat administrasi, dan lain sebagainya.

b. Kondisi Tanah

Tanah yang akan digunakan untuk membangun JUDESA harus memiliki kondisi yang baik, disarankan tanah lempung keras dengan nilai kohesi c minimal 50 kN/m^2 dan tanah lempung sedang dengan nilai kohesi c minimal 25 kN/m^2 yang akan lebih menguntungkan ketika akan membangun pondasi. Kedua jenis tanah ini dapat digunakan untuk desain pondasi yang tipikal.

c. Panjang Bentang

Rencana konstruksi JUDESA harus mempertimbangkan panjang bentang terpendek yang mungkin dari jembatan, disesuaikan dengan kelandaian dan akses pengguna jembatan.

d. Resiko Gerusan

Lokasi pembangunan JUDESA harus berada dibagian lurus dari sungai atau arus dan berada jauh dari cekungan tempat erosi dan gerusan terjadi.

e. Ketersediaan Bahan atau Material Struktur

Jika sekitar lokasi pemangunan jembatan terdapat penyedia material dan tempat prefabrikasi akan sangat membantu mengurangi waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk membawa kebutuhan jembatan ke lokasi pembangunan.

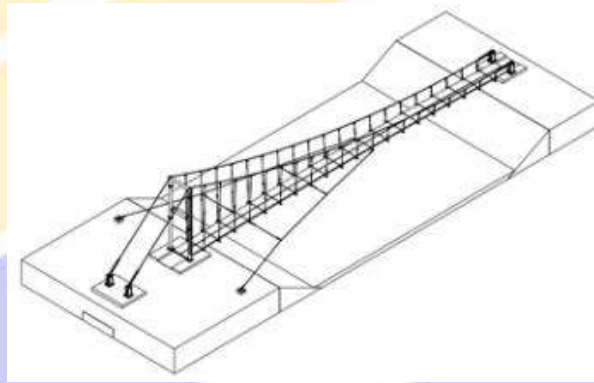
f. Alinemen Jalan Penghubung

Jalan penghubung menuju jembatan sebisa mungkin berupa lintasan lurus agar tidak ada hambatan saat memasuki dan keluar dari jembatan. Lokasi jembatan juga harus memberika jarak bebas untuk mencegah banjir dan pekerjaan tanah harus diminimalisir.

2) Tipe JUDESA

JUDESA yang telah didesain secara tipikal dapat mengakomodasi kebutuhan panjang bentang jembatan dengan batasan bentang 30 m hingga mencapai 120 meter dengan ketentuan sebagai berikut:

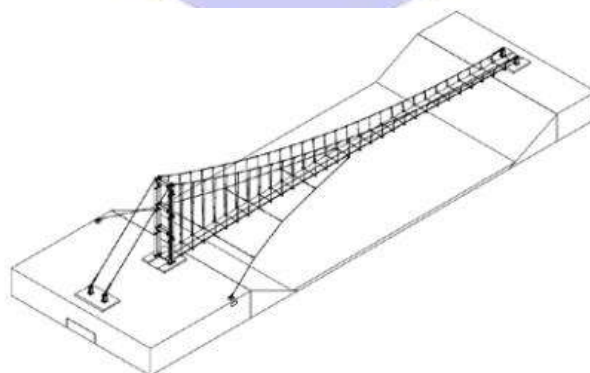
- a. Jembatan dengan bentang 30 meter sampai dengan 40 meter menggunakan JUDESA tipe Asimetris I seperti **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 JUDESA tipe Asimetris I (Bentang 30 m s/d 40 m).

Sumber: Sukmara G. dan Nugraha W. 2015

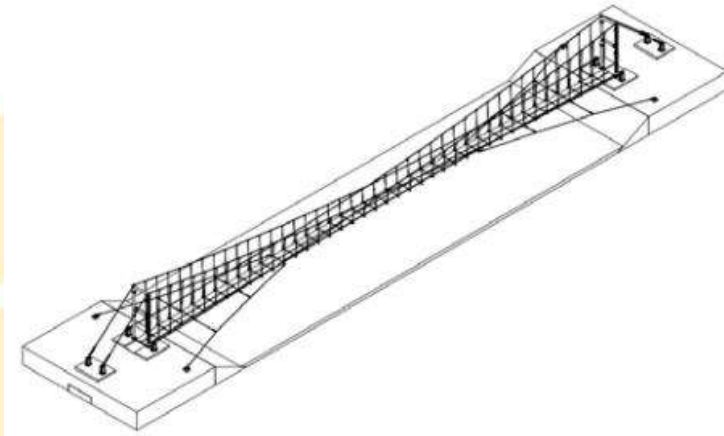
- b. Jembatan dengan bentang 40 meter sampai dengan 60 meter menggunakan JUDESA tipe Asimetris II seperti **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 JUDESA tipe asimetris II (Bentang 40 m s/d 60 m).

Sumber: Sukmara G. dan Nugraha W. 2015

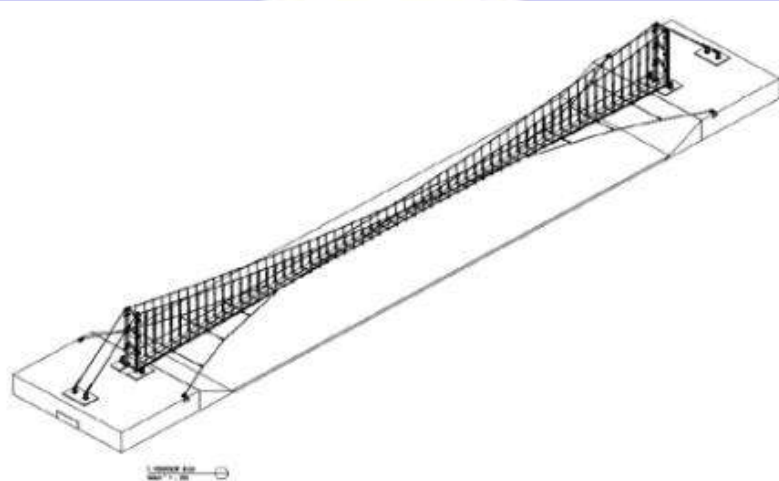
- c. Jembatan dengan bentang 60 meter sampai 80 meter menggunakan JUDESA tipe Double Asimetris I seperti terlihat di **Gambar 2.8**. Tipe ini adalah kombinasi dari dua jembatan JUDESA tipe asimetris I yang berseberangan dan dihubungkan deck closure di bagian pertemuan kedua jembatan.



Gambar 2.8 JUDESA tipe double asimetris I (Bentang 60 m s/d 80 m).

Sumber: Sukmara G. dan Nugraha W. 2015

- d. Jembatan dengan bentang 80 meter sampai 120 meter menggunakan JUDESA tipe Double Asimetris II seperti terlihat di **Gambar 2.9**. Tipe ini adalah kombinasi dari dua jembatan JUDESA tipe asimetris II yang berseberangan dan dihubungkan deck closure di bagian pertemuan kedua jembatan.



Gambar 2.9 JUDESA tipe double asimetris II (Bentang 80 m s/d 120 m).

Sumber: Sukmara G. dan Nugraha W. 2015

3) Kriteria Perencanaan JUDESA

Pada Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 02/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan

Gantung untuk Pejalan Kaki ditetapkan kriteria perencanaan jembatan pejalan kaki yang aman dan sesuai yaitu:

a. Kekuatan

Batang-batang jembatan harus mampu menahan beban hidup dan beban mati yang bekerja pada jembatan.

b. Lendutan

Lendutan pada jembatan pejalan kaki tidak boleh melebihi dari batas yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan pengguna serta menyebabkan batang-batang yang terpasang menjadi tidak rata. Lendutan izin dari jembatan gantung untuk pedesaan sebesar $1/100 L$ dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

c. Beban Dinamik

Getaran pada jembatan gantung dapat diakibatkan oleh orang atau motor yang melintasi jembatan serta akibat getaran angin. Beban dinamik dapat diatasi dengan ikatan angin dan pembatasan barisan pejalan kaki.

4) Pembebanan JUDESA

Jembatan pejalan kaki harus kuat dan kaku (tanpa lendutan yang berlebih) untuk menahan beban rencana. Fungsi dari JUDESA berdasarkan penggunaannya, dibatasi hanya untuk pejalan kaki atau kendaraan sepeda motor. Beban tersebut adalah beban hidup dari pengguna jembatan, beban mati, dan beban samping berupa beban angin yang direncanakan untuk dapat dipikul oleh JUDESA.

a. Beban Vertikal

Beban vertikal rencana adalah kombinasi dari beban mati dan beban hidup terbesar yang diperkirakan dari pengguna jembatan. Beban ini bekerja searah tegak lurus dengan jembatan. Beban vertikal ini berasal dari berat sendiri jembatan dan beban hidup dari pengguna jembatan.

Berat sendiri jembatan berasal dari akumulasi berat komponen jembatan seperti lantai jembatan, gelagar melintang, gelagar memanjang, dan tiang sandaran. Besarnya beban sendiri ini tergantung dari berat jenis dan volume dari komponen tersebut. Berat jenis dari setiap komponen tersebut mengacu pada peraturan pembebanan jembatan yaitu SNI 1725:2016 seperti pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati.

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1	Lapisan Permukaan beraspal (<i>bituminous wearingsurface</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c < 35$ MPa	22-25	2320
	$35 < f_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f_c$	$2240 + 2,29 f_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan

Beban hidup pada JUDESA yang diperhitungan hanya beban tedistribusi merata dari kendaraan sepeda motor dan pejalan kaki dengan besaran yang diambil adalah 3 kPa seperti pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Beban Hidup dan Lendutan Izin Jembatan Gantung Pejalan Kaki.

Kelas Pengguna	Lebar	Beban Terpusat	Beban Terdistribusi Merata	Lendutan Izin Δ
Jembatan Gantung Pejalan Kaki (beban hidup dibatasi hanya untuk pejalan kaki dan sepeda motor)	1,8 m	-	3 kPa	1/100 L
Keterangan: L adalah bentang utama jembatan				

Sumber: Sukmara G. dan Nugraha W. 2015

b. Beban Samping

Beban samping pada jembatan gantung disebabkan oleh beban angin pada sisi depan yang terbuka dari batang-batang jembatan. Standar perencanaan untuk jembatan pejalan kaki mempertimbangkan standar perencanaan kecepatan angin 35 m/detik. Beban angin direncanakan terpisah dari beban hidup vertikal karena tidak mungkin ada aktivitas di atas jembatan ketika angin besar.

Perhitungan beban angin pada jembatan gantung untuk pedesaan asimetris (JUDESA) mengacu pada peraturan pembeban jembatan yaitu SNI 1725:2016.

Persamaan 2.1 digunakan untuk perhitungan beban angin yaitu:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (2.1)$$

Keterangan:

P_B adalah tekanan angin dasar seperti pada **Tabel 2.4**.

V_{DZ} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana.

V_B adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 sampai dengan 126 km/jam pada elevasi 10000 mm.

Tabel 2.4 Tekanan Angin Dasar.

Komponen Bangunan Atas	Angin tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, Kolom, dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan.

c. Kombinasi pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada jembatan tidak bekerja masing-masing, tetapi bekerja secara bersamaan. Kombinasi pembebanan dengan *Safety Factor* dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Kombinasi Pembebanan.

Keadaan Batas	Beban Struktur	Pejalan Kaki dan Sepeda Motor	Angin Struktur	Keterangan
Kombo 1	1,00	-	0,40	Kondisi jembatan kosong, tidak ada beban hidup yang melewatinya. Angin yang berhembus dalam keadaan normal.
Kombo 2	1,00	-	1,40	Kondisi jembatan kosong, tidak ada beban hidup yang melewatinya karena angin berhembus maksimal.
Kombo 3	1,10	2,00	0,40	Kondisi jembatan penuh karena banyak yang melintasinya oleh pejalan kaki dan kendaraan roda dua. Pada jembatan angin yang berhembus normal.

5) Material Struktur Jembatan

a. Beton

Mutu material beton yang digunakan pada struktur JUDESA minimal $f'c$ 20 MPa atau mutu lain yang diperkenankan oleh tenaga ahli. Mutu beton dan proporsi campuran harus sesuai dengan SNI 03-1974 seperti tampak pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Mutu Beton dan Proposi Campuran.

Jenis beton	Mutu beton		Ukuran agregat maksimum (mm)	Rasio air/ semen maksimum (terhadap berat)	Kadar semen minimum (kg/m ³ dari campuran)
	f'_c (MPa)	σ'_{bk} (kgf/cm ²)			
Mutu tinggi	50	600	19	0,350	450
			37	0,400	395
			25	0,400	430
	45	500	19	0,400	455
			37	0,425	370
			25	0,425	405
	38	450	19	0,425	430
			37	0,450	350
			25	0,450	385
	35	400	19	0,450	405
			37	0,475	335
			25	0,475	365
Mutu sedang	30	350	19	0,475	385
			37	0,500	315
			25	0,500	345
	25	300	19	0,500	365
			37	0,550	290
			25	0,550	315
20	250	19	0,550	335	
		37	0,600	265	
		25	0,600	290	
Mutu rendah	15	175	19	0,600	305
			37	0,700	225
			25	0,700	245
10	125	19	0,700	260	
		37	0,700	260	

Sumber: SNI 03-1974

b. Baja

Persyaratan material Baja yang digunakan untuk material JUDESA adalah:

1. Penyimpanan Bahan

Pada tempat pabrikan atau di lapangan Baja harus disimpan di atas balok penganjal sehingga tidak berada tepat di atas permukaan tanah.

2. Pengecatan Permukaan sebagai Lapis Pelindung

- Permukaan yang dicat harus bersih dari lemak, debu, korosi, residu, garam, dan sebagainya.
- Perbaiki lapis pelindung struktur baja. Bahan pelindung lapis baja harus sesuai dengan bahan dasar struktur baja.

3. Baja Struktur

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan sebagai bagian struktur baja harus mempunyai sifat mekanis seperti dalam **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Sifat Mekanis Baja Struktural.

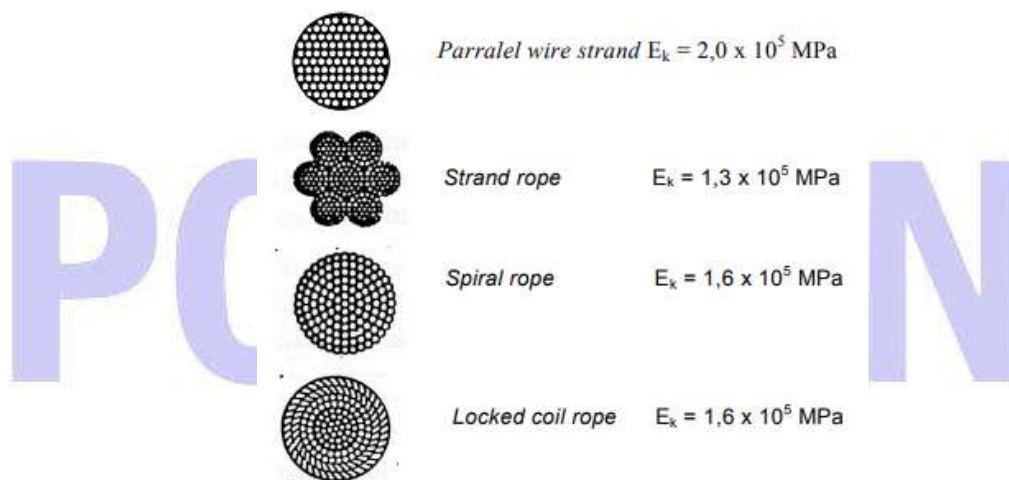
Jenis baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Regangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.02 tahun 2010.

c. Kabel

Elemen kabel yang digunakan pada JUDESA harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Kabel utama yang digunakan berupa untaian (*strand*). Jenis-jenis kabel dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.
2. Kabel dengan inti yang lunak tidak diizinkan digunakan pada jembatan gantung.
3. Kabel harus memiliki tegangan leleh minimal sebesar 1500 MPa.
4. Kabel ikatan angin menggunakan kabel baja bundar sesuai dengan spesifikasi baja pada **Tabel 2.7**.



Gambar 2.10 Penampang Melintang Kabel Baja.

Sumber: Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.02 tahun 2010

2.2.4 Perancangan Jembatan Gantung untuk Pedesaan Asimetris (JUDESA)

Komponen-komponen yang digunakan pada Jembatan Gantung untuk Pedesaan Asimetris (JUDESA) terdiri dari komponen struktur baja, beton, kabel, dan sambungan. Setiap komponen ini memiliki syarat dan ketentuan yang berbeda untuk digunakan pada perancangan JUDESA. Penjelasan untuk perhitungan setiap komponennya akan dibahas pada sub-bab berikut.

1) Komponen Struktur Baja

Komponen struktur baja dilakukan perancangan sesuai dengan RSNI T-03 Tahun 2005 yaitu Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Pada komponen struktur baja terdapat perancangan untuk elemen dari JUDESA yang berupa batang tekan, batang tarik, dan batang lentur. Perancangan elemen-elemen ini digunakan pada perhitungan untuk lantai jembatan, gelagar memanjang dan melintang, serta menara (*pylon*) jembatan.

a. Batang Tekan

• Perencanaan akibat gaya tekan

Pada batang tekan komponen struktur baja memikul gaya tekan antara dua titik pada struktur. Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan akibat beban terfaktor (N_u) harus memenuhi persyaratan seperti persamaan:

$$N_u \leq \phi N_n \tag{2.2}$$

Keterangan:

ϕ : Faktor reduksi sesuai **Tabel 2.8**;

N_u : Kuat tekan ultimit;

N_n : Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur.

Tabel 2.8 Faktor Reduksi Kekuatan untuk Keadaan Batas Ultimit.

Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ
a. Lentur	0,90
b. Geser	0,90
c. Aksial tekan	0,85
d. Aksial tarik	
1. terhadap kuat tarik leleh	0,90
2. terhadap kuat tarik fraktur	0,75
e. Penghubung geser	0,75
f. Sambungan baut	0,75
g. Hubungan las	
1. Las tumpul penetrasi penuh	0,90
2. Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

Sumber: RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

Komponen struktur tekan memiliki batas kelangsingan yang sudah ditetapkan besarnya yaitu:

1. Kelangsingan elemen penampang sesuai dengan **Tabel 2.9** dan **Tabel 2.10** harus lebih kecil λ_r atau $\lambda < \lambda_r$
2. Kelangsingan komponen struktur tekan,

$$\lambda = \frac{L_k}{r} \leq 140 \quad (2.3)$$

Tabel 2.9 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal untuk Elemen Tertekan.

Jenis Elemen		λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen tanpa pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	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 di las dalam lentur	b/t	$\frac{170}{\sqrt{f_{yf}}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_{yf} - f_r)/k_e}}$ [e][f]
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	b/t	-	$\frac{290}{\sqrt{f_y/k_e}}$ [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	b/t	-	$\frac{250}{\sqrt{f_y}}$
	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.	b/t	-	$\frac{200}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat badan dari profil T	d/t	-	$\frac{335}{\sqrt{f_y}}$

Sumber: RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

POLBAN

Tabel 2.10 Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal untuk Elemen Tertekan (lanjutan).

Jenis Elemen		λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			λ_c (kompak)	λ_c (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 di antara baut-baut atau las	b/t	$\frac{500}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlobang [b]	b/t	-	$\frac{830}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	h/t_w	$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}}$ [e]	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}}$ [e]
	Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	h/t_w	Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} \leq 0,125$ [e] $\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right)$ Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} > 0,125$ [e] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left(2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right) \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right)$ [a]
	Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikkekang sepanjang kedua sisinya.	b/t h/t_w	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$
	Penampang bulat berongga	D/t	[d]	
	• Pada tekan aksial • Pada lentur		- 14.800/ f_y	22.000/ f_y 62.000/ f_y

[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap f_y sebagai f_u .

[b] Ambil luas netto pelat pada lubang terbesar.

[c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3. Untuk struktur-struktur pada zona tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar.

[d] Untuk perencanaan plastis gunakan 9.000/ f_y .

[e] f_c = tegangan tekan residual pada pelat sayap.
= 70 MPa untuk penampang dilas.
= 115 MPa untuk penampang dilas.

[f] $k_s = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$; $0,35 \leq k_s \leq 0,763$

[g] f_c adalah tegangan leleh minimum (dinyatakan dalam satuan Mega Pascal [MPa])

Sumber: RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

• **Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur**

Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur sesuai dengan **Persamaan 2.4** sampai dengan **Persamaan 2.7**.

$$N_n = (0,66^{\lambda_c^2}) \cdot A_g \cdot f_y \text{ untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (2.4)$$

$$N_n = \frac{(0,88)}{\lambda_c^2} \cdot A_g \cdot f_y \text{ untuk } \lambda_c \geq 1,5 \quad (2.5)$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.6)$$

$$L_k = k_c L \quad (2.7)$$

Keterangan:

A_g : Luas penampang bruto, dinyatakan dalam milimeter (mm);

f_y : Tegangan leleh, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

λ_c : Parameter kelangsingan;

k_c : Faktor panjang tekuk untuk komponen struktur jembatan yang dinyatakan dengan milimeter (mm) sesuai dengan **Tabel 2.11**.

Tabel 2.11 Faktor Panjang Efektif.

	Kolom Tak Bergoyang			Kolom Bergoyang		
Bentuk tekuk						
Faktor panjang efektif (k)	0.70	0.85	1.00	1.2	2.2	2.2
Simbol untuk keadaan penahan ujung	= Rotasi terjepit, translasi terjepit = Rotasi bebas, translasi terjepit			= Rotasi terjepit, translasi bebas = Rotasi bebas, translasi bebas		

Sumber: RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

b. Batang Tarik

Suatu elemen direncanakan hanya memikul gaya tarik apabila kekakuan lenturnya dapat diabaikan seperti pada kabel atau rod. Kemungkinan lain adalah elemen dengan kondisi sambungan dan pembebanan yang menimbulkan hanya gaya aksial pada elemen seperti pada elemen rangka batang. (Moeljono, 2009).

- **Persyaratan kuat tarik dan kuat tarik rencana**

Berdasarkan RSNI T-03-2005, Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor N_u , harus memenuhi:

$$N_U \leq \phi N_n \quad (2.8)$$

Dengan N_n adalah kuat tarik nominal yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di beberapa persamaan di bawah ini:

1. Kuat tarik nominal berdasarkan kelelahan pada penampang bruto:

$$N_n = A_g f_y \quad (2.9)$$

2. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif:

$$N_n = A_e f_u \quad (2.10)$$

3. Kuat tarik nominal berdasarkan perencanaan ruptur pada penampang:

- Kuat geser ruptur nominal:

$$N_n = 0,6 A_{ev} f_u \quad (2.11)$$

- Kuat tarik ruptur nominal:

$$N_n = A_{et} f_u \quad (2.12)$$

- Kuat tarik dan geser ruptur nominal:

- a. Untuk $A_{et} f_u \geq 0,6 A_{ev} f_u$

$$N_n = 0,6 A_{gv} f_y \quad (2.13)$$

- b. Untuk $0,6 A_{ev} f_u \geq A_{et} f_u$

$$N_n = 0,6 A_{nv} f_u + A_{gt} f_y \quad (2.14)$$

Keterangan:

A_g : Luas penampang bruto (mm^2);

A_{gt} : Luas penampang bruto terhadap tarik (mm^2);

A_{gv} : Luas penampang bruto terhadap geser (mm^2);

A_{et} : Luas penampang efektif terhadap tarik (mm^2);

A_{ev} : Luas penampang efektif terhadap geser (mm^2);

f_y : Tegangan leleh (MPa);

f_u : Tegangan tarik putus (MPa).

Maka, Nilai ϕ dalam persamaan (2.8) diambil sebesar 0,9 untuk hubungan dengan persamaan (2.9), dan ϕ diambil sebesar 0,75 untuk hubungan dengan persamaan (2.10), (2.11), (2.12), (2.13) dan (2.14).

• **Penampang Efektif**

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

$$A_e = AU \tag{2.15}$$

Keterangan:

A : Luas penampang (mm^2);

U : Faktor reduksi = $1 - (x/L) \leq 0,90$;

x : Eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan (mm);

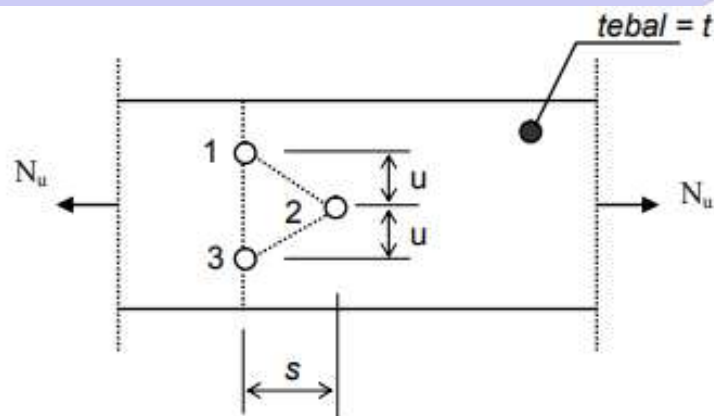
L : Panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik (mm);

• **Gaya tarik hanya disalurkan oleh baut**

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh baut:

$$A = A_{nt} \tag{2.16}$$

Adalah luas penampang netto terkecil antara potongan 1-3 dan potongan 1-2-3, seperti terlihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Gaya Tarik Hanya Disalurkan Oleh Baut.
 Sumber: RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

Potongan 1-3: $A_{nt} = A_g - n d t \tag{2.17}$

Potongan 1-2-3: $A_{nt} = A_g - n d t + \sum \frac{s^2 t}{4u} \tag{2.18}$

Keterangan:

A_g : Luas penampang bruto (mm^2);

t : Tebal penampang (mm);

d : Diameter lubang baut (mm);

n : Banyaknya lubang dalam satu garis potongan.

s : Jarak antara sumbu lubang antara dua lubang yang bersebelahan pada arah sejajar sumbu komponen struktur (mm);

u : Jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur.

- **Kelangsingan Batang Tarik**

Menurut Moeljono dalam Struktur Baja Jembatan (2009), batasan kelangsingan yang dianjurkan dalam peraturan ditentukan berdasarkan pengalaman, *engineering judgment* dan kondisi-kondisi praktis untuk:

- Menghindari kesulitan *handling* dan meminimalkan kerusakan dalam fabrikasi, transportasi dan tahap konstruksi
- Menghindari kendor (*sag* yang berlebih) akibat berat sendiri batang
- Menghindari getaran.

Batasan kelangsingan (λ), ditentukan sebagai berikut:

$$\lambda < 240, \text{ untuk komponen utama}$$

$$\lambda < 300, \text{ untuk komponen sekunder}$$

Keterangan: $\lambda = L/I$

L = panjang batang tarik

$$I = \sqrt{\frac{I_m \text{ in}}{A}} \quad (2.19)$$

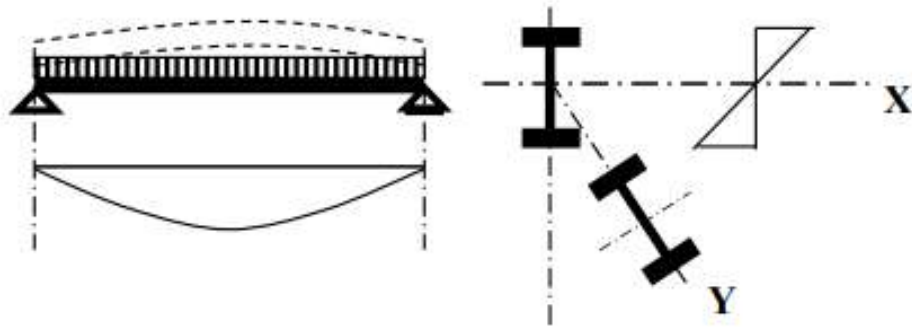
Untuk batang bulat, diameter dibatasi sebesar $1/d \leq 500$

c. Balok Lentur

Menurut Moeljono dalam Struktur Baja Jembatan (2009), Jika beban gravitasi bekerja pada balok tumpuan sederhana dengan bentang yang cukup panjang, balok tersebut akan melentur kebawah dengan bagian atas tertekan dan berperilaku seperti batang tekan.

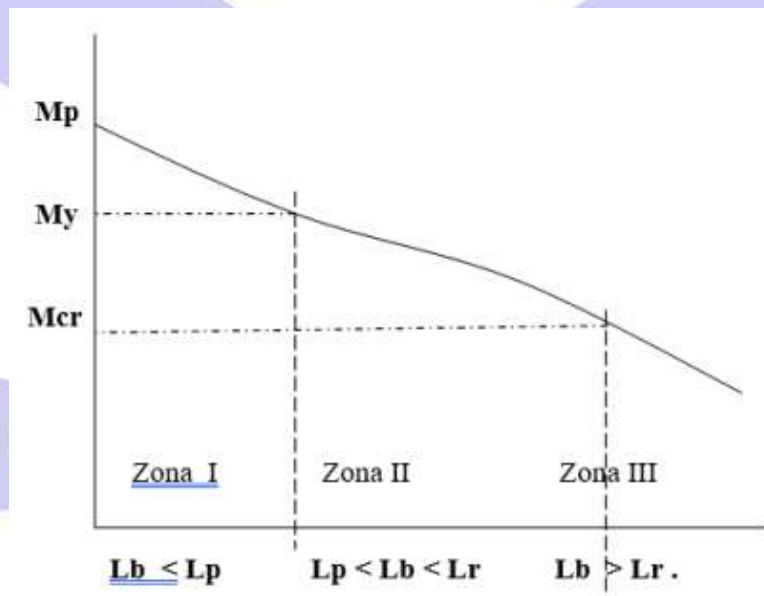
- **Perencanaan balok akibat momen lentur**

Balok mempunyai dimensi tinggi yang lebih besar dibandingkan lebarnya, sehingga momen inersia bagian yang tertekan terhadap sumbu vertical (sumbu y) akan lebih kecil dibandingkan momen inersia terhadap sumbu x, maka apabila pada balok tidak diberikan sokongan lateral terhadap sumbu y, balok akan mengalami tekuk lateral akibat beban yang lebih kecil seperti **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Balok Akibat Momen Lentur.
Sumber: *Struktur Baja Jembatan Moeljono (2009)*.

Berikut kurva yang menghubungkan besar momen tekuk atau momen tahanan nominal balok terhadap panjang jarak sokongan lateral. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.13** berikut.



Gambar 2.13 Jarak Sokongan Lateral pada Flens Tekan, L_b .
Sumber: *Struktur Baja Jembatan Moeljono (2009)*.

Pada **Gambar 2.13** terlihat momen nominal sebagai fungsi dari panjang tanpa sokongan pada flens tekan. Balok mempunyai tiga daerah tekuk tergantung pada kondisi sokongan lateral yang diberikan. Apabila balok diberikan sokongan lateral menerus atau pada jarak yang pendek, maka balok akan menekuk secara plastis dan termasuk dalam tekuk Zona 1. Dengan bertambahnya jarak sokongan lateral, balok akan runtuh secara inelastik pada momen yang lebih kecil dan termasuk dalam tekuk Zona 2, demikian seterusnya bila jarak sokong lateral ditambah terus, balok akan runtuh secara elastis dan termasuk dalam tekuk Zona 3.

Besar batasan jarak sokong lateral L_p dan L_r , untuk Profil IWF dan Chanal ditentukan dengan rumus berikut:

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.20)$$

$$L_r = r_y \left[\frac{X_1}{X_2} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}} \quad (2.21)$$

Keterangan:

$$f_L = f_y - f_r \quad (2.22)$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} \quad (2.23)$$

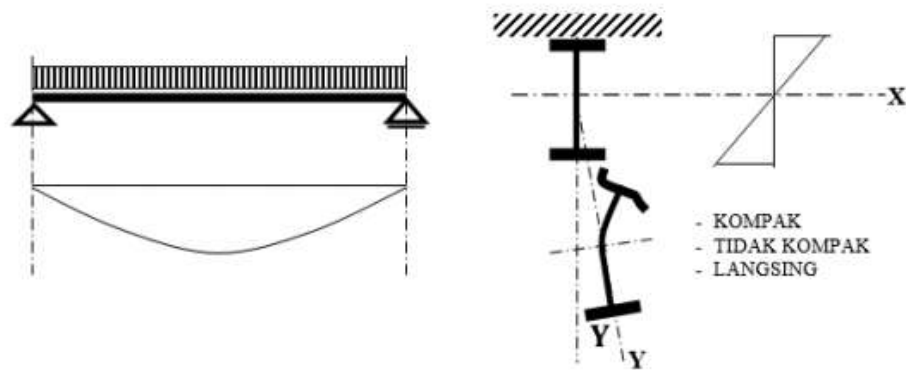
$$X_2 = 4 \left[\frac{S}{G \cdot J} \right]^2 \frac{I_w}{I_y} \quad (2.24)$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad = \text{adalah jari - jari girasi terhadap sumbu lemah};$$

$$I_w \quad = \text{adalah konstanta puntir lengkung};$$

$$J \quad = \text{adalah konstanta puntir torsi};$$

Selain dapat mengalami tekuk lateral, pada flens jika tekan dikekang penuh sepanjang bentang secara lateral akan mengakibatkan tekuk lokal. Tekuk lokal dipengaruhi oleh kondisi sifat penampang elemen tertekan seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Tekuk Lokal Akibat Momen Lentur.
 Sumber: *Struktur Baja Jembatan, Moeljono (2009)*.

Batasan pada kondisi sifat penampang ditetapkan sebagai berikut:

Penampang dikatakan kompak bila, $(\lambda = \frac{b}{t} \leq \lambda_p)$ (2.25)

Penampang dikatakan tidak kompak bila, $(\lambda_p \leq \lambda = \frac{b}{t} \leq \lambda_r)$ (2.26)

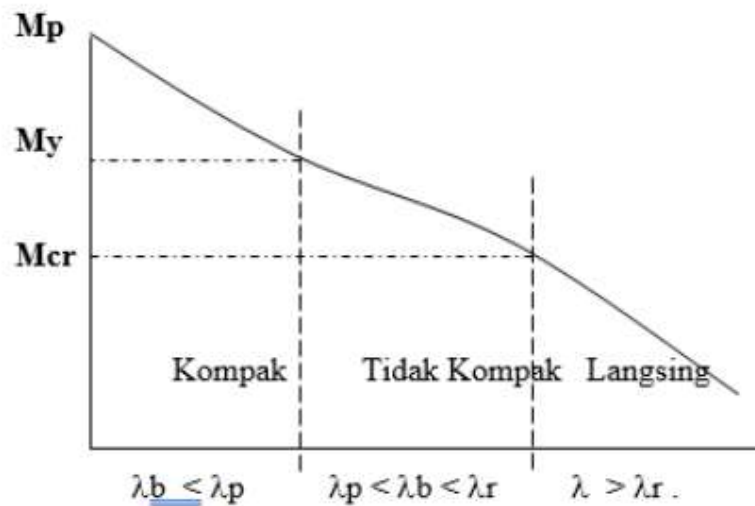
Penampang dikatakan langsing jika, $(\lambda = \frac{b}{t} \geq \lambda_r)$ (2.27)

Dimana, nilai: $(\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}})$ (2.28)

$(\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}})$ (2.29)

Berdasarkan pengelompokan penampang terhadap sifat kondisi penampang elemen flens tertekan seperti pada persamaan (2.25) sampai (2.29), **Gambar 2.15** memperlihatkan hubungan antara sifat penampang tersebut dengan momen tahanan nominal sebagai berikut ini.

POLBAN



Gambar 2.15 Grafik Momen Nominal sebagai Fungsi dari Sifat Kondisi Penampang Flens Tekan.

Sumber: *Struktur Baja Jembatan, Moeliono (2009)*.

• **Momen nominal balok terhadap tekuk lokal**

Berdasarkan **Gambar 2.15** tersebut, menurut Dewobroto dalam Struktur Baja (2009) bahwa:

1. Balok profil kompak mampu memikul momen sampai serat terluarnya mencapai tegangan leleh, ketika diberi momen lagi dapat berotasi lagi, sekaligus mendistribusi tegangan ke serat penampang bagian dalam, sampai semuanya plastis (M_p). Maka berdasarkan kondisi tersebut diperoleh persamaan (2.30) berikut.

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x \tag{2.30}$$

Keterangan:

M_p adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis (N-mm).

2. Balok profik tidak kompak mempunyai efisiensi satu tingkat lebih kecil dibanding penampang penampang kompak dan ketika dibebani, serat tepi terluarnya dapat mencapai tegangan leleh, meskipun demikian sebelum penampang plastis penuh terbentuk, profil akan mengalami tekuk lokal terlebih dahulu. Maka berdasarkan kondisi tersebut diperoleh persamaan (2.31) berikut ini.

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \tag{2.31}$$

3. Penampang pada kondisi langsing, adalah konfigurasi profil yang tidak efisien ditinjau dari segi pemakaian material. Apalagi jika yang dipakai adalah bahan baja bermutu tinggi. Jadi saat dibebani sebelum tegangan mencapai kondisi leleh telah terjadi tekuk lokal terlebih dahulu. Oleh karena keruntuhannya ditentukan oleh tekuk, yang sifatnya tidak daktail, maka penampang langsing tidak disarankan untuk digunakan sebagai elemen struktur utama. Maka berdasarkan kondisi tersebut diperoleh persamaan (2.32) berikut ini.

$$M_n = M_r \left(\frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 \quad (2.32)$$

Keterangan:

M_p : Momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis penampang (Nmm);

M_r : Momen batas tekuk, M_{cr} , jika $\lambda = \lambda_r$ (N-mm);

λ : Parameter kelangsingan;

λ_r : Batas maksimum parameter kelangsingan untuk penampang tidak kompak;

λ_p : Batas maksimum parameter kelangsingan untuk penampang kompak.

- **Momen nominal terhadap tekuk lateral**

Terdapat tiga kondisi terhadap Tekuk lateral berikut penjelasannya:

1. Jarak sokong pendek (Zona 1)

Jika jarak sokongan lateral L_b dari flens tekan dari suatu penampang kompak I,C, atau hybrid tidak lebih dari L_p yang ditetapkan maka besar momen nominal kekuatan lentur balok terhadap sumbu kuat dapat diambil sebesar momen plastis yang ditentukan dari persamaan (2.35).

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x \quad (2.33)$$

$$M_u = \phi \cdot M_n \quad (2.34)$$

$$\phi = 0,9 \quad (2.35)$$

2. Jarak sokong sedang (Zona 2)

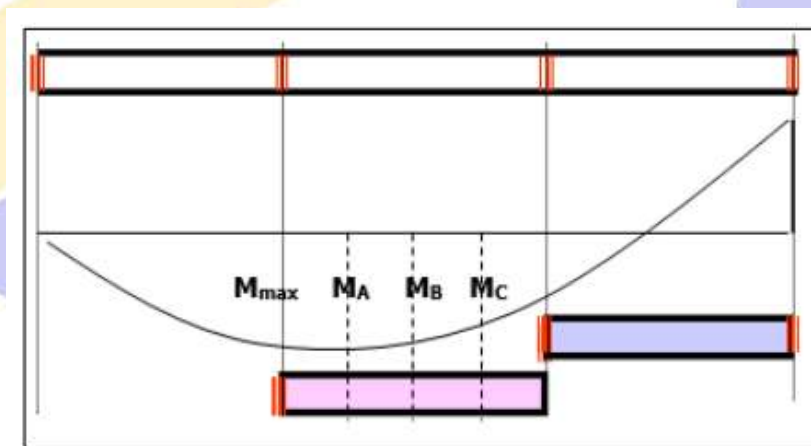
Jika sokongan lateral flens tekan suatu balok diberikan pada jarak tertentu sehingga balok dapat melentur hingga tercapai regangan leleh pada beberapa tapi tidak seluruh bagian tekan sebelum terjadi tekuk lateral, yang terjadi adalah tekuk

inelastis. Dengan kata lain, sokongan yang ada tidak cukup bagi balok untuk mencapai distribusi regangan plastis penuh sebelum terjadi tekuk. Adanya tegangan residual menyebabkan leleh dimulai pada penampang yang mendapat tegangan sama dengan $F_y - F_r$ dimana F_y adalah tegangan leleh web dan F_r adalah tegangan tekan residual yang diasumsikan sama dengan 10 ksi untuk profil hasil rol (cetakan) dan 16,5 ksi untuk profil hasil pengelasan.

Dalam rumus menentukan besarnya momen tahanan inelastis yang akan diberikan untuk tekuk inelastis dan tekuk elastis, akan dimasukkan nilai koefisien momen C_b yaitu:

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} \leq 2,3 \quad (2.36)$$

M_{max} adalah momen terbesar dalam segmen tanpa sokongan suatu balok, sedangkan M_A , M_B dan M_C masing-masing adalah momen pada jarak $1/4$, $1/2$, dan $3/4$ segmen tanpa sokong balok tersebut seperti dijelaskan pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2.16 Penyebaran Momen pada Elemen Balok Tanpa Sokong Samping.
 Sumber: *Struktur Baja Jembatan*, Moeljono (2009).

Besarnya momen nominal balok pada tekuk lateral inelastis ini ditetapkan dengan persamaan 2.37.

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \quad (2.37)$$

3. Jarak sokong panjang (Zona 3)

Jika suatu balok tidak diberikan sokongan lateral secara menerus, maka balok tersebut dapat menekuk secara lateral terhadap sumbu lemah diantara dua sokongan lateral yang tersedia tanpa mengalami perubahan bentuk penampang

dengan tetap akan terjadi balok melentur terhadap sumbu kuat. Besarnya momen nominal balok pada kondisi ini ditetapkan dengan persamaan (2.38)

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E}{L_b}\right)^2 I_y \cdot I_w} \quad (2.38)$$

Atau dapat ditentukan dengan bentuk rumus lain:

$$M_{cr} = \frac{C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2}{2 (L_b / r_y)^2}} \quad (2.39)$$

Keterangan:

- G : Modulus geser elastis baja = 80000 Mpa;
- E : Modulus elastis = 200000 Mpa;
- J : Konstanta puntir torsi (mm⁴);
- I_w : Konstanta puntir lengkung (mm⁴).

2) Komponen Struktur Beton

Balok angkur harus mampu menahan gaya tarik yang diakibatkan oleh kabel *Backstay*. Pengecekan kekuatan balok angkur. Komponen struktur beton meliputi teori tentang perencanaan blok angkur jembatan, dimana Pengangkuran jembatan gantung berupa balok beton yang menjadi angkur kabel utama dan berperan sebagai penyokong akhir sebuah jembatan. Blok angkur harus mampu menahan gaya tarik yang diakibatkan oleh kabel *backstay*. Untuk mengetahui kuat atau tidaknya blok angkur tersebut maka dilakukan pengecekan terhadap kapasitas blok angkur tersebut. Pengecekan dilakukan terhadap gaya vertikal dan gaya horizontal seperti pada persamaan (2.40), (2.41) dan (2.42).

$$\frac{W_b}{P_v} \geq 1,5 ; W_b \cdot \gamma_b \quad (2.40)$$

$$\frac{P_p}{P_h} \geq 1,5 ; P_p = K_p \cdot \gamma_s \cdot z + 2c \sqrt{K_p} \quad (2.41)$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2.42)$$

Keterangan:

- W_b : Berat blok angkur;
- P_v : Kuat tarik kabel *backstay* arah vertikal;
- V_b : Volume blok angkur;

- γ_b : Berat jenis beton;
 P_p : Tekanan tanah pasif;
 P_h : Kuat tarik kabel backstay arah horizontal;
 σ_p : Tekanan tanah pasif rata-rata.

3) Komponen Kabel

Kabel merupakan bahan atau material utama dalam struktur jembatan gantung. Struktur kabel pada jembatan gantung terdiri dari kabel utama (*main cable*) dan batang penggantung (*hanger*). Penjelasan lebih rinci akan dibahas pada pembahasan berikut ini.

a. Kabel Utama

Kabel utama (*main cable*) merupakan kabel yang berfungsi sebagai penahan kabel penggantung dan menyalurkan beban dari kabel penggantung ke menara (*tower/pylon*). Kabel harus memiliki tegangan leleh minimal sebesar 1500 Mpa. Panjang teoritis kabel utama (L_k) adalah jarak parabolik antara titik-titik pusat kabel di pelana:

$$L_k = L \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{d}{L} \right)^2 \right\} \quad (2.43)$$

Keterangan:

- L : adalah panjang bentang utama;
 d : Cekungan kabel di tengah bentang yang nilainya $L/8$ sampai dengan $L/11$.

Panjang bersih kabel utama pada kondisi bebas beban diperoleh dengan mengadakan koreksi pengurangan terhadap panjang teoritis:

- Koreksi penambahan panjang sesuai lengkungan di pelana;
- Koreksi pengurangan panjang ulur elastis sebanding dengan tegangan rata-rata akibat beban mati penuh berdasarkan tegangan kabel maksimum di menara dan minimum di tengah bentang;

$$S_{backstay} = \sqrt{L_{backstay}^2 + H^2} \quad (2.44)$$

Keterangan:

- $L_{backstay}$: Panjang bentang backstay (m);
 H : Tinggi menara jembatan (m).

b. Batang Penggantung

Panjang batang penggantung yaitu jarak dari ujung penggantung yang mengikat pada gelagar ke kabel utama. Karena kabel utama berbentuk parabolik, maka panjang kabel penggantung pun memiliki panjang yang berbeda-beda tergantung posisi kabel penggantung pada arah X. Titik koordinat z kabel penggantung dihitung menggunakan persamaan (2.45), lalu panjangnya kabel penggantung dihitung menggunakan persamaan (2.46) sebagai berikut :

$$Z_i = \frac{4 d x_i (L_{utama} - x_i)}{L_{utama}^2} \quad (2.45)$$

$$L_i = H_{menara} - z_i \quad (2.46)$$

Keterangan:

- z_i : Panjang kabel penggantung (m);
- d : Cekungan kabel di tengah bentang (m)
- L_{utama} : Panjang kabel utama;
- x_i : Posisi kabel penggantung pada arah X;
- L_i : Panjang kabel penggantung;

4) Komponen Sambungan

Pada komponen sambungan akan dibahas mengenai teori yang digunakan untuk perancangan sambungan antar elemen jembatan. Sambungan yang digunakan untuk Jembatan Gantung Ratu Jaya adalah sambungan baut dan sambungan las.

a. Sambungan Baut

Pada suatu infrastruktur baik gedung atau jembatan baut biasa digunakan untuk menghubungkan elemen-elemennya yang terbuat dari struktur baja. Sesuai dengan pedoman pemasangan baut untuk jembatan, baut yang biasa digunakan untuk jembatan di Indonesia adalah baut standar ASTM A325 dan A490, standar ISO 898-1 dengan grade 8.8 dan grade 10.9, dan JIS F10T. Jenis-jenis baut tersebut memiliki sifat mekanis yang dapat dilihat pada **Tabel 2.12**.

Tabel 2.12 Sifat Mekanis Baut Baja.

	A325	A490	Grade 8.8	Grade 10.9	F10T
Tegangan Leleh (MPa)	660	940	640 (1) 660 (2)	940	900
Tegangan Tarik Putus (MPa)	830	1040 - 1210	800 (1) 830 (2)	1040	1000-1200
Tegangan <i>Proof Load</i> (MPa)	600	830	580 (1) 600 (2)	830	-

Catatan: (1) Diameter baut \leq M16
(2) Diameter baut $>$ M16

Sumber: Pedoman Pemasangan Baut Jembatan

Selain sifat mekanis dari baut baja tersebut, baut harus dilakukan pengujian terhadap *proof load* (gaya tarik maksimum). Pada perancangan sambungan struktur dapat digunakan *proof load* untuk mengganti tegangan leleh. Setiap masing-masing diameter baut memiliki *proof load* yang berbeda dan dapat dilihat pada **Tabel 2.13** dan **Tabel 2.14**.

Tabel 2.13 Gaya Tarik Maksimum dan Minimum Baut A325 dan Grade 8.8.

Ukuran Nominal	<i>Proof load/ gaya tarik maksimum</i> (MPa)		Gaya Tarik Minimum (KN)
	ASTM A325	ISO Grade 8.8	
M16	94,2	91,1	91
M20	147	147	142
M22	182	181,8	176
M24	212	211,8	205
M27	275	275,4	267
M30	337	336,6	326
M36	490	490,2	475

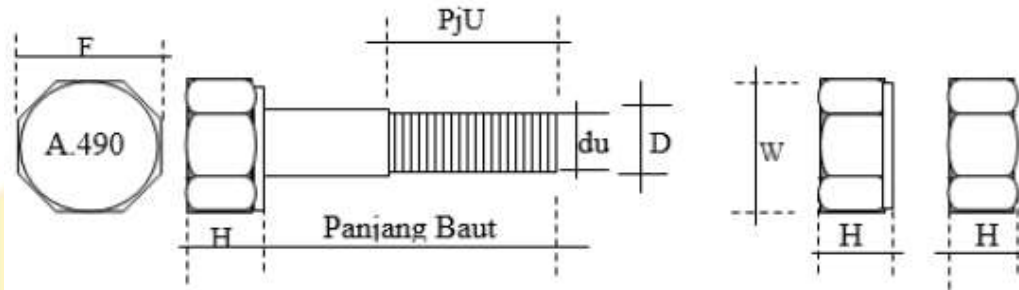
Sumber: ASTM A325-04, Maryland Metrics, USA dan ISO898-1:2009

Tabel 2.14 Gaya Tarik Maksimum dan Minimum Baut A490 dan Grade 10.9.

Ukuran Nominal	<i>Proof load/ gaya tarik maksimum</i>		Gaya Tarik Minimum (KN)
	ASTM A490	ISO Grade 10.9	
M16	130	130,3	114
M20	203	203,4	179
M22	251	251,5	221
M24	293	293	257
M27	381	381	334
M30	466	465,6	408
M36	678	678,1	595

Sumber: ASTM A325-04, Maryland Metrics, USA dan ISO898-1:2009

Baut memiliki beberapa bagian seperti terlihat pada **Gambar 2.17**. Pada kepala baut yang biasa digunakan untuk jembatan memiliki kode baut. Selain itu ukuran dari bagian-bagian baut tersebut berbeda sesuai dengan diameter baut seperti terlihat pada **Tabel 2.15**.



Gambar 2.17 Bagian-bagian Baut.
 Sumber: Moeljono, 2009.

Tabel 2.15 Ukuran Setiap Bagian Baut.

Diameter Nominal (D)		Dimensi Baut A325 & A490					Kekuatan Tarik (KN)	
		Kepala Baut			Mur		A325	A490
Inch	Mm	F	H	PjU	W	H	(KN)	(KN)
.1/2	12,7	.7/8	.5/16	1	1	.7/8	53	67
.5/8	16	17/16	25/64	.4/5	17/16	39/64	85	107
3/4	19	.5/4	15/32	.11/8	.5/4	47/64	125	156
.7/8	22	23/16	35/64	.3/2	23/16	55/64	173	218
1	25,4	13/6	39/64	.7/4	.13/8	63/64	227	285
.9/8	29	29/16	.11/16	2	29/16	1 17/64	249	356
.5/4	32	2	25/32	2	2	1 17/32	316	454
.11/8	35	35/16	27/32	2	2	1 11/32	378	538
.3/2	38	.11/6	15/16	.9/4	.11/8	1 15/32	458	658

Sumber: Moeljono, 2009.

• **Kuat nominal baut**

1. Kuat Tarik Nominal Baut

$$N_{tf} = A_s * f_{uf} \tag{2.47}$$

Keterangan:

N_{tf} : Kuat Tarik Nominal Baut;

A_s : Luas untuk Menghitung Tegangan Kekuatan Tarik yang dapat dilihat pada **Tabel 2.16**;

F_{uf} : Kekuatan Tarik Minimum Baut (**Tabel 2.13** dan **Tabel 2.14**).

Tabel 2.16 Luas Baut.

Diameter Nominal Baut d_f (1)	Luas Baut mm ²		
	A_e (2)	A_s (3)	A_0 (4)
M16	144	157	201
M20	225	245	314
M24	324	353	452
M30	519	561	706
M36	759	817	1016

Sumber: RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

Keterangan:

A_e (2) : Luas inti baut, diukur pada diameter lebih kecil dari bentang;

A_s (3) : Luas untuk menghitung kekuatan tarik;

A_0 (4) : Luas bagian polos nominal baut berdasarkan diameter nominal baut;

2. Kuat Geser Nominal Baut

$$V_f = 0,62 * f_{uf} * k_r * (n_n * A_e + n_x * A_0) \quad (2.48)$$

Keterangan:

V_f : Kuat geser nominal baut;

F_{uf} : Kekuatan Tarik Minimum Baut (**Tabel 2.13** dan **Tabel 2.14**);

k_r : Faktor reduksi pada **Tabel 2.17**;

n_n : Jumlah bidang geser melalui bagian baut;

A_e : Luas diameter lebih kecil baut;

n_x : Jumlah bidang geser melalui bagian baut;

A_0 : Luas batang polos nominal baut.

Tabel 2.17 Faktor Reduksi untuk Sambungan Lebih yang Dibaut.

Panjang	Faktor Reduksi, k_r
$L_j < 300$	1,0
$300 < L_j < 1300$	$1,075 - L_j/4000$
$L_j > 1300$	0,75

Sumber: RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

3. Kuat Tumpuan Nominal Pelat Lapis

Diambil nilai terkecil dari:

$$V_b = 3,2 * d_f * t_p * f_{up} \quad (2.49)$$

$$V_b = a_e * t_p * f_{up} \quad (2.50)$$

Keterangan:

d_f : Diameter baut;

- tp : Tebal pelat lapis;
- f_{up} : Kekuatan tarik pelat lapis;
- a_e : Jarak minimum dari ujung lubang ke ujung lubang pelat lapis diukur dalam arah komponen gaya ditambah setengah diameter baut. (mm).

• **Keadaan batas ultimit baut**

1. Baut dalam Tarik

Baut yang memikul gaya tarik rencana N_{tf} harus memenuhi syarat:

$$N_{tf}' \leq \phi N_{tf} \quad (2.51)$$

Keterangan:

- Ø : Faktor reduksi kekuatan seperti pada **Tabel 2.8**;
- N_{tf} : Kekuatan tarik nominal baut (N).

2. Baut dalam Geser

Baut yang memikul gaya geser rencana V_f harus memenuhi syarat:

$$V_f' \leq \phi V_f \quad (2.52)$$

Keterangan:

- Ø : Faktor reduksi kekuatan seperti pada **Tabel 2.8**;
- V_f : Kekuatan geser nominal baut (N).

3. Kombinasi Geser dan Tarik

Baut yang memikul gaya geser rencana V_f dan gaya tarik rencana N_{tf} harus memenuhi syarat pada waktu yang sama:

$$\left(\frac{V_f'}{\phi V_f}\right)^2 + \left(\frac{N_{tf}'}{\phi N_{tf}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (2.53)$$

Keterangan:

- Ø : Faktor reduksi kekuatan seperti pada **Tabel 2.8**;
- V_f : Kekuatan geser nominal baut (N);
- N_{tf} : Kekuatan tarik nominal baut (N).

4. Pelat Lapis dalam Tumpuan

Pelat lapis yang memikul gaya tumpuan rencana, V_b' akibat baut dalam geser harus memenuhi:

$$V_b' \leq \phi V_b \quad (2.54)$$

Keterangan:

ϕ : Faktor reduksi kekuatan seperti pada **Tabel 2.8**;

V_b : Kekuatan tumpu nominal pelat lapis (N).

• **Sambungan baut yang menahan geser lentur**

Jenis sambungan ini disebut juga sambungan konsol, P (beban) bekerja sejauh (e) dari titik berat susunan baut (Titik Z), sehingga pada susunan penampang baut timbul beban:

$$M_u = P * e \quad (2.55)$$

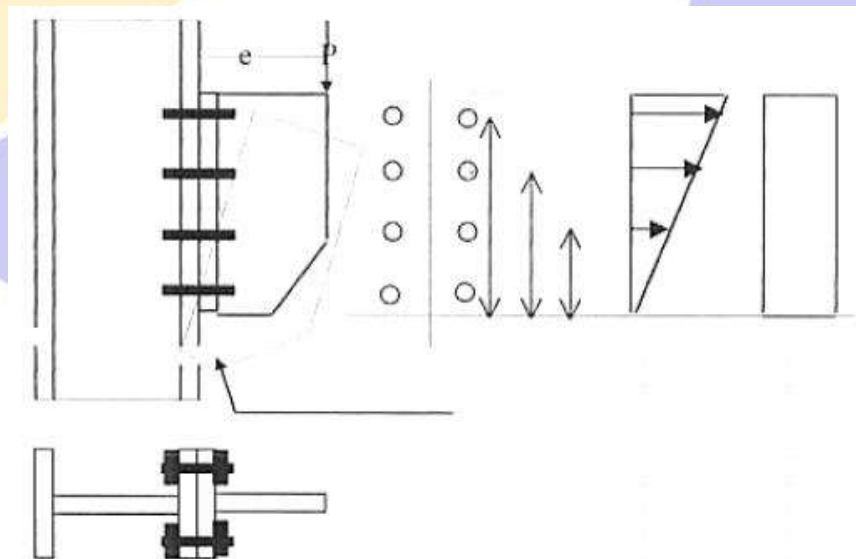
Keterangan:

M_u : Momen Ultimit;

P : Beban yang bekerja;

e : Jarak P dari titik berat susunan baut.

Beban ini bekerja sejajar dengan bidang sambungan. Akibatnya penampang baut bergeser dan bekerja gaya tarik T seperti pada **Gambar 2.18**.



Gambar 2.18 Sambungan yang Menahan Geser dan Lentur.

Sumber: Moeljono, 2009.

1. Akibat Gaya P (Kekuatan Geser)

Seluruh penampang baut yang ada terjadi tegangan geser sebesar:

$$f_{uf} = \frac{P_u}{n_b * A_b} \quad (2.56)$$

Keterangan:

Besar tegangan yang terjadi adalah besar tegangan setiap satu baut.

- F_{uv} : Tegangan geser terjadi;
- P_u : Besar beban terfaktor;
- n : Jumlah baut;
- A_b : Luas penampang baut.

Tegangan ijin geser baut adalah:

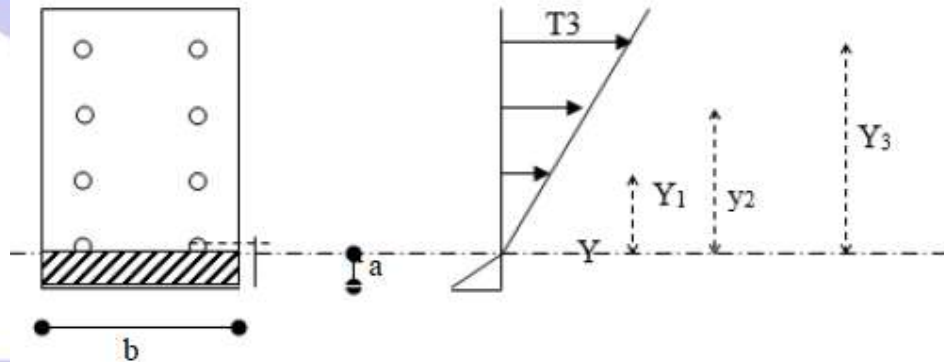
$$f_{dv} = 0,5 * \phi * f_{ub} * m \quad (2.57)$$

Keterangan:

- F_{dv} : Tegangan geser baut;
- Ø : Faktor Reduksi;
- f_{ub} : Tegangan ultimate baut;
- m : jumlah bidang geser baut.

2. Akibat Beban M (Kekuatan Tarik)

Sambungan baut eksentris diperhitungkan dalam kondisi elastis dan kondisi plastis. Pada kondisi elastis baut yang terpasang menerima tegangan tarik yang tidak rata. Baut yang menerima tegangan tarik paling kritis (paling besar) adalah baut yang berada dibaris teratas. Besar jarak (a) diasumsikan misalnya $0 < a \leq$ letak baut paling bawah = y) seperti dijelaskan pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2.19 Diagram Tegangan Sambungan Geser Lentur Kondisi Elastis.

Sumber: Moeliono, 2009.

Dengan melakukan statis momen terhadap serat atas, diperoleh:

$$\frac{a^2 * b}{2} * fu = \sum_{i=1}^n (a + y_1) * n_b * Ntf \quad (2.58)$$

Keterangan:

- a : Jarak asumsi letak garis normal (mm);
- b : Lebar Pelat (mm);

y_i : Jarak antara letak garis normal dan baut pada baris di atasnya (mm);

n_b : Jumlah baut;

f_u : tegangan leleh pelat

N_t : Kuat tarik baut;

Apabila nilai $a \leq y$, maka asumsi letak garis netral sudah benar, tetapi jika $a \geq y$ maka letak a harus dipindahkan ke antara baut paling bawah dengan baut di atasnya. Demikian seterusnya hingga diperoleh letak a yang benar. Besarnya gaya tarik yang ditahan oleh baut baris paling atas diperoleh perhitungan inersia baut menggunakan persamaan:

$$I_b = \frac{a^3 * b}{3} + \sum_{i=1}^n n_b * A_b * y_i^2 \quad (2.59)$$

$$T_3 = \frac{M_u * y_3}{I_b * n_b} * A_b \quad (2.60)$$

Keterangan:

I_b : Inersia baut (mm⁴);

M_u : Momen yang bekerja (N.mm);

T_3 : Gaya tarik yang bekerja pada baut baris teratas (N);

n_b : jumlah baut dalam satu baris;

A_b : Luas permukaan baut (mm²).

Tahanan tarik nominal baut (R_n) diperoleh dari persamaan:

$$R_n = 0,75 * A_b * f_{ub} \quad (2.61)$$

Sambungan baut dikatakan kuat/aman terhadap beban kerja bisa memenuhi persyaratan:

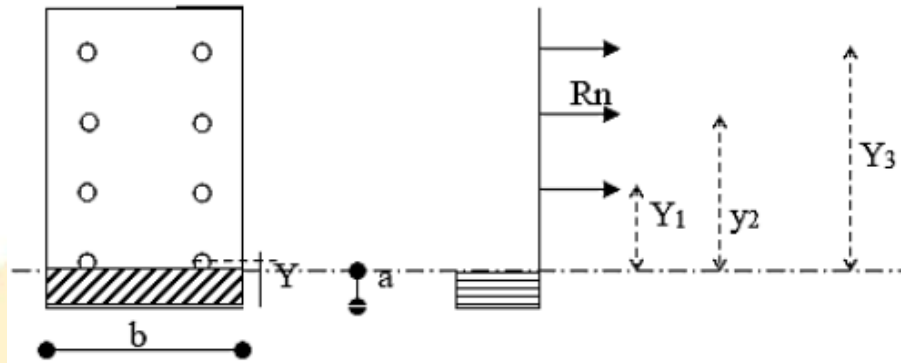
$$f_{uv} \leq f_{dv} \quad (2.62)$$

$$T_3 \leq R_n \quad (2.63)$$

Apabila kondisi terjadi sebaliknya maka, jika memungkinkan dan memiliki cukup tempat dapat dilakukan perubahan susunan baut dengan memperbesar jarak antar baut atau memperbesar diameter baut.

Pada kondisi plastis, kekuatan baut dihitung sampai pada kekuatan baut yaitu seluruh baut yang ada menerima tegangan tarik yang sama rata ditetapkan sebesar R_n seperti terlihat di **Gambar 2.20** berikut. Seperti kondisi elastis, untuk

menentukan besar jarak a yang sebenarnya diasumsikan kembali pada baut di atasnya hingga mendapatkan titik letak aris netral yang sesuai.



Gambar 2.20 Diagram Teganga Baut Eksentris Kondisi Plastis.

Sumber: Moeljono, 2009.

Besarnya gaya nominal tarik baut dihitung menggunakan persamaan:

$$R_n = n_b * f_{ub} * 0,75 * A_b \quad (2.64)$$

Dengan menggunakan statis momen terhadap serat atas diperoleh:

$$y_f * a * b = n_i * R_n \quad (2.65)$$

$$f_y * a * b = n_i * (n_b * f_{ub} * 0,75 * \left(\frac{1}{4} * \pi * d_b^2\right)) \quad (2.66)$$

Keterangan:

f_y : Tegangan leleh pelat yang tertekan (N/mm^2);

f_{ub} : Tegangan putus baut (N/mm^2);

n_i : Jumlah baut dalam satu baris searah vertikal;

n_b : Jumlah baut dalam satu baris arah horizontal.

Besarnya momen nominal sambungan (M_n) dihitung menggunakan persamaan:

$$M_n = \phi * \left\{ \left(f_y * a * b * \frac{a}{2} \right) + \left(R_n * (y_1 + y_2 + y_3) \right) \right\} \quad (2.67)$$

Sambungan baut dikatakan kuat/aman terhadap beban kerja bisa memenuhi persyaratan:

$$f_{uv} \leq f_{dv} \quad (2.68)$$

$$T_3 \leq R_n \quad (2.69)$$

Sama seperti kondisi elastis, apabila yang terjadi sebaliknya maka jika memungkinkan dan memiliki cukup tempat dapat dilakukan perubahan susunan baut dengan memperbesar jarak antar baut atau memperbesar diameter baut.

- **Sambungan baut yang menahan geser murni**

Jenis sambungan ini disebut juga sambungan konsol, P (beban) bekerja sejauh (e) dari titik berat susunan baut (Titik Z), sehingga pada susunan penampang baut timbul beban:

$$M_u = P * e \quad (2.70)$$

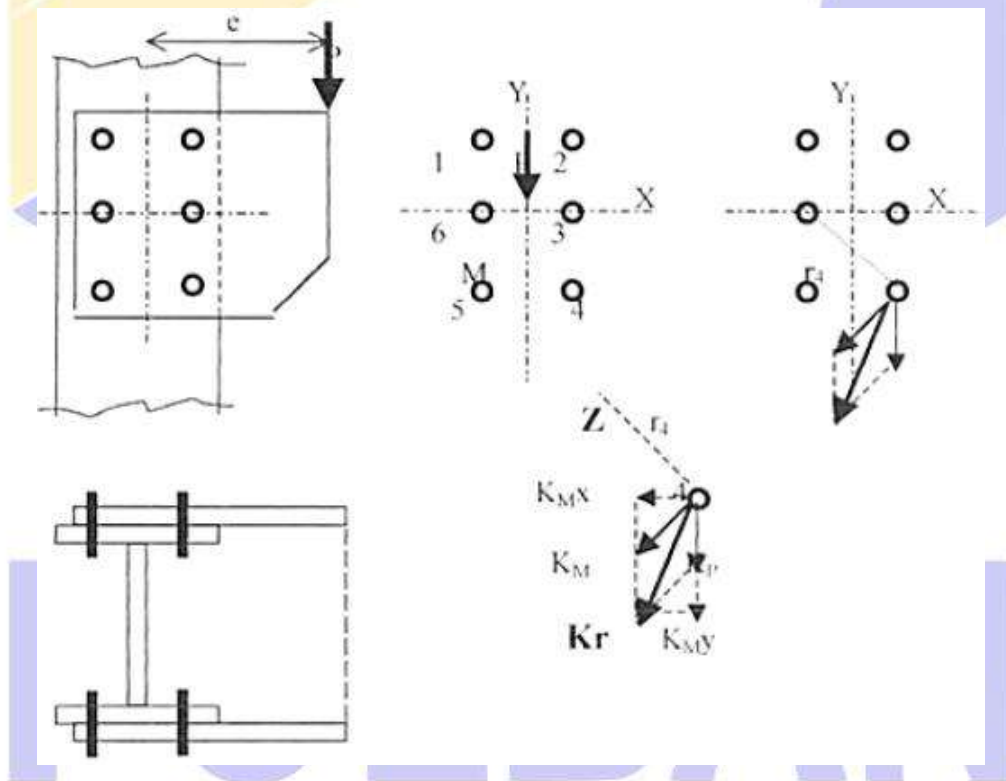
Keterangan:

Mu : Momen Ultimit;

P : Beban yang bekerja;

e : Jarak P dari titik berat susunan baut.

Beban ini bekerja sejajar dengan bidang sambungan. Akibatnya penampang baut bergeser longsor ke bawah dan berputar dengan titik putar (titik netral) dititik Z. Sehingga, seluruh bagian baut mengalami gaya geser dengan titik baut yang paling kritis adalah baut yang berada paling jauh dari titik netral Z yaitu gaya geser yang bekerja seperti **Gambar 2.21**.



Gambar 2.21 Sambungan Eksentris yang Menahan Geser Murni.

Sumber: Moeljono, 2009.

1. Akibat Gaya P

Akibat beban P sambungan akan longsor ke bawah, seluruh baut akan menerima gaya geser merata sebesar:

$$K_p = \frac{\left(\frac{1}{2}P\right)}{n} \quad (2.71)$$

2. Akibat beban M

Akibat beban M yang bekerja di titik Z, maka pada titik-titik penampang baut terjadi gaya kopel (K_i), seperti pada contoh **Gambar 2.33** dapat diuraikan sebagai berikut:

$$M = K_1 * r_1 + K_2 * r_2 + K_3 * r_3 + K_4 * r_4 + \dots + K_n * r_n \quad (2.72)$$

Besar r_1, r_2, r_3, r_4 adalah sama, maka:

$$\frac{K_1}{r_1} = \frac{K_2}{r_2} = \frac{K_3}{r_3} = \frac{K_n}{r_n} \quad (2.73)$$

Didapatkan:

$$K_1 = r_1 * \left(\frac{K_n}{r_n}\right), K_2 = r_2 * \left(\frac{K_n}{r_n}\right), K_3 = r_3 * \left(\frac{K_n}{r_n}\right), K_4 = r_4 * \left(\frac{K_n}{r_n}\right) \dots dst \quad (2.74)$$

Jadi:

$$M = \frac{K_n}{r_n} * (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_n^2) = \frac{K_n}{r_n} \sum r_i^2 \quad (2.75)$$

$$K_n = \frac{M * r_n}{\sum_{i=1}^n r_i^2} \quad (2.76)$$

$$r_i^2 = \sqrt{(x_1^2 + y_2^2)} \quad (2.77)$$

Selanjutnya K_n dapat diuraikan menjadi K_{nx} dan K_{ny}

$$K_{nx} = \frac{M * y_i}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \quad (2.78)$$

$$K_{ny} = \frac{M * x_i}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \quad (2.79)$$

$$K_r = \sqrt{K_{nx}^2 + (K_{ny} + K_p)^2} \quad (2.80)$$

Sambungan dinyatakan kuat menerima beban kerja jika $K_R \leq R_n$

Besar R_n dihitung dari kekuatan geser nominal baut terkecil.

- **Sambungan *base plate***

Sambungan *Base Plate* biasa digunakan untuk menghubungkan struktur baja yang dikaitkan pada angkur beton. Pada jembatan Gantung sambungan *base plate* digunakan untuk menghubungkan menara dengan pondasinya. Perencanaan sambungan *base plate* diperhitungkan sesuai dengan kekuatan tumpu beton, tebal

dan dimensi dari pelat yang digunakan sebagai landasan serta baut angkur. Berikut ini dijelaskan lebih rinci mengenai sambungan *base plate*.

1. Kuat Tumpu Beton

Gaya aksial tekan disalurkan dari *base plate* menuju ke beton. Kuat tumpu rencana adalah $\phi_c P_p$, dengan $\phi_c = 0,65$. Sedangkan kuat tumpu nominal P_p tergantung dari luasan beton tumpuan yang tersedia seperti berikut:

- Luas beton tumpuan = Luas pelat landasan

$$P_p = 0,85 * f'_c * A_1 \tag{2.81}$$

- Tegangan tumpu nominal:

$$f_p (max) = \phi_c * 0,85 * f'_c \tag{2.82}$$

Keterangan:

f'_c : tekan beton yang disyaratkan (MPa)

A_1 : beton yang dibebani gaya tekan (mm²)

2. Pelat Landasan

Untuk menentukan kuat perlu landasan pelat digunakan persamaan:

$$M_{pl} = \frac{1}{2} * f_p * l^2 \tag{2.83}$$

Dengan nilai l adalah ilai terbesar dari m , n , dan λ_n

$$m = \frac{N-0,95*d}{2} \tag{2.84}$$

$$n = \frac{B-0,8*b_f}{2} \tag{2.85}$$

$$\lambda_n = \frac{1}{4} * \lambda * \sqrt{db_f} \tag{2.86}$$

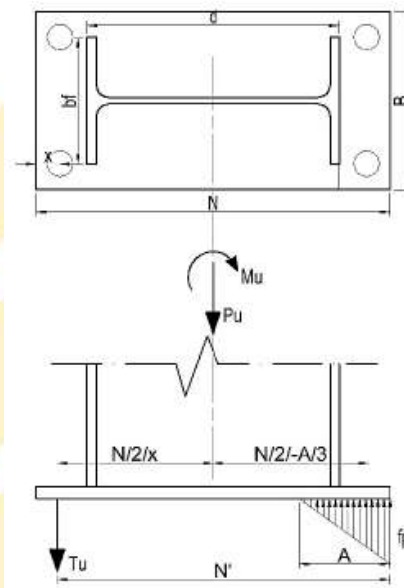
Sedangkan untuk kondisi batas leleh, tebal minimum dari pelat landasan adalah:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4M_{pl}}{\phi * f_y}} \tag{2.87}$$

3. Besar Momen pada Angkur

Jika eksentrisitas gaya P_u besar akan mengakibatkan *base plate* terguling. Tetapi, hal ini dapat dihindari dengan memasang baut angkur untuk menahan gaya tarik sebesar T_u akibat dari momen guling tersebut. Ukuran pelat landasan dipilih sedemikian hingga tegangan tekan beton f_p tidak melebihi tegangan tumpu nominal baton. Sedangkan, parameter yang belum diketahui adalah T_u dan

panjang tumpu A (Dewobroto, 2009). Hal ini seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.22**.



Gambar 2.22 Distribusi Tegangan Segitiga Akibat Eksentrisitas Besar.
Sumber: Dewobroto, 2009

Kedua parameter T_u dan A dapat dicari menggunakan persamaan keseimbangan vertikal dan momen seperti berikut:

$$T_u + P_u = \frac{1}{2} * f_p * AB \quad (2.88)$$

$$P_u * \left(\frac{n}{2} - x\right) + M_u = \frac{1}{2} * f_p * AB * \left(N - x - \frac{A}{3}\right) \quad (2.89)$$

Jika $A' = \frac{N}{2} - x$ dan $f' = f_n * B * \frac{(N-x)}{2}$, dari persamaan diatas diperoleh:

$$A = \frac{f' \pm \sqrt{f'^2 - \frac{2}{3} * f_p * B * (P_u * A' + M_u)}}{\frac{1}{3} * f_p * B} \quad (2.90)$$

Gaya tarik baut angkur adalah:

$$T_u = \frac{1}{2} * d * f_p * AB - P_u \quad (2.91)$$

Kuat tarik nominal baut angkur:

$$\phi N_{sa} = n_b * \phi * A_{se,N} * f_u \quad (2.92)$$

Kontrol panjang angkur:

$$L_{min} \leq L_a \quad (2.93)$$

$$L_{min} = \frac{f_y * d_a}{4 * \sqrt{f'_c}} \quad (2.94)$$

Keterangan:

n_b : jumlah baut angkur

$A_{se,N}$: Luas penampang efektif terhadap tarik seperti pada **Tabel 2.18** dan **Tabel 2.19**.

f_u : Kuat tarik baut angkur yang disyaratkan

Tabel 2.18 Properti Baut Angkur (Lundin, 2012).

\emptyset angkur	A_g	n_t	$A_{se,N}$ $A_{se,V}$	Luasan tumpu kepala baut atau nut – A_{brg} (in ²)			
				square	Heavy sq	Hex	Heavy H
d_n (in)	in ²	ulir/in	in ²				
¼	0,049	20	0,032	0,142	0,201	0,117	0,167
3/8	0,110	16	0,078	0,280	0,362	0,164	0,299
½	0,196	13	0,142	0,464	0,569	0,291	0,467
5/8	0,307	11	0,226	0,693	0,822	0,454	0,671
¾	0,442	10	0,334	0,824	1,121	0,654	0,911
7/8	0,601	9	0,462	1,121	1,465	0,891	1,188
1	0,785	8	0,606	1,465	1,855	1,163	1,501
1 1/8	0,994	7	0,763	1,854	2,291	1,472	1,851
1 ¼	1,227	7	0,969	2,228	2,773	1,817	2,237
1 3/8	1,485	6	1,160	2,769	3,300	2,199	2,659
1 ½	1,767	6	1,410	3,295	3,873	2,617	3,118
1 ¾	2,405	5	1,900	-	-	-	4,144
2	3,142	4,5	2,500	-	-	-	5,316

Catatan: 1 in² = 645,16 mm²

POLBAN

Tabel 2.19 Properti Material Baut Angkur (Lundin,2012).

Spesifikasi material	Grade mutu	Dia (in)	f_u desain ksi (MPa)	f_u min ksi	f_y min. ksi (MPa)	Elongasi min. %	Reduksi A min. %
AWS D1.1	B	½-1	60(414)	60	50 (345)	20	50
ASTM A307	A	≤ 4	60 (414)	60	--	18	--
	C	≤ 4	58 (400)	58-80	36 (248)	23	--
ASTM A354	BC	≤ 4	125 (862)	125	109(752)	16	50
	BD	≤ 4	125 (862)	150	130 (896)	14	40
ASTM A449	1	≤ 1	120 (827)	120	92 (634)	14	35
		1~1,5	105 (724)	105	81 (558)	14	35
		≥ 1,5	90 (620)	90	58 (400)	14	40
ASTM F1554	36	≤ 2	58 (400)	58-80	36 (248)	23	40
	55	≤ 2	75 (517)	75-95	55 (379)	21	30
	105	≤ 2	125 (862)	125-150	105 (724)	15	45

b. Sambungan Las

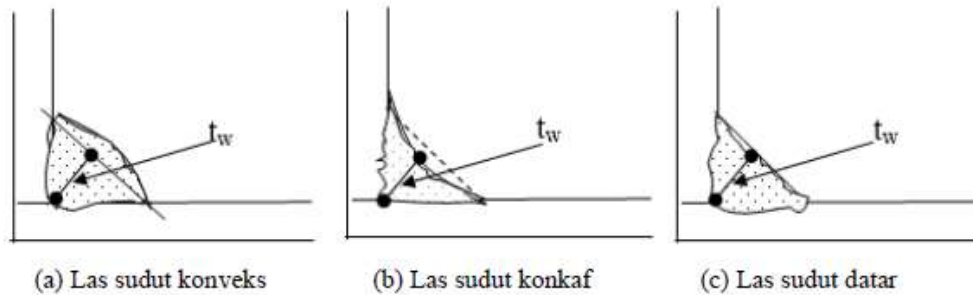
Selain menggunakan sambungan baut, sambungan las juga sering digunakan untuk menghubungkan elemen-elemen pada struktur baja dari infrastruktur bangunan atau jembatan. sambungan las menggunakan elektroda yang tersambung pada generator sehingga menghasilkan arus listrik. Proses yang digunakan ketika pengelasan elemen-elemen struktur baja adalah:

- i) Proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) las logam yang terlindung merupakan proses pengelasan yang paling sederhana dan murah. Proses pengelasan ini sering digunakan untuk pengelasan dilapangan, yaitu pada penyambungan bagian-bagian struktur. Selain itu pengelasan ini juga sering digunakan pada pengelasan pabrikasi di *workshop*.
- ii) Proses pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*) las logam yang terbenam. Proses ini sering digunakan pada pengelasan pabrikasi di *workshop*, yaitu ketika dilakukan pengelasan bagian-bagian struktur yang akan dirangkai di lapangan.

• Las Sudut

Jenis las sudut ini lebih sering digunakan dibandingkan dengan jenis lain lainnya karena lebih ekonomis. Las ini biasa digunakan pada sambungan lewatan, sambungan siku, sambungan ujung dan sisi batang, sambungan kopel dan

sambungan konsol. Terdapat tiga tipe las sudut yaitu: Las Sudut Konkaf, Las Sudut Konveks, dan Las Sudut Datar seperti pada **Gambar 2.23**.



Gambar 2.23 Tipe-tipe Las Sudut
 Sumber: Moeljono, 2009.

Ketebalan rencana las sudut (t_w) adalah tebal penampang retak las yaitu daerah bagian las yang memungkinkan terjadinya kerusakan akibat beban kerja untuk perhitungan dalam menentukan kekuatan nominal las sudut. Penentuan tebal las sudut sesuai dengan **Tabel 2.20**.

Tabel 2.20 Ukuram Minimum Las Sudut.

Tebal Bagian Paling Tebal t mm	Ukuran Minimum Las Sudut t_w mm
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t \leq 20$	6
$20 < t \leq 40$	8
$40 < t \leq 60$	10
$60 < t \leq 70$	12

Sumber: RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

• **Kekuatan nominal las sudut**

Kekuatan dari suatu sambungan las dapat dilihat dari mutu elektroda yang digunakanya. Macam-macam mutu elektroda ditunjukkan pada **Tabel 2.21**.

Tabel 2.21 Hubungan Mutu Elektroda dengan Kekuatan Tarik.

Mutu Elektroda	Kekuatan Tarik Minimum (Psi)
E41XX	41.000
E48XX	48.000
E60XX	60.000
E70XX	70.000
E80XX	80.000
E90XX	90.000
E100XX	100.000

1. Kuat nominal las sudut:

$$f_v = \text{kuat tarik minimum (psi)} * \frac{0,454}{2,54^2} \quad (2.95)$$

$$f_{uw} = 0,6 * f_v \quad (2.96)$$

$$V_w = \phi * (0,6 * f_{uw}) * t_w * L_w \text{ digunakan untuk bahan las.} \quad (2.97)$$

$$V_w = \phi * (0,6 * f_y) * t_w * L_w \text{ digunakan untuk bahan yang disambung.} \quad (2.98)$$

2. Panjang Las

$$L_{las} = \frac{N_u}{\phi * V_w} \quad (2.99)$$

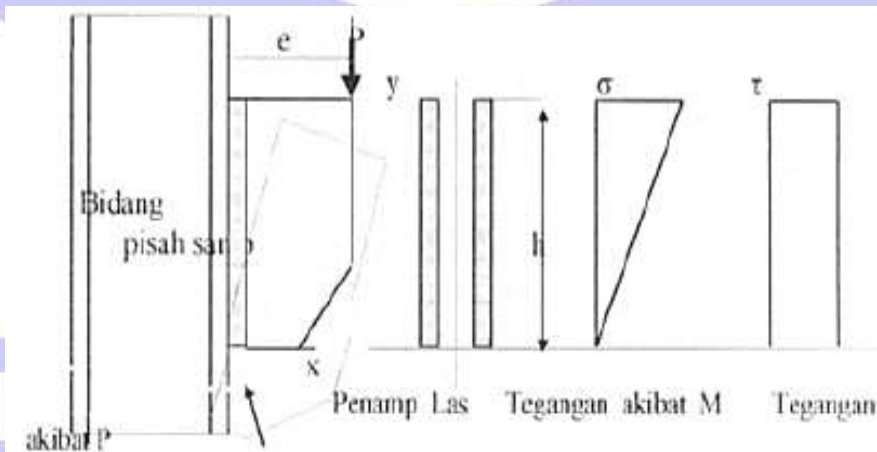
- **Keadaan batas ultimit untuk las sudut**

Sambungan yang menggunakan las sudut dinyatakan aman jika memenuhi persyaratan:

$$V_u \leq \phi * V_w \quad (2.100)$$

- **Sambungan las yang menahan geser lentur**

Sambungan yang menahan geser lentur beban P bekerja sejauh (e) dari bidang pisah sambungan, penampang las akan longsor dan berputar dengan titik netral (titik putar sambungan) di titik las paling bawah seperti terlihat pada **Gambar 2.24**.



Gambar 2.24 Sambungan Las Menahan Geser Lentur.
Sumber: Moeljono, 2009.

1. Akibat Momen

Diakibatkan oleh momen yang bekerja ($M = e \times P$) menyebabkan penampang las akan tertarik (berputar) dengan titik netral (dianggap) terjadi pada las yang paling bawah, sehingga terjadi tegangan tarik pada las yang atas sebesar:

$$f_w = \frac{M \cdot h}{I_{x_{las}}} \quad (2.101)$$

Dengan $I_{x_{las}}$ adalah inersia sumbu x dari bidang las.

2. Akibat beban P

Penampang las longsor ke bawah, sehingga terjadi tegangan geser sebesar:

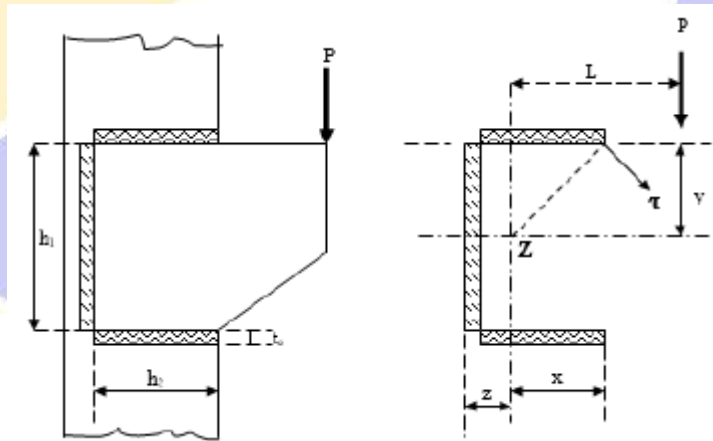
$$\tau = \frac{P}{\sum A_{las}} \quad (2.102)$$

Sambungan las harus memenuhi keadaan batas ultimit dengan persyaratan berikut:

$$\tau = \phi * f_w \quad (2.103)$$

- **Sambungan las yang menahan geser murni**

Pada sambungan las inidicari tegangan paling kritis (τ) yang diakibatkan oleh beban P yang bekerja sejauh (L) dari titik berat penampang pengelasan yaitu berada pada titik las yang paling jauh dari titik berat penampang pengelasan (Z) seperti terlihat pada **Gambar 2.25**.



Gambar 2.25 Sambungan Las Menahan Geser Murni.

Sumber: Moeljono, 2009.

Besar tegangan kritis (τ) dihitung dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:

1. Letak Titik Berat Penampang

$$z = \frac{\sum A_w \cdot x_i}{\sum A_w}, \quad z \text{ diukur dari tepi las yang tegak} \quad (2.104)$$

2. Besar momen inersia penampang las

$$I_x = \sum (I_{xi} + A_{wi} \cdot y_1^2) \quad (2.105)$$

$$I_y = \sum (I_{yi} + A_{wi} \cdot x_1^2) \quad (2.106)$$

$$I_p = I_x + I_y \quad (2.107)$$

3. Menentukan besar tegangan kritis pada las

- Akibat beban langsung (P)

$$\tau_p = \frac{p}{\sum A_w} \quad (2.108)$$

- Akibat momen

$$\tau_x = \frac{M_x * x}{L_p} \quad (2.109)$$

$$\tau_y = \frac{M_y * y}{L_p} \quad (2.110)$$

- Besar tegangan kritis las

$$\tau = \sqrt{(\tau_x)^2 + (\tau_p + \tau_y)^2} \quad (2.111)$$

Sambungan las harus memenuhi keadaan batas ultimit dengan persyaratan:

$$\tau \leq \phi * f_w \quad (2.112)$$

c. Sambungan Pen

- **Kuat geser nominal pen**

$$V_f = 0,62 * f_{yp} * n_s * A_p \quad (2.113)$$

- **Kuat tumpu nominal pen**

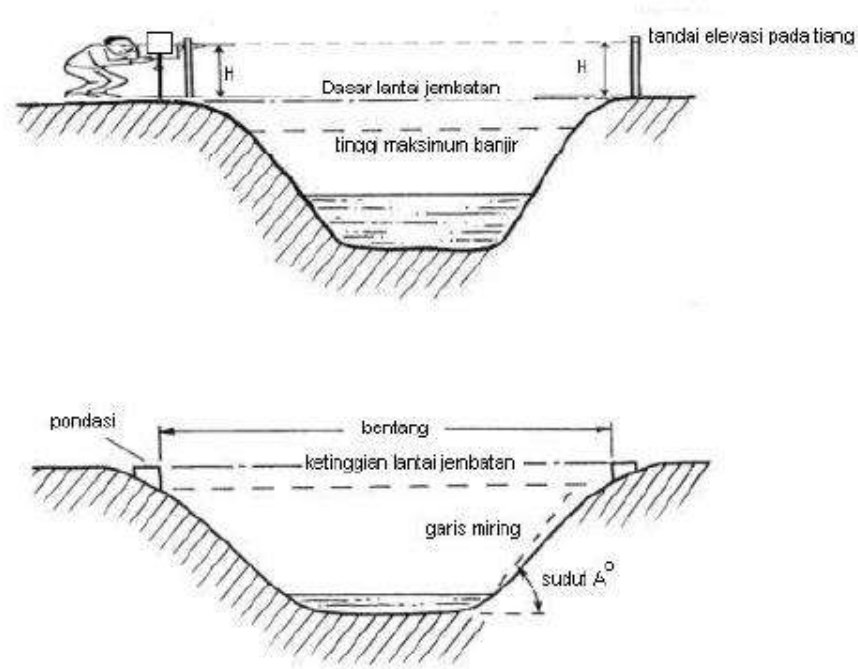
$$V_f = 1,4 * f_{yp} * d_t * t_p * k_p \quad (2.114)$$

- **Batas ultimit untuk pen**

$$Vf' \leq \phi * Vf \quad (2.115)$$

2.2.5 Perhitungan Muka Air Banjir (MAB)

Elevasi dari jembatan gantung harus ditentukan oleh jarak bebas dan tinggi banjir dengan periode ulang 20 tahun. Sesuai dengan Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 02/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki jarak bebas air banjir minimum satu meter untuk daerah datar dan lebih dari lima meter untuk daerah berbukit. Ketinggian dari lantai jembatan dapat dilihat pada **Gambar 2.26**.



Gambar 2.26 Ketinggian Lantai Jembatan.

Sumber: Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.02 tahun 2010

1) Analisis Frekuensi Hujan

Penentuan tinggi banjir rata-rata dapat diketahui dengan muka air banjir tertinggi. Perhitungan muka air banjir dapat dilakukan dengan analisis frekuensi hujan dengan cara:

a. Cara Normal

$$x_t = x_a + k * S_x \quad (2.116)$$

$$S_x = \frac{\sqrt{\sum(X_i - X_a)^2}}{n-1} \quad (2.117)$$

Keterangan:

X_t : Curah Hujan pada tahun yang diharapkan

X_a : Curah Hujan pengamatan rata-rata

k : Faktor frekuensi (nilai variabel reduksi Gauss pada **Tabel 2.22**)

S_x : Standar deviasi

X_i : Curah Hujan pada pengamatan tertentu

n : Banyak pengamatan

Tabel 2.22 Nilai Variabel Reduksi Gauss.

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	k
1.001	0.999	-3.050
1.005	0.995	-2.580
1.010	0.990	-2.330
1.050	0.950	-1.640
1.110	0.900	-1.280
1.250	0.800	-0.840
1.330	0.750	-0.670
1.430	0.700	-0.520
1.670	0.600	-0.250
2.000	0.500	0.000
2.500	0.400	0.250
3.330	0.300	0.520
4.000	0.250	0.670
5.000	0.200	0.840
10.000	0.100	1.280
20.000	0.050	1.640
50.000	0.020	2.050
100.000	0.010	2.330
200.000	0.005	2.580
500.000	0.002	2.880
1000.000	0.001	3.090

Sumber: CD. Soemarto, 1999

b. Cara Gumbel

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (2.118)$$

K : Faktor Frekuensi Gumbel pada **tabel 2.23**.

Y_t : Reduced variate

Y_n : Reduced mean sesuai **Tabel 2.24**.

S_n : Reduced standar deviasi sesuai **Tabel 2.24**.

Tabel 2.23 Faktor Frekuensi Gumbel.

Periode Ulang (t)	Yt
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
20	2.9702
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001
200	5.2950

Sumber: CD. Soemarto,1999

Tabel 2.24 Nilai Yn dan Sn untuk Metode Gumbell.

n (Tahun)	Yn	Sn
10	0.4952	0.9497
15	0.5128	1.0206
20	0.5232	1.0628
25	0.5309	1.0915
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1423
45	0.5463	1.1518
50	0.5565	1.1607
55	0.5504	1.1681
60	0.5521	1.1747
65	0.5536	1.1803
70	0.5546	1.1854
75	0.5549	1.1896
80	0.5569	1.1938
85	0.5478	1.1973
90	0.4489	1.2007
95	0.4593	1.2038
100	0.5600	1.2065
200	0.5672	1.2359
500	0.5724	1.2588
1000	0.5742	1.2685

Sumber: CD. Soemarto,1999

c. Distribusi Log *Pearson* III

$$\log X_t = \text{Log}x + k * S_{\log x} \tag{2.119}$$

$$\log x = \frac{\sum \log x_i}{n} \tag{2.120}$$

$$S_{\log x} = \sqrt{\frac{\sum (\log x_i - \log x)^2}{n-1}} \tag{2.121}$$

$$g_{\log x} = \frac{n * \sum (\log x_i - \log x)^3}{(n-1) * (n-2) * S_{\log x}^3} \tag{2.122}$$

Keterangan:

Log Xt : Logaritma curah hujan rencana (mm)

Log X : Rata-rata dari logaritma data curah hujan

k : Faktor penyimpangan suatu periode ulang tertentu seperti pada **Tabel 2.25** dan **Tabel 2.26**.

$S_{\log x}$: Standar deviasi

$g_{\log x}$: Koefisien persimpangan

Tabel 2.25 Nilai k untuk Metode Log *Pearson* III.

Cs	Periode Ulang									
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
3,0	-0,360	0,420	1,180	1,912	2,278	3,152	4,051	4,970	5,825	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	1,925	2,262	3,048	3,845	4,652	5,383	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	1,921	2,240	2,970	3,705	4,444	5,103	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	1,913	2,219	2,912	3,605	4,298	4,903	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	1,901	2,193	2,848	3,499	4,147	4,714	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	1,885	2,163	2,780	3,388	3,990	4,515	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	1,864	2,128	2,706	3,271	3,828	4,309	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	1,838	2,087	2,626	3,149	3,661	4,096	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	1,809	2,043	2,542	3,022	3,489	3,883	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	1,792	2,018	2,498	2,957	3,401	3,774	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,777	1,998	2,453	2,891	3,312	3,664	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,756	1,967	2,407	2,824	3,223	3,554	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,735	1,939	2,359	2,755	3,132	3,443	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,714	1,910	2,311	2,686	3,041	3,331	3,815

Sumber: CD. Soemarto, 1999

Tabel 2.26 Nilai k untuk Metode Log Pearson III. (Lanjutan)

Cs	Periode Ulang									
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,692	1,880	2,261	2,615	2,949	3,219	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,669	1,849	2,211	2,544	2,856	3,107	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,646	1,818	2,159	2,472	2,763	2,994	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,621	1,785	2,107	2,400	2,670	2,882	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,595	1,751	2,054	2,326	2,576	2,769	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,597	1,761	2,000	2,252	2,482	3,033	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,539	1,680	1,945	2,178	2,388	2,546	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,510	1,643	1,890	2,104	2,294	2,437	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,481	1,606	1,834	2,029	2,201	2,328	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,450	1,567	1,777	1,955	2,108	2,218	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,419	1,528	1,720	1,880	2,016	2,113	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,386	1,488	1,663	1,806	1,926	2,010	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,354	1,448	1,606	1,733	1,837	1,911	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,320	1,407	1,549	1,660	1,749	1,809	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,287	1,366	1,492	1,588	1,664	1,715	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,217	1,282	1,379	1,449	1,501	1,548	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,146	1,198	1,270	1,318	1,351	1,394	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,075	1,116	1,166	1,197	1,216	1,240	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,005	1,035	1,069	1,087	1,097	1,109	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,938	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,873	0,888	0,900	0,905	0,907	0,908	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,786	0,793	0,798	0,799	0,800	0,801	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,664	0,666	0,666	0,667	0,667	0,667	0,668

Sumber: CD. Soemarto, 1999

POLBAN

2) Debit Banjir

Setelah perhitungan frekuensi curah hujan, maka dilakukan perhitungan debit banjir dengan persamaan:

$$Q = A * v \quad (2.123)$$

$$Q = A * \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (2.124)$$

Keterangan:

Q : debit banjir (m³/detik)

A : luas daerah aliran sungai (DAS) (km²)

n : koefisien kekerasan

R : radius hidrolik

S : kemiringan saluran

Dengan menggunakan persamaan 2.137 dilakukan *trial and error* untuk mendapatkan tinggi muka air banjir dari dasar sungai dengan nilai y.

POLBAN