



No. 004/BM/2009

MANUAL

Konstruksi dan Bangunan

Pemeriksaan Jembatan Rangka Baja



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

TERKENDALI

Prakata

Tahapan Perkuatan Jembatan Rangka Baja ini mencakup secara umum tatacara perkuatan struktur jembatan baik jembatan rangka maupun jembatan beton sehingga dapat mengembalikan kapasitas jembatan mendekati kondisi semula dengan tindakan yang paling tepat, efektif tanpa mengubah desain awal dan spesifikasi yang ada.

Acuan manual ini adalah undang-undang no.32 tahun 2005 tentang jalan, *Bridge Management System* 1992 bagian *Bridge Design Code* dengan revisi pada bagian 2 dengan Pembebanan untuk Jembatan (SK.SNI T-02-2005) sesuai Kepmen PU No.498/KPTS/M/2005, bagian 6 dengan Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SK.SNI T-12-2004) sesuai Kepmen PU No.260/KPTS/M/2004, dan bagian 7 dengan Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (SK.SNI T-03-2005) sesuai Kepmen PU No.498/KPTS/M/2005.

Dengan adanya manual ini diharapkan agar pelaksana perkuatan jembatan memperoleh tahapan pelaksanaan secara sistematis tanpa mengubah ketentuan desain awal dan spesifikasi yang ada.

Jakarta, Desember 2009
Direktur Jenderal Bina Marga



A. Hermanto Dardak

Daftar Isi

Prakata	i
Daftar Isi	ii
Daftar Tabel	iv
Daftar Gambar	v
Pendahuluan.....	viii
1. Ruang Lingkup.....	1
2. Acuan normatif.....	1
3. Istilah dan definisi	1
4. Tahapan penerapan perkuatan.....	9
4.1. PENENTUAN PENERAPAN SUATU PERKUATAN	9
4.2. PENERAPAN PERKUATAN JEMBATAN	14
5. Metode perkuatan	15
5.1. Ketentuan Metode Perkuatan.....	20
5.1.1. Perkuatan dengan memperbesar penampang dan Penggantian elemen yang lemah.....	20
5.1.2. Penambahan strip CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer) / steel plate bonding...	22
5.1.3. Perkuatan hubungan/ sambungan	23
5.1.4. Pemasangan elemen tambahan seperti rangka batang tambahan	23
5.1.5. Prategang Eksternal	24
5.1.6. Penggantian sistem penyokong	27
5.1.7. Penggantian pelat lantai dengan struktur yang lebih ringan	28

5.2. <u>Perkuatan dengan Memperbesar Penampang</u>	29
5.3. Penggantian Elemen Lemah.....	34
5.4. Prategang Eksternal (PE)	39
5.5. Steel Plate Bonding	42
5.6. Lembaran Fiber Reinforced Polymer (FRP)	44
5.7. Perubahan sistem struktur	54
5.8. Modifikasi sistem pelat lantai	56

Daftar Tabel

Tabel 1 Klasifikasi umum dari metode perkuatan struktur baja jembatan.....	16
Tabel 2 Klasifikasi umum teknik perbaikan dan bahan yang aplikasikan pada bangunan struktur baja jembatan ..	17
Tabel 3 Klasifikasi umum teknik perbaikan dan bahan yang aplikasikan pada bangunan struktur beton jembatan	18
Tabel 4 Tabel perbandingan steel plate bonding dan lembaran FRP	45

Daftar Gambar

Gambar 1	Proses pembuatan keputusan untuk evaluasi jembatan dan pemanfaatan yang layak di kemudian hari.....	11
Gambar 1	Penggantian elemen profil I terbalik dengan profil kanal ganda pada batang diagonal jembatan rangka baja.....	21
Gambar 2	Dudukan angker yang sudah berkarat baut-baut dan pelat bajanya serta pengecoran graut semen yang kurang rapih.....	27
Gambar 3	Perkuatan dengan Memperbesar Penampang Lantai dan Gelagar.....	30
Gambar 4	Perkuatan dengan Memperbesar Penampang Pelat Lantai.....	31
Gambar 5	Perkuatan dengan Memperbesar Penampang Bawah dengan Pelat Baja Tambahan pada Gelagar Baja.....	31
Gambar 6	Perkuatan dengan Memperbesar Penampang dengan Pelat Baja Tambahan pada Rangka Baja	33
Gambar 7	Perkuatan dengan Penambahan Batang Baja pada Rangka Baja	33

Gambar 8	Mengubah Sistem Struktur dengan Menambah Sistem Struktur Baru berupa Jembatan Rangka Batang Baru di Bagian Bawahnya	34
Gambar 9	Metode penggantian batang tarik dan batang tekan	35
Gambar 10	Detail Penempatan Perkuatan Batang Tarik Diagonal	36
Gambar 11.	Detail Penempatan Perkuatan Batang Tekan Diagonal	37
Gambar 12	Contoh Metode Pelepasan Batang dan Pemambahan Batang.....	38
Gambar 13	Perkuatan Prategang Eksternal pada Jembatan Rangka Baja.....	40
Gambar 14	Contoh Prategang Eksternal pada Rangka Baja ..	40
Gambar 15	Perkuatan Steel Plate Bonding pada Struktur Rangka Jembatan.....	43
Gambar 16	Contoh Perkuatan Lantai dengan Steel Plate Bonding	43
Gambar 17	Contoh Perkuatan dengan Lembaran CFRP	44
Gambar 18	Bagan Alir Perhitungan Lembaran FRP.....	47
Gambar 19	Distribusi Tegangan Tulangan Tunggal	49
Gambar 20	Contoh Serat Bahan Perkuatan.....	50
Gambar 21	Distribusi Tegangan dengan Perkuatan FRP.....	50
Gambar 22	Contoh Perkuatan dengan FRP pada Gelagar Beton Boks.	53

Gambar 23 Perubahan Sistem Struktur menjadi Menerus	54
Gambar 24 Mengubah Sistem Struktur dengan Menambah Sistem Struktur Baru berupa Jembatan Kabel ..55	
Gambar 25 Perubahan sistem struktur jembatan rangka panel Bailey dengan menambahkan sistem kabel untuk menambah bentang jembatan	55
Gambar 26 Pemasangan pelat baja ortotropik	56
Gambar 27 Retak pada pelat baja ortotropik dan hubungan antara balok penopang dengan pelat baja ortotropik.....	57
Gambar 28 Contoh Penulangan Lantai yang Telah Ditingkatkan dengan Berbagai Hubungan antar Segmen Setiap 10 m.	58
Gambar 29 Celah antara pelat baja bergelombang dengan bagian beton.....	59
Gambar 30 Penambahan tulangan di bagian atas struktur komposit beton dengan pelat baja bergelombang	59
Gambar 31 Usaha untuk menjaga kekompositan struktur lantai dengan pelat baja bergelombang dan memasang sambungan geser dan tulangan penyangga.....	60
Gambar 32 Penggantian pelat lantai dengan struktur pracetak pelat T ganda berikut detail hubungannya di atas gelagar melintang	61

Pendahuluan

Jembatan rangka baja seperti pada rangka baja Australia, Belanda dan lain sebagainya merupakan bangunan atas jembatan yang disusun dari panel-panel berbentuk segitiga dan dirangkai satu persatu dengan hubungan baut. Peningkatan beban dan volume lalu-lintas dan pelapisan ulang perkerasan aspal di jembatan yang berlebihan, serta penurunan mutu konstruksi jembatan dengan berjalan waktu berpengaruh pada peningkatan tegangan elemen rangka batang jembatan dan bertambah besarnya lendutan yang terjadi.

Suatu usaha untuk meningkatkan daya layan dan kapasitas jembatan akibat hal tersebut diatas adalah dengan menerapkan perkuatan jembatan dengan menggunakan metode prategang eksternal. Dimana prinsipnya adalah memberikan suatu gaya yang akan mereduksi tegangan tarik rangka batang jembatan dengan mempergunakan kabel atau batang baja. Agar didapat kapasitas sesuai dengan kapasitas maksimum rangka baja dan sesuai dengan beban yang akan melewatinya.

Penempatan kabel prategang dapat diletakkan pada daerah batang-batang tarik dengan memanfaatkan deviator untuk mendapatkan eksentrisitas gaya. Sehingga didapat lawan lendut pada jembatan, dan mengurangi tegangan tarik pada elemen tarik serta sebaliknya, yang pada akhirnya daya layan dan kapasitas jembatan akan meningkat.

Hal umum, misalnya; penunjukan nama dari panitia teknik yang mempersiapkan standar, informasi yang berkaitan dengan ketentuan yang digunakan termasuk Pedoman BSN.

Hal khusus, misalnya; petunjuk adanya instansi lain yang memberi kontribusi pada persiapan standar ini, pernyataan bahwa pembatalan standar dan penggantian dokumen lainnya secara keseluruhan atau sebagian, pernyataan perubahan teknis yang penting dari standar edisi yang lalu, hubungan

suatu standar dengan standar lain atau dokumen lain, pernyataan tentang lampiran yang bersifat normatif dan informatif.

SALINAN

Manual Perkuatan Jembatan Rangka Baja

1. Ruang Lingkup

Manual ini memuat secara umum tatacara perkuatan struktur jembatan baik jembatan rangka ataupun jembatan beton sehingga dapat mengembalikan kapasitas jembatan mendekati kondisi semula dengan tindakan yang paling tepat, efektif tanpa mengubah desain awal dan spesifikasi yang ada.

2. Acuan normatif

- Undang-undang No. : Tentang Jalan
32 tahun 2005
- SK.SNI T-02-2005 : Pembebanan Jembatan
- SK.SNI T-12-2004 : Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan
- SK.SNI T-03-2005 : Perencanaan struktur baja untuk jembatan

3. Istilah dan definisi

3.1.

alinyemen

merupakan alur jalan yang dinyatakan dalam proyeksi horizontal atau vertikal

3.2.

analisis ekonomis

analisis yang didasarkan atas seberapa besar keuntungan ekonomis yang didapat pada suatu perbaikan jembatan

3.3.

angker

adalah bagian jembatan sebagai penambat tetap terhadap pergerakan lateral atau longitudinal.

3.4.

baja

material dengan kekerasan cukup tinggi yang umum digunakan pada suatu jenis konstruksi bangunan atau jembatan.

3.5.

baut

elemen untuk mengikat elemen struktur yang terpisah yang dikencangkan dengan suatu kunci momen.

3.6.

beton

material batu buatan yang mampu menahan tekan tetapi tidak mampu menahan tarik.

3.7.

buhul

adalah pelat pengikat pada sambungan baja berupa pelat yang disambung dengan baut atau keling yang menyatukan elemen-elemen utama rangka.

3.8.

deviator

bagian dari sistem eksternal prestress untuk membuat simpangan tertentu pada kabel.

3.9.

elemen

bagian dari suatu struktur jembatan

3.10.

epoksi

perekat beton yang menyatukan elemen-elemen struktural

3.11.

estetika

nilai keindahan yang dihasilkan dari suatu struktur bangunan

3.12.

fatik

beban pada jembatan yang bersifat berulang dan terus menerus

3.13.

frp

fiber reinforced polymer yang bersifat menambah kapasitas dukung suatu balok beton dalam menahan lentur

3.14.

galvanis

lapisan khusus pada elemen baja untuk mengatasi perkaratan

3.15.

gaya aksial

gaya yang bersifat tarik atau tekan dalam arah tegak lurus penampang profil

3.16.

gaya batang

gaya yang terjadi pada elemen batang rangka baja

3.17.

gaya lentur

gaya akibat beban melintang jembatan yang menyebabkan vektor lentur dalam arah tegak lurus longitudinal elemen struktur

3.18.

gaya tekan internal

gaya tekan pada struktur yang bersifat dachil dan saling menghilangkan jika dianalisis dalam kerangka acuan struktur secara umum.

3.19.

geometrik

bentuk struktural dari suatu kostruksi bangunan

3.20.

jembatan

sistem struktur dengan dua perletakan atau lebih yang direncanakan secara analitis dan sistematis untuk menyeberangkan angkutan di atasnya melewati suatu halangan, sungai atau lautan.

3.21.

kapasitas

kemampuan suatu jembatan untuk menampung beban di atasnya

3.22.

kerusakan

hal-hal yang besifat destruktif dan merugikan fungsi suatu bangunan secara keseluruhan

3.23.

kerusakan struktur

penurunan fungsi dan kemampuan struktural dalam menerima gaya atau momen gaya yang diterimanya

3.24.

kerusakan bahan

penurunan kualitas bahan dalam mendukung terbangunnya sistem struktur yang terintegrasi

3.25.

komponen

bagian dari elemen suatu struktur yang mendukung terintegrasinya suatu sistem

3.26

komponen elemen

sub bagian dari elemen jembatan yang merupakan unit terkecil

3.27.

konstruksi

sistem struktur yang dibuat manusia dengan menerapkan kaidah-kaidah desain

3.29.

kontraktor

badan usaha yang bertanggung jawab melaksanakan gambar desain dan mengadakan pekerjaan konstruksi

3.30.

korosi

kerusakan pada elemen jembatan akibat pengikatan uap air oleh karat baja

3.31.

lawan lendut

kaidah yang diterapkan berdasarkan persyaratan tertentu untuk menjamin kenyamanan pengguna jalan/jembatan.

3.32.

layak

kondisi infrastruktur jalan/jembatan yang baik dan mantap untuk digunakan selama masa layannya.

3.33.

modernisasi

kegiatan memperbaharui kondisi infrastruktur yang ada sehingga memiliki nilai dan fungsi servis yang baik.

3.34.

mortar

bahan untuk pengisi suatu adukan semen yang telah dibersihkan dan memenuhi persyaratan lainnya

3.35.

overlay

pelapisan ulang asphalt

3.36.

patching

penambalan lapisan perkerasan jalan

3.37.

pelat

bagian struktur yang dominan mengalami biaxial lentur dan torsi

3.38.

penulangan

kegiatan pemberian batangan baja deform/polos pada struktur beton

3.39.

perancah

lapisan penahan sementara beton basah akibat pengaruh gravitasi

3.40.

perancangan

kegiatan menambah clamping force pada baut sesuai aturan menurut jenis bautnya

3.41.

perkuatan

kegiatan mengembalikan kapasitas muat jembatan seperti kondisi desain awal

3.42.

plastik polimer

plastik yang dibentuk dari senyawa buatan yang sering digunakan pada lapisan fibre untuk meningkatkan kapasitas lentur balok girder beton

3.43.

prategang

suatu teknik memberikan momen lentur berlawanan dengan arah lentur beban sehingga meningkatkan kapasitas muat suatu elemen struktur

3.44.

profil

baja penampang tertentu yang digunakan dalam konstruksi

3.45.

rangka

tipe jembatan dari susunan elemen baja yang disambung dan didesain berdasarkan kriteria tertentu

3.46.

rehabilitasi

usaha perbaikan kapasitas dukung jembatan dan peningkatan daya muat jembatan terhadap beban struktur yang ada

3.47.

sambungan siar muai

suatu elemen jembatan untuk mengakomodir dilatasi memanjang jembatan

3.48.

selongsong kabel

bungkus kabel pratekan untuk memperkecil losses yang terjadi

3.49.

struktur

suatu tatanan konstruksi buatan manusia dengan menerapkan kaidah-kaidah alam, aturan dan spesifikasi teknis yang merupakan pedoman bersama

3.50.

struktural

elemen-elemen jembatan yang dominan menerima beban-beban utama

3.51.

tegangan

kondisi tarik atau tekan yang merupakan ukuran gaya per satuan penampang

3.52.

tegangan leleh

batasan tertinggi ukuran tegangan propertis material dalam koridor elastis

3.53.

tingkat kerusakan

kategori kerusakan elemen struktur dalam klasifikasi yang sudah ditetapkan sebelumnya

3.54.

umur pelayanan

masa penggunaan suatu konstruksi

3.55.

umur rencana

perkiraan umur pelayanan maksimum suatu bangunan dalam kondisi mantap dan layak pakai yang sudah ditetapkan.

4. Tahapan penerapan perkuatan

4.1. Penentuan penerapan suatu perkuatan

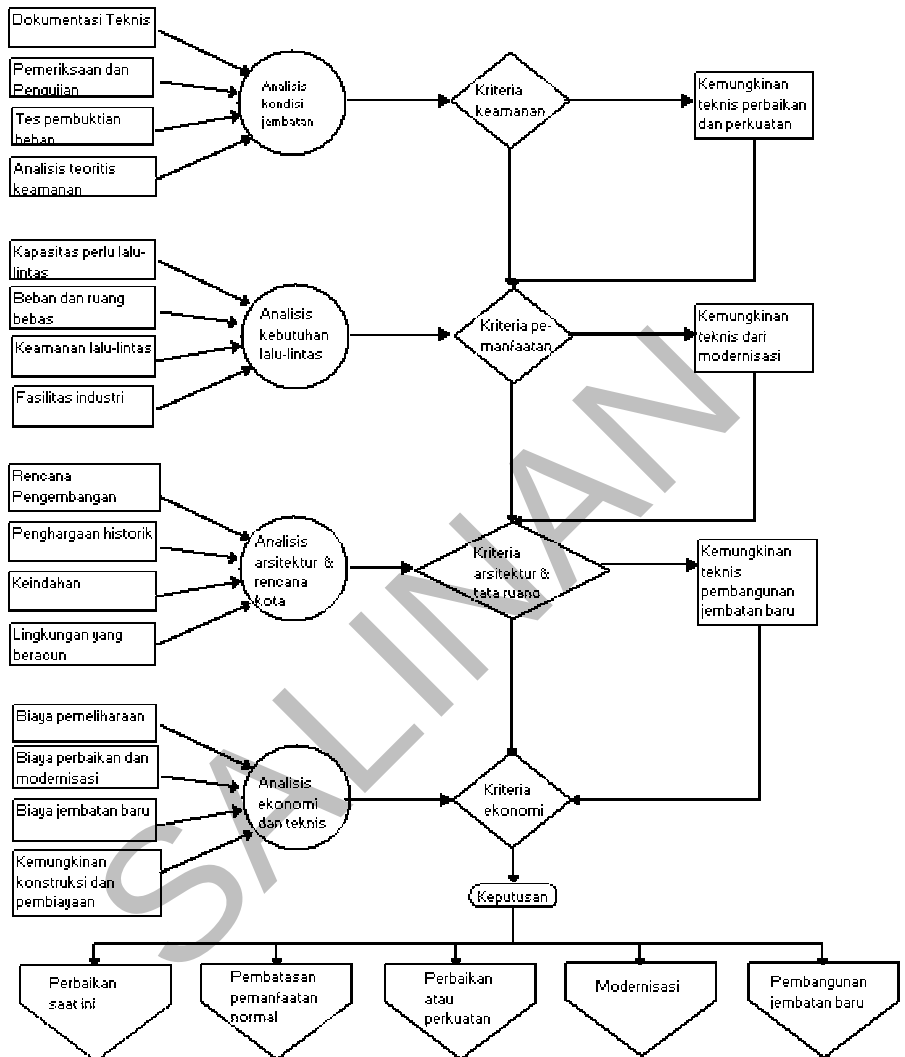
Masalah dalam penerapan rehabilitasi jembatan dapat diformulasikan sebagai beberapa set pertanyaan mendasar :

- a) Apakah jembatan perlu untuk dimanfaatkan seluruhnya ?
- b) Berapa lama jembatan diprediksikan untuk dimanfaatkan ?
- c) Bagaimana kondisi teknis jembatan dan tingkat keamanannya ?
- d) Bagaimana kondisi lalu-lintas pada saat ini dan yang diprediksikan (yaitu perubahan intensitas dan kecepatan lalu-lintas, berat kendaraan dan tipenya) ?
- e) Apakah jembatan cukup berfungsi untuk kondisi lalu-lintas sekarang dan yang diprediksikan ?
- f) Apakah kapasitas pemikul beban cukup untuk lalu-lintas saat ini dan yang diprediksikan (yaitu utamanya lalu-lintas jalan raya dan kereta api) dan tipe lain beban (contohnya beban angin) yang berlaku di atas jembatan ?
- g) Bagaimana kemungkinan struktural dan bahan untuk diperbaiki, direhabilitasi, ditingkatkan atau dimodernisasi geometrik jembatan ?
- h) Berapa biaya aksi yang telah disebutkan di atas termasuk biaya kesulitan lalu-lintas dibandingkan dengan biaya jembatan baru ?
- i) Apakah sama biaya pemeliharaan sebelum dan sesudah perbaikan, rehabilitasi, perkuatan atau modernisasi geometrik jembatan ?

- j) Apakah ada unsur pelestarian secara historik dan keindahan jembatan ?
- k) Apakah ada peran jembatan dalam rencana pembangunan menyangkut daerah kota dan daerah luar kota ?

Oleh karena ditempuh alur pikir dalam pemilihan sebagaimana yang terlihat pada gambar di bawah ini :

SALINAN



Gambar 1 Proses pembuatan keputusan untuk evaluasi jembatan dan pemanfaatan yang layak di kemudian hari

Dimana permasalahan yang harus diperhitungkan adalah :

1. Problem Analitis, Struktural dan Perancangan
2. Problem ekonomis
3. Ketersediaan bahan dan teknik perbaikan
4. Problem pemeliharaan
5. Problem estetika

Bagaimana pun problem perhitungan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kondisi teknis jembatan yang ada sebagaimana juga sifat-sifat fisik dari bahan struktural harus diketahui sebelum melakukan proses perancangan
2. Semua kondisi teknis dan fungsional untuk jembatan setelah dilakukan perkuatan termasuk umur rencana yang diharapkan harus dengan jelas ditentukan
3. Membuat inventaris kekurangan dokumentasi aslinya dari jembatan yang akan diperkuat
4. Memperbandingkan standar saat ini atau persyaratan lain dengan standar perancangan aslinya untuk menentukan ruang lingkup minimum dari perkuatan jembatan
5. Memperbandingkan kesesuaian bahan perbaikan atau bahan baru dengan bahan aslinya.
6. Melihat ketersediaan kontraktor yang sesuai dengan bahan dan konstruksi perbaikan
7. Efektivitas biaya
8. Manajemen lalu-lintas selama perbaikan dilakukan

Analisis ekonomis diperlukan untuk memperhitungkan tiga komponen utama biaya yaitu :

1. Biaya modal untuk perencanaan, perancangan dan biaya total konstruksi
2. Biaya pemeliharaan selama umur pelayanan
3. Keuntungan yang muncul dari pemanfaatan jembatan selama umur pelayanan

Kemudian aspek lain yang harus diperhitungkan adalah ketersediaan bahan dan teknik perbaikan. Adapun masalah utamanya adalah :

1. Apakah penyebab kerusakan bahan
2. Apakah tipe kerusakan struktur jembatan
3. Seberapa besar tingkat kerusakan (global atau lokal)
4. Elemen mana dari struktur yang mengalami kerusakan (elemen primer atau sekunder) dan dimana lokasinya (apakah di bagian luar atau dalam, terekspos atau tidak)
5. Seberapa dalam tingkat kerusakan struktur (apakah hanya di permukaan, masuk lebih dalam atau telah menembus elemen struktur)
6. Bagaimana kondisi lingkungan (apakah normal, agak agresif atau terlalu agresif secara kimiawi)
7. Dimana lokasi kerusakan bahan dihubungkan dengan gaya-gaya dalam struktur (apakah berada dalam zona tarik atau tekan misalnya)
8. Apa tujuan utama dari perkuatan (apakah mengembalikan ke kapasitas standar atau untuk meningkatkan kekuatan)
9. Apa tujuan perbaikan (apakah untuk memperbaiki estetika atau memperbaiki perilaku struktur)

Sedangkan problem pemeliharaan yang harus diatasi adalah :

1. Hubungan antara biaya bahan dan teknik yang dipergunakan untuk perbaikan dan biaya pemeliharaan setelahnya dan penggunaan prosedur optimasi
2. Perbaikan komponen elemen jembatan lainnya seperti sistem drainase, sambungan siar muai, dan perkerasan
3. Peningkatan kemudahan pemeriksaan dan pemeliharaan rutin jembatan
4. Keperluan pemeliharaan untuk melakukan penggantian perletakan jembatan.

Aspek estetika yang perlu diperhatikan adalah :

1. Penggantian warna jembatan
2. Kesesuaian proporsi antar-elemen jembatan dalam suatu struktur jembatan.
3. Ketersediaan ruang bebas di bawah jembatan.
4. Kesesuaian estetika akibat penambahan komponen tambahan pada jembatan.
5. Pelestarian geometrik jembatan yang bernilai historis.

Aspek-aspek di atas adalah aspek ideal yang harus diperhitungkan sebelum menentukan penetapan suatu teknik perkuatan untuk memperpanjang umur pelayanan jembatan.

4.2. Penerapan Perkuatan Jembatan

Setelah keputusan perkuatan dianggap lebih baik untuk memperpanjang waktu pemanfaatan jembatan dibandingkan dengan melakukan pembangunan jembatan baru maka langkah selanjutnya adalah :

1. Melakukan penilaian beban dan pengkajian analisis struktur jembatan yang ada.

2. Memeriksa kondisi jembatan secara detail melalui pemeriksaan visual dan pemeriksaan dengan peralatan khusus bila memang diperlukan. Pemeriksaan kondisi ini untuk mengetahui dengan pasti kerusakan yang terjadi di lapangan dan untuk menentukan langkah perbaikan yang diperlukan untuk mengoptimalkan kekuatan yang akan dilakukan.
3. Memetakan semua jenis kekuatan yang mungkin dan semua metode konstruksi yang sesuai dengan kondisi lapangan termasuk ketersediaan sumber daya alat, bahan dan manusia yang kompeten untuk itu.
4. Dan akhirnya memilih suatu teknik kekuatan.

5. Metode kekuatan

Secara umum klasifikasi aplikasi metode kekuatan untuk struktur beton pada bangunan atas jembatan dapat dibagi dalam dua kriteria dasar, yaitu: (A) metode pasif dan (B) metode aktif.

Metode pasif dapat didefinisikan sebagai metode kekuatan yang mengakibatkan redistribusi dari gaya-gaya dalam dalam struktur tetapi redistribusi itu sendiri bukan prinsip utama dalam metode ini.

Sedangkan metode aktif dapat didefinisikan sebagai metode kekuatan yang berdasarkan redistribusi yang dimasukkan secara sengaja pada gaya dalam struktur sehingga kekuatan yang diperlukan dapat dicapai dengan cara redistribusi gaya tersebut.

Kedua metode tersebut dirangkum menurut (1) prinsip metode kekuatan, (2) waktu pelaksanaan, dan (3) biaya pelaksanaan sebagaimana yang terlihat pada Tabel 1 di bawah ini

Tabel 1 Klasifikasi umum dari metode perkuatan struktur baja jembatan

Metode Pasif				Metode Aktif			
	Prinsip	Waktu	Biaya		Prinsip	Waktu	Biaya
P1	Penambahan penampang elemen struktur	Panjang	Rendah	A1	Pemasangan elemen tambahan seperti rangka batang tambahan	Agak panjang	Tinggi
P2	Penggantian elemen yang lemah dengan elemen yang baru untuk mencapai kapasitas pemikulan beban tertentu	Pendek	Tinggi	A2	Prategang eksternal	Agak panjang	Agak mahal
P3	Penambahan strip CFRP	Pendek	Agak mahal	A3	Penggantian sistem penyangkang	Agak panjang	Rendah
P4	Perkuatan hubungan/sambungan termasuk penambahan pelat buhul	Pendek	Rendah	A4	Penggantian pelat lantai dengan struktur yang lebih ringan	Panjang	Tinggi
P5	Metode Lain			A5	Metode Lain		

Selain itu untuk mengoptimalkan metode perkuatan itu seringkali harus dilakukan beberapa metode perbaikan sebagaimana yang terlihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel 2 Klasifikasi umum teknik perbaikan dan bahan yang
aplikasikan pada bangunan struktur baja jembatan**

No	Tipe pekerjaan	Elemen Struktur	Teknik yang diterapkan	Bahan perbaikan dan perlindungan
1	Pengangkatan korosi dan pembersihan permukaan	Semua elemen baja	Pembersihan dengan tangan, dengan pasir bertekanan, dengan pemanasan atau dengan cara kimia	-
2	Perbaikan elemen yang berdeformasi	Semua elemen baja	Cara mekanis dengan dongrak atau dengan cara pemanasan	
3	Perkuatan struktur elemen yang tereduksi penampangnya akibat fatik dan retak fatik	Semua elemen baja	Perkuatan dengan menambah pelat atau profil siku yang dilas atau dibaut	Baja dan bahan las atau baut dengan bahan yang cocok dengan baja eksisting
4	Perkuatan struktur setelah perbaikan	Gelagar melintang	Tambahan pelat yang digabungkan dengan struktur lama dengan menggunakan baut atau las	Kecocokan elemen baru dan lama diperlukan untuk menghindari korosi pada celah keduanya
5	Pemasangan elemen baru sesudah dilakukan pengangkatan elemen eksisting	Semua elemen jika dimungkinkan	Dengan menggunakan baut dan las	Baja dengan bahan yang sesuai pada elemen dan bagian sambungan
6	Proteksi anti-korosi	Semua elemen baja dan hubungannya	Umumnya dengan menggunakan pengecatan, pengecatan dengan penyemprotan	Sistem pengecatan dengan berbagai tipe yang terdiri dari satu atau lebih lapisan perlindungan

**Tabel 3 Klasifikasi umum teknik perbaikan dan bahan yang
aplikasikan pada bangunan struktur beton jembatan**

No	Tipe pekerjaan	Elemen Struktur	Teknik yang diterapkan	Bahan perbaikan dan perlindungan
1	Pengangkatan beton yang telah lapuk	Semua elemen beton	Chipping dengan tangan, palu bertekanan, pemotongan, penyemprotan dengan air tekanan tinggi	-
2	Pengangkatan korosi	Tulangan	Pembersihan manual dengan sikat kawat atau gurinda, penyemprotan dengan pasir bertekanan	
3	Pembersihan permukaan	Baja dan beton	Pembersihan tanpa alat atau penyemprotan	
4	Perbaikan retak	Beton	Tergantung lebar retak : pemberian lapisan pelindung, injeksi gravitasi atau injeksi bertekanan	Graut semen Graut epoksi
5	Penempelan bahan perbaikan	Beton	Pembasahan area yang akan diperbaiki dan penerapan lapisan yang kaya mortar (dengan teknik manual tanpa alat), pelapisan epoxy pengikat atau penambahan sengkang pengikat	Mortar semen, Beton, Mortar modifikasi polimer
6	Patching/ penambalan	Beton	Teknik tanpa alat	Mortar semen, Beton, Mortar atau beton modifikasi
7	Penggantian atau penambahan penulangan	Tulangan	Teknik tanpa alat atau dengan pengelasan	Tulangan, sengkang dan tulangan penyambung
8	Perlindungan tulangan	Tulangan	Kuas atau penyemprotan	Lapisan pelindung epoxy
9	Penerapan bahan perbaikan	Beton	Teknik dengan singkup, dibalut dengan teknik gravitasi, beton semprot atau pemompaan	Mortar semen, Beton, Mortar Semen atau beton modifikasi, mortar

				atau beton berserat, mortar epoksi, polimer yang berbasis resin
10	Pembuatan permukaan lebih kedap atau pelapisan permukaan	Beton	Dengan menggunakan kuas	<u>Untuk pelapisan permukaan</u> menggunakan : semen polimer modifikasi, polimer semen modifikasi <u>Untuk membuat lapisan permukaan lebih kedap</u> : peresapan dengan bahan polimer, silika, sealent berbasis epoxy, Resin karet dan silikon, oli biji rami
11	Perbaikan kerusakan akibat tumbukan		Penengangan dengan kabel eksternal	Tendon prategang dan dudukan baja

Perbaikan lain yang sebaiknya dilakukan bersamaan dengan pekerjaan perkuatan adalah :

1. Perbaikan sambungan siar muai untuk memperlancar pergerakan jembatan
2. Perbaikan saluran drainase untuk mengurangi beban air hujan pada saat banjir
3. Perbaikan lapisan permukaan aspal untuk mengurangi efek kejutan pada jembatan
4. Perbaikan railing dan lampu penerangan untuk meningkatkan keamanan struktur rangka utama terhadap tabrakan dengan kendaraan yang lewat.

5.1. Ketentuan Metode Perkuatan

1.1.1. 5.1.1. Perkuatan dengan memperbesar penampang dan Penggantian elemen yang lemah

Tujuan : Dengan memperbesar/ memperbaiki penampang akan didapat momen inersia penampang yang lebih besar dan akhirnya akan meningkatkan kekakuan statis dan dinamis struktur.

Tahap Persiapan :

1. Pengukuran dimensi penampang secara terperinci dimana mungkin ditemukan jarak antar buhul yang tidak sama akibat perubahan lawan lendut seiring dengan berjalannya waktu dan beban lalu-lintas yang lewat
2. Pengukuran ukuran dan lokasi baut eksisting
3. Perlu dipersiapkan detail pelubangan baut baru untuk menyambung struktur lama dengan struktur baru
4. Perlu dipersiapkan perlindungan terhadap korosi permukaan antarmuka struktur lama dengan struktur baru
5. Perlu dipersiapkan pemesanan baut dengan kelas baut yang sama / lebih tinggi dengan panjang baut yang lebih besar
6. Perlu dipersiapkan peralatan tambahan yang dapat melawan gaya yang bekerja di dalam rangka batang yang mengunci pergerakan baut yaitu dengan menambahkan struktur rangka pengganti, memberikan gaya prategang yang simetris untuk menggantikan batang tekkan, memberikan gaya tekan yang simetris untuk menggantikan batang tarik.
7. Perlu dipersiapkan pelapisan struktur baut apakah dengan cat atau galvanis
8. Apabila dimungkinkan beban-beban yang bekerja dapat dihilangkan (misalnya beban overlay yang berlebih atau bahkan beban pelat beton) atau ditiadakan untuk sementara (misalnya beban lalu-lintas)

9. Penyediaan perancah dan peralatan pengangkut profil baja

Tahap Pelaksanaan :

1. Pembersihan permukaan struktur eksisting
2. Tahap awal adalah tahap pelepasan baut dengan menggunakan baji / pasak yang sesuai
3. Kemudian memasukkan baut yang baru bersamaan dengan dikeluarkannya baut lama
4. Kemudian memasang profil tambahan pada struktur yang ada.

Tahap Pemeliharaan

1. Perlu dipersiapkan rencana rutin pengecatan baut
2. Perlu dipersiapkan rencana pemeriksaan korosi terutama di permukaan antarmuka
3. Perlu dipersiapkan pengecatan rutin



Gambar 2 Penggantian elemen profil I terbalik dengan profil kanal ganda pada batang diagonal jembatan rangka baja

1.1.2. 5.1.2. Penambahan strip CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer) / steel plate bonding

Tujuan : Menambah kekuatan melawan gaya aksial dan gaya lentur penampang elemen baja/ beton dengan cara melekatkan suatu pelat tambahan yang berupa baja atau lembaran plastik polimer.

Tahap Persiapan :

1. Penyediaan lembaran baja atau lembaran plastik polimer beserta perekat yang sesuai
2. Penyediaan perancah dan peralatan pengangkut profil baja
3. Penyediaan baut dan bahan-bahan perekat lainnya
4. Pengecatan lapisan pelindung terhadap korosi pelat baja yang akan ditempelkan

Tahap Pelaksanaan :

1. Pembersihan permukaan
2. Pelaksanaan di bagian baja sebaiknya menggunakan pelindung untuk menghindari panas yang berlebihan yang akan mengubah sifat fisik dari bahan perekat
3. Pemasangan struktur yang akan memegang pelat selama masa perekatan
4. Pemasangan baut dan lapisan perekat
5. Pemasangan pelat baja / CFRP

Tahap Pemeliharaan

1. Perlu dipersiapkan rencana pemeriksaan korosi terutama di permukaan antarmuka
2. Perlu dipersiapkan pengecatan rutin

1.1.3. 5.1.3. Perkuatan hubungan/ sambungan

Tujuan : Untuk mengantisipasi bahaya retak akibat beban berlebih dan fenomena fatik (pencapaian tegangan retak pada baja yang lebih kecil dari tegangan leleh melalui siklus yang berulang pada tingkat tertentu)

Tahap Persiapan : (Hampir sama dengan yang dilakukan pada perkuatan dengan perbesaran penampang / penggantian penampang yang lemah)

Tahap Pelaksanaan : (Hampir sama dengan yang dilakukan pada perkuatan dengan perbesaran penampang / penggantian penampang yang lemah)

Tahap Pemeliharaan : (Hampir sama dengan yang dilakukan pada perkuatan dengan perbesaran penampang / penggantian penampang yang lemah)

1.1.4. 5.1.4. Pemasangan elemen tambahan seperti rangka batang tambahan

Tujuan : Mendistribusikan gaya-gaya batang pada struktur yang sudah ada ke rangka batang tambahan, memperpendek panjang tekuk

Tahap Persiapan :

1. Analisa struktur yang lengkap dan terperinci, terutama apabila titik pertemuan antara rangka baru mengakibatkan perubahan distribusi gaya-gaya dalam yang cukup signifikan.
2. Pengukuran ketersediaan ruang penempatan rangka batang baru. Ukuran dari profil yang dapat ditempatkan ini akan menentukan jenis profil yang dapat dipasang
3. Pengukuran panjang rangka tambahan yang akurat
4. Penyiapan peralatan tambahan untuk melepaskan dan memasukkan baut kembali

5. Penyediaan baut dengan panjang yang lebih besar dengan mutu baja yang tidak boleh lebih rendah dari mutu baja baut eksisting
6. Pemberian lapisan pelindung korosi pada profil rangka baru
7. Penyediaan perancah dan peralatan pengangkut profil baja
8. Penyediaan alat untuk memperbesar lubang baut apabila baut tidak dapat masuk pada lubang baut

Tahap Pelaksanaan :

1. Beban-beban yang bekerja dikurangi atau dihilangkan
2. Pelepasan baut
3. Penyetelan dan pemasangan profil baja yang baru sehingga baut dapat dimasukkan dengan sempurna
4. Pemasangan kembali baut dan pengencangannya

Tahap Pemeliharaan :

1. Program pengencangan baut yang rutin
2. Program pemberian lapisan pelindung terutama ketika korosi sedikit tampak

1.1.5. 5.1.5. Prategang Eksternal

Tujuan : Memberikan suatu gaya tekan internal pada struktur jembatan melalui perantaraan kabel baja mutu tinggi yang ditegangkan untuk mereduksi tegangan yang terjadi pada elemen rangka batang dan memberikan suatu lawan lendut tambahan.

Tahap Persiapan :

1. Penentuan alinyemen melalui perencanaan yang akurat yang memperhatikan jarak celah jembatan dengan dinding kepala jembatan, ruang bebas di bawah jembatan, dan

batang-batang yang akan dilewati oleh kabel dan batang kritis yang akan direduksi tegangannya, lokasi angker dan deviator yang berkaitan dengan gaya prategang yang aplikasikan

2. Penyediaan selongsong kabel dan kabel prategang
3. Penyediaan pompa hidraluk yang telah dikalibrasi tekanannya dan tidak bocor selang-selang pompanya
4. Penyediaan perancah dan peralatan pengangkut pompa hidraluk
5. Perencanaan dan pembuatan dudukan angker dan deviator

Tahap Pelaksanaan :

1. Pemasangan dudukan angker dan deviator termasuk pembuatan lubang baut baru
2. Pemasangan selongsong kabel dan kabel prategang
3. Pengurangan dan peniadaan beban-beban yang bekerja selama penarikan berlangsung
4. Perbaikan sistem perletakan agar dapat berfungsi sebagai sendi-rol ketika penarikan dilakukan sehingga efek penekanan dapat berlangsung dengan optimal.
5. Pengurangan efek kekakuan lantai yang menghambat suatu gaya yang memberikan lawan lendut tambahan apabila dimungkinkan tetapi tidak disarankan untuk gelagar melintang yang mempunyai konektor geser.
6. Penarikan yang berlangsung sedikit demi sedikit dan simetris antar-sisi rangka sampai mencapai angka penarikan yang diinginkan. Interval setiap 25 % dapat dijadikan acuan tahapan penarikan kabel.
7. Melonggarkan baut sampai dengan 50 % dari nilai torsi minimum agar pemberian efek tambahan lawan lendut

dapat berlangsung lebih optimal ketika lantai jembatan dibongkar.

8. Mengencangkan baut sampai dengan 100 % nilai torsi minimum agar sambungan struktur rangka lebih kaku ketika penarikan kabel berlangsung.
9. Monitoring lawan lendut dan bentuk penampang selama pelaksanaan penarikan berlangsung untuk mengontrol adanya penarikan kabel yang berlebihan.
10. Pengisian graut semen ke dalam selongsong kabel

Tahap Pemeliharaan :

1. Monitoring kabel apabila selongsong kabel tidak diisi dengan graut semen untuk melihat adanya indikasi fatik pada kabel
2. Monitoring ujung bagian angker agar semen graut terisi dengan baik dan tidak menjadi tempat masuknya karat pada kabel prategang
3. Monitoring elemen-elemen baja yang dilubangi dan lubang-lubang baut agar tidak terjadi karat
4. Pengecatan rutin pada bagian lubang baut baru atau elemen profil baja yang terpaksa dilubangi untuk jalan masuknya kabel, serta bagian angker dan deviator
5. Pengisian celah-celah yang kosong dan berpotensi untuk terjadinya korosi dengan semen pada dudukan angker dan deviator



Gambar 3 Dudukan angker yang sudah berkarat baut-baut dan pelat bajanya serta pengecoran graut semen yang kurang rapih

1.1.6. 5.1.6. Penggantian sistem penyangk

Tujuan : Memperpendek bentang jembatan dengan memberikan sokongan tambahan atau merubah distribusi gaya-gaya dalam melalui perubahan sistem struktur.

Tahap Persiapan :

1. Analisa struktur yang akurat. Hal ini diperlukan mengingat terjadi perubahan gaya dalam struktur rangka batang terutama gaya aksial dari gaya tarik menjadi gaya tekan atau sebaliknya. Perubahan ini juga akan mempengaruhi perubahan gaya dalam struktur lantai. Struktur lantai dikhawatirkan mengalami perubahan gaya momen yang tidak sesuai dengan penempatan tulangnya dan akhirnya akan mengakibatkan retak pada pelat lantai.
2. Penentuan lokasi sokongan tambahan yang terkait dengan pembuatan pilar dan baru.
3. Penentuan sistem penyangk apakah dengan cable-stay atau dengan pilar tambahan.

Tahap Pelaksanaan :

1. Penentuan lokasi pilar penyokong
2. Pembuatan fundasi untuk pilar penyokong
3. Pembuatan tiang penyokong
4. Pemasangan perletakan pada tiang penyokong

Tahap Pemeliharaan :

1. Monitoring kondisi perletakan tiang penyokong
2. Monitoring retakan pada pelat lantai
3. Monitoring perubahan bentuk profil rangka baja

1.1.7. 5.1.7. Penggantian pelat lantai dengan struktur yang lebih ringan

Tujuan : Memperingan beban lantai sehingga terjadi pengurangan gaya dalam elemen pada rangka baja dan memperbaiki performa lantai dengan lantai yang lebih besar kapasitas pemikulan bebannya.

Tahap Persiapan :

1. Desain struktur pelat lantai baru, termasuk hubungan di bagian gelagar melintang
2. Peralatan untuk menghancurkan bagian pelat lantai
3. Peralatan untuk mengangkat bongkahan pelat lantai yang lama
4. Pengukuran panjang dan jarak antar segmen rangka baja setelah lantai dibongkar agar pemasangan pelat lantai baru dapat seakurat mungkin

Tahap Pelaksanaan :

1. Pembongkaran bagian aspal dan struktur beton pelat lantai lama
2. Pemasangan sayap-sayap tambahan apabila dudukan pelat lantai yang baru
3. Pembuatan lubang baut untuk dudukan pelat lantai yang baru
4. Pengencangan baut sampai 100 % nilai torsi minimum
5. Pembuatan konektor geser yang baru
6. Pengangkutan pelat lantai yang baru
7. Pemasangan pelat lantai pada struktur rangka
8. Pengecoran hubungan di atas gelagar melintang

Tahap Pemeliharaan :

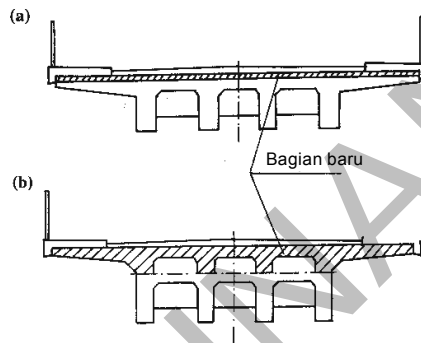
1. Monitoring dan penarikan kabel melintang untuk pelat lantai dari beton pracetak
2. Monitoring retakan melintang di atas gelagar melintang untuk pelat lantai dari beton pracetak
3. Monitoring retakan melintang di bagian bawah pelat lantai dari beton pracetak
4. Monitoring retak-retak pada pelat baja ortotropik
5. Monitoring karat dan korosi pada pelat baja ortotropik

Uraian metode perkuatan jembatan yang dapat diaplikasikan tersebut dapat dilihat pada tulisan di bawah ini.

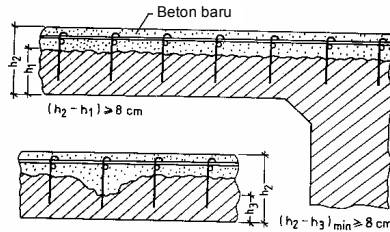
5.2. Perkuatan dengan Memperbesar Penampang

Perkuatan dengan memperbesar penampang pada struktur beton dengan menambah penulangan, merupakan metode

yang umum dilakukan. Metode perkuatan ini dapat dilakukan dengan berbagai situasi perkuatan. Metode perkuatan ini dapat dilakukan pada bagian atas maupun bawah elemen beton. Permasalahan utama yang perlu diperhatikan adalah hubungan antara beton lama dan beton baru. Perbedaan susut pada kedua elemen dapat terjadi disebabkan perbedaan homogenitas. Hal tersebut dapat diatasi dengan penggunaan konektor geser dan penggunaan bahan beton yang tidak susut.

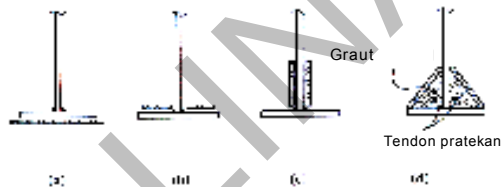


Gambar 4 Perkuatan dengan Memperbesar Penampang Lantai dan Gelagar



Gambar 5 Perkuatan dengan Memperbesar Penampang Pelat Lantai

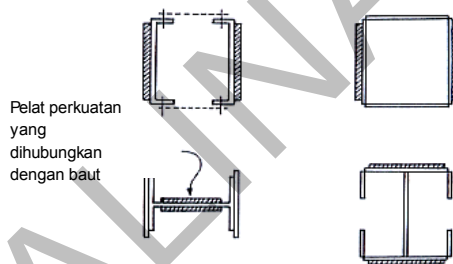
Selain pada struktur beton, metode perkuatan ini juga dapat digunakan untuk perkuatan jembatan baja. Beberapa metode memperbesar penampang pada struktur baja yaitu diantaranya adalah :



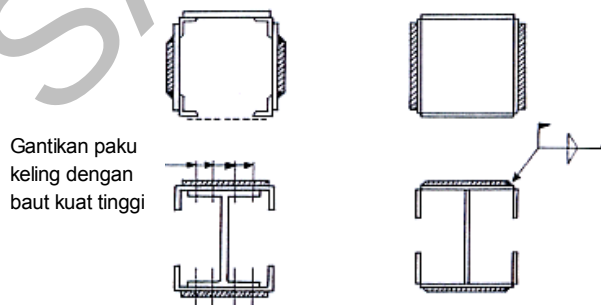
Gambar 6 Perkuatan dengan Memperbesar Penampang Bawah dengan Pelat Baja Tambahan pada Gelagar Baja



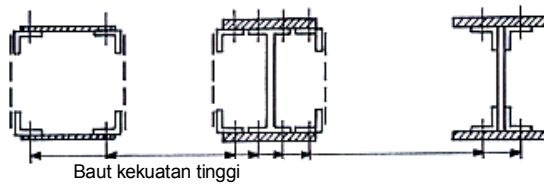
a) penambahan penampang dengan pelat atau profil



b) penambahan penampang dengan pelat pada batang tarik



c) penambahan penampang dengan pelat pada batang tekan

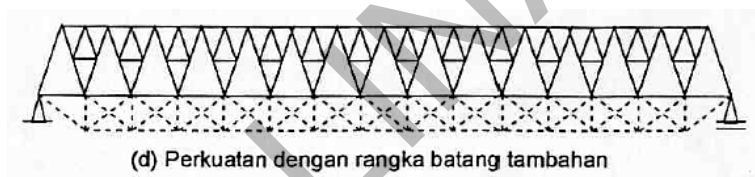


d) penambahan penampang dengan pelat pada batang vertikal

Gambar 7 Perkuatan dengan Memperbesar Penampang dengan Pelat Baja Tambahan pada Rangka Baja



Gambar 8 Perkuatan dengan Penambahan Batang Baja pada Rangka Baja

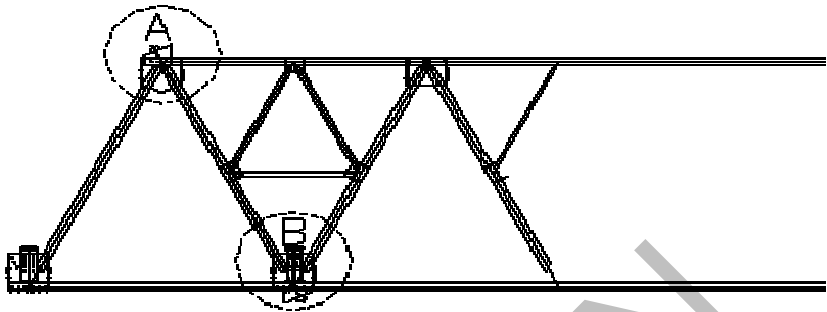


Gambar 9 Mengubah Sistem Struktur dengan Menambah Sistem Struktur Baru berupa Jembatan Rangka Batang Baru di Bagian Bawahnya

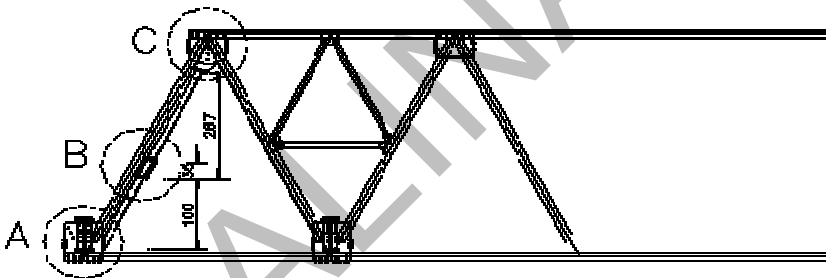
5.3. Penggantian Elemen Lemah

Suatu penambahan batang tarik atau tekan di dahului dengan metode pelepasan batang. Cara ini harus dilakukan dengan hati-hati dan harus menghentikan / mengurangi beban dan kecepatan kendaraan pada saat penerapannya. Gambar di bawah ini memperlihatkan diperlukan suatu batang prategang untuk mengganti batang tarik dan dongkrak yang dapat dipasang untuk melawan gaya tekan pada batang tekan. Cara

yang lain adalah dengan memasang batang rangka sementara di sebelah sampingnya.

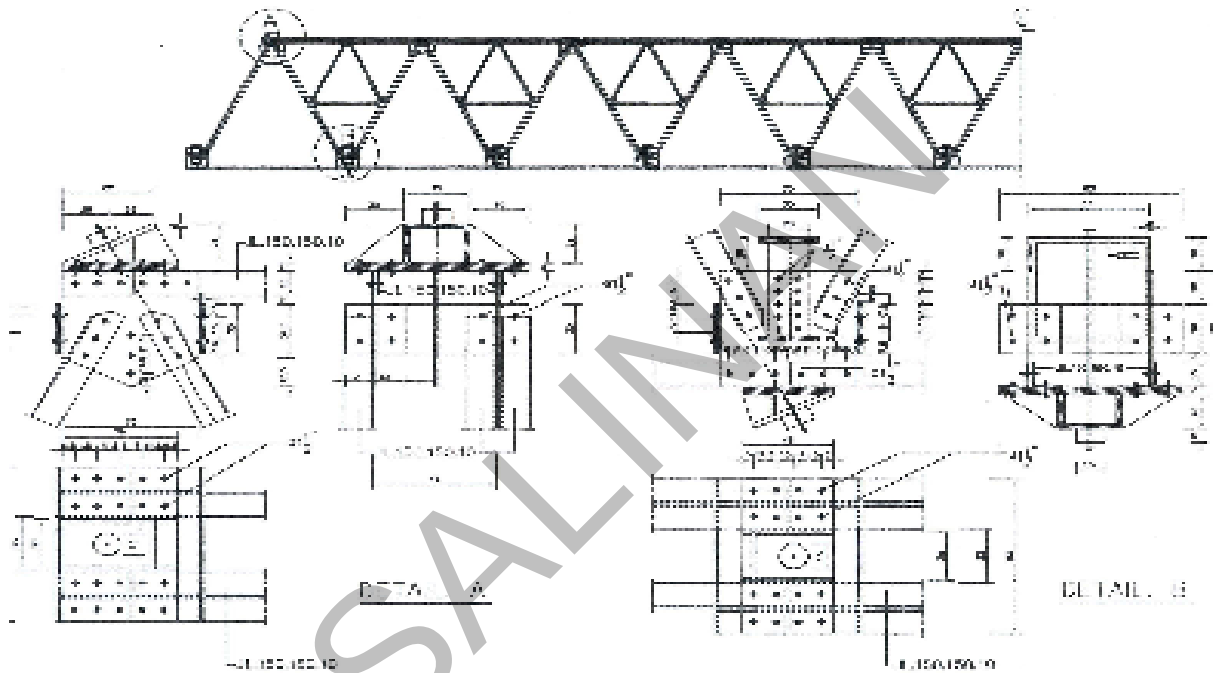


(a) penempatan kabel prategang eksternal untuk mengganti batang tarik



(b) penempatan dongkrak yang ditahan dalam suatu frame tambahan untuk mengganti batang tekan

Gambar 10 Metode penggantian batang tarik dan batang tekan



Gambar 12 Detail Penempatan Perkuatan Batang Tekan Diagonal



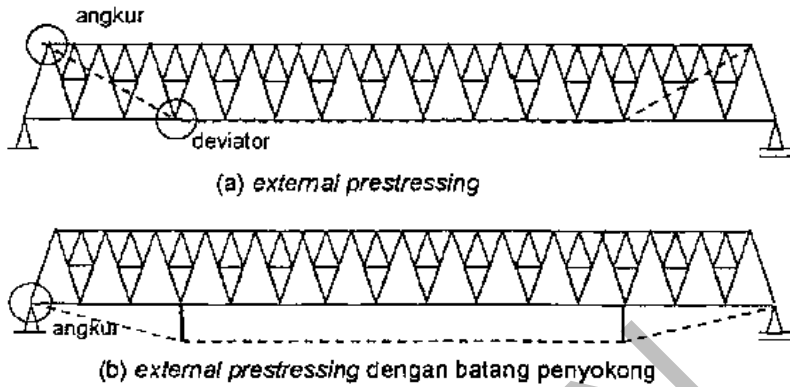
Gambar 13 Contoh Metode Pelepasan Batang dan
Pemambahan Batang

5.4. Prategang Eksternal (PE)

Perkuatan ini merupakan perkuatan yang sangat universal karena dapat dilakukan untuk berbagai macam tipe struktur. Selain untuk struktur beton dapat pula untuk struktur baja. Elemen utama pada jenis perkuatan ini adalah kabel baja prategang, angker dan deviator.

Perkuatan dengan PE menyederhanakan penerapan beban aksial yang dikombinasikan dengan gaya angkat untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser dari struktur balok atau komponen. Metode dapat juga digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan daya layan. Sebagai contoh peningkatan kekakuan yang diberikan dengan prategang eksternal dapat mereduksi defleksi dan vibrasi selama umur layannya. Jangkauan tegangan pada lokasi kritis dapat juga direduksi sehingga dapat meningkatkan kinerja ketahanan terhadap fatik, dan dengan kehadiran deformasi atau lendutan ke bawah akibat beban yang diterapkan pada jembatan dapat direduksi.

Prinsip dasar PE adalah sama seperti pada sistem prategang yang biasa dilakukan khususnya pada jembatan beton pratekan, yaitu menerapkan suatu gaya tekan yang dikombinasikan dengan momen eksentrisitas guna menambah kapasitas lentur serta memperbaiki kondisi retakan dari suatu gelagar.



Gambar 14 Perkuatan Prategang Eksternal pada Jembatan Rangka Baja



Tampak perkuatan prategang eksternal



Tampak angkur

Tampak deviator

Gambar 15 Contoh Prategang Eksternal pada Rangka Baja

Sistem pengangkeran yang digunakan dalam perkuatan ini adalah sama seperti yang digunakan pada perencanaan beton prategang biasa. Saat sekarang ini produsen khusus peralatan prategang sudah menyiapkan sistem angker yang khusus untuk prategang eksternal dengan kelengkapan perlindungan terhadap korosi serta fasilitas lain yang tersedia untuk keperluan inspeksi dan penggantian strand.

Angker pada konstruksi jembatan rangka, angker dapat ditempatkan ujung-ujung bawah atau ujung ujung atas rangkanya. Tendon dapat dibuat lurus, atau poligon bergantung pada kebutuhan perencanaan.

Pemberian tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan kabel prategang, baik yang berupa strand tunggal maupun gabungan. Pada beberapa keadaan, pemberian tegangan dilakukan dengan menggunakan batang baja kuat tarik tinggi yang dapat ditarik dengan dongkrak hidrolik ataupun dengan sistem pengencangan baut.

Keuntungan penerapan metode prategang eksternal adalah :

- a) Tidak perlu menutup arus lalu-lintas
- b) Pelaksanaannya yang mudah dalam hal pemasangan peralatan yang digunakan.
- c) Kemudahan dalam pemeriksaan kabel dan angkernya yang terpasang karena letaknya di luar struktur.
- d) Kabel prategang dapat ditegang ulang.
- e) Kabel prategang direncanakan untuk dapat diganti kemudian hari.

Selain keuntungan di atas terdapat juga beberapa kekurangan yaitu:

- a) Suatu penilaian kondisi khusus pada jembatan yang lebih teliti dibandingkan dengan metode lain, harus dilakukan terlebih dahulu guna menjamin bahwa lantai, gelagar dan

rangka jembatan dapat memikul adanya penambahan tegangan.

- b) Kabel prategang yang ditempatkan di luar menjadi lebih mudah terkena korosi dan vandalisme.
- c) Pada saat dilakukan penegangan kabel pada rangka jembatan, akan terjadi sejumlah pergerakan pada komponen-komponen lantai jembatan baik dalam arah vertikal maupun horisontal, sehingga perlu diperhitungkan akan terjadi tegangan-tegangan sekunder yang dapat merusak pelat lantai dan rangka jembatan.
- d) Pada jembatan rangka baja, pemberian gaya aksial dapat mengakibatkan masalah kestabilan lokal sehingga diperlukan adanya perkuatan lokal pada struktur angker atau penambahan profil di dekat elemen rangka baja yang letaknya paling dekat dengan angker.

5.5. Steel Plate Bonding

Pada dasarnya perkuatan dengan *steel plate bonding* merupakan perkuatan dengan melakukan penambahan tulangan (pelat baja) yang dikompositkan dengan beton dengan menggunakan bahan perekat epoksi resin. Perkuatan dengan *steel plate bonding* dapat digunakan untuk perkuatan lentur maupun geser.

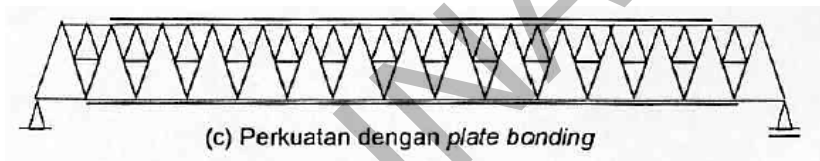
Penggunaan perkuatan dengan metode ini memiliki kelemahan yaitu hanya dapat bekerja efisien pada temperatur 60°C . Lebih dari 60°C , kekuatan dari bahan perekat epoksi resin adhesive akan mengalami penurunan kekuatan. Kualitas dari kontak antara beton dengan pelat baja sangat menentukan sekali. Kriteria kinerja dari bahan perekat epoksi resin dapat diformulasikan sebagai berikut :

- a) Kekuatan geser dari perekat epoksi resin sekurang-kurangnya harus sama dengan kuat geser beton mutu

tinggi yaitu sekurang-kurangnya 8 MPa dan kekuatan geser dari beton yang sedang diperbaiki harus minimal 4 MPa.

- b) Bahan perekat epoksi resin harus memiliki kekakuan yang cukup dalam menerima beban, kuat modulus lentur harus berada pada 2 - 8 GPa.
- c) Bahan perekat epoksi resin harus memiliki keawetan yang lama, yaitu dengan masa layan selama 30 tahun pada temperatur -20°C sampai dengan $+40^{\circ}\text{C}$

Prosedur perencanaan untuk perkuatan dengan metode ini telah umum diketahui oleh para perencana. Prinsip dasar dalam perencanaan adalah dengan mengasumsikan bahwa pelat baja dengan beton dapat komposit dengan baik sehingga perencanaan dengan metode elastis dan ultimit.



Gambar 16 Perkuatan Steel Plate Bonding pada Struktur Rangka Jembatan



Gambar 17 Contoh Perkuatan Lantai dengan Steel Plate Bonding

5.6. Lembaran *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

Pada dasarnya perkuatan dengan Lembaran *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* sama dengan metode *steel plate bonding* yang merupakan perkuatan dengan melakukan penambahan tulangan dapat berupa serat e-glass, karbon, atau aramid yang dikompositkan dengan beton dengan menggunakan bahan perekat epoksi resin (Perkuatan dengan Lembaran FRP dapat digunakan untuk perkuatan lentur maupun geser).

Kelebihan dari perkuatan dengan menggunakan lembaran FRP adalah kekuatan yang sangat tinggi, penambahan beban pada jembatan lebih ringan dan kemudahan pada saat pelaksanaan dibanding dengan *steel plate bonding*.

Perbandingan antara penggunaan FRP dan *steel plate bonding* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.



Gambar 18 Contoh Perkuatan dengan Lembaran *CFRP*

Tabel 4 Tabel Perbandingan Steel Plate Bonding dan Lembaran FRP

Steel plate bonding		Lembaran FRP	
Kelebihan			
1.	Biaya relatif murah	1.	Tidak bermasalah dengan korosi
2.	Umum digunakan	2.	Berat yang sangat ringan
3.	Kekuatan cukup tinggi dan juga tahan terhadap lelah	3.	Kekuatan yang sangat tinggi dan juga tahan terhadap lelah
4.	Beban dapat segala arah	4.	Mudah dalam pelaksanaan dan pemeliharaan
5.	Dapat menggunakan baut atau angker jika dibutuhkan	5.	Tidak ada sambungan
Kekurangan			
1.	Mudah terserang korosi	1.	Biaya relatif tinggi
2.	Relatif berat	2.	Tidak umum digunakan
3.	Pelaksanaan yang relatif sulit	3.	Hanya mampu menahan beban dalam 1 arah.
4.	Ada sambungan		
5.	Biaya perancah yang cukup tinggi		

Prosedur perencanaan berdasarkan pada hasil eksperimental terhadap model keruntuhan pada lembaran FRP. Prosedur perencanaan tersebut utamanya berdasarkan Swiss standard SIA 162 (1989) yang sejalan dengan Eurocode 2.

Biasanya dalam perencanaan perkuatan pada struktur beton bertulang dengan lembaran FRP harus mempertimbangkan :

1. Kekuatan lentur dari penampang yang diperkuat
2. Kekuatan geser yang diizinkan
3. Kapasitas dari sambungan perekat
4. Kekuatan lekat atau pengangkeran
5. Faktor keamanan untuk penampang beton tanpa perkuatan.

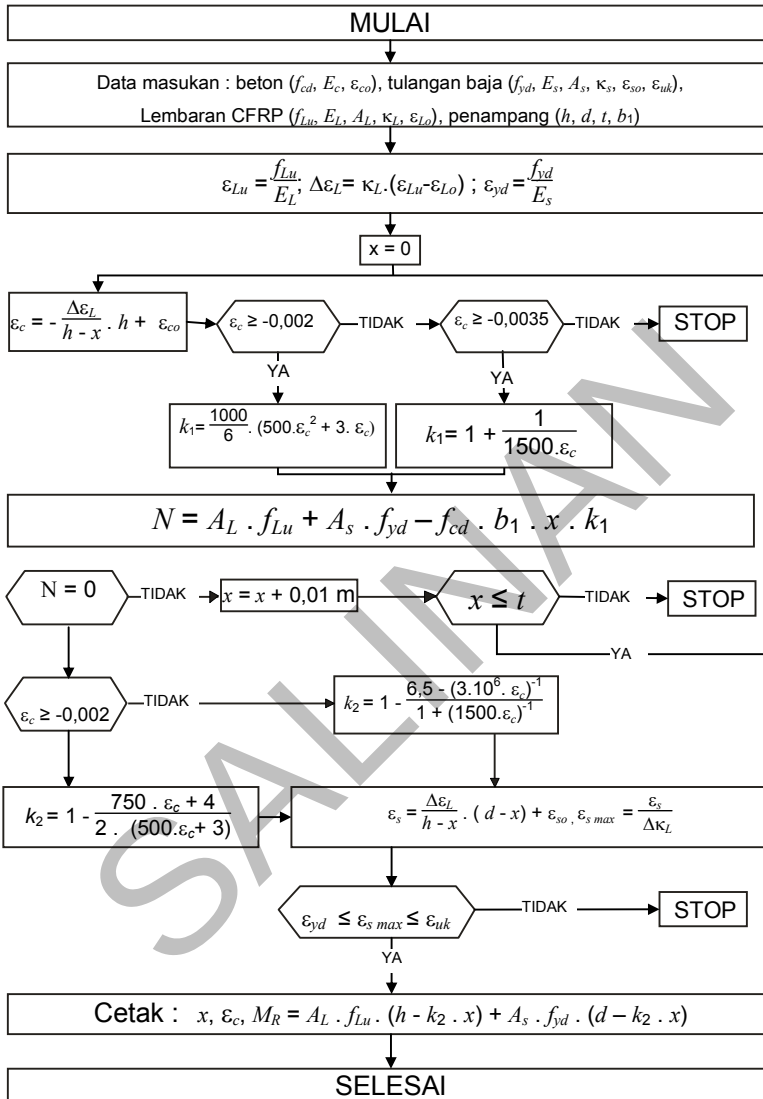
Prosedur perencanaan perkuatan dengan lembaran FRP memiliki beberapa perbedaan dari perencanaan beton konvensional.

Perilaku bahan lembaran FRP pada saat menerima beban adalah linear-elastic dan tidak memiliki deformasi plastis.

Maksimum kekuatan lentur dari penampang adalah ketika lembaran FRP terjadi keruntuhan bersamaan dengan lelehnya baja tulangan sebelum keruntuhan pada beton.

Berdasarkan asumsi tersebut di atas, maka asumsi dasar prosedur perencanaan beton bertulang konvensional masih dapat digunakan, yaitu :

1. Idealisasi diagram tegangan-regangan untuk beton
2. Beton tidak memiliki kekuatan tarik pada zona tarik
3. Distribusi regangan pada penampang beton.
4. Regangan ultimate beton pada daerah tekan adalah $\epsilon_c = 0,0035$.
5. Rasio regangan maksimum terhadap minimum dijelaskan oleh faktor komposit $\alpha_L = 0,65 - 0,80$ untuk CFRP dan $\alpha_s = 0,9 - 1,00$ untuk baja, nilai tersebut diperoleh dari hasil eksperimen.



Gambar 19 Bagan Alir Perhitungan Lembaran FRP

Dimana :

f_{cd} = kuat tekan karakteristik beton, MPa

E_c = modulus Young beton

ε_{co} = regangan tekan ketika FRP setelah komposit

f_{yd} = tegangan leleh baja tulangan

E_s = modulus Young baja

A_s = luas penampang tulangan baja

k_s = faktor komposit untuk baja

ε_{so} = regangan baja ketika FRP setelah komposit

ε_{uk} = regangan ultimit tulangan baja

f_{Lu} = kuat tarik disain dari FRP

E_L = modulus Young FRP

A_L = luas penampang FRP

k_L = faktor komposit untuk FRP

ε_{Lo} = tegangan awal dari FRP ketika setelah komposit

h, b, d, t = dimensi pada penampang beton

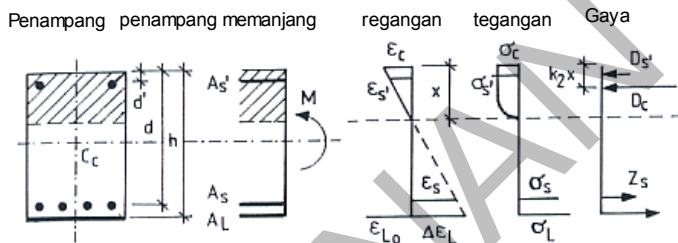
Nilai faktor ε_{co} dan ε_{so} diperbolehkan untuk semua nilai regangan yang terjadi sebelum FRP dipasang. Dalam beberapa perencanaan diperbolehkan pada FRP terjadi pre-strain berkaitan dengan gaya prategang dengan $t = 0$ dan ε_{Lo} . Akan tetapi dalam pengaplikasian, pre-strain pada FRP tidak digunakan, dengan demikian untuk perencanaan diasumsikan $\varepsilon_{Lo}=0$.

Momen nominal, M_R , dapat ditentukan dengan persamaan :

$$M_R = A_L \cdot f_{Lu} \cdot (h - k_2 x) - A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - k_2 x)$$

Nilai x merupakan lokasi garis netral yang ditentukan dengan cara iterasi.

Perhitungan momen nominal didapat dengan menggunakan beberapa persamaan di bawah ini :



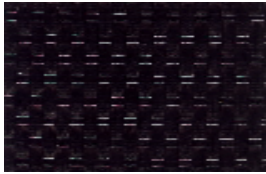
Gambar 20 Distribusi Tegangan Tulangan Tunggal

$$\sum Z = Z_L + Z_s - D_c = 0$$

$$\sum M = M_R - Z_L (h - k_2 x) - Z_s (d - k_2 x) = 0$$

Perkuatan struktur beton dengan menggunakan *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) merupakan teknologi perkuatan yang terbaru. FRP merupakan bahan yang menggunakan serat karbon, aramid dan gelas dengan epoksi resin.

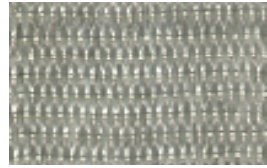
Metode perkuatan ini sangat fleksibel dan dapat digunakan untuk berbagai bentuk dari struktur yang akan diperkuat.



Serat karbon



Serat aramid



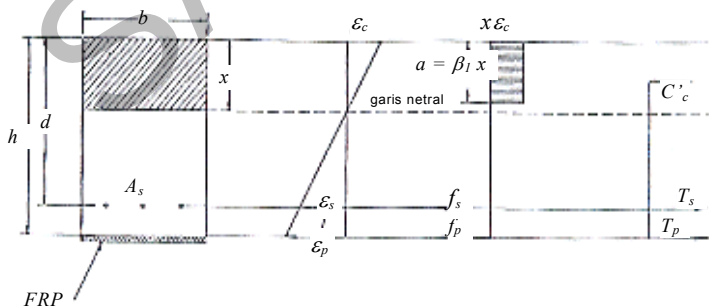
Serat glass

Gambar 21 Contoh Serat Bahan Perkuatan

Prosedur perencanaan perkuatan dengan FRP hingga saat ini belum ada standar yang cukup lengkap, sehingga pada umumnya perencana menggunakan pendekatan-pendekatan misalkan dengan prosedur perencanaan CFRP dan sebagian besar berdasarkan hasil test di laboratorium.

Sebagai contoh berdasarkan dari untuk perhitungan momen pada saat ultimate, akan terjadi dua buah tipe keruntuhan yang dapat terjadi yaitu :

1. Keruntuhan pada beton sebelum FRP mengalami fraktur
Dalam kondisi ini $\epsilon_t = \epsilon_u = 0.003$ dan $\epsilon_p < \epsilon_{pu}$
2. Fraktur pada FRP sebelum beton mengalami keruntuhan
Dalam kondisi ini $\epsilon_p = \epsilon_{pu}$ dan $\epsilon_t < \epsilon_u$



Gambar 22 Distribusi Tegangan dengan Perkuatan FRP

Jika fraktur terjadi pada FRP sebelum beton mengalami keruntuhan, maka :

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$T_p = A_p \cdot f_{py}$$

$$C'_s = A'_s \cdot f_y \text{ (asumsi tulangan tekan mengalami leleh)}$$

$$C'_c = \alpha_1 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$a = \beta_1 \cdot x$$

$$\alpha_1, \beta_1$$

$$\alpha_1 \cdot \beta_1 = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon'_c} - \frac{1}{3} \left(\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon'_c} \right)^2$$

$$\beta_1 = \frac{4 - \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon'_c}}{6 - 2 \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon'_c}}$$

$$M_n = T_p \left(h - \frac{a}{2} \right) + T_s \left(d - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{a}{2} - d' \right)$$

Pemeriksaan rasio penulangan untuk mengetahui kondisi struktur masih dalam kondisi under reinforced :

Tulangan tekan baja telah leleh :

$$\rho_{p,b} = \frac{\rho' \cdot f_y + 0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot \eta_1 - \rho \cdot f_y}{\left(\varepsilon_u \left\{ \frac{h - \eta_1 \cdot d}{\eta_1 \cdot d} \right\} - \varepsilon_{po} \right) E_p}$$

Tulangan tekan baja belum leleh :

$$\rho_{p,b} = \frac{\left(\frac{\eta_1 \cdot d - d'}{\eta_1 \cdot d} \right) E_s \cdot \rho' + 0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot \eta_1 - \rho \cdot f_y}{\left(\varepsilon_u \left\{ \frac{h - \eta_1 \cdot d}{\eta_1 \cdot d} \right\} - \varepsilon_{po} \right) E_p}$$

Dimana :

$$\eta_1 = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_y}$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$= 0,85 - (f'_c - 30) \cdot 0,008 \geq 0,65 \text{ untuk } f'_c < 30 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{A_p}{b \cdot d}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d}$$

Tulangan tekan akan mengalami kelelahan apabila terdapat kondisi :

$$d' \leq \left(\frac{\varepsilon_u - \varepsilon_y}{\varepsilon_u + \varepsilon_y} \right) d$$

Rasio maksimum yang di ijinakan adalah :

$$\rho_{p \text{ maks}} = 0,75 \rho_{p,b}$$

Untuk data-data teknis yang digunakan untuk perhitungan sangat ditentukan oleh data-data teknis bahan dari masing-masing produsen.

Tahapan pelaksanaan pemasangan dari perkuatan ini adalah :

1. Lumuri permukaan beton dengan bahan epoksi resin
2. Lekatkan bahan fiber pada permukaan yang telah dilumuri oleh bahan epoksi
3. Fiber tersebut dilumuri kembali dengan bahan epoksi resin dengan menggunakan alat *roll*
4. Setelah bahan epoksi resin melewati masa *setting* awal, selanjutnya diberikan lapis pelindung terhadap pengaruh UV dan lingkungan.



a) pemasangan serat bahan



b) pelapisan serat dengan epoksi resin



c) penutupan dengan bahan anti UV

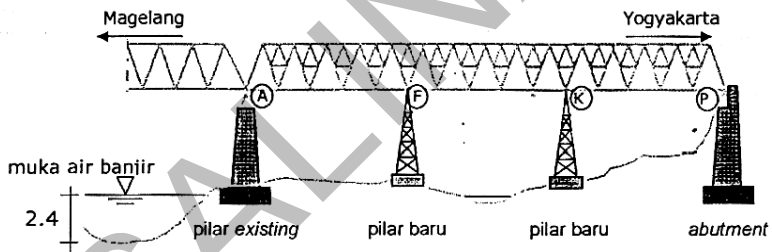
Gambar 23 Contoh Perkuatan dengan FRP pada Gelagar Beton Boks.

5.7. Perubahan sistem struktur

Metode perkuatan ini merupakan metode perkuatan yang relatif tanpa melakukan penambahan struktur perkuatan, akan tetapi metode ini adalah dengan cara merubah sistem struktur yang ada, sebagai contoh adalah sebagai berikut :

1. Mengubah sistem struktur gelagar yang minimal 2 bentang dengan sistem simple beam menjadi menerus.

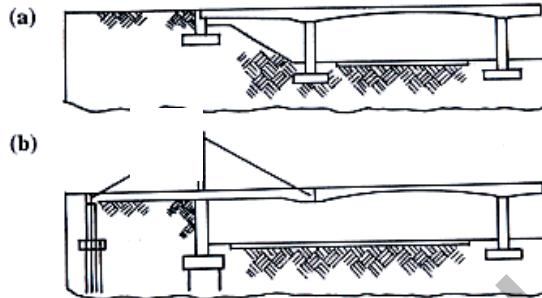
Metode ini dapat dilakukan cukup mudah dengan cara merubah sistem struktur pelat lantai menjadi menerus. Dalam sistem ini struktur akan menjadi menerus hanya pada saat menerima beban hidup. Untuk beban mati dipikul oleh masing-masing struktur dengan kondisi balok di atas dua perletakan.



Gambar 24 Perubahan Sistem Struktur menjadi Menerus

2. Merubah sistem struktur dengan cara menambah sistem struktur baru.

Metode perkuatan ini dilakukan dengan cara menambah sistem struktur baru seperti sistem kabel, pelengkung dan rangka.



Gambar 25 Mengubah Sistem Struktur dengan Menambah Sistem Struktur Baru berupa Jembatan Kabel

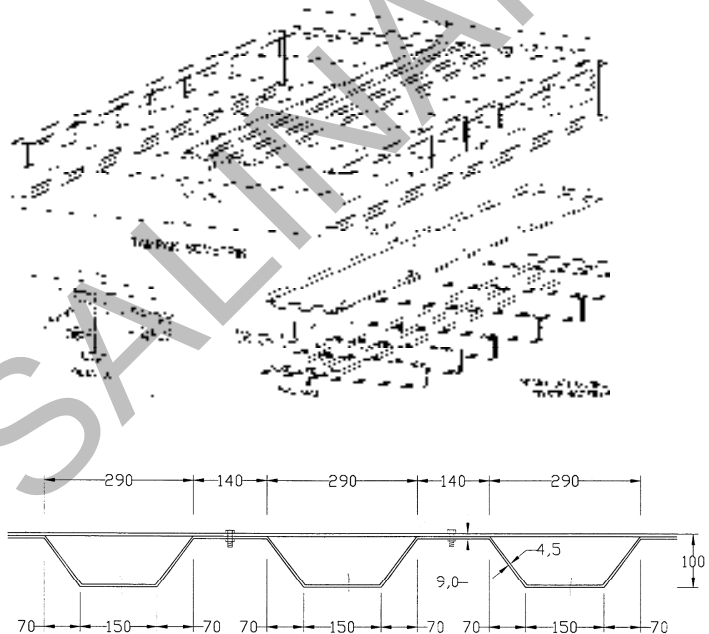


Gambar 26 Perubahan sistem struktur jembatan rangka panel Bailey dengan menambahkan sistem kabel untuk menambah bentang jembatan

5.8. Modifikasi sistem pelat lantai

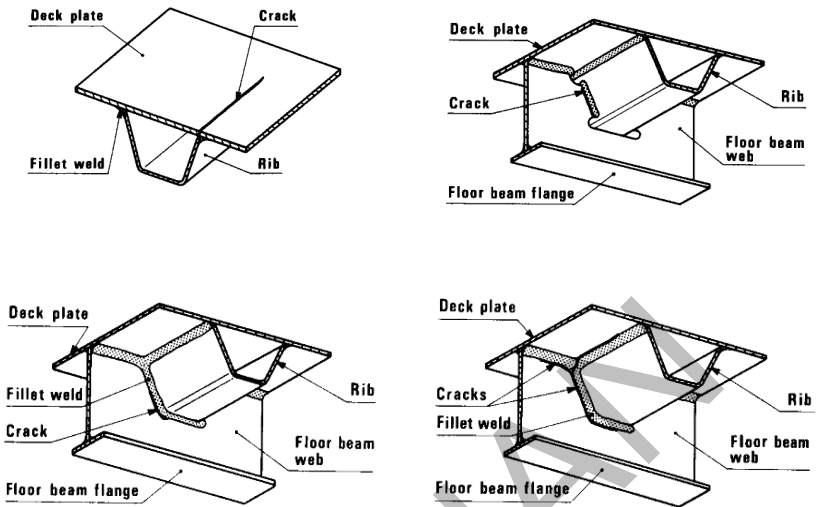
Pelat lantai dapat dimodifikasi pada saat penggantian pelat lantai melalui beberapa cara :

1. Pengurangan beban mati lantai dengan menggunakan beton mutu tinggi pada struktur pelat lantai beton atau menggantinya lantai jembatan dengan pelat baja ortotropik. Hanya kekuatan hubungan pelat baja dengan gelagar melintang harus diperhitungkan terhadap retak akibat kelelahan mengingat jembatan rangka bergerak amat dinamis di bagian sambungannya atau di bagian pelat buhul bagian bawah serta lekatan yang harus dijaga antara lapisan aus lantai kendaraan dengan pelat baja ortotropik.



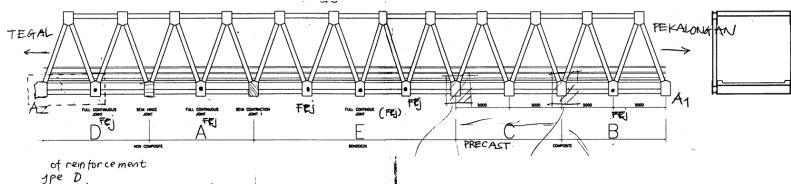
DECK PLATE MODEL 2

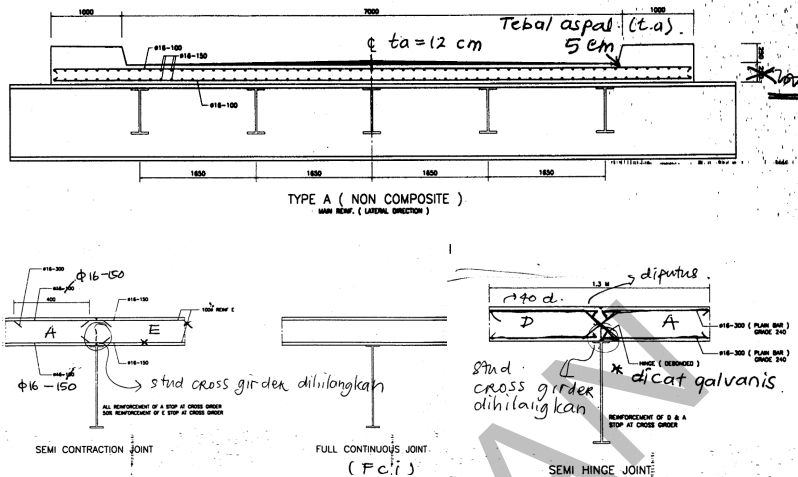
Gambar 27 Pemasangan pelat baja ortotropik



Gambar 28 Retak pada pelat baja ortotropik dan hubungan antara balok penopang dengan pelat baja ortotropik

2. Menambah penulangan lantai setelah memperhitungkan aksi-aksi di atas jembatan yang belum diantisipasi pada perencanaan sebelumnya, termasuk menyediakan tempat melokalisasi retak.



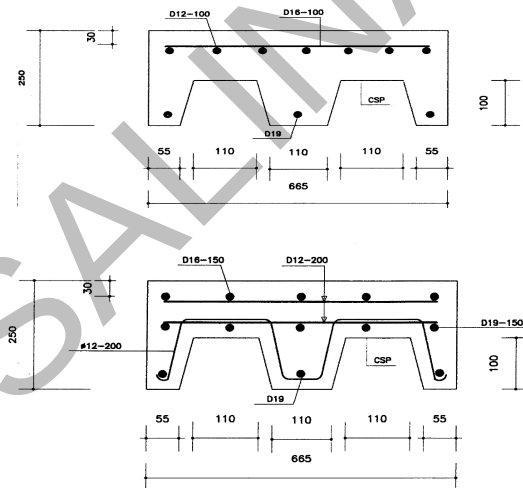


Gambar 29 Contoh Penulangan Lantai yang Telah Ditingkatkan dengan Berbagai Hubungan antar Segmen Setiap 10 m.

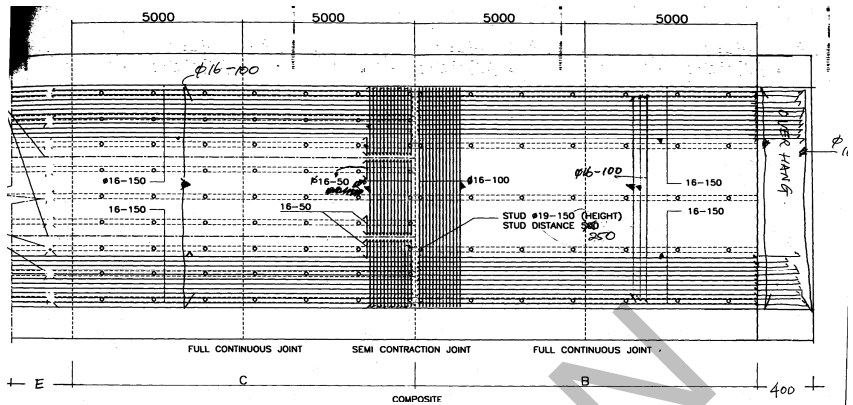
3. Untuk mempercepat penggantian pelat lantai beton konvensional dapat digunakan struktur pelat pracetak (misalnya sistem double T) atau sistem pelat baja bergelombang yang kekompositan antara lantai dan gelagar perlu diperhitungkan dengan baik agar tidak terjadi celah di antara pelat baja dan bagian beton yang kemudian mengakibatkan kapasitas pemikulan beban struktur komposit ini berkurang dan akhirnya menyebabkan retak sampai ke bagian atas pelat lantai jembatan.



Gambar 30 Celah antara pelat baja bergelombang dengan bagian beton



Gambar 31 Penambahan tulangan di bagian atas struktur komposit beton dengan pelat baja bergelombang



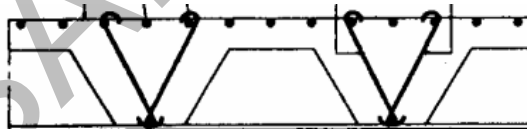
PLAN OF SECTION C & B

REINFORCEMENT OF
COMAL BRID
REINFORCEMENT OF

Tulangan
Memanjang
D 16 - 150

Tulangan
Melintang
D 16 - 100

Tulangan Penyangga
yang di las ke CSP
D 16 - 400



Gambar 32 Usaha untuk menjaga kekompositan struktur lantai dengan pelat baja bergelombang dan memasang sambungan geser dan tulangan penyangga



Gambar 33 Penggantian pelat lantai dengan struktur pracetak pelat T ganda berikut detail hubungannya di atas gelagar melintang

Pengusul / Penyusun :

Subdit Penyiapan Standar dan Pedoman Dit. Bina Teknik
Ditjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum

Tim Pembahas Pemeriksaan Jembatan Rangka Baja:

No.	Nama	Instansi
1	Ir. Lany Hidayat, M.Si	Widiaswara
2	Dr. Ir. John Dachtar	Puslitbang Jalan dan Jembatan
3	Ir. Bambang Widiyanto, M.Eng.Sc.	Widiaswara
4	Ir. Suhartono Irawan, M.Eng.Sc	Konsultan
5	Dr. Ir. Made Suangga, M.Sc	Universitas
6	Ir. Herman Darmansyah, MT	Dit. Bintek
7	Ir. Syarkowi, M.Sc.	BBPJN. III
8	Ir. Djoko Sulistyono, M.Eng.Sc	BBPJN. IV
9	Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc.	BBPJN. V
10	Ir. Herry Vaza, M.Eng.Sc.	Dit. Bintek
11	Ir. Subagyo, CES	Dit. Jln&Jbt Wil. Timur
12	Ir. Nandang Syamsudin, MT	Puslitbang Jalan dan Jembatan
13	Ir. Hisar Marpaung	SNVT. P2JJ. Prop. Kaltim

14	Ir. Sjofova Roliansyah, MT	SNVT. P2JJ. Prop. Sumbang.
15	Ir. Agus Nugroho, MM.	Dit. Bintek.
16	Asep Hilmansyah, ST, MT	Dit. Bintek.

SALINAN