



Pengembangan Teknologi

Sistem Lantai Panel Segmental

Ortotropik Baja

Pada Jembatan Rangka Baja

Septinurriandiani, Friella Apriliana, Dewi Riya Yuliarti, Achmad Riza Choirullah,
Tommy Virlianda Warganegara, Indra Sidik

TEKNOLOGI SISTEM LANTAI PANEL SEGMENTAL ORTOTROPOK BAJA DI JEMBATAN RANGKA BAJA



**PUSAT LITBANG JALAN DAN JEMBATAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN

TEKNOLOGI PELAT ORTOTROPIK

Penyusun : Septinurriandiani, ST., MT.

Friella Apriliana, ST., MT.

Dewi Riya Yuliarti, ST.

Achmad Riza Choirullah, ST., MT.

Tommy Virlianda Warganegara, ST.

Indra Sidik, ST.

Edisi ke 1 Tahun 2017, 142 Halaman

@Pemegang Hak Cipta Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Kementerian
Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

ISBN:

Informasi lebih lanjut hubungi :

info@pusjatan.pu.go.id

pemasaran@pusjatan.pu.go.id

Bidang Standardisasi dan Kerjasama

KATA PENGANTAR

Jembatan rangka baja adalah jembatan dengan jumlah sekitar 8,04 % dari seluruh stok jembatan nasional yang berjumlah 33.783 jembatan(Data BMS 2002). Sehingga penanganan dan pemeliharaan jembatan adalah sangat penting dalam menjamin pelayanan moda transportasi jalan raya. Dengan berjalan waktu pelayanan dan ketidaksesuaian penerapan beban-beban jembatan yang terjadi dengan yang direncanakan membuat terutama elemen pelat lantai jembatan cenderung mengalami penurunan tingkat pelayanan.

Secara umum, dalam kurun waktu 30 tahun, ada dua macam sistem konstruksi pelat lantai yang diujicobakan pada jembatan rangka baja yaitu : (1) pengecoran beton di tempat dengan menggunakan bekisting kayu yang kemudian dibongkar kembali, (2) pengecoran beton dengan menggunakan bekisting sistem baja bergelombang. Kedua sistem di atas mempunyai kelebihan dan kekurangannya terutama yang berhubungan dengan waktu dan biaya serta kesediaan sumber daya peralatan konstruksi dan manusia untuk mendapatkan mutu konstruksi yang paling optimal.

Oleh karena itu muncullah ide untuk mengembangkan jenis konstruksi yang mengatasi faktor penghambat tersebut melalui penggunaan sistem pelat pracetak. Sistem pracetak diharapkan akan meminimalisasi peralatan dan bekisting dan dapat memperpendek waktu pelaksanaan dan waktu penutupan lalu-lintas ketika dilakukan penggantian lantai jembatan pada jembatan rangka baja. Dengan keunggulan konstruksi yang telah dipaparkan di atas maka diharapkan banyak pengelola jembatan yang tertarik dan berusaha untuk menerapkan di lapangan.

Bandung, November 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	III
DAFTAR GAMBAR	VI
DAFTAR TABEL	VIII
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Sistem pelat ortotropik baja	2
1.3 Sistem perkerasan jembatan	6
BAB 2. TEKNOLOGI PELAT ORTOTROPIK BAJA PUSJATAN	11
2.1 Kerangka pemikiran/pendekatan berfikir	11
2.2 Lokasi dan data teknis jembatan	13
2.3 Teknik pengambilan data	14
2.4 Teknik analisis	14
2.5 Luaran (Output) hasil penelitian	15
2.6 Hasil perencanaan pelat ortotropik baja	16
2.7 Hasil pengujian laboratorium	18
BAB 3. PERENCANAAN PELAT ORTOTROPIK BAJA	29
3.1 Umum	29
3.2 Persyaratan Material	32
3.2.1 Bahan Struktur	32
3.2.2 Baut	33
3.3 Persyaratan Pengelasan dan Baut	34
3.3.1 Pengelasan	34
3.3.2 Baut	37
3.4 <i>Preliminary Design</i>	43
3.4.1 Ketebalan minimum pelat baja	43
3.4.2 Pembebanan berulang dan perimbangan kekerasan	47
3.4.3 Tegangan yang diizinkan	55

3.4.4	Kriteria untuk defleksi	69
3.4.5	Struktur pelat ortotropik	69
3.5	Persyaratan perhitungan struktur (pembebanan; persyaratan defleksi ; persyaratan tegangan)	71
3.5.1	Defleksi	71
3.5.2	Getaran	72
3.5.3	Lapisan aus	72
3.5.4	Pengaku tertutup	72
BAB 4.	PELAKSANAAN PELAT ORTOTROPIK BAJA	73
4.1	Umum	73
4.2	Identifikasi Material	75
4.2.1	Baja Struktural	75
4.2.2	Baut kekuatan tinggi	75
4.3	Fabrikasi	78
4.3.1	Penekukan Pelat	80
4.3.2	Pelurusan Bahan	82
4.3.3	Pelubang Baut	83
4.3.4	Struktur pelat ortotropik	89
4.4	Perakitan	92
4.4.1	Pekerjaan baut	92
4.4.2	Hubungan yang dilas	92
4.4.3	Perakitan pendahuluan dari hubungan lapangan	92
4.4.4	Sambungan yang menggunakan baut kuat tinggi	94
4.4.5	Perakitan lapangan	97
4.5	Pemasangan	97
4.5.1	Uji Kapasitas Rotasi	101
4.5.2	Kebutuhan ring baut	103
4.5.3	Metode pemasangan turn-of-nut	105
4.5.4	Metode pemasangan dengan kunci pas terkalibrasi	106
4.5.5	Metode pemasangan kekencangan langsung	107

4.5.6	Verifikasi	107
4.5.7	Pemasangan	110
4.5.8	Pemeriksaan.	111
4.5.9	Pengelasan	113
4.5.10	Hubungan pin	114
4.5.11	Ketidakcocokan	114
4.6	Pengecekan Alinyemen dan Lawan Lendut	115
BAB 5.	PRESERVASI PELAT ORTOTROPIK	117
5.1	Umum	117
5.2	Pemeriksaan visual jembatan	117
5.2.1	Jalan pendekat	117
5.2.2	Siar muai	118
5.2.3	Parapet jembatan	119
5.2.4	Saluran drainase dan Pipa cucuran	120
5.2.5	Lapisan permukaan	120
5.2.6	Trotoar	121
5.2.7	Rangka Baja	122
5.2.8	Pelat Ortotropik	123
5.2.9	Gelagar Melintang	124
5.2.10	Perletakan	125
5.2.11	Kepala jembatan	125
5.2.12	Aliran sungai	126
5.2.13	Rekap data pemeriksaan visual	126
5.3	Pengujian getaran jembatan	128
5.4	Analisis dan Pembahasan	131
BAB 6.	PENGEMBANGAN PELAT ORTOTROPIK BAJA	133
6.1	Jembatan Rangka Baja Baru	133
6.1.1	Perencanaan jembatan rangka baja	135
6.1.2	Perancangan jembatan rangka baja	137
6.1.3	Jembatan rangka baja baru dengan lantai ortotropik	138

6.2	Gelagar Modular dengan Lantai Ortotropik Baja (Jembatan Cirebon)	140
DAFTAR PUSTAKA		143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Pembuatan pelat baja ortotropik di pabrik baja	3
Gambar 1.2. Dua tipe yang umum digunakan dalam sistem pelat lantai ortotropik	3
Gambar 1.3. Penampang tipikal dengan lantai 'battleback' (Gurney, 1992)	4
Gambar 1.4. Retak yang terjadi pada bagian hubungan antara rib dengan pelat	4
Gambar 1.5. Pemasangan pelat baja ortotropik	5
Gambar 1.6. Tipikal pemasangan pelat baja ortotropik dalam arah melintang maupun arah memanjang	6
Gambar 1.7. Penampang perkerasan yang digunakan di Belanda dan Prancis	8
Gambar 1.8. Penampang perkerasan yang digunakan di Jerman, Belgia, dan Inggris	9
Gambar 1.9. Penampang perkerasan yang digunakan di Amerika Serikat	10
Gambar 2.1. Tampak depan Jembatan Citarum I	13
Gambar 2.2. Model elemen hingga jembatan ortotropik	16
Gambar 2.3. Model Elemen Hingga Satuan Jembatan Ortotropik	17
Gambar 2.4. Tampak penampang pelat ortotropik	17
Gambar 2.5. Tampak samping benda uji pelat baja ortotropik	19
Gambar 2.6. Penempatan beban untuk benda uji spesimen 1	20
Gambar 2.7. Penempatan beban untuk spesimen 2	20

Gambar 2.8. Penempatan beban untuk spesimen 3	21
Gambar 2.9. Kondisi sambungan sebelum pengetesan pada spesimen 3	21
Gambar 2.10. Kondisi sambungan setelah pengujian berakhir pada spesimen 3	22
Gambar 2.11. Contoh perbandingan antara regangan hasil uji regangan dan teoritis	23
Gambar 2.12. Contoh perbandingan antara lendutan hasil uji regangan dan teoritis	24
Gambar 2.13. Proses pemberian lapisan tackcoat di atas pelat uji	25
Gambar 2.14. Proses pencampuran, penuangan bahan perkerasan pada cetakan di atas pelat uji yang telah diberi lapisan cat	25
Gambar 2.15. Proses pengujian geser untuk mengetahui kelekatan lapisan perekat	26
Gambar 2.16. Benda uji 1	27
Gambar 2.17. Grafik pengujian benda uji 1	27
Gambar 3.1. Diagram alir proses perencanaan pelat ortotropik baja segmental	31
Gambar 4.1. Diagram alir proses pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental	74
Gambar 5.1 Kondisi jalan pendekat jembatan	118
Gambar 5.2 Kondisi siar muai jembatan	119
Gambar 5.3 Kondisi parapet jembatan	119
Gambar 5.4 Kondisi saluran drainase dan pipa cucuran	120
Gambar 5.5 Kondisi lapis permukaan	121
Gambar 5.6 Kondisi trotoar baja	122
Gambar 5.7 Kondisi Rangka Baja	123
Gambar 5.8 Pelat Ortotropik	124
Gambar 5.9 Kondisi Gelagar Melintang	124
Gambar 5.10 Kondisi perletakan	125
Gambar 5.11 Kondisi Kepala Jembatan	125
Gambar 5.12 Kondisi Aliran sungai	126

Gambar 5.13 Data Recorder dan sensor percepatan	128
Gambar 5.14 Penempatan sensor accelerometer dan alat perekam data	130
Gambar 5.15 Bacaan sensor accelerometer terhadap waktu pada jembatan Citarum saat dilewati kendaraan	131
Gambar 5.16 Hasil processing data percepatan menjadi frekuensi alami struktur dengan FFT	131
Gambar 6.1. Bagian-bagian penyusun jembatan rangka	133
Gambar 6.2. Tipe penampang melintang profil baja yang digunakan untuk jembatan rangka	134
Gambar 6.3. Tipe jembatan rangka baja	135
Gambar 6.4. Jembatan Kali Progo, Kranggan, Jawa Tengah	139
Gambar 6.5. Potongan melintang jembatan modular	141
Gambar 6.6. Ilustrasi penggunaan pelat baja ortotropik dengan gelagar baja modular	142

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Teknis Jembatan Citarum I	14
Tabel 2.2. Ketebalan lapisan cat pada benda uji No. 1	26
Tabel 3.1. Sifat bahan baja struktural minimum	32
Tabel 3.2. Sifat-sifat bahan minimum baut	34
Tabel 3.3. Ukuran minimum las sudut	36
Tabel 3.4. Dimensi lubang nominal	39
Tabel 3.5. Spasi minimum dari baut	42
Tabel 3.6. Jarak tepi minimum dari pusat lubang standar ke tepi dari bagian yang dihubungkan	43
Tabel 3.7. Rasio lebar-ketebalan terbatas untuk elemen bagian	45

Tabel 3.8. Jangkauan tegangan fatik yang diizinkan	48
Tabel 3.9. klasifikasi fatik tipikal untuk pelat ortotropik baja	50
Tabel 3.10. Siklus tegangan yang harus dipertimbangkan untuk perencanaan teknis	54
Tabel 3.11. Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (dalam MPa)	55
Tabel 3.12. Tegangan yang diizinkan untuk baut baja karbon rendah (dalam MPa)	60
Tabel 3.13. Tegangan yang diizinkan untuk baut mutu tinggi atau bahan yang dihubungkan (dalam MPa)	61
Tabel 3.14. Koefisien slip μ	64
Tabel 3.15. Slip untuk faktor ukuran lubang K_h	65
Tabel 3.16. Tegangan izin fatik	68
Tabel 3.17. Lebar efektif dari pelat lantai dengan pengaju versi AASHTO	70
Tabel 4.1. Jari-jari minimum Cold formed	80
Tabel 4.2. Tegangan baut minimum	95
Tabel 4.3. Rotasi ring baut dari geometri kondisi dikencang tangan dari sisi luar dari bagian yang dibaut	102
Tabel 4.4. Pemasangan kekencangan langsung	109
Tabel 5.1. Matriks kerusakan jembatan	127
Tabel 5.2. Perbandingan hasil pengukuran respon jembatan Citarum Bojongsoang	132

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Berdasarkan data BMS tahun 2016, terdapat sebanyak 18.308 unit jembatan pada ruas jalan nasional dengan kategori panjang lebih atau sama dengan 6 meter. Jumlah tersebut sama dengan total panjang jembatan 496.080 m. Jembatan rangka baja adalah jembatan dengan jumlah sekitar 11,39 % (2.086 unit) dari seluruh stok jembatan nasional. Sehingga penanganan dan pemeliharaan jembatan adalah sangat penting dalam menjamin pelayanan moda transportasi jalan raya. Dengan berjalan waktu pelayanan dan ketidaksesuaian penerapan beban-beban jembatan yang terjadi dengan yang direncanakan membuat terutama elemen pelat lantai jembatan cenderung mengalami penurunan tingkat pelayanan.

Secara umum, dalam kurun waktu 30 tahun, ada dua macam sistem konstruksi pelat lantai yang digunakan pada jembatan rangka baja yaitu: (1) pengecoran beton di tempat dengan menggunakan bekisting kayu yang kemudian dibongkar kembali, (2) pengecoran beton dengan menggunakan bekisting sistem baja bergelombang. Kedua sistem tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangannya terutama yang berhubungan dengan waktu dan biaya serta kesediaan sumber daya peralatan konstruksi dan manusia untuk mendapatkan mutu konstruksi yang paling optimal.

Oleh karena itu muncullah ide untuk mengembangkan jenis konstruksi yang mengatasi faktor penghambat tersebut melalui penggunaan sistem pelat pracetak. Sistem pracetak diharapkan akan meminimalisasikan peralatan dan bekisting dan dapat memperpendek waktu pelaksanaan dan waktu penutupan lalu-lintas ketika dilakukan penggantian lantai jembatan pada jembatan rangka baja.

Dari pembahasan mengenai sistem penggantian jembatan dan sistem pracetak serta konstruksi rangka baja, dapat dilihat bahwa sistem

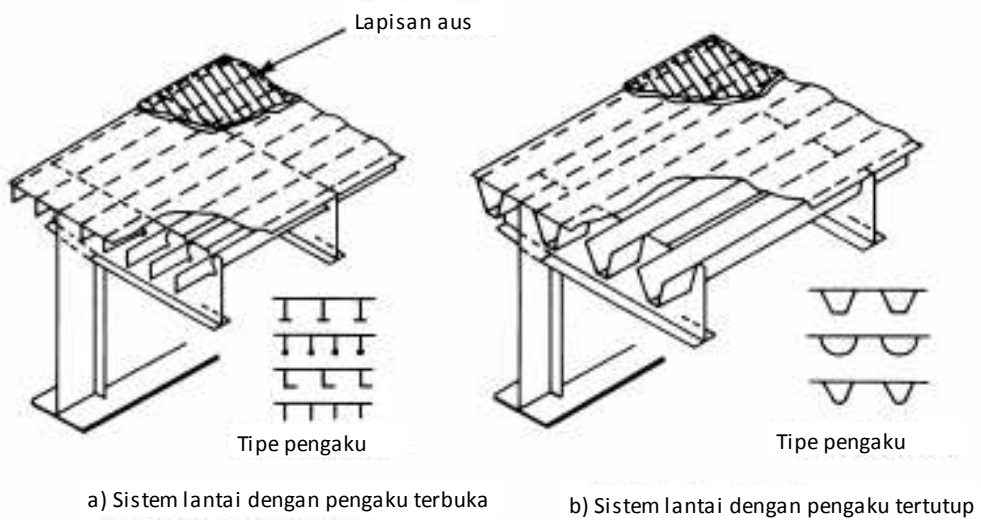
pelat baja ortotropik mempunyai keunggulan terutama dalam segi berat segmen, sehingga konstruksi pengangkut segmen dapat menggunakan jenis yang lebih ringan, hal ini menjadi penting terutama untuk konstruksi rangka baja yang mempunyai ikatan angin di bagian atasnya dimana ruang bebas di dalam dibatasi oleh ikatan angin tersebut.

1.2 Sistem pelat ortotropik baja

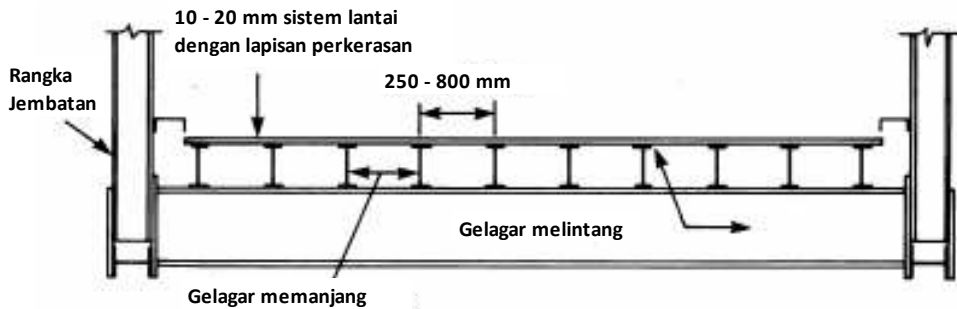
Pelat ortotropik mempunyai arti pelat yang mempunyai kekakuan yang tidak sama dalam dua arah yang saling tegak lurus, hal ini disebabkan adanya penempatan suatu konstruksi pengaku yang dikenal dengan sebutan "*rib*" hanya pada satu arah sebagaimana yang direncanakan. Konstruksi pengaku tersebut adalah berupa suatu konstruksi balok dalam berbagai macam profil, baik berupa pelat tegak, pelat T terbalik atau pelat berbentuk U. Pelat-pelat ini disamping dapat meningkatkan kekakuan terhadap lentur juga mencegah adanya tekuk pada pelat baja. Pelat baja tipe ini telah banyak digunakan sejak tahun 1960-1980 di Eropa karena beratnya yang ringan dibandingkan konstruksi pelat beton, sehingga panjang bentang jembatan yang dapat dicapai dapat ditingkatkan. Suatu hal yang perlu dicermati adalah adanya kemungkinan retak fatik pada bagian hubungan antara konstruksi pengaku/*rib* dengan pelat lantai.



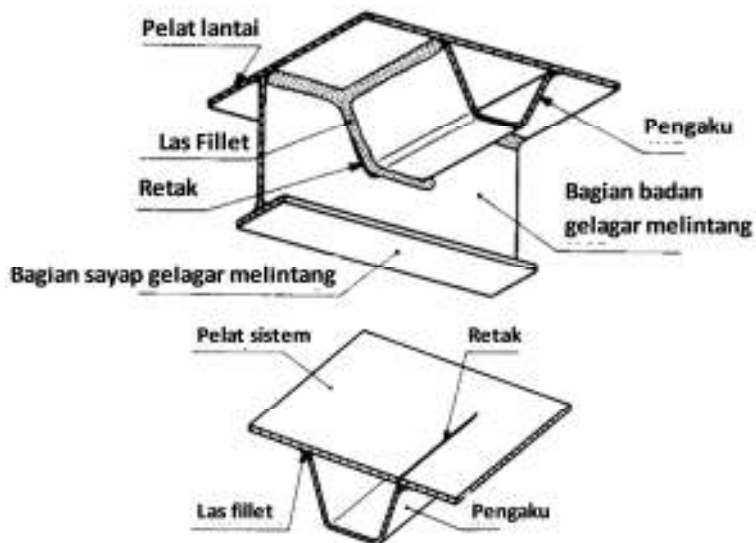
Gambar 1.1. Pembuatan pelat baja ortotropik di pabrik baja



Gambar 1.2. Dua tipe yang umum digunakan dalam sistem pelat lantai ortotropik



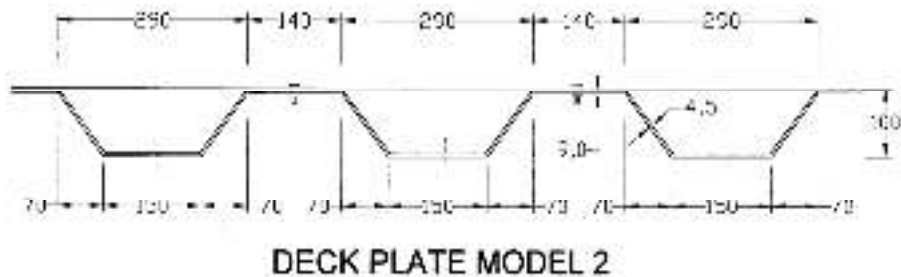
Gambar 1.3. Penampang tipikal dengan lantai 'battleback' (Gurney, 1992)



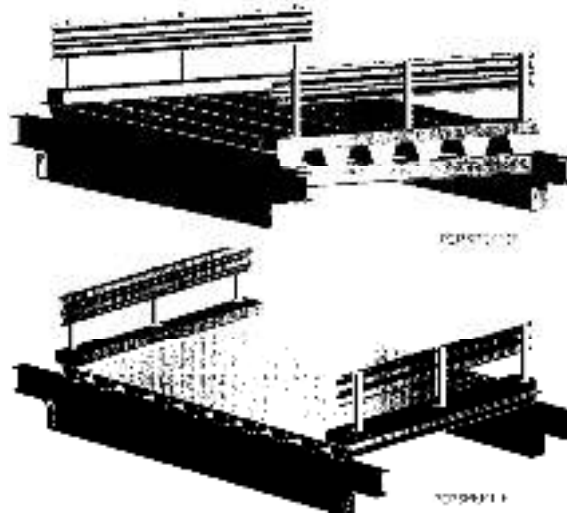
Gambar 1.4. Retak yang terjadi pada bagian hubungan antara *rib* dengan pelat

Pengembangan lebih lanjut yang akan ditempuh untuk penggantian pelat jembatan rangka adalah dengan menerapkan pelat baja pracetak ortotropik. Pelat baja ortotropik dipilih karena mampu mengurangi beban sistem pelat jembatan yang telah terbuat sehingga pemasangan dapat dilakukan dengan peralatan yang lebih ringan dan diharapkan dapat

dilakukan dengan lebih cepat dan mengurangi beban jembatan secara keseluruhan sehingga kapasitas beban hidup yang dipikul rangka baja dapat meningkat. Pelat baja ortotropik yang tersedia dapat dibuat dengan menerapkan konfigurasi penunjang dalam arah melintang maupun memanjang. Pemilihan kedua konfigurasi tersebut diakibatkan ada atau tidaknya ketersediaan gelagar memanjang/*stringer* dalam sistem rangka jembatan. Bila gelagar memanjang tersedia maka konfigurasi penunjang dalam arah melintang begitu juga sebaliknya. Detail yang perlu diperhitungkan apabila menerapkan sistem ini adalah sambungan antar segmen agar pergerakan antar-segmen baik dalam arah melintang atau memanjang dapat dibuat lebih seragam, dan menyatu dengan baik, serta sistem lapisan aus jalur kendaraan yang biasanya lebih rumit daripada dengan pelat jembatan dari bahan beton.



Gambar 1.5. Pemasangan pelat baja ortotropik



Gambar 1.6. Tipikal pemasangan pelat baja ortotropik dalam arah melintang maupun arah memanjang

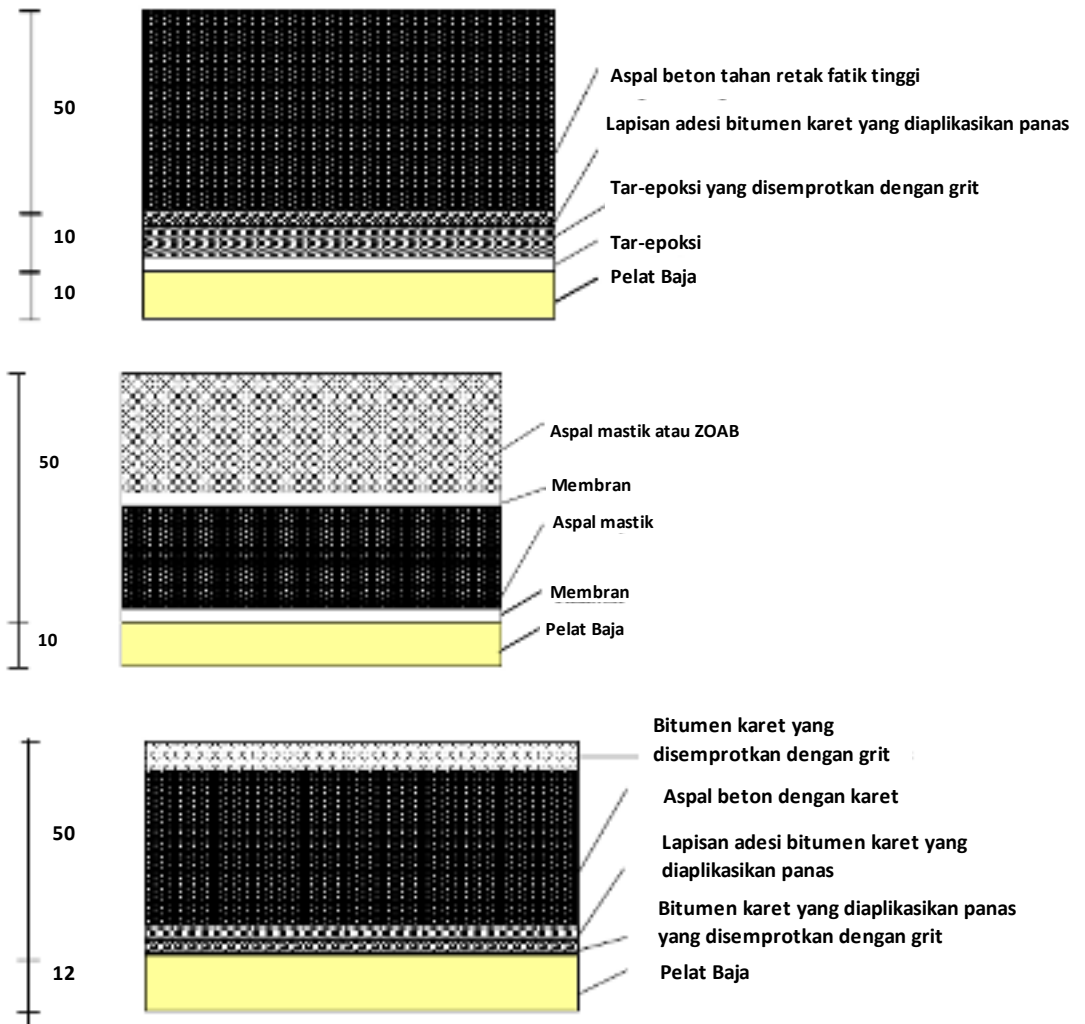
1.3 Sistem perkerasan jembatan

Secara umum sistem pelapisan lantai jembatan terdiri dari beberapa lapisan, yaitu lapisan perekat, lapisan isolasi, lapisan adhesi dan lapisan perkerasan. Lapisan perekat berfungsi untuk menjamin kelekatan antara baja dan lapisan isolasi. Sedangkan lapisan isolasi berfungsi untuk melindungi pelat lantai baja terhadap korosi dan untuk membuat transisi fleksibel antara lapisan perkerasan dengan pelat baja dapat terbuat dari: a) lapisan mastik padat dengan *guss-aspal* dengan ketebalan 8-10 mm dimana kadang-kadang ditambahkan bahan karet atau b) lapisan mastic dengan grit yang ditabur di atasnya. Lapisan adhesi berfungsi untuk menjamin kelekatan yang cukup antara lapisan isolasi dan lapisan perkerasan aspal, dimana menurut Hofstra [1979], Kraft [1979] and Kohler [1974] dapat dibedakan menjadi : a) lapisan bitumen cair panas, b) lapisan bitumen emulsi cair dingin, dan c) lapisan grit yang ditabur di atas lapisan epoxy. Dan terakhir lapisan perkerasan berfungsi untuk mengambil dan mentransfer beban pada struktur di bawahnya dengan ketebalan 50 – 80

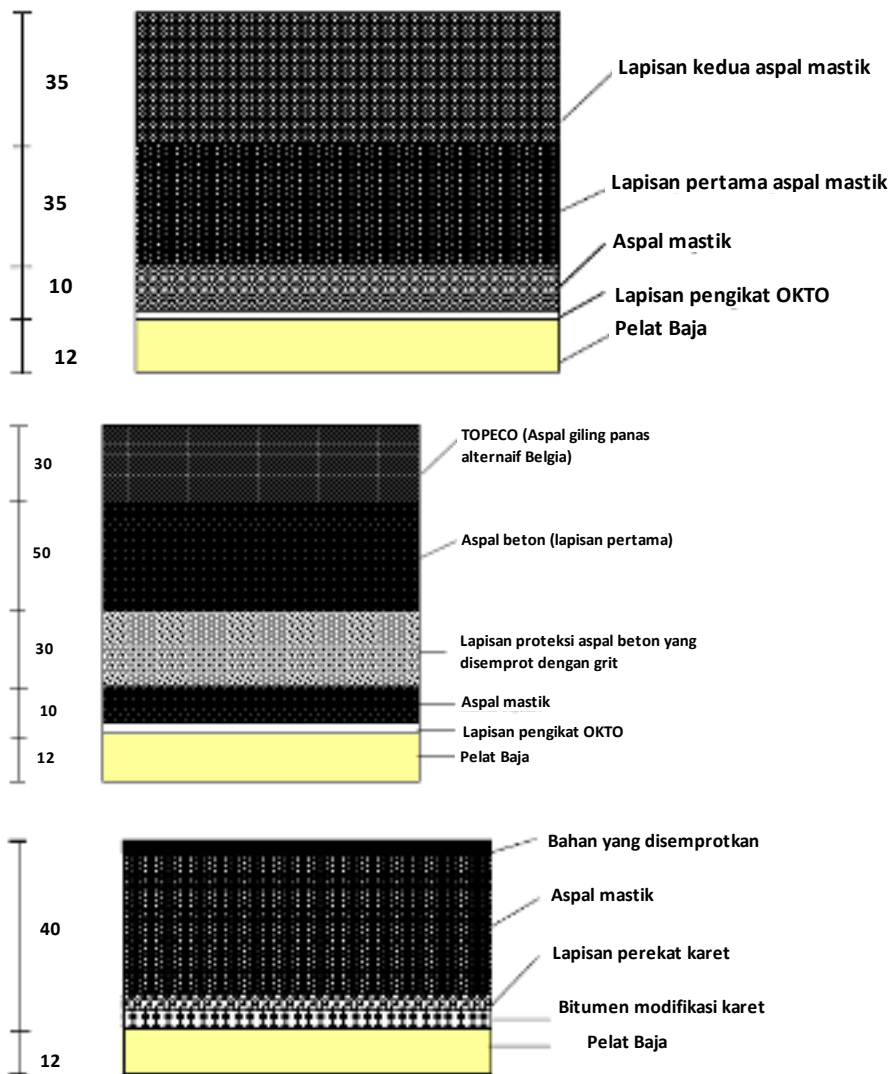
mm untuk pelat baja 10 -14 mm, yang mempunyai persyaratan : a) tahan terhadap *rutting*, b)mempunyai ketahanan tarik tinggi untuk mencegah retak fatik, c) menjamin lekatan antar lapisan yang utuh. Lapisan perkerasan juga dapat dibuat dengan beton SFRC (Beton yang diperkuat dengan taburan serat baja) yang mempunyai ketebalan 70 mm dengan menggunakan tulangan karbon untuk memperkecil potensi korosi tulangan baja, atau beton kinerja tinggi dengan ketebalan 50 mm.

Sistem perkerasan pelat lantai jembatan baja menjadi lebih rumit dibanding dengan pelat lantai jembatan beton karena diperlukan suatu bahan yang dapat merekatkan antara cat yang melapisi baja dengan perkerasan jembatan. Selain itu perkerasan jembatan juga harus mampu menahan panas yang tinggi akibat pemanasan komponen pelat baja ortotropik dan pergerakan akibat pemuaian pelat baja ortotropik dan lendutan jembatan.

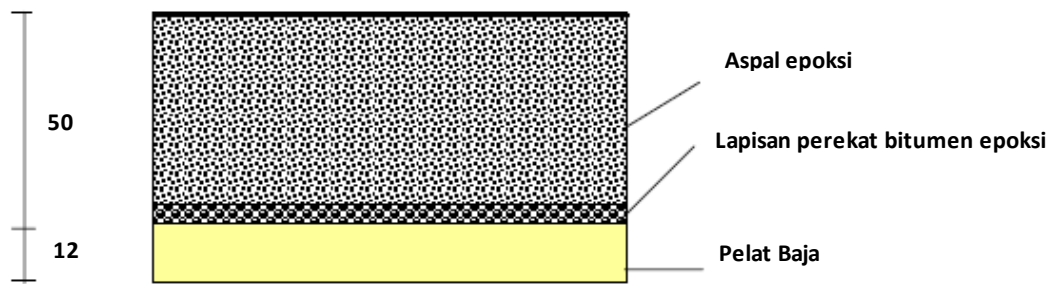
Sistem perkerasan pada pelat lantai jembatan baja berguna untuk memberikan lapisan anti-aus dengan kekasaran tertentu, memberikan lapisan yang mulus untuk mengkompensasi distorsi pelat baja, melindungi pelat baja dengan memberikan lapisan waterproofing disamping lapisan waterproofing lain yang berbentuk metal dan cairan yang terbuat dari bahan akrilik dan poliutiren.



Gambar 1.7. Penampang perkerasan yang digunakan di Belanda dan Prancis



Gambar 1.8. Penampang perkerasan yang digunakan di Jerman, Belgia, dan Inggris



Gambar 1.9. Penampang perkerasan yang digunakan di Amerika Serikat

BAB 2

TEKNOLOGI PELAT ORTOTROPIK BAJA PUSJATAN

2.1 Kerangka pemikiran/pendekatan berfikir

Suatu konsep sederhana yang digunakan sebagai suatu pendekatan berfikir adalah mendapatkan suatu model perancangan struktur dan validasinya melalui suatu penerapan uji coba skala penuh di lapangan yang diawasi untuk mendapatkan hasil sebagaimana yang direncanakan sesuai yang tertuang dalam dokumen spesifikasi dan gambar-gambar yang dibuat pada tahun 2007, sehingga akhirnya dapatlah disusun suatu ketentuan perancangan struktur yang dituangkan dalam suatu konsep pedoman “Perencanaan Pelat Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja”.

Untuk itu dalam mencapai tujuan kosep tersebut maka pada tahun 2008 menggunakan metode penelitian eksperimental dan metode penelitian survai/eksploratif/penjajagan deskritif yang bertujuan mengetahui kemungkinan penerapan hasil perancangan struktur teoritis di lapangan melalui pekerjaan uji coba skala penuh.

Dalam pelaksanaannya dilakukan beberapa tahapan untuk dapat mencapai tujuan konsep pendekatan berfikir yaitu:

1. Penelurusan data ilmiah untuk mengkaji : 1) penelitian yang sejenis, dan 2) paten-paten yang berkaitan dengan masalah seputar metode pelaksanaan pelat ortotropik dan bentuk pengawasan pembuatan struktur pelat ortotropik baja dan bahan-bahan jembatan lainnya. Penelurusan ini juga berguna untuk mengidentifikasi jenis dan metode pengujian-pengujian struktur jembatan
2. Pengawasan dan pengambilan sampel bahan-bahan jembatan dan pengujian mutu bahan diperlukan agar didapat suatu acuan

pengendalian mutu konstruksi dan juga berguna untuk mendapatkan sifat-sifat fisik yang diperlukan dalam pemodelan struktur dan akhirnya juga berguna untuk penyusunan ketentuan konsep pedoman pelaksanaan konstruksi. Metode pengambilan data dilakukan di pabrik dan di lapangan dengan mengambil minimal 20 sampel data baik itu bahan cat, bahan baut, bahan pelat, dan untuk kemudian diuji secara statistik. Sedangkan kinerja pengerjaan las akan dibandingkan dengan WPS/PQR yang diajukan oleh pabrikan baja.

3. Pengukuran respon struktur jembatan di lapangan untuk mendapatkan perilaku respon jembatan eksisting terhadap konstruksi hasil perancangan dan beban-beban yang direncanakan. Kuantitas dan spesifikasi sensor uji dan penempatannya semuanya ditentukan dalam dokumen kontrak dan spesifikasi khusus.
4. Validasi data pengukuran respon jembatan di lapangan melalui analisis model struktur dengan mensimulasi berbagai data seperti : a) kondisi restraint dan constraint struktur jembatan. Model ini, apabila diperkirakan sudah cukup mewakili respon struktur di lapangan, selanjutnya akan digunakan sebagai metode untuk memperkirakan respon struktur terhadap pembebanan kendaraan lain yang ditetapkan atau ditentukan dalam konsep pedoman perencanaan.

Namun akibat ditunda pelaksanaan uji coba skala penuh akibat lelang yang dua kali gagal maka beberapa data yang seharusnya direncanakan untuk memverifikasi model analisis struktur sehingga dapat menyempurnakan isi konsep pedoman tidak dapat diperoleh. Oleh karena itu pengkajian akhirnya difokuskan analisis struktur elemen-elemen jembatan dengan model elemen hingga elemen frame yang lebih sederhana

dengan maksud untuk diperbandingkan dengan model yang telah diperhitungkan menggunakan metode elemen hingga elemen plate/shell.

2.2 Lokasi dan data teknis jembatan

Pengawasan uji skala penuh dilaksanakan di Jembatan Citarum I, Bojongsoang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat.



Gambar 2.1. Tampak depan Jembatan Citarum I

Tabel 2.1. Data Teknis Jembatan Citarum I

Bangunan Atas	
Tipe jembatan	: Rangka Baja Austria
Tipe lintasan	: Sungai
Sistem	: Tumpuan balok sederhana (<i>simple beam</i>)
Pelat lantai	: Pelat ortotropik baja segmental
Panjang jembatan	: 55 m
Lebar jembatan	: 9 m
Jumlah bentang	: 1
Jumlah gelagar	: -
Jumlah pilar	: -
Jumlah jalur/lajur/arah	: 1 Jalur/2 lajur/ 1 arah (tiap jalur)
Perletakan	: Bantalan karet
Bangunan bawah	
Kepala jembatan	: Beton bertulang

2.3 Teknik pengambilan data

Data-data yang diambil hanyalah berupa data dimensi elemen-elemen jembatan yang dilakukan pada jembatan yang akan dilakukan penerapan uji skala penuh. Sedangkan untuk data respon jembatan yang direncanakan akan dipergunakan untuk memvalidasi dan mendeskripsikan perilaku jembatan secara umum tidak dapat diperoleh akibat tertundanya pelaksanaan uji skala penuh di lapangan.

2.4 Teknik analisis

Teknik analisis yang dipergunakan teknik analisa deskriptif dengan mengkaji perilaku dan kondisi jembatan yang didapatkan melalui simulasi pemodelan beban-beban dan kondisi struktur teoritis. Adapun perilaku jembatan yang dipergunakan dalam pengkajian adalah besarnya pergerakan nodal sedangkan kondisi jembatan yang perlu diantisipasi dan kekuatan gelagar melintang jembatan.

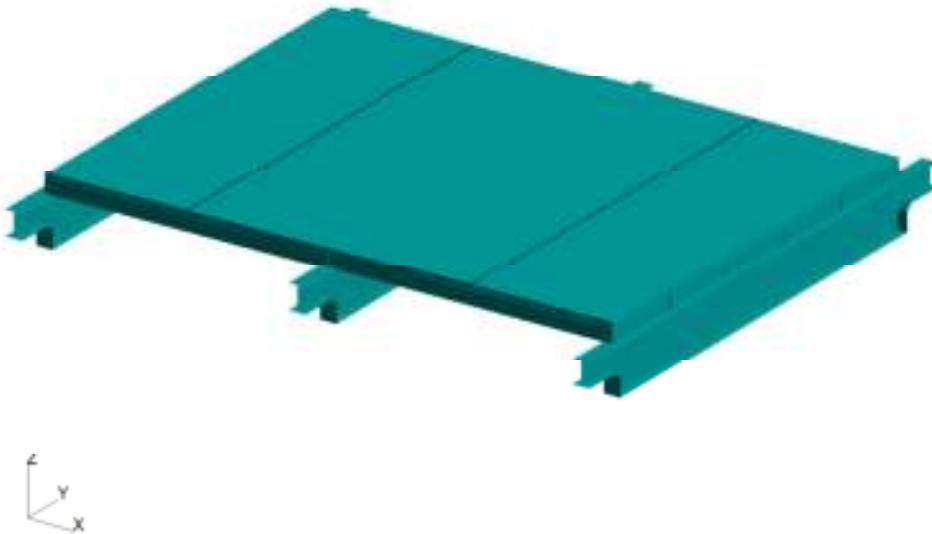
2.5 Luaran (Output) hasil penelitian

Penelitian ini dilakukan multiyears dengan tujuan utama adalah mengembangkan jenis konstruksi penanganan lantai jembatan rangka baja dengan cara menggantinya dengan pelat pracetak baja. Hasil yang dapat diberikan dari kegiatan ini adalah memberikan suatu acuan pelaksanaan dan pengawasan pada perencana-pelaksana-pengawas dalam mengaplikasikan struktur pelat pracetak baja untuk penggantian lantai jembatan rangka. Adapun luaran (output) hasil penelitian setiap tahunnya adalah:

- a. Luaran kegiatan tahun 2007 adalah Dokumen *Detailed Engineering Design* (DED)
- b. Luaran kegiatan tahun 2008 adalah
 - Laporan kajian perencanaan.
 - DED uji coba skala penuh pelat ortotropik baja untuk penggantian lantai jembatan rangka baja
 - Konsep R0 pedoman perencanaan pelat ortotropik baja untuk penggantian lantai jembatan rangka baja.
- c. Luaran kegiatan tahun 2009 adalah.
 - Prototipe teknologi pelat ortotropik untuk penggantian lantai jembatan rangka baja.
 - Hasil pengawasan dan kajian pelaksanaan fisik teknologi pelat ortotropik untuk penggantian lantai jembatan rangka baja.
 - Konsep R0 pedoman pelaksanaan Pelat Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja.
- d. Luaran kegiatan tahun 2010 adalah Konsep R0 Pedoman Penerapan Pelat Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja

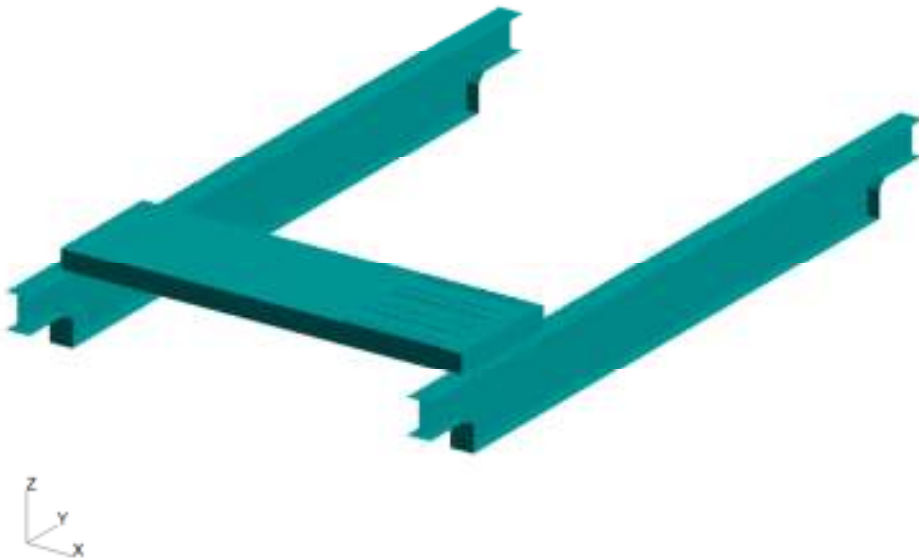
2.6 Hasil perencanaan pelat ortotropik baja

Pemodelan elemen hingga dibuat sepanjang 2 bentangan dengan panjang bentang 5 meter. Hal ini dilakukan untuk melihat fenomena sambungan di atas gelagar mepintang dan bisa memodelkan pembebanan kritisnya dengan lebih real. Berikut ditunjukkan model hingga jembatan ortotropik.



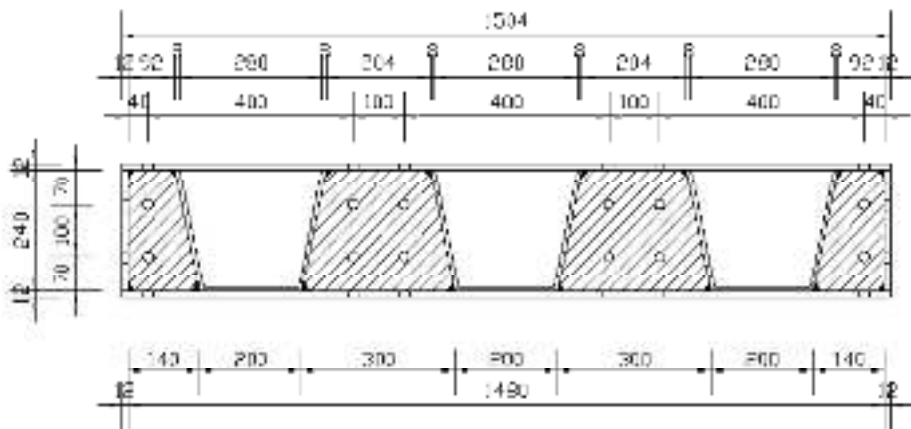
Gambar 2.2. Model elemen hingga jembatan ortotropik

Satu bentangan jembatan ini tersusun oleh lima buah satuan jembatan ortotropik.



Gambar 2.3. Model Elemen Hingga Satuan Jembatan Ortotropik

Satuan-satuan ini disusun di atas gelagar melintang, kemudian dibaut dengan satuan di sebelahnya melalui pelat samping dengan menggunakan baut. Dimensi pelat ortotropik ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Tampak penampang pelat ortotropik

2.7 Hasil pengujian laboratorium

Pengujian laboratorium ditujukan untuk mengkaji bahan-bahan yang dipergunakan pada penerapan uji skala penuh yang nantinya akan dituangkan di dalam spesifikasi DED. Adapun bahan-bahan yang diuji adalah :

1. Pelat baja ortotropik untuk menguji kekuatan struktur pelat pracetak
2. Bahan aspal untuk mendapatkan aspal yang mempunyai spesifikasi untuk mengakomodasi deformasi aspal respon beban di atas pelat pracetak.
3. Bahan tackcoat dan cat untuk mendapatkan spesifikasi cat yang mempunyai kelekatan cukup dengan bahan perkerasan aspal

a. Pengujian pelat baja ortotropik

Kekuatan struktur pelat pracetak didapatkan dengan menguji benda uji yang mempunyai panjang yang sama dengan panjang bentang antar segmen dalam rangka baja jembatan yaitu lima meter. Pelat pracetak dibuat dalam tiga buah benda uji masing-masing untuk menguji :

1. kekuatan beban lentur jembatan pada spesimen 1
2. perilaku sambungan baut antar segmen arah melintang pada spesimen 2
3. perilaku sambungan baut antar segmen arah memanjang pada spesimen 3

Dimensi pelat uji dirancang terlebih dahulu untuk mengakomodasi :

1. Kemampuan pemodelan beban dengan mesin uji beban yang tersedia
2. Kemampuan perekaman data digital dengan sensor elektronik yang ada di laboratorium pengujian
3. Ruang yang tersedia di dalam laboratorium pengujian.

Benda uji tersebut diuji untuk memodelkan beban yang kemungkinan akan terjadi pada bagian dua buah as roda belakang dalam satu sisi truk

tronton. Untuk itu diperlukan profil serta elemen baja untuk menyalurkan dan memodelkan beban dengan baik yaitu berupa :

1. Elemen baja berupa pelat dengan tebal 5 cm untuk memodelkan empat buah roda truk
2. Profil baja dengan panjang 1,6 m sebanyak dua buah untuk menyalurkan beban terpusat dari mesin penekan ke empat buah pelat baja pada poin 1 tadi, dimana beban yang masing-masing tersalurkan pada pelat itu tadi dihitung dengan sebuah *load cell*.

Ilustrasi pengujian dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini.



Gambar 2.5. Tampak samping benda uji pelat baja ortotropik



Gambar 2.6. Penempatan beban untuk benda uji spesimen 1



Gambar 2.7. Penempatan beban untuk spesimen 2



Gambar 2.8. Penempatan beban untuk spesimen 3



Gambar 2.9. Kondisi sambungan sebelum pengetesan pada spesimen 3



Gambar 2.10. Kondisi sambungan setelah pengujian berakhir pada spesimen 3

Untuk keperluan pengujian ini maka digunakan alat-alat sensor pengukuran berupa :

1. alat ukur lendutan (kode dalam gambar DM)
2. alat ukur regangan berbasis strain gauge (kode dalam gambar FG)
3. alat ukur regangan horisontal (kode dalam gambar EM)

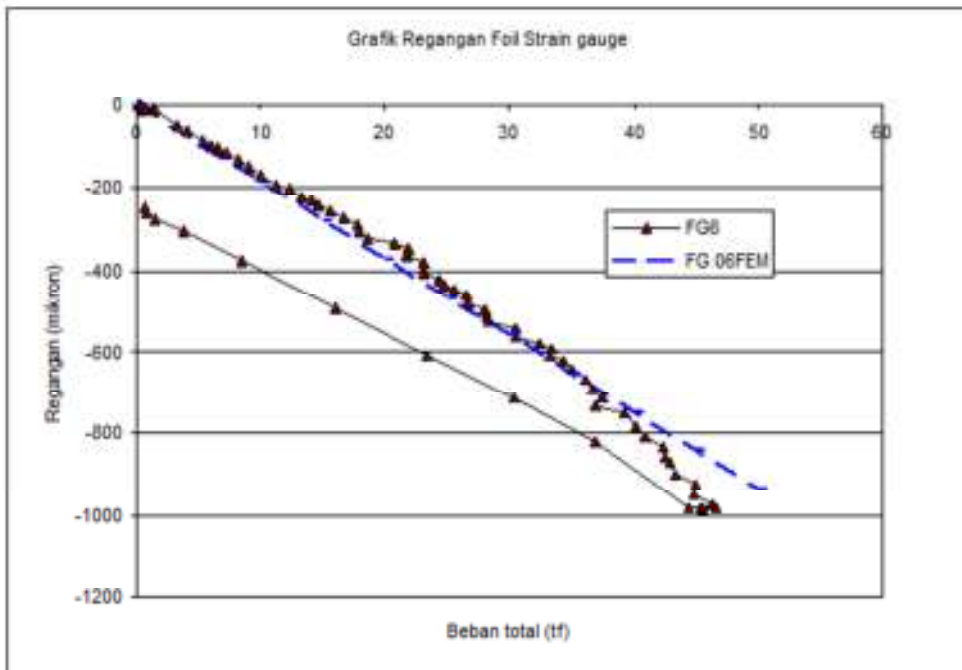
Denah dan lokasi sensor-sensor pengujian dapat dilihat pada bagian lampiran

Hasil respon struktur yang didapat dari pengujian laboratorium dibandingkan adalah :

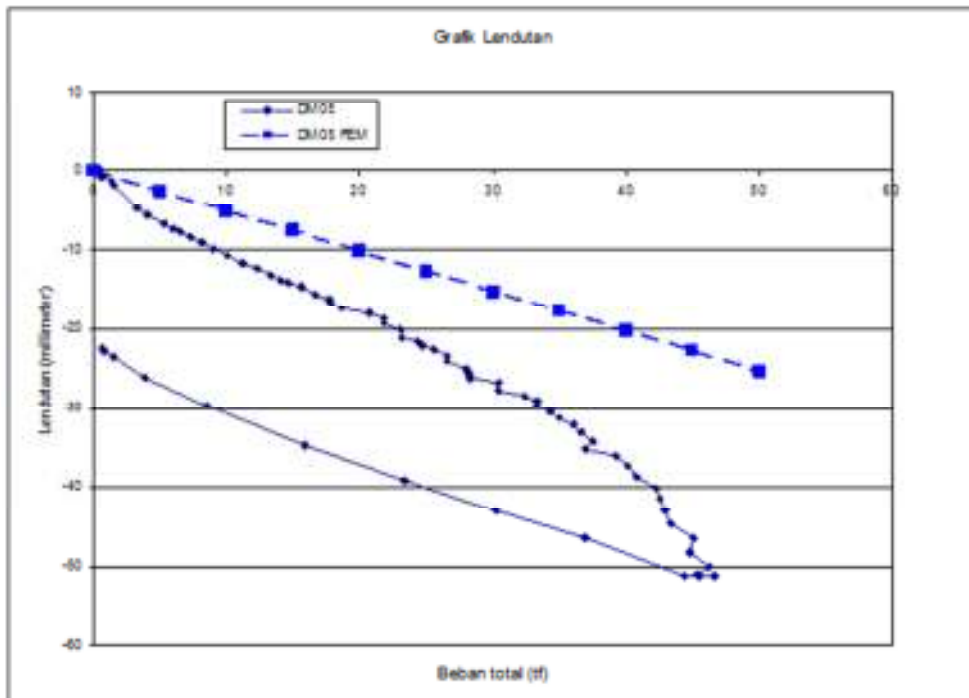
1. Untuk specimen 1 : Beban total maksimum yang dapat dipikul oleh pelat adalah sebesar 45 ton dengan regangan 3900 mikron yang telah melebihi regangan ijin baja 950 mikron

2. Untuk specimen 2 : Perbedaan defleksi yang dapat dipikul sebesar 5 mm untuk sambungan arah melintang dengan beban total maksimum 45 ton
3. Untuk specimen 3 : Baut putus pada beban total 18 ton untuk sambungan dengan sistem dua ribs.

Hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan analisis teoritis. Hasil perbandingan itu ternyata memperlihatkan bahwa pemodelan analisis teoritis mengenai tegangan cukup mendekati, sedangkan hasil sebaliknya diperlihatkan pada defleksi sebagaimana yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.11. Contoh perbandingan antara regangan hasil uji regangan dan teoritis



Gambar 2.12. Contoh perbandingan antara lendutan hasil uji regangan dan teoritis

b. Pengujian Kelekatan Lapisan Perekat

Pengujian kelekatan aspal dilakukan untuk menguji apakah ada pengaruh yang mendasar antara lapisan cat, lapisan perekat, dan lapisan perkerasan. Hasil pengujian ini dipakai sebagai dasar apabila terjadi kerusakan di lapangan. Pengujian ini mempergunakan benda uji pelat baja ukuran 30 cm x 30 cm yang telah dilapisi dengan lapisan cat tertentu ditambah lapisan tackcoat dan lapisan perkerasan yang bahan-bahannya telah diuji sebelumnya. Ilustrasi pembuatan benda uji dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini.



Gambar 2.13. Proses pemberian lapisan tackcoat di atas pelat uji



Gambar 2.14. Proses pencampuran, penuangan bahan perkerasan pada cetakan di atas pelat uji yang telah diberi lapisan cat

Lapisan cat yang dipergunakan adalah kombinasi dari beberapa lapisan cat digunakan untuk melapisi 20 (dua puluh) pelat baja yang mempunyai ketebalan 12 mm, sebagaimana yang terlihat pada gambar dan tabel di bawah ini.

Pengujian dengan mempergunakan peralatan pengujian untuk mendapatkan gaya geser horisontal yang ditransfer oleh karet elastomer kepada lapisan perkerasan yang telah ditempelkan dengan bahan perekat pada pelat yang telah dicat dengan cat bitumen. Pada percobaan ini untuk memodelkan beban tekan vertikal maka dilakukan penekanan beban dengan mesin UTM sebesar 12 ton pada suhu pengujian sekitar 27,4 °C.



Penempatan karet dan alat-alat ukur

Penempatan dongkrak horisontal

Gambar 2.15. Proses pengujian geser untuk mengetahui kelekatan lapisan perekat

Berikut pada tabel dan gambar di bawah ini diperlihatkan contoh bahan cat dan hasil pengujian setiap benda uji.

Tabel 2.2. Ketebalan lapisan cat pada benda uji No. 1

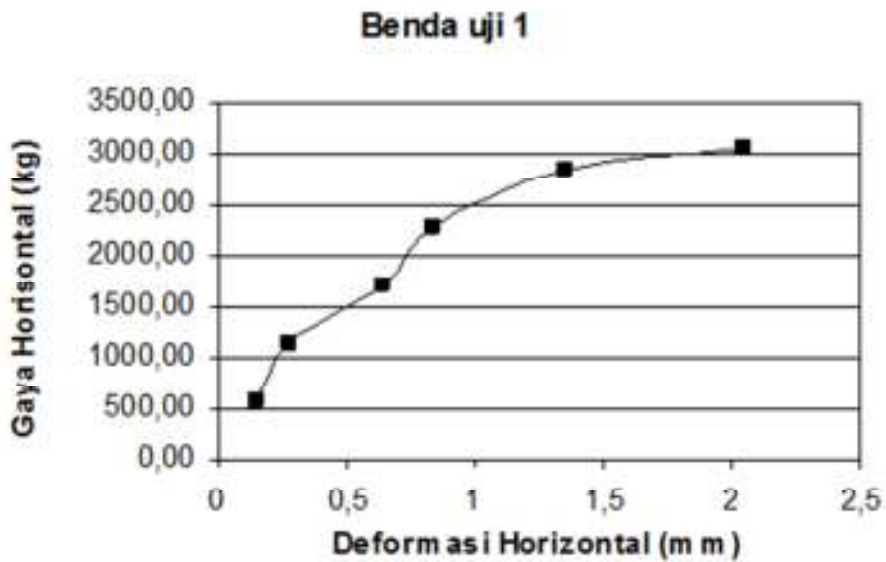
Konstituen	Jenis cat	Ketebalan cat
Lapisan primer	Epoxy polyamid	75 mikron
Lapisan sekunder	Polyamine coal tar epoxy	100 mikron
Lapisan paling luar	Polyamine coal tar epoxy	100 mikron



Pelat sebelum dilapisi aspal

Pelat setelah dilapisi aspal dan diuji

Gambar 2.16. Benda uji 1



Gambar 2.17. Grafik pengujian benda uji 1

BAB 3

PERENCANAAN PELAT ORTOTROPIK BAJA

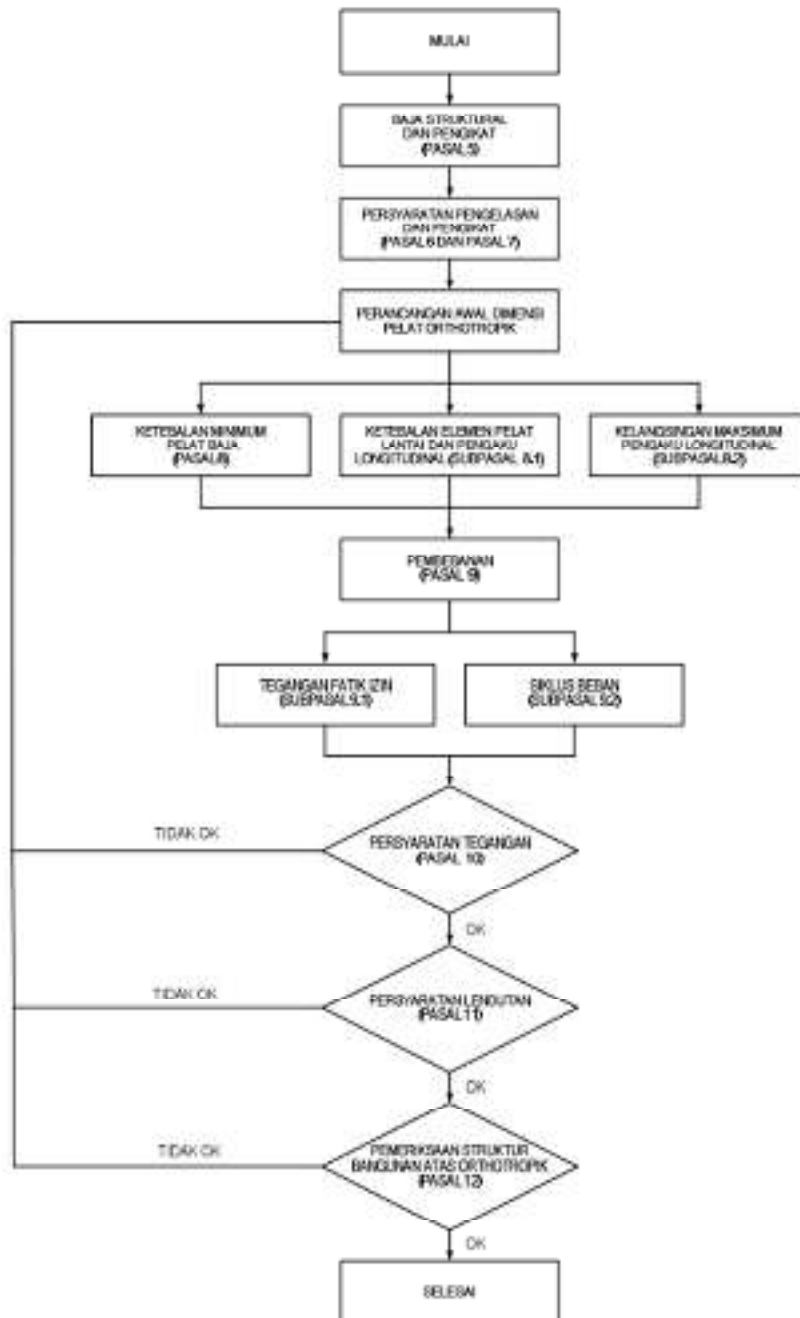
3.1 Umum

Menjelaskan mengenai penentuan geometris dan dimensi elemen sistem lantai; ketentuan tegangan izin dan respon di bawah beban yang bekerja dari struktur pelat ortotropik baja segmental dengan pengaku dalam arah memanjang sebagai lantai jembatan rangka baja. sambungan yang digunakan oleh rangka jembatan dan lantai ortotropik baja segmental adalah sambungan baut.

Urutan perencaaan teknis yang dilakukan adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.1, yaitu:

- a. Penentuan tata letak secara umum seperti: spasi antar pengaku, diafragma, dan konfigurasi baut atau sambungan las, termasuk bentuk pengelasan yang mampu dilakukan oleh fabrikator untuk dijadikan bahan penentuan awal bentuk sistem pelat ortotropik.
- b. Perencanaan teknis awal dimensi pelat ortotropik untuk pelat utama dan pelat pengaku seperti dapat dilihat pada Subpasal 3.4.1.
- c. Penentuan bentuk pelat ortotropik baik tipe terbuka atau tipe tertutup dengan memperhatikan Subpasal 3.4.1
- d. Perencanaan teknis struktur pelat ortotropik dengan pembebanan truk dengan konfigurasi arah memanjang dan arah melintang untuk menentukan dimensi sistem pengaku dan pelat dan gelagar melintang (dengan jarak antar gelagar melintang sekitar 5 m dan lebar gelagar melintang sesuai dengan kelas jembatan).
- e. Pemodelan dan analisa pelat ortotropik untuk memodelkan kondisi pelat yang disokong oleh perletakan pegas di bagian ujung gelagar melintang yang merupakan bagian titik buhul jembatan rangka, dengan mempergunakan sifat-sifat bahan pada Subpasal 3.2.

- f. Penentuan dimensi akhir pelat ortotropik yang memenuhi persyaratan tegangan yang diizinkan dari Subpasal 3.4.2, Subpasal 3.4.3 dan persyaratan defleksi yang diizinkan dari Subpasal 3.4.4.
- g. Pemodelan dan analisa akhir pelat ortotropik yang sudah memasukkan komponen baut dan sambungan las, detailing akhir struktur lainnya.
- h. Perencanaan teknis struktur baut dan sambungan las yang memenuhi persyaratan tegangan yang diizinkan dari Subpasal 3.4.3.



Gambar 3.1. Diagram alir proses perencanaan pelat ortotropik baja segmental

3.2 Persyaratan Material

3.2.1 Bahan Struktur

Baja struktur harus memenuhi sifat bahan yang ditunjukkan pada Tabel 3.1. Modulus elastisitas semua kelas dari baja struktur harus diasumsikan untuk menjadi 199 948 MPa dan koefisien muai linear -17,78 per derajat Celcius. Modulus elastisitas geser harus diasumsikan menjadi 77 221,1 MPa.

Tabel 3.1. Sifat bahan baja struktural minimum

Penandaan oleh AASHTO ^{a,c}	M 270 Kelas 36	M 270 Kelas 50	M 270 Kelas 50W		M 270 Kelas 100/100W	
Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen ^c	A 709 Kelas 36	A 709 Kelas 50	A 709 Kelas 50W	A 709 Kelas HPS 70W	A 709 Kelas 100/100W ^b	
Ketebalan Pelat	Sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm ^e	Sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampai dengan/ sama dengan 63,5 mm	Di atas 63,5 mm sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm
Bentuk	Semua Grup ^e	Semua Grup	Semua Grup	Tidak berlaku	Tidak berlaku	Tidak berlaku
Kuat Tarik Minimum, F_u dalam MPa	399,89	448,16	482,63	620,53	758,42	689,47
Kuat Leleh Minimum, F_y dalam MPa	248,21	344,74	344,74	482,63	689,47	620,53

CATATAN 1 Kecuali kekenyalan takik wajib dan persyaratan-persyaratan kemudah-lasan, tujuan-tujuan ASTM adalah serupa dengan tujuan-tujuan ASSHTO. Baja-baja yang memenuhi persyaratan-persyaratan ASSHTO bersifat prakualifikasi untuk digunakan dalam jembatan-jembatan yang dilas.

CATATAN 2 Bentuk baja struktural panduan yang di-quen dan di-temper dan pemipaan yang secara mekanis tanpa klem memenuhi semua persyaratan-persyaratan mekanika dan kimia dari A

709 Grades 100/100W, kecuali bahwa kuat tarik maksimum yang ditetapkan mungkin dapat bernilai 965.26 MPa untuk bentuk-bentuk struktural dan 999.74 MPa untuk pemipaan yang secara mekanis tanpa klem, harus dipertimbangkan sebagai A 709 Grades 100/100W.

CATATAN 3 Penandaan oleh AASHTO:

- a. AASHTO M270 Grade 36 dan ASTM A 709 Grade 36 masing-masing ekuivalen dengan AASHTO M 138 dan ASTM A 36.
- b. AASHTO M 270 Grade 50 dan ASTM A 709 Grade 50 masing-masing ekuivalen dengan AASHTO M 223 Grade 50 dan A 572 Grade 50
- c. AASHTO M 270 Grade 50 W dan ASTM A 709 Grade 50 W masing-masing ekuivalen dengan AASHTO M 222 dan A 588.
- d. AASHTO M 270 Grade 70 W dan ASTM A 709 Grade 70 W ekuivalen dengan ASTM A 852.
- e. AASHTO M 270 Grades 100/100W dan ASTM A 709 Grades 100/100W masing-masing ekuivalen dengan AASHTO M 244 dan ASTM A 514.
- f. ASTM A 709, Grade HPS 70W menggantikan AASHTO M 270, Grade 70W.

3.2.2 Baut

Baut yang dimaksud dapat berupa baut baja karbon yang memenuhi spesifikasi (ASTM A 307); atau baut kekuatan tinggi yang memenuhi spesifikasi AASHTO M 164 (ASTM A 325) atau yang memenuhi spesifikasi AASHTO M 253 (ASTM A 490) atau baut yang sesuai dengan ASTM A354 dan ASTM A449. Baut-baut struktural harus menyesuaikan dengan bahan yang ditunjuk di Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Sifat-sifat bahan minimum baut

Tipe	Penandaan ASTM	Ketersediaan			Kuat	
		Tipe Bahan*	Kelas	Diameter dalam mm	Leleh Minimum, F_y dalam MPa	Tarik Minimum, F_u dalam MPa
Bahan Baut berkepala atau Bahan Batang tanpa kepala	A 354	A, QT	BD	6,35 sampai dengan 63,5	896,317	1 034,21
				di atas 63,5 sampai dengan 101,6	792,896	965,264
			BC	6,35 sampai dengan 63,5	751,527	861,843
				di atas 63,5 sampai dengan 101,6	682,58	792,896
	A 449	C, QT	-	6,35 sampai dengan 25,4	634,317	827,369
				28,57 sampai dengan 38,1	558,474	723,948
				44,45 sampai dengan 76,2	399,895	620,527
(hanya) Bahan baut yang berkepala	A 307	C	A,B	sampai dengan 101,6	tidak berlaku	413,685
	A 325	C, QT	-	12,7 sampai dengan 25,4	634,317	827,369
				28,57 sampai dengan 38,1	558,474	723,948
	A 490	A, QT	-	12,7 sampai dengan 38,1	896,317	723,948

CATATAN 1 A adalah Baja Paduan

CATATAN 2 C adalah Baja Karbon

CATATAN 3 HSLA adalah Baja Paduan Rendah dengan Kekuatan Tinggi *High-Strength Low-Alloy Steel*.

CATATAN 4 QT adalah Baja yang di-quen dan di-temper *Quenched and Tempered Steel*.

3.3 Persyaratan Pengelasan dan Baut

3.3.1 Pengelasan

Baut yang dimaksud dapat berupa baut baja karbon yang memenuhi spesifikasi (ASTM A 307); atau baut kekuatan tinggi yang memenuhi spesifikasi AASHTO M 164 (ASTM A 325) atau yang memenuhi spesifikasi AASHTO M 253 (ASTM A 490) atau baut yang sesuai dengan ASTM A354

dan ASTM A449. Baut-baut struktural harus menyesuaikan dengan bahan yang ditunjuk di Tabel 3.2.

a. Umum

Logam dasar baja untuk dilas, loga, las, dan detail perencanaan teknis las harus memenuhi persyaratan dari ANSI/AASHTO/AWS D1.5 Bridge Welding Code. Simbol las harus memenuhi edisi terakhir dari American Welding Society Publication AWS A.2.4. Untuk bagian kritis secara fraktur lihat AASHTO "Guide Specifications for Fracture Critical Non-Redundant Steel Bridge Members".

b. Ukuran efektif dari las sudut

- Ukuran maksimum suatu las sudut yang dapat diasumsikan di dalam perencanaan teknis suatu hubungan harus seperti tegangan di dalam bahan dasar yang bersebelahan yang tidak dapat melebihi nilai-nilai yang diizinkan pada Pasal 10. Ukuran maksimum yang dapat digunakan sepanjang tepi dari bagian yang dihubungkan harus:
 - Sepanjang tepi dari bahan dengan ketebalan kurang dari 6,35 mm tebalnya, ukuran maksimum dapat sebanding dengan ketebalan bahan.
 - Sepanjang tepi dari bahan dengan ketebalan 6,35 mm atau lebih, ukuran maksimum harus 5 mm kurang dari ketebalan dari bahan, kecuali jika las itu terutama ditunjukkan pada gambar untuk diperluas untuk memperoleh tebal leher penuh.
- Ukuran minimum dari las sudut

Ukuran las sudut minimum harus seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3. Ukuran minimum las sudut

Ketebalan Logam Dasar dari Bagian yang Dihubungkan Paling Tipis (T)		Ukuran Minimum untuk Las Sudut*	
dalam inci	dalam mm	dalam inci	dalam mm
$T \leq \frac{3}{4}$	$T \leq 19,0$	1/4	6
$T > \frac{3}{4}$	$T > 19,0$	5/16	8

CATATAN 1 Kecuali itu ukuran las tidak perlu melebihi ketebalan yang lebih tipis dari bagian yang dihubungkan. Untuk pengecualian seperti yang disebutkan di atas, pertimbangan tertentu harus diambil untuk menyediakan pemanasan pendahuluan untuk memastikan kekerasan las.

CATATAN 2 Las sudut yang lebih kecil dapat disetujui oleh perencana berdasar pada tegangan yang diterapkan dan pemakaian dari pemanasan pendahuluan yang sesuai.

c. Panjang efektif minimum dari las sudut

Panjang efektif minimum suatu las sudut harus empat kali ukuran tebal las dan sama sekali tidak boleh kurang dari 38,1 mm.

- Penyesuaian bentuk las sudut

Las sudut yang mendukung suatu gaya tarik yang tidak paralel terhadap sumbu dari las atau bagian yang disesuaikan untuk menahan tegangan berulang, tidak boleh berakhir pada sudut bagian tetapi harus mengitari bentuk sudut dengan suatu panjang yang sebanding dengan dua kali ukuran las di mana hasil seperti itu dapat dibuat pada bidang yang sama. Bentuk penyesuaian ini (*end return*) harus ditunjukkan pada gambar perncanaan teknis dan gambar detail.

3.3.2 Baut

a. Umum

Di dalam menghitung kekuatan untuk geser dan tarik baut, luas penampang berdasarkan diameter nominal harus digunakan. Galvanisasi batu kekuatan tinggi AASHTO M253 (ASTM A490) dan A354 Grade BD tidak diizinkan akibat masalah penggetasan hidrogen. Baut ini harus secara hati-hati dievaluasi sebelum digunakan. Persyaratan untuk baut-batu di dalam spesifikasi ini harus hati-hati digunakan untuk batang ulir, stud ulir dan batang angker, ketika dapat diterapkan.

Baut kekuatan tinggi dapat digantikan baut ASTM A307. Ketika baut kekuatan tinggi AASHTO M 164 (ASTM A325) digantikan untuk baut ASTM A307 baut tersebut harus dikencang tangan.

Semua baut-baut, kecuali baut kekuatan tinggi yang dikencangkan sampai memenuhi persyaratan, harus mempunyai mur tunggal yang dapat mengunci sendiri, mur ganda, atau suatu mur dengan suatu sistem baut dan ulir (adesif anaerob) untuk mencegah kehilangan mur. Sistem baut dan ulir adalah metode yang lebih dipilih untuk diameter baut satu inchi nya atau kurang. Sistem baut dan ulir tidak boleh digunakan untuk diameter baut lebih besar dari satu inchi. Ketika menggunakan metode mur ganda suatu nilai torsi untuk mur tipis heksagonal, relatif terhadap mur utama, harus ditunjukkan dalam rencana untuk menyakinkan bahwa suatu usaha yang layak akan dibuat untuk mengunci kedua baut secara bersama-sama.

Sambungan yang diperlukan untuk menahan geser antara bagian yang dihubungkannya, dapat berupa hubungan tipe friksi atau tipe tumpu. Sambungan tipe friksi diperlukan untuk sambungan yang dikenakan pembalikan nilai tegangan, beban tumbukan tinggi, getaran atau di mana tegangan dan regangan akibat friksi sambungan merugikan kinerja layan struktur. Sambungan itu termasuk:

- Sambungan yang terkena beban fatik.

- Sambungan dengan baut yang dipasang di lubang yang diperbesar.
- Sambungan dengan baut yang dipasang pada lubang *slotted* di mana gaya pada sambungan adalah di dalam arah selain dari normal (yaitu dalam arah sekitar 80 dan 100 derajat) ke sumbu dari slot.
- Sambungan yang dikenakan pembalikan nilai beban yang signifikan.
- Sambungan dengan las dan baut berbagi dalam penyaluran beban pada permukaan yang terhubung secara umum.
- Sambungan dengan pertimbangan perencana, semua friksi akan menjadi kritis terhadap kinerja dari sambungan atau struktur dan sehingga ditunjuk pada rencana kontrak dan spesifikasi.

Hubungan baut kekuatan tinggi yang dikenakan tarik, atau kombinasi geser dan tarik harus dirancang seperti hubungan tipe friksi. Hubungan tipe tumpu yang menggunakan baut kekuatan tinggi harus dibatasi pada bagian yang tertekan dan bagian sekunder.

Daerah tumpuan efektif dari suatu baut harus merupakan diameternya dikalikan dengan ketebalan dari logam tempat tertumpu. Pada logam dengan ketebalan kurang dari 9,525 mm, baut *countersunk* tidak boleh diasumsikan untuk memikul tegangan. Pada logam dengan ketebalan 9,525 mm dan di atasnya, satu setengah kedalaman *countersink* harus diabaikan dalam menghitung daerah tumpuan.

Di dalam menentukan apakah ulir baut dikeluarkan dari bidang geser dari permukaan kontak, panjangnya ulir dari baut haruslah dihitung sebagai dua jarak ulir lebih besar dari panjang ulir yang ditetapkan sebagai kelonggaran untuk kehabisan ulir. Di dalam hubungan tipe tumpu, geser yang mengungki di dalam suatu pelat harus diselidiki antara ujung pelat dan akhir baris dari baut.

Tabel 3.4. Dimensi lubang nominal

Diameter Baut dalam mm (d)	Dimensi Lubang dalam mm			
	(Diameter) Standar	(Diameter) yang diperbesar	Slot Pendek	Slot Panjang
			(Lebar x Panjang)	(Lebar x Panjang)
15,87	17,46	20,63	17,46 x 22,22	17,46 x 39,68
19,05	20,63	23,81	20,63 x 25,4	20,63 x 47,62
22,22	23,81	26,98	23,81 x 28,57	23,81 x 55,56
25,40	26,98	31,75	26,98 x 31,75	26,98 x 63,50
28,575	$d + 1,58$	$d + 33,33$	$(d + 1,58) \times (d + 9,52)$	$(d + 1,58) \times (63,50 \times d)$

b. Tipe lubang

Tipe lubang untuk sambungan baut kekuatan tinggi adalah lubang-lubang standar, lubang-lubang yang diperbesar, lubang *slotted* pendek dan lubang *slotted* panjang. Dimensi nominal untuk tiap tipe lubang tidak boleh lebih besar dari yang ditunjukkan di Tabel 3.4.

Di dalam ketidakhadiran persetujuan oleh perencana untuk penggunaan dari tipe lubang yang lain, lubang standar harus digunakan di dalam hubungan dengan baut kekuatan tinggi. Ketika disetujui oleh perencana, ukuran yang diperbesar, lubang *slotted* pendek dan lubang *slotted* panjang dapat digunakan berkenaan dengan persyaratan detail sambungan berikut.

c. Persyaratan ring baut

Detail perencanaan teknis harus menyediakan untuk ring baut di dalam hubungan yang menggunakan baut kekuatan tinggi sebagaimana berikut:

Di mana muka terluar dari bagian yang dibaut mempunyai kemiringan lebih besar dari 1:20 berkenaan dengan suatu bidang normal ke sumbu baut, suatu ring baut *beveled* yang diperkeras harus digunakan untuk menggantikan kekuarangan dari kesejajaran. Ring baut *beveled* yang

diperkeras selain dari standar kemiringan 1:6 harus dibuat detail di dalam rencana.

Ring baut yang diperkeras tidak diperlukan untuk hubungan yang menggunakan baut AASHTO M164 (ASTM A325) dan baut AASHTO M253 (ASTM A490). Ring baut yang diperkeras harus digunakan di bawah elemen yang diputar dalam pengencangan dan untuk menutup lubang *slotted* pendek di dalam lapisan yang terluar.

Terlepas dari metode pengencangan, ring baut yang diperkeras harus digunakan di bawah baik kepala dan mur baut ketika baut AASHTO M253 (ASTM A490) adalah untuk dipasang di dalam bahan yang mempunyai suatu kuat leleh yang ditetapkan kurang dari 275,79 MPa.

Di mana baut ASSHTO M 164 (ASTM A 325) dari semua diameter atau baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) sebanding dengan atau kurang dari 25,4 mm di dalam diameter adalah untuk dipasang dalam satu lubang yang diperbesar atau lubang *slotted* pendek dalam satu lapisan yang luar, suatu ring baut yang diperkeras sesuai dengan ASTM F 436 harus digunakan.

Di mana baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) dengan diameter di atas 25,4 mm adalah untuk dipasang dalam satu lubang yang diperbesar atau lubang *slotted* pendek dalam satu lapisan terluar, ring baut yang diperkeras yang memenuhi ASTM F 436 kecuali dengan ketebalan minimum 7,94 mm harus digunakan di bawah baik kepala dan mur sebagai pengganti dari ketebalan dikombinasikan sebanding dengan atau lebih besar dari 7,94 mm tidak mencukupi persyaratan ini.

Dimana baut untuk semua diameter AASHTO M 164 (ASTM A 325) atau baut ASSHTO M 253 (ASTM A 490) sebanding dengan atau kurang dari 25,4 mm di dalam diameter adalah untuk dipasang pada lubang *slotted* panjang di dalam lapisan terluar, suatu alat ring baut pelat atau batang menerus dengan ketebalan sedikitnya 7,94 mm dengan lubang standar harus disediakan. Ring baut ini atau batang harus mempunyai suatu ukuran yang cukup untuk dengan sepenuhnya menutup slot setelah pemasangan

dan harus dari bahan kelas struktural tetapi tidak perlu dikeraskan kecuali seperti berikut ini. Ketika baut M ASSHTO 253 (ASTM A 490) dengan diameter di atas 25,4 mm adalah untuk digunakan di dalam lubang *slotted* sepanjang di dalam lapisan eksternal, suatu ring baut tunggal yang dikeras memenuhi ASTM F 436 hanya dengan ketebalan minimum 7,94 mm harus digunakan sebagai pengganti ring baut atau barang dari bahan kelas struktural. Beberapa ring baut yang dikeraskan dengan ketebalan yang dikombinasikan sebanding dengan atau lebih besar dari 7,94 mm tidak mencukupi persyaratan ini.

d. Ukuran dari baut kekuatan tinggi

Baut harus mempunyai ukuran seperti yang diperlihatkan dalam gambar, tetapi secara umum harus berdiameter 19,05 mm atau 22,22 mm. Baut dengan diameter 15,87 mm tidak boleh digunakan dalam bagian yang memikul beban perencanaan teknis kecuali pada kaki siku 63,5 mm dan di dalam flens dari penampang.

Diameter baut pada siku yang memikul beban perencanaan teknis tidak boleh melebihi satu-seperempat lebar dari kaki siku yang mana siku tersebut ditempatkan.

Pada siku dengan ukuran yang ditentukan dari beban perencanaan teknis, baut 15,875 mm mungkin digunakan pada siku 50,8 mm, baut 19,05 mm pada siku 63 mm, baut 22,22 mm pada siku 76,2 mm, dan baut 25,4 mm pada siku 88,9 mm.

Bentuk struktural yang tidak memuat baut dengan diameter 15,87 mm tidak boleh digunakan kecuali untuk sandaran jembatan.

e. Spasi dari baut

1) Jarak melintang dan jarak vertikal dari baut

Jarak melintang dari baut adalah jarak sepanjang garis tegangan utama, antar-pusat baut yang berdekatan, diukur sepanjang satu atau lebih garis baut. Jarak vertikal dari baut adalah jarak dari garis

baut atau jarak dari bagian belakang dari sudut atau bentuk lain ke garis pertama dari baut.

2) Spasi minimum dari baut

Jarak minimum antar-pusat baut dalam lubang standar harus tiga kali diameter pengencang tetapi, lebih dipilih, tidak kurang dari yang ada di Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5. Spasi minimum dari baut

Diameter Baut dalam (mm)	Spasi Minimum dalam (mm)
25,4	88,9
22,22	76,2
19,05	63,5
15,87	57,15

3) Jarak bersih minimum antar-lubang

Ketika lubang yang diperbesar atau lubang *slotted*, jarak bersih minimum antara tepi dari lubang yang berdekatan di dalam arah gaya transversal dengan arah gaya itu tidak boleh kurang dari kali lebih diameter baut.

4) Spasi maksimum dari baut

Spasi maksimum dari baut harus sesuai dengan ketentuan.

f. Jarak tepi dari baut

Jarak dari pusat pengencangan manapun di dalam lubang standar ke tepi bagian yang terhubung tidak boleh kurang dari nilai yang dapat diterapkan pada Tabel 3.6. Jarak maksimum dari pusat pengencangan manapun ke semua tepi harus delapan kali ketebalan dari ketebalan pelat terluar yang paling tipis, tetapi tidak boleh melampaui 127 mm.

Jika terdapat hanya baut transversal tunggal dalam arah dari garis gaya pada lubang standar atau lubang *slotted* pendek, jarak dari pusat lubang ke bagian tepi dari bagian yang dihubungkan tidak boleh kurang dari $1\frac{1}{2}$ kali diameter baut kecuali diperhitungkan untuk ketentuan perletakan dari Tabel 3.13. Jika lubang yang diperbesar atau lubang *slotted* digunakan, jarak antara tepi lubang dan tepi bagian tidak boleh kurang dari diameter baut.

Tabel 3.6. Jarak tepi minimum dari pusat lubang standar ke tepi dari bagian yang dihubungkan

Diameter Baut (mm.)	Pada Ujung Pemotongan atau Pemotongan dengan Panas (mm.)	Pada Ujung yang Hasil Proses Penggulungan atau Hasil Proses Perataan Permukaan (mm.)	Pada Ujung Flens dari Balok dan Profil C (mm.)
25,40	44,45	38,10	31,75
15,87	38,10	31,75	28,57
19,05	31,75	28,57	25,40
22,22	28,57	25,40	22,22

3.4 Preliminary Design

3.4.1 Ketebalan minimum pelat baja

Pelat lantai, pelat pengaku pada pelat ortotropik tidak boleh mempunyai ketebalan kurang dari 8,0 mm. Badan pelat pengaku tegak tidak boleh mempunyai ketebalan kurang dari 7,0 mm. Jika lingkungan diperkirakan merupakan lingkungan yang sangat korosif, proteksi korosi metode anoda korban harus digunakan. Ketebalan minimum dari pelat lantai dapat ditentukan oleh defleksi yang diizinkan akibat beban roda, yang tidak boleh melebihi $1/3000$ jarak antara gegalar melintang. Berdasarkan kriteria ini, ketebalan pelat mungkin ditentukan oleh formula kloeppel seperti persamaan (1):

$$t_p \geq (0,04a)(\sqrt[3]{p}) \quad (1)$$

dengan,

- a adalah spasi pengaku terbuka atau spasi maksimum dari dinding pengaku tertutup dalam mm
- p adalah beban roda dalam satuan tekanan (MPa)
- t_p adalah ketebalan pelat dalam mm

1) Ketebalan dari elemen pelat

Elemen pelat yang terdiri dari pengaku longitudinal, dan elemen pelat lantai antar-bagian tegak dari pengaku ini harus memenuhi persyaratan-persyaratan ketebalan yang minimum dari nilai yang terdapat pada Tabel 3.7. Kuantitas tegangan tekan aksial yang diperhitungkan dapat diambil sebesar 75 persen dari jumlah tegangan tekan yang diakibatkan oleh (1) lenturan pengaku dan (2) lenturan gelagar, tetapi tidak kurang dari tegangan tekan karena dua modus lenturan individu tersebut.

Tabel 3.7. Rasio lebar-ketebalan terbatas untuk elemen bagian

Penjelasan komponen	Batas (b/t)	Ketika $f_a = 63,86$ F_y	
		F_y dalam MPa	Batas (b/t)
Pelat yang disokong pada satu sisi, kaki yang menonjol dari profil siku dan pelat yang berlubang- untuk pelat yang menonjol, kaki yang menonjol dari profil siku, dan pelat berlubang pada pelubangannya	$\frac{134,9}{\sqrt{f_a}} \leq 12$ untuk bagian utama	248,21	12
		344,74	11
		482,63	9
		620,53	8
	$\frac{134,9}{\sqrt{f_a}} \leq 16$ untuk bagian sekunder	689,47	7,5
Pelat yang disokong pada kedua ujungnya atau badan dari segmen komponen utama – untuk bagian dari bentuk boks yang terdiri dari pelat utama, bagian yang dilol, atau segmen komponen yang disatukan dengan pelat penguat	$\frac{332,1}{\sqrt{f_a}} \leq 45$	248,21	32
		344,74	27
		482,63	23
		620,53	20
		689,47	19
Pelat penguat yang disokong pada kedua ujungnya atau badan yang menghubungkan segmen atau bagian utama – untuk bagian dari bentuk H atau boks yang terdiri dari pelat penguat utuh atau badan utuh yang menghubungkan pelat atau segmen utama	$\frac{415,2}{\sqrt{f_a}} \leq 50$	248,21	40
		344,74	34
		482,63	28
		620,53	25
		689,47	24

Penjelasan komponen	Batas (b/t)	Ketika $f_a = 63,86$ F_y	
		F_y dalam MPa	Batas (b/t)
Pelat penguat yang berlubang disokong di kedua ujungnya untuk bagian dari bentuk boks yang terdiri dari pelat penguat yang berlubang yang menghubungkan pelat atau bagian utama, pelat penguat yang berlubang yang disokong pada satu sisi	$\frac{498,2}{\sqrt{f_a}} \leq 55$	248,21	48
		344,74	41
		482,63	34
		620,53	30
		689,47	29

- CATATAN 1 b adalah jarak antara titik-titik perletakan dalam mm.
- CATATAN 2 f_a adalah tegangan tekan yang diperhitungkan pada komponen yang dipertimbangkan dalam MPa.
- CATATAN 3 F_y adalah kuat leleh minimum yang ditetapkan dari komponen yang dipertimbangkan dalam MPa.
- CATATAN 4 t adalah ketebalan pelat komponen dalam mm.

2) Kelangsingan maksimum dari pengaku longitudinal

Kelangsingan, L/r , dari pengaku longitudinal tidak boleh melebihi nilai yang diberi oleh persamaan (2) kecuali jika itu dapat ditunjukkan oleh suatu analisis yang terperinci bahwa tekuk secara menyeluruh dari lantai tidak akan muncul sebagai tegangan tekan yang ditimbulkan oleh lenturan gelagar:

$$\left(\frac{L}{r}\right)_{max} = 83 \sqrt{\frac{1500}{F_y} - \frac{2700F}{F_y^2}} \quad (2)$$

dengan,

L adalah jarak antara balok transversal dalam mm

r adalah jari-jari girasi sekitar sumbu centroidal horizontal dari pengaku yang termasuk satu lebar efektif dari pelat lantai dalam mm

F adalah tegangan tekan maksimum pada pelat lantai sebagai hasil lantai yang berindak sebagai flens atas dari gelagar; tegangan ini harus diambil nilai positif dalam MPa

F_y adalah tegangan leleh minimum yang ditetapkan untuk bahan pengaku dalam MPa

Ketebalan minimum dari pengaku tertutup tidak boleh kurang dari 4,75 mm.

Pengujian fatik menyimpulkan bahwa tegangan lentur tegak lurus bidang lokal di dalam bagian badan pengaku pada hubungan dengan pelat lantai harus diminimalkan. Hal tersebut dilakukan untuk membatasi tegangan pada bagian badan pengaku yang disebabkan oleh rotasi hubungan pelat pengaku-lantai dengan membuat bagian badan pengaku relatif langsing. Untuk mencapai hal tersebut AASHTO-LRFD menetapkan bahwa dimensi penampang dari lantai baja ortotropik harus memenuhi persamaan (3) berikut ini.

$$\frac{t_f a^3}{t_{d,eff}^3 h'} \leq 400 \quad (3)$$

dengan,

t_f adalah ketebalan bagian badan pengaku (mm)

$t_{d,eff}$ adalah ketebalan efektif dari pelat lantai dengan mempertimbangkan efek kekakuan dari lapisan aus (mm)

a adalah spasi yang terbesar antara bagian badan pengaku (mm)

3.4.2 Pembebanan berulang dan perimbangan kekerasan

a. Jangkauan tegangan fatik yang diizinkan

Bagian dan baut yang dikenakan variasi tegangan yang berulang atau pembalikan nilai tegangan harus dirancang sehingga tegangan maksimum tidak melebihi tegangan izin dasar pada Subpasal 3.4.3, sehingga jangkauan tegangan nyata tidak melebihi tegangan fatik yang diizinkan yang disampaikan pada Tabel 3.8. Untuk tipe dan lokasi yang sesuai disampaikan pada

Tabel 3.9.

Untuk baja *weathering* yang tidak dicat, A 709, semua tingkat, nilai dari jangkauan tegangan fatik yang dapat diizinkan, Tabel 3.8, seperti yang dimodifikasi pada CATATAN kaki : d, bersifat valid hanya ketika

perencanaan teknis dan detail sesuai dengan FHWA *Technical Advisory on Uncoated Weathering Steel in Structures*, tanggal 3 Oktober 1989.

Tabel 3.8. Jangkauan tegangan fatik yang diizinkan

Kategori (lihat ilustrasi pada Gambar 1)	Struktur dengan penyaluran beban yang redundan*			
	Jangkauan tegangan yang diizinkan, F_w dalam MPa ^a			
	Untuk 100 000 Siklus	Untuk 500 000 Siklus	Untuk 2 000 000 Siklus	Untuk di atas 2 000 000 Siklus
A	434,36 337,84 ^d	255,10 199,94 ^d	165,47 124,10 ^d	165,47 110,31 ^d
B	337,84	199,94	124,10	110,31
B'	268,89	158,57	99,97	82,73
C	244,76	144,79	89,63	68,94 82,73 ^b
D	193,05	110,31	68,94	48,26
E	151,68	89,631	55,15	31,02
E'	110,31	63,431	39,98	17,92
F	103,42	82,73	62,05	55,15

Kategori (lihat ilustrasi pada Gambar 1)	Struktur dengan penyaluran beban yang tidak redundan Jangkauan Tegangan yang Diizinkan, F_{cr} dalam MPa ^a			
	Untuk 100 000 Siklus	Untuk 500 000 Siklus	Untuk 2 000 000 Siklus	Untuk di atas 2 000 000 Siklus
A	344,73	199,94	165,47	158,57 ^d
	268,89 ^d	158,57 ^d	110,31 ^d	110,31 ^d
B	268,89	158,57	110,31	110,31
B'	213,73	124,10	75,84	75,84
C	193,05	110,31	68,94	62,05
			82,73 ^b	75,84 ^b
D	151,68	89,63	55,15	34,47
E ^c	117,21	68,94	41,36	15,85
E'	82,736	48,26	27,57	8,96
F	82,736	62,05	48,26	41,36

CATATAN 1 * Tipe struktur dengan lintasan-lintasan dengan banyak beban di mana fraktur tunggal dalam suatu bagian tidak menjurus pada suatu keruntuhan. sebagai contoh, suatu jembatan multi-gelagar bentang tunggal atau suatu bagian rangka dengan banyak eye bar.


CATATAN 2 Suatu jangkauan tegangan didefinisikan sebagai perbedaan aljabar antara tegangan maksimum dan tegangan minimum. Tegangan tarik memiliki tanda kebalikan secara aljabar dengan tegangan tekan.

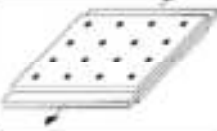

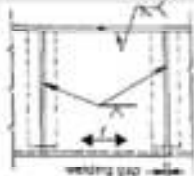
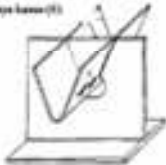
CATATAN 3 Untuk las pengaku transversal pada bagian badan atau flens gelagar.

CATATAN 4 Pelat penutup yang dilas dengan panjang tertentu tidak boleh digunakan pada flens yang mempunyai ketebalan lebih dari 0,8 inchi untuk struktur dengan lintasan beban non redundan.


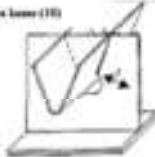
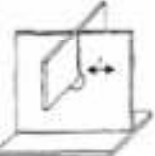
CATATAN 5 Untuk baja *weathering* yang tidak dicat, A 709, semua kelas, ketika digunakan sesuai dengan FHWA *Technical Advisory on Uncoated Weathering Steel in Structures*, tertanggal Oktober 3, 1989.

Tabel 3.9. klasifikasi fatik tipikal untuk pelat ortotropik baja

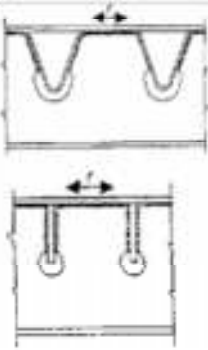
Contoh ilustrasi	Detail	Gambaran kondisi	Kategori detail
	Sambungan pelat lantai transversal atau longitudinal atau sambungan pengaku	(1) Ceramic backing bar. Weld ground flush yang paralel terhadap arah tegangan	B
	Las ujung	(2) Ceramic backing bar	C

Contoh ilustrasi	Detail	Gambaran kondisi	Kategori detail
	dengan alur tunggal	(3) Batang pendukung permanen. Las ujung dukungan batang harus menerus jika di luar alur atau mungkin terputus-putus jika di dalam alur.	D
	Sambungan pelat lantai atau pengaku yang dibuat	(4) Dalam sambungan yang tidak simetris, pengaruh dari eksentrisitas harus dipertimbangkan dalam memperhitungkan tegangan.	B
	Sambungan pelat lantai atau pengaku Las alur ganda	(5) Pelat dari penampang yang serupa dengan Las-an dengan dasar rata Weld run-off tabs harus digunakan dan setelah itu dihilangkan, ujung pelat untuk diratakan dasarnya dalam arah tegangan.	B
		(6) Kedegangan dari ke-convex-an tidak boleh melebihi 20% atau lebar las. Run-off tabs sebagaimana untuk kasus (5).	C
 Celah untuk pengelasan	Sambungan lapangan "jendela" pengaku yang dilas Las ujung dengan alur tunggal	(7) Dukungan Batang permanen untuk sambungan pengaku Celah pengelasan > ketebalan dinding pengaku f = jangkauan tegangan aksial pada bagian bawah pengaku	D
 Rangsang laser (8)	Dinding pengaku pada perpotongan pengaku/ gelagar melintang Las sudut antara pengaku dan bagian badan gelagar	(8) Pengaku tertutup dengan diafragma internal di dalam pengaku atau pengaku terbuka f = jangkauan tegangan aksial pada dinding pengaku pada bagian bawah akhir dari las pengaku/gelagar melintang	C

Tabel 3.9. klasifikasi fatik tipikal untuk pelat ortotropik baja (Lanjutan)

Contoh ilustrasi	Detail	Gambaran kondisi	Kategori detail
	melintang	<p>(9) Pengaku tertutup, tanpa diafragma internal di dalam pengaku</p> $f = f_k + f_k$ <p>f_k = jangkauan tegangan aksial di dalam dinding pengaku</p> <p>f_k = jangkauan tegangan lentur lokal di dalam dinding pengaku akibat lentur tegak lurus bidang yang disebabkan oleh perpotongan pengaku-gelagar melintang, yang diperoleh dari analisis rasional</p>	C
<p>terbuka (10)</p>  	<p>Bagian badan gelagar melintang pada perpotongan pengaku/gelagar melintang</p> <p>Las sudut antara pengaku dan bagian badan gelagar melintang dan antara pengaku dan diafragma internal</p>	<p>(10) Dengan diafragma internal di dalam pengaku tertutup, atau pengaku terbuka</p> <p>$f =$ komponen jangkauan tegangan aksial di dalam bagian badan gelagar melintang tegak lurus terhadap pengelasan = $f_1 + f_2$</p> <p>f_1 = jangkauan tegangan aksial pada bagian badan</p> <p>f_2 = jangkauan tegangan lentur akibat lentur tegak lurus bidang yang disebabkan oleh rotasi pengaku pada tumpuan</p> <p>f_1 dan f_2 untuk diperoleh dari sebuah analisis rasional</p> <p>(11) Tanpa diafragma internal di dalam pengaku tertutup</p> $f = f_k + f_k$ <p>f_1 = jangkauan tegangan interaksi antara "gigi" dari bagian badan gelagar melintang dan dinding</p>	<p>Lebih kecil dari C atau persamaan</p> <p>C</p>

Tabel 3.9. klasifikasi fatik tipikal untuk pelat ortotropik baja (Lanjutan)

Contoh ilustrasi	Detail	Gambaran kondisi	Kategori detail
		<p>pengaku yang diperoleh dari analisis rasional</p> <p>f_y sebagaimana yang diperoleh oleh kasus (10)</p>	
	<p>Pelat lantai pada hubungan dengan bagian badan gelagar melintang</p>	<p>(12) $f =$ jangkauan tegangan aksial pada pelat lantai pada las lantai/gelagar melintang</p>	E

Komponen yang memikul beban utama yang dikenakan gaya tarik yang mungkin dianggap sebagai bagian lintasan beban non-redundan harus dirancang untuk jangkauan tegangan izin yang ditunjukkan pada

Tabel 3.9 untuk Struktur Lintasan Beban Non-redundan. Contoh-contoh dari bagian degnan lintasan beban non-redundan adalah pelat flens dan bafan pada satu atau dua jembatan gelagar, bagian rangka satu elemen utama, pelat penggantung, dan penutu dari kolom tunggal dan

ganda. Lihat ASSHTO "*Guide Specifications for Fracture Critical Non-Redundant Steel Bridge Members*".

b. Siklus beban

Banyaknya siklus dari daerah tegangan maksimum yang untuk diperimbangkan di dalam perencanaan teknis harus dipilih dari Tabel 3.10 kecuali jika lalu lintas dan survei *loadmeter* atau perimbangan-pertimbangan lain mengindikasikan cara lainnya. Untuk struktur baru dan pelebarannya, jumlah siklus tegangan harus didasarkan pada kasus I. Jangkauan tegangan fatik yang diizinkan harus diaplikasikan untuk Pembebanan Grup yang bersangkutan yang memasukkan beban hidup atau beban angin. Jumlah siklus dari jangkauan tegangan, dipertimbangkan untuk beban angin dalam kombinasi dengan beban mati, kecuali untuk struktur dimana pertimbangan lainnya mengindikasikan jumlah siklus yang berbeda secara substansi, harus sebesar 100 000 siklus.

Tabel 3.10. Siklus tegangan yang harus dipertimbangkan untuk perencanaan teknis

Bagian yang Memikul Beban Utama dalam Arah Memanjang			
Tipe Jalan	Kasus	ADTT*	Pembebanan Truk
Jalan bebas hambatan, Jalan utama, Jalan raya	I	2 500 atau lebih	2 000 000 ² 500 000
Jalan bebas hambatan, Jalan utama, Jalan kecil	II	Lebih kecil dari 2 500	500 000
Jalan raya, dan jalan kecil yang tidak termasuk Kasus I atau Kasus II	III	—	100 000

Bagian dalam Arah Melintang dan Bagian kecil yang Terkena Beban Roda			
Tipe Jalan	Kasus	ADTT*	Pembebanan Truk
Jalan bebas hambatan, Jalan utama, Jalan raya	I	2 500 atau lebih	Di atas 2 000 000
Jalan bebas hambatan, Jalan utama, Jalan kecil	II	Lebih kecil dari 2 500	Di atas 2 000 000
Jalan raya, dan jalan kecil yang tidak termasuk Kasus I atau Kasus II	III	—	2 000 000

CATATAN 1 Lalu lintas truk harian rata-rata (dalam satu arah)

3.4.3 Tegangan yang diizinkan

Perencanaan teknis tegangan izin adalah suatu metode untuk menyesuaikan anggota struktural yang digunakan beban dan gaya perencanaan teknis, tegangan yang diizinkan, dan pembatasan-pembatasan perencanaan teknis untuk bahan yang sesuai di bawah kondisi layan,

a. Baja

Tegangan yang diizinkan untuk elemen baja struktur harus sesuai dengan yang terdapat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11. Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (dalam MPa)

Penandaan oleh AASHTO		M 270 Kelas 36	M 270 Kelas 50	M 270 Kelas 50W		M 270 Kelas 100/100W	
Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen		A 709 Kelas 36	A 709 Kelas 50	A 709 Kelas 50W	A 709 Kelas 70W	A 709 Kelas 100/100W	
Ketebalan Pelat		Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 63,5 mm	Di atas 63,5 mm sampai dengan / sama dengan 101,6mm
Bentuk		Semua bentuk			Tidak berlaku		
Gaya tarik aksial dalam bagian dengan tidak ada lubang untuk baut atau paku keling kuat tinggi	$0,55 F_y$	137,89	186,16	186,16	262	Tidak berlaku	
Penggunaan penampang bersih ketika bagian mempunyai lubang apapun dengan diameter yang lebih besar dari 31,75 mm seperti lubang lubang kecil.	$0,48 F_y$	Tidak berlaku				351,63	317,16
Gaya tarik aksial dalam bagian dengan lubang untuk baut atau paku keling kuat tinggi dan gaya tarik pada serat tarik atau gelagar yang dibentuk	Penampang kotor $0,55 F_y$	137,89	186,16	186,16	262	Tidak berlaku	
	Penampang bersih $0,50 F_y$	199,95	224,06	241,32	310,26	Tidak berlaku	

Tabel 3.11. Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (dalam MPa)
(Lanjutan)

Penandaan oleh AASHTO		M 270 Kelas 36	M 270 Kelas 50	M 270 Kelas 50W		M 270 Kelas 100/100W	
Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen		A 709 Kelas 36	A 709 Kelas 50	A 709 Kelas 50W	A 709 Kelas 70W	Kelas 100/100W A 709	
Ketebalan Pelat		Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 63,5 mm	Di atas 63,5 mm sampai dengan / sama dengan 101,6mm
dengan di-rol, penampang yang dibentuk yang terkena lentur. Memenuhi baik kriteria penampang kotor dan bersih	Penampang bersih $0,46 F_y$	Tidak berlaku				361,63	317,16
Gaya tekan aksial, penampang kotor, pengaku dan gelagar pelat. Gaya tekan pada bahan sambungan, penampang kotor		137,89	186,16	186,16	262	379,21	337,84
Gaya tekan pada serat ekstrem dari bagian yang berbentuk I dan H secara simetris dengan flens kompak menerus yang dihubungkan ke bagian badan dan menekuk dalam	$0,625 F_y$	151,68	213,74	213,74	296,47	427,47	427,47

Penandaan oleh AASHTO		M 270 Kelas 36	M 270 Kelas 50	M 270 Kelas 50W		M 270 Kelas 100/100W	
Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen		A 709 Kelas 36	A 709 Kelas 50	A 709 Kelas 50W	A 709 Kelas 70W	Kelas 100/100W A 709	
Ketebalan Pelat		Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 63,5 mm	Di atas 63,5 mm sampai dengan / sama dengan 101,6mm
sumbu lemahnya (kecuali bagian dengan kuat leleh lebih besar dari 448,16 MPa); batang bulat dan kotak yang padat; dan pampang kotak padat yang tertekuk dalam sumbu lemahnya.							
Gaya tekan pada serat ekstrem dari bentuk yang di-rol, gelagar, dan penampang yang dibangun yang dikenai lentur. Penampang kotor, ketika flens tertekan adalah:							
(A) Dalam arah lateral panjang penunnya dengan pembenaman di dalam beton	$0,55 F_y$	137,89	186,16	186,16	262	379,21	337,84
(B) Disokong atau tidak disokong parsial $\alpha > 0$	$F_x = \frac{50 \times 10^6 C_b \left(\frac{I_{pc}}{I} \right) \sqrt{0,723 \frac{I}{I_{pc}} + 9,87 \left(\frac{d}{l} \right)^2}}{S_x} \leq 0,55 F_y$						

Tabel 3.11. Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (dalam MPa)
(Lanjutan)

Penandaan oleh AASHTO		M 270 Kelas 36	M 270 Kelas 50	M 270 Kelas 50W		M 270 Kelas 100/100W	
Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen		A 709 Kelas 36	A 709 Kelas 50	A 709 Kelas 50W	A 709 Kelas 70W	A 709 Kelas 100/100W	
Ketebalan Pelat		Sampel dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampel dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampel dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampel dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampel dengan/ sama dengan 63,5 mm Di atas 63,5 mm sampel dengan / sama dengan 101,6mm	
$C_p = \frac{1,413M_{max}}{0,283M_{max} + 0,339M_s + 0,452M_b + 0,339M_t}$ <p>Keterangan: M_{max} = nilai absolut momen maksimum pada segmen balok yang tidak dikekang dalam newton-meter M_s = nilai absolut momen pada seperempat bentang dari segmen balok yang tidak dikekang dalam newton-meter M_b = nilai absolut momen pada tengah bentang dari segmen balok yang tidak dikekang dalam newton-meter M_t = nilai absolut momen pada tiga seperempat bentang dari segmen balok yang tidak dikekang dalam newton-meter $C_o = 1,0$ untuk kantilever yang tidak dikekang dan untuk bagian dimana momen yang termasuk dalam porsi yang signifikan dari segmen yang tidak dikekang lebih besar dari atau sama dengan yang terbesar dari momen ujung segmen.</p>							
Gaya tekan pada kolom yang dibebani secara konsentris ^c dengan		126,10	107,00	107,00	90,40	75,70	79,80
$C_p = \left(\frac{2\pi^2 E}{F_y} \right)^{0,5}$							
Untuk $KL/r \leq C_p$		$117,67 - \frac{0,0096}{(KL/r)^2}$	$162,57 - \frac{0,0071}{(KL/r)^2}$	$162,57 - \frac{0,0071}{(KL/r)^2}$	$227,66 - \frac{0,0139}{(KL/r)^2}$	$325,23 - \frac{0,0284}{(KL/r)^2}$	$262,68 - \frac{0,0229}{(KL/r)^2}$

Penandaan oleh AASHTO		M 270 Kelas 36	M 270 Kelas 50	M 270 Kelas 50W		M 270 Kelas 100/100W	
Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen		A 709 Kelas 36	A 709 Kelas 50	A 709 Kelas 50W	A 709 Kelas 70W	A 709 Kelas 100/100W	
Ketebalan Pelat		Sampel dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampel dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampel dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampel dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampel dengan/ sama dengan 63,5 mm Di atas 63,5 mm sampel dengan / sama dengan 101,6mm	
$F_x = \frac{F_y}{F.S.} \left[1 - \frac{(KL/r)^2 F_y}{4\pi^2 E} \right]$							
Untuk $KL/r < C_p$ $F_x = \frac{e^2 E}{F.S. (KL/r)^2}$ dengan F.S. = 2,12				$\frac{930.797,33}{(KL/r)^2}$			
Geser pada badan gelagar, penampang kotor	$F_y = 0,33 F_y$	82,74	117,21	117,21	158,58	227,53	206,84
Tumpuan pada pengaku dan bagian baja lainnya dalam kontak (tidak termasuk paku keling dan baut)	$0,80 F_y$	199,95	275,79	275,79	386,11	551,58	496,42
Tegangan pada serat ekstrem pada pils ^a	$0,80 F_y$	199,95	275,79	275,79	386,11	551,58	496,42
Geser pada pin	$F_y = 0,40 F_y$	96,53	137,89	137,89	193,05	275,79	248,21
Tumpuan pada pin yang tidak terkena	$0,80 F_y$	199,95	275,79	275,79	386,11	551,58	496,42

Tabel 3.11. Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (dalam MPa)

(Lanjutan)

Penandaan oleh AASHTO		M 270 Kelas 36	M 270 Kelas 50	M 270 Kelas 50W		M 270 Kelas 100/100W	
Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen		A 709 Kelas 36	A 709 Kelas 50	A 709 Kelas 50W	A 709 Kelas 70W	A 709 Kelas 100/100W	
Ketebalan Pelat		Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6 mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 101,6mm	Sampai dengan/ sama dengan 63,5 mm	Di atas 63,5 mm sampai dengan / sama dengan 101,6mm
rotasi ^a							
Tumpuan pada pin yang terkena rotasi (seperti yang digunakan pada rocker and sendi)	0,40 F_y	96,53	137,89	137,89	193,05	275,79	248,21
Tumpuan pada bahan yang dihubungkan pada Low Carbon Steel Bolts (ASTM A 307), Turned Bolts, Ribbed Bolts, and Rivets (ASTM A 502 Grades 1 and 2)—Bergantung pada Tabel 13							

CATATAN 1 Untuk penggunaan nilai C_p , lihat *Structural Stability Research Council Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 3rd Ed.*, halaman 135. Jika cover plates digunakan, tegangan statik yang diberikan pada girk dari cut off harus ditentukan dengan rumusan tersebut.

CATATAN 2

- A adalah panjang dalam mm, dari flens yang tidak disokong antar hubungan lateral, knee braces, atau girk dari penyokong
- I_x adalah momen inersia dari flens tertekan pada sumbu vertikal dalam bidang dari badan dalam mm^4
- d adalah ketebalan gelagar dalam mm

$$J = \frac{(bt^3)_x + (bt^3)_y + Dt^3}{3}$$

CATATAN 3

Keterangan:

- b adalah lebar flens dari flens tertekan dan tertarik (mm^2).
- t adalah ketebalan dari flens tertekan dan tertarik (mm^2).

CATATAN 4

- S_x adalah modulus penampang sehubungan dengan flens yang tertekan (mm^3).
- E adalah modulus elastisitas dari baja
- r adalah radius giras yang menentukan
- L adalah panjang yang tidak disokong
- K adalah faktor panjang efektif
- F.S. adalah faktor keamanan sebesar 2,12

CATATAN 5 Rumusan di atas tidak diterapkan untuk bagian dengan momen inersia yang bervariasi.

CATATAN 6 Bagian gaya tekan dengan simetris dan unsimetris, seperti I, bentuk T, dan bagian tertekan simetris ganda, seperti, seperti bentuk salib atau bagian yang dibentuk dengan dinding sangat tipis, mungkin juga membutuhkan perhitungan torsi-lentur dan tekuk torsi. Menjur pada *Manual of Steel Construction, Ninth Edition, 1989, American Institute of Steel Construction*.

CATATAN 7 Luasan tumpuan pin harus merupakan diameternya dikali ketebalan bahan yang dimana pin menjadi tumpuannya. Ketika bagian dalam kontak mempunyai kuat leleh yang berbeda, F_y merupakan nilai yang terkecil.

CATATAN 8 Hal ini harus diterapkan untuk pin yang digunakan terutama pada bagian yang dibetani aksial, seperti bagian rangka dan kabel untuk menyesuaikan mata rantai. Hal ini tidak boleh dipakainya untuk pin yang digunakan pada bagian yang mempunyai rotasi yang disebabkan oleh ekspansi dan kontraksi.

CATATAN 9 Ketika luasan lubang dikurangi untuk baut kuat tinggi atau penampang melebihi 15 persen dari luasan kotor, maka luasan dalam kelebihan 15 persen harus dikurangi dari luasan kotor dalam menentukan tegangan dari penampang kotor. Dalam menentukan penampang kotor, semua lubang terbuka lebih dari 1/4 diameter, seperti perforasi lubang keel harus dikurangi.

b. Logam las

Kecuali jika ditetapkan lain, kekuatan ultimit dari logam las harus sama dengan atau lebih besar dari nilai minimum yang ditetapkan dari logam dasar. Tegangan yang diizinkan pada daerah-daerah yang efektif dari logam las sebagaimana pada persamaan (4). Sama halnya dengan logam dasar yang dihubungkan, kecuali di dalam kasus tentang logam yang disambungkan dari logam yang mempunyai kekuatan leleh yang berbeda ketika bahan dengan kuat leleh lebih rendah harus menentukan.

$$F_v = 0,27F_u \quad (4)$$

dengan,

F_v adalah tegangan geser dasar yang diizinkan (MPa)

F_u adalah kuat tarik dari klasifikasi elektroda (MPa)

Ketika las sudut detail untuk baja yang di-quen dan di-temper perancang itu mungkin menggunakan klasifikasi elektroda dengan kekuatan kurang dari logam dasar yang disediakan maka persyaratan ini dengan jelas ditetapkan dalam rencana-rencanan pengelasan.

c. Baut

Tegangan yang diizinkan untuk baut harus sebesar yang terdaftar pada Tabel 3.12 dan Tabel 3.13 dan gaya yang diizinkan pada hubungan yang tipe fraksi harus sebagaimana yang ditetapkan di bawah ini.

Tabel 3.12. Tegangan yang diizinkan untuk baut baja karbon rendah (dalam MPa)

Tipe Baut	Tegangan ^b	Tumpuan ^c	Hubungan Tipe Tumpuan Geser ^b
(A) Baut Baja Karbon Rendah, <i>Turned Bolts</i> ^a (ASTM A 307), <i>Ribbed Bolts</i>	124,11	137,89	75,84

CATATAN 1 Baut ASTM A 307 harus digunakan pada hubungan yang dikenakan gaya fatik.

CATATAN 2 Diterapkan untuk luasan penampang baut berdasarkan diameter badan nominal.

CATATAN 3 Diterapkan untuk diameter nominal dari baut dikalikan dengan ketebalan dari logam.

Tabel 3.13. Tegangan yang diizinkan untuk baut mutu tinggi atau bahan yang dihubungkan (dalam MPa)

Kondisi pembebanan	Tegangan yang diizinkan
Tegangan statis yang diterapkan ^{a,b}	$45,72 F_u^d$
Geser, F_v , pada baut dengan ulir yang termasuk pada bidang geser	$23,22 F_u^d$
Geser, F_v , pada baut dengan ulir yang tidak termasuk pada bidang geser	$29,03 F_u^d$
Tumpu, F_p , pada bahan yang dihubungkan di lubang standar, yang diperlebar, slot pendek dalam semua arah, atau slot panjang yang paralel dengan gaya tumpu yang diterapkan	$\frac{72,57 L_c F_u}{d} \leq F_u^{e/2}$
Tumpu, F_p , pada bahan yang dihubungkan di lubang slot panjang yang tegak lurus dengan gaya tumpu yang diterapkan	$\frac{58,05 L_c F_u}{d} \leq 116,11 F_u^{e/2}$

CATATAN 1 Baut harus ditegangkan sesuai dengan persyaratan.

CATATAN 2 Lihat paragraf di bawah untuk baut yang dikenakan gaya fatik tarik.

CATATAN 3 Pada hubungan yang menyalurkan gaya aksial yang mana panjang antara baut yang ekstrim diukur secara paralel sampai dengan garis dari gaya melebihi 1270 mm, nilai tabel di atas harus dikurangi 20 persen.

CATATAN 4 F_u adalah kuat tarik minimum yang ditetapkan dari baut yang diberikan pada Tabel 2 (MPa).

CATATAN 5 Keterangan:

F_u adalah kuat tarik minimum yang ditetapkan dari bahan yang dihubungkan (MPa)

L_c adalah jarak bersih antara lubang dengan ujung dari bahan dalam arah gaya perletakan yang diterapkan (mm)

d adalah nominal diameter baut (mm)

CATATAN 6 Hubungan yang menggunakan baut kekuatan tinggi pada slotted hole dengan beban yang diterapkan dalam suatu arah selain dari normal perkiraan (antara 80 dan 100 derajat) pada sumbu dari lubang dan hubungan dengan baut oversize harus dirancang untuk ketahanan melawan terhadap slip sesuai dengan Subpasal 10.3.2.

CATATAN 7 gaya perletakan yang diizinkan untuk hubungan adalah sebanding dengan jumlah dari gaya perletakan yang diizinkan untuk baut individu dalam hubungan.

CATATAN 8 Baut mutu tinggi AASHTO M 164 (ASTM A 325) dan AASHTO M 253 (ASTM A 490) tersedia dalam tiga tipe, ditandai sebagai Tipe 1, 2, atau 3. Tipe 3 harus dibutuhkan pada rencana ketika menggunakan AASHTO M 270 Grade 50 W (ASTM A 709 Grade 50 W) yang tidak dicat.

i. Umum

Dalam menyesuaikan pengencangan untuk geser dan tarik, luasan penampang berdasarkan diameter nominal harus digunakan kecuali ditentukan lain. Luasan tumpuan efektif dari baut harus sebesar diameter dikalikan dengan ketebalan metal yang dijadikan tempat menumpu. Di dalam logam dengan ketebalan kurang dari 99,525 mm, baut *countersunk* tidak boleh diasumsikan memikul beban.

Di dalam logam dengan ketebalan 9,525 mm, satu setengah kedalaman *countersink* harus diabaikan dalam perhitungan luasan tumpu. Dalam menentukan apakah ulir baut dikeluarkan dari bidang geser dari permukaan kontak, panjangnya ulir dari baut yang harus dihitung seperti sedikitnya dua jangkauan ulir yang lebih besar dari panjangnya ulir yang ditetapkan sebagaimana kelonggaran dari ulir berankhir.

Dalam hubungan tipe tumpu, geser yang mencabut di suatu pelat harus diselidiki antara ujung pelat dan baris terakhir dari baut. (lihat Tabel 3.13, CATATAN 7.)

Sambungan, yang memanfaatkan baut kekuatan tinggi, yang diperlukan untuk menahan geser antara bagian yang terhubung ditunjuk sebagai baik tipe friksi atau hubungan tipe tumpu. Hubungan geser yang dikenakan pembalikan tegangan, atau di mana kelincinan akan menjadi yang tidak diinginkan, harus berupa hubungan yang tipe friksi. Potensi slip dari hubungan harus diselidiki pada tahapan beban antara terutama sambungan yang berlokasi di daerah komposit.

Kombinsi dari beban harus diterapkan untuk tegangan yang diizinkan untuk hubungan baut tipe friksi yang menggunakan baut kekuatan tinggi, kecuali bila tidak ada kasus harus presentasi dari tegangan yang diizinkan melebihi 133 persen, dan kebutuhan dari Subpasal 3.4.3 tidak boleh melebihi. Hubungan dengan baut tipe tumpu harus dibatasi untuk bagian yang tertekan dan bagian sekunder.

ii. Tegangan pada baut yang diizinkan

Tegangan yang diizinkan pada geser, tumpuan dan tarik untuk baut AASHTO M164 (ASTM A325) dan AASHTO M253 (ASTM A490) harus seperti yang tercantum pada Tabel 3.13.

Sebagai tambahan terhadap persyaratan-persyaratan tegangan izin dari Subpasal 3.4.3 gaya pada koneksi kritis secara slip tidak boleh melebihi ketahanan slip yang diizinkan (P) dari hubungan menurut persamaan (5).

$$P_s = K_h \mu T_b A_n N_b N_s \quad (5)$$

dengan,

A_n adalah luasan penampang bersih dari baut dalam m^2

N_b adalah jumlah baut di dalam hubungan

N_s adalah jumlah bidang slip

T_b adalah tegangan tarik baut minimum yang ditetapkan atau sebanding dengan 70% kuat tarik minimum yang ditetapkan pada Tabel 2 dalam MPa

μ adalah koefisien slip sebagaimana yang ditetapkan pada Tabel 3.14

K_h adalah faktor ukuran lubang sebagaimana yang ditetapkan pada Tabel 3.15

P_s adalah ketahanan slip yang diizinkan pada sambungan (N)

Kondisi permukaan Kelas A, B, atau C dari bagian yang dibaut sebagaimana yang didefinisikan pada Tabel 3.14 harus digunakan pada join yang ditunjuk sebagai tipe friksi kecuali sebagaimana yang diperbolehkan pada bagian di bawah ini.

Bergantung atas persetujuan perencana, pelapisan yang memberikan suatu koefisien slip kurang dari 0,33 dapat digunakan dengan menyediakan koefisien slip rata-rata yang ditetapkan oleh pengujian sesuai dengan persyaratan dari paragraf di bawah ini, dan ketahanan slip per luasan unit ditetapkan.

Cat, yang digunakan di permukaan yang kontak satu sama lain dari hubungan yang ditetapkan untuk menjadi tipe friksi harus dikualifikasi oleh pengujian sesuai dengan *'Test Method to Determine the Slip Coefficient for Coatings Used in Bolted Joints' as adopted by the Research Council on Structural Connections*. Lihat *Appendix A* dari *Allowable Stress Design Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts* yang diterbitkan oleh *Research Council on Structural Connections*.

Tabel 3.14. Koefisien slip μ

Tipe Kelas	Pemukaan Kontak dari Bagian yang Dibaut	μ
Kelas A	Bersih dari serpihan yang dihasilkan dari proses pengilangan dan permukaan yang dibersihkan dengan tekanan dilapisi oleh pelapis Kelas A	0,33
Kelas B	Pembersihan dengan tekanan dan dilapisi oleh pelapis Kelas B	0,5
Kelas C	Pemukaan yang direndam panas oleh galvanis dan disikat tanpa mesin setelah pelapisan galvanis	0,33

CATATAN 1 Pelapisan proteksi baja diklasifikasikan sebagai Kelas A atau Kelas B termasuk pelapisan yang menyediakan koefisien slip rata-rata tidak kurang dari masing-masing 0,33 atau 0,5 sebagaimana yang ditentukan oleh metode pengujian untuk menentukan koefisien slip untuk pelapisan yang digunakan pada hubungan baut.

Tabel 3.15. Slip untuk faktor ukuran lubang K_h

Tipe Lubang	K_h
Standar	1,0
Lubang yang diperbesar dan Slot pendek	0,85
Lubang slot panjang dengan slot yang tegak lurus dengan arah dari gaya	0,70
Lubang slot panjang dengan slot yang paralel dengan arah dari gaya	0,60

- iii. Gaya tarik, dan kombinasi gaya tarik dan gaya geser yang diterapkan

Baut kekuatan tinggi yang lebih dipilih harus digunakan untuk baut-baut yang dikenakan gaya tarik atau kombinasi gaya tarik dan geser. Baut yang diperlukan untuk menyokong beban yang diterapkan dalam bentuk tegangan langsung harus sangat sesuai sehingga tegangan tarik rata-rata dihitung dengan dasar daerah luasan baut nominal tidak akan melebihi tegangan yang diizinkan. Beban yang diterapkan harus merupakan penjumlahan dari beban eksternal dan semua tarikan yang dihasilkan dari aksi ungkit. Gaya tarik akibat aksi ungkit adalah seperti pada persamaan (6).

$$Q = \left[\frac{3b}{8a} - \frac{t^3}{20} \right] T \quad (6)$$

dengan,

Q adalah gaya tarik ungkit per baut (diambil sebagai nol jika nilainya negatif) dalam N.

T adalah gaya tarik langsung per baut akibat beban eksternal dalam N.

a adalah jarak dari bagian tengah baut dengan mempertimbangkan ujung pelat dalam mm.

b adalah jarak dari bagian tengah baut dengan pertimbangan bagian bawah dari sudut dari bagian yang tekoneksi dalam mm.

t adalah ketebalan dari bagian yang terhubung paling tipis dalam mm.

Untuk kombinasi geser dan tarik pada join kritis secara slip menggunakan baut kuat tinggi di mana gaya yang diterapkan mengurangi gaya penjepit total pada bidang friksi, tegangan geser, f_v (MPa), harus memenuhi persamaan (7).

$$f_v \leq F_s \left(1 - \frac{1,88f_t}{F_u} \right) \quad (7)$$

Keterangan:

f_t adalah tegangan tarik yang dihitung dalam baut termasuk semua tegangan akibat aksi ungkit (MPa)

F_s adalah tegangan slip yang diizinkan (MPa) = $K_h \mu T_b$

F_u adalah kuat tarik minimum yang ditetapkan dari baut (MPa)

Ketika paku keling aatau baut kekuatan tinggi dalam hubungan tipe tumpu dikenakan geser dan tarik, tegangan tarik itu tidak boleh melebihi tegangan tarik yang diizinkan yang

dikurangi yang diperoleh dari persamaan –persamaan yang berikut. Tegangan kombinasi harus memenuhi persyaratan persamaan (8) dan (9)

Untuk $f_v/F_v \leq 0,33$:

$$F'_t = F_t \quad (8)$$

Untuk $f_v/F_v > 0,33$:

$$F'_t = F_t \sqrt{1 - (f_v/F_v)^2}$$

$$f_v^2 + (kf_t)^2 \leq F_v^2 \quad (9)$$

dengan,

f_t adalah tegangan tarik yang dihitung pada paku keling termasuk semua tegangan akibat aksi ungkit (MPa)

f_v adalah tegangan geser yang dihitung dari paku keling atau baut (MPa)

F_t adalah tegangan tarik yang diizinkan dari paku keling atau baut (MPa)

F'_t adalah tegangan tarik yang diizinkan yang direduksi dari paku keling atau baut akibat tegangan geser yang diaplikasikan (MPa)

F_v adalah tegangan geser yang diizinkan dari paku keling atau baut (MPa)

k adalah konstanta: 0,6 untuk baut kekuatan tinggi dengan ulir yang tidak termauk geser.

iv. Fatik

Ketika dikenakan suatu beban fatik tarik, tegangan tarik dalam baut akibat beban layan ditambah gaya ungkit yang dihasilkan dari penerapan beban layang tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan berikut ini (dalam MPa). Diameter nominal baut harus digunakan di dalam menghitung tegangan baut. Gaya ungkit tidak boleh melebihi 80 persen beban yang

diaplikasikan secara eksternal sebagaimana yang terlihat pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16. Tegangan izin fatik

Jumlah Siklus	AASHTO M 164 (ASTM A 325)	AASHTO M 235 (ASTM A 490)
Tidak lebih dari 20.000	262	324,05
Mulai dari 20.000 sampai dengan 500.000	244,76	303,37
Lebih dari 500.000	189,61	234,42

v. Tegangan yang diizinkan

- Tegangan lentur lokal pada pelat lantai

Istilah lentur lokal mengacu pada tegangan yang terjadi dalam pelat lantai sebagaimana pelat tersebut memikul beban roda ke pengaku dan balok. Tegangan lenturan transversal lokal yang terjadi pada pelantai oleh beban roda yang ditentukan ditambah 30 persen beban tumbuan tidak boleh melebihi 206,84 MPa kecuali jika suatu tegangan izin yang lebih tinggi dibenarkan oleh suatu analisis kefatikan terperinci atau oleh hasil uji kefatikan yang diterapkan. Untuk konfigurasi lantai di mana pengaturan jarak gelagar melintang paling sedikit 3 kali jarak bagian tegak pengaku longitudinal, tegangan lentur lokal longitudinal dan transversal pada pelat lantai tidak perlu dikombinasikan dengan lenturan yang lain yang dicakup pada subpasal 'Tegangan lentur pada pengaku longitudinal' dan Subpasal 'Tegangan lentur dalam gelagar melintang'.

- Tegangan lentur pada pengaku longitudinal

Tegangan lentur lokal pada pengaku longitudinal akibat kombinasi dari (1) lenturan pengaku dan (2) lenturan balok

penopang itu boleh melebihi lenturan yang dapat diizinkan sebesar 25 persen. Tegangan lentur akibat dua mode individu tidak boleh melebihi tegangan lentu yang diizinkan pada pasal 'Tegangan yang diizinkan'

- Tegangan lentur dalam gelagar melintang
Tegangan lentur dalam gelagar melintang tidak boleh melebihi tegangan lentur yang dapat diizinkan pada pasal 'Tegangan yang diizinkan'

3.4.4 Kriteria untuk defleksi

Ketentuan berikut ini harus diaplikasikan pada pelat lantai ortotropik untuk:

- a. Beban kendaraan pada pelat lantai, maka defleksi yang diizinkan sebesar $L/300$.
- b. Beban kendaraan pada bagian pengaku pada lantai baja ortotropik, defleksi yang diizinkan sebesar $L/1000$, dimana L adalah panjang bentang pelat ortotropik baja.
- c. Beban kendaraan pada bagian pengaku pada lantai baja ortotropik, defleksi relatif ekstrem yang diizinkan antar-pengaku sebesar 2,5 mm.

3.4.5 Struktur pelat ortotropik

a. Umum

Bagian ini menyinggung perencanaan teknis jembatan baja yang menggunakan suatu pelat baja yang diperkaku sebagai suatu lantai jembatan. Biasanya pelat lantai diperkaku oleh pengaku longitudinal dan gelagar melintang; lebar-lebar efektif dari pelat lantai bertindak sebagai flens atas dari pengaku dan balok ini. Biasanya lantai termasuk pengaku longitudinal, bertindak sebagai flens atas dari gelagar utama. Sebagaimana yang digunakan dalam bagian ini, terminologi pengaku dan gelagar

melintang mengacu pada bagian yang termasuk dalam ssatu lebar yang efektif dari pelat lantai.

Suatu metode yang sesuai dari analisi elastik, seperti pelat-ortotropik-ekuivalen atau metode grid ekuivalen, harus digunakan di dalam merancang lantai. Sifat-sifat kekakuan ekuivalen harus dipilih untuk secara menirukan lantai secara nyata.

b. Luasan kontak beban roda

Beban roda yang ditetapkan harus secara seragam dibagi-terdistribusi ke pelat lantai di atas persegi empat sebagai yang didefinisikan SNI Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016).

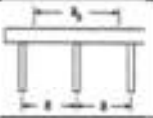

c. Lebar efektif dari pelat lantai

lebar efektif dari pelat lantai yang bertindak di flens ata pengaku longitudinal atau suatu gelagar melintang dapat dihitung dengan metode pendekatan yang dapat diterima. (*Design Manual For "Orthotropic Steel plate Deck Bridges," AISC, 1963, or "Orthotropic Bridges, Theory and Design," by M.S. Troitsky, Lincoln Arc Welding Foundation, 1967*).

Dalam pemodelan pelat ortotropik, kekakuan lentur dari elemen dapat didistribusikan seragam sepanjang penampang lantai. Dimana kekakuan lentur dari lantai tidak dikontribusikan sendiri oleh pelat masif dari ketebalan yang seragam, kekakuan torsi harus dibentuk dengan pengujian fisik, analisis tiga dimensi atau prakiraan yang dapat dibuktikan dan diterima secara umum.

Lebar efektif dari pelat lantai yang beraksi sebagai flens atas dari satu pengaku longitudinal ditetapkan pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17. Lebar efektif dari pelat lantai dengan pengaju versi
AASHTO

Perhitungan untuk		
Sifat penampang pengaku untuk perhitungan dari kekakuan lantai dan efek kelenturan akibat beban mati	$a_0 = a$	$a_0 + e_0 = a + e$
Sifat penampang pengaku untuk perhitungan dari efek kelenturan akibat beban roda	$a_0 = 1.1 a$	$a_0 + e_0 = 1.3 (a + e)$

d. Diafragma

Diafragma harus disediakan pada masing-masing sokongan untuk menyalurkan gaya lateral ke perletakan dan untuk menahan rotasi, perpindahan dan distorsi transversal. Diafragma antara harus disediakan pada lokasi-lokasi konsisten dengan analisis dari gelagar. Kekakuan dan kekuatan diafragma antara harus konsisten dengan analisis dari gelagar.

3.5 Persyaratan perhitungan struktur (pembebanan; persyaratan defleksi ; persyaratan tegangan)

3.5.1 Defleksi

Defleksi pengaku, balok, dan gelagar akibat beban hidup ditambah beban tumbukan boleh melebihi pembatasan-pembatasan di Subpasal 3.4.4 tetapi tidak melebihi 1/500 panjang bentang pelat ortotropik, perhitungan defleksi harus konsisten dengan analisis yang digunakan untuk menghitung tegangan.

Untuk mencegah deteriorasi berlebihan pada lapisan permukaan, defleksi pelat lantai akibat beban roda yang ditetapkan ditambah 30 persen beban tumbukan harus kurang dari 1/300 jarak antara badan tegak pengaku. Pengaruh pengakuan dari lapisan aus tidak boleh dimasukkan dalam menghitung defleksi pelat lantai.

3.5.2 Getaran

Karakteristik getaran jembatan harus dipertimbangkan untuk mencapai suatu perencanaan teknis yang tepat.

3.5.3 Lapisan aus

Suatu lapisan aus yang sesuai harus dengan cukup terkait dengan bagian atas dari pelat lantai untuk menyediakan permukaan yang rata, permukaan berkendara anti selip dan untuk melindungi bagian atas pelat melawan korosi dan abrasi. Bahan lapisan aus harus menyediakan (1) daktilita yang cukup untuk mengakomodasi, tanpa retak atau pelepasan lapisan, ekspansi dan kontraksi yang dikenakan oleh pelat lantai, (2) kuat fatik yang cukup untuk melawan retakan flexural akibat defleksi pelat sistem lantai, (3) daya tahan yang cukup untuk menahan rutting, shoving, dan aus, (4) tahan terhadap air dan bahan bakar kendaraan bermotor dan oli, dan (5) tahan terhadap deteriorasi dari garam deicing, oli, bensin, minyak diesel, dan kerosin.

3.5.4 Pengaku tertutup

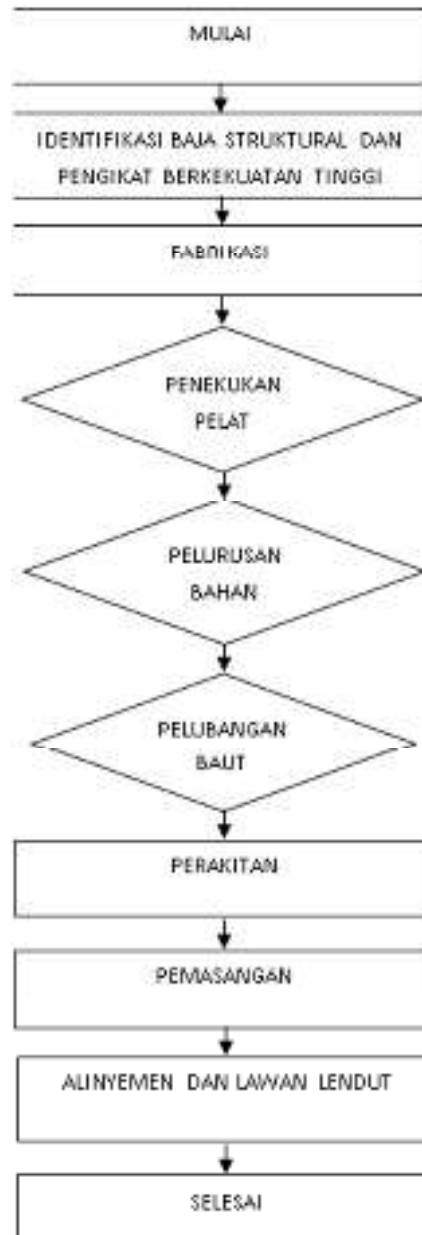
Pengaku tertutup tanpa lubang akses untuk pemeriksaan, pencucian, dan pengecatan diizinkan. Pengaku-pengaku seperti itu harus tersegel melawan jalan masuknya uap lembab dengan pengelasan kontinu pada (1) badan pengaku kepada pelat lantai, (2) sambungan pengaku, dan (3) diafragma, atau gelagar melintang ke bagian akhir pengaku.

BAB 4

PELAKSANAAN PELAT ORTOTROPIK BAJA

4.1 Umum

Urutan pelaksanaan konstruksi yang dilakukan diawali dengan pengecekan material baja yang digunakan, fabrikasi profil, perakitan, pemasangan, serta pengecekan alinyemen dan lawan lendut. Adapun urutan pelaksanaan konstruksi secara garis besar ditunjukkan pada Gambar 4.1.



(Sumber : Pedoman Pelaksanaan Pelat Ortotropik Baja Segmental untuk Lantai Jembatan Rangka Baja)

Gambar 4.1. Diagram alir proses pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental

4.2 Identifikasi Material

Sebelum digunakan, hendaknya dilakukan pengecekan terlebih dahulu terhadap mutu material baik untuk baja struktural maupun baut sambungan. Adapun kelas dan mutu baja yang disediakan harus seperti yang disebutkan dalam rencana atau yang ditetapkan.

4.2.1 Baja Struktural

Semua material baja yang digunakan sebagai komponen yang memikul beban dengan pengaruh yang signifikan terhadap tegangan tarik harus sesuai dengan persyaratan Pengujian Tumbukan *Charpy V-notch* yang diterapkan pada AASHTO M 270 (ASTM A 709).

Gelagar yang dilas harus memenuhi persyaratan ASTM A 709, Baja Grade HPS70W harus difabrikasi sesuai *AASHTO Guide Specifications for Highway Bridge Fabrication* dengan menggunakan HPS70 W Steel, yang melengkapi ANSI/AASHTO/AWS D 1.5 *Bridge Welding Code*.

Persyaratan detail mengenai mutu material baja struktural yang digunakan baik itu baja karbon, baja struktural paduan rendah kekuatan tinggi, pelat baja struktural paduan rendah kekuatan tinggi yang di *quen* dan di *temper*, pelat baja struktural paduan rendah kekuatan tinggi yang di *quen* dan di *temper* disesuaikan dengan Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk digunakan sebagai lantai jembatan rangka baja pasal 5.1.1 sampai dengan 5.1.5.

4.2.2 Baut kekuatan tinggi

Baut kekuatan tinggi untuk sambungan baja struktural harus sesuai dengan AASHTO M 164 (ASTM A 325) atau AASHTO M 253 (ASTM A 490). Jika menggunakan baut kekuatan tinggi dengan kelas pelapukan bahan yang tidak dicat dari baja, baut harus merupakan Tipe 3.

Penyuplai baja harus menyediakan satu nomor lot yang muncul pada paket pengiriman dan menunjukan sertifikasi yang mencatat jadwal dan tempat semua pengujian yang dilakukan, termasuk tes kapasitas rotasi, dan ketebalan galvanis seng ketika baut dan mur digunakan. Kekerasan

maksimum untuk baut AASHTO M 164 (ASTM A 325) dengan diameter 25,4 mm atau kurang harus merupakan 33 HRC.

Tes pembuktian beban (ASTM F 606 Method 1) diperlukan untuk baut. Pengujian baji baut dari baut berukuran penuh diperlukan sesuai dengan Section 8.3 dari AASHTO M 164. Baut yang digalvanis harus diuji baji setelah galvanisasi. Tes sesuai AASHTO M 291 diperlukan untuk mur. Tes pembuktian beban mur untuk digunakan dengan baut yang digalvanis harus dilakukan setelah penggalvanisan, penekanan lebih dan pelumasan.

Mur untuk baut AASHTO M 164 (ASTM A 325) harus sesuai dengan AASHTO M 291 (ASTM A 563) Grades DH, DH3, C, C3, and D. Mur untuk baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) harus sesuai dengan persyaratan AASHTO M 291 (ASTM A 563) Grade DH dan DH3. Kecuali seperti dicatat di bawah ini :

- Mur digalvanis (yang digalvanis dengan diredam panas atau secara mekanis) harus di *heat treated Grade* DH atau DH3.
- Mur polos (=tidak digalvanis) harus mempunyai kekerasan minimum 89 HRB
- Mur untuk digunakan dengan baut AASHTO M 164 (ASTM A 325) Type 3 harus merupakan Grade C3 atau DH3. Mur untuk digunakan dengan baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) harus merupakan Grade DH3

Semua mur yang digalvanisir harus dilumasi dengan suatu pelumas yang berisi suatu bahan celup yang kasat mata. Baut hitam harus berminyak untuk bersentuhan ketika dikirimkan dan dipasang. Ring baut harus merupakan ring baut baja yang diperkeras dan memenuhi persyaratan AASHTO M 293 (ASTM F 436).

a. Ciri Penanda

AASHTO M 164 (ASTM A 325) spesifikasi yang dirujuk untuk baut dan mur mensyaratkan bahwa baut dan mur yang difabrikasi diidentifikasi dengan ciri khusus pada bagian atas kepala baut dan pada satu sisi mur.

Pencirian kepala baut harus menandakan kelas dengan simbol "A 325" manufaktur dan tipe, jika tipe 2 atau 3. Jika tipe 3 pencirian mur harus menandakan kelas, manufaktur dan tipenya. Pencirian dengan indikator pengecangan langsung harus menandakan manufaktur dan Tipe "325". Pencirian ring lainnya harus menandakan manufaktur dan jika Tipe 3, tipenya.

AASHTO M 253 (ASTM A 490) spesifikasi yang dirujuk untuk baut dan mur memerlukan bahwa baut dan mur yang difabrikasi dengan spesifikasi diidentifikasi dengan ciri khusus pada bagian atas kepala baut dan pada satu sisi mur. Pencirian kepala baut harus menandakan kelas dengan simbol "A 490," pabrik dan tipe, jika tipe 2 atau 3. Jika tipe 3 Pencirian mur harus menandakan kelas, manufaktur dan tipe. Pencirian dengan indikator tegangan langsung harus menandakan manufaktur dan Tipe "490". Pencirian ring lainnya harus menandakan manufaktur dan jika Tipe 3, tipenya.

b. Dimensi

Dimensi baut dan mur harus memenuhi persyaratan *Heavy Hexagon Structural Bolts* dan untuk *Heavy Semi-Finished Hexagon Nuts* yang diberikan oleh *ANSI Standard* B18.2.1 dan B18.2.2.

c. Baut kekuatan tinggi yang digalvanis

Baut yang digalvanis canai panas harus sesuai dengan AASHTO M 232 (ASTM A 153) Class C atau, apabila digalvanis secara mekanis harus sesuai dengan AASHTO M 298 (ASTM B 695) Class 50. Untuk Baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) tidak boleh digalvanis. Baut yang digalvanis harus diuji pengencangannya setelah penggalvanisan. Ring baut, mur dan baut dari setiap perakitan harus digalvanis dengan proses yang sama. Dalam pemasangan baut mur harus ditekan lebih dan harus dilumasi dengan suatu pelumas yang berisi suatu zat celup yang kasar mata

sehingga dapat dilakukan pemeriksaan visual pada waktu pemasangan di lapangan.

d. Perangkat penunjuk beban

Perangkat penunjuk beban harus memenuhi persyaratan *ASTM Specification for Compressible-Washer Type Direct Tension Indicators For Use with Structural Fasteners, ASTM F 959*, kecuali berdasarkan persetujuan Direksi Pekerjaan, perangkat pengganti lain yang menunjukkan kekencangan dapat digunakan asalkan memenuhi persyaratan Subpasal 7.5.4 (Pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan) atau persyaratan lain yang digunakan oleh pabrik atas persetujuan Direksi Pekerjaan.

e. Galvanisasi

Jika galvanisasi ditetapkan dalam rencana atau dalam ketentuan khusus, produk logam besi, selain baut dan perangkat keras, harus digalvanis sesuai dengan *Specifications for Zinc (Hot-Galvanized) Coatings on Products Fabricated from Rolled, Pressed, and Forged Steel Shape Plates, Bars, and Strip, AASHTO M 111 (ASTM A 123)*. Baut dan perangkat keras harus digalvanis sesuai dengan *Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware, AASHTO M 232 (ASTM A 153)*, kecuali seperti yang tercantum dalam Subpasal 5.2.4 (Pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan) untuk baut kekuatan tinggi.

4.3 Fabrikasi

Selama fabrikasi baja harus diberi tanda. mengenai penandaan, dan petunjuk pemotongan pabrik (umumnya dengan referensi silang dari ciri perakitan yang ditunjukkan pada gambar kerja dengan item yang sesuai yang tercakup pada pesanan pembelian hasil pengecoran baja) harus sedemikian rupa sehingga dapat mempertahankan identitas potongan asli.

Selama fabrikasi, sampai dengan titik perakitan elemen, masing-masing potongan baja, selain baja *Grade* 36, harus terlihat dengan jelas dan terbaca spesifikasinya.

Setiap bagian dari baja, selain baja *Grade* 36, yang mana sebelum perakitan menjadi bagian, akan dikenakan tindakan fabrikasi seperti pembersihan dengan semprotan, galvanisasi, pemanasan untuk pembentukan, atau pengecatan yang mungkin menghilangkan ciri, harus diberi ciri untuk kelas baja dengan cap dengan penekanan baja atau dengan label substansial yang dicantelkan dengan kuat. Cap dengan penekanan baja harus merupakan tipe tegangan rendah.

Atas permintaan, oleh Direksi Pekerjaan, penyedia jasa harus menyediakan suatu sertifikasi pernyataan tertulis yang sah bahwa sepanjang tahapan fabrikasi penandaan baja telah dipenuhi sesuai dengan pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja.

Material struktural, baik polos atau yang difabrikasi, harus disimpan di atas tanah pada penyangga yang dapat digerakkan, atau sokongan lain. Material ini harus dijaga agar bebas dari kotoran, minyak, dan benda asing lainnya, dan harus dilindungi sepraktis mungkin dari korosi. Lihat Subpasal 7.5.4 (pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja) untuk penyimpanan baut kekuatan tinggi.

Ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam mengerjakan pelat baja :

- Arah penggulangan pelat
Kecuali jika disyaratkan lain pada rencana, pelat baja untuk bagian utama dan pelat penyambung untuk *flens* dan bagian yang terkena gaya tarik yang signifikan, bukan bagian sekunder, harus dipotong dan difabrikasi sehingga arah utama dari penggulangan paralel dengan arah tarik utama dan /atau tegangan tekan.

- Pengetaman ujung
Pemotongan tepi dari pelat dengan ketebalan lebih dari 15,875 mm dan memikul tegangan harus diketam, digiling, di-ground, atau dipotong dengan panas sampai dengan kedalaman 3,175 mm.
- Pemotongan dengan oksigen
Pemotongan dengan oksigen dari baja struktural harus memenuhi persyaratan *ANSI/AASHTO/AWS D1.5 Bridge Welding Code* yang mutakhir.
- Pemeriksaan visual dan perbaikan dari ujung pemotongan pelat
Pemeriksaan visual dan perbaikan dari ujung pemotongan pelat tepi harus sesuai dengan *ANSI / AASHTO / AWS D1.5 Bridge Welding Code* yang mutakhir.

4.3.1 Penekukan Pelat

Cold formed baja dan bagian yang kritis terhadap fraktur dilarang dilakukan penekukan. Melakukan penekukan dingin dari baja atau bagian lain sesuai dengan *ANSI/ AASHTO/AWS D1.5 Bridge Welding Code* dan Tabel 4.1, dan dengan cara sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak.

Tabel 4.1. Jari-jari minimum *Cold formed*

Ketebalan dalam mm (t) sesuai ketentuan ASTM A 709/ AASHTO M 270	Sampai dengan 19,05 mm	Di atas 19,05 mm sampai dengan/ sama dengan 25,4 mm	Di atas 25,4 mm sampai dengan/ sama dengan 50,8 mm	Di atas 50,8 mm
Untuk kelas				
36	1,5 t	1,5 t	1,5 t	2,0 t
50	1,5 t	1,5 t	2,0 t	2,5 t
50W	1,5 t	1,5 t	2,0 t	2,5 t
HPS 70W	1,5 t	1,5 t	2,5 t	3,0 t
100	1,75 t	2,25 t	4,5 t	5,5 t
100W	1,75 t	2,25 t	4,5 t	5,5 t

a. Penekukan dingin

Untuk menekuk pelat, jari-jari tekukan dan jari-jari penekuk dalam harus maju sampai bagian akhir. Lebar *sepanjang* bahu penekuk luar harus minimal 8 kali ketebalan pelat baja Grade 36. Baja kekuatan tinggi membutuhkan bukaan penekuk yang lebih besar. Permukaan penekuk di daerah radius harus halus.

Dimana permukaan cekung dari *pelat* yang ditekuk harus masuk dengan pas terhadap permukaan lain, Bagian penekuk dalam harus cukup tebal dan memiliki jari-jari yang tepat untuk memastikan bahwa pelat yang ditekuk memiliki permukaan cekung yang dipersyaratkan.

Ketika retakan pada penekukan dingin umumnya berasal dari tepi luar, tonjolan bekas modifikasi dan tepi pemotongan dengan gas harus dihilangkan dengan cara di gerinda. Sudut tajam di tepi dan pelubangan dengan tekanan atau lubang hasil pemotongan dengan gas harus dihilangkan dengan pembuat sudut yang menyatukan dua sisi atau di gerinda sehingga membuat jari-jari.

Kecuali jika disetujui lain, jari-jari tekukan minimum untuk penekukan dingin (pada suhu ruang), diukur ke sisi *cekung* dari pelat, diberikan pada Tabel 4.1. Jika diperlukan jari-jari lebih kecil, mungkin diperlukan pemanasan sebagai bagian dari prosedur penekukan. Penyedia Jasa harus menunjukan prosedur pemanasan untuk ditinjau oleh Direksi Pekerjaan. Untuk kelas yang tidak termasuk dalam Tabel 4.1, ikuti rekomendasi jari-jari tekukan minimum dari produser pelat.

Jika memungkinkan, *orientasikan* garis tekukan tegak lurus terhadap arah penggulangan akhir pelat. Jika garis tekukan sejajar dengan arah penggulangan akhir, kalikan jari-jari minimum yang disarankan dalam Tabel 4.1 dengan 1,5.

b. Penekukan panas

Jika jari-jari lebih pendek dari nilai minimum yang ditetapkan untuk penekukan dingin merupakan hal yang penting, pelat harus ditekuk panas

pada suhu yang tidak lebih besar dari 650 °C, kecuali untuk Grade 70W, 100 dan 100W. Jika pelat baja Grade 100 dan 100W yang akan ditebuk dipanaskan sampai suhu *lebih* besar dari 594 °C, atau pelat Grade 70W untuk ditebuk yang dipanaskan *sampai* suhu lebih besar dari 565 °C, pelat harus di-*quen* dan di-*temper* kembali sesuai dengan proses logam dan diuji untuk memverifikasi sifat-sifat tertentu, seperti yang diarahkan oleh Direksi Pekerjaan. Baja Grade HPS70W yang akan ditebuk tidak boleh dipanaskan sampai suhu lebih dari 594 °C. Peng-*quen*-an Kembali dan pen-*temper*-an tidak diperlukan untuk baja Grade HPS70W yang dipanaskan sampai batas ini.

Pengaku pada perletakan ujung untuk gelagar dan pengaku yang dimaksudkan untuk menahan beban terkonsentrasi akan memiliki tumpuan penuh (baik diproses, di-ground atau, pada kemudahan mengelas baja di daerah yang tertekan pada *flens*, dilas seperti yang ditunjukkan pada rencana atau yang ditetapkan) pada *flens* untuk pengaku yang meneruskan beban atau dengan pengaku yang akan menerima beban. Pengaku tengah tidak dimaksudkan untuk menahan beban terkonsentrasi, kecuali diperlihatkan atau ditentukan lain, harus memiliki kesesuaian yang tepat terhadap *flens* yang tertekan.

Sambungan yang berbatasan pada bagian yang tertekan dari rangka dan kolom harus digiling atau dipotong dengan gergaji untuk *memberikan* sambungan dengan bentuk yang tepat dan tumpuan yang seragam. Pada sambungan lain, yang tidak perlu untuk dilengkapi penutup, bukaan tidak boleh melebihi 9,525 mm.

4.3.2 Pelurusan Bahan

Pelurusan pelat, siku, bentuk lainnya, serta bagian yang dibangun, ketika diijinkan oleh Direksi Pekerjaan, harus dilakukan dengan metode yang tidak akan menghasilkan fraktur atau kerusakan lainnya pada logam. Bagian yang terdistorsi harus diluruskan dengan cara mekanis atau, jika disetujui oleh Direksi Pekerjaan, dengan prosedur terencana yang hati-hati

dan penerapannya diawasi dari sejumlah batas dari pemanasan yang terlokalisasi, kecuali bahwa pelurusan dengan pemanasan dari bagian baja AASHTO M 270 (ASTM A 709) Grade 70W, HPS70W, 100 dan elemen 100W harus dilakukan hanya di bawah prosedur yang terkontrol dengan ketat, setiap aplikasi yang bergantung atas persetujuan dari Direksi Pekerjaan. Jika tidak kasus di bawah ini, maka :

- a) Untuk Grade 70W, suhu maksimum harus melebihi nilai 565 °C
- b) Untuk Grade HPS70W, suhu maksimum harus melebihi nilai 594 °C
- c) Untuk Grade 100 atau Grade 100W suhu maksimum harus melebihi nilai 594 °C

Untuk semua baja yang tidak disebutkan diatas, maka suhu dari daerah yang dipanaskan tidak boleh melebihi 650 °C seperti yang dikontrol oleh suhu yang ditunjukkan oleh gambar yang dibuat oleh batang penggambar, cairan, atau termometer bimetal. Pemanasan melebihi batas yang ditunjukan merupakan alasan untuk penolakan material, kecuali Direksi Pekerjaan memperkenankan pengujian untuk memverifikasi keutuhan dan mutu bahan.

Bagian yang akan dilurusan dengan pemanasan harus bebas secara substansial dari tegangan dan dari gaya eksternal, kecuali tegangan yang dihasilkan dari cara mekanis yang digunakan dalam rangkaian dengan penerapan pemanasan.

Bukti dari fraktur yang mengikuti pelurusan dari sebuah penekukan atau pelengkungan akan menjadi penyebab untuk penolakan dari bagian yang rusak.

4.3.3 Pelubang Baut

Semua lubang untuk baut harus dilubangi dengan tekanan ataupun dibor kecuali sebagaimana dicatat dalam peoman. Pembentukan bahan dari bagian yang dikomposisi dari salah satu tidak lebih dari lima kali ketebalan logam dapat dilubangi dengan tekanan

lebih besar 1,587 mm dari diameter nominal baut kapanpun ketebalan bahan tersebut tidak lebih besar dari 19,05 mm untuk baja struktural, 15,875 mm untuk baja kekuatan tinggi atau 12,7 mm untuk baja paduan yang di-quen dan di-temper, kecuali pelubangan dengan tekanan kecil dan pelebaran diperlukan berdasarkan Subpasal 6.7.4. (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja)

Ketika bahan baja struktural lebih tebal dari 19,05 mm, 15,875 mm untuk baja kekuatan tinggi, atau 12,7 mm untuk baja paduan yang di-quen dan di-temper, semua lubang perlu dilakukan baik itu dibor kecil dan dilebarkan ataupun dibor penuh. Ketika melebihi lima kali ketebalan digabungkan, atau seperti yang dipersyaratkan oleh Subpasal 6.7.4, (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja) bahan harus dibor kecil dan dilebarkan atau dibor ukuran penuh ketika dirakit..

Bila diperlukan, semua lubang baik itu dilubangi dengan tekanan kecil atau dibor kecil (dibor kecil jika batas ketebalan menentukan) harus lebih kecil dari 4,7625 mm dan, setelah perakitan, dilebarkan 1,5875 mm lebih besar atau dibor ukuran penuh agar lebih besar 1,5875 mm dari diameter nominal baut.

Jika ditampilkan dalam rencana, lubang pembesaran atau lubang *slotted* diperbolehkan menggunakan baut kekuatan tinggi.

a. Lubang yang dibuat dengan tekanan

Diameter alat penekan tidak boleh melebihi diameter dari pelubang dengan tekanan yang lebih besar dari 1,5875 mm. Jika ada lubang harus diperbesar untuk memasukkan baut, lubang seperti itu harus diperlebar. Lubang harus dipotong bersih tanpa ujung yang bergerigi ataupun yang kasar. Lubang yang sedikit kerucut secara alami merupakan hasil dari kegiatan pelubangan dengan tekanan dianggap dapat diterima.

b. Lubang yang diperlebar atau dibor

Pelebaran atau pengeboran lubang harus berbentuk silinder, tegak lurus dengan Bagian, dan harus memenuhi persyaratan Subpasal 6.7.1 (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja) tentang ukuran. Untuk memudahkan, pelebaran harus dilakukan dengan cara mekanis. Tepi yang kasar pada permukaan luar harus dihilangkan. Pelebaran dan pengeboran harus dilakukan dengan bor yang berputar, alat untuk melebarkan lubang yang berputar atau pemotong dengan alur. Bagian penyambungan yang dibutuhkan untuk lubang pelebaran atau lubang pengeboran harus dirakit dan dipegang dengan aman ketika lubang diperlebar atau dibor dan harus sesuai penandaan sebelum pelepasan Bagian tersebut.

c. Akurasi dari lubang

Lubang yang tidak lebih dari 0,79375 mm lebih besar dari diameter ekuivalen dalam yang sebenarnya dari diameter nominal yang mungkin diakibatkan oleh sebuah bor atau alat untuk membesarkan lubang dari diameter nominal dianggap dapat diterima. Lebar lubang *slotted* yang dihasilkan dari pemotong dengan api atau kombinasi pengeboran atau pelubangan dengan tekanan dan pemotongan secara umum tidak lebih dari 0,793 75 mm lebih besar dari lebar nominal. Permukaan akibat pemotongan dengan api harus dihaluskan.

d. Akurasi dari grup lubang

i. Akurasi sebelum pelebaran

Semua lubang yang dilubangi dengan tekanan secara penuh, baik dengan cara dilubangi kecil dengan tekanan, ataupun dibor kecil secara akurat dilubangi dengan tekanan setelah perakitan (sebelum pelebaran apapun dilakukan) pin silinder dengan diameter lebih kecil 3,175 mm dari ukuran

nominal lubang yang dilubangi dengan tekanan sebaiknya dibuat tegak lurus sisi bagian, tanpa penyimpangan, setidaknya 75% dari lubang berdekatan di bidang yang sama. Jika persyaratan tidak terpenuhi, potongan dari pelubangan dengan tekanan yang buruk akan ditolak. Jika lubang apapun tidak akan melewati pin dengan diameter lebih kecil 4,7625 mm dari ukuran nominal lubang yang dilubangi dengan tekanan, maka hal tersebut akan menjadi penyebab penolakan.

ii. Akurasi setelah pelebaran

Ketika lubang dilebarkan atau dibor, 85% dari lubang-lubang dalam setiap kelompok yang berdekatan setelah pelebaran atau pengeboran, tidak menunjukkan pergeseran lebih besar dari 9,525 mm antara ketebalan logam yang berdekatan.

Semua pola pengeboran baja harus memiliki ring baja yang diperkeras pada lubang yang dibuat dimensinya secara akurat dari garis tengah hubungan yang dipahatkan pada pola pelubangan. Garis pusat harus digunakan dalam penentuan lokasi pola secara akurat dari ujung hasil pemrosesan atau ujung dari garis yang ditandai dari Bagian pelat.

1) Hubungan lapangan yang dibor yang dikendalikan secara numerik

Sebagai pengganti dari lubang ukuran kecil dan pelebaran selama dirakit, atau lubang pengeboran ukuran penuh selama dirakit, penyedia jasa wajib memiliki pilihan untuk membuat lubang bor atau melubangi dengan tekanan lubang baut ukuran penuh dalam potongan yang belum dirakit dan/atau hubungan termasuk pola untuk digunakan dengan lubang

ukuran kecil dan lubang yang dilebarkan, dengan menggunakan peralatan yang sesuai yang mengontrol secara numerik (N/C) pengeboran atau pelubangan dengan tekanan. Lubang yang dilubangi dengan tekanan ukuran penuh harus memenuhi persyaratan Subpasal 6.7.1. (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja). Jika peralatan N/C untuk pengeboran atau pelubangan dengan tekanan digunakan, penyedia jasa, dengan cara perakitan pemeriksaan, akan dipersyaratkan untuk menunjukkan ketepatan dari prosedur pengeboran atau pelubangan dengan tekanan sesuai dengan ketentuan Subpasal 7.3.3. (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja).

Lubang yang dibor atau dilubangi dengan tekanan dengan peralatan N/C harus dibor atau dilubangi dengan tekanan untuk mencapai ukuran yang sesuai baik melalui potongan individual, atau dibor melalui kombinasi dari potongan yang dipegang erat.

2) Persiapan sambungan dilapangan

Lubang pada semua hubungan dan sambungan lapangan dari bagian utama rangka, balok pelengkung, gelagar bentang menerus, kolom sementara, menara (masing-masing sisi), gelagar pelat, dan rangka kaku harus dibor kecil atau dilubangi dengan tekanan kecil dan sesudah dilebarkan sewaktu perakitan dan pemboran ukuran penuh atau melalui suatu pola baja selagi dirakit. Lubang untuk sambungan lapangan dari gelagar memanjang dari balok yang dirol menerus di atas gelagar melintang atau rangka ruang dapat dibor ukuran penuh tidak dirakit untuk pola pelat baja, kecuali

bahwa semua lubang hubungan akhir lapangan untuk gelagar melintang dan gelagar memanjang harus dilubangi dengan tekanan ukuran kecil dan diperlebar ketika dirakit atau dibor ukuran penuh pada pola baja. Pelebaran atau pengeboran ukuran penuh dari lubang hubungan lapangan melewati pola baja harus dikerjakan sesudah pola diposisikan dengan perhatian lebih untuk posisi siku dan dengan kokoh dibaut pada bagian harus secara eksak diduplikasi. Pola yang digunakan untuk hubungan pada bentuk seperti bagian harus diposisikan secara akurat sehingga bagian diduplikasi dan tidak diperlukan penandaan pencocokan.

Untuk setiap hubungan, sebagai pengganti pelubangan dengan tekanan kecil dan pengeboran kecil dan pelebaran, fabricator boleh memulih opsi, pada opsinya, pengeboran lubang ukuran penuh untuk semua ketebalan atau bahan yang dirakit dalam posisi yang tepat.

3) *Annealing* dan pembebasan tegangan

Anggota struktur yang ditandai di dalam kontrak untuk di-*anneal* atau dinormalisasi harus diselesaikan dengan menggunakan mesin, pemboran, dan pelurusan yang dilakukan setelah perawatan panas. Suhu harus dipertahankan secara seragam sepanjang tanur selama pemanasan dan pendinginan sehingga tidak ada suhu berbeda pada dua titik bagian lebih dari 37,8 °C pada satu waktu.

Bagian dari baja *AASHTO M 270 (ASTM A 709) Grade 100/100W* atau *Grade 70W* tidak boleh di-*anneal* atau dinormalisasi dan harus dibebaskan tegangannya berdasarkan persetujuan dari Direksi Pekerjaan.

Pencatatan dari setiap beban dalam oven harus menandakan

potongan di dalam beban serta menunjukkan suhu dan jadwal yang secara aktual digunakan. Instrumen yang tepat, termasuk pirometer pencatat, harus disediakan untuk menentukan suhu setiap waktu di dalam oven. Catatan dari operasi perawatan harus tersedia dan memenuhi persetujuan dari Direksi Pekerjaan. Suhu penahan untuk penghilangan tegangan dari *Grade* HPS70W dan 100/100W tidak boleh melebihi 594 °C dan untuk *Grade* 70W tidak boleh melebihi 565 °C.

Bagian, seperti sepatu jembatan, kaki tiang, atau bagian lain yang dibangun di pabrik dengan bagian pengelasan dari pelat bersama-sama harus dibebaskan tegangan sesuai dengan prosedur *Section 4.4 dari ANSI/AASHTO/AWS D 1.5 Bridge Welding Code* yang diperbaharui, ketika diperlukan untuk rencana, spesifikasi, atau ketentuan khusus yang mempengaruhi kontrak.

4.3.4 Struktur pelat ortotropik

Batas toleransi dimensi untuk bagian jembatan pelat ortotropik harus diterapkan pada setiap Bagian yang lengkap tapi tidak dibebani dan harus seperti yang ditetapkan pada *Article 3.5 dari ANSI/AASHTO/AWS D 1.5 Bridge Welding Code* yang diperbaharui kecuali seperti berikut ini. Deviasi dari detail kerataan, kelurusan, atau kelengkungan pada setiap titik harus merupakan jarak dari tersebut ke ujung pola yang mendetailkan kelurusan atau kelengkungan dan yang mana merupakan dalam kontak dengan elemen dari dua titik yang lain. Definisi elemen seperti yang digunakan di sini merujuk ke panel, pengaku, flens individual atau bentuk-bentuk lain. Tepi pola dapat mempunyai setiap panjang tidak melebihi dimensi terbesar dari elemen yang sedang dikerjakan dan, untuk setiap panel, tidak melebihi 1,5 kali dimensi yang paling kecil dari panel; mungkin saja ditempatkan di mana pun di dalam batas-batas dari elemen. Deviasi harus diukur antara

titik yang berdekatan dari kontak dari tepi pola dengan elemen; jarak antara titik yang berdekatan dari kontak harus digunakan dalam rumusan itu untuk menentukan batas toleransi untuk segmen yang sedang diukur kapan pun jarak ini kurang dari dimensi yang dapat diterapkan dari elemen yang ditetapkan untuk rumusan itu.

a. Kerataan dari panel

- i. Istilah “panel” yang digunakan dalam bagian ini berarti suatu daerah yang bersih dari permukaan pelat baja yang dibatasi oleh pengaku, *web*, *flens*, atau tepi pelat dan bukan yang dibagi lagi lebih lanjut oleh setiap elemen seperti itu. Ketentuan dari bagian ini berlaku bagi semua panel di dalam jembatan; untuk pelat yang diperkaku pada hanya satu sisi seperti pelat lantai ortotropik atau flens dari gelagar boks, hal ini termasuk lebar bersih total pada sisi tanpa pengaku seperti juga panel antara pengaku pada sisi dengan pengaku-pengaku.

- ii. Deviasi maksimum dari kerataan atau kelengkungan detail dari suatu panel tidak boleh lebih besar dari

$$4,763 \text{ mm atau } 0,035 \frac{D}{\sqrt{T}} \quad (1)$$

dengan,

D adalah dimensi paling sedikit sepanjang batas panel, mm

T adalah ketebalan minimum dari pelat yang berisi panel, mm

Deviasi maksimum dari kelurusan atau kelengkungan detail di dalam setiap arah tegak-lurus dengan panjangnya dari suatu pengaku badan longitudinal atau pengaku lain yang bergantung pada tegangan tekan yang diperhitungkan tidak boleh melebihi $L/480$, dimana L = panjang pengaku antara bagian penampang, badan atau *flens* dalam mm.

Sedangkan, Deviasi maksimum dari kelurusan atau kelengkungan detail di dalam setiap arah tegak-lurus pada panjangnya dari suatu pengaku badan transversal atau pengaku lain yang tidak bergantung dengan tegangan tekan yang diperhitungkan tidak melebihi $L/240$, dimana L = panjang pengaku antara bagian penampang, badan atau flens dalam mm.

b. Pencirian dan pengapalan

Setiap bagian *harus* dicat atau diberi ciri dengan ciri pemasangan untuk penandaan dan diagram pemasangan yang memperlihatkan ciri ini yang harus disediakan oleh Direksi Pekerjaan.

Penyedia *jasa* harus menyediakan kepada Direksi Pekerjaan salinan dari pemesanan bahan, pernyataan pengapalan, dan diagram pemasangan sebagaimana yang diperintahkan oleh Direksi Pekerjaan. Berat dari bagian individual harus diperlihatkan dalam pernyataan tersebut. Berat bagian lebih dari 3 ton harus mempunyai tanda pada bagian tersebut. Bagian struktural harus dimuat pada truk atau mobil dengan cara sedemikian rupa sehingga bagian tersebut dapat diangkut dan diturunkan pada lokasi pengiriman tanpa menyebabkan tegangan, deformasi yang berlebihan atau kerusakan lainnya.

Baut, mur, *ring* baut (sebagaimana yang diperlukan) dari setiap lot kapasitas rotasi harus dikapalkan dalam kontainer yang sama. Hanya Jika terdapat satu nomor lot produksi untuk setiap ukuran dari mur dan ring baut, mur dan ring baut tersebut harus dikapalkan dalam kontainer yang terpisah. Pin, bagian kecil dan paket baut, ring baut, dan mur harus dikapalkan dalam boks, peti kayu, tong, tetapi berat kotor dari setiap paker tidak boleh melebihi 136,077 kg. Sebuah daftar dan gambaran dari bahan yang diisikan harus dicirikan dengan sederhana pada bagian luar setiap kontainer pengapalan.

4.4 Perakitan

4.4.1 Pekerjaan baut

Permukaan dari logam di dalam kontak harus dibersihkan sebelum perakitan. Bagian harus dirakit, di-pin dengan baik, dan dengan kuat digeser sebelum pengeboran, pelebaran lubang, atau pekerjaan baut dimulai. Bagian yang dirakit harus diambil terpisah, jika perlu, untuk penghilangan potongan kecil di bagian tepi yang dihasilkan oleh proses fabrikasi. Bagian harus bebas dari puntiran, tekukan, dan deformasi lain.

Pergeseran dilaksanakan selama perakitan harus hanya seperti untuk membawa bagian ke dalam posisi dan tidak cukup untuk memperbesar lubang atau membolak-balikkan logam tersebut.

4.4.2 Hubungan yang dilas

Permukaan dan tepi yang akan dilas harus rata, seragam, bersih dan bebas dari cacat yang akan mempengaruhi kualitas las. Persiapan ujung logam harus dilaksanakan sesuai dengan *ANSI/AASHTO/AWS D 1.5 Bridge Welding Code* yang diperbaharui

4.4.3 Perakitan pendahuluan dari hubungan lapangan

Hubungan lapangan dari bagian utama rangka, balok pelengkung, gelagar menerus, gelagar pelat, kolom sementara, rangka ruang kaku harus dirakit pendahuluan sebelum pemasangan sebagaimana diperlukan untuk membuktikan geometri dari struktur atau unit yang diselesaikan dan untuk membuktikan atau mempersiapkan sambungan lapangan. Pencapaian geometri secara akurat adalah tanggung jawab Penyedia jasa yang harus mengusulkan satu metoda perakitan pendahuluan yang sesuai untuk persetujuan oleh Direksi Pekerjaan. Metoda dan perakitan pendahuluan harus konsisten dengan prosedur pemasangan yang ditunjukkan pada rencana pemasangan dan diagram lawan lendut yang disiapkan oleh Penyedia jasa dan yang disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Sebagai suatu yang minimum, prosedur perakitan pendahuluan harus terdiri atas perakitan

tiga panel yang berdekatan yang dengan teliti disesuaikan untuk garis dan lawan lendur. Perakitan yang berturutan harus terdiri atas paling sedikit satu Bagian atau panel dari perakitan sebelumnya (yang diposisikan kembali jika perlu dan cukup dipin untuk meyakinkan alinemen yang akurat) ditambah dua atau lebih Bagian atau panel yang ditambahkan pada ujung muka. Di dalam kasus dari struktur yang lebih panjang dari 45,72 m, masing-masing perakitan harus tidak boleh kurang dari 45,72 m dengan mengabaikan panjang panel atau bagian menerus individu. Pada opsi fabrikator, urutan perakitan dapat mulai dari setiap lokasi pada struktur dan dilanjutkan pada satu atau dua arah sepanjang persyaratan terdahulu dipenuhi

a. Sambungan yang dibaut

Lubang sambungan yang dibaut harus disiapkan seperti yang diuraikan pada Subpasal 6.7. (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja). Di mana komponen yang dapat diterapkan, komponen utama harus dirakit dengan ujung yang digiling dari bagian yang ditekan dalam tumpuan penuh dan kemudian harus mempunyai lubang subsize yang dilebarkan sampai ukuran yang ditetapkan ketika hubungan itu dirakit.

b. Perakitan pemeriksaan dari pengeboran yang dikendalikan secara numerik

Ketika penyedia jasa memilih untuk menggunakan pengeboran yang dikendalikan secara numerik, suatu pemeriksaan perakitan harus dilakukan untuk setiap tipe struktural utama dari setiap proyek, kecuali jika ditunjukkan lain pada rencana atau di dalam ketentuan khusus, dan harus terdiri atas sedikitnya tiga bagian fabrikasi yang berdekatan atau, di suatu rangka, semua bagian pada paling sedikit tiga panel yang berdekatan tetapi tidak kurang dari jumlah panel yang berhubungan dengan tiga panjang batang yang berdekatan (yaitu., panjang antara sambungan lapangan). Pemasangan pemeriksaan harus didasarkan pada pemesanan yang

diusulkan dari pemasangan, sambungan pada perletakan, titik-titik kompleks khusus, dan pertimbangan yang serupa. Titik khusus dapat berupa portal dari rangka yang miring dalam tampak atas, sebagai contoh.

Pemasangan pemeriksaan harus lebih dipilih menjadi bagian pertama dari setiap tipe struktural utama untuk dibuat. Pemasangan di pabrik selain dari pemasangan pemeriksaan tidak akan diperlukan. Jika perakitan pemeriksaan gagal dengan beberapa cara spesifik untuk menunjukkan bahwa akurasi yang diperlukan sedang diperoleh, pemasangan pemeriksaan lanjutan dapat diperlukan oleh Direksi Pekerjaan untuk mana tidak ada biaya tambahan kepada Direksi Pekerjaan.

Masing-masing perakitan, termasuk lawan lendut, alinemen, akurasi dari lubang-lubang, dan kecocokan dengan sambungan yang digiling, harus disetujui oleh Direksi Pekerjaan sebelum pelebaran dimulai atau sebelum satu rakitan yang dibor dengan N/C dibongkar. Untuk sambungan yang di las di lapangan kecocokan bagian termasuk ruang yang tepat antara *flens* yang berbatasan harus harus disiapkan atau diverifikasi dengan segmet yang dirakit terdahulu sesuai dengan Subpasal 7.3.1. (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja). Bagian yang dihubungkan yang dirakit pendahuluan di pabrik untuk memastikan pencocokan yang tepat di lapangan harus diberi ciri yang cocok dan suatu diagram yang menunjukkan ciri seperti itu harus disediakan untuk Direksi Pekerjaan

4.4.4 Sambungan yang menggunakan baut kuat tinggi

Perakitan dari sambungan struktural yang menggunakan baut kekuatan tinggi AASHTO M 164 (ASTM A 325) atau AASHTO M 253 (ASTM A 490), atau baut- setara, yang dipasang sehingga untuk mengembangkan tegangan baut minimum yang diperlukan yang ditetapkan pada Tabel 4.2. Baut itu digunakan dalam lubang yang memenuhi persyaratan dari Subpasal 6.7. (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja).

a. Bagian yang dibaut

Semua bahan baut haruslah merupakan baja, tidak boleh terdapat bahan yang dapat dimampatkan seperti gasket atau penyekatan di dalam penjepit. bagian baja yang dibaut harus muat dan kokoh secara bersama-sama sehabis baut diertatkan, dan mungkin dilapisi atau tidak terlapis. Kemiringan dari permukaan-permukaan bagian dalam kontak dengan kepala baut atau mur tidak boleh melebihi 1:20 terhadap suatu bidang normal dengan sumbu baut.

b. Kondisi permukaan

Pada waktu perakitan, semua permukaan sambungan, termasuk permukaan yang berdekatan dari kepala baut dan mur, harus bebas dari kerak, kecuali kerak pengilingan yang keras, dan harus bebas dari kotoran atau bahan asing lainnya. Potongan kecil yang tersisa yang menahan dudukan yang kuat dari bagian hubungan dari kondisi yang diertatkan harus dihilangkan.

Tabel 4.2. Tegangan baut minimum

Ukuran dalam mm	Ketentuan AASHTO M ASTM A 325 (MPa)	Ketentuan AASHTO M ASTM A 490 (MPa)
12,7	82,74	103,42
15,87	131	165,47
19,05	193,05	241,32
22,22	268,9	337,84
25,4	351,63	441,26
28,57	386,11	551,58
31,75	489,53	703,26
34,92	586,05	834,26
38,1	710,16	1020,42

(Sumber : Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja)

- CATATAN 1 Tegangan baut minimum harus dipilih sebagai 70 % kuat tarik minimum yang ditetapkan dari baut (sebagaimana yang ditetapkan dalam Spesifikasi ASTM untuk pengujian baut A 325 dan A 490 dengan ulir UNC yang dibebani tegangan aksial) dibulatkan ke besar kilo pon yang terdekat..
- CATATAN 2 Cat diperkenankan pada permukaan yang saling berlekatan termasuk sambungan kritis friksi.

Permukaan yang saling berlekatan dari sambungan friksi harus memenuhi persyaratan dari paragraf berikut, sebagai yang dapat diterapkan:

- i. Di dalam sambungan yang tidak dilapisi, cat, termasuk setiap pelapisan pada permukaan yang tidak dikehendaki tanpa sengaja, harus dikeluarkan dari daerah di sekitar satu baut, tetapi tidak kurang dari 1 inci, dari ujung dari setiap lubang dan semua daerah di dalam pola baut.
- ii. Sambungan yang ditetapkan untuk mempunyai permukaan yang direkatkan yang dicat harus dibersihkan dengan tekanan dan dilapisi dengan suatu cat yang mempunyai kualifikasi sesuai dengan persyaratan "*Test Method to Determine the Slip Coefficient for Coatings Used in Bolted Joints*" sebagaimana yang diadopsi *the Research Council on Structural Connections*. Lihat *Appendix A of Allowable Stress Design Specification for Structural Joints Using ASTM A 325 or A 490 Bolts*, yang diterbitkan oleh *the Research Council on Structural Connections*.
- iii. Sambungan yang dilapisi tidak boleh dirakit sebelum lapisan dirawat selama waktu minimum yang digunakan dalam uji kualifikasi.
- iv. Permukaan yang direkatkan yang ditetapkan untuk digalvanis harus digalvanis panas sesuai dengan AASHTO M 111 (ASTM A 123), dan harus sesudah itu dibuat kasar dengan cara

penyikatan kawat dengan tangan. Penyikatan kawat dengan mesin tidak diperbolehkan.

4.4.5 Perakitan lapangan

Bagian harus dengan teliti dirakit seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana atau gambar pemasangan, dan setiap tanda yang sesuai harus diikuti. Bahan harus secara hati-hati ditangani sehingga tidak ada bagian akan bengkok atau rusak. Menempa yang akan melukai atau membengkokkan para anggota itu tidak boleh dilakukan. Permukaan perletakan dan permukaan yang menjadi hubungan permanen harus dibersihkan sebelum bagian tersebut itu dirakit. Sambungan dan hubungan lapangan harus mempunyai setengah lubang yang diisi dengan baut-baut dan pin pemasangan silinder (setengah baut dan setengah pin) sebelum pemasangan dan bautan keseimbangan dari baut kekuatan tinggi. Sambungan dan hubungan yang memikul lalu lintas selama pemasangan harus mempunyai tiga-per-empat dari lubang-lubang sehingga diisi.

Baut yang digunakan untuk melengkapi diharapkan adalah baut kekuatan tinggi yang sama dengan yang digunakan pada pemasangan. Jika baut lain digunakan maka baut tersebut harus mempunyai diameter yang sama seperti baut kekuatan tinggi tersebut, dan pin pemasangan silinder harus 0,793 mm lebih besar.

4.5 Pemasangan

Komponen baut harus ditentukan untuk nomor lot (termasuk nomor kapasitas rotasi) sebelum pengiriman, dan komponen harus dirakit ketika dipasang. Komponen seperti itu harus dilindungi dari kotoran dan uap lembab di lokasi kerja. Dipindahkan dari ruang simpan hanya jumlah komponen yang diantisipasi untuk dipasang selama suatu giliran kerja. Komponen yang tidak menggunakan harus dikembalikan ke ruang simpan yang dilindungi pada akhir giliran kerja. Komponen tidak boleh

dibersihkan dari pelumas yang diwajibkan untuk ada pada kondisi seperti ketika dikirim. Pemasangan untuk hubungan friksi yang menghimpunkan karat atau kotoran sebagai hasil kondisi-kondisi lokasi kerja harus dibersihkan, dilumasi kembali dan diuji untuk kapasitas rotasi sebelum dipasang. Semua mur digalvanis harus dilumasi dengan suatu pelumas berisi suatu bahan pencilup yang kasat mata. Baut polos harus “diberi minyak” untuk disentuh ketika dikirim dan dipasang. Pelumas pada permukaan yang terlihat harus dihilangkan sebelum pengecatan.

Suatu perangkat pengukur kekencangan (suatu alat pengaklibrasi Skidmore-Wilhelm atau perangkat yang menandai kekencangan baut yang dapat diterima) harus berada di lokasi kerja di mana baut kekuatan tinggi sedang dipasang dan dikencangkan. Perangkat pengukur kekencangan harus digunakan untuk melaksanakan uji kapasitas rotasi dan untuk memenuhi (1) kesesuaian untuk memenuhi persyaratan pada Tabel 4.3 dari rakitan baut yang lengkap, termasuk pelumasan jika diperlukan untuk digunakan di dalam pekerjaan, (2) kalibrasi dari kunci pas, jika yang dapat diterapkan, dan (3) pemahaman dan penggunaan dengan tepat oleh tukang pengencang baut dalam metode pemasangan. Untuk melaksanakan uji verifikasi kunci pas yang terkalibrasi untuk baut dengan cengkeram pendek, indikator kekencangan langsung (DTI) dengan pelat padat dapat digunakan sebagai pengganti dari perangkat pengukur kekencangan. Lot DTI harus pertama diverifikasi dengan baut cengkeraman yang lebih panjang dalam alat pengkalibrasi Skidmore-Wilhelm atau satu perangkat setara yang dapat diterima. Jumlah uji konfirmasi, jumlah dari uji untuk dilaksanakan, dan prosedur uji harus seperti yang ditetapkan pada Subpasal 6.6.4, (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja) sepanjang dapat diterapkan. Akurasi dari perangkat pengukur kekencangan harus ditegaskan oleh satu agen pengujian yang sah paling sedikit setiap tahunnya.

Baut-Baut dan mur secara bersamaan dengan ring baut dari ukuran dan kualitas yang ditetapkan, berlokasi sebagaimana yang diperlukan di bawah ini, harus dipasang di dalam lubang-lubang berada dalam sebuah alinemen dengan baik dan dikencangkan dan diperiksa dengan metoda pemasangan manapun yang digambarkan pada Subpasal 6.6.4 untuk paling sedikit kekencangan minimum yang ditetapkan pada Tabel 4.3. Pengencangan dapat dilaksanakan dengan memutar baut selagi mur dicegah dari berputar ketika tidak praktis untuk memutar mur. Kunci pas pas impak, jika digunakan, harus berada dalam kapasitas yang cukup dan dengan memadai udara disediakan pada setiap baut paling sedikit 10 detik.

Baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) dan baut yang digalvanis AASHTO M 164 (ASTM A 325) tidak boleh digunakan kembali. Baut AASHTO M 164 (ASTM A 325) lain dapat digunakan kembali jika disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Perbaikan atau pengencangan kembali baut sebelumnya yang pernah dikencangkan yang mungkin telah kendur oleh pengencangan baut yang bersebelahan tidak boleh dipertimbangkan sebagai yang akan digunakan kembali yang menyediakan pengecangan menjadi menerus dari posisi awal dan tidak memerlukan rotasi lebih besar, termasuk toleransi, dibanding yang diperlukan oleh Tabel 4.3. Baut harus dipasang di dalam semua lubang dari hubungan dan hubungan yang menghantarkan pada kondisi yang erat. Kondisi erat didefinisikan sebagai yang mempunyai semua lapisan dari hubungan dalam kontak yang kokoh.

Perekatan harus maju secara sistematis dari bagian yang paling kaku dari hubungan ke ujung bebas. Urutan perekatan harus diulangi sampai hubungan penuh berada dalam di suatu kondisi yang erat.

1) Prosedur pemasangan

Prosedur pemasangan harus memenuhi gambar pemasangan yang diserahkan sesuai dengan keketentuan bahwa Penyedia jasa

harus menyerahkan gambar yang mengilustrasikan secara penuh metode pemasangan yang diajukan. Gambar harus memperlihatkan dengan rinci dari semua kolom perancah, ikatan angin, kabel penahan, angker, perangkat pengangkat beban, dan benda-benda yang diikatkan pada bagian jembatan; urutan pemasangan, lokasi peralatan pengangkat dan kapal tongkang, kapasitas peralatan pengangkat, lokasi titik pengangkatan dari bagian jembatan, dan berat dari bagian-bagian baja. Rencana dan gambar harus serinci mungkin yang mengantisipasi fase dan kondisi selama pemasangan. Perhitungan mungkin diperlukan untuk mendemonstrasikan bahwa tegangan ijin tidak melebihi dan kapasitas penampang dan geometri akhir akan benar. Setiap modifikasi kepada atau penyimpangan dari prosedur pemasangan ini akan memerlukan gambar revisi dan pembuktian tegangan dan geometri

2) Tegangan pemasangan

Setiap tegangan pemasangan, yang diinduksi pada struktur seperti suatu hasil dengan menggunakan suatu metoda pemasangan yang berbeda dari rencana, harus diberi penjelasan oleh Penyedia jasa. Penyedia jasa, dengan biayanya sendiri, harus mempersiapkan perhitungan desain pemasangan untuk metoda yang diubah seperti itu dan menyerahkan perhitungan tersebut kepada Direksi Pekerjaan. Perhitungan itu harus menandai adanya setiap perubahan di dalam tegangan atau perubahan di dalam perilaku untuk struktur sementara dan akhir. Bahan tambahan yang diperlukan untuk menjaga kedua tegangan sementara dan akhir dalam batas-batas yang dapat diijinkan yang digunakan di dalam desain harus disediakan dengan biaya penyedia jasa.

Penyedia jasa akan bertanggung jawab atas penyediaan ikatan angin atau peralatan pengaku sementara untuk mengakomodasi

penanganan tegangan di bagian atau segmen individu dari struktur selama pemasangan.

4.5.1 Uji Kapasitas Rotasi

Uji kapasitas rotasi diperlukan untuk semua perakitan baut. Rakitan yang digalvanis harus diuji ketika digalvanisi. Ring baut diperlukan sebagai bagian dari uji meskipun ring baut tidak diperlukan seperti bagian dari prosedur pemasangan. Ketentuan berikut harus diterapkan:

- 1) Kecuali seperti yang dimodifikasi di sini, percobaan kapasitas rotasi harus sesuai dengan persyaratan dari AASHTO M 164 (ASTM A 325).
- 2) Masing-masing kombinasi lot produksi baut, lot mur dan lot ring baut harus diuji seperti suatu rakitan. Di mana ring baut tidak diperlukan oleh prosedur-prosedur pemasangan, ring baut tidak perlu tercakup dalam penandaan lot.
- 3) Nomor lot kapasitas rotasi harus ditetapkan untuk setiap kombinasi dari lot yang diuji.
- 4) Jumlah minimum pengujian harus merupakan dua perakitan per lot kapasitas rotasi.
- 5) Untuk baut yang cukup panjang untuk masuk ke dalam alat pengkalibrasi Skidmore- Wilhelm, perakitan baut, mur dan ring baut harus dirakit di suatu alat Skidmore-Wilhelm Calibrator atau satu perangkat yang setara yang dapat diterima.
- 6) Baut yang terlalu pendek untuk diuji pada alat pengkalibrasi Skidmore-Wilhelm dapat diuji pada suatu sambungan baja. Persyaratan kekencangan, di poin (g) di bawah, tidak perlu diterapkan. Persyaratan torsi maksimum, nilai torsi $<0,25 P.D$, harus dihitung dengan menggunakan suatu nilai dari P yang sama dengan tegangan pengujian putar yang diambil sebagai 1,15 kali tegangan baut pada Tabel 4.3. Tegangan yang dicapai di bawah rotasi (yaitu.,

tegangan pengujian putar) harus sama dengan atau lebih besar dari 1,15 kali tegangan baut diperlukan (yaitu : tegangan pemasangan) yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

- 7) Rotasi minimum dari satu tegangan yang awal sebesar 10% dari tegangan yang diperlukan minimum (kondisi dikencangkan) harus dua kali jumlah yang diperlukan dari putaran yang ditandai pada Tabel 4.3 tanpa terkelupas atau rusak.
- 8) Setelah tegangan pemasangan yang diperlukan terdaftar di atas telah terlewati, satu pembacaan dari tegangan dan torsi harus diambil dan direkam. Nilai torsi harus memenuhi persamaan (2).

$$Torsi \leq 0,25 P.D \quad (2)$$

dengan,

Torsi adalah nilai torsi yang terukur dalam N.m

P adalah tegangan baut yang teruku, Newton

D adalah diameter baut, meter

Tabel 4.3. Rotasi ring baut dari geometri kondisi dikencang tangan dari sisi luar dari bagian yang dibaut

Panjang Baut yang Diukur dari Sisi Bawah dari Kepala ke Bagian AkhirBaut	Kedua sisi yang tegak lurus terhadap kedua sumbu	Satu sisi tegak lurus terhadap dua sumbu dan sisi yang lain miring dengan sudut tidak lebih dari 1:20, ring baut yang dibuat-bevel tidak digunakan	Kedua sisi miring dengan sudut tidak lebih dari 1:20 terhadap arah tegak lurus sumbu baut, ring baut yang dibuat-bevel tidak digunakan
Lebih dari/ sama dengan 4 kali diameter baut	1/3 putaran	1/2 putaran	2/3 putaran
Lebih dari 4 kali diameter baut tetapi tidak lebih dari 8 kali diameter baut	1/2 putaran	2/3 putaran	5/6 putaran
Lebih dari 8 kali diameter baut tetapi tidak melebihi 12 kali diameter baut	2/3 putaran	5/6 putaran	1 putaran

(Sumber : Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja)

- CATATAN 1 Rotasi mur baut relatif terhadap baut, dengan mengabaikan elemen (mur atau baut) yang diputar. Untuk baut yang dipasang dengan $1/2$ putaran dan kurang, toleransi harus ditambah atau dikurang 30 derajat, untuk baut yang dipasang oleh $2/3$ putaran dan lebih, toleransi harus ditambah atau dikurangi 45 derajat.
- CATATAN 2 Hanya yang dapat diterapkan kepada hubungan di mana semua bahan di dalam cengkeram dari baut itu adalah baja.
- CATATAN 2 Tidak ada pekerjaan penelitian telah dilaksanakan oleh *Research Council Riveted and Bolted Structural Joints* untuk menetapkan prosedur *turn-of-nut* ketika panjang baut melebihi 12 kali diameter. Oleh karena itu, rotasi yang diperlukan harus ditentukan oleh pengujian nyata di perangkat pengencangan yang sesuai yang mensimulasikan keadaan sebenarnya.

4.5.2 Kebutuhan ring baut

Sisi paling luar dari baut mempunyai suatu kemiringan lebih besar dari 1:20 terhadap suatu bidang normal ke sumbu baut, suatu ring baut yang dilancipkan harus digunakan untuk mengimbangi untuk kekurangan kesejajaran bidang

Ring baut yang dimiringkan yang diperkeras harus sesuai dengan yang dipersyaratkan dan harus berbentuk segi empat atau persegi, harus memenuhi persyaratan dari *AASHTO M 293 (ASTM F 436)*, and harus di diruncingkan ketebalan ringnya. Ketika diperlukan, ring baut dapat menjepit pada satu sisi dari titik tidak lebih dekat sebesar $7/8$ dari diameter baut dari pusat ring baut.

Ring baut diperkeras tidak diperlukan untuk sambungan yang menggunakan baut kecuali sebagai berikut:

- 1) Ring baut yang diperkeras harus digunakan di bawah elemen yang diputar ketika pengencangan untuk dilaksanakan oleh metoda kunci pas yang terkalibrasi.
- 2) Terlepas dari metoda pengecangan, mur baut yang diperkeras harus digunakan di bawah kepala dan mur baut untuk dipasang di dalam bahan yang mempunyai suatu titik leleh yang ditetapkan kurang dari 275,79 MPa.
- 3) Bagaimanapun, ketika DTI digunakan DTI dapat menggantikan suatu ring baut yang diperkeras yang menyediakan suatu lubang standar yang digunakan.
- 4) Baut AASHTO M 164 (ASTM A 325) dari segala diameter atau baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) apabila diameter dalam sama dengan atau kurang dari 25,4 mm untuk dipasang di dalam lubang yang diperbesar atau lubang dengan *slotted* dalam arah melintang dalam satu lapisan luar, suatu ring baut yang diperkeras yang memenuhi AASHTO M 293 (ASTM F 436) harus digunakan.
- 5) Ketika diameter baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) di atas 25,4 mm adalah untuk dipasang dalam satu lubang yang diperbesar atau lubang dengan *slotted* dalam arah melintang dalam satu lapisan yang luar, ring baut yang diperkeras yang memenuhi AASHTO M 293 (ASTM F 436) kecuali dengan ketebalan 7,937 mm minimum harus digunakan di bawah kepala dan mur sebagai pengganti ring baut yang diperkeras dengan ketebalan standar. Beberapa ring baut yang diperkeras dengan ketebalan yang dikombinasikan sama dengan atau lebih besar dari 7,937 mm tidak memenuhi persyaratan ini.
- 6) Di mana baut AASHTO M 164 (ASTM A 325) dari segala diameter atau diameter dalam baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) sama dengan atau kurang dari 25,4 mm untuk dipasang di suatu lubang *slotted* dalam arah memanjang dalam satu lapisan luar, suatu ring baut pelat atau batang menerus dengan ketebalan sedikitnya 7,937

mm dengan lubang standar harus disediakan. Ring baut atau batang ini harus mempunyai ukuran cukup untuk menutup slot setelah pemasangan dan harus berbahan kelas struktural, tetapi tidak perlu diperkeras kecuali berikut ini. Ketika baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) dengan diameter di atas 25,4 mm adalah untuk digunakan di lubang *slotted* dalam arah memanjang pada lapisan eksternal, suatu ring baut yang diperkeras yang memenuhi AASHTO M 293 (ASTM F 436) tetapi dengan ketebalan minimum 7,937mm harus digunakan sebagai pengganti ring baut atau batang dari bahan kelas struktural. Beberapa ring baut yang diperkeras dengan ketebalan yang dikombinasi sama dengan atau lebih besar dari 7,937 mm tidak mencukupi persyaratan ini.

Perancangan baut pengganti persyaratan dengan suatu geometri yang menyediakan suatu lingkaran tumpuan di atas kepala atau mur dengan suatu diameter yang sama dengan atau lebih besar dibandingkan dengan diameter dari ring baut yang diperkeras yang memenuhi persyaratan dari AASHTO M 293 (ASTM F 436) mencukupi persyaratan dapat digunakan tanpa ring baut.

4.5.3 Metode pemasangan *turn-of-nut*

Ketika menggunakan metoda pemasangan *turn-of-nut*, ring baut yang diperkeras tidak diperlukan kecuali ditentukan lain. Pengujian yang menggunakan suatu contoh yang mewakili tidak kurang dari tiga rakitan baut dari tiap diameter, setiap panjang dan setiap kelas untuk digunakan di dalam pekerjaan harus dilaksanakan di awal pekerjaan dalam suatu perangkat yang mampu menandakan kekencangan baut. Pengujian ini harus menunjukkan bahwa metoda yang digunakan untuk menghasilkan suatu kondisi kokoh dan untuk mengendalikan putaran dari perekatan dengan tukang pemasang baut menghasilkan suatu kekencangan yang tidak kurang dari 5% dari kekencangan yang diperlukan oleh Tabel 4.4.

Pengujian kembali secara periodik harus dilaksanakan ketika diperintah oleh Direksi Pekerjaan.

Setelah perekatan, jumlah yang dapat diterapkan dari rotasi yang ditetapkan pada Tabel 4.4 harus dicapai. Selama operasi pengencangan harus tidak ada rotasi dari bagian yang tidak diputar oleh kunci pas. Pengencangan harus maju secara sistematis dari bagian yang paling kaku dari sambungan ke bagian tepi bebas.

4.5.4 Metode pemasangan dengan kunci pas terkalibrasi

Metode kunci pas terkalibrasi mungkin digunakan hanya ketika kunci pas dikalibrasi setiap hari dan ketika ring baut yang diperkeras digunakan di bawah elemen yang diputar.

Ketika kunci pas yang terkalibrasi digunakan untuk pemasangan, kunci pas tersebut harus di-set untuk menghantarkan torsi yang telah terkalibrasi untuk menghasilkan kekencangan tidak kurang dari 5 % kelebihan kekencangan minimum yang ditetapkan di Tabel 4.4. Prosedur pemasangan harus dikalibrasi dengan uji pembuktian sedikitnya sekali masing setiap hari kerja untuk setiap lot rakitan baut yang sedang dipasang hari itu di dalam pekerjaan. Uji pembuktian ini harus diselesaikan dalam satu perangkat pengukur kekecangan yang mampu dalam menunjukkan kekencangan baut aktual dengan pengujian tiga rakitan baut tipikal dari tiap lot. Baut, mur dan ring baut di bawah elemen harus yang diputar harus dicoba dari lot produksi. Kunci pas pas harus dikalibrasi kembali ketika perbedaan signifikan diperhatikan pada kondisi permukaan dari baut, ulir, mur atau ring baut. Hal itu harus dibuktikan selama pemasangan nyata dalam pekerjaan baja yang dirakit bahwa penyetelan kunci pas yang dipilih dengan pengkalibrasian tidak menghasilkan suatu rotasi mur atau kepala baut dari suatu kondisi terpegang erat lebih besar dari yang diizinkan pada Tabel 4.4. Jika kunci pas manual digunakan, mur harus ditorsi pada arah pengecangan ketika nilai torsi diukur.

Ketika kunci pas yang dikalibrasi digunakan untuk memasang dan baut yang dikencangkan di suatu hubungan, baut harus dipasang dengan ring baut yang diperkeras di bawah elemen yang diputar. Sesudah pemegangan erat baut, hubungan harus dikencangkan dengan menggunakan kunci pas yang dikalibrasi. Kekencangan harus maji secara sistematis dari bagian yang paling kaku ke tepi bebas hubungan. Kunci pas harus dikembalikan untuk “memacu” baut yang dikencangkan sebelumnya yang mungkin telah kendur sebagai hasil pengecangan berikut dari baut yang berdekatan sampai semua baut dikencangkan bersifat tensioned sampai jumlah yang ditentukan.

4.5.5 Metode pemasangan kekencangan langsung

Ketika Indikator Tegangan Langsung (*=Direct Tension Indicators = DTI*) memenuhi persyaratan dari Subpasal 5.2.6 (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja) untuk digunakan di baut kekuatan tinggi dalam menandai kekekencangan baut, hal tersebut harus dikenakan uji pembuktian yang digambarkan dan dipasang sesuai dengan metoda yang ditetapkan. Kecuali jika disetujui lain oleh *Engineer*, DTI harus dipasang di bawah kepala baut dan mur yang diputar untuk mengencangkan baut. Rekomendasi manufaktur harus diikuti untuk orientasi yang tepat dari DTI dan ring baut tambahan, bila ada, yang diperlukan untuk penggunaan yang benar dari DTI. Pemasangan suatu DTI di bawah elemen yang diputar dapat diizinkan jika suatu ring baut memisahkan elemen yang diputar dari DTI.

4.5.6 Verifikasi

Uji pembuktian harus dilaksanakan pada suatu perangkat pengukur kekencangan baut yang terkalibrasi. Suatu permukaan datar khusus yang harus digunakan di tempat dari pemegang kepala baut normal dimasukkan. Tiga uji pembuktian diperlukan untuk setiap

kombinasi dari lot kapasitas rotasi perakitan baut, lot DTI, dan posisi DTI yang berhubungan dengan elemen yang diputar (kepala baut atau mur) untuk digunakan di proyek. Perakitan baut yang harus dipasang pada perangkat pengukur kekencangan dengan DTI yang berlokasi pada posisi yang sama dalam pekerjaan. Elemen yang tidak diputar (baut atau mur) harus dikekang dari rotasi. Tujuan ujian pembuktian adalah untuk memastikan bahwa baut akan ada di atau di atas tegangan pemasangan yang diinginkan ketika jumlah keperluan ruang antara tonjolan mempunyai celah sebesar 0,127 mm atau kurang dan bahwa baut tidak akan mempunyai deformasi plastis yang berlebihan pada celah minimum yang diijinkan pada proyek.

Uji pembuktian harus diselenggarakan dalam dua tahap. Mur baut dan Perakitan DTI harus dipasang dengan suatu cara sehingga sedikitnya tiga dan terutama tidak lebih dari lima ulir ditempatkan antara muka tumpuan dari mur dan kepala baut. Pertama baut harus dikencangkan sampai beban yang sebanding dengan Tabel 4.4 di bawah Kekencangan Pembuktian untuk kelas dan diameter dari baut tersebut . Jika satu kunci pas impak digunakan, tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan kunci pas impak harus tidak lebih daripada dua pertiga tegangan yang diperlukan. Sesudah itu suatu kunci pas manual harus digunakan untuk mencapai kekencangan yang diperlukan. Jumlah penolakan- dari suatu pengukur celah 0,127 mm yang diruncingkan di dalam ruang antara tonjolan harus direkam. Jumlah penolakan DTI yang tidak dilapisi di bawah elemen stasioner atau elemen yang diputar, atau DTI yang dilapisi di bawah elemen stasioner, tidak boleh melebihi jumlah yang terdaftar pada Penolakan Pembuktian Maksimum pada Tabel 4.4 untuk suatu kelas dan diameter dari baut yang digunakan. Jumlah maksimum dari penolakan pembuktian untuk DTI yang dilapisi (yang digalvanis, dicat, atau dilapisi epoksi), ketika digunakan pada elemen yang diputar harus tidak lebih daripada jumlah ruang di DTI kurangi satu. Lot DTI ditolak jika banyaknya penolakan melebihi nilai di dalam Tabel

4.4 atau, untuk DTI yang dilapisi jika pengukur itu ditolak di dalam semua ruang.

Setelah jumlah penolakan direkam pada beban pembuktian, baut harus dikencangkan lelebih lanjut sampai pengukur celah 0,127 mm ditolak pada semua ruang dan suatu celah; yang kasat timbul paling sedikit satu ruang. Beban pada kondisi ini harus direkam dan baut dipindahkan dari perangkat pengukur pengencangan. Mur harus mampu untuk diturunkan dengan tangan sampai panjang ulir lengkap dari baut tidak termasuk ulir yang habis. Jika mur itu diturunkan untuk pangang ulir ini, lot DTI harus ditolak kecuali jika beban yang direkam adalah kurang dari 95% dari beban rata-rata yang diukur pada uji kapasitas rotasi untuk lot baut seperti yang ditetapkan pada Uji Kapasitas Rotasi dari Subpasal 7.5.4 (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja).

Tabel 4.4. Pemasangan kekencangan langsung

Diameter baut dalam mm	Tegangan verifikasi (N)		Verifikasi Penolakan Maksimum		DTI Spaces		Penolakan Pemasangan Minimum	
	A325	A490	A325	A490	A325	A490	A325	A490
12,7	57 826	71 171	1	2	4	5	2	3
15,87	88 964	111 206	1	2	4	5	2	3
19,05	120 990	164 504	2	2	5	6	3	3
22,22	182 377	226 859	2	2	5	6	3	3
25,4	240 204	298 031	2	3	6	7	3	4
28,57	262 445	373 651	2	3	6	7	3	4
31,75	333 617	475 960	3	3	7	8	4	4
34,92	395 892	564 924	3	3	7	8	4	4
38,1	480 408	689 474	3	4	8	9	4	5

(Sumber : Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja)

CATATAN 1 Jumlah Pembuktian Penolakan Maksimum adalah untuk DTI yang tak dilapisi yang digunakan di bawah elemen stasioner atau yang diputar dan untuk DTI yang dilapisi digunakan di bawah suatu elemen stasioner. Jumlah maksimum dari penolakan untuk DTI yang dilapisi yang digunakan di bawah suatu elemen yang diputar tidak boleh

lebih daripada banyaknya ruang di DTI kurangi satu. Jumlah penolakan pemasangan minimum adalah untuk DTI yang tak dilapisi yang digunakan pada elemen stasioner atau yang diputar dan untuk DTI yang dilapisi digunakan di bawah suatu elemen stasioner. Pengukur harus ditolak di dalam semua ruang ketika DTI yang dilapisi digunakan di bawah suatu elemen yang diputar.

Jika baut itu adalah terlalu pendek untuk diuji di dalam perangkat kalibrasi, bundel DTI harus dibuktikan di suatu baut panjang di suatu kalibrator untuk menentukan jumlah penolakan pada kekencangan pembuktian yang terdaftar pada Tabel 4.4. Banyaknya penolakan tidak boleh melebihi nilai yang terdaftar pada jumlah penolakan pembuktian maksimum pada Tabel 4.4. DTI lain dari lot yang sama kemudian harus dibuktikan dengan baut yang pendek di dalam lubang yang sesuai di dalam pekerjaan. Baut harus dikencangkan sampai pengukur celah 0,127 mm tidak dapat masuk pada semua ruang dan suatu celah yang kasat mata pada paling sedikit sedikitnya satu ruang. Baut itu kemudian harus dipindahkan dari perangkat pengukur kekencangan dan mur harus mampu untuk diturunkan dengan tangan untuk panjang ulir yang lengkap dari baut tidak termasuk kehabisan ulir. Lot DTI harus ditolak jika mur itu tidak dapat diturunkan sampai panjangnya ulir ini.

4.5.7 Pemasangan

Pemasangan dari perakitan baut yang menggunakan DTI harus dilaksanakan dalam dua tahap. Elemen stasioner harus dipegang melawan rotasi selama setiap langkah pemasangan. Pertama hubungan harus direkatkan dengan pas dengan baut-baut yang dipasang pada semua lubang dari hubungan dan dikencangkan dengan cukup untuk membuat semua lapisan dari hubungan menjadi hubungan yang kokoh. Besarnya ruang yang mengakibatkan pengukur celah 0,127 mm tidak

dapat masuk di dalam DTI setelah direkatkan dengan pas tidak boleh melebihi yang terdaftar pada banyaknya jumlah penolakan pembuktian maksimum pada Tabel 4.4. Jika jumlah melebihi nilai-nilai di dalam Tabel 4.4 perakitan baut yang harus dipindahkan dan DTI lain dipasang dan direkatkan dengan pas.

Untuk DTI yang tak-terlapis di bawah stasioner atau elemen yang diputar, atau DTI yang dilapisi di bawah elemen stasioner, kemudian baut-baut harus dikencangkan sampai jumlah penolakan dari pengukur celah 0,127 mm sama dengan atau lebih besar dari jumlah yang terdaftar pada jumlah penolakan pemasangan minimum di Tabel 4.4. Jika baut dikencangkan sehingga tidak ada celah yang kasat mata pada setiap ruang yang tersisa, , baut dan DTI harus dipindahkan, dan digantikan dengan sebuah baut yang dikencangkan dengan sesuai dan DTI yang baru.

Pengukur celah harus ditolak di dalam semua ruang ketika DTI yang diberi pelapis (yang digalvanis, dicat, atau dilapisi epoksi) digunakan di bawah elemen yang diputar.

4.5.8 Pemeriksaan.

Direksi pekerjaan harus menjamin semua pekerjaan yang dilakukan memenuhi standar. Sebelum pemasangan baut di dalam pekerjaan, Direksi Pekerjaan harus memeriksa tanda, kondisi permukaan dan ruang simpan dari baut, mur, ring baut, dan DTI, jika digunakan, dan permukaan-permukaan yang saling berhubungan dari hubungan untuk pemenuhan dengan persyaratan Subpasal 5.2, 7.5.1, dan 7.5.4 (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja).

Direksi Pekerjaan itu harus mengamati kalibrasi dan/atau prosedur pengujian yang diperlukan di Subpasal 7.5.4 (Pedoman pelaksanaan pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja) sepanjang dapat diterapkan, untuk mengkonfirmasi

bahwa prosedur yang dipilih adalah dengan baik digunakan dan, ketika begitu digunakan dengan perakitan baut disediakan, tegangan yang ditetapkan di dalam Tabel 4.4 dihasilkan.

Direksi Pekerjaan harus memonitor pemasangan baut di dalam bekerja untuk meyakinkan bahwa metoda pemasangan yang dipilih, seperti yang dipertunjukkan dalam uji permulaan untuk menghasilkan kekencangan yang ditetapkan, secara rutinitas diikuti. Baik Direksi Pekerjaan atau penyedia jasa, di hadapan Direksi Pekerjaan pada opsi Direksi Pekerjaan, harus memeriksa baut yang dikencangkan dengan menggunakan satu kunci pas pemeriksaan, kecuali jika baut-baut yang lain atau perangkat-perangkat indikator kekencangan langsung digunakan, mengizinkan pembuktian atau oleh metoda yang lain. Pemeriksaan uji harus diselenggarakan pada suatu cara yang tepat waktu sebelum hilangnya pelumas atau sebelum korosi mempengaruhi nilai torsi.

Tiga lot perakitan baut di dalam kondisi yang sama seperti mereka di bawah pemeriksaan harus ditempatkan secara individu di suatu perangkat yang dikalibrasi untuk mengukur tegangan baut. Pelaksanaan kalibrasi ini harus dilaksanakan sedikitnya sekali setiap hari pemeriksaan. Seharusnya terdapat suatu ring per baut di bawah elemen yang diputar pada pengencang setiap baut jika ring per baut digunakan di struktur. Jika ring baut tidak digunakan di dalam struktur, bahan yang digunakan di dalam perangkat pengukur kekencangan baut yang mana membatasi bagian untuk berputar harus berasal dari bahan yang mempunyai ketentuan yang sama seperti yang digunakan pada struktur. Di dalam perangkat yang terkalibrasi, masing-masing baut harus dikencangkan dengan cara yang sesuai untuk mencapai kekencangan yang ditetapkan. Kunci pas pas untuk pemeriksaan kemudian harus diterapkan pada baut yang dikencangkan untuk menentukan nilai torsi yang diperlukan untuk memutar mur atau kepala 5 ini (kira-kira 25,4 mm pada suatu jari-jari 304,8 mm) dalam arah

pengecangan. Rata-rata nilai torsi yang diperlukan untuk semua tiga baut harus dipilih sebagai nilai torsi pemeriksaan pekerjaan.

10% (sedikitnya 2%) dari baut-baut yang dikencangkan pada struktur yang diwakili oleh baut uji harus dipilih secara acak pada setiap hubungan. Nilai torsi pemeriksaan pekerjaan kemudian harus diterapkan pada masing-masing dengan memeriksa kunci pas baut yang diputar dalam arah bautan baut. Jika nilai torsi ini tidak membuat berputarnya kepala baut atau mur, baut di dalam hubungan itu akan dipertimbangkan untuk dikencangkan dengan benar. Tetapi jika torsi membuat berputarnya satu atau lebih kepala baut atau mur, maka nilai torsi pemeriksaan pekerjaan diterapkan pada semua baut pada hubungan tersebut. Setiap baut dengan kepala atau putaran mur yang berputar pada tahap ini harus dikencangkan dan diperiksa kembali. Penyedia jasa itu diharapkan, bagaimanapun, mengencangkan kembali semua baut di dalam hubungan dan menyerahkannya kembali untuk pemeriksaan, sepanjang nilai DTI-nya tidak terlalu berlebihan nilai kekencangannya atau rakitan baut tidak rusak.

4.5.9 Pengelasan

Kualifikasi pengelas, prakualifikasi detil las dan pemeriksaan las harus memenuhi persyaratan-persyaratan dari *ANSI/AASHTO/AWS D1.5 Bridge Welding Code* yang terbaru. Braket, jepitan, perangkat pengiriman, atau bahan lain yang tidak diperlukan oleh rencana atau ketentuan khusus tidak boleh dilas atau dilas pendek pada setiap bagian kecuali jika ditunjukkan pada gambar fabrikasi dan yang disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Penyedia jasa itu harus menyediakan semua perkakas, permesinan, dan peralatan yang perlu untuk memasang struktur.

Bahan yang untuk disimpan pada lokasi kerja harus ditempatkan penyangga yang dapat digerakkan di atas tanah. Bahan harus dijaga kebersihannya dan air yang timbul harus dengan baik dialirkan. Gelagar

harus ditempatkan tegak lurus dan disangga. Bagian yang panjang, seperti kolom dan rangka, harus didukung apda penyangga yang dapat digerakkan yang ditempatkan cukup dekat bersama-sama untuk mencegah kerusakan dari defleksi. Jika kontrak adalah untuk pemasangan saja, penyedia jasa harus memeriksa kesesuaian bahan yang diserahkan kepadanya dengan daftar dan laporan pengiriman dalam menulis setiap kekurangan atau kerusakan yang ditemukan. Penyedia jasa harus bertanggung jawab terhadap kehilangan setiap bahan selagi dalam pemeliharaannya, atau karena setiap kerusakan yang disebabkan pada bahan tersebut setelah diterima oleh penyedia jasa

Jika bangunan atas baja adalah untuk ditempatkan di suatu bangunan bawah yang dibangun di bawah suatu kontrak yang terpisah, Penyedia jasa harus membuktikan bahwa pekerjaan pasangan yang sudah dibangun berada dalam lokasi yang benar dan dibangun untuk bentuk dan elevasi yang benar sebelum memesan bahan baja. Beberapa hal yang harus diperhatikan

4.5.10 Hubungan pin

Mur pengarah dan penggerak harus digunakan dalam pin penggerak. Mur tersebut harus disediakan oleh penyedia jasa tanpa beban biaya. Pin harus digerakkan sehingga bagian tersebut akan mengambil penuh tumpuan pada pin tersebut. Mur pin harus digenggam kuat dan bagian kasar dari ulir dari mur dengan suatu pahat runcing.

4.5.11 Ketidakcocokan

Koreksi dari ketidakcocokan minor yang melibatkan sejumlah kecil pelebaran, pemotongan, penggerindaan dan pemotongan akan dipertimbangkan menjadi suatu bagian sah dari pemasangan. Bagaimanapun, setiap kesalahan di dalam fabrikasi di pabrik atau deformasi sebagai hasil dari penanganan dan pengangkutan akan

menjadi penyebab penolakan. Penyedia jasa harus bertanggung jawab untuk semua ketidakcocokan, kesalahan, dan kerusakan dan harus membuat koreksi dan penggantian.

4.6 Pengecekan Alinyemen dan Lawan Lendut

Selama pemasangan, Penyedia jasa harus menjamin segmen penopang dari struktur akan menghasilkan alinemen dan lawan lendut yang sesuai di dalam struktur yang diselesaikan. Rangka ruang dan ikatan angin diagonal harus dipasang seperti yang diperlukan selama proses pemasangan untuk menyediakan kestabilan dan menjamin geometri yang benar. Ikatan angin sementara, jika perlu pada setiap tahap pemasangan, harus disediakan oleh Penyedia jasa.

BAB 5

PRESERVASI PELAT ORTOTROPIK BAJA

5.1 Umum

Jembatan Citarum I merupakan lokasi uji skala penuh penelitian pelat Ortotropik yang dikembangkan oleh Peneliti Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan – Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan yang dilaksanakan pada Tahun 2009.

Dilatarbelakangi adanya surat dengan nomor 630/628/Bidtek dari Kepala Dinas Bina Marga Provinsi Jawa Barat terkait kondisi jembatan Citarum I yang berada di Ruas Jalan bojongsoang – Sp. Munjul KM. Bdg 10 +900 Kabupaten Bandung yang berisi tentang kondisi jembatan citarum I yang mengalami guncangan berlebih, lapisan permukaan/hotmix sering terkelupas dan banyaknya baut pada pelat Ortotropik yang hilang, maka Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan menugaskan beberapa personil untuk melakukan kegiatan pemeriksaan secara komprehensif, menganalisa kerusakan yang terjadi dan merumuskan metode dan jenis penanganan yang cepat dan tepat.

5.2 Pemeriksaan visual jembatan

Dari hasil pemeriksaan visual yang dilakukan pada bulan mei 2016, diperoleh gambaran kerusakan pada elemen-elemen jembatan sebagai berikut :

5.2.1 Jalan pendekat

Jalan pendekat di kedua sisi jembatan telah bergelombang lapisan perkerasannya. Jalan pendekat di sisi abutment 2 terdapat lapisan perkerasan yang berlubang dan retak di sisi lapisan perkerasan.



Gambar 5.1 Kondisi jalan pendekat jembatan

5.2.2 Siar muai

Siar muai jembatan di kedua sisi jembatan telah mengalami kerusakan. Kerusakan yang terjadi adalah lapisan Siar muai adalah kehilangan kemampuan bergerak karena tertutup endapan tanah.



Gambar 5.2 Kondisi siar muai jembatan

5.2.3 Parapet jembatan

Parapet jembatan mengalami kerusakan berupa terdapat bagian yang hilang seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 5.3 Kondisi parapet jembatan

5.2.4 Saluran drainase dan Pipa cucuran

Saluran drainase jembatan tersumbat oleh tanah dan barang buangan, hal tersebut terjadi hampir di setiap inlet saluran drainase. Sedangkan pipa cucuran kehilangan sebagian elemennya, hal tersebut terjadi di setiap outlet saluran drainase.



Gambar 5.4 Kondisi saluran drainase dan pipa cucuran

5.2.5 Lapisan permukaan

Kondisi lapisan permukaan dikategorikan mengalami rusak parah. Seperti yang terlihat pada gambar diatas, lapisan permukaan jembatan bergelombang, terdapat retak memanjang, berlubang dan terlihat pelat lantai Ortotropik. Selain mengganggu kenyamanan pengguna jalan, kondisi tersebut dapat mempercepat terjadinya korosi pada pelat lantai Ortotropik. Pada gambar terlihat juga posisi pelat penutup arah melintang

yang telah bergeser posisinya. Kerusakan lapisan permukaan banyak terjadi di setengah bentang ke arah abutment 2 atau Bale Endah.



Gambar 5.5 Kondisi lapis permukaan

5.2.6 Trotoar

Lapisan pelindung trotoar baja sudah mengelupas bahkan hilang baik pada bagian tepi maupun permukaan.



Gambar 5.6 Kondisi trotoar baja

5.2.7 Rangka Baja

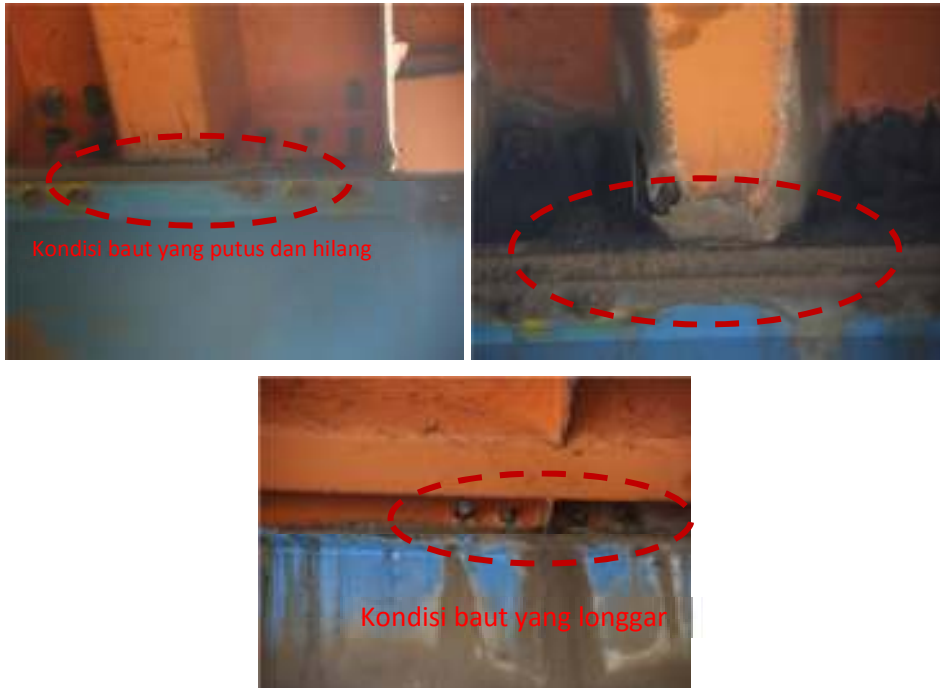
Pada batang bawah rangka baja terdapat sampah dan tumbuhan liar, hal tersebut terjadi di hampir setiap batang bawah jembatan. Batang diagonal rangka baja sudah mengalami penurunan mutu cat, terlihat dari adanya cat yang mengelupas. Baut-baut pada buhul jembatan juga telah mengalami penurunan mutu cat.



Gambar 5.7 Kondisi Rangka Baja

5.2.8 Pelat Ortotropik

Kondisi lapisan pelindung permukaan pelat Ortotropik sudah banyak yang terkelupas, dan beberapa spot/lokasi pelat Ortotropik sudah berkarat. Baut antar pelat Ortotropik maupun baut antara pelat Ortotropik dengan Gelagar Melintang banyak yang sudah longgar, patah atau hilang.



Gambar 5.8 Pelat Ortotropik

5.2.9 Gelagar Melintang

Terjadi penurunan mutu cat di hampir setiap Gelagar Melintang dan longitudinal beam/stringer jembatan



Gambar 5.9 Kondisi Gelagar Melintang

5.2.10 Perletakan

Terdapat perletakan karet jembatan yang terbakar, kemungkinan terjadi akibat adanya warga yang membakar sampah di bawah jembatan. Di lokasi yang berbeda terdapat perletakan karet yang melipat, kemungkinan hal tersebut terjadi karena beban dan pergerakan jembatan yang berlebih.



Gambar 5.10 Kondisi perletakan

5.2.11 Kepala jembatan

Di sekitar Kepala jembatan banyak ditumbuhi tumbuhan liar dan terdapat banyak barang buangan.



Gambar 5.11 Kondisi Kepala Jembatan

5.2.12 Aliran sungai

Terdapat endapan lumpur yang berlebih di daerah aliran sungai.



Gambar 5.12 Kondisi Aliran sungai

5.2.13 Rekap data pemeriksaan visual

Dari hasil pemeriksaan secara visual terhadap seluruh elemen jembatan, resume kerusakan kerusakan yang terjadi disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Matriks kerusakan jembatan

No	Elemen	Jenis Kerusakan	Volume	Saran Penanganan
1.	Jalan Pendekat	Berlubang	0.25 m ²	Patching
		retak	3 m	
		Bergelombang	5 m ²	
2.	Siar Muai	Kehilangan kemampuan bergerak	14 m	Pemeliharaan rutin
3.	Parapet	Bagian yang hilang	1.5 m ²	Patching
4.	Lapisan Permukaan	Bergelombang	175 m ²	Patching
		Berlubang		
		Retak		
5	Saluran drainase	Tersumbat	37 buah	Pembersihan/ Pemeliharaan rutin
6	Pipa cucuran	Bagian yang hilang	40 buah	Penggantian
7	Trotoar	Penurunan mutu cat	110 m ²	Pengecatan
8	Rangka baja	Penurunan mutu cat	28.8 m ²	Pembersihan dan pengecatan
		Tumbuhan liar	-	
		Endapan sampah	-	
9	Pelat Ortotropik	Penurunan mutu cat	10 m ²	Pengecatan
		Bagian yang hilang (baut)	Perlu pemeriksaan lanjutan	Penggantian
10	Gelagar Melintang	Penurunan mutu cat	10 m ²	Pengecatan
10	Perletakan	Terbakar	1 buah	Penggantian
		Melipat	1 buah	
11	Kepala jembatan	Tumbuhan liar	-	Pembersihan/ Pemeliharaan rutin
		Endapan sampah	-	
12	Aliran sungai	Endapan lumpur	30 m ²	Pembersihan/ Pemeliharaan rutin

* Volume merupakan perkiraan secara visual

5.3 Pengujian getaran jembatan

Pengukuran respon getaran struktur jembatan dilakukan dengan menggunakan sensor accelerometer dan menggunakan lalu lintas kendaraan sebagai eksitasi getaran. Vibro-recorder DC 204R digunakan untuk menguji getaran pada struktur. Terdiri dari alat pembaca getaran (data logger) dapat dilihat pada Gambar 5.13. yang berfungsi sebagai perekam getaran yang dikirim oleh pendeteksi getaran (Transducer) dapat dilihat pada berikut.



Gambar 5.13 Data Recorder dan sensor percepatan

Dalam pelaksanaan alat ini dipergunakan 2 channel memakai 2 (dua) buah accelerometer yang ditempatkan pada titik di tengah bentang dan seperempat bentang tengah jembatan Citarum dengan arah vertikal saja. Accelerometer ini berfungsi sebagai penangkap getaran bebas yang dihasilkan beban kendaraan kemudian disalurkan ke alat perekam data.

Penempatan Accelerometer di tengah bentang dan seperempat bentang dimaksudkan untuk mendapatkan nilai frekuensi alami mode lentur pertama yang merupakan frekuensi alami yang dominan terjadi. Dari hasil uji getaran ini kita akan mendapatkan nilai frekuensi alami aktual jembatan pada saat dibebani dan pada saat bebas beban.

Untuk analisis ini yang digunakan hanya nilai frekuensi alami jembatan pada saat bebas beban. Dalam analisis dinamik yang berhubungan dengan analisis sinyal, seri Fourier banyak digunakan untuk merubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi dengan

memisahkan sinyal dalam domain waktu menjadi beberapa sinyal menurut frekuensinya masing-masing dengan cara mencari besarnya amplitudo dari masing-masing sinyal yang diinginkan. Jadi sinyal dapat difilter atau dipisah-pisahkan berdasarkan nilai frekuensi yang dikehendaki.

Fourier menganggap bahwa sinyal periodik dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari sinyal sinus dan cosinus yang mempunyai frekuensi yang tak terbatas, yang disebut sebagai seri Fourier.

Untuk sinyal periodik, seri Fourier dapat ditulis sebagai :

$$F(t) = a_0 + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + a_3 \cos 3\omega t + \dots + a_n \cos n\omega t + \dots \\ \dots + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + b_3 \sin 3\omega t + \dots + b_n \sin n\omega t$$

atau :

$$F(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t)$$

Parameter a_0 , a_n , b_n , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$a_0 = \frac{1}{T} + \int_{t_1}^{t_1+T} F(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} + \int_{t_1}^{t_1+T} F(t) \cos n\omega t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} + \int_{t_1}^{t_1+T} F(t) \sin \omega t dt$$

Keterangan :

t_1 adalah waktu pada saat pengambilan data

T adalah waktu getar

a_0 adalah nilai rata-rata dari $F(t)$

Karena data yang diperoleh adalah merupakan data diskrit, maka parameter a_0 , a_n , b_n , dapat diperoleh dengan melakukan integrasi numerik yang merupakan penjumlahan harga dari setiap interval waktu untuk waktu dari t_1 sampai t_1+T .

Redaman kritis dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$C = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{1}{n} \times \frac{1}{2\pi} \times \ln \left(\frac{A_0}{A_n} \right) \times 100\%$$

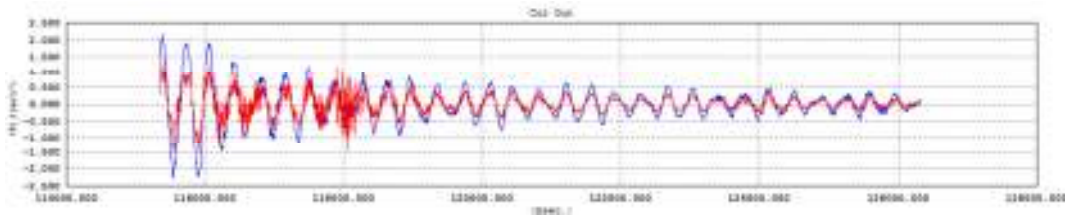
dengan,

- C adalah redaman
- δ adalah penurunan logaritmik
- n adalah jumlah osilasi
- A_0 adalah amplitudo ke-1
- A_n adalah amplitudo ke-n

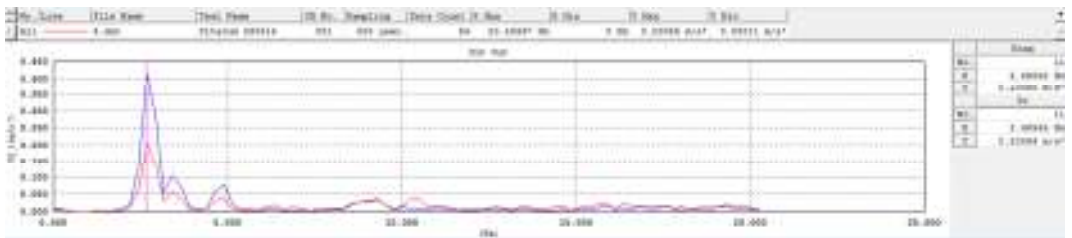
Hasil pengamatan visual juga harus diperhitungkan dalam penilaian kondisi bangunan atas jembatan. Luas retakan dari pengamatan visual merupakan keretangan objektif dalam evaluasi rasio redaman. Hasil pengukuran getaran pada jembatan Citarum Bojongsoang adalah sebagai berikut.



Gambar 5.14 Penempatan sensor accelerometer dan alat perekam data



Gambar 5.15 Bacaan sensor accelerometer terhadap waktu pada jembatan Citarum saat dilewati kendaraan



Gambar 5.16 Hasil processing data percepatan menjadi frekuensi alami struktur dengan FFT

5.4 Analisis dan Pembahasan

Redaman struktur dihitung berdasarkan hasil analisa dari pengukuran akselerasi dan frekuensi natural struktur, didapat parameter-parameter sebagai berikut:

$$n = 20$$

$$A_0 = 1.8798 \text{ m/s}^2$$

$$A_n = 0.45567 \text{ m/s}^2$$

$$t = 6.968 \text{ detik}$$

$$C = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{1}{20} \times \frac{1}{2\pi} \times \ln\left(\frac{1.8798}{0.45567}\right) \times 100\% = 11.12\%$$

Dari hasil perbandingan pengukuran respon jembatan yang dilakukan di Jembatan Citarum Bojongsoang pada tahun 2009 dan tahun 2016 adalah seperti pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Perbandingan hasil pengukuran respon jembatan Citarum Bojongsoang

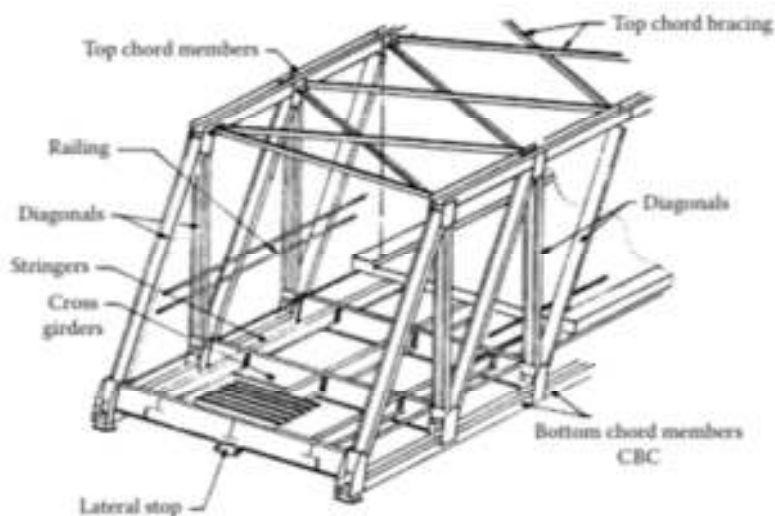
No.	Tahun	Hasil Pengukuran frekuensi dan redaman struktur	
		Frekuensi (Hz)	Redaman (%)
1	2009	2.685	7.46%
2	2016	2.685	11.12%

BAB 6

PENGEMBANGAN PELAT ORTOTROPIK BAJA

6.1 Jembatan Rangka Baja Baru

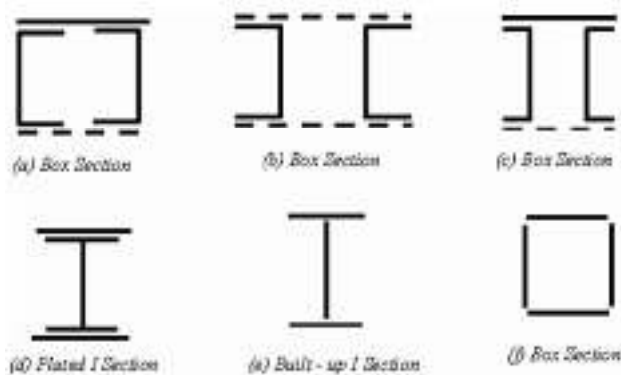
Jembatan rangka baja merupakan jembatan dengan konstruksi struktur yang tersusun dari batang-batang baja. Gambar 1 menunjukkan bagian-bagian yang menyusun jembatan rangka baja. Rangka utama pada jembatan rangka terdiri dari batang atas, batang bawah, dan batang diagonal. Bagian batang atas dan batang bawah pada jembatan rangka bertugas menahan *bending moment* akibat tarik dan tekan. Sementara batang diagonal membawa gaya geser dalam bentuk tarik dan tekan. Bagian batang lainnya memiliki fungsi utama sebagai pengaku, selain juga mendistribusikan beban.



Gambar 6.1. Bagian-bagian penyusun jembatan rangka

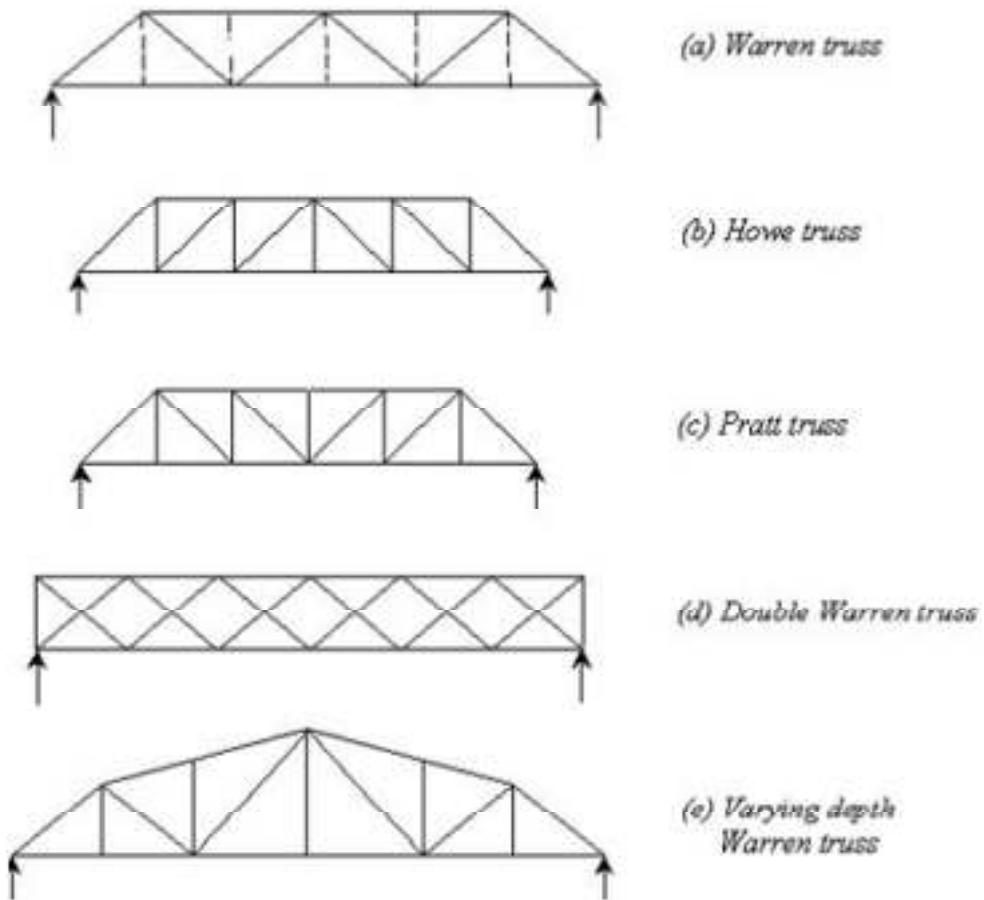
Jembatan rangka umumnya digunakan pada jembatan bentang pendek hingga menengah. Akan tetapi, jembatan rangka dapat digunakan pada jembatan bentang panjang apabila disandingkan dengan *cable stayed*.

Batang baja pada jembatan rangka dapat menggunakan berbagai tipe profil seperti ditunjukkan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2. Tipe penampang melintang profil baja yang digunakan untuk jembatan rangka

Jembatan rangka terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan susunan rangkanya seperti ditunjukkan pada Gambar 6.3. Seluruh tipe jembatan tersebut dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan berdasarkan panjang jembatan. Akan tetapi, apabila dibandingkan secara keseluruhan maka jembatan rangka tipe *Warren* merupakan tipe jembatan rangka yang paling ekonomis karena menggunakan material yang lebih sedikit sehingga biaya material dan perakitan dapat diminimalisir. Dalam hal kekuatan struktur, semakin panjang jembatan rangka maka dibutuhkan tinggi rangka yang lebih besar pada bagian tengahnya. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan optimasi ketinggian batang vertikal sehingga didapatkan ketinggian yang berbeda untuk setiap segmen rangka, agar menghasilkan desain jembatan rangka yang lebih ekonomis.



Gambar 6.3. Tipe jembatan rangka baja

6.1.1 Perencanaan jembatan rangka baja

Dalam perencanaan suatu jembatan rangka baja, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu :

- 1) Jembatan rangka harus memiliki proporsi struktur yang tepat.

Batang diagonal pada jembatan rangka biasanya memiliki sudut sebesar 50° - 60° terhadap batang horizontal dan ketinggian jembatan rangka harus lebih kecil dari $3 \times$ jarak as ke as antar *crossgirder*. Hal tersebut biasa diterapkan dalam perancangan awal untuk mencapai kestabilan struktur. Selain itu, desain jembatan rangka juga harus dibuat seekonomis mungkin. Untuk mendapatkan desain jembatan

rangka yang ekonomis dari sisi material maka berat batang rangka utama (batang atas dan batang bawah) harus sebisa mungkin dibuat mendekati berat batang diagonal rangka.

- 2) Perancangan batang rangka harus mempertimbangkan perilaku penampang.

Faktor panjang efektif untuk elemen batang, terutama batang tekan, dapat ditentukan berdasarkan analisis stabilitas. Hal ini diatur dalam peraturan yang berlaku terkait analisis detail. Ketinggian elemen harus dipilih sedemikian rupa sehingga memiliki ketebalan pelat yang masuk akal. Apabila terlalu tebal, maka radius gyrasinya akan lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan baja dengan luas area yang sama tetapi memiliki ketebalan yang lebih rendah. Oleh karena itu, pelat harus setipis mungkin tanpa kehilangan banyak penampang saat penampang efektif bekerja dan tanpa menyebabkan tekuk lokal. Faktor kompak atau tidak kompak penampang juga harus diperiksa.

Elemen tarik harus dibuat sekompak mungkin, tetapi harus memiliki ketinggian yang cukup untuk mengakomodir kebutuhan jarak baut pada posisi gusset dan dapat dengan mudah memasang balok melintang.

- 3) Detail pada titik pertemuan (*joint*) juga akan mempengaruhi perilaku jembatan.

Pada *joint* rangka utama, sumbu berat profil sebisa mungkin harus dibuat bertemu pada 1 titik untuk menghindari terjadinya momen sekunder. Sedangkan pada *joint* antara batang bawah dan *stringer* yang memiliki ukuran lebih tinggi daripada batang bawah, maka hal tersebut tidak dimungkinkan. Lebar sisi luar batang harus sama dengan batang vertical dan diagonal sehingga dapat menggunakan gusset yang sederhana tanpa perlu penyesuaian. Hal tersebut memungkinkan untuk tercapainya penampang bersih sebesar 85% penampang gross dengan penyusunan yang teliti pada splices. Hal ini berarti fraktur pada penampang bersih tidak akan terjadi pada *grade* baja yang umum.

4) Pengaku lateral pada jembatan rangka.

Pengaku lateral pada jembatan rangka berguna untuk menyalurkan beban hidup pada arah memanjang dan beban lateral kepada landasan dan juga untuk mencegah batang tekan mengalami tekuk. Pada titik pertemuan antara pengaku lateral dengan rangka utama terjadi interaksi yang dapat menyebabkan beban aksial pada batang, dan hal ini harus diperhitungkan. Beban angin pada batang diagonal dan vertikal pada rangka diasumsikan terdistribusi sama terhadap batang atas dan bawah. Portal ujung (baik diagonal maupun vertical) akan membawa beban yang bekerja pada batang atas menuju batang bawah.

6.1.2 Perancangan jembatan rangka baja

Jembatan rangka baja didesain yang pada intinya harus memenuhi beberapa persyaratan yang mencakup faktor kenyamanan dan faktor keamanan suatu jembatan. Faktor kenyamanan berhubungan dengan kekakuan struktur jembatan. Jembatan yang memiliki kekakuan rendah akan menyebabkan penggunaanya tidak nyaman. Sementara apabila jembatan terlalu kaku, maka desain jembatan sudah tidak bernilai ekonomi. Kekakuan struktur jembatan diindikasikan oleh lendutan yang terjadi pada tengah bentang jembatan saat menerima beban. AASHTO menyatakan bahwa suatu struktur jembatan hanya diijinkan memiliki lendutan maksimal sebesar $L/800$. Nilai lendutan tersebut dihitung berdasarkan seluruh beban hidup yang bekerja pada jembatan dalam kondisi layan.

Faktor keamanan berhubungan dengan kekuatan elemen jembatan dalam menerima beban. Setiap elemen harus dipastikan memiliki kekuatan yang cukup pada saat mendistribusikan beban yang bekerja. Kekuatan elemen diindikasikan oleh nilai gaya atau momen dalam keadaan ultimit yang harus lebih kecil daripada nilai momen atau gaya nominal yang dimiliki penampang setelah dikalikan dengan faktor reduksi. Pada *software* desain struktur, hal ini di sederhakan menjadi suatu nilai yang disebut dengan

capacity ratio, yaitu nilai yang merupakan perbandingan nilai gaya atau momen dalam keadaan ultimit yang harus lebih kecil daripada nilai momen atau gaya nominal yang dimiliki penampang setelah dikalikan dengan faktor reduksi, yang harus bernilai lebih kecil sama dengan 1 (tidak boleh melebihi 1).

6.1.3 Jembatan rangka baja baru dengan lantai ortotropik

Penelitian yang telah dilakukan Puslitbang Jalan dan Jembatan menunjukkan bahwa penggunaan pelat baja ortotropik sebagai lantai pada jembatan rangka dapat menghasilkan jembatan rangka yang lebih ekonomis. Hal ini disebabkan karena lantai ortotropik memiliki berat yang lebih ringan apabila dibandingkan dengan lantai beton pada umumnya. Berat lantai ortotropik sebesar $2,6 \text{ kN/m}^2$ hampir setara dengan berat lantai beton setebal 20 cm, yaitu $4,8 \text{ kN/m}^2$. Dengan semakin ringannya beban lantai yang harus dipikul oleh rangka baja, maka berat rangka juga akan menurun mengikuti dimensi batang rangka yang semakin mengecil.

Jembatan Kali Progo yang terletak di Kranggan, Jawa Tengah dapat dijadikan sebagai contoh. Jembatan Kali Progo merupakan jembatan rangka baja tipe Warren dengan panjang bentang 60 m. Jembatan Kali Progo masih menggunakan pelat lantai beton dengan ketebalan 20 cm. Rangka utama pada jembatan ini memiliki berat total 259,6 Ton. Tampak depan Jembatan Kali Progo dapat dilihat pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4. Jembatan Kali Progo, Kranggan, Jawa Tengah

Pemodelan struktur jembatan dengan menggunakan *software* analisis struktur dilakukan sebagai pembuktian hasil penelitian bahwa “penggunaan pelat baja ortotropik sebagai lantai jembatan rangka baja akan menghasilkan jembatan rangka baja yang ekonomis dari segi material”. Dari model dapat diketahui tegangan yang terjadi pada setiap batang rangka. Selanjutnya, tegangan pada batang yang paling kritis ditinjau untuk diketahui perbedaannya pada jembatan rangka baja dengan lantai beton maupun dengan lantai ortotropik. Batang yang paling kritis adalah batang atas pada posisi tengah rangka utama jembatan.

Pertama, pemodelan dibuat untuk Jembatan Kali Progo sesuai dengan keadaan sebenarnya. Dari Model 1 ini, model Jembatan Kali Progo eksisting, didapat nilai tegangan batang yang paling kritis sebesar 206202 kN/m^2 . Selanjutnya, dibuat Model 2 yaitu Jembatan Kali Progo dengan menggunakan pelat baja ortotropik sebagai lantai. Dari Model 2 didapat nilai tegangan batang yang paling kritis sebesar 172797 kN/m^2 . Hal ini berarti, penggunaan pelat baja ortotropik sebagai lantai jembatan rangka baja menghasilkan tegangan 16,2% lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan pelat lantai beton sehingga dimensi profil yang digunakan masih dapat dioptimasi.

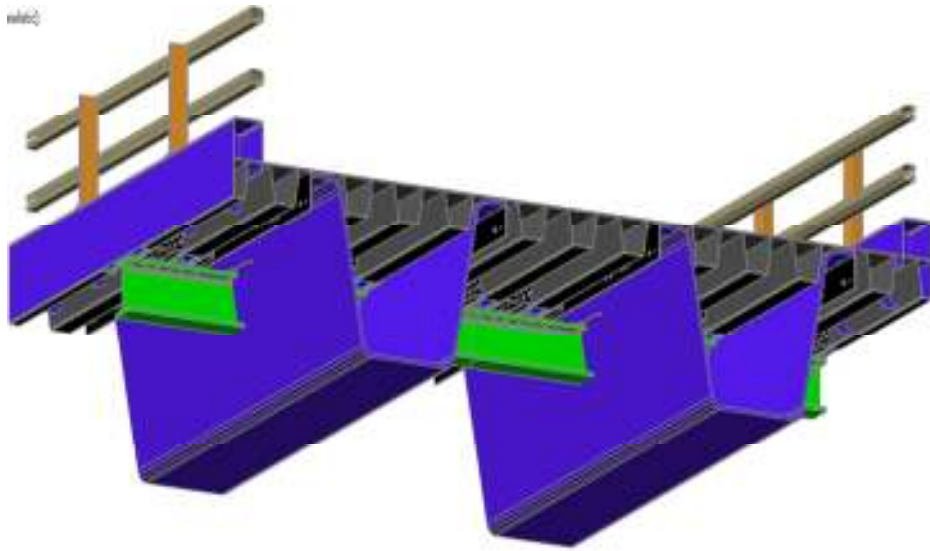
Kajian selanjutnya dilakukan dengan membuat Model 3, yaitu jembatan rangka baja dengan panjang bentang yang sama dengan

Jembatan Kali Progo menggunakan pelat lantai baja ortotropik dengan rangka utama yang optimal.

Kedua perbandingan tersebut diatas menunjukkan bahwa penggunaan pelat lantai baja ortotropik memberikan keuntungan baik digunakan dalam perbaikan jembatan pada jembatan eksisting maupun digunakan pada jembatan baru. Sebagai lantai pengganti dalam pekerjaan perbaikan jembatan, pelat lantai baja ortotropik menghasilkan tegangan yang lebih kecil. Artinya beban yang bekerja pada jembatan berkurang. Sebagai lantai pada jembatan baru, pelat baja ortotropik akan mengurangi berat rangka utama sehingga akan meminimalisir biaya material.

6.2 Gelagar Modular dengan Lantai Ortotropik Baja (Jembatan Cirebon)

Selain Teknologi Pelat Baja Ortotropik, secara terpisah, Puslitbang Jalan dan Jembatan juga mengembangkan Teknologi Gelagar Baja Modular. Teknologi tersebut diterapkan pada Jembatan Cirebon. Elemen struktur utama dari Jembatan Cirebon merupakan dua buah gelagar baja tipe U yang dibuat dengan metode tekuk (*bending*) sehingga meminimalkan proses sambungan las. Kedua gelagar baja kemudian dihubungkan dengan *crossbeam* dan ditambahkan lapisan pelat beton yang di cor di tempat, sehingga gelagar jembatan memiliki perilaku penampang komposit antara baja dan beton.



Gambar 6.6. Ilustrasi penggunaan pelat baja ortotropik dengan gelagar baja modular

DAFTAR PUSTAKA

1. ARRB, (2010). Bridge management and evaluation, Corporate Presentation, ARRB Group Ltd, ABN 68 004 620 65.
2. AASHTO. (2010). LRFD bridge design specifications. Washington, D.C., American Association of State Highway and Transportation Officials.
3. Kementerian PU. Rancangan Pedoman Perencanaan Pelat Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja, Puslitbang Jalan dan Jembatan.
4. Kementerian PU. Rancangan Pedoman Pelaksanaan Pelat Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja, Puslitbang Jalan dan Jembatan.
5. Irawan,R.,2007. Laporan Kegiatan *Penyusunan DED Struktur Pelat Pracetak untuk Penggantian Lantai Jembatan*, Puslitbang Jalan dan Jembatan
6. Irawan,R.,2008. Laporan Kegiatan *Kajian dan Pengawasan Uji Skala Penuh Pelat* Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja, Puslitbang Jalan dan Jembatan
7. Irawan, R. 2009. Laporan Kegiatan Kajian dan Pengawasan Uji Skala Penuh Pelat Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja, Laporan Akhir Puslitbang Jalan dan Jembatan T.A. 2009
8. Choirullah,A.Riza (et.al). 2009. Konsep Pedoman Penerapan Pelat Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja, Puslitbang Jalan dan Jembatan
9. Choirullah,A.Riza (et.al), 2009. As-Built-Drawing Uji Skala Penuh Pelat Ortotropik Baja untuk Penggantian Lantai Jembatan Rangka Baja (Paket III – DIPA Puslitbang Jalan dan Jembatan), PT. Mentari Ufuk Timur.
10. Choirullah,A.Riza (et.al), 2010. Gambar Kontrak Frame Landasan Uji-Paket Pekerjaan Peralatan Pengujian Pelat Ortotropik (Paket XXIX – DIPA Puslitbang Jalan dan Jembatan), PT. Global Indotama Teknologi



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian Dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat
www.pusjatan.pu.go.id