

SE Menteri PUPR

Nomor : 13/SE/M/2017

Tanggal : 3 Agustus 2017

PEDOMAN

Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil

Perencanaan Teknis Pelat Ortotropik Baja
Segmental Untuk Lantai Jembatan Rangka Baja



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DAN PERUMAHAN RAKYAT**



**MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
REPUBLIK INDONESIA**

Kepada Yth.:

- 1. Para Pimpinan Tinggi Madya di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;**
- 2. Para Pimpinan Tinggi Pratama di Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.**

**SURAT EDARAN
NOMOR : 13 /SE/M/2017**

**TENTANG
PEMBERLAKUAN 3 (TIGA) PEDOMAN
BIDANG JALAN DAN JEMBATAN**

A. Umum

Dalam rangka menunjang perencanaan teknis di Bidang Jalan dan Jembatan, serta pembangunan infrastruktur PUPR, perlu memberlakukan 3 (tiga) Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan dengan Surat Edaran Menteri PUPR sebagai acuan dalam pelaksanaan pekerjaan bidang jalan dan jembatan, sebagai berikut:

1. Pedoman Perencanaan Teknis Pelat Ortotropik Baja Segmental untuk Lantai Jembatan Rangka Baja (Pd 05 - 2017 - B);
2. Pedoman Spesifikasi Asbuton Butir B 50/30 (Pd 06 - 2017 - B); dan
3. Pedoman Pelaksanaan Perkerasan Beton Bertulang Serat (Pd 07 - 2017 - B).

B. Dasar Pembentukan

1. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan antara Pemerintah, Pemerintahan Provinsi, Pemerintahan Daerah Kabupaten/Kota (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 82, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4737);

3. Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2015 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 16);
4. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan;
5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 07/PRT/M/2012 tentang Penyelenggaraan Penelitian dan Pengembangan di Bidang Jalan;
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 15/PRT/M/2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 05/PRT/M/2017 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 15/PRT/M/2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 20/PRT/M/2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi Pimpinan Tinggi Madya di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Pimpinan Tinggi Pratama di Direktorat Jenderal Bina Marga, perencana, pelaksana, dan pengawas dalam:

1. Memberikan gambaran yang jelas mengenai perencanaan teknis struktur pelat ortotropik baja untuk para perencana dan pengelola jembatan, baik untuk diterapkan pada jembatan rangka baja baru atau yang ada di lapangan;
2. Menilai mutu asbuton untuk bahan perkerasan jalan;
3. Meningkatkan penggunaan beton semen serat sebagai perkerasan jalan di Indonesia.

D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup Surat Edaran ini meliputi pemberlakuan Pedoman sebagai berikut:

1. Pedoman Perencanaan Teknis Pelat Ortotropik Baja Segmental untuk Lantai Jembatan Rangka Baja (Pd 05 - 2017 - B)

7

Pedoman ini menjelaskan aturan mengenai penentuan geometris dan dimensi elemen sistem lantai; ketentuan tegangan ijin dan respon struktur dibawah beban yang bekerja dari struktur pelat ortotropik baja segmental dengan pengaku dalam arah memanjang sebagai lantai jembatan rangka baja.

2. Pedoman Spesifikasi Asbuton Butir B 50/30 (Pd 06 - 2017 - B)

Pedoman spesifikasi ini dimaksudkan sebagai acuan dalam menilai mutu Asbuton B 50/30 untuk bahan perkerasan jalan dan untuk mendapatkan mutu Asbuton B 50/30 yang memenuhi persyaratan fisik untuk perencanaan dan pelaksanaan lapen, campuran beraspal panas dan hangat serta penetrasi macadam dengan asbuton (lapen asbuton).

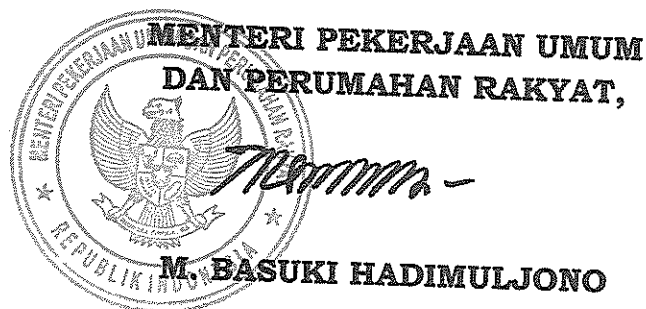
3. Pedoman Pelaksanaan Perkerasan Beton Bertulang Serat (Pd 07 - 2017 - B)

Pedoman ini menetapkan ketentuan tentang bahan, proporsi bahan, pencampuran, pengakutan, penempatan, pekerjaan akhir (*finishing*), pengendalian mutu Beton Bertulang Serat (BBS) atau *Fiber Reinforced Concrete* (FRC) untuk pelaksanaan perkerasan jalan beton cor di tempat.

E. Penutup

Surat Edaran ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 3 Agustus 2017



Tembusan disampaikan kepada Yth.:

1. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
2. Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

7

Daftar isi

| | |
|---|----|
| Daftar isi | i |
| Prakata | v |
| Pendahuluan | vi |
| 1 Ruang lingkup | 1 |
| 2 Acuan normatif | 1 |
| 3 Istilah dan definisi | 2 |
| 4 Urutan penggunaan pedoman | 3 |
| 5 Bahan | 5 |
| 5.1 Baja struktural | 5 |
| 5.2 Baut | 6 |
| 6 Pengelasan | 7 |
| 6.1 Umum | 7 |
| 6.2 Ukuran efektif dari las sudut | 7 |
| 6.2.1 Ukuran maksimum dari las sudut | 7 |
| 6.2.2 Ukuran minimum dari las sudut | 7 |
| 6.3 Panjang efektif minimum dari las sudut | 8 |
| 6.3.1 Penyesuaian bentuk las sudut | 8 |
| 7 Baut | 8 |
| 7.1 Umum | 8 |
| 7.2 Tipe lubang | 9 |
| 7.3 Persyaratan ring baut | 10 |
| 7.4 Ukuran dari baut kekuatan tinggi | 11 |
| 7.5 Spasi dari baut | 11 |
| 7.5.1 Jarak melintang dan jarak vertikal dari baut | 11 |
| 7.5.2 Spasi minimum dari baut | 11 |
| 7.5.3 Jarak bersih minimum antar-lubang | 11 |
| 7.5.4 Spasi maksimum dari baut | 11 |
| 7.6 Jarak tepi dari baut | 11 |
| 8 Ketebalan minimum pelat baja | 12 |
| 8.1 Ketebalan dari elemen pelat | 12 |
| 8.2 Kelangsingan maksimum dari pengaku longitudinal | 14 |
| 9 Pembebanan berulang dan pertimbangan kekerasan | 14 |
| 9.1 Jangkauan tegangan fatik yang diizinkan | 14 |
| 9.2 Siklus beban | 19 |
| 10 Tegangan yang diizinkan | 19 |

| | | |
|--------|--|----|
| 10.1 | Baja..... | 19 |
| 10.2 | Logam las..... | 20 |
| 10.3 | Baut..... | 20 |
| 10.3.1 | Umum..... | 20 |
| 10.3.2 | Tegangan pada baut yang diizinkan | 21 |
| 10.3.3 | Gaya tarik, dan kombinasi gaya tarik dan gaya geser yang diterapkan..... | 30 |
| 10.3.4 | Fatik | 31 |
| 10.4 | Tegangan yang diizinkan..... | 31 |
| 10.4.1 | Tegangan lentur lokal pada pelat lantai | 31 |
| 10.4.2 | Tegangan lentur pada pengaku longitudinal | 32 |
| 10.4.3 | Tegangan lentur dalam gelagar melintang..... | 32 |
| 11 | Kriteria untuk defleksi | 32 |
| 12 | Struktur pelat ortotropik | 32 |
| 12.1 | Umum..... | 32 |
| 12.2 | Luasan kontak beban roda | 32 |
| 12.3 | Lebar efektif dari pelat lantai..... | 32 |
| 12.4 | Diafragma..... | 33 |
| 12.5 | Persyaratan kekakuan..... | 33 |
| 12.5.1 | Defleksi | 33 |
| 12.5.2 | Getaran | 33 |
| 12.6 | Lapisan aus | 33 |
| 12.7 | Pengaku tertutup | 34 |
| | Lampiran A (informatif) Contoh perencanaan teknis | 35 |
| | Bibliografi..... | 61 |

| | |
|--|---|
| Gambar 1 - Diagram alir proses perencanaan pelat ortotropik baja segmental | 4 |
|--|---|

| | |
|--|----|
| Gambar A.1 - Diagram alir analisa | 36 |
| Gambar A.2 - Model elemen hingga pelat baja ortotropik jembatan | 37 |
| Gambar A.3 - Model elemen hingga satuan modul pelat baja ortotropik | 38 |
| Gambar A.4 - Sambungan M – M 1 | 39 |
| Gambar A.5 - Sambungan M – M 2, M – M 3, dan M – GM | 40 |
| Gambar A.6 - Beban garis | 41 |
| Gambar A.7 - Tipikal beban terbagi merata untuk mencari pembebanan maksimum..... | 41 |
| Gambar A.8 - Dimensi truk tronton..... | 42 |
| Gambar A.9 - Roda belakang truk tronton..... | 42 |
| Gambar A.10 - Roda depan truk tronton | 43 |
| Gambar A.11 - Beban truk tronton | 43 |
| Gambar A.12 - Roda belakang truk bms | 44 |

| | |
|--|----|
| Gambar A.13 - Beban truk bms | 44 |
| Gambar A.14 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-1 | 47 |
| Gambar A.15 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-1 | 47 |
| Gambar A.16 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-1 | 48 |
| Gambar A.17 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-1 | 48 |
| Gambar A.18 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-2 | 49 |
| Gambar A.19 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-2 | 49 |
| Gambar A.20 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-2 | 50 |
| Gambar A.21 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-2 | 50 |
| Gambar A.22 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-3 | 51 |
| Gambar A.23 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-3 | 51 |
| Gambar A.24 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-3 | 52 |
| Gambar A.25 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-3 | 52 |
| Gambar A.26 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-4 | 53 |
| Gambar A.27 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-4 | 53 |
| Gambar A.28 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-4 | 54 |
| Gambar A.29 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-4 | 54 |
| Gambar A.30 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-5 | 55 |
| Gambar A.31 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-5 | 55 |
| Gambar A.32 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-5 | 56 |
| Gambar A.33 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-5 | 56 |

| | | |
|----------|---|----|
| Tabel 1 | Sifat bahan baja struktural minimum | 5 |
| Tabel 2 | Sifat-sifat bahan baut minimum | 6 |
| Tabel 3 | Ukuran minimum las sudut | 7 |
| Tabel 4 | Dimensi lubang nominal | 9 |
| Tabel 5 | Spasi minimum dari baut | 11 |
| Tabel 6 | Jarak tepi minimum dari pusat lubang standar ke tepi dari bagian yang dihubungkan | 12 |
| Tabel 7 | Rasio lebar-ketebalan terbatas untuk elemen bagian | 13 |
| Tabel 8 | Jangkauan tegangan fatik yang diizinkan | 15 |
| Tabel 9 | Klasifikasi fatik tipikal untuk pelat ortotropik baja | 16 |
| Tabel 10 | Siklus tegangan yang harus dipertimbangkan untuk perencanaan teknis | 19 |
| Tabel 11 | Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural | 22 |
| Tabel 12 | Tegangan yang diizinkan untuk baut baja karbon rendah dalam MPa | 28 |
| Tabel 13 | Tegangan yang diizinkan untuk baut kuat tinggi atau bahan yang dihubungkan dalam MPa | 28 |
| Tabel 14 | Koefisien slip μ | 29 |
| Tabel 15 | Slip untuk faktor ukuran lubang K_h | 30 |
| Tabel 16 | Tegangan izin fatik | 31 |
| Tabel 17 | Lebar efektif dari pelat lantai dengan pengaku versi AASHTO | 33 |

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel A.1 | Model konstituif bahan baja | 38 |
| Tabel A.2 | Kombinasi pembebanan..... | 45 |
| Tabel A.3 | Tegangan von mises maksimum model global | 45 |
| Tabel A.4 | Tegangan prinsipal model global | 45 |
| Tabel A.5 | Regangan maksimum model global..... | 46 |
| Tabel A.6 | Defleksi vertikal maksimum model global | 46 |
| Tabel A.7 | Gaya yang diijinkan pada sambungan baut | 57 |
| Tabel A.8 | Gaya maksimum pada sambungan M – M 1 | 57 |
| Tabel A.9 | Gaya maksimum pada sambungan M – M 2 | 57 |
| Tabel A.10 | Gaya maksimum pada sambungan M – M 3 | 58 |
| Tabel A.11 | Gaya maksimum pada sambungan M – GM..... | 58 |
| Tabel A.12 | Siklus tegangan yang harus dipertimbangkan untuk perencanaan teknis | 58 |
| Tabel A.13 | Stress level dari pelat ortotropik dan baut untuk konfigurasi dengan gelagar memanjang | 59 |
| Tabel A.14 | Perbandingan nilai defleksi maksimum berbanding dengan defleksi izin | 60 |

Prakata

Pedoman ini memberikan ketentuan cara perencanaan teknis pelat ortotropik baja segmental untuk digunakan sebagai lantai jembatan rangka baja. Ketentuan tersebut dimaksudkan untuk menjamin perencanaan teknis dapat menghasilkan bentuk struktur yang memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, kestabilan, dan ketahanan fatik.

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis Rekayasa Jalan dan Jembatan 91-01/S2 melalui Gugus Kerja Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007 dan dibahas dalam forum rapat konsensus tanggal 24 Oktober 2011 di Bandung oleh Subpanitia Teknis, yang melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait.

Pendahuluan

Jembatan rangka baja adalah jembatan dengan jumlah sekitar 8,04 % dari seluruh stok jembatan nasional yang berjumlah 33.783 jembatan (Data IBMS 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 elemen jembatan terutama pelat lantai jembatan mengalami penurunan tingkat pelayanan. Penurunan tingkat pelayanan dapat terkait dengan kerusakan yang berasal dari kekuatan bahan ataupun akibat repetisi beban lalu-lintas yang melintas di atas jembatan. Untuk itu dilakukan upaya rehabilitasi dengan cara menggunakan pelat konvensional yaitu beton cor di tempat atau dengan menggunakan dek baja bergelombang yang dipasang secara permanen. 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.

Seiring dengan perkembangan teknologi bahan konstruksi, maka muncul suatu ide untuk mengembangkan jenis konstruksi yang dapat mengatasi faktor penghambat (waktu dan biaya) salah satunya dengan menggunakan pelat baja yang bersifat ortotropik secara struktur dan dibuat dalam bentuk segmen. Melalui sistem tersebut penggunaan peralatan, *bekisting* dapat diminimalisir dan waktu pelaksanaan serta waktu penutupan lalu-lintas dapat diperpendek 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. Untuk mendukung penerapan teknologi tersebut maka pada tahun 2012 dibuatlah dua buah pedoman yang masing-masing menetapkan ketentuan teknik mengenai perencanaan teknis dan pelaksanaan konstruksi.

Perencanaan teknis pelat ortotropik baja segmental untuk lantai jembatan rangka baja

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menjelaskan aturan mengenai penentuan geometris dan dimensi elemen sistem lantai; ketentuan tegangan ijin dan respon struktur 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.

Pedoman ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai perencanaan teknis struktur pelat ortotropik baja untuk para perencana dan pengelola jembatan, baik untuk diterapkan pada jembatan rangka baja baru atau yang ada di lapangan.

2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

SNI 05-3065-1992 *Baut kepala segi enam untuk konstruksi dengan kekuatan tinggi, mempunyai ukuran lebar kunci besar dan panjang ulir metrik nominal - Kelas C untuk tingkat 8.8 dan 10.9*

SNI 7563:2011, *Spesifikasi profil, pelat, dan batang tulangan baja struktural dari baja karbon dan baja paduan rendah kekuatan tinggi, serta pelat baja struktural paduan hasil quen dan temper untuk jembatan*

RSNI T-02-2005, *Standar pembebanan untuk jembatan*

ASTM A709/A709M-11, *Standard Specification for Structural Steel for Bridges*

ASTM A6/A6M-11, *Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling*

ASTM A307 – 04, *Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 PSI Tensile Strength*

ASTM A325-04, *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*

ASTM A490-04, *Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength*

ASTM A354 – 04, *Standard Specification for Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs, and Other Externally Threaded Fasteners*

ASTM A449 - 04a, *Standard Specification for Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs*

ASTM A449 - 04b, *Specification for Hex Cap Screws, Bolts, and Studs, Steel, Heat Treated, 120/105/90 ksi Minimum Tensile Strength, General Use*

ANSI/AASHTO/AWS D1.5: *Bridge Welding Code*, 2002.

AASHTO M270M270-11-UL, *Standard Specification for Structural Steel for Bridges*

AASHTO LRFD, *Standard Specifications for Highway Bridges* 17th Edition. 2005.

AASHTO LRFD, *Bridge Design Specifications* SI Unit 4th Edition, 2007

California Department of Transportation, *Bridge Design Specification*, 2004

3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan pedoman ini, istilah dan definisi berikut digunakan

3.1

baut

sebuah pengikat berulir dengan kepala, umumnya tersedia dalam panjang hingga sekitar delapan inci

3.1

baut *countersunk*

baut tanpa tonjolan di atas permukaan bagian yang akan disambung

3.2

diafragma

sebuah komponen lentur melintang yang menghubungkan dengan komponen lentur longitudinal

3.3

fatik

kerusakan akibat fluktuasi tegangan berulang yang menuju pada retakan bertahap yang terjadi pada elemen struktural

3.4

kuat leleh

tegangan suatu material menunjukkan deviasi tertentu yang dibatasi

3.5

lubang *slotted*

lubang yang sengaja dibuat tidak bulat untuk melakukan penyesuaian pemasangan komponen baja dengan arah tertentu

3.6

ortotropik

pelat yang dibuat dari pelat baja yang diperkaku dengan pengaku baja terbuka dan tertutup yang dilaskan pada bagian bawah dari pelat

3.7

pengaku tertutup

pengaku baja pada pelat ortotropik yang terdiri dari pelat yang membentuk palung, dilaskan ke pelat lantai sepanjang dua sisi pengaku

3.8

pengaku terbuka

pengaku baja pada pelat ortotropik yang terdiri dari pelat tunggal atau bagian yang dirol yang dilaskan pada pelat lantai

3.9

rentang tegangan ijin fatik

rentang tegangan maksimum yang dapat dipertahankan tanpa kegagalan detail untuk sejumlah siklus tertentu

3.10

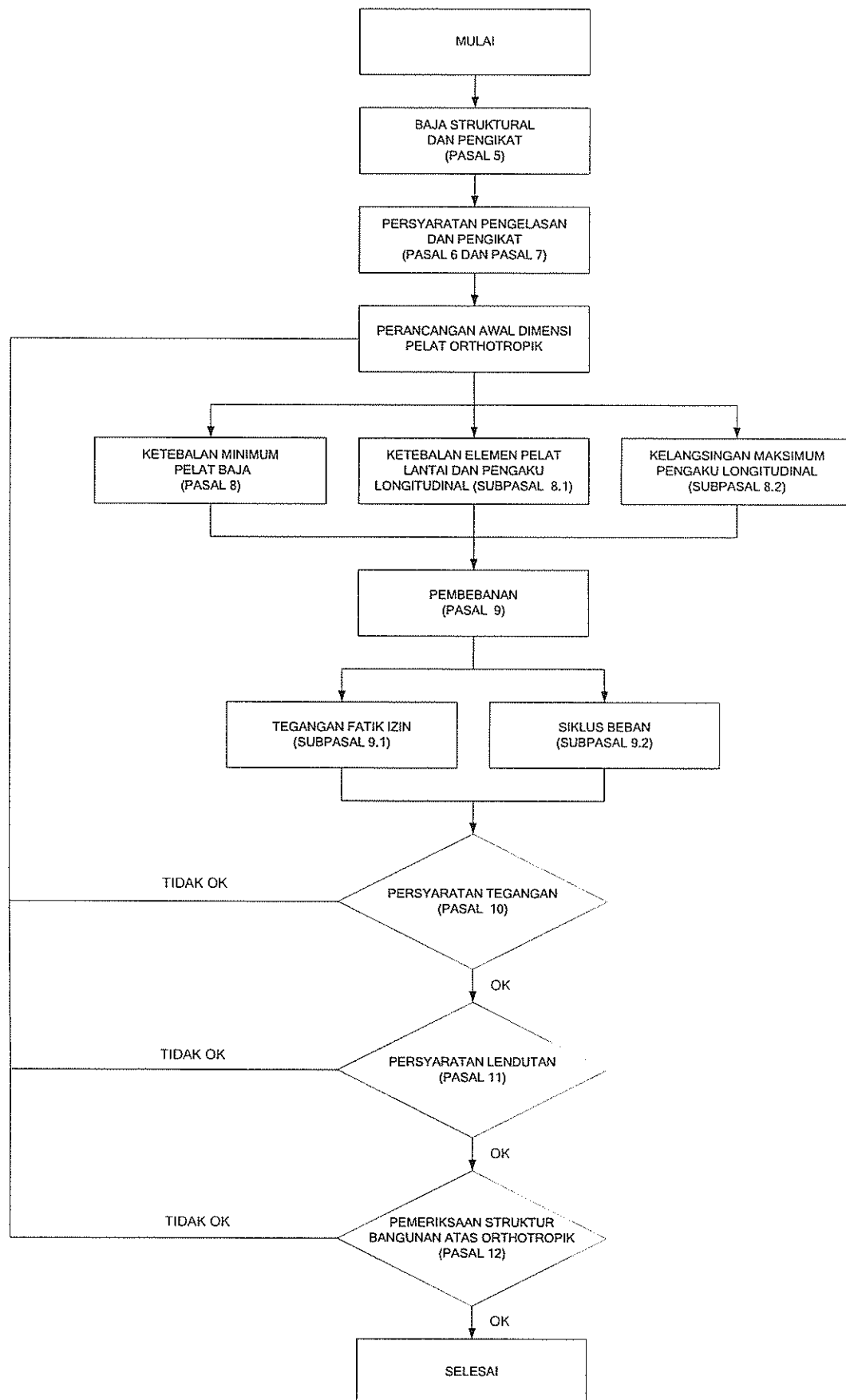
tegangan ijin

tegangan maksimum yang diijinkan di bawah beban layanan penuh

4 Urutan penggunaan pedoman

Urutan perencanaan teknis yang dilakukan adalah seperti yang terlihat pada Gambar 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 pada pasal 6 dan pasal 7 untuk dijadikan bahan penentuan awal bentuk sistem pelat ortotropik.
- b) Perencanaan teknis awal dimensi pelat ortotropik seperti dapat dilihat pada pasal 8 dan subpasal 8.1 untuk pelat utama dan pelat pengaku.
- c) Penentuan bentuk pelat ortotropik baik tipe terbuka atau tipe tertutup dengan memperhatikan subpasal 8.2.
- 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 5.
- f) Penentuan dimensi akhir pelat ortotropik yang memenuhi persyaratan tegangan yang diizinkan dari subpasal 9, subpasal 10 dan persyaratan defleksi yang diizinkan dari subpasal 11.
- g) Pemodelan dan analisa akhir pelat ortotropik yang sudah memasukkan komponen baut dan sambungan las, dan detailing akhir struktur lainnya
- h) Perencanaan teknis struktur baut dan sambungan las yang memenuhi persyaratan tegangan yang diizinkan dari pasal 10.



Gambar 1 - Diagram alir proses perencanaan pelat ortotropik baja segmental

5 Bahan

Pedoman ini menetapkan ketentuan baja yang tercantum dalam subpasal berikut. Baja lainnya mungkin dapat digunakan, namun, sifat mereka, kekuatan, tegangan yang diijinkan, dan kemampuan kerja harus ditetapkan dan ditentukan.

5.1 Baja struktural

Baja struktur harus memenuhi sifat bahan yang ditunjukkan pada Tabel 1. Modulus elastisitas semua kelas dari baja struktur harus diasumsikan untuk menjadi 199948 MPa dan koefisien muai linear -17,78 per derajat Celcius. Modulus elastisitas geser harus diasumsikan menjadi 77 221,1 MPa.

Tabel 1 Sifat bahan baja struktural minimum

| Penandaan oleh AASHTO ^{ac} | 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 |
| <p>CATATAN 1 Kecuali kekenyalan takik wajib dan persyaratan-persyaratan kemudah-lasan, tujuan-tujuan ASTM adalah serupa dengan tujuan-tujuan AASHTO. Baja-baja yang memenuhi persyaratan-persyaratan AASHTO bersifat prakualifikasi untuk digunakan dalam jembatan-jembatan yang dilas</p> <p>CATATAN 2 Bentuk baja struktural paduan yang di-<i>quen</i> dan di-<i>temper</i> dan pemipaan yang secara mekanis tanpa klem memenuhi semua persyaratan-persyaratan mekanika dan kimia dari A 709 <i>Grades</i> 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 <i>Grades</i> 100/100W</p> | | | | | | |
| <p>^a AASHTO M 270 <i>Grade</i> 36 dan ASTM A 709 <i>Grade</i> 36 masing-masing ekuivalen dengan AASHTO M 183 dan ASTM A 36</p> <p>^b AASHTO M 270 <i>Grade</i> 50 dan ASTM A 709 <i>Grade</i> 50 masing-masing ekuivalen dengan AASHTO M 223 <i>Grade</i> 50 dan A 572 <i>Grade</i> 50</p> | | | | | | |

| | |
|--------------|--|
| ^c | AASHTO M 270 <i>Grade</i> 50W dan ASTM A 709 <i>Grade</i> 50W masing-masing ekuivalen dengan AASHTO M 222 dan A 588 |
| ^d | AASHTO M 270 <i>Grade</i> 70W dan ASTM A 709 <i>Grade</i> 70W ekuivalen dengan ASTM A 852 |
| ^e | AASHTO M 270 <i>Grades</i> 100/100W dan ASTM A 709 <i>Grades</i> 100/100W masing-masing ekuivalen dengan AASHTO M 244 dan ASTM A 514 |
| ^f | ASTM A 709, <i>Grade</i> HPS 70W menggantikan AASHTO M 270, <i>Grade</i> 70W |

5.2 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 2.

Tabel 2 Sifat-sifat bahan baut minimum

| 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 | 1034,21 |
| | | | | 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 (<i>high-strength low-alloy steel</i>) | | | | | | |
| CATATAN 4 QT adalah baja yang di- <i>quen</i> dan di- <i>temper</i> (<i>quenched and tempered steel</i>) | | | | | | |

6 Pengelasan

6.1 Umum

Logam dasar baja untuk dilas, logam 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*."

6.2 Ukuran efektif dari las sudut

6.2.1 Ukuran maksimum 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 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 1,5875 mm kurang dari ketebalan dari bahan, kecuali jika las itu terutama ditunjukkan pada gambar untuk diperluas untuk memperoleh tebal leher penuh.

6.2.2 Ukuran minimum dari las sudut

Ukuran las sudut minimum harus seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 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 |
| $T \leq \frac{3}{4}$ | $T \leq 19,0$ | $\frac{1}{4}$ | 6 |
| $T > \frac{3}{4}$ | $T > 19,0$ | $\frac{5}{16}$ | 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 | | | |

6.3 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.

6.3.1 Penyesuaian bentuk las sudut

Las sudut yang mendukung suatu gaya tarik yang tidak paralel terhadap sumbu dari las, atau 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 perencanaan teknis dan gambar detail.

7 Baut

7.1 Umum

Di dalam menghitung kekuatan untuk geser dan tarik baut, luas penampang berdasarkan diameter nominal harus digunakan. Galvanisasi baut 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-baut di dalam spesifikasi ini harus 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 metoda yang lebih dipilih untuk diameter baut satu inci nya atau kurang. Sistem baut dan ulir tidak boleh digunakan untuk diameter baut lebih besar dari satu inci. Ketika menggunakan metoda mur ganda suatu nilai torsi untuk mur tipis heksagonal, relatif terhadap mur utama, harus ditunjukkan dalam rencana untuk meyakinkan 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 tegangan dan regangan akibat friksi sambungan merugikan kinerja layan struktur. Sambungan itu termasuk:

- a) Sambungan yang terkena beban fatik.
- b) Sambungan dengan baut yang dipasang di lubang yang diperbesar.
- c) Sambungan dengan baut yang dipasang pada lubang *slotted*, gaya pada sambungan adalah di dalam arah selain dari normal (yaitu dalam arah sekitar 80 dan 100 derajat) ke sumbu dari slot.
- d) Sambungan yang dikenakan pembalikan nilai beban yang signifikan.
- e) Sambungan las dan baut berbagi dalam penyaluran beban pada permukaan yang terhubung secara umum.
- f) Sambungan sesuai pertimbangan Perencana, semua friksi akan menjadi kritis terhadap kinerja dari sambungan atau struktur dan sehingga ditunjuk pada rencana kontraks 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 tertekan dan bagian sekunder.

Daerah tumpuan efektif dari suatu baut harus merupakan diameternya dikalikan dengan ketebalan dari logam tempat bertumpu. 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 mengungkit di dalam suatu pelat harus diselidiki antara ujung pelat dan akhir baris dari baut (Lihat Tabel 13, catatan kaki atau 10.3.3).

Tabel 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 | $d + 1,58$ | $d + 33,33$ | $(d + 1,58) \times$ $(d + 9,52)$ | $(d + 1,58) \times$ $(63,50 \times d)$ |

7.2 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 4.

Apabila tipe lubang tidak ditentukan oleh Perencana, lubang standar harus digunakan di dalam hubungan dengan baut kekuatan tinggi.

Atas persetujuan Perencana, ukuran yang diperbesar, lubang *slotted* pendek dan lubang *slotted* panjang dapat digunakan berkenaan dengan persyaratan detail sambungan berikut.

Lubang yang diperbesar dapat digunakan di dalam semua lapisan hubungan yang memenuhi persyaratan dari subpasal 10.3.2, sebagaimana yang dapat diterapkan. Lubang yang diperbesar tidak boleh digunakan pada hubungan tipe tumpu.

Lubang *slotted* pendek dapat digunakan di dalam setiap atau semua lapisan dari sambungan baut kekuatan tinggi yang dirancang atas dasar Tabel 11, sebagaimana yang dapat diterapkan, menyediakan beban yang diterapkan kira-kira normal (antara 80 dan 100 derajat tingkat) ke sumbu *slot*. Lubang *slotted* pendek dapat digunakan tanpa mempertimbangkan arah beban yang diterapkan di dalam setiap atau semua lapisan hubungan-hubungan yang memenuhi persyaratan dari subpasal 10.3.2, sebagaimana yang dapat diterapkan.

Lubang *slotted* panjang dapat digunakan dalam satu dari bagian yang dihubungkan pada permukaan yang saling berhubungan individual manapun dalam sambungan baut kekuatan tinggi yang dirancang atas dasar Tabel 13, beban yang diterapkan kira-kira secara normal (antara 80 dan 100 derajat) pada sumbu dari *slot*. Lubang *slotted* panjang dapat digunakan dalam satu dari bagian yang dihubungkan pada permukaan yang saling berhubungan individual manapun tanpa mempertimbangkan arah beban yang diterapkan pada hubungan yang memenuhi persyaratan dari subpasal 10.3.2, sebagaimana yang dapat diterapkan.

7.3 Persyaratan ring baut

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

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 kekurangan 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) kecuali seperti yang diperlukan di subpasal 7.3.

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 metoda 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.

Baut AASHTO M 164 (ASTM A 325) dari semua diameter atau baut AASHTO M 253 (ASTM A 490) sebanding dengan atau kurang dari 25,4mm 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.

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 standar ring baut yang diperkeras. Beberapa ring baut yang diperkeras dengan ketebalan dikombinasikan sebanding dengan atau lebih besar dari 7,94 mm tidak mencukupi persyaratan ini.

Baut untuk semua diameter AASHTO M 164 (ASTM A 325) atau baut AASHTO 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 AASHTO 253 (ASTM A 490) dengan diameter di atas 25,4 mm adalah untuk digunakan di dalam lubang *slotted* panjang di dalam lapisan eksternal, suatu ring baut tunggal yang dikeraskan memenuhi ASTM F436 hanya dengan ketebalan minimum 7,94 mm harus digunakan sebagai pengganti ring baut atau batang 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.

7.4 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 tidak ditentukan dari beban perencanaan teknis, baut 15,875 mm mungkin digunakan pada siku 50,8 mm, baut 19,05 mm pada siku 63,5 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.

7.5 Spasi dari baut

7.5.1 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.

7.5.2 Spasi minimum dari baut

Jarak minimum antar-pusat baut dalam lubang standar harus tiga kali diameter pengecang tetapi, lebih dipilih, tidak kurang dari yang ada di Tabel 5.

Tabel 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 |

7.5.3 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 dan transversal dengan arah gaya itu tidak boleh kurang dari dua kali lebih diameter baut.

7.5.4 Spasi maksimum dari baut

Spasi maksimum dari baut harus sesuai dengan ketentuan dari subpasal 7.6

7.6 Jarak tepi dari baut

Jarak dari pusat pengecang manapun di dalam lubang standar ke tepi bagian yang terhubung tidak boleh kurang dari nilai yang dapat diterapkan pada Tabel 6.

Jarak maksimum dari pusat pengecang manapun ke semua tepi harus delapan kali ketebalan dari 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 dari lubang ke bagian tepi dari bagian yang dihubungkan tidak boleh kurang dari 1 ½ kali diameter baut, kecuali diperhitungkan untuk ketentuan perletakan dari Tabel 13.

Jika lubang yang diperbesar atau lubang *slotted* digunakan, jarak antara tepi lubang dan tepi dari bagian tidak boleh kurang dari diameter baut.

Tabel 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 penggulangan atau hasil proses perataan permukaan (mm) | Pada ujung <i>flens</i> 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 |

8 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 dan metode anoda korban harus digunakan.

Ketebalan minimum dari pelat lantai dapat ditentukan oleh defleksi yang diizinkan akibat beban roda, yang tidak boleh melebihi 1/300 jarak antara gelagar melintang. Berdasarkan kriteria ini, ketebalan pelat mungkin ditentukan oleh formula Kloeppel seperti pada persamaan (1):

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

Keterangan:

- 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

8.1 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 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 modulus lenturan individu tersebut.

Tabel 7 Rasio lebar-ketebalan terbatas untuk elemen bagian

| Penjelasan komponen | Batas (b/t) | Ketika $f_a = 63,86F_y$ | |
|--|---|-------------------------|-----------------|
| | | 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 | $\frac{134,9}{\sqrt{f_u}} \leq 12$ untuk bagian utama | 248,21 | 12 |
| | | 344,74 | 11 |
| | | 482,63 | 9 |
| | | 620,53 | 8 |
| | $\frac{134,9}{\sqrt{f_u}} \leq 16$ 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 dirol, atau segmen komponen yang disatukan dengan pelat penguat | $\frac{332,1}{\sqrt{f_u}} \leq 45$ | 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 | $\frac{415,2}{\sqrt{f_u}} \leq 50$ | 248,21 | 40 |
| | | 344,74 | 34 |
| | | 482,63 | 28 |
| | | 620,53 | 25 |
| | | 689,47 | 24 |
| 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 | $\frac{498,2}{\sqrt{f_u}} \leq 55$ | 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 diperhitungan 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 | | | |

8.2 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 hasil tegangan tekan yang ditimbulkan oleh lenturan gelagar:

$$\left(\frac{L}{r}\right)_{\max} = 83 \sqrt{\frac{1\,500}{F_y} - \frac{2\,700F}{F_y^2}} \quad (2)$$

Keterangan:

- L adalah jarak antara balok transversal dalam mm
- r adalah jari-jari girasi sekitar sumbu *centroidal* horisontal dari pengaku yang termasuk satu lebar efektif dari pelat lantai dalam mm
- F adalah tegangan tekan maksimum pada pelat lantai sebagai hasil lantai yang bertindak 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.

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

Keterangan:

- t_r 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)
- h' adalah panjang porsi miring dari bagian badan pengaku (mm)

9 Pembebanan berulang dan pertimbangan kekerasan

9.1 Jangkauan tegangan fatik yang diizinkan

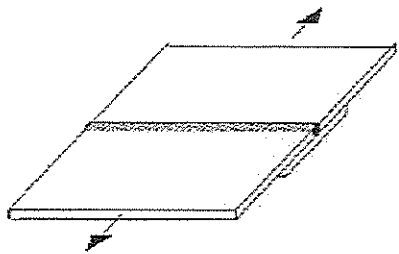
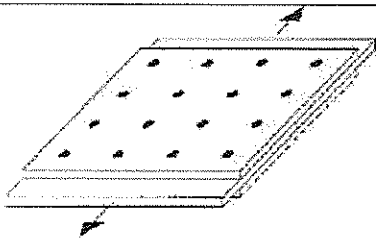
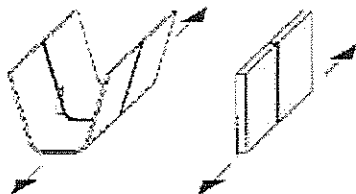
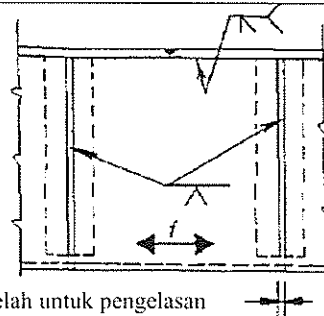
Bagian dan baut yang dikenakan variasi tegangan yang berulang atau pembalikan nilai tegangan harus dirancang sehingga tegangan maksimum tidak melebihi tegangan izin dasar pada pasal 10, sehingga jangkauan tegangan nyata tidak melebihi tegangan fatik yang diizinkan yang disampaikan pada Tabel 8. Untuk tipe dan lokasi yang sesuai disampaikan pada Tabel 9.

Untuk baja *weathering* yang tidak dicat, A709, semua tingkat, nilai dari jangkauan tegangan fatik yang dapat diizinkan, Tabel 8, seperti yang dimodifikasi pada CATATAN: kaki d, bersifat valid hanya ketika perencanaan teknis dan detil sesuai dengan *FHWA Technical Advisory on Uncoated Weathering Steel in Structures*, tertanggal 3 Oktober 1989.

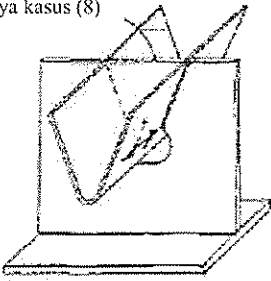
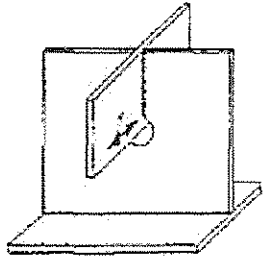
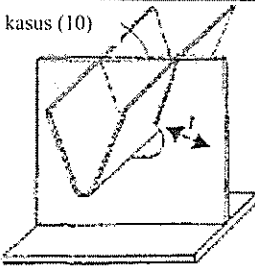
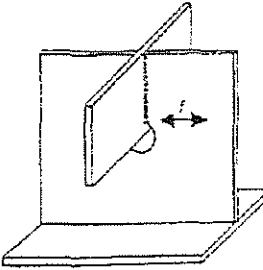
Tabel 8 Jangkauan tegangan fatik yang diizinkan

| Struktur dengan penyaluran beban yang redundan | | | | | Struktur dengan penyaluran beban yang tidak redundan | | | |
|--|--|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Kategori (lihat ilustrasi pada Gambar 1) | Jangkauan tegangan yang diizinkan, F_{sr} dalam MPa | | | | | | | |
| | Untuk 100000 Siklus | Untuk 500000 Siklus | Untuk 2000000 Siklus | Untuk di atas 2000000 Siklus | Untuk 100000 Siklus | Untuk 500000 Siklus | Untuk 2000000 Siklus | Untuk di atas 2000000 Siklus |
| A | 434,36 | 255,10 | 165,47 | 165,47 | 344,73 | 199,94 | 165,47 | 158,57 |
| | 337,84 | 199,94 | 124,10 | 110,31 | 268,89 | 158,57 | 110,31 | 110,31 |
| B | 337,84 | 199,94 | 124,10 | 110,31 | 268,89 | 158,57 | 110,31 | 110,31 |
| B' | 268,89 | 158,57 | 99,97 | 82,73 | 213,73 | 124,10 | 75,84 | 75,84 |
| C | 244,76 | 144,79 | 89,63 | 68,94 | 193,05 | 110,31 | 68,94 | 62,05 |
| | | | | 82,73 | | | 82,73 | 75,84 |
| D | 193,05 | 110,31 | 68,94 | 48,26 | 151,68 | 89,63 | 55,15 | 34,47 |
| E | 151,68 | 89,631 | 55,15 | 31,02 | 117,21 | 68,94 | 41,36 | 15,85 |
| E' | 110,31 | 63,431 | 39,98 | 17,92 | 82,736 | 48,26 | 27,57 | 8,96 |
| F | 103,42 | 82,73 | 62,05 | 55,15 | 82,736 | 62,05 | 48,26 | 41,36 |
| CATATAN 1 Tipe struktur dengan lintasan-lintasan dengan banyak beban yang fraktur tunggal dalam suatu bagian tidak menjurus pada suatu keruntuhan. Sebagai contoh, suatu jembatan multi-gelagar bentang tunggal atau suatu bagian rangka dengan banyak <i>eye bar</i> | | | | | | | | |
| 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 <i>flens</i> gelagar | | | | | | | | |
| CATATAN 4 Pelat penutup yang dilas dengan panjang tertentu tidak boleh digunakan pada <i>flens</i> yang mempunyai ketebalan lebih dari 0,8 inci untuk struktur dengan lintasan beban non-redundan | | | | | | | | |
| CATATAN 5 Untuk baja <i>weathering</i> yang tidak dicat, A 709, semua kelas, ketika digunakan sesuai dengan <i>FHWA Technical Advisory on Uncoated Weathering Steel in Structures</i> , tertanggal October 3, 1989 | | | | | | | | |

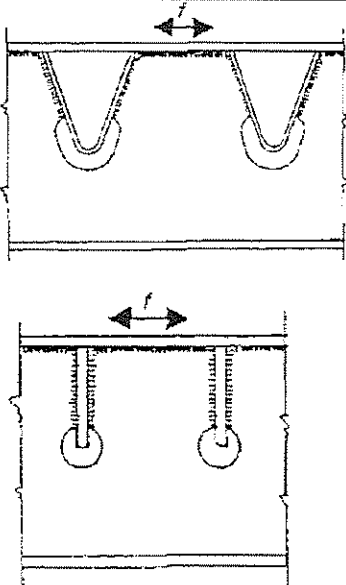
Tabel 9 Klasifikasi fatik tipikal untuk pelat ortotropik baja

| Contoh ilustrasi | Detail | Gambaran kondisi | Kategori detail |
|---|---|--|-----------------|
|  | Sambungan pelat lantai transversal atau longitudinal atau sambungan pengaku | (1) <i>Ceramic backing bar. Weld ground flush</i> yang paralel terhadap arah tegangan | B |
| | | (2) <i>Ceramic backing bar</i> | C |
| | Las ujung 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 dibaut | (4) Dalam sambungan yang tidak simetris, pengaruh dari eksentrisitas harus dipertimbangkan dalam memperhitungkan tegangan | B |
|  | Sambungan pelat lantai atau pengaku | (5) Pelat dari penampang yang serupa dengan hasil las yang berdasar rata (<i>weld run-off tabs</i>) harus digunakan dan setelah itu dihilangkan, ujung pelat untuk diratakan dasarnya dalam arah tegangan. | B |
| | Las alur ganda | (6) Ketinggian dari ke-convex-an tidak boleh melebihi 20% atau lebar las. <i>Run-off tabs</i> sebagaimana untuk kasus (5). | C |
|  <p>Celah untuk pengelasan</p> | Sambungan lapangan "jendela" pengaku yang dilas | (7) Dukungan Batang permanen untuk sambungan pengaku | D |
| | Las ujung dengan alur tunggal | Celah pengelasan > ketebalan dinding pengaku f = jangkauan tegangan aksial pada bagian bawah pengaku | |

Tabel 9 Klasifikasi fatik tipikal untuk pelat ortotropik baja (lanjutan)

| Contoh ilustrasi | Detail | Gambaran kondisi | Kategori detail |
|---|---|---|------------------------------|
| <p>Hanya kasus (8)</p>   | <p>Dinding pengaku pada perpotongan pengaku/gelagar melintang</p> <p>Las sudut antara pengaku dan bagian badan gelagar melintang</p> | <p>(8) Pengaku tertutup dengan diafragma internal di dalam pengaku atau pengaku terbuka</p> <p>f = jangkauan tegangan aksial pada dinding pengaku pada bagian bawah akhir dari las pengaku/gelagar melintang</p> | C |
| | | <p>(9) Pengaku tertutup, tanpa diafragma internal di dalam pengaku</p> <p>$f = f_1 + f_2$</p> <p>f_1 = jangkauan tegangan aksial di dalam dinding pengaku</p> <p>f_2 = 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>Hanya kasus (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> | Lebih kecil dari C atau sama |

Tabel 9 Klasifikasi fatik tipikal untuk pelat ortotropik baja (lanjutan)

| Contoh ilustrasi | Detail | Gambaran kondisi | Kategori detail |
|--|--|--|-----------------|
| | | f_1 dan f_2 untuk diperoleh dari sebuah analisis rasional | |
| | | <p>(11) Tanpa diafragma internal di dalam pengaku tertutup</p> $f = f_1 + f_2$ <p>f_1 = jangkauan tegangan interaksi antara "gigi" dari bagian badan gelagar melintang dan dinding pengaku yang diperoleh dari analisis rasional</p> <p>f_2 sebagaimana yang diperoleh oleh kasus (10)</p> | C |
|  | Pelat lantai pada hubungan dengan bagian badan gelagar melintang | (12) f = jangkauan tegangan aksial pada pelat lantai pada las lantai/gelagar melintang | 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 9 untuk Struktur Lintasan Beban Non-redundan. Contoh-contoh dari bagian dengan lintasan beban non-redundan adalah pelat *flens* dan badan pada satu atau dua jembatan gelagar, bagian rangka satu elemen utama, pelat penggantung, dan penutup dari kolom tunggal dan ganda. Lihat AASHTO "Guide Specifications for Fracture Critical Non-Redundant Steel Bridge Members."

9.2 Siklus beban

Banyaknya siklus dari daerah tegangan maksimum yang untuk dipertimbangkan di dalam perencanaan teknis harus dipilih dari Tabel 10 kecuali jika lalu lintas dan survei *loadometer* atau pertimbangan-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, pertimbangan lainnya mengindikasikan jumlah siklus yang berbeda secara substansi, harus sebesar 100000 siklus.

Tabel 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 | 2500 atau lebih | 2000000 500000 |
| Jalan bebas hambatan, Jalan utama, Jalan kecil | II | Lebih kecil dari 2500 | 500000 |
| Jalan raya, dan jalan kecil yang tidak termasuk Kasus I atau Kasus II | III | — | 100000 |
| 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 | 2500 atau lebih | Di atas 2000000 |
| Jalan bebas hambatan, Jalan utama, Jalan kecil | II | Lebih kecil dari 2500 | Di atas 2000000 |
| Jalan raya, dan jalan kecil yang tidak termasuk Kasus I atau Kasus II | III | — | 2000000 |
| CATATAN 1 Lalu-lintas truk harian rata-rata (dalam satu arah) | | | |

10 Tegangan yang diizinkan

Perencanaan teknis tegangan izin adalah suatu metoda 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.

10.1 Baja

Tegangan yang diizinkan untuk baja harus sesuai dengan yang terdapat pada Tabel 11.

10.2 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 yang terdapat 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.

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

Keterangan:

F_v adalah tegangan geser dasar yang diizinkan (MPa)

F_u adalah kuat tarik dari klasifikasi elektroda (MPa)

Ketika las sudut detil 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-rencana pengelasan.

10.3 Baut

Tegangan yang diizinkan untuk baut harus sebesar yang terdaftar pada Tabel 12 dan Tabel 13 dan gaya yang diizinkan pada hubungan yang tipe friksi harus sebagaimana yang ditetapkan di bawah ini.

10.3.1 Umum

Dalam menyesuaikan pengecang 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 9,525 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 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 berakhir.

Dalam hubungan tipe tumpu, geser yang mencabut di suatu pelat harus diselidiki antara ujung pelat dan baris terakhir dari baut (lihat Tabel 13).

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 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.

Kombinasi dari beban harus diterapkan untuk tegangan yang diizinkan untuk hubungan baut tipe friksi yang menggunakan baut kekuatan tinggi, kecuali bila tidak ada kasus harus persentasi dari tegangan yang diizinkan melebihi 133 persen, dan kebutuhan dari subpasal 10.3.3 tidak boleh melebihi.

Hubungan dengan baut tipe tumpu harus dibatasi untuk bagian yang tertekan dan bagian sekunder.

10.3.2 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 13.

Tabel 11 Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (lanjutan)

| Penandaan oleh AASHTO | M 270 Kelas 36 A 709 Kelas 36 | M 270 Kelas 50 A 709 Kelas 50 | M 270 Kelas 50W A 709 Kelas 50W | M 270 Kelas 70W A 709 Kelas 70W | M 270 Kelas 100/100W A 709 Kelas 100/100W |
|--|--|--|--|--|--|
| Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen | 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 101,6 mm | Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm |
| Ketebalan Pelat | 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 101,6 mm | Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm |
| Gaya tekan pada serat ekstrem dari bagian yang berbentuk I dan H secara simetris dengan <i>flens</i> kompak menerus yang dihubungkan ke bagian badan dan menekuk dalam sumbu lemahnya (kecuali bagian dengan kuat leleh lebih besar dari 448,16 MPa); batang bulat dan kotak yang padat; dan kotak padat yang tertekuk dalam sumbu lemahnya. | 0,625F _y | 151,68 | 213,74 | 213,74 | 296,47 |
| Gaya tekan pada serat ekstrem dari bentuk yang dirol, gelagar, dan penampang yang dibangun yang dikenai lentur. Penampang kotor, ketika <i>flens</i> tertekan adalah | | | | | |
| (A) Dalam arah lateral panjang penuhnya dengan pembenaman di dalam beton | 0,55F _y | 137,89 | 186,16 | 186,16 | 262 |
| (B) Disokong atau tidak disokong parsial | | | | | |

$$F_b = \frac{50 \times 10^6 C_b \left(\frac{I_{xc}}{I} \right) \sqrt{0,722 \frac{J}{I_{xc}} + 9,87 \left(\frac{d}{l} \right)^2}}{S_{xc}} \leq 0,55 F_y$$

Tabel 11 Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (lanjutan)

| Penandaan oleh AASHTO | M 270 Kelas 36 A 709 | M 270 Kelas 50 A 709 | M 270 Kelas 50W A 709 | M 270 Kelas 100/100W A 709 |
|--|--|--|---|--|
| Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen | Kelas 36 Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 50 Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 50W Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 100/100W Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm |
| Ketebalan Pelat | Kelas 36 Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 50 Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 50W Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 100/100W Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm |
| <p>$C_h = \frac{1,413M_{max}}{0,283M_{max} + 0,339M_u + 0,452M_h + 0,339M_c}$</p> <p>Keterangan: M_{max} adalah nilai absolut momen maksimum pada segmen balok yang tidak dikekang dalam newton-meter M_u adalah nilai absolut momen pada seperempat bentang dari segmen balok yang tidak dikekang dalam newton-meter M_h adalah nilai absolut momen pada tengah bentang dari segmen balok yang tidak dikekang dalam newton-meter M_c adalah nilai absolut momen pada tiga seperempat bentang dari segmen balok yang tidak dikekang dalam newton-meter C_h adalah 1,0 untuk kantilever yang tidak dikekang dan untuk bagian 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 dengan | 126,10 | 107,00 | 107,00 | 75,70 |
| $C_c = \left(\frac{2\pi^2 E}{F_y} \right)^{0.5}$ | | | | 79,80 |
| Untuk $KL/r \leq C_c$ | | | | |
| $F_u = \frac{F_u}{F.S.} \left[1 - \frac{(KL/r)^2 F_u}{4\pi^2 E} \right]$ | 117,07 - $\frac{0,0036}{(KL/r)^2}$ | 162,57 - $\frac{0,0071}{(KL/r)^2}$ | 162,57 - $\frac{0,0071}{(KL/r)^2}$ | 325,23 - $\frac{0,0284}{(KL/r)^2}$ |
| | | | | 292,68 - $\frac{0,0229}{(KL/r)^2}$ |

Tabel 11 Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (lanjutan)

| Penandaan oleh AASHTO | M 270 Kelas 36 A 709 | M 270 Kelas 50 A 709 | M 270 Kelas 50W A 709 | M 270 Kelas 70W A 709 | M 270 Kelas 100/100W A 709 |
|---|--|--|---|---|--|
| Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen | Kelas 36 Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 50 Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 50W Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 70W Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 100/100W Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm |
| Ketebalan Pelat | | | | | |
| Untuk $KL/r > C_c$ $F_u = \frac{\pi^2 E}{F.S. (KL/r)^2}$ dengan F.S. = 2,12 | $\frac{930\ 797,33}{(KL/r)^2}$ | | | | |
| Geser pada badan gelagar, penampang kotor | $F_v = 0,33F_y$ | 117,21 | 117,21 | 158,58 | 227,53 |
| Tumpuan pada pengaku dan bagian baja lainnya dalam kontak (tidak termasuk paku keling dan baut) | $0,80F_y$ | 275,79 | 275,79 | 386,11 | 551,58 |
| Tegangan pada serat ekstrem pada pils | $0,80F_y$ | 275,79 | 275,79 | 386,11 | 551,58 |
| Geser pada pin | $F_v = 0,40F_y$ | 137,89 | 137,89 | 193,05 | 275,79 |
| Tumpuan pada pin yang tidak terkena rotasi | $0,80F_y$ | 275,79 | 275,79 | 386,11 | 551,58 |
| Tumpuan pada pin yang terkena rotasi (seperti yang digunakan pada rocker and sendi) | $0,40F_y$ | 137,89 | 137,89 | 193,05 | 275,79 |
| | | | | | 248,21 |

Tabel 11 Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (lanjutan)

| Penandaan oleh AASHTO | M 270 Kelas 36 A 709 | M 270 Kelas 50 A 709 | M 270 Kelas 50W A 709 | M 270 Kelas 70W A 709 | M 270 Kelas 100/100W A 709 |
|---|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
| Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen | M 270 Kelas 36 A 709 | M 270 Kelas 50 A 709 | M 270 Kelas 50W A 709 | M 270 Kelas 70W A 709 | M 270 Kelas 100/100W A 709 |
| Ketebalan Pelat | 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 101,6 mm | Sampai dengan/sama dengan 63,5 mm dengan/sama dengan 101,6 mm |
| 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_b , lihat *Structural Stability Research Council Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 3rd Ed.*, halaman 135. Jika *cover plates* digunakan, tegangan statis yang diizinkan pada titik dari *cut off* harus ditentukan dengan rumusan tersebut

CATATAN 2 a) λ adalah panjang dalam mm, dari *flens* yang tidak disokong antar hubungan lateral, *knee braces*, atau titik dari penyokong
b) I_{yc} adalah momen inersia dari *flens* tertekan pada sumbu vertikal dalam bidang dari badan dalam mm^4
c) d adalah ketinggian gelagar dalam mm

$$J = \frac{\left[(bt^3)_c + (bt^3)_t + Dt^3_w \right]}{3}$$

CATATAN 3 b adalah lebar *flens* dari *flens* tertekan dan tertarik (mm^4)
 t adalah ketebalan dari *flens* tertekan dan tertarik (mm^4)

CATATAN 4 a) S_{xc} adalah modulus penampang sehubungan dengan *flens* yang tertekan (mm^3)
b) E adalah modulus elastisitas dari baja
c) r adalah radius girasi yang menentukan
d) L adalah panjang yang tidak disokong
e) K adalah faktor panjang efektif
f) $F.S.$ adalah faktor keamanan sebesar 2,12

Tabel 11 Tegangan yang diizinkan untuk baja struktural (lanjutan)

| Penandaan oleh AASHTO | M 270 Kelas 36 A 709 | M 270 Kelas 50 A 709 | M 270 Kelas 50W A 709 | M 270 Kelas 100/100W A 709 |
|---|--|--|---|--|
| Penandaan oleh ASTM yang ekuivalen | Kelas 36 Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 50 Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 50W Sampai dengan/sama dengan 101,6 mm | Kelas 100/100W Sampai dengan/sama dengan 63,5 mm |
| Ketebalan Pelat | | | | Di atas 63,5 mm smpai dengan/sama dengan 101,6 mm |
| <p>CATATAN 5 Rumusan di atas tidak diterapkan untuk bagian dengan momen inersia yang bervariasi</p> <p>CATATAN 6 Bagian gaya tekan dengan simetrik dan unsimetrik, seperti siku, bentuk T, dan bagian tertekan simetrik ganda, seperti, seperti bentuk salib atau bagian yang dibentuk dengan dinding sangat tipis, mungkin juga membutuhkan perhitungan torsi-lentur dan tekuk torsi. Merujuk pada <i>Manual of Steel Construction, Ninth Edition, 1989, American Institute of Steel Construction</i></p> <p>CATATAN 7 Luasan tumpuan pin harus merupakan diameternya dikali ketebalan bahan dengan pin menjadi tumpuannya Ketika bagian dalam kontak mempunyai kuat leleh yang berbeda, F_u merupakan nilai yang terkecil</p> <p>CATATAN 8 Hal ini harus diterapkan untuk pin yang digunakan terutama pada bagian yang dibebani aksial, seperti bagian rangka dan kabel untuk menyesuaikan mata rantai. Hal ini tidak boleh diaplikasikan untuk pin yang digunakan pada bagian yang mempunyai rotasi yang disebabkan oleh ekspansi dari defleksi</p> <p>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 ¼ diameter, seperti perforasi/lubang kecil harus dikurangi</p> | | | | |

Tabel 12 Tegangan yang diizinkan untuk baut baja karbon rendah dalam MPa

| Tipe Baut | Tegangan | Tumpuan | Hubungan Tipe Tumpuan Geser |
|--|----------|---------|-----------------------------|
| (A) Baut Baja Karbon Rendah, <i>Turned Bolts</i> (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 13 Tegangan yang diizinkan untuk baut kuat tinggi atau bahan yang dihubungkan dalam Mpa

| Kondisi pembebanan | Tegangan yang diizinkan |
|--|---|
| Tegangan statis yang diterapkan | $45,72 F_u^d$ |
| 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, <i>slot</i> pendek dalam semua arah, atau <i>slot</i> panjang yang paralel dengan gaya tumpu yang diterapkan | $\frac{72,57 L_c F_u}{d} \leq F_u^{e,f,g}$ |
| Tumpu, F_p , pada bahan yang dihubungkan di lubang <i>slot</i> panjang yang tegak lurus dengan gaya tumpu yang diterapkan | $\frac{58,05 L_c F_u}{d} \leq 116,11 F_u^{e,f,g}$ |
| 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 meyalurkan gaya aksial dengan panjang antara baut yang ekstrim diukur secara paralel sampai dengan garis dari gaya melebihi 1 270 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 a) F_u adalah kuat tarik minimum yang ditetapkan dari bahan yang dihubungkan (MPa) b) L_c adalah jarak bersih antara lubang atau antara lubang dengan ujung dari bahan dalam arah gaya perletakan yang diterapkan (mm) c) d adalah nominal diameter baut (mm) CATATAN 6 Hubungan yang menggunakan baut kekuatan tinggi pada <i>slotted hole</i> dengan beban yang diterapkan dalam suatu arah selain dari normal perkiraan (antara 80 dan 100 derajat) pada sumbu dari lubang dan hubungan dengan baut <i>oversized</i> 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 kuat tinggi AASHTO M 164 (ASTM A 325) and AASHTO M253 (ASTM A 490) <i>high-strength bolts</i> tersedia dalam tiga tipe, ditandai sebagai tipe 1,2, atau 3. Tipe 3 harus dibutuhkan pada rencana ketika menggunakan AASHTO M 270 <i>Grade 50W</i> (ASTM A709 <i>Grade 50W</i>) yang tidak dicat | |

Sebagai tambahan terhadap persyaratan-persyaratan tegangan izin dari subpasal 10.3.2 gaya pada koneksi kritis secara slip seperti yang dirumuskan pada subpasal 7.1 tidak boleh melebihi ketahanan slip yang diizinkan (P) dari hubungan menurut persamaan (5).

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

Keterangan:

- 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 14
- K_h adalah faktor ukuran lubang sebagaimana yang ditetapkan pada Tabel 15
- P_s adalah ketahanan slip yang diijinkan pada sambungan dalam Newton

Kondisi permukaan kelas A,B, atau C dari bagian yang dibaut sebagaimana yang didefinisikan pada Tabel 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 paragraph 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 14 Koefisien slip μ

| Tipe Kelas | Permukaan kontak dari bagian yang dibaut | μ |
|---|--|-------|
| Kelas A | Bersih dari serpihan yang dihasilkan dari proses pengilingan 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 | Permukaan 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 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 |

10.3.3 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 situasional sehingga tegangan tarik rata-rata dihitung dengan dasar daerah luasan baut nominal tidak akan melebihi tegangan yang sesuai pada Tabel 16. 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)

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

Keterangan:

- 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 terkoneksi dalam mm
- t adalah ketebalan dari bagian yang terhubung paling tipis dalam mm

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

$$f_v \leq F_s (1 - 1,88 f_t / F_u) \quad (7)$$

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 pada Tabel 2 (MPa)

Ketika paku keling atau 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 $f_v / F_v > 0,33$

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

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

Keterangan:

- 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 dari Tabel 12 atau Tabel 13 (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 dari Tabel 13 atau Tabel 13 (MPa)
 k adalah konstanta: 0,6 untuk baut kekuatan tinggi dengan ulir yang tidak termasuk bidang geser

10.3.4 Fatik

Ketika dikenakan suatu beban fatik tarik, tegangan tarik dalam baut akibat beban layan ditambah gaya ungkit yang dihasilkan dari penerapan beban layan 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 16.

Tabel 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 |

10.4 Tegangan yang diizinkan

10.4.1 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 pelat lantai oleh beban roda yang ditentukan ditambah 30-persen beban tumbukan 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 dapat diterapkan. Untuk konfigurasi lantai 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 10.4.2 dan subpasal 10.4.3.

10.4.2 Tegangan lentur pada pengaku longitudinal

Tegangan lentur total pada pengaku longitudinal akibat kombinasi dari (1) lenturan pengaku dan (2) lenturan balok penopang itu boleh melebihi lenturan yang dapat diizinkan pada pasal 10 sebesar 25 persen. Tegangan lentur akibat dua mode individu tidak boleh melebihi tegangan lentur yang dapat diizinkan pada pasal 10.

10.4.3 Tegangan lentur dalam gelagar melintang

Tegangan lentur dalam gelagar melintang tidak boleh melebihi tegangan lentur yang dapat diizinkan pada pasal 10.

11 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 $L/1000$, L = 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.

12 Struktur pelat ortotropik

12.1 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 satu lebar yang efektif dari pelat lantai.

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

12.2 Luasan kontak beban roda

Beban roda yang ditetapkan harus secara seragam dibagi terdistribusi ke pelat lantai di atas luasan persegi empat yang didefinisikan dalam SNI 1725.

12.3 Lebar efektif dari pelat lantai

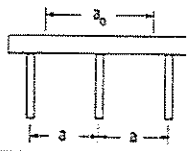
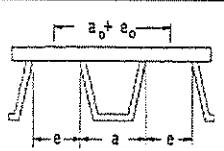
Lebar efektif dari pelat lantai yang bertindak di *flens* atas pengaku longitudinal atau suatu gelagar melintang dapat dihitung dengan metode pendekatan yang dapat diterima (*Design Manual for "Orthotropic Steel Plate Deck Bridges," AISC, 1963, or "Orthotropic Bridges, Theory and Design," by M. S. Troitsky,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

Dalam pemodelan pelat ortotropik, kekakuan lentur dari elemen dapat didistribusikan seragam sepanjang penampang lantai. 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 17.

Tabel 17 Lebar efektif dari pelat lantai dengan pengaku 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 | $a_0 = 1.1 a$ | $a_0 + e_0 = 1.3 (a + e)$ |

12.4 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.

12.5 Persyaratan kekakuan

12.5.1 Defleksi

Defleksi pengaku, balok, dan gelagar akibat beban hidup ditambah beban tumbukan boleh melebihi pembatasan-pembatasan di pasal 11 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.

12.5.2 Getaran

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

12.6 Lapisan aus

Suatu lapisan aus yang sesuai harus dengan cukup terikat 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) daktilitas 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) tahanan terhadap deteriorasi dari garam deicing, oli, bensin, minyak diesel, dan kerosin.

12.7 Pengaku tertutup

Pengaku tertutup tanpa lubang akses untuk pemeriksaan, pencucian, dan pengecatan diizinkan. Pengaku-pengaku seperti itu yang 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.

Lampiran A (informatif) Contoh perencanaan teknis

A.1 Umum

Penentuan sistem pelat ortotropik diawali penentuan pelat utama dengan menggunakan persamaan (1):

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

Nilai a dihitung berdasarkan dari Tabel 17 adalah 296 mm, sedangkan beban roda maksimum adalah 1,5 MPa.

Sehingga $t_p = 13,55$ mm \approx namun yang digunakan adalah sebesar 12 mm karena dioptimasi pada perhitungan elemen hingga.

Untuk pelat utama batas $b/t < 27$ karena $F_y = 343,23 = 10,96$ untuk pelat pengaku

Untuk pelat utama batas $b/t < 34$ karena $F_y = 343,23 = 8,7$ untuk pelat pengaku tertutup

Sehingga t pelat pengaku yang digunakan = 10 mm. dan t pelat pengaku tertutup yang digunakan adalah 8 mm dari persamaan (2).

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

$L = 5000$ mm, $F_y = 343,23$ MPa, $F = 1,5$ MPa (pasal A 2.4) sehingga $r_{\min} = 28,9$ mm untuk

pelat pengaku, sedangkan r pada pelat ortotropik adalah $r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 101,847$ mm

Ketebalan minimum dari pengaku tertutup tidak boleh kurang dari 4.75 mm persamaan (3).

$$\frac{t a^3}{t_{d,eff}^3 h'} \leq 400 \quad (3)$$

$t_{d,eff} = 12$ mm, $a = 296$ mm, $h' = 244,75$ mm

sehingga didapat tebal badan pengaku $t_r = 7,35 \approx 8$ mm.

A.2 Pemodelan struktur pelat ortotropik

Sistem pelat ortotropik saat ini dapat dimodelkan dengan baik dengan model elemen hingga dengan menempatkan pegas dengan koefisien yang didapat dari pemodelan jembatan rangka secara penuh dengan beban satu satuan. Interpretasi dari pemodelan ini dapat secara langsung diinterpretasikan untuk diperbandingkan dengan ketentuan yang ada pada pasal 10 dan pasal 11. Model ini juga dapat mengakomodasi adanya baut dan las, dengan lokasi yang

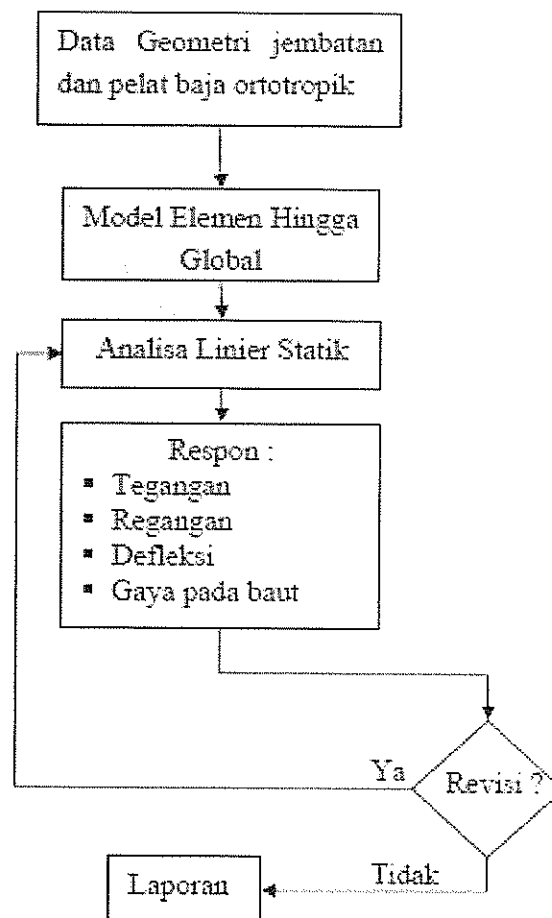
telah diidentifikasi sebelumnya, untuk diperbandingkan responnya dengan pasal 10 dan pasal 11.

Pemodelan terdahulu sebelumnya adanya perangkat lunak elemen hingga seperti sekarang dilakukan dengan model *grillage* atau model lainnya yang dapat mewakili respon yang perlu diidentifikasi, analisa berbagai persamaan analisis sebagaimana yang terlihat pada *Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges* terbitan AISC tahun 1963 dan *Orthotropic Bridges Theory and Design* terbitan Lincoln Arc Welding Foundation tahun 1967 yang dikarang oleh M.S. Troitsky.

Persamaan dipakai adalah persamaan untuk mendapatkan momen dari penjumlahan dua sistem lantai yaitu masing-masing: a) model sistem dengan banyak perletakan sendi; dan b) model sistem dengan banyak perletakan pegas. Momen analisis ini dihitung dengan suatu diagram garis pengaruh yang mengakomodasi penempatan beban dalam arah memanjang dan arah melintang.

A.2.1 Metodologi

Untuk menghitung respon struktur pelat baja ortotropik jembatan sedayu lawas pada berbagai kondisi pembebanan, maka digunakan metoda elemen hingga. Jenis analisa yang digunakan dalam studi ini yaitu analisa linier statik. Dua buah model yang digunakan dalam analisa, yaitu model global, dan model lokal/detail. Gambar A.1 menunjukkan alur kerja studi ini.



Gambar A.1 - Diagram alir analisa

A.2.2 Asumsi

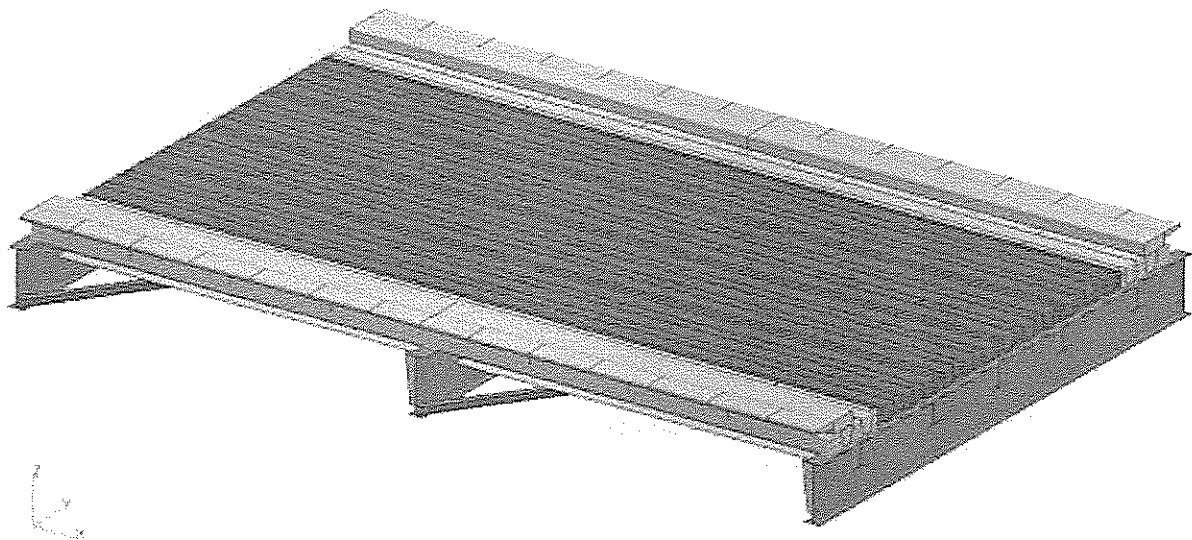
Beberapa asumsi yang digunakan dalam analisa antara lain:

- a) Seluruh sambungan las diasumsikan sebagai sambungan las sempurna.
- b) Seluruh baut dimodelkan sebagai elemen pegas satu dimensi dengan memiliki kekakuan dalam tiga sumbu ortogonal.
- c) Kontak antar pelat diasumsikan tidak ada gesekan.

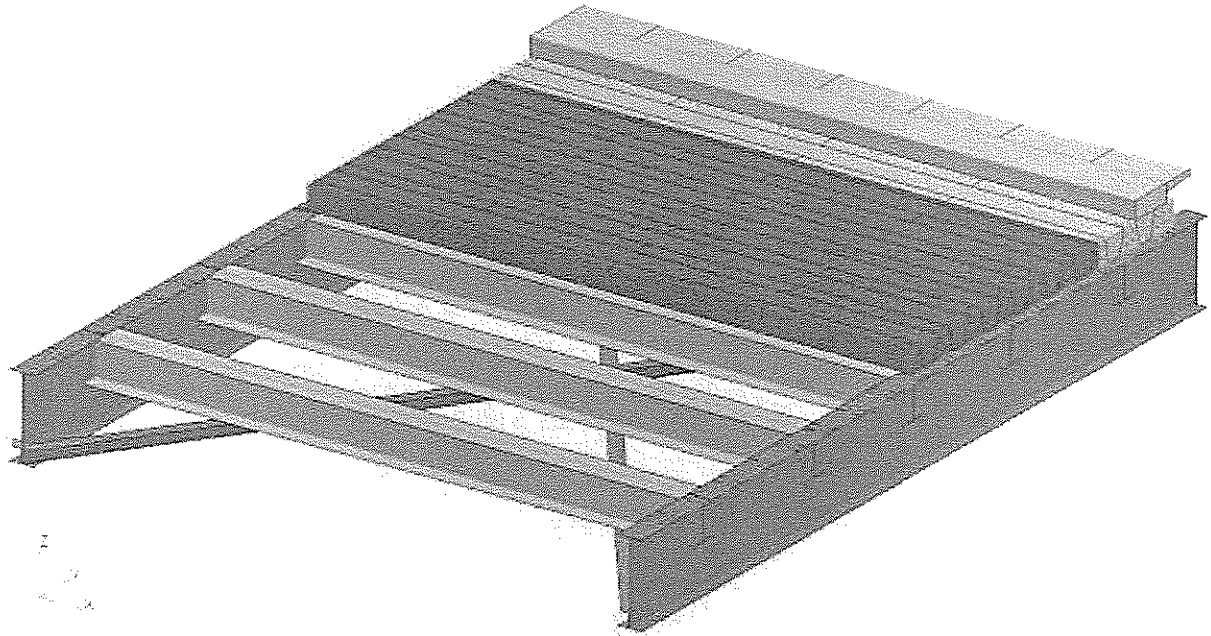
A.2.3 Analisa elemen hingga

A.2.3.1 Model elemen hingga

Pelat baja ortotropik yang akan dianalisa, dimodelkan sepanjang dua bentang modul pelatbaja ortotropik. Pemodelan tersebut ditujukan untuk dapat mengobservasi fenomena sambungan diatas gelagar melintang, dan untuk dapat memodelkan pembebanan kritisnya secara lebih riil. Jenis elemen yang digunakan adalah elemen 2D CQUAD dengan property *SHELL* untuk memodelkan pelat-pelat baja. Sedangkan untuk memodelkan baut digunakan elemen pegas. Untuk memodelkan kontak antar pelat modul, dan juga kontak antara modul dengan gelagar melintang, digunakan elemen gap dengan koefisien gesekan sama dengan nol. Jumlah total elemen yang digunakan dalam analisa ini yaitu sebanyak 303,428 elemen dengan 247355 nodal. Gambar A.2 dan Gambar A.3 menunjukkan model elemen hingga pelat baja ortotropik pada jembatan.



Gambar A.2 - Model elemen hingga pelat baja ortotropik jembatan



Gambar A.3 - Model elemen hingga satuan modul pelat baja ortotropik

Satuan-satuan modul pelat baja ortotropik tersebut disusun di atas gelagar melintang dan kemudian diikat dengan menggunakan baut.

A.2.3.2 Model konstituif material

Spesifikasi material yang digunakan dalam analisa ini dirangkum dalam Tabel A.1 berikut.

Tabel A.1 Model konstituif bahan baja

| Kelas bahan baja | Sifat Mekanis | Nilai |
|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Pelat baja SM 490 (untuk pelat) | Densitas, ρ | 7800 kg/m ³ |
| | Modulus Elastisitas, E | 179 GPa |
| | Poisson's Ratio, ν | 0.27 |
| | Kekuatan luluh, σ_y | 350 MPa |
| | Kekuatan tarik, σ_u | 490 MPa |
| ASTM A325 (Baut D=16 mm) | Kekuatan Tarik | Statik = 586 MPa Fatik * = 275 MPa |
| | Kekuatan Geser | Statik = 330 MPa Fatik * = 275 MPa |

A.2.3.3 Model kekauan baut

Sebagaimana yang telah disinggung pada sub-bab sebelumnya, yaitu seluruh baut di modelkan sebagai elemen pegas 1D untuk model elemen hingga global. Hal ini dilakukan sebagai simplifikasi dari kasus sebenarnya. Adapun properties elemen pegas yang diperlukan sebagai input analisa elemen hingga yaitu kekakuan pegas. Di dalam dunia industri pesawat terbang, telah umum dikenal sejumlah persamaan semi empiris untuk menentukan kekakuan suatu *fastener*, baik yang berupa baut ataupun paku keling. Salah satu yang umum digunakan yaitu persamaan sebagaimana yang terdapat dalam referensi yang juga digunakan dalam analisa ini.

Untuk pelat dan baut yang terbuat dari baja, maka fleksibilitas dari baut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut;

$$f = \frac{8}{t_{av} E_f} - \left[0.13 \left(\frac{t_{av}}{D_0} \right)^2 \left(2.12 + \left(\frac{t_{av}}{D_0} \right)^2 \right) + 1 \right]$$

Keterangan t_{av} adalah ketebalan rata-rata dari seluruh pelat

D_0 adalah diameter baut

E_f adalah modulus elastisitas baut

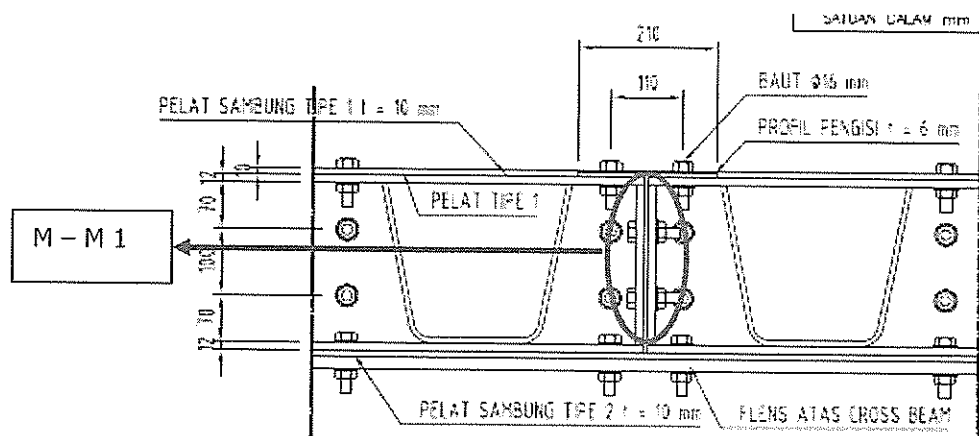
Dengan demikian, kekakuan baut (k) dapat dituliskan sebagai:

$$k = \frac{1}{f}$$

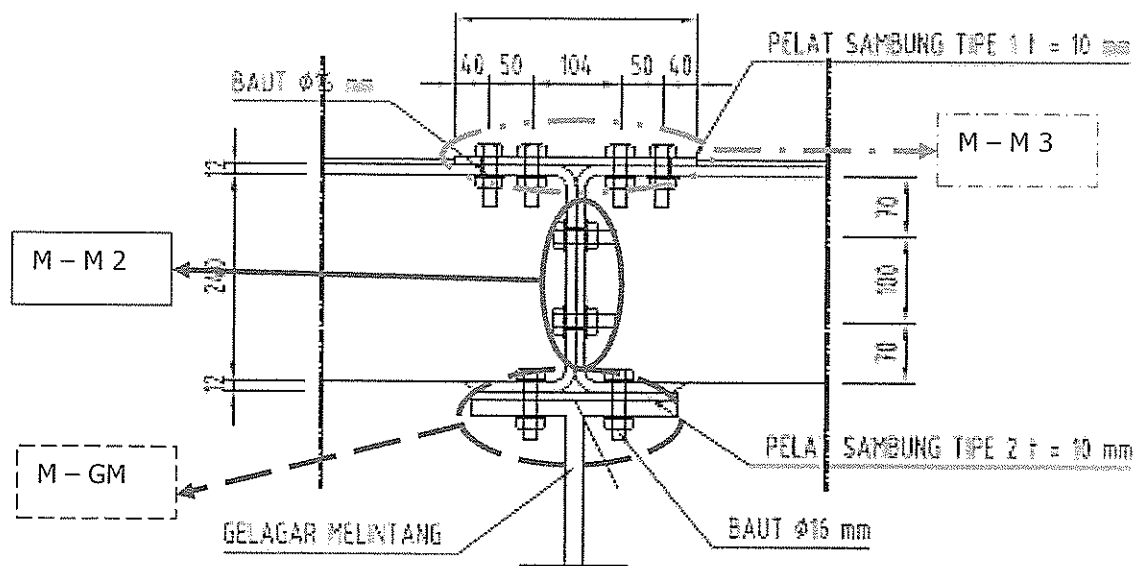
Untuk memudahkan perhitungan kekuatan sambungan baut, maka didefinisikan empat jenis sambungan yang terdapat pada model ini. Pendefinisian tiap-tiap jenis sambungan ini didasarkan pada letak dan konfigurasi sambungan. Jenis sambungan tersebut antara lain :

- Sambungan Modul – modul (M – M 1) seperti terlihat pada Gambar A.4,
- Sambungan Modul – modul (M – M 2) seperti terlihat pada Gambar A.5,
- Sambungan Modul – modul (M – M 3) seperti terlihat pada Gambar A.5,
- Sambungan Modul – Gelagar Melintang (M – GM) seperti terlihat pada Gambar A.5.

Detail keempat jenis sambungan tersebut dapat dilihat pada skema berikut ini.



Gambar A.4 - Sambungan M – M 1



Gambar A.5 - Sambungan M - M 2, M - M 3, dan M - GM

A.2.4 Pembebanan

A.2.4.1 Perhitungan beban mati

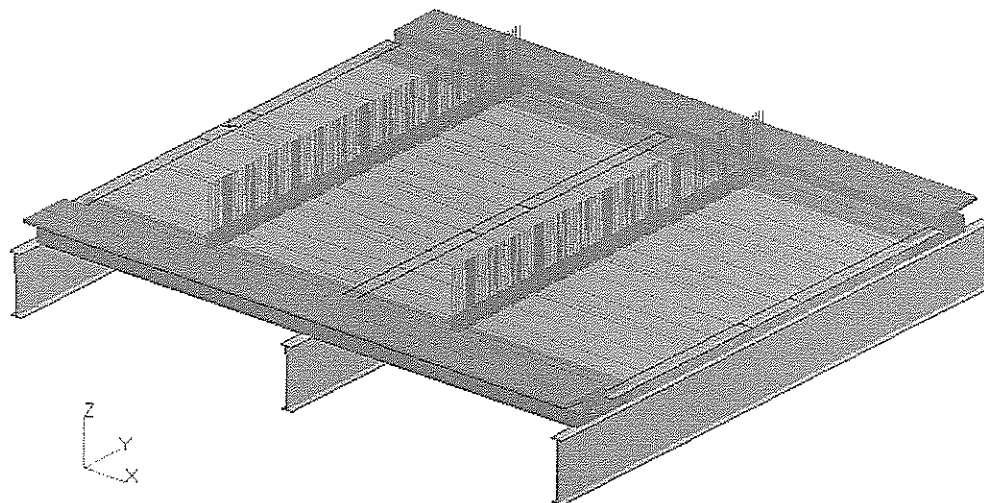
Beban mati diberikan dengan memberikan beban percepatan pada struktur, beban mati disini mencakup berat aspal setebal 7 cm, berat air setebal 3 cm, dan berat seluruh struktur baja. Untuk mengkonpensasi berat air, maka berat jenis aspal diubah sehingga menjadi berat jenis ekuivalen, yang didapat dengan rumus:

$$\rho_{eqv} = (\rho_{asphalt} \cdot t_{asphalt} + \rho_{air} \cdot t_{air}) / t_{asphalt} = 10000 \text{ kg/m}^3$$

A.2.4.2 Perhitungan beban garis

Intensitas beban garis yaitu, $p = 49 \text{ kN/m}$ dengan model sebagaimana yang terlihat pada Gambar A.6.

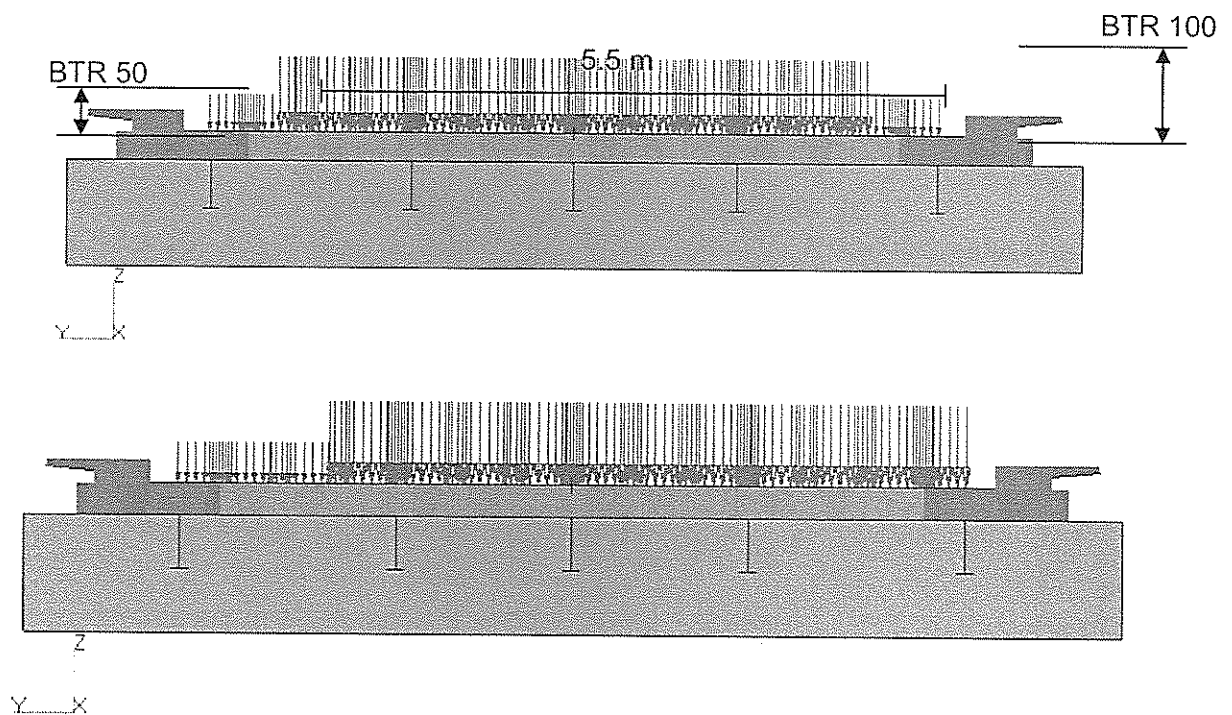
Beban ini dikalikan dengan faktor dinamik sebesar 1,4.



Gambar A.6 - Beban garis

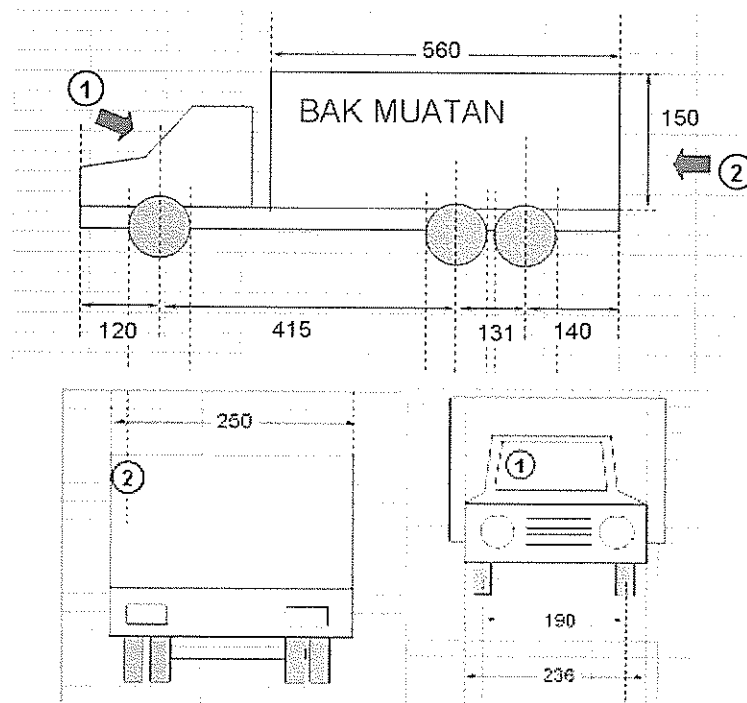
A.2.4.3 Perhitungan beban terbagi merata (BTR)

Besar intensitas BTR 100% adalah 6.954545 kPa, sedangkan besar intensitas BTR 50% adalah 3.4772725 kPa. Terdapat dua skema penempatan Beban Terbagi Terbagi merata ini, yang dapat dilihat pada Gambar A-7.



Gambar A.7 - Tipikal beban terbagi merata untuk mencari pembebanan maksimum

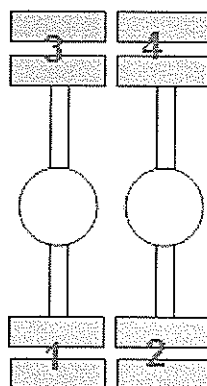
A.2.4.4 Perhitungan beban truk tronton



Gambar A.8 - Dimensi truk tronton

Beban truk total 60 ton (600 kN), sebagaimana yang terlihat pada Gambar A.8 dengan distribusi:

- Roda belakang : 80% = 480 kN,
- Roda depan : 20 % = 120 kN,
- Roda belakang ada 4 buah susunan roda, seperti Gambar A.9, maka setiap roda akan mendapat beban sebesar, $F = 480 \text{ kN}/4 = 120 \text{ kN}$, sedangkan setiap roda depan akan menerima $F = 120 \text{ kN}/2 = 60 \text{ kN}$, sebagaimana yang terlihat pada Gambar A.10,
- Bila luas bidang kontak roda adalah ($200 \times 500 = 100000 \text{ mm}^2$) maka besar tekanan roda = 1.2 N/mm^2 ,
- Bila luas bidang kontak roda adalah ($200 \times 200 = 40000 \text{ mm}^2$) maka besar tekanan roda = 1.5 N/mm^2 .

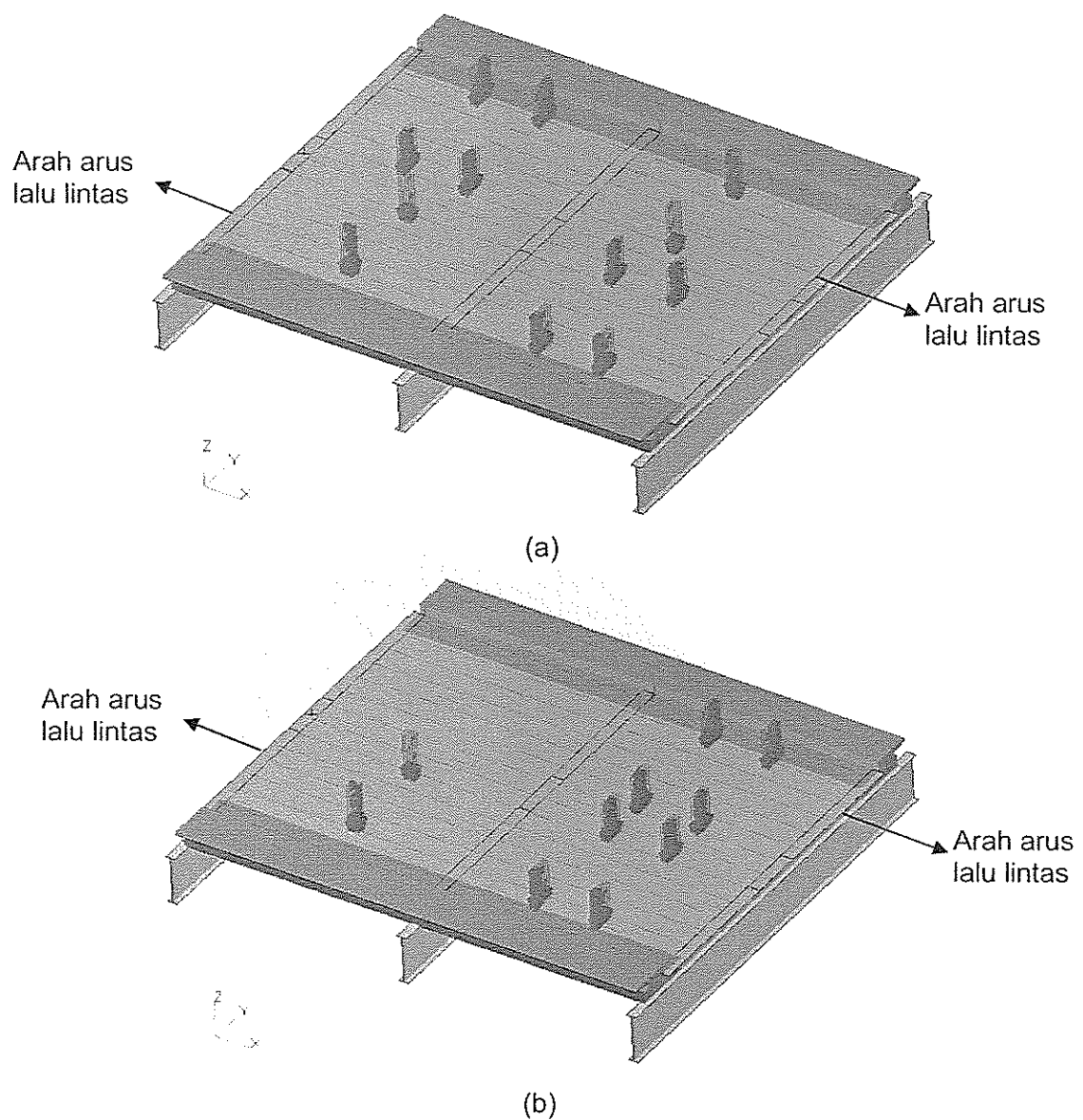


Gambar A.9 - Roda belakang truk tronton



Gambar A.10 - Roda depan truk tronton

Untuk simulasi pembebanan truk tronton ini dilakukan skema pembebanan, sebagaimana yang terlihat pada Gambar A.11 yang akan menghasilkan momen maksimum pada satu bentang jembatan



Keterangan gambar :

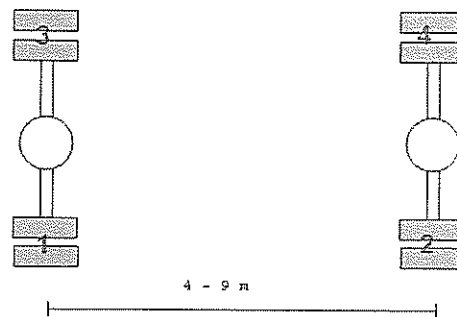
- 1 (a) skema 1
- 2 (b) skema 2

Gambar A.11 - Beban truk tronton

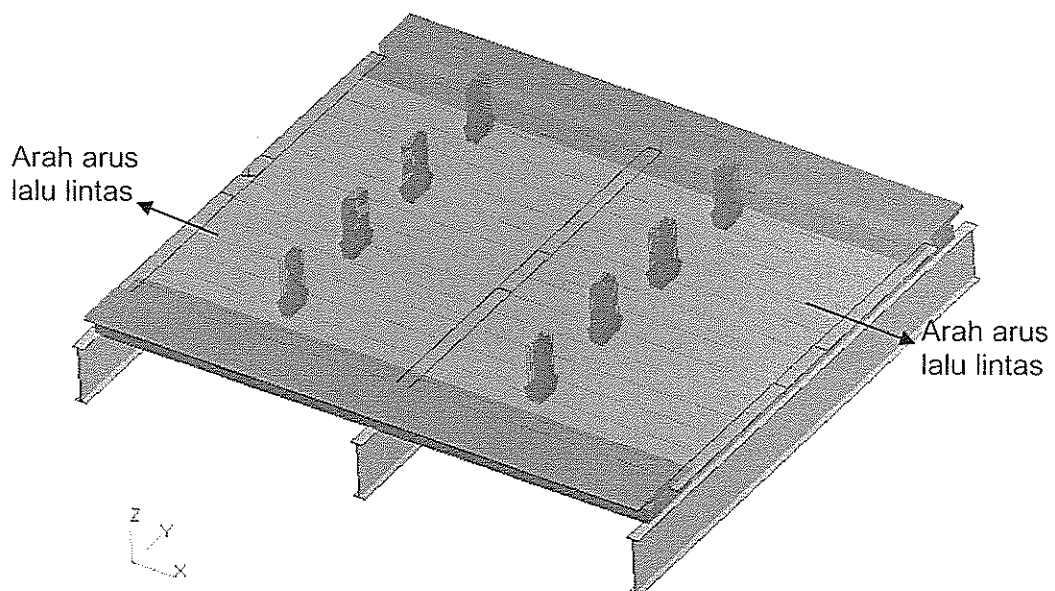
A.2.4.5 Perhitungan beban truk BMS

Beban truk BMS total 50 ton (500 kN), sebagaimana yang terdapat pada Gambar A.12, dengan distribusi yang merujuk pada peraturan pembebanan jembatan:

- Roda belakang : 90% = 45 kN
- Roda depan : 10 % = 5 kN
- Roda belakang ada 4 buah susunan roda, seperti Gambar A.13, maka setiap roda akan mendapat beban sebesar, $F = 450 \text{ kN}/4 = 112.5 \text{ kN}$
- Bila luas bidang kontak roda adalah ($200 \times 500 = 100000 \text{ mm}^2$) maka maka besar tekanan roda = 1.125 N/mm^2
- Untuk kasus yang kritis, semua roda belakang berada di tengah dua bentang jembatan yang ditinjau.
- Beban truk BMS ini dikali dengan faktor dinamik sebesar 1.3.



Gambar A.12 - Roda belakang truk bms



Gambar A.13 - Beban truk bms

A.2.4.6 Kombinasi pembebanan

Dari beban-beban yang didefinisikan pada sub-bab terdahulu, maka dibuat kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisa ini. Terdapat lima buah kombinasi beban yang digunakan dalam analisa, sebagaimana yang dirangkum dalam Tabel A.2 berikut.

Tabel A.2 Kombinasi pembebanan

| No | Beban | Singkatan | Kombinasi pembebanan (load case) | | | | |
|----|------------------------------|-----------|-------------------------------------|-------|-------|-------|------|
| | | | LC-1 | LC-2 | LC-3 | LC-4 | LC-5 |
| 1. | Beban Mati | BM | BM | BM | BM | BM | BM |
| 2. | Beban Garis | BGT | BGT | BGT | - | - | - |
| 3. | Beban Merata (Skema 1) | BTR-1 | BTR-1 | - | - | - | - |
| 4. | Beban Merata (Skema 2) | BTR-2 | - | BTR-2 | - | - | - |
| 5. | Beban Truk Tronton (Skema 1) | BTT-1 | - | - | BTT-1 | - | - |
| 6. | Beban Truk Tronton (Skema 2) | BTT-2 | - | - | - | BTT-2 | - |
| 7. | Beban Truk BMS | BBMS | - | - | - | - | BBMS |

A.2.4.7 Hasil – hasil analisis struktur

Hasil analisa elemen hingga untuk model global berupa respon dari tiap-tiap komponen jembatan pelat baja ortotropik sedayu lawas, dan dinyatakan dalam tegangan, regangan, dan defleksi. Selanjutnya, hasil analisa tersebut dapat dirangkum dalam Tabel A.2 sampai dengan Tabel A.5.

Tabel A.3 Tegangan von mises maksimum model global

| Komponen pelat baja ortotropik | Tegangan Von mises maksimum (MPa) | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|------|--------------|------|------|
| | D load | | Truk tronton | | BMS |
| | LC-1 | LC-2 | LC-3 | LC-4 | LC-5 |
| Modul 1 | 115 | 116 | 116 | 138 | 126 |
| Modul 2 | 105 | 109 | 127 | 125 | 113 |
| Gelagar Melintang (GM) | 204 | 205 | 192 | 237 | 173 |
| Gelagar Panjang (GP) | 160 | 161 | 154 | 236 | 136 |
| Pelat Sambung | 112 | 113 | 123 | 138 | 99,3 |
| Profil Pengisi | 77,3 | 77,2 | 106 | 131 | 78.9 |

Tabel A.4 Tegangan prinsipal model global

| Komponen pelat baja ortotropik | Tegangan prinsipal (MPa) | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|--------------|------|-------|------|-------|-------|
| | D load | | | | Truk tronton | | | | BMS | |
| | LC-1 | | LC-2 | | LC-3 | | LC-4 | | LC-5 | |
| | Maks. | Min. | Maks. | Min. | Maks. | Min. | Maks. | Min. | Maks. | Min. |
| Modul 1 | 103 | -117 | 104 | -117 | 110 | -114 | 124 | -140 | 141 | 112 |
| Modul 2 | 87,2 | -90,4 | 90,2 | -90,1 | 103 | -127 | 98,7 | -133 | 93 | -108 |
| Gelagar Melintang (GM) | 108 | -156 | 109 | -156 | 136 | -144 | 139 | -181 | 103 | -130 |
| Gelagar Panjang (GP) | 108 | -142 | 109 | -143 | 119 | -132 | 139 | -192 | 101 | -114 |
| Pelat Sambung | 39,3 | -117 | 40,5 | -120 | 43,7 | -126 | 49,1 | -142 | 36 | -107 |
| Profil Pengisi | 61,7 | -72,8 | 62 | -77,1 | 98,5 | -112 | 104 | -128 | 66,4 | -83,6 |

Tabel A.5 Regangan maksimum model global

| Komponen pelat baja ortotropik | Regangan Von misses maksimum (μ strain) | | | | |
|--------------------------------|--|------|--------------|------|------|
| | D load | | Truk tronton | | BMS |
| | LC-1 | LC-2 | LC-3 | LC-4 | LC-5 |
| Modul 1 | 393 | 394 | 401 | 527 | 437 |
| Modul 2 | 448 | 468 | 553 | 508 | 486 |
| GM | 562 | 561 | 609 | 754 | 576 |
| GP | 553 | 553 | 547 | 970 | 490 |
| Pelat Sambung | 440 | 455 | 501 | 558 | 402 |
| Profil Pengisi | 312 | 312 | 381 | 527 | 288 |

Tabel A.6 Defleksi vertikal maksimum model global

| Komponen pelat baja ortotropik | Defleksi maksimum (mm) | | | | |
|--------------------------------|------------------------|-------|--------------|-------|-------|
| | D load | | Truk tronton | | BMS |
| | LC-1 | LC-2 | LC-3 | LC-4 | LC-5 |
| Modul 1 | -8,89 | -8,55 | -11,8 | -15 | -11 |
| Modul 2 | -4,87 | -4,89 | -7,89 | -8,96 | -5,08 |
| GM | -6,89 | -6,5 | -7,09 | -6,44 | -6,97 |
| GP | -6,89 | -6,5 | -7,03 | -6,45 | -6,97 |

Hasil analisa model global menunjukkan bahwa kombinasi pembebanan yang menghasilkan tegangan maksimum pada struktur jembatan adalah kasus pembebanan truk tronton skema 2 (**LC-4**), tegangan maksimum pada kasus pembebanan tersebut yaitu sebesar **237 MPa** yang terjadi pada gelagar melintang.

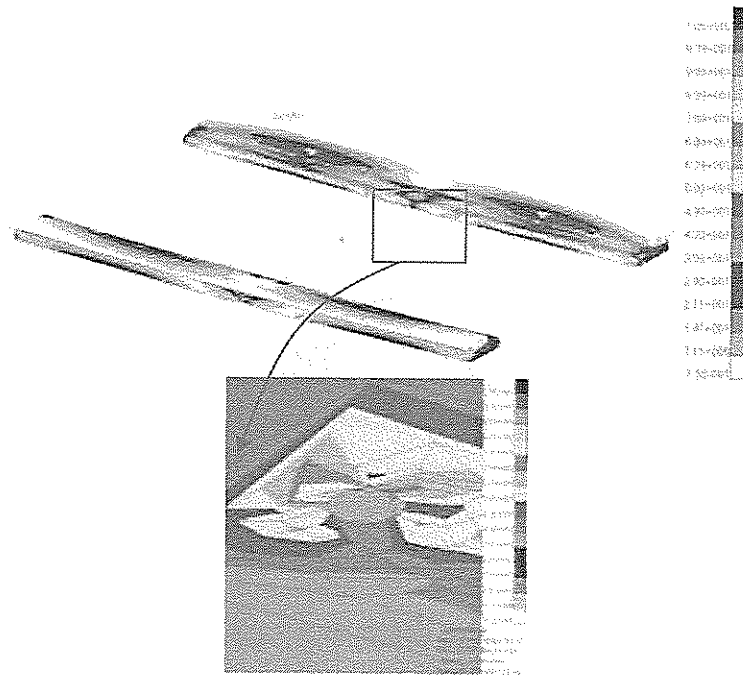
Respon tiap-tiap komponen struktur jembatan bervariasi terhadap kasus pembebanan, yaitu:

- Untuk **Modul 1**, tegangan maksimum sebesar **138 MPa** pada kasus **LC-4**,
- Untuk **Modul 2**, tegangan maksimum sebesar **127 MPa** pada kasus **LC-3**,
- Untuk **Modul Gelagar melintang (GM)**, tegangan maksimum sebesar **237 MPa** pada kasus **LC-4**,
- Untuk **Gelagar Panjang (GP)**, tegangan maksimum sebesar **236 MPa** pada kasus **LC-4**,
- Untuk **Pelat Sambungan**, tegangan maksimum sebesar **138 MPa** pada kasus **LC-4**,
- Untuk **Profil Pengisi**, tegangan maksimum sebesar **131 MPa** pada kasus **LC-4**.

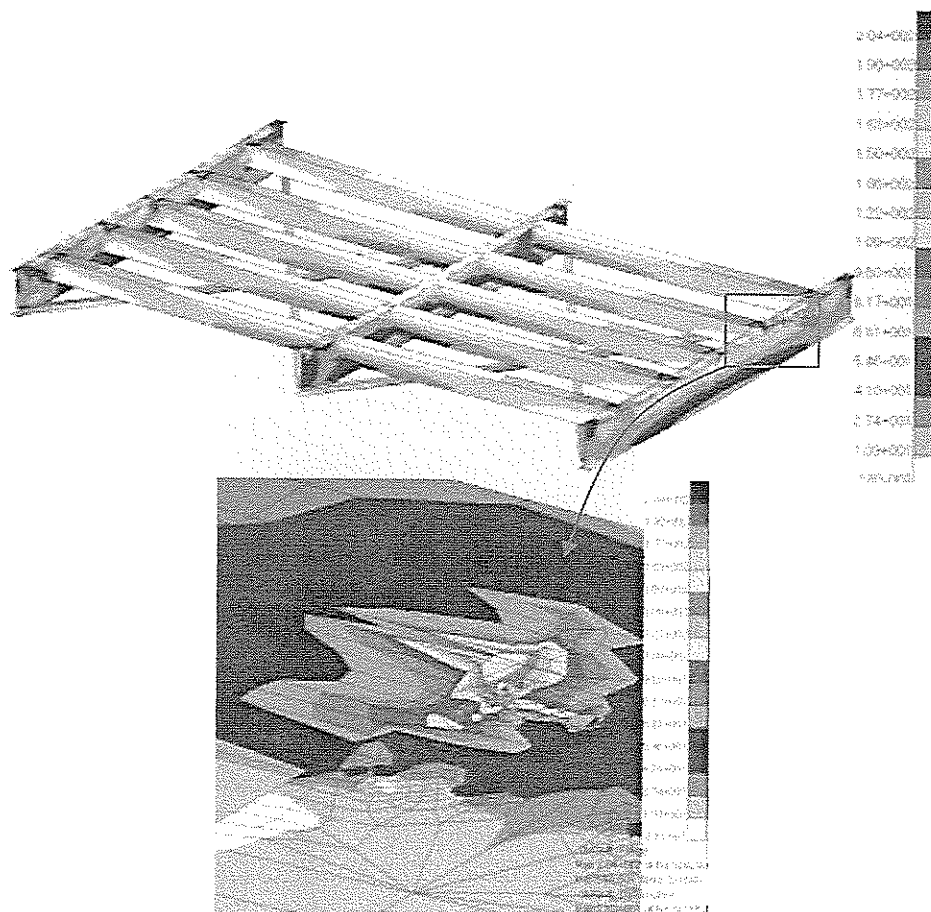
Selain itu, hasil analisa model global juga menunjukkan bahwa kombinasi pembebanan yang menghasilkan regangan maksimum pada struktur jembatan adalah kasus pembebanan truk tronton skema 2 (**LC-4**), regangan maksimum pada kasus pembebanan tersebut yaitu sebesar **970 mikrostrain** yang terjadi pada gelagar panjang.

Defleksi vertikal maksimum yang terjadi yaitu sebesar **-15 mm** (ke arah bawah jembatan) pada kasus pembebanan **LC-4** dan terjadi pada pelat baja ortotropik modul 1.

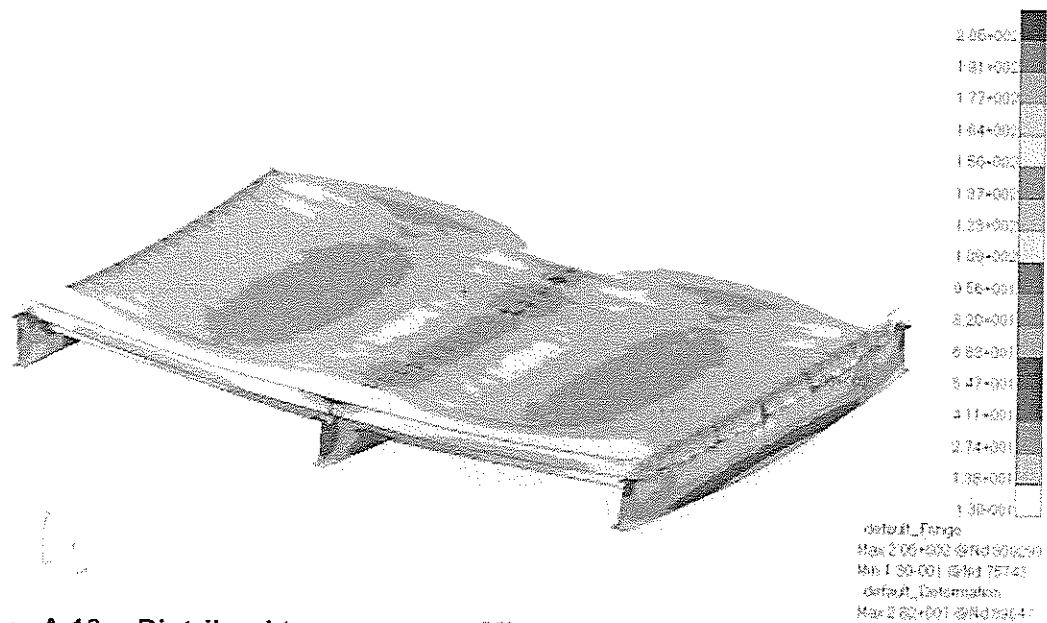
Hasil visualisasi analisa berupa distribusi tegangan kasus LC-1 terlihat pada Gambar A.14 sampai dengan Gambar A.17, distribusi tegangan kasus LC-2 terlihat pada Gambar A.18 sampai dengan Gambar A.21, distribusi tegangan kasus LC-3 terlihat pada Gambar A.22 sampai dengan Gambar A.25, distribusi tegangan kasus LC-1 terlihat pada Gambar A.26 sampai dengan Gambar A.28, dan distribusi tegangan kasus LC-1 terlihat pada Gambar A.30 sampai dengan Gambar A.33.



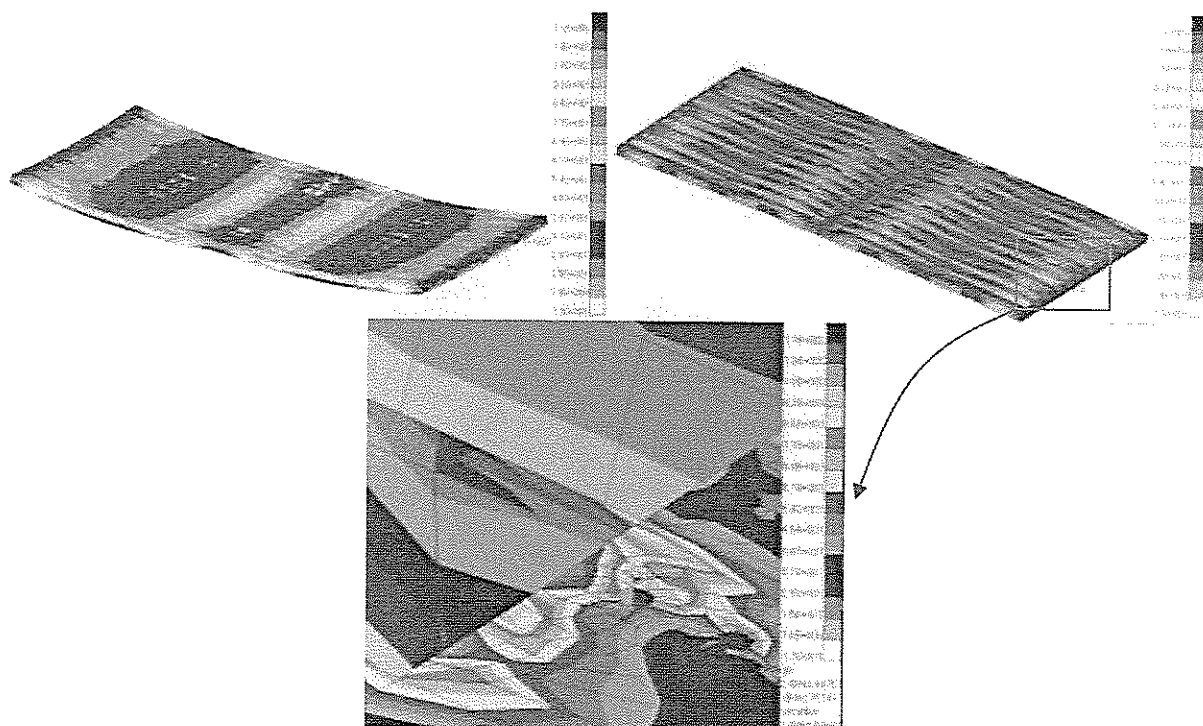
Gambar A.16 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-1



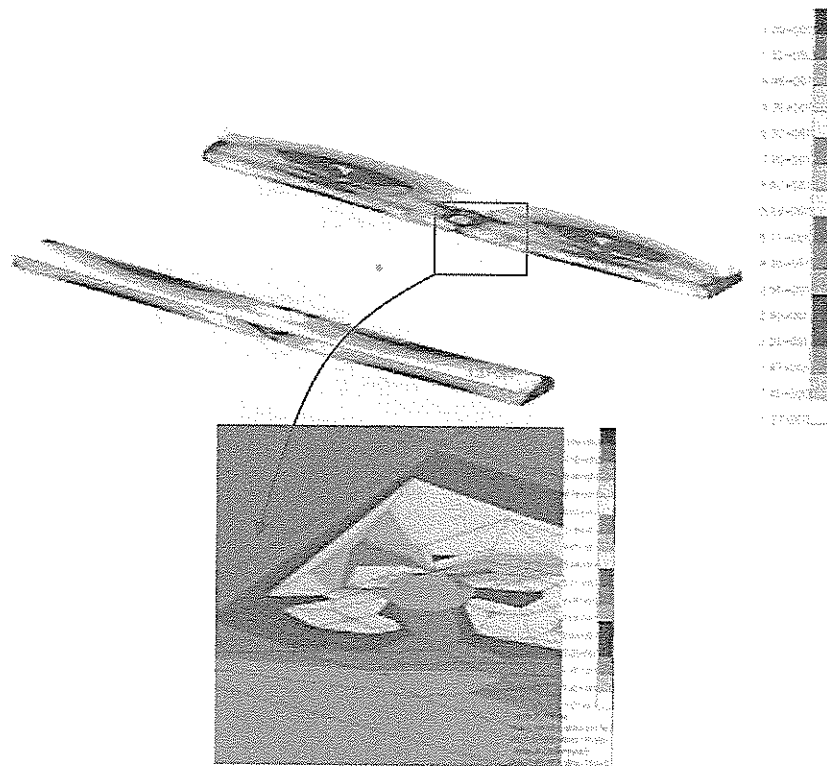
Gambar A.17 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-1



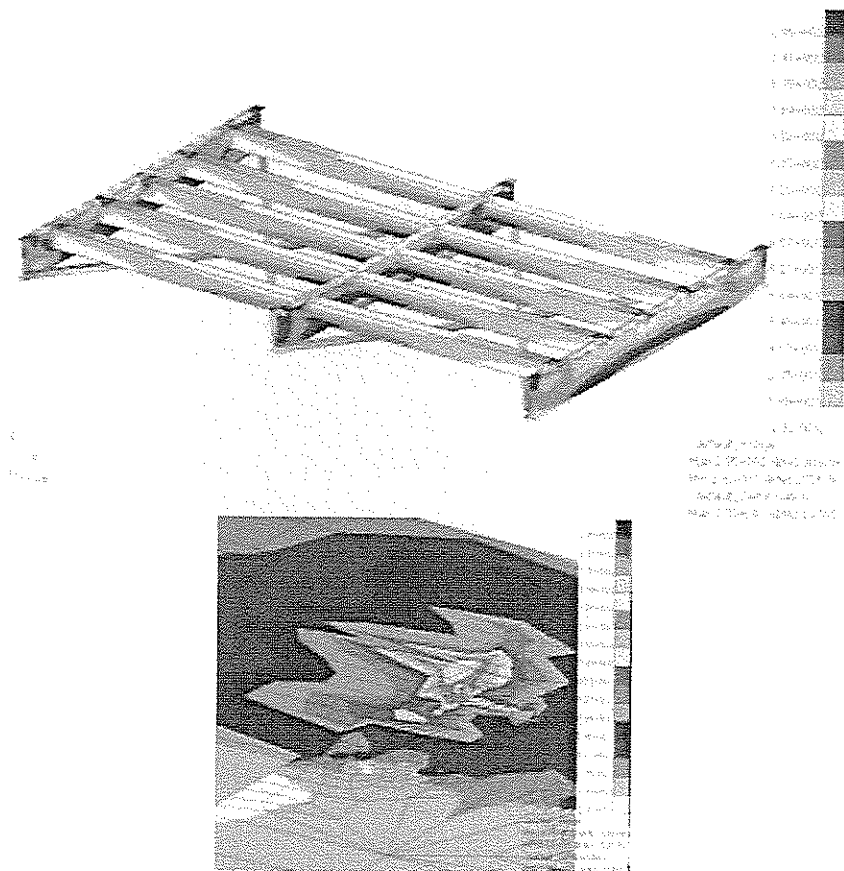
Gambar A.18 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-2



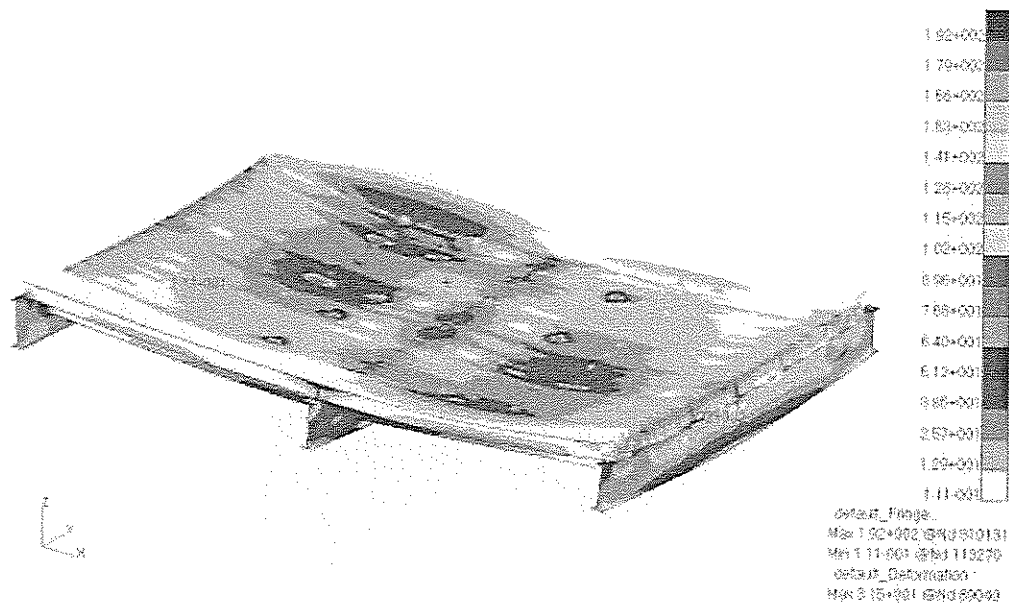
Gambar A.19 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-2



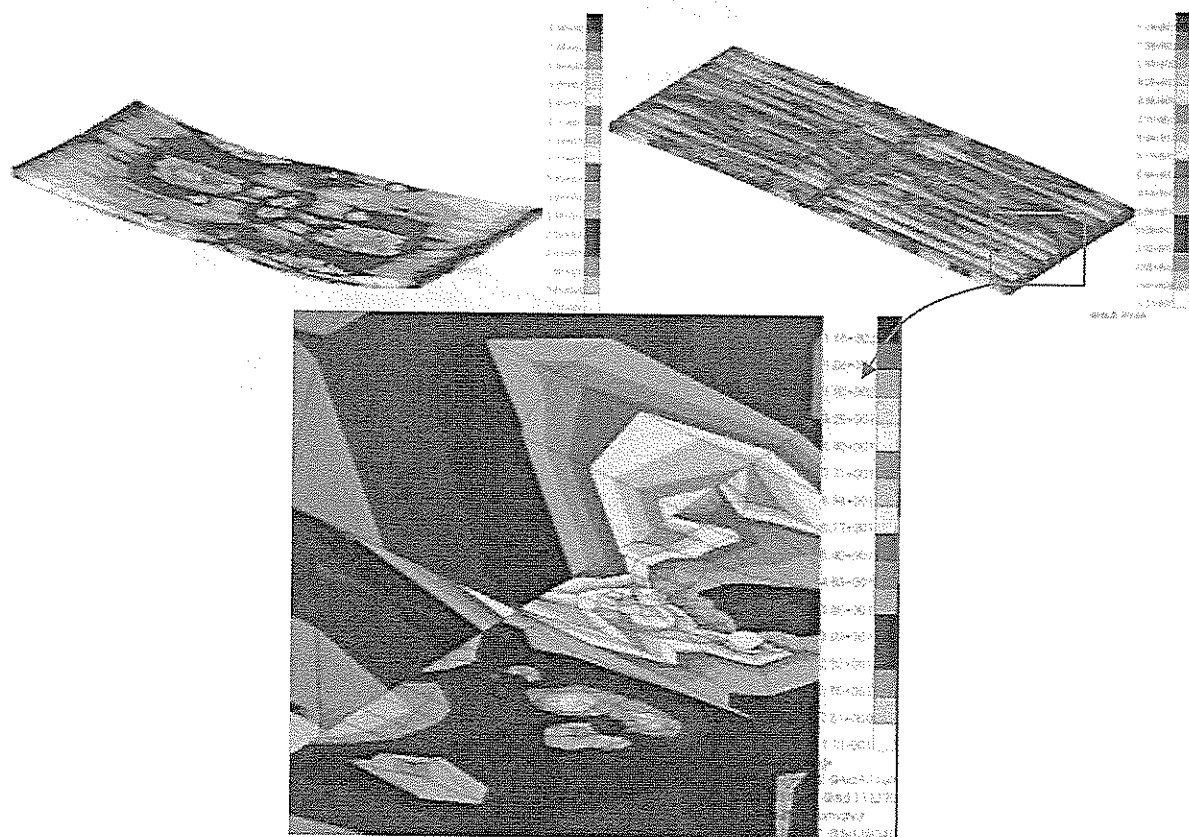
Gambar A.20 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-2



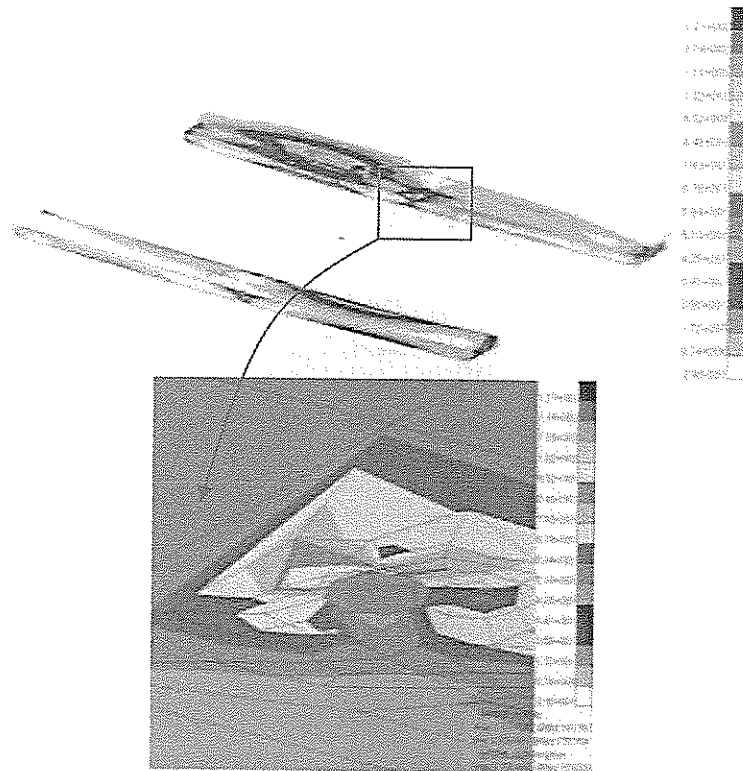
Gambar A.21 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-2



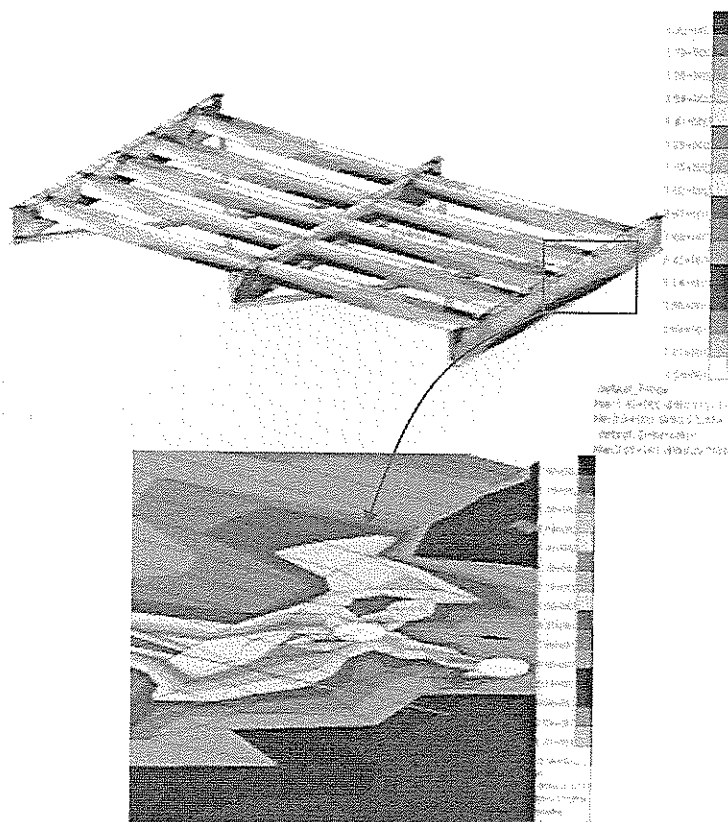
Gambar A.22 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-3



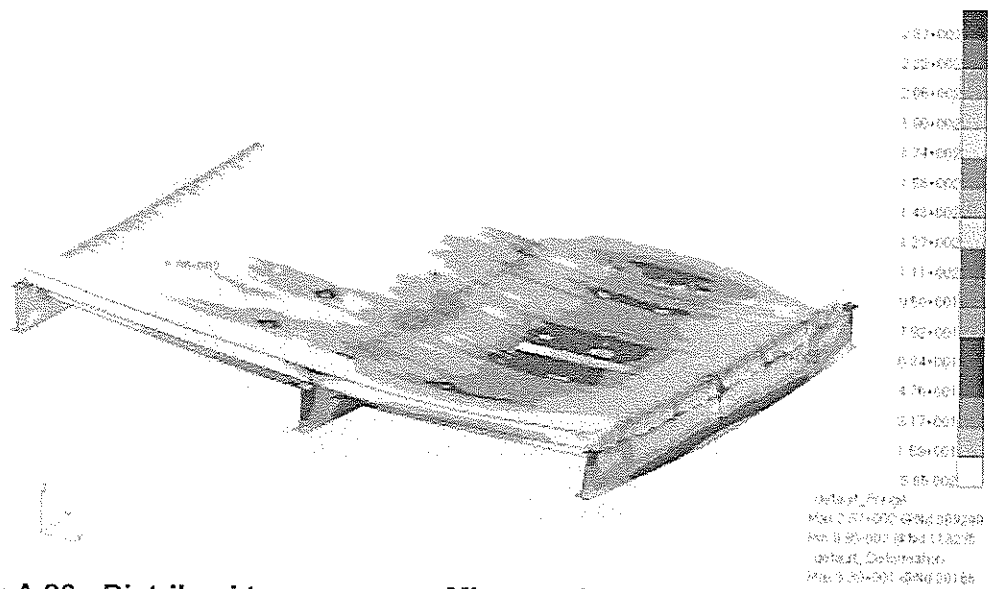
Gambar A.23 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-3



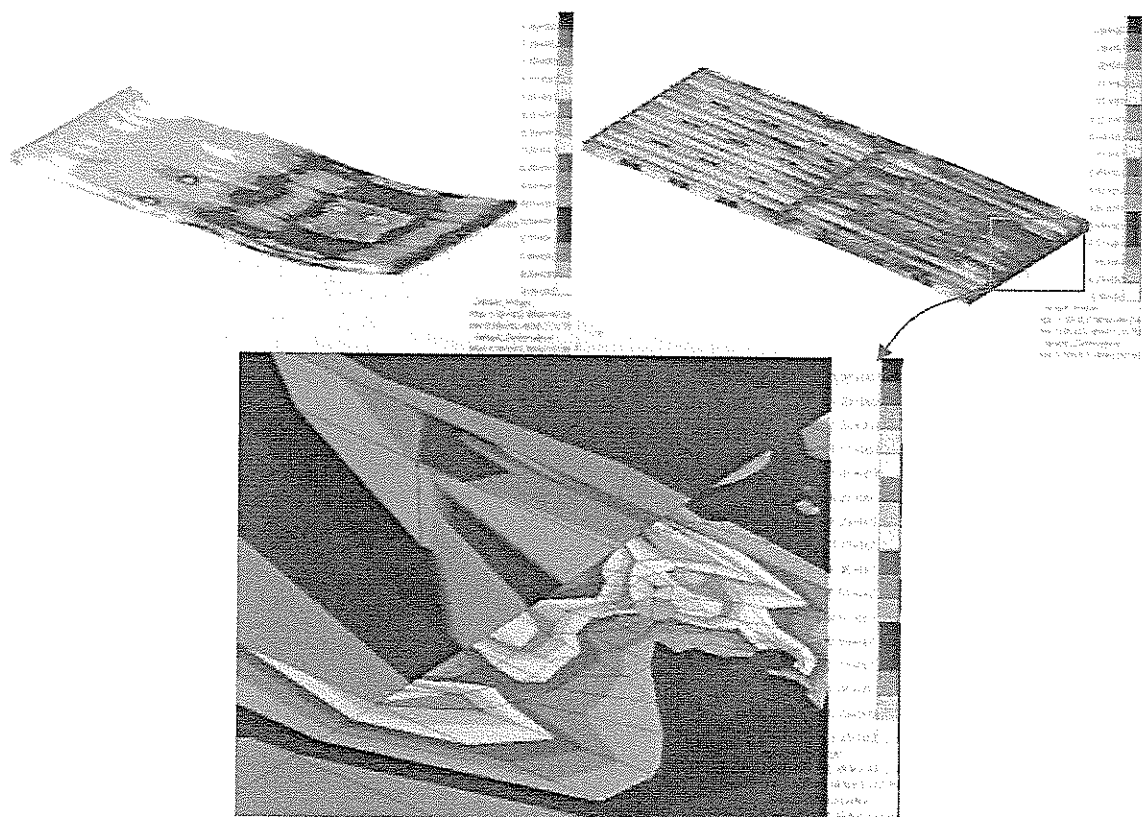
Gambar A.24 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-3



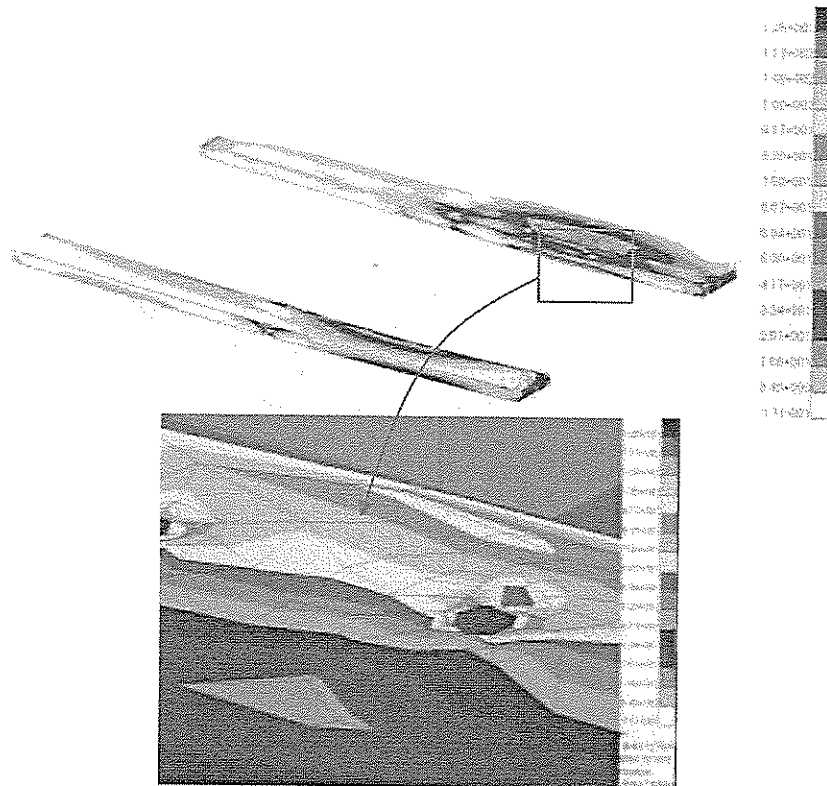
Gambar A.25 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-3



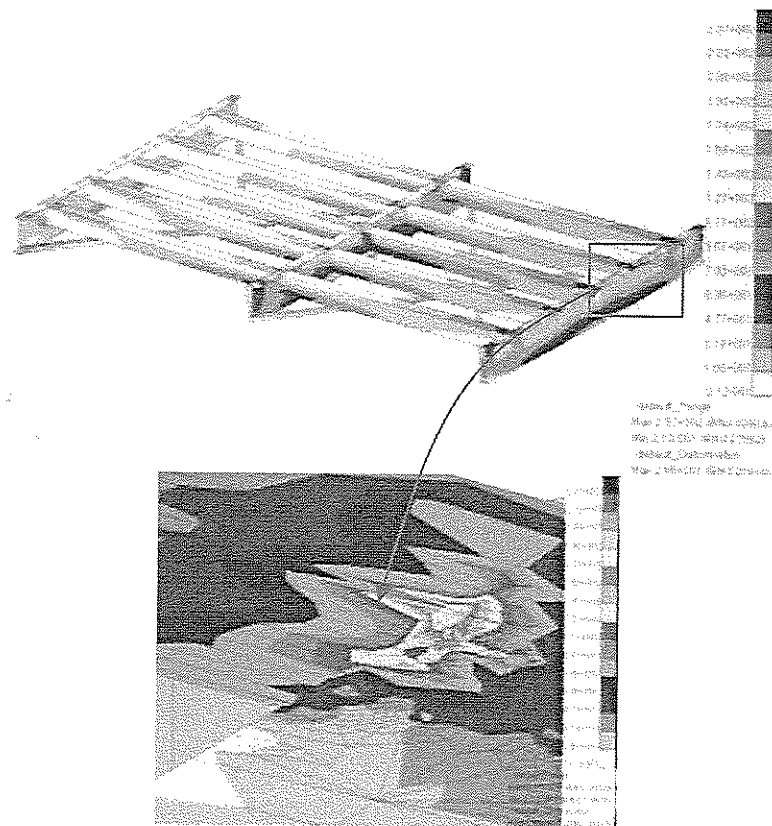
Gambar A.26 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-4



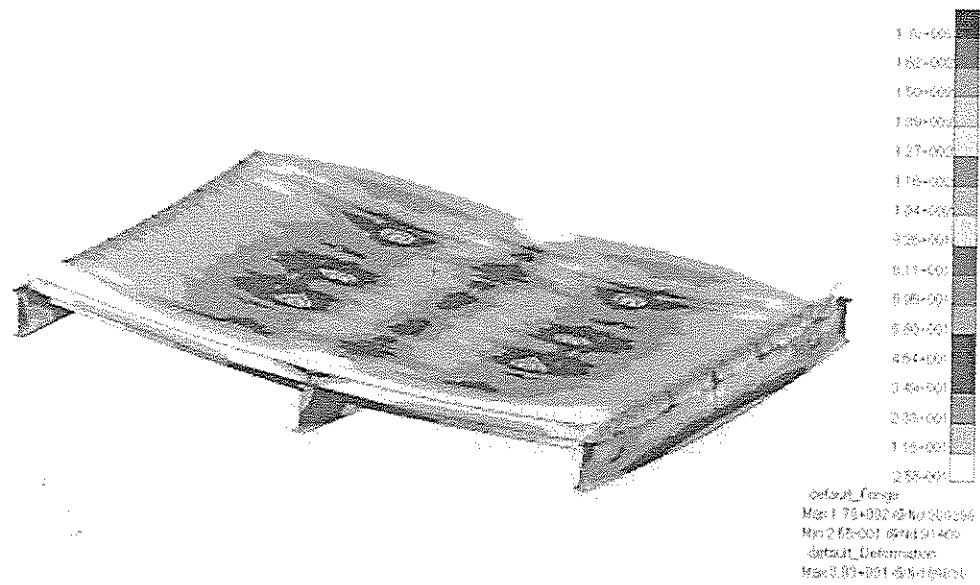
Gambar A.27 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-4



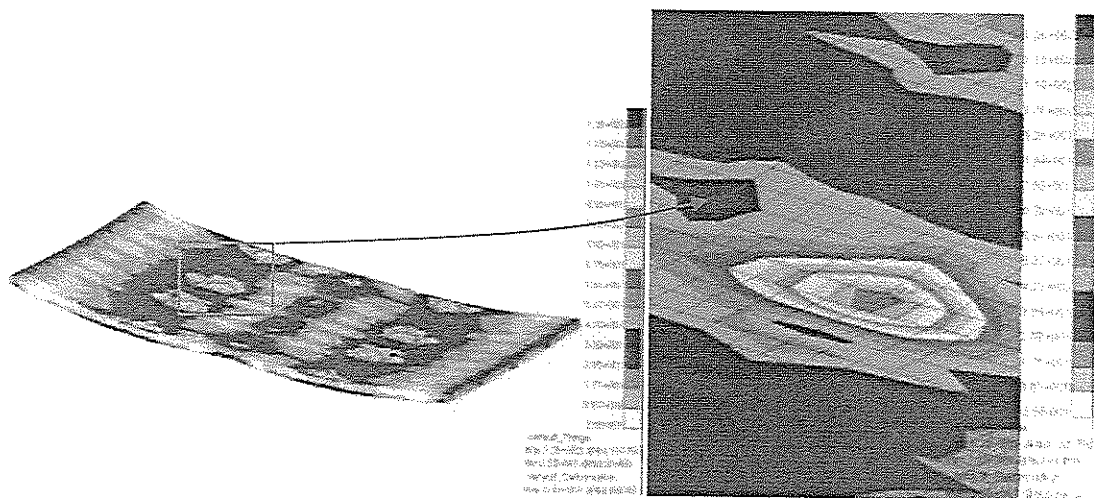
Gambar A.28 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-4



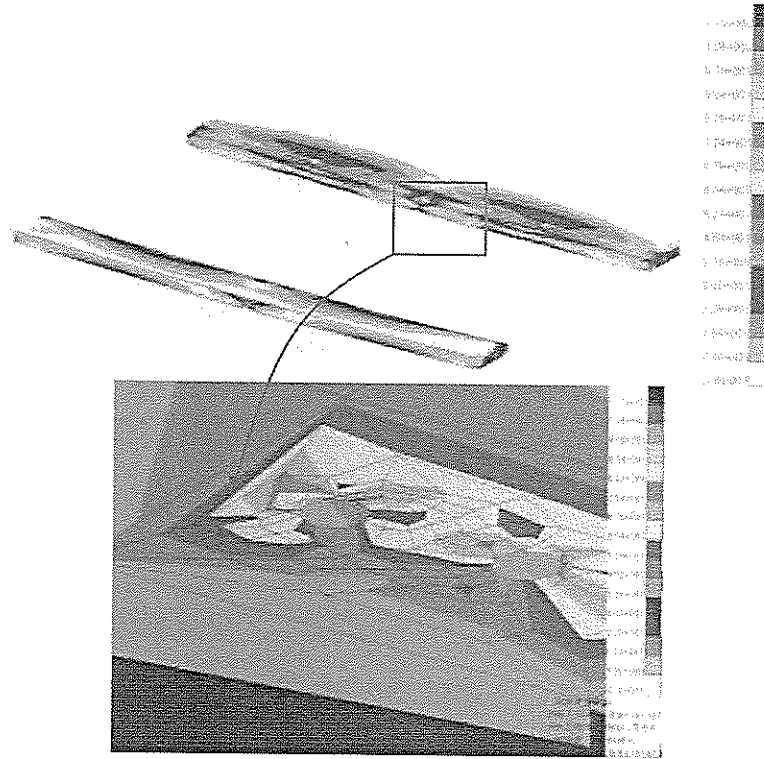
Gambar A.29 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-4



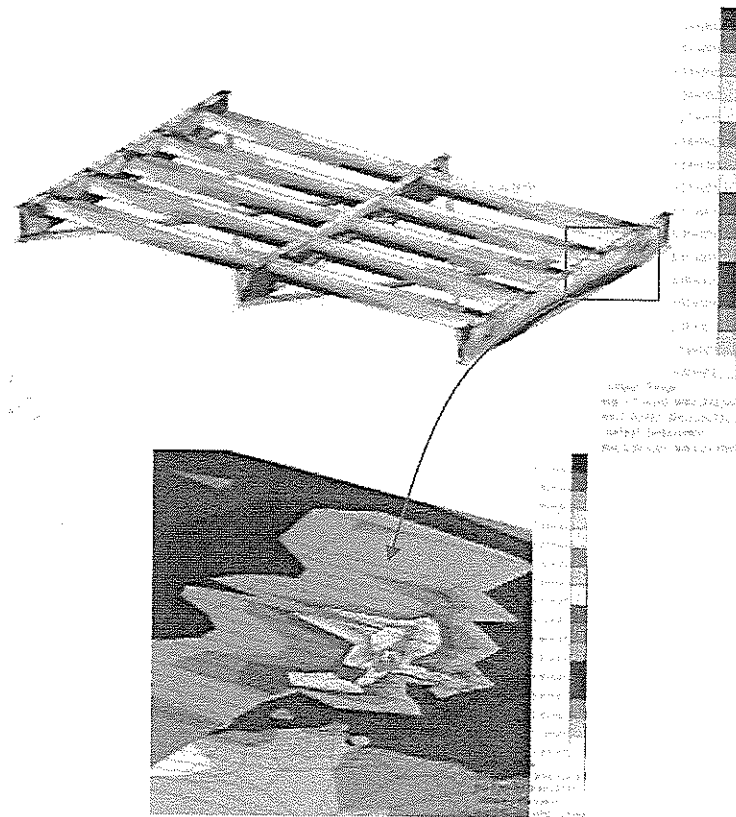
Gambar A.30 - Distribusi tegangan von Mises pada model global untuk kasus LC-5



Gambar A.31 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 1 untuk kasus LC-5



Gambar A.32 - Distribusi tegangan von Mises pada modul 2 untuk kasus LC-5



Gambar A.33 - Distribusi tegangan von Mises pada gm dan gp untuk kasus LC-5

Perhitungan Kekuatan Sambungan Baut

Berdasarkan data konfigurasi tiap-tiap jenis sambungan sebagaimana yang telah diuraikan pada bab terdahulu, dan dengan menggunakan baut ASTM A325 dengan diameter (d) = 16 mm, maka besar gaya-gaya yang diijinkan bekerja pada tiap-tiap sambungan tersebut ditunjukkan pada Tabel A.7 berikut.

Tabel A.7 Gaya yang diijinkan pada sambungan baut

| Tipe Sambungan | t_{min} (mm) | Allowable shear load (N) | Allowable Tension Load (N) | Allowable Bearing Load (N) |
|----------------|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| M – M 1 | 12 | 199623 (statik) 165876 (fatigue) | 112522 (statik) 52800 (fatigue) | 67200 (statik) 52800 (fatigue) |
| M – M 2 | 12 | 199623 (statik) 165876 (fatigue) | 112522 (statik) 52800 (fatigue) | 67200 (statik) 52800 (fatigue) |
| M – M 3 | 10 | 166352 (statik) 138230 (fatigue) | 93768 (statik) 44000 (fatigue) | 56000 (statik) 44000 (fatigue) |
| M - GM | 10 | 166352 (statik) 138230 (fatigue) | 93768 (statik) 44000 (fatigue) | 56000 (statik) 44000 (fatigue) |

CATATAN 1 fatigue load sampai dengan 500,000 siklus

Margin of Safety (MS) yang digunakan didefinisikan sebagai :

$$MS = \frac{\text{allowable load}}{\text{applied load} \times 1.15} - 1$$

Gaya-gaya maksimum yang bekerja pada tiap tipe sambungan baut beserta *margin of safety* dirangkum dalam Tabel A.8 sampai Tabel A.11 berikut:

Tabel A.8 Gaya maksimum pada sambungan M – M 1

| Kasus Pembebanan | Applied Load (N) | | Margin of Safety | | | | | |
|------------------|------------------|---------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | Static | | | Fatigue | | |
| | Shear | Tension | Shear | Tension | Bearing | Shear | Tension | Bearing |
| LC-1 | 6530 | 23,50 | 25,58 | 4162,64 | 7,95 | 21,09 | 6,03 | 6,03 |
| LC-2 | 6560 | 27,30 | 25,46 | 3583,09 | 7,91 | 20,99 | 6,00 | 6,00 |
| LC-3 | 6210 | 43,30 | 26,95 | 2258,71 | 8,41 | 22,23 | 6,39 | 6,39 |
| LC-4 | 6500 | 67,10 | 25,71 | 1457,21 | 7,99 | 21,19 | 6,06 | 6,06 |
| LC-5 | 5400 | 57,60 | 31,15 | 1697,71 | 9,82 | 25,71 | 7,50 | 7,50 |

Tabel A.9 Gaya maksimum pada sambungan M – M 2

| Kasus Pembebanan | Applied Load (N) | | Margin of Safety | | | | | |
|------------------|------------------|---------|------------------|----------|---------|---------|----------|---------|
| | | | Static | | | Fatigue | | |
| | Shear | Tension | Shear | Tension | Bearing | Shear | Tension | Bearing |
| LC-1 | 7420 | 0,06 | 22,39 | 1,66E+06 | 6,88 | 18,44 | 7,78E+05 | 5,19 |
| LC-2 | 7420 | 0,06 | 22,39 | 1,65E+06 | 6,88 | 18,44 | 7,73E+05 | 5,19 |
| LC-3 | 7350 | 0,06 | 22,62 | 1,70E+06 | 6,95 | 18,62 | 7,97E+05 | 5,25 |
| LC-4 | 9630 | 0,06 | 17,03 | 1,52E+06 | 5,07 | 13,98 | 7,13E+05 | 3,77 |
| LC-5 | 6670 | 0,04 | 25,02 | 2,63E+06 | 7,76 | 20,63 | 1,23E+06 | 5,88 |

Tabel A.10 Gaya maksimum pada sambungan M – M 3

| Kasus Pembebanan | Applied Load (N) | | Margin of Safety | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | Static | | | Fatigue | | |
| | Shear | Tension | Shear | Tension | Bearing | Shear | Tension | Bearing |
| LC-1 | 3590 | 339 | 39,29 | 239,53 | 12,56 | 32,48 | 111,86 | 9,66 |
| LC-2 | 3510 | 334 | 40,21 | 243,13 | 12,87 | 33,25 | 113,55 | 9,90 |
| LC-3 | 4020 | 369 | 34,98 | 219,97 | 11,11 | 28,90 | 102,69 | 8,52 |
| LC-4 | 3660 | 324 | 38,52 | 250,66 | 12,30 | 31,84 | 117,09 | 9,45 |
| LC-5 | 4000 | 409 | 35,16 | 198,36 | 11,17 | 29,05 | 92,55 | 8,57 |

Tabel A.11 Gaya maksimum pada sambungan M – GM

| Kasus Pembebanan | Applied Load (N) | | Margin of Safety | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | Static | | | Fatigue | | |
| | Shear | Tension | Shear | Tension | Bearing | Shear | Tension | Bearing |
| LC-1 | 14400 | 432 | 9,05 | 187,75 | 2,38 | 7,35 | 87,57 | 1,66 |
| LC-2 | 14100 | 437 | 9,26 | 185,59 | 2,45 | 7,52 | 86,55 | 1,71 |
| LC-3 | 14800 | 454 | 8,77 | 178,60 | 2,29 | 7,12 | 83,28 | 1,59 |
| LC-4 | 14300 | 428 | 9,12 | 189,51 | 2,41 | 7,41 | 88,39 | 1,68 |
| LC-5 | 14500 | 386 | 8,98 | 210,24 | 2,36 | 7,29 | 98,12 | 1,64 |

Dari hasil perhitungan kekuatan sambungan baut untuk model global, maka dapat diketahui sambungan baut yang paling kritis berikut juga dengan kasus pembebanan yang menyebabkan hal tersebut. **Sambungan yang paling kritis (nilai *margin of safety* terendah) yaitu sambungan antara gelagar melintang-pelat sambung tipe 2-modul pelat baja ortotropik (sambungan tipe M – GM).** Sambungan tipe tersebut nilai *margin of safety* terendah mencapai 2,29 (untuk statik), dan 1,59 (untuk fatik). Kasus pembebanan yang menyebabkan kondisi paling kritis terhadap sambungan M – GM adalah kasus LC-3 (pembebanan truk tronton skema 1).

Dari keseluruhan tipe sambungan baut yang ada, maka gaya geser maksimum yang bekerja pada sambungan baut adalah sebesar **14800 N (pada sambungan M – GM)**, dan gaya tarik maksimum sebesar **454 N (pada sambungan M – GM)**.

A.3 Kesimpulan akhir

Tabel A.12 Siklus tegangan yang harus dipertimbangkan untuk perencanaan teknis

| Bagian yang memikul beban utama dalam arah memanjang | | | |
|---|-------|------------------------|-----------------------------------|
| Tipe jalan | Kasus | ADTT ^a | Pembebanan Truk |
| Jalan bebas hambatan, Jalan utama, Jalan raya | I | 2.500 atau lebih | 2.000.000 ^c 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 |

Las Sudut

$$F_v = 0,27 F_u$$

$$F_v = 0,27 \cdot 107.873 = 29.12571 \text{ MPa}$$

(4)

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

$K_h = 1$, $\mu = 0.33$, $T_b = 579,152 \text{ MPa}$, $A_n = 200,96 \text{ mm}^2$, $N_b = 2$, $N_s = 1$:

Sehingga didapatkan besarnya nilai $P_s = 76,815 \text{ N}$

$$f_v \leq F_s \cdot (1 - 1,88 f_t / F_u) \quad (7)$$

$$F_s = K_h \mu T_b = 191,12 \text{ MPa}$$

$$f_t = \text{Gaya Tarik Maksimum} / \text{Luasan} = 454 \text{ N} / 200,96 \text{ mm}^2 = 2,259 \text{ MPa}$$

$$F_u = 827,36 \text{ MPa (Tabel 2)}$$

$$F_v = \text{Gaya Geser Maksimum} / \text{Luasan} = 14800 \text{ N} / 200,96 \text{ mm}^2 = 73,64 \text{ MPa}$$

$$f_v \leq F_s \cdot (1 - 1,88 f_t / F_u) = 73,64 \text{ MPa} \leq 190,13 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK!}$$

$$F_v = 0,16 F_u = 132,379 \text{ MPa (Tabel 13)}$$

Karena $f_v / F_v = 0,55 > 0,33$, maka :

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

$$73,64^2 + (0,6 \cdot 2,259)^2 \leq 132,379^2$$

$$9962,367 \leq 17524,20 \dots\dots\dots \text{OK!}$$

A.3.1 Tegangan lentur pada pengaku longitudinal

Adapun kesimpulan dari hasil analisa pelat baja ortotropik jembatan dengan menggunakan metoda elemen hingga adalah sebagaimana yang terlihat pada Tabel A.13.

Tabel A.13 Stress level dari pelat ortotropik dan baut untuk konfigurasi dengan gelagar memanjang

| Komponen | Stress Level | | Status |
|------------------------|---|---|----------------------------------|
| | Maksimum (MPa) | Dijijinkan (MPa) | |
| Modul 1 | 138 | 350 | Di bawah tegangan yang diijinkan |
| Modul 2 | 127 | 350 | Di bawah tegangan yang diijinkan |
| Gelagar Melintang (GM) | 237 | 350 | Di bawah tegangan yang diijinkan |
| Gelagar Panjang (GP) | 236 | 350 | Di bawah tegangan yang diijinkan |
| Pelat sambungan | 138 | 350 | Di bawah tegangan yang diijinkan |
| Profil Pengisi | 131 | 350 | Di bawah tegangan yang diijinkan |
| Sambungan Baut | 14,8 kN (<i>shear</i>) MS = 8,87 454 N (<i>Tension</i>) MS = 178 <i>Bearing Load</i> MS = 2,29 | Maks. <i>Shear</i> dan <i>Bearing</i> pada sambungan M - GM | <i>Safe</i> Min. MS (0.2) |

A.3.2 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 $L/1000$, L = 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.

Defleksi pengaku, balok, dan gelagar akibat beban hidup ditambah beban tumbukan boleh melebihi pembatasan-pembatasan pada pasal 11 tetapi tidak melebihi $L/500$ dengan L adalah panjang bentang pelat ortotropik, defleksi pelat lantai akibat beban roda yang ditetapkan ditambah 30 persen beban tumbukan harus kurang dari $1/300$ jarak antara badan tegak pengaku.

Berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur, maka didapat besarnya perbandingan antara defleksi maksimum yang terjadi akibat kombinasi pembebanan yang diterapkan pada pemodelan terhadap defleksi izin adalah sebagaimana terlihat pada Tabel A.14.

Tabel A.14 Perbandingan nilai defleksi maksimum berbanding dengan defleksi izin

| No. | Kombinasi Pembebanan | Defleksi (mm) | Defleksi Izin ($L/300$)mm | Keterangan |
|-----|----------------------|---------------|-----------------------------|------------|
| 1 | LC-1 | 8.89 | 22.23 | Aman |
| 2 | LC-2 | 8.55 | 22.23 | Aman |
| 3 | LC-3 | 11.8 | 22.23 | Aman |
| 4 | LC-4 | 15 | 22.23 | Aman |
| 5 | LC-5 | 11 | 22.23 | Aman |

Bibliografi

Mangus, A.R., Sun, S., 2000. *Orthotropic Deck Bridges* – Bridge Engineering Handbook (Ed. Wai-Fah Chen dan Lian Duan), CRC Press

_____, 2008. *Section 10 – Structural Steel* pada Bridge Design Specification, California Department of Transportation, (diunduh dengan nama file section10.pdf -

<http://www.dot.ca.gov/hq/esc/techpubs/manual/bridgemanuals/bridge-design-specifications/page/section10.pdf>

Daftar nama dan lembaga

1. Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum.

2. Penyusun

| Nama | Instansi |
|------------------------|----------------------------------|
| Redrik Irawan, ST., MT | Pusat Litbang Jalan dan Jembatan |