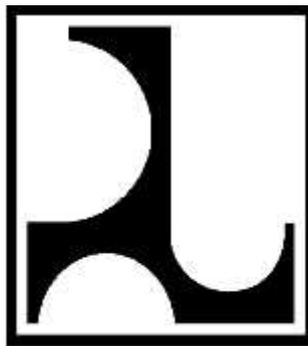


DIKLAT PEMELIHARAAN JEMBATAN II

MODUL 5

PERKUATAN JEMBATAN



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA

PUSDIKLAT JALAN, PERUMAHAN, PERMUKIMAN, DAN

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR WILAYAH

BANDUNG

2015

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	2
DAFTAR TABEL	4
DAFTAR GAMBAR.....	5
PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL.....	8
1 PENDAHULUAN	9
1.1 Latar Belakang.....	9
1.2 Deskripsi Singkat	9
1.3 Tujuan Pembelajaran	10
2 KEGIATAN BELAJAR 1	11
KONSEP PERKUATAN JEMBATAN	11
2.1 Umum	11
2.2 Pemeriksaan Struktur	12
2.3 Perencanaan Perkuatan.....	17
2.4 Pelaksanaan Perbaikan/Perkuatan	19
3 KEGIATAN BELAJAR 2	21
PENANGANAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN	21
3.1 Perkuatan Dengan Memperbesar Penampang	21
3.2 Pendistribusian Beban Dengan Balok Melintang/ Diafragma	31
3.3 Penambahan Elemen Struktur	31
3.4 Prategang Eksternal (Pe).....	32
3.4.1 Prinsip Dasar	32

3.4.2	Panjang Kabel Di Belakang Angker	38
3.4.3	Deviator	38
3.5	Steel Plate Bonding	41
3.6	Perkuatan dengan Fiber Reinforced PLastic (FRP).....	43
3.6.1	Umum	43
3.6.2	Persyaratan.....	45
3.6.3	Perencanaan	50
3.6.4	Pelaksanaan	50
3.6.5	Pengendalian Mutu	54
3.6.6	Pengukuran volume.....	54
3.6.7	Pemeliharaan.....	54
3.7	Perubahan Sistem Struktur	55
4	KEGIATAN BELAJAR 3	57
	Penanganan Struktur Bangunan Bawah Jembatan	57
4.1	Kepala Jembatan	57
4.2	Pilar	64
4.3	Fondasi.....	68
	RANGKUMAN	69
	LEMBAR KERJA	69
	DAFTAR PUSTAKA.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 1 – Tabel perbandingan steel plate bonding dan lembar FRP 44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 – Pelantaian Dasar Sungai Guna Pembersihan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2 – Turap **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3 – Bronjong..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4 – Rip-Rap atau Pasangan Batu Besar **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 5 – Pembuatan Perkerasan Lantai Dengan Beton atau Batu Besar **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 6 – Tetrahedra untuk Menahan Gerusan Arah Hilir Sungai..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 7 – Krib dan Penghalang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 8 – Krib dan Penghalang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 9 – Pengaman Dasar Sungai – Dinding Beton dan Dinding Bronjong **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 10 – Pengaman Dasar Sungai – Turap Baja **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 11 – Pengaman Dasar Sungai – Pagar Ganda dengan Isian Batu **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 12 – Bronjong Sebagai Bangunan Pengaman Scouring**Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 13 – Denah Pemakaian Bronjong untuk Penanganan Scouring Tanah Timbunan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 14 – Potongan Melintang Penanganan dengan Bronjong.....**Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 15 – Dinding Beton Bertulang Sebagai Pengamanan Tebing**Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 16 – Pasangan Batu Kali Sebagai Pengamanan Tebing.....**Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 17 – Pengamanan Tebing..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 18 – Pengamanan Dengan Turap..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 19 – Pemecah Energi Arus Sungai..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 20 – Drainase Beton atau Pasangan Batu**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 21 – Setengah Lingkaran Baja Gelombang ARMCO**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 22 – Drainase Beton Pracetak..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 23 – Pengamanan Tebing Dengan Rumput**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 24 – Perbaikan Dengan Menggunakan Batang Tarik Melintang**Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 25 – Perbaikan dengan Pengangkaran**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 26 – Penunjangan Dinding Tanah Bertulang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 27 – Penggantian Panel Tanah Bertulang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 28 – Pemasangan Angker Sementara **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 29 – Perbaikan Balok Penahan Gempa **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 30 – Pergerakan yang Berlebihan yang Mengakibatkan Landasan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 31 – Landasan yang Mengalami Deformasi **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 32 – Flat Jack **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 33 – Perkuatan untuk Menahan Lendutan Horisontal **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 34 – Pelapisan Ulang yang Berlebihan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 35 – Batu Di Dalam Sambungan..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 36 – Bergeraknya Bangunan Bawah .. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 37 – Potongan dari Sambungan dengan Seal Karet **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 38 – Perbaikan Sambungan Lantai – Metoda 1 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 39 – Perbaikan Sambungan Lantai – Metoda 2 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 40 – Aspal Retak Sebelum Perbaikan. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 41 – Perbaikan Lapisan Aspal yang Retak Di Atas Sambungan Lantai

..... **Error! Bookmark not defined.**

PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Modul ini terdiri dari tiga kegiatan belajar. Kegiatan belajar pertama akan menguraikan beberapa permasalahan mengenai perkuatan jembatan. Kegiatan belajar kedua akan menguraikan berbagai penanganan struktur bangunan-bangunan atas jembatan. Kegiatan belajar ketiga akan menjelaskan berbagai penanganan struktur bangunan-bangunan bawah jembatan. Untuk membantu anda dalam menguasai kemampuan di atas, materi dalam modul ini dibagi menjadi tiga kegiatan belajar sebagai berikut:

Kegiatan belajar 1 : Konsep Perkuatan Jembatan

Kegiatan belajar 2 : Penanganan Struktur Bangunan Bangunan Atas Jembatan

Kegiatan belajar 3 : Penanganan Struktur Bangunan Bangunan Bawah Jembatan

Anda dapat mempelajari keseluruhan modul ini dengan cara yang berurutan. Jangan memaksakan diri sebelum benar-benar menguasai bagian demi bagian dalam modul ini, karena masing-masing saling berkaitan. Di akhir modul ini terdapat soal latihan berupa esai yang harus dikerjakan untuk mengetahui pemahaman anda dalam menguasai materi. Jika anda belum menguasai 75% dari setiap kegiatan, maka anda dapat mengulangi untuk mempelajari materi yang tersedia dalam modul ini. Apabila anda masih mengalami kesulitan memahami materi yang ada dalam modul ini, silahkan diskusikan dengan teman atau Widyaiswara Anda.

1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan pendidikan dan pelatihan tentang pemeliharaan jembatan sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kompetensi dan kemampuan aparatur bidang jalan dan jembatan dalam rangka meningkatkan kuantitas dan kualitas penggunaan jalan dan jembatan.

Oleh sebab itu diperlukan adanya pelatihan bidang jembatan, khususnya tentang pemeliharaan jembatan sehingga pegawai bidang jalan dan jembatan dapat mencapai kompetensi yang diinginkan.

1.2 Deskripsi Singkat

Mata pelatihan ini memberikan bekal pengetahuan, keterampilan/ keahlian serta sikap yang dipergunakan untuk melaksanakan pekerjaan pemeliharaan jembatan, dengan melakukan metoda pemeliharaan dan rehabilitasi jembatan sehubungan dengan bahannya, metoda pemeliharaan dan rehabilitasi jembatan sehubungan dengan elemennya, pemeliharaan jembatan khusus, perkuatan jembatan, serta Analisa Harga Satuan dan spesifikasi pemeliharaan jembatan

1.3 Tujuan Pembelajaran

Selesai mengikuti mata pelatihan ini peserta diharapkan mampu melaksanakan **pekerjaan pemeliharaan jembatan** dengan melakukan metoda pemeliharaan dan rehabilitasi jembatan sehubungan dengan bahannya, metoda pemeliharaan dan rehabilitasi jembatan sehubungan dengan elemennya, pemeliharaan jembatan khusus, perkuatan jembatan, serta analisa harga satuan dan spesifikasi pemeliharaan jembatan

2

KEGIATAN BELAJAR 1

Indikator Keberhasilan :

Setelah mengikuti mata diklat ini peserta mampu menjelaskan konsep perkuatan jembatan

KONSEP PERKUATAN JEMBATAN

2.1 Umum

Pada umumnya struktur jembatan direncanakan untuk dapat berfungsi selama masa layan tertentu. Akan tetapi dalam masa layan tersebut sering dijumpai permasalahan-permasalahan struktur sehingga memerlukan perkuatan struktur jembatan tersebut.

Permasalahan-permasalahan yang umum timbul yaitu:

1. Kesalahan dalam perencanaan/ pelaksanaan:
 - a. Misalkan terdapat kerusakan pada beton berupa retak struktural yang diakibatkan kurangnya kapasitas struktur (kapasitas di bawah standar pembebanan) sehingga memerlukan perkuatan struktur.
 - b. Mutu material yang diuji selama pelaksanaan pembangunan jembatan menunjukkan hasil yang tidak memenuhi persyaratan baik dari segi kekuatan sehingga memerlukan perkuatan pada struktur.

- c. Hasil perhitungan (dengan menggunakan kekuatan material aktual) yang menunjukkan adanya penurunan kapasitas kekuatan struktur.
2. Penurunan kinerja material/ struktur eksisting yang diakibatkan oleh pengaruh dari dalam material maupun lingkungan
 - a. Adanya pelapukan material pada struktur karena faktor usia, atau karena serangan zat-zat kimiawi tertentu yang merusak (seperti jenis-jenis senyawa asam)
 - b. Adanya kerusakan pada struktur atau bagian-bagian struktur karena bencana kebakaran, banjir, atau gempa atau beban berlebih yang belum diantisipasi dalam perencanaan.
3. Perubahan kelas jalan

Dengan adanya perubahan kelas jalan, maka akan berdampak pada perubahan pembebanan pada jembatan. Dengan adanya peningkatan perubahan kelas jalan, maka memerlukan perkuatan pada jembatan untuk menyesuaikan pembebanan yang diberikan sesuai dengan kelas jalannya.

Untuk sampai pada pelaksanaan perkuatan struktur perlu dilakukan serangkaian kegiatan seperti yang diuraikan berikut ini.

2.2 Pemeriksaan Struktur

Kegiatan ini adalah Tata Cara Pemeriksaan Struktur atau Pemeriksaan Khusus yang dilakukan untuk mendapatkan gambaran yang realistik mengenai kondisi struktur yang ada. Jenis kegiatan yang dilakukan pada pemeriksaan khusus umumnya adalah:

1. Survei Pendahuluan

Dari kegiatan ini diharapkan memperoleh data dan informasi penunjang yang diperlukan untuk menunjang evaluasi dan analisis data utama, sehingga akan diperoleh analisis / kajian yang mendalam yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Data penunjang ini meliputi antara lain:

- a. Data dan informasi penanganan pemeriksaan / perbaikan yang telah dilakukan sebelumnya
- b. As built drawing
- c. Data lalu lintas
- d. Data lainnya yang dianggap perlu

2. Survei Lapangan

a. Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual dilakukan terhadap elemen-elemen struktur jembatan dan kondisi lingkungannya. Diharapkan hasil dari pemeriksaan tersebut diperoleh gambaran awal mengenai jenis-jenis kerusakan yang ada pada jembatan serta perkiraan faktor-faktor penyebabnya. Pemeriksaan ini dilakukan tanpa menggunakan peralatan khusus, hanya menggunakan indra penglihatan (mata) maupun teropong dan untuk pendokumentasiannya digunakan kamera (foto).

b. Pengukuran dan Pengujian

1) Pemeriksaan mutu beton

Pemeriksaan mutu beton bertujuan untuk mendapatkan data-data yang tepat dari kondisi material yang berpengaruh besar terhadap kekuatan dan kekakuan struktur secara keseluruhan.

Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan mutu beton adalah dengan alat Hammer Test, Winsore Probe dan core drill. Dari alat-alat yang digunakan tersebut diperoleh hasil pengukuran.

2) Pemeriksaan karbonasi

Pemeriksaan karbonasi dilakukan untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruh karbon terhadap kondisi struktur beton jembatan. Pemeriksaan dilakukan dengan melakukan pengeboran bagian-bagian tertentu jembatan yang akan diperiksa, kemudian bagian yang di bor tersebut diberi zat kimia sehingga timbul warna ungu pada lubang pengeboran. Pengaruh karbon/ kedalaman penetrasi dapat diukur dari tebal bagian yang berwarna ungu pada lubang pemeriksaan.

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengukur pengaruh karbon yang apabila penetrasinya sudah mencapai tulangan (lebih besar dari tebal selimut beton yang ada) akan dapat menyebabkan timbulnya karat pada tulangan. Karat pada tulangan ini pada akhirnya akan mengurangi kekuatan dari tulangan dan struktur secara keseluruhan.

3) Tulangan dan selimut beton dengan alat covermeter

Pemeriksaan selimut beton dengan alat covermeter dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai ketebalan selimut beton, serta diameter, jarak dan lokasi tulangan. Dengan mengetahui tebal selimut beton, penurunan mutu baja tulangan

dapat diperkirakan dan juga dapat mendeteksi apakah proses karbonasi sudah mencapai tulangan atau belum.

4) Pemeriksaan retak dengan alat pundit (UPV) dan crack meter

Pemeriksaan retakan diperlukan untuk mendapatkan data yang akurat dan lengkap mengenai kondisi retak yang ada sehingga dapat diambil kesimpulan seberapa jauh retakan yang ada mempengaruhi struktur serta untuk mengetahui / mengindikasikan penyebab terjadinya keretakan.

Alat yang digunakan untuk memeriksa kedalaman keretakan ini adalah Pundit yaitu alat pengujian Ultrasonic Pulse Velocity-UPV dan untuk lebar retak digunakan crackmeter yaitu berupa kaca pembesar untuk mengukur lebar retak yang terjadi.

Dari pengujian dengan alat Pundit dan Crack Meter ini akan didapatkan data-data kedalaman, lebar dan panjang retak serta ada tidaknya rongga/ keropos pada betonnya.

Bagian-bagian jembatan yang diperiksa kondisinya (kemungkinan retaknya) adalah bagian-bagian yang bersifat struktural dan terbuat dari beton yaitu abutment, pilar, gelagar dan pelat lantai jembatan.

5) Pengujian getaran jembatan

Pemeriksaan getaran jembatan dilakukan untuk mengetahui apakah perilaku getaran jembatan yang ada masih memenuhi kriteria-kriteria getaran jembatan atau tidak. Kriteria-kriterian getaran pada jembatan tersebut yaitu meliputi kriteria kekakuan, kriteria daya layan, kriteria kapasitas beban pikul dan kriteria

redaman. Pengujian getaran dilakukan dengan memanfaatkan beban bergerak atau lalu lintas kendaraan yang bermuatan berat lewat. Pengukuran getaran jembatan menggunakan alat vibrocorder yang menghasilkan rekaman getaran pada kertas film dengan sensor berupa transduser yang ditempatkan pada $\frac{1}{2}$ bentang.

6) Uji beban (Loading Test)

Uji beban dimaksudkan untuk mengetahui perilaku dari struktur jembatan dalam menerima beban kendaraan berat (truk) statis di atasnya. Dari pengujian tersebut akan diperoleh perilaku lendutan gelagar serta perilaku pendistribusian beban kendaraan pada gelagar.

Dari kegiatan ini diharapkan akan diperoleh data utama yang akan digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi secara detail dan mendalam tentang kondisi struktur jembatan yang ada.

7) Pengujian Laboratorium

Pemeriksaan dan pengujian di laboratorium akan dilakukan terutama tekan beton pada hasil core drill di lapangan dan hal lain yang secara khusus yang mengharuskan pengujian di laboratorium.

8) Evaluasi dan Analisis data

Setelah data dan informasi yang diperoleh dari pemeriksaan secara visual pemeriksaan secara detail/khusus yaitu melalui serangkaian kegiatan pengukuran dan pengujian di lapangan dan

di laboratorium, maka dilakukan analisis, evaluasi dan perhitungan untuk mengetahui kondisi struktur jembatan tersebut termasuk kondisi struktur bangunan pelengkap lainnya. Sehingga apabila terjadi adanya kerusakan, perlemahan dan kelainan pada struktur jembatan, maka hal tersebut dapat diketahui secara dini, sehingga dapat ditentukan segera langkah-langkah penanganannya.

Analisis terhadap kerusakan berupa retakan pada pelat lantai jembatan, siar muai (expansion joint) yang rusak dan kurang berfungsi, retakan pada pilar, korosi dan kondisi tiang pancang, studi beban lalu lintas yang ada, penurunan pada tanah oprit dan sekitarnya dan kerusakan struktur elemen jembatan lainnya.

9) Penentuan alternatif penanganan

Apabila hasil analisis data dan perhitungan diperoleh hasil yang mengharuskan penanganan lebih lanjut pada jembatan tersebut, baik penanganan/ perbaikan, peningkatan maupun pemeliharaan, maka pada bagian alternatif penanganan/perbaikan, peningkatan maupun pemeliharaan akan diuraikan mengenai cara dan metoda yang digunakan pada jembatan tersebut.

2.3 Perencanaan Perkuatan

Berdasarkan hasil pemeriksaan khusus diperoleh alternatif penanganan perbaikan dan perkuatan. Berdasarkan alternatif tersebut selanjutnya dilakukan perencanaan perkuatan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Konsep perbaikan/perkuatan

Konsep perbaikan/perkuatan yang telah diperoleh dari pemeriksaan khusus selanjutnya dilakukan

Alternatif penanganan yang telah ditentukan diuraikan lebih rinci dalam hal:

- a. Pemilihan material
- b. Pemilihan teknik perbaikan/ perkuatan
- c. Estimasi dimensi dan kekakuan elemen tambahan
- d. Perilaku struktur

2. Analisis struktur

Merupakan analisis yang dilakukan terhadap struktur yang ada yang diperkuat dengan elemen tambahan terhadap beban rencana dan kekuatan elemen-elemen struktur. Hal yang terpenting dari analisis tersebut adalah verifikasi faktor keamanan dari struktur tersebut.

3. Lingkup Kerja dan Prioritas

Penentuan lingkup pekerjaan dan prioritas perlu diuraikan untuk kepentingan pelaksanaan dan pengoptimalan pekerjaan

4. Gambar Detail

Seluruh rencana perbaikan/perkuatan dinyatakan dengan jelas dalam gambar detail, termasuk jenis material yang digunakan, batas daerah rencana perbaikan/perkuatan.

5. Rencana Kerja dan Spesifikasi

Sebagai acuan yang mengikat bagi pihak-pihak yang akan terlibat dalam pekerjaan perbaikan/perkuatan struktur perlu disusun rencana kerja dan syarat-syarat/ spesifikasi seperti yang umum dilakukan pada

pekerjaan pembangunan jembatan. Hal-hal yang perlu dijelaskan antara lain:

- a. Pemilihan material
- b. Umum
- c. Alat bantu dan akses lapangan
- d. Pembersihan
- e. Perbaikan/perkuatan
- f. Perlindungan permukaan
- g. Material yang digunakan

Pengujian, uraian mengenai pengujian terhadap elemen struktur secara jelas mencantumkan jenis pengujian dan standar pengujian yang digunakan, jumlah sampel yang diambil serta kriteria hasil pengujian berdasarkan referensi standar.

6. Estimasi Biaya

Volume pekerjaan (Bill of Quantity) serta Rencana Anggaran Biaya perlu disusun untuk keperluan kontrak pekerjaan. Uraian tersebut harus dapat mencerminkan dan sesuai dengan lingkup pekerjaan perbaikan/perkuatan yang akan dilakukan oleh pihak pelaksana.

2.4 Pelaksanaan Perbaikan/Perkuatan

Metode perbaikan/perkuatan beserta urutan pelaksanaannya harus diperhatikan dengan seksama agar menghasilkan struktur jembatan yang baik dan terhindar dari bertambahnya kerusakan struktur dan bahkan mendorong timbulnya kerusakan baru.

Dalam setiap langkah perbaikan/perkuatan yang dilakukan harus diupayakan agar penyebab kerusakan dihilangkan atau diminimalkan. Selain itu perlu pula dipertimbangkan upaya-upaya perlindungan atau pencegahan terhadap kemungkinan kerusakan dikemudian hari.

Pelaksanaan perbaikan/perkuatan harus disertai dengan pengawasan dan dokumentasi yang baik.

Penundaan pelaksanaan perbaikan/perkuatan struktur dapat memperburuk kondisi struktur, yang pada gilirannya akan dapat meningkatkan biaya perbaikan yang diperlukan.

3

KEGIATAN BELAJAR 2

Indikator Keberhasilan :

Setelah mengikuti mata diklat ini peserta mampu mengidentifikasi penanganan struktur bangunan atas jembatan

PENANGANAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN

Secara umum klasifikasi aplikasi metode perkuatan untuk struktur beton pada bangunan atas jembatan dapat dibagi dalam 3 kriteria dasar, yaitu Prinsip metode perkuatan, Waktu pelaksanaan dan Biaya pelaksanaan.

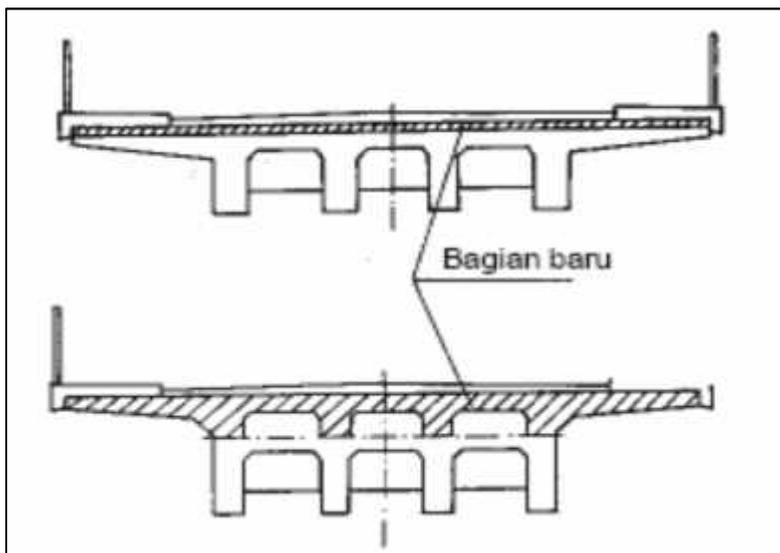
Beberapa metode perkuatan jembatan yang dapat diaplikasikan adalah sebagai berikut:

3.1 Perkuatan Dengan Memperbesar Penampang

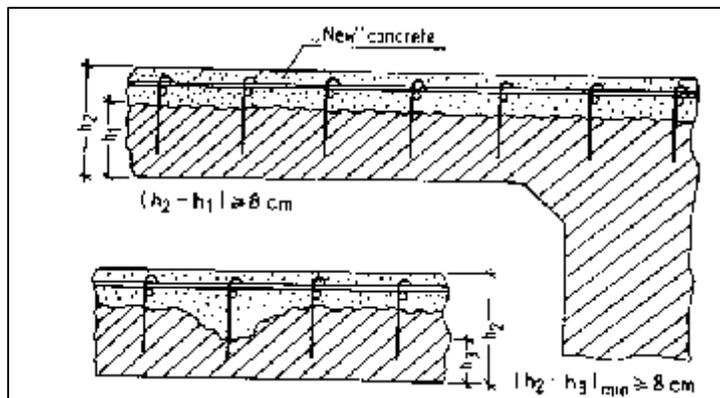
Perkuatan dengan memperbesar penampang pada struktur beton dengan menambah penulangan, merupakan metode yang umum dilakukan (lihat Gambar 1 s/d Gambar 4). Metode perkuatan ini dapat dilakukan dengan berbagai situasi perkuatan. Metode perkuatan ini dapat dilakukan pada bagian atas maupun bawah elemen beton. Permasalahan utama yang perlu diperhatikan adalah hubungan antara beton lama dan beton baru.

Perbedaan susut pada kedua elemen dapat terjadi dikarenakan perbedaan homogenitas. Hal tersebut dapat diatasi dengan penggunaan shear connection dan penggunaan material beton yang tidak susut.

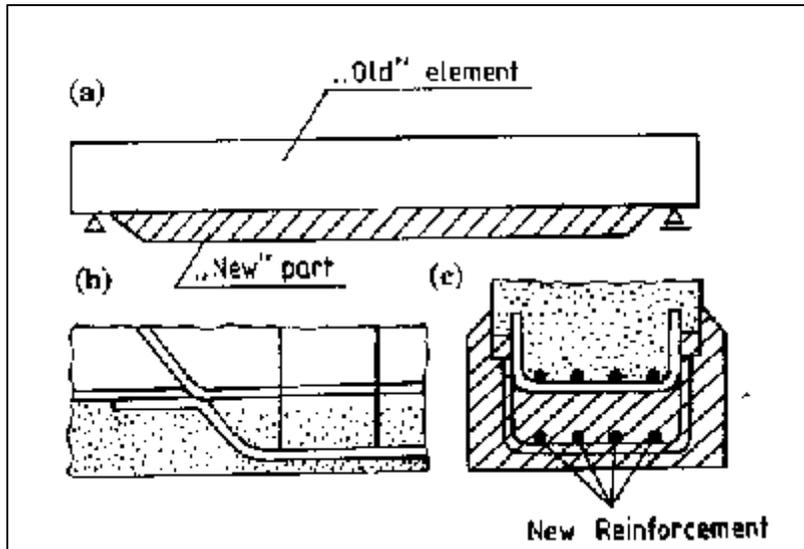
Perkuatan dengan memperbesar dimensi dapat dilakukan diatas maupun dibawah gelagar tergantung pada kebutuhan perkuatannya. Umumnya dilakukan pada bagian bawah gelagar untk meningkatkan kapasitas lentur positif dan diatas gelagar untuk perkuatan lentur negative.



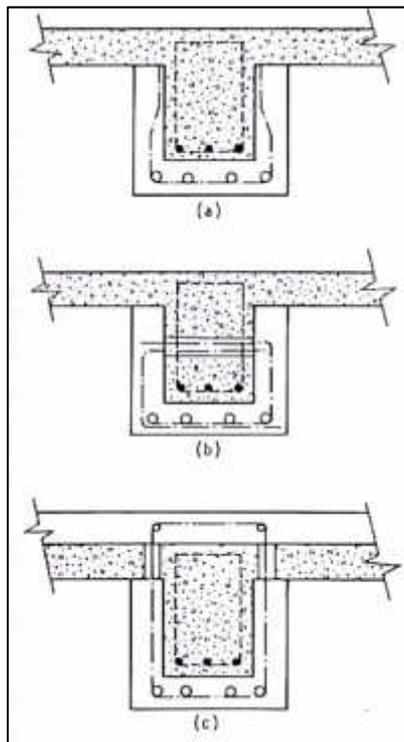
Gambar 1 – Perkuatan dengan memperbesar penampang pada lantai dan gelagar



Gambar 2 – Perkuatan dengan memperbesar penampang pada pelat lantai



Gambar 3 – Perkuatan dengan memperbesar penampang pada gelagar beton

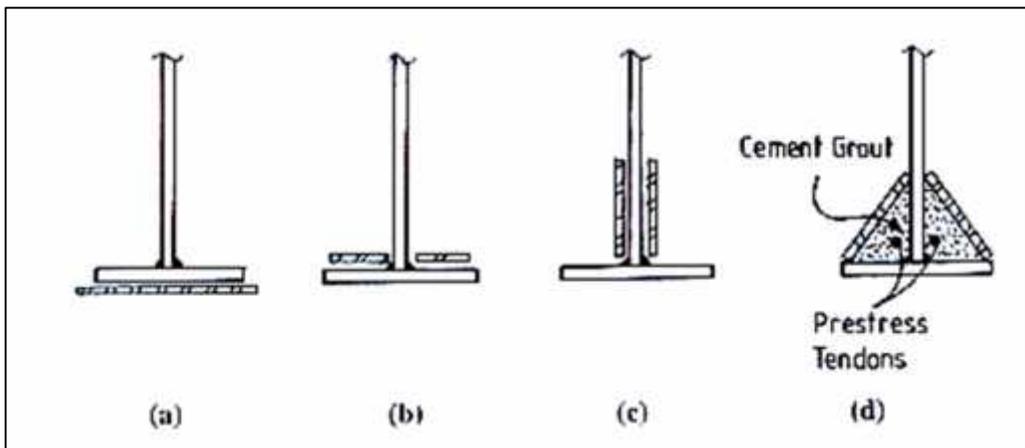


Gambar 4 – Perkuatan dengan memperbesar penampang gelagar beton

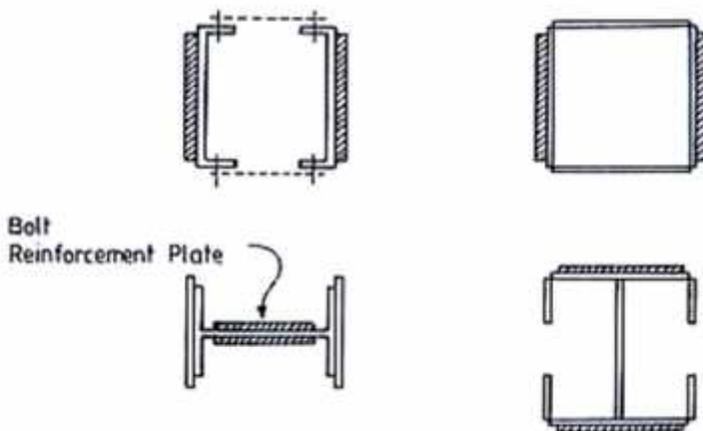
Selain pada struktur beton, metode perkuatan ini juga dapat digunakan untuk perkuatan jembatan baja. Beberapa metode memperbesar penampang pada struktur baja yaitu diantaranya adalah:



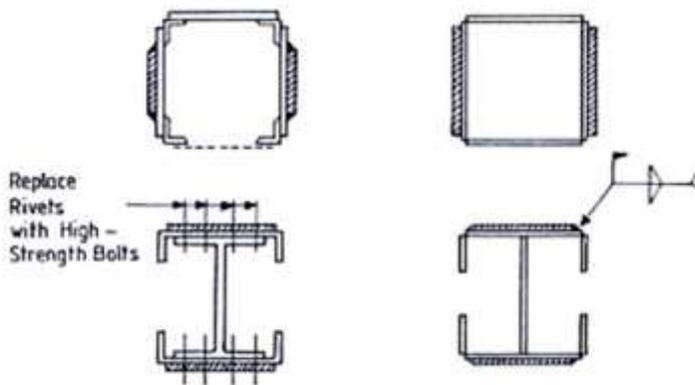
Gambar 5 - Perkuatan dengan memperbesar penampang bawah dengan pelat baja tambahan pada gelagar baja



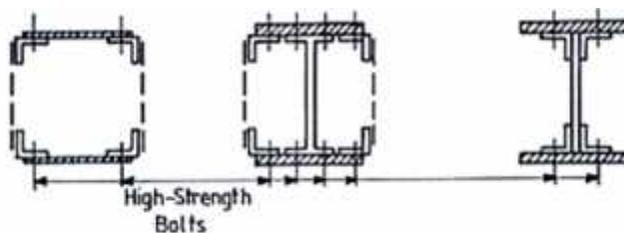
a) Penambahan penampang dengan pelat atau profil



b) Penambahan penampang dengan pelat pada batang tarik

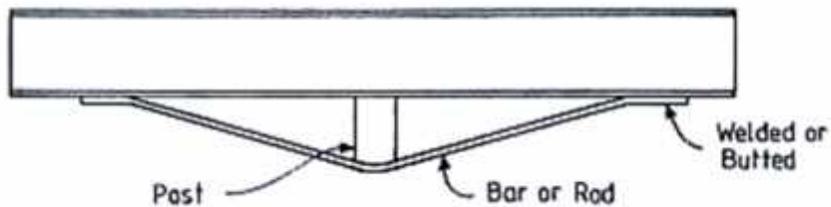


c) Penambahan penampang dengan pelat pada batang tekan

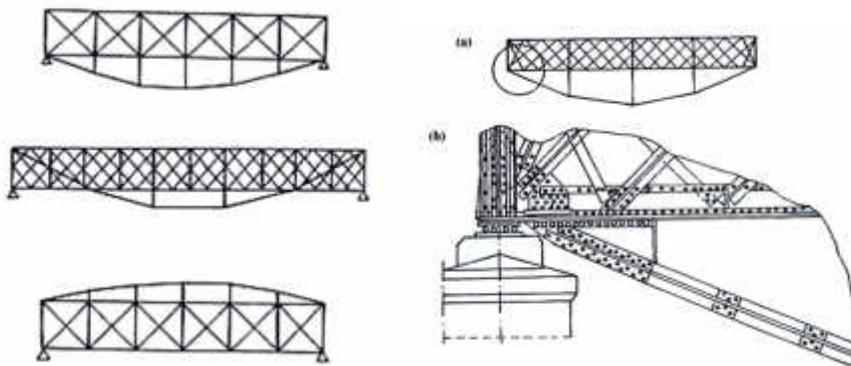


d) Penambahan penampang dengan pelat pada batang vertikal

Gambar 6a. b. c. d – Perkuatan dengan memperbesar penampang dengan pelat baja tambahan pada rangka baja (lanjutan)

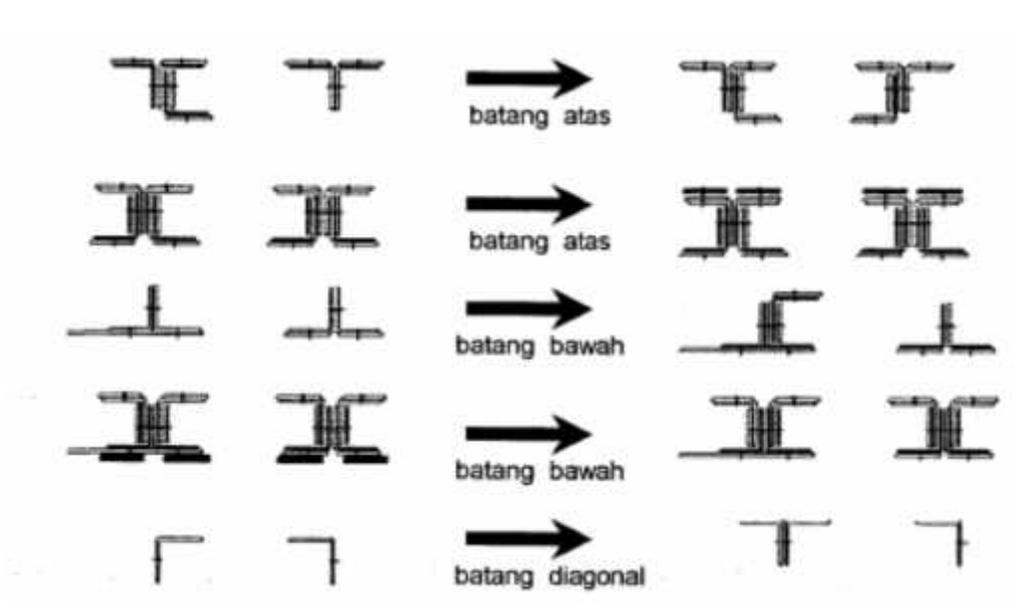


Gambar 7 – Perkuatan dengan penambahan batang baja pada gelagar baja

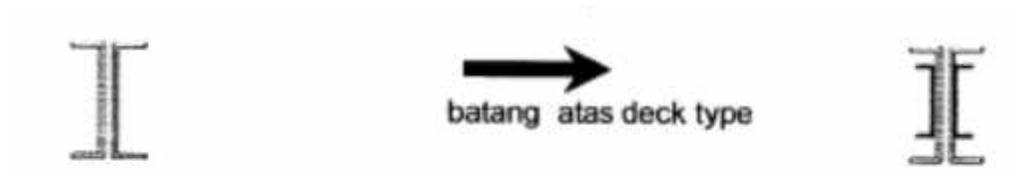


Gambar 8 – Perkuatan dengan penambahan batang baja pada rangka baja

- a) penambahan penampang dengan menambahkan profil L untuk semua rangka batang jembatan CH tipe B10, B15, dan batang bawah & diagonal jembatan CH tipe B deck dan D5



b) penambahan penampang dengan menambahkan profil kanal ganda untuk batang atas jembatan CH type B deck dan D5

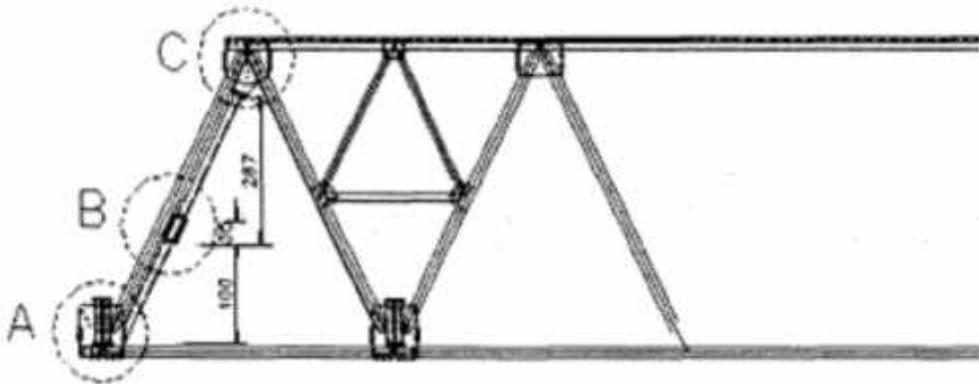


Gambar 9a & b – Penambahan penampang dengan pelat atau profil pada Bangunan Atas Jembatan Callender Hamilton

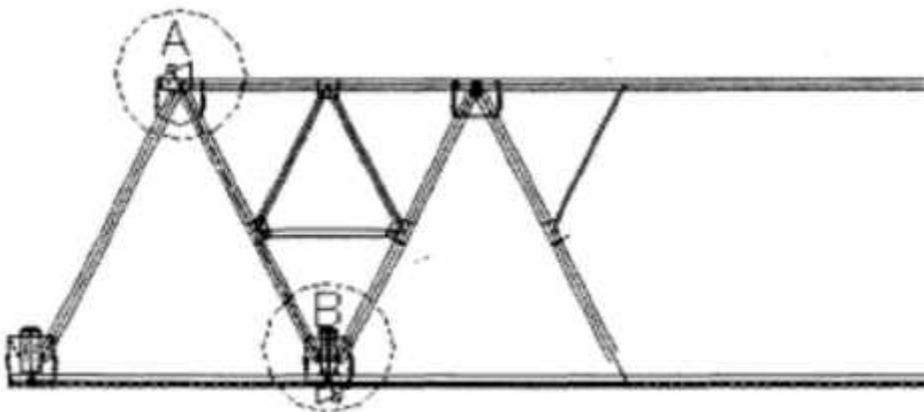
Suatu penambahan batang tarik atau tekan di dahului dengan metode pelepasan batang. Cara ini harus dilakukan dengan hati-hati dan harus menghentikan / mengurangi beban dan kecepatan kendaraan pada saat penerapannya.

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 sernentara disebelah sampingnya seperti dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

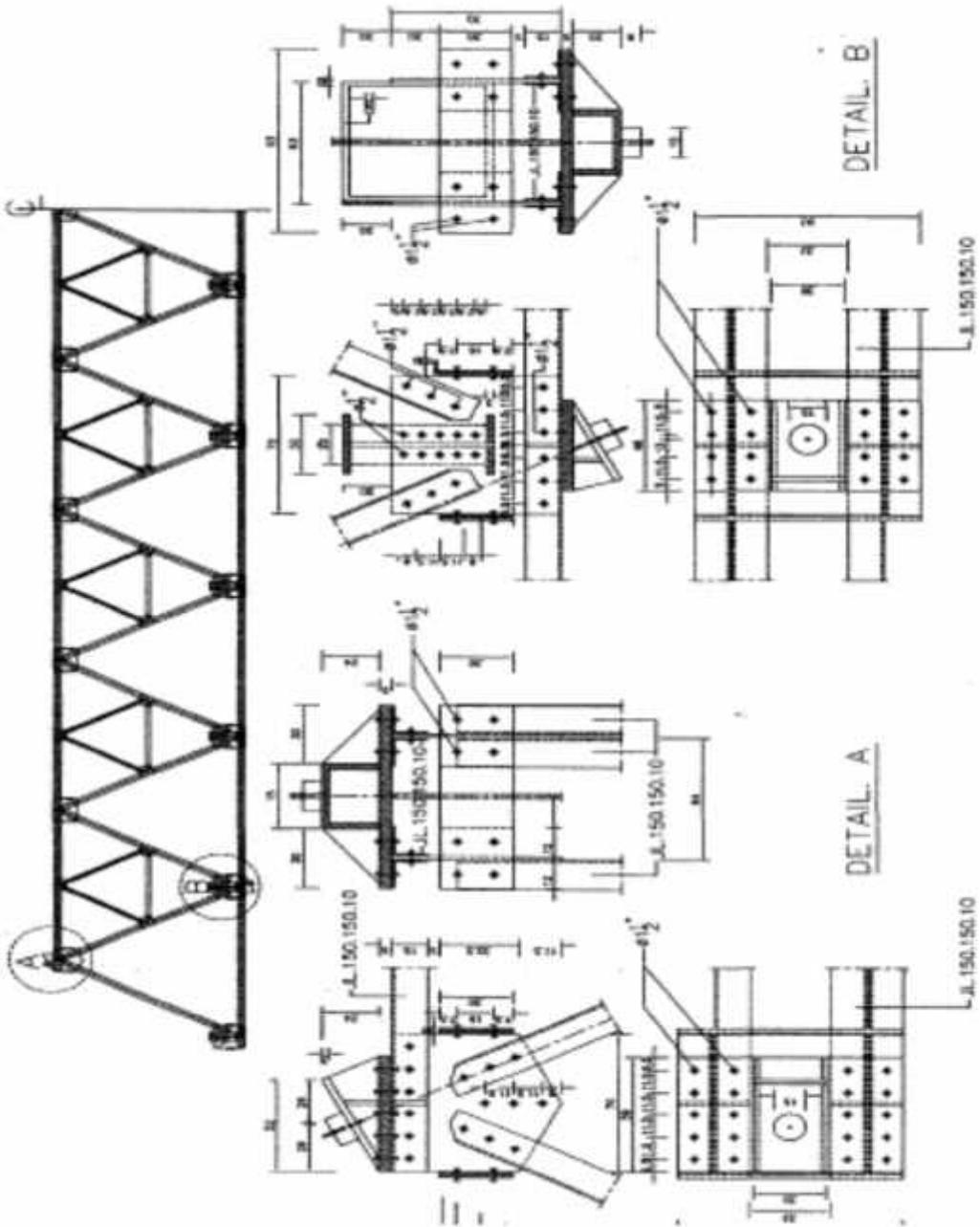


(a) penempatan kabel prategang eksternal untuk mengganti batang tarik



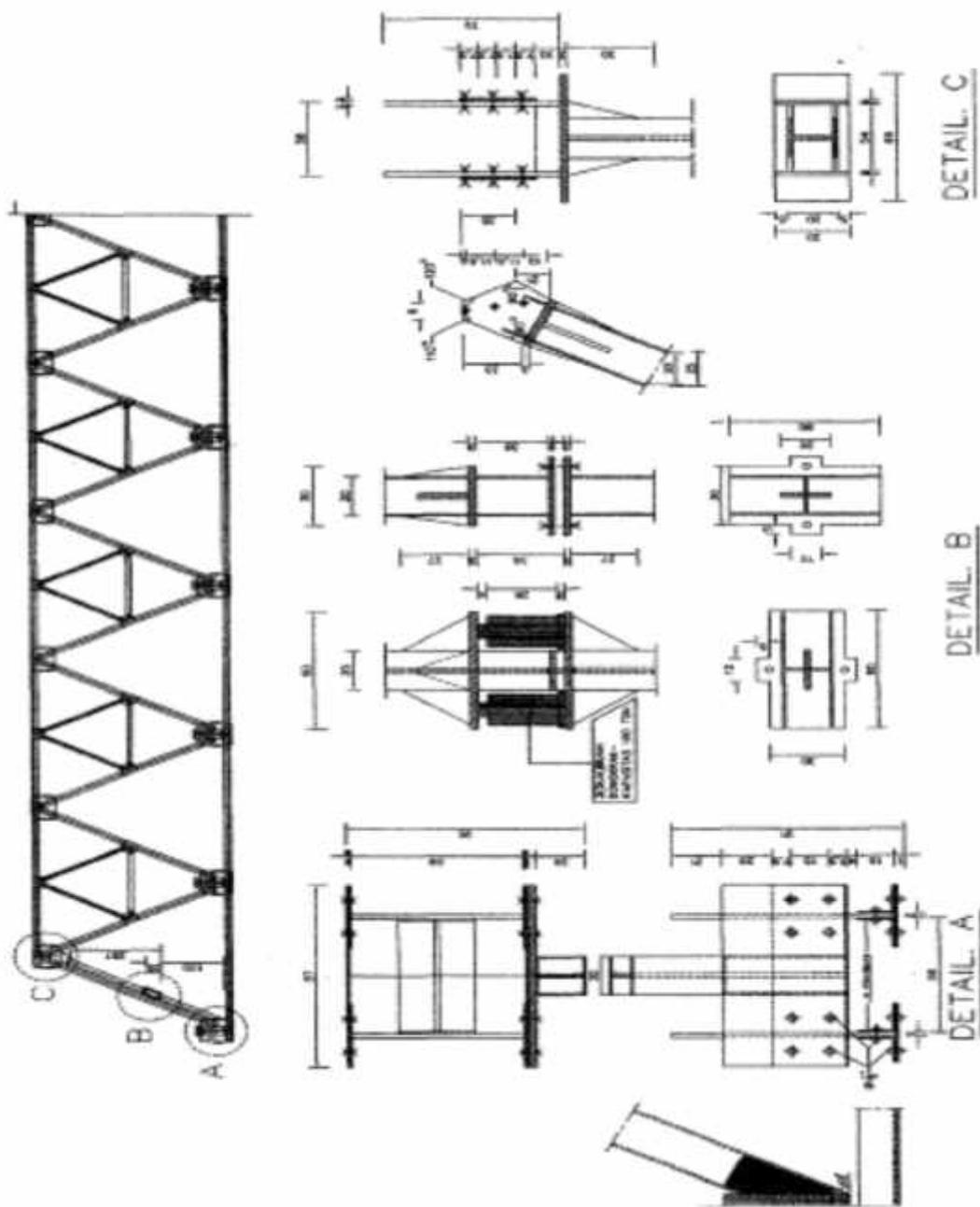
(b) penempatan dongkrak yang ditahan dalam suatu frame tambahan untuk pengganti batang tekan

Gambar 10a, b – Metode Penggantian Batang Tarik & Batang Tekan



Jembatan Callender Hamilton

Gambar 11– Detail Penempatan Perkuatan Batang Tarik Diagonal

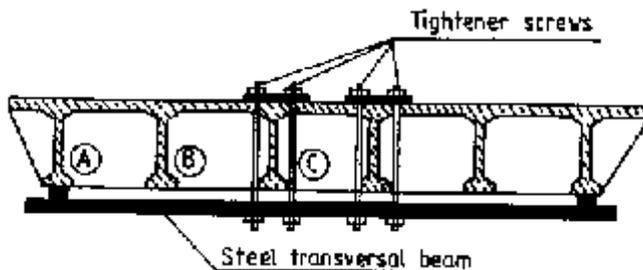


Jembatan Callender Hamilton

Gambar 12– Detail Penempatan Perkuatan Batang Tekan Diagonal

3.2 Pendistribusian Beban Dengan Balok Melintang/ Diafragma

Perkuatan dengan pendistribusian beban dengan pemasangan balok melintang/ diafragma dilakukan untuk struktur jembatan yang terdiri dari multi gelagar. Dalam beberapa kasus metode perkuatan ini hanya dilakukan untuk perkuatan pada gelagar yang di dalam.



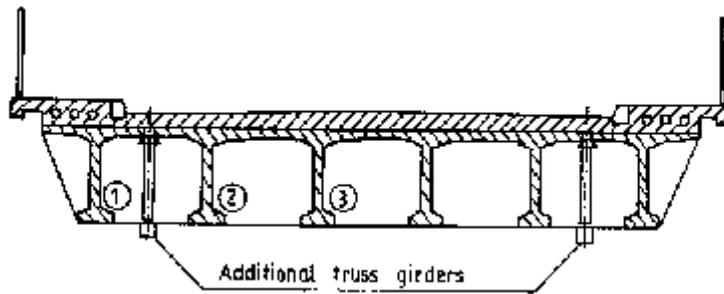
Gambar 13 – Perkuatan dengan pemasangan balok melintang



Gambar 14 – Perkuatan dengan Pemasangan Diafragma

3.3 Penambahan Elemen Struktur

Perkuatan dengan penambahan elemen struktur dilakukan untuk struktur jembatan yang terdiri dari multi gelagar dengan penambahan gelagar akan terjadi perubahan gaya-gaya dalam pada gelagar. Elemen gelagar tambahan ditempatkan diantara gelagar yang mendapatkan beban berlebih.



Gambar 15 – Perkuatan dengan menambah elemen struktur gelagar

Sebagai contoh aplikasi perkuatan sementara tersebut adalah dengan penambahan elemen struktur balok dari baja dibawah jembatan yang tidak menempel langsung dengan gelagar hal ini dimaksudkan agar gelagar yang ada dapat berfungsi dahulu sampai nilai lendutan tertentu yang kemudian setelah menempel pada gelagar tambahan beban selanjutnya diterima oleh gelagar tambahan. Jenis perkuatan ini hanya bersifat sementara karena setelah dilewati oleh kendaraan dengan muatan tidak standar, pembebanan yang ada hanya menerima beban standar kembali sesuai dengan rencana.

3.4 Prategang Eksternal (Pe)

Keputusan untuk memilih perkuatan jembatan dengan menggunakan metode prategang eksternal ini harus didahului dengan suatu penilaian kondisi struktur jembatan.

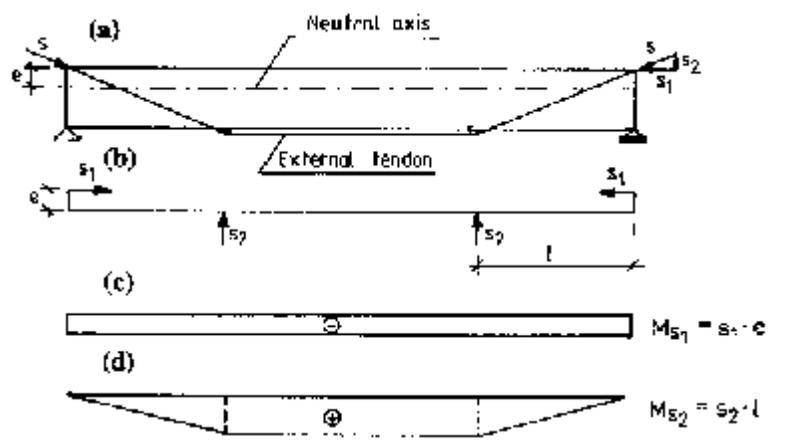
3.4.1 Prinsip Dasar

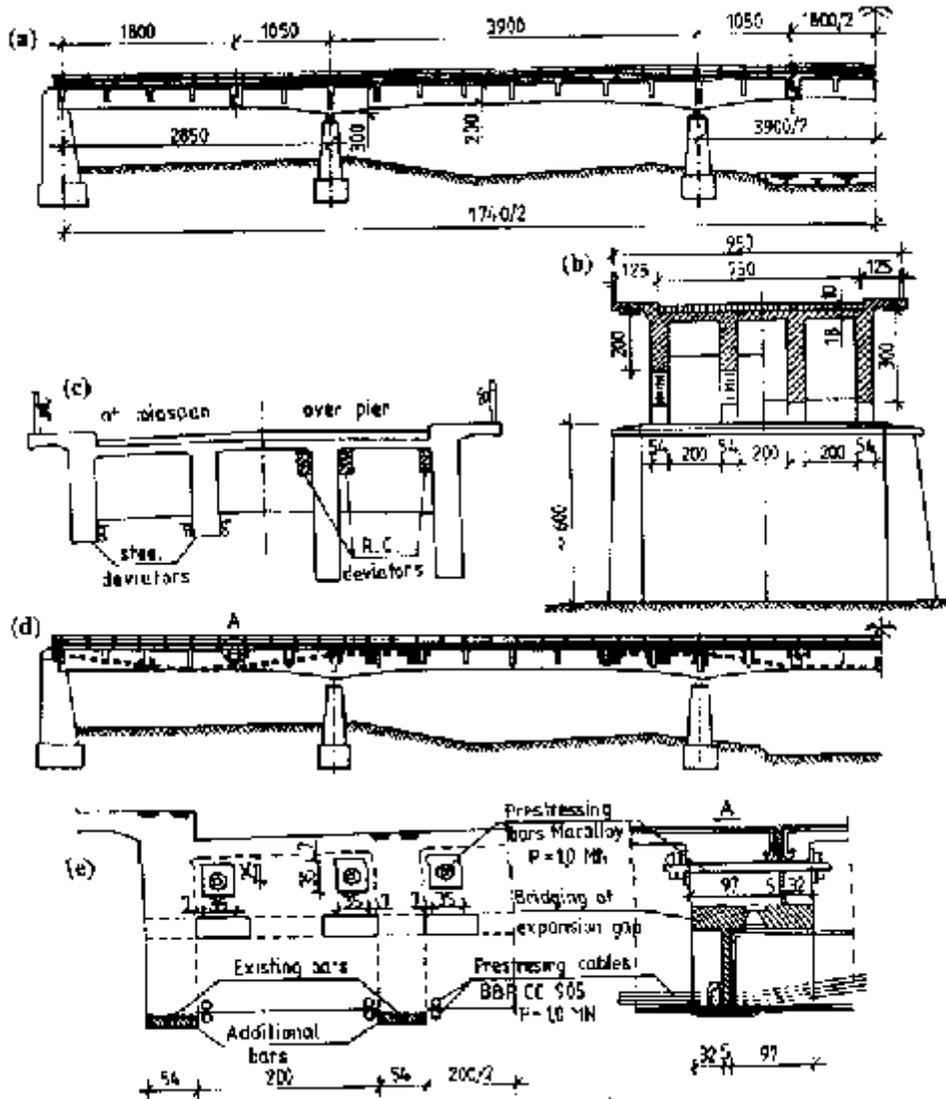
Perkuatan ini merupakan perkuatan yang sangat universal karena dapat dilakukan untuk berbagai macam tipe struktur . Selain untuk struktur beton dapat pula untuk struktur baja. Elemen utama pada

jenis perkuatan ini adalah kabel baja prategang, angker dan deviator.

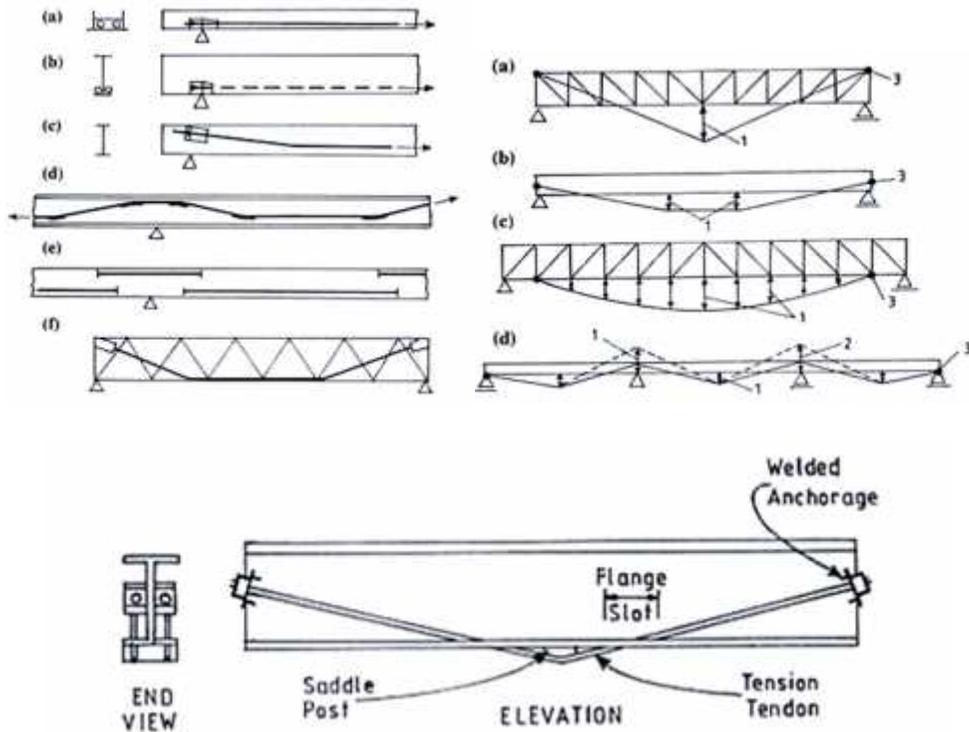
Perkuatan dengan PE menyederhanakan penerapan beban aksial yang dikombinasikan dengan gaya angkat untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser dari struktur balok atau komponen. Metode dapat juga digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan daya layan. Sebagai contoh peningkatan kekakuan yang diberikan 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 16 – Perkuatan Prategang eksternal (PE) pada gelagar beton



Gambar 17 – Perkuatan Prategang eksternal (PE) pada gelagar dan 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 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.

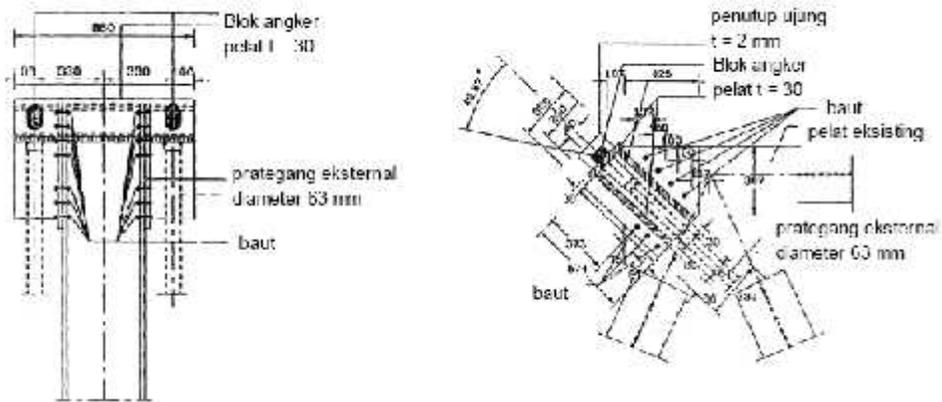
Selain keuntungan di atas terdapat juga beberapa kekurangan yaitu:

- a) Suatu penilaian kondisi khusus pada jembatan yang lebih teliti dibandingkan dengan metode lain, harus dilakukan terlebih dahulu guna menjamin bahwa rantai, 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 rantai jembatan baik dalam arah vertikal maupun horisontal, sehingga perlu diperhitungkan akan terjadi tegangan-tegangan sekunder yang dapat merusak pelat rantai, 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.

Hal-hal penting yang harus diperhatikan berkaitan dengan perencanaan blok angker yang ditempatkan pada pelat buhul adalah sebagai berikut:

- a) Angker harus direncana sesederhana mungkin dan dan menghindari penegangan pada badan atau sayap gelagar yang ada
- b) Angker hendaknya direncanakan sesimetris pada satu sisi rangka dan dipasang pada kedua sisi jembatan rangka dan penegangannya direncanakan untuk dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan dua buah dongkrak prategang,
- c) c)Harus diperhitungkan perkuatan setempat dengan menggunakan pelat-pelat pengaku pada pelat buhul dan batang rangka baja yang berdekatan dengan angker.
- d) Sesedikit mungkin menghindari terjadinya pembongkaran elemen-elemen jembatan yang ada.



Gambar 18 – Blok angker (a) tampak depan, (b) tampak samping

3.4.2 Panjang Kabel Di Belakang Angker

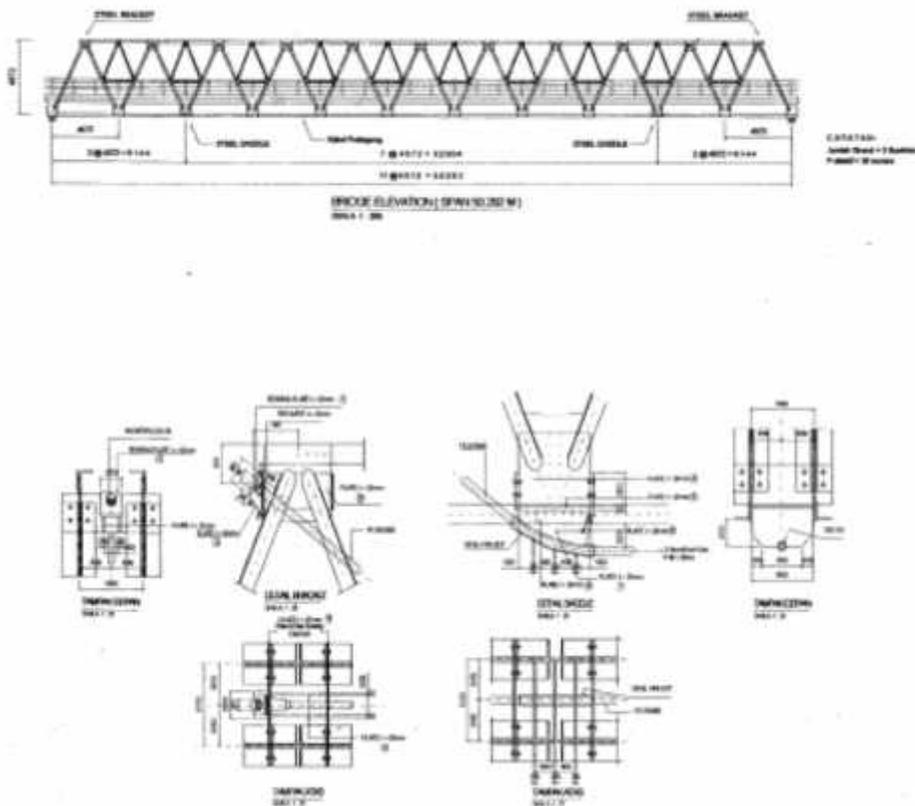
Untuk keperluan pemeliharaan, penggantian, penegangan ulang kabel, ataupun keperluan pemantauan, maka perlu direncanakan adanya kabel dengan panjang tertentu di belakang angker, minimum 50 cm. Selanjutnya kabel berlebih tersebut diberi penutup untuk menghindari korosi dan di dalamnya diisi dengan lemak.

3.4.3 Deviator

Deviator merupakan suatu unit alat bantu yang dibuat guna memudahkan pembentukan suatu profil (layout) kabel prategang yang sesuai dengan kebutuhan. Konstruksi deviator bisa direncanakan seperti contoh deviator dalam Gambar 4-19 atau bentuk lain sesuai kebutuhan dan memenuhi fungsinya.

Hal-hal penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan deviator

- a) Deviator harus terpasang kuat dudukannya guna menjamin transfer beban secara sempurna
- b) Deviator harus dipasang dengan ketelitian yang cukup tinggi agar posisi kabel dan alinyemennya sesuai dengan yang disyaratkan dalam perencanaan.
- c) Deviator harus dapat menampung adanya sistem proteksi korosi kabel.
- d) Harus diperhitungkan perkuatan setempat dengan menggunakan pelat-pelat pengaku pada pelat buhul dan batang rangka baja yang berdekatan dengan deviator.
- e) Pada jembatan rangka, bagian rangka yang digunakan sebagai tempat menumpunya deviator harus diperkuat dengan menggunakan pelat pengaku, yang dimaksudkan selain untuk mencegah terjadinya konsentrasi tegangan yang besar, juga untuk mencegah terjadinya tekuk setempat.
- f) Pemasangan angker dan deviator umumnya dilakukan pada ruang yang relatif sempit dan terbatas. Keadaan demikian akan rentan terhadap bahaya korosi. Oleh karena itu disarankan agar jumlah angker dan deviator yang digunakan seminimal mungkin.
- g) Jumlah dan letak deviator dipilih dengan mempertimbangkan lawan lendut yang direncanakan pada titik buhul melalui analisis respon struktur, yang mana akibat dari gaya-gaya prategang yang ditransfer melalui deviator berpengaruh terhadap gaya dalam rangka atau pelat buhul. Dari analisis tersebut akan didapat jumlah dan letak deviator yang paling optimum



Gambar 21 – Contoh angker perkuatan eksternal pada Jembatan Rangka Baja Callender Hamilton

3.5 Steel Plate Bonding

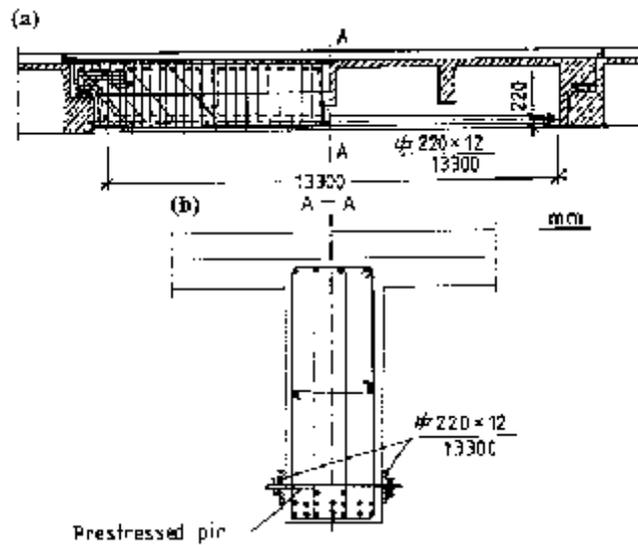
Pada dasarnya perkuatan dengan steel plate bonding merupakan perkuatan dengan melakukan penambahan tulangan (pelat baja) yang dikompositkan dengan beton dengan menggunakan bahan epoxy resin adhesives / bahan perekat (lihat Gambar 22). Perkuatan dengan steel plate bonding dapat digunakan untuk perkuatan 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 epoxy resin adhesive akan mengalami penurunan kekuatan. Kualitas dari kontak antara beton dengan pelat baja sangat menentukan sekali.

Kriteria kinerja dari bahan epoxy resin adhesives dapat diformulasikan sebagai berikut:

1. Kekuatan geser dari epoxy resin adhesives 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.
2. Bahan epoxy resin adhesives harus memiliki kekakuan yang cukup dalam menerima beban, kuat modulus lentur harus berada pada 2-8 GPa.
3. Bahan epoxy resin adhesives 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 ultimate.



Gambar 22 – Perkuatan steel plate bonding pada gelagar beton

3.6 Perkuatan dengan Fiber Reinforced Plastic (FRP)

3.6.1 Umum

Material komposit yang terbuat dari bahan fiber dan polymetric resin, atau lebih dikenal dengan fiber reinforced polymer (FRP), merupakan teknologi perkuatan untuk struktur beton yang terbaru.

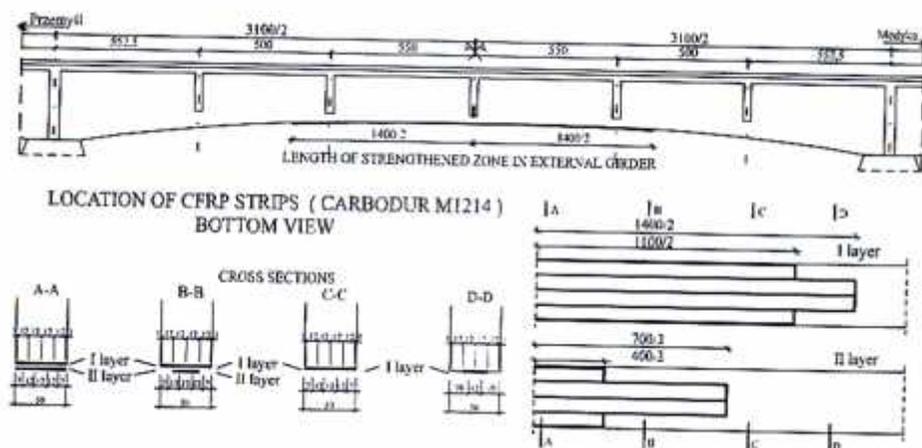
FRP merupakan bahan material yang terbentuk dengan komposit laminasi yang dapat diaplikasikan pada permukaan selimut pada struktur beton. FRP merupakan bahan yang menggunakan serat karbon, aramid dan gelas dengan epoksi resin.

Metode perkuatan ini sangat flexible dan dapat digunakan untuk berbagai bentuk dari struktur yang akan diperkuat. Perkuatan dapat untuk perkuatan lentur, geser dan confinement pada kolom. Adapun untuk perlindungan terhadap pengaruh lingkungan diperlukan

proteksi pada permukaan laminasi dengan cara pengecatan dengan cat epoxy.

Kelebihan dari perkuatan dengan metoda FRP antara lain bahannya sangat ringan, tidak korosif dan memiliki kuat Tarik yang sangat tinggi, maksimum tempratur yang terjadi pada epoxy resin sehingga FRP masih dapat berfungsi secara optimal adalah pada temperature 60° – 82°C.

Perbandingan antara penggunaan Fiber Reinforced Polimer (FRP) dan steel plate bonding dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 23 – Perkuatan dengan Lembaran Fiber Reinforced Polimer (CFRP)

Tabel 1 – Tabel perbandingan steel plate bonding dan lembar 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	3.	Kekuatan yang sangat tinggi

	tahan terhadap lelah		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		

3.6.2 Persyaratan

- **Permukaan Beton**

FRP tidak dapat digunakan pada beton yang keropos, korosi pada baja tulangan dan kerusakan pada permukaan beton. Sebelum diaplikasikan pada permukaan beton yang akan diperkuat, permukaan beton lama perlu diperbaiki dulu apabila terdapat kerusakan. Beberapa yang perlu diperhatikan pula dalam pengaplikasian metode perkuatan dengan FRP adalah pengaruh alkali silica reaksi, delayed electringile formation, karbonasi, retak memanjang sepanjang baja tulangan yang korosi, laminar cracking pada lokasi baja tulangan. Pada dasarnya kondisi selimut beton harus dievaluasi terdahulu sebelum diaplikasikan, agar

tidak bermasalah dengan daya lekat antara beton dengan FRP serta selimut beton dengan tulangan dan antar beton struktur yang ada.

Berdasarkan data-data hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku fatik pada bahan fiber adalah terjadi pada umur 30 tahun. Untuk keawetan metode perkuatan ini, yang mempengaruhinya adalah factor lingkungan, temperature, kelembaban dan serangan zat kimiawi. Pada permukaan beton yang akan diperkuat telah mengalami retak lebih dari 0,3 mm, maka pada retakan tersebut perlu dilakukan injeksi epoxy resin.

- **Bahan**

Bahan yang digunakan yaitu diantaranya serat karbon, aramid dan gelas dengan epoxy resin, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Perilaku tegangan dan regangan material FRP dalam menerima beban sebelum putus adalah linear elastic. Kekuatan dari FRP bergantung pada beberapa factor, yaitu besarnya beban, tipe fiber, orientasi fiber dan kuantitas fiber yang digunakan. Dalam pelaksanaannya, penggunaan FRP untuk perkuatan pada struktur beton, sifat mekanis dari FRP dapat berdasarkan net-luas fiber atau gross luas laminasi. Perhitungan luasan berdasarkan gross-luas laminasi adalah berdasarkan total luas penampang dari system FRP (fiber dan resin). Gross-luas laminasi identic dengan kemudahan dalam melakukan pengendalian mutu terhadap ketebalan FRP sistem. Untuk perhitungan luasan berdasarkan net-luas fiber adalah

berdasarkan ketebalan fiber yang digunakan, ketebalan tersebut tidak termasuk ketebalan resin. Metode luasan dengan net-luas fiber identic dengan pelaksanaan system wet lay-up, yaitu bahan fiber dari pabrik dan pemasangan fiber tersebut dilakukan dengan memberikan bahan epoxy resin dilapangan dan kemudisn ditempelkan pada permukaan yang akan diperkuat. Sistem dengan gross-luas laminasi memiliki ketebalan yang cukup tebal akan tetapi nilai kekuatan yang rendah. Sebaliknya dengan sistm net-luas fiber memiliki ketebalan yang cukup tipis akan tetapi nilai kekuatan yang tinggi.



Carbon Fiber

Aramid Fiber

Glass Fiber

Gambar 24 – Contoh fiber untuk bahan perkuatan

Bahan yang digunakan untuk jenis perkuatan yang menggunakan bahan fibre composite dengan jenis e-glass/glass, aramid atau carbon mencakup penggunaan bahan fibre sesuai dengan gambar rencana serta bahan epoxy khusus yang digunakan untuk melekatkan bahan fiber pada struktur beton serta menjadikan bahan fiber menjadi komposit (fiber dan epoxy khusus yang menjadi satu kesatuan).

Bahan fiber ini digunakan untuk bahan perkuatan atau pengembalian kapasitas struktur jembatan dan disesuaikan dengan ketebalan bahan serta arah serat yang akan dipasang.

Sifat-sifat material bahan fiber dan epoxy yang digunakan harus memenuhi syarat sebagai berikut.

Sifat Bahan dalam kondisi kering			
Properties	E-glass	Aramid	Carbon
Tensile Strength (Gpa)	3,24	3,1	3,79
Tensile Modulus (Gpa)	72,4	114	230
Ultimate Elongation (%)	4,5	2,8	1,2,87
Density (g/cm ³)	2,55	1,4	1,74

Sifat Bahan Composit (Composite gross laminate properties) – E-glass			
Properties	ASTM	Typical test value	Design value
Ultimate tensile strength in primary fiber direction (Mpa)	D-3039	575	450
Tensile Modulus (Gpa)	D-3039	2,2	2,2
Elongation at break (%)	D-3039	26,1	20,9
Ultimate tensile strength 90 degrees to primary fiber (Mpa)	D-3039	25,8	20,7

Sifat Bahan Composit (Composite gross laminate properties) – Aramid			
Properties	ASTM	Typical test value	Design value
Ultimate tensile strength in primary fiber direction (Mpa)	D-3039	696,4	557,1
Tensile Modulus (Gpa)	D-3039	1,7	1,7
Elongation at break (%)	D-3039	40	32
Ultimate tensile strength 90 degrees to primary fiber (Mpa)	D-3039	0	0

Sifat Bahan Composit (Composite gross laminate properties) – Carbon			
Properties	ASTM	Typical test value	Design value
Ultimate tensile strength in primary fiber direction (Mpa)	D-3039	1062	903
Tensile Modulus (Gpa)	D-3039	1,05	1,05
Elongation at break (%)	D-3039	102	86,9
Ultimate tensile strength 90 degrees to primary fiber	D-3039	0	0

(Mpa)			
-------	--	--	--

Epoxy Material Properties		
Properties	ASTM	Typical test value
Tensile strength	ASTM D-638	72,4 Mpa
Tensile Modulus	ASTM D-638	3,18 Gpa
Elongation	ASTM D-638	5,0%
Flexural Strength	ASTM D-638	123.4 Mpa
Flexural Modulus	ASTM D-638	3,12 Gpa

3.6.3 Perencanaan

Perencanaan perkuatan gelagar jembatan berdasarkan kondisi batas PBKT dalam kondisi batas PBKT ada dua hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Faktor pengali beban
2. Faktor reduksi kekuatan

3.6.4 Pelaksanaan

1. Persiapan permukaan
 - Semua jenis lapis permukaan atau pelindung permukaan struktur beton yang akan diperkuat dengan bahan fiber harus dibersihkan sampai permukaan beton yang kuat. Apabila pada permukaan beton atau selimut beton mengelupas, atau terjadi karat, gompal da atau retak, maka permukaan atau struktur beton tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu.

- Pastikan semua kondisi permukaan struktur beton telah diperbaiki, dan jika diperlukan mungkin adanya perbaikan atau penambahan baja tulangan terlebih dahulu.
 - Bagian-bagian ujung struktur beton yang tajam harus dibulatkan terlebih dahulu dengan jari-jari minimum 2 cm
2. Pencampuran bahan fiber dengan epoxy
- Batas temperatur pencampuran bahan epoxy harus berada pada batasan antara 10° - 38° C.
 - Bahan epoxy harus dicampur dengan komposisi atau proporsi yang telah ditetapkan dari pabrik pembuat selama 3-5 menit dengan mesin pengaduk kecepatan rendah
 - Bahan epoxy tersebut tidak melebihi batasan waktu pencampuran sesuai dengan petunjuk dari pabrik pembuat
 - Semua persyaratan pencampuran baik untuk bahan epoxy resin maupun serat fiber harus akurat sesuai dengan petunjuk pada setiap bungkus
3. Pemasangan fiber composite
- Semua permukaan struktur beton yang akan diperkuat dan yang telah bersih serta dengan dimensi yang disyaratkan diberi lapisan epoxy dengan menggunakan kuas.
 - Kemudian serat fiber yang diberi lapisan dengan epoxy dipasang pada struktur beton dengan menggunakan rol untuk menekan sesuai dengan arah serat yang disyaratkan dalam perancangan.
 - Fiber yang dipasang tersebut harus sedemikian melekat pada struktur beton sampai terjadinya kesatuan (tidak ada rongga

antara bahan fiber dengan struktur beton), dan dipasang sesuai dengan arah serat yang disyaratkan.

- Untuk bagian sambungan bahan composite fiber tersebut harus dilakukan overlap antara lapis awal dan lapis berikutnya pada arah serat yang distaratkan sebesar 150 mm dan 75 mm untuk arah serat yang lain.
- Setelah selesai pemasangan lapis pertama, semua rongga udara harus dikeluarkan dengan menekan permukaan fiber dengan menggunakan tangan sehingga sragam, dan menghasilkan permukaan akhir yang disyaratkan.

4. Curing

- Waktu curing bahan fiber composite tersebut adalah 49 – 72 jam dan tergantung pada batas temperatur udara pada waktu pemasangan.
- Temperatur curing harus dijaga sedemikian dalam batasan yang yang disyaratkan.
- Bahan fiber composite yang telah mengeras harus mempunyai ketebalan yang merata dan saling mengikat antar lapisan tanpa menunjukkan adanya jebakan udara.

5. Pekerjaan akhir

- Setelah selesai semua proses pelaksanaan pada permukaan struktur beton yang diperkuat atau dikembalikan kapasitasnya, maka apabila disyaratkan permukaan tersebut dapat dilapisi kembali memakai plesteran dengan bahan khusus pada waktu 2-3 jam setelah selesai pemasangan

bahan fiber composite dilaksanakan dan curing dapat dilaksanakan setelah 24 jam plesteran selesai dipasangkan

- Selain itu permukaan fiber composite yang telah selesai curing dapat juga diberi lapisan cat setelah permukaan kering dengan cara mengusapkan jari tangan pada lapisan dan jari tidak merasa basah atau lengket.



Gambar 25 – Contoh Sebelum Diberi Fibre Composite



Gambar 26 – Contoh setelah diberi fibre composite

3.6.5 Pengendalian Mutu

Mutu bahan yang dipasok, proses serta hasil akhir harus dipantau dan dikendalikan seperti disyaratkan

Untuk pelaksanaan pekerjaan beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah apabila terjadi gelembung/pemisahan antara FRP dengan permukaan beton maka dapat dikategorikan gelembung/pemisahan tersebut adalah :

- Kecil, apabila gelembung/pemisahan kurang dari 1300 mm² dan tidak lebih dari 5% dari luas total permukaan laminasi dan tidak lebih dari 10 lokasi per 1 m² adalah diijinkan.
- Besar, apabila gelembung/pemisahan lebih dari 16000 mm², hal tersebut harus diperbaiki dengan cara dipotong dan dibuat overlap dengan FRP sistem tambahan
- Apabila gelembung/pemisahan kurang dari 16000 mm² dapat diperbaiki dengan injeksi poxy resin.

3.6.6 Pengukuran volume

Hasil pekerjaan yang diukur adalah sesuai dengan kuantitas terpasang dan dihitung berdasarkan meter persegi sesuai dengan jenis bahan, ketebalan serta jumlah lapis.

3.6.7 Pemeliharaan

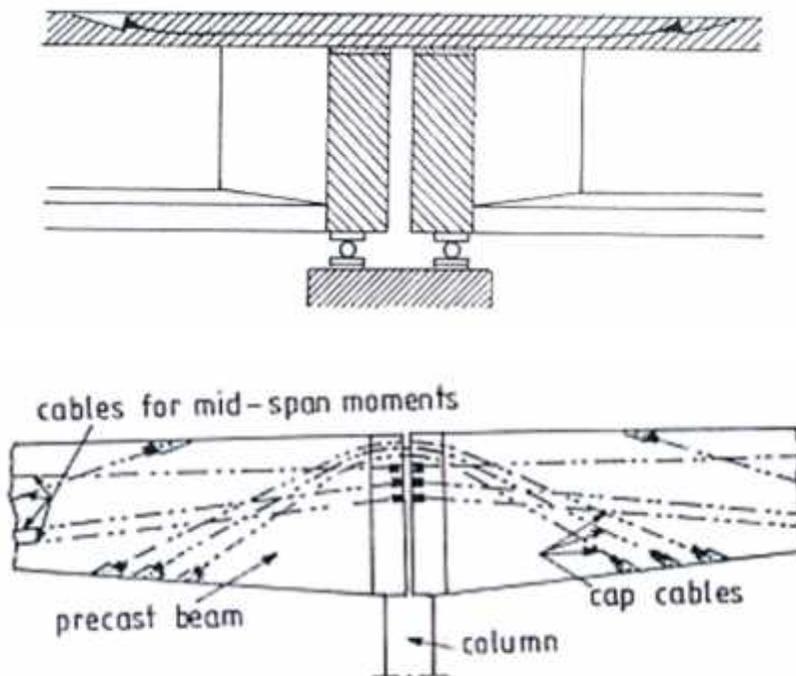
Pemeliharaan yang diperlukan untuk jenis perkuatan dengan sistem FRP adalah perlindungan terhadap pengaruh luar langsung dengan cara perlindungan dengan cat epoxy secara berkala.

3.7 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. Merubah sistem struktur gelagar yang minimal 2 bentang dengan sistem simple beam menjadi menerus (lihat Gambar 26).

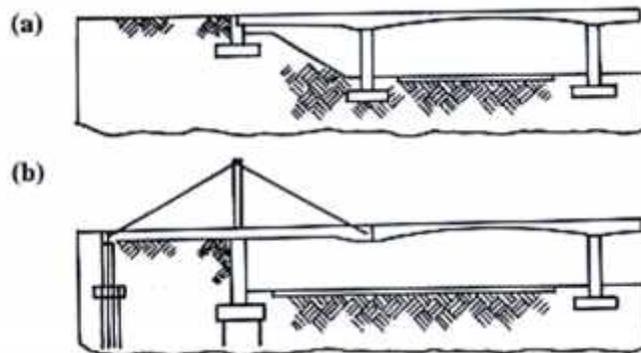
Metode ini dapat dilakukan cukup mudah dengan cara merubah sistem struktur pelat lantai menjadi menerus. Dalam sistem ini struktur akan menjadi menerus hanya pada saat menerima beban hidup. Untuk beban mati dipikul oleh masing-masing struktur dengan kondisi simple beam.



Gambar 27 – Sebelum dirubah sistem strukturnya

Gambar 28 – 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. (lihat Gambar 27).



Gambar 29 – Merubah sistem struktur dengan menambah sistem struktur baru (jembatan kabel)

4

KEGIATAN BELAJAR 3

Indikator Keberhasilan :

Setelah mengikuti mata diklat ini peserta mampu mengidentifikasi penanganan struktur bangunan bawah jembatan

Penanganan Struktur Bangunan Bawah Jembatan

4.1 Kepala Jembatan

Pada umumnya permasalahan yang sering terjadi pada struktur kepala pilar adalah kerusakan yang memerlukan perbaikan dan rehabilitasi saja. Untuk tata cara perbaikan dan rehabilitasi dari bahan dan elemen.

Perkuatan pada kepala jembatan dilakukan umumnya apabila ada bagian yang lemah. Pada bagian yang lemah tersebut perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan. Selain untuk perkuatan pada bagian yang lemah, biasanya perkuatan diperlukan apabila ada pelebaran jalan sehingga perlu peningkatan kapasitas dari kepala pilar. Metode perkuatan yang dapat dilakukan pada dasarnya sama dengan perkuatan yang dijelaskan pada bangunan atas. Permasalahan yang sering ditemui adalah pada saat ada pelebaran jalan, sehingga memerlukan pelebaran struktur pelat lantai. Akan tetapi umumnya struktur kepala jembatan untuk pelebaran dibuat

abutment yang baru sehingga pada abutment yang lama tidak memerlukan perkuatan.

Beberapa metode perkuatan pada struktur kepala jembatan adalah sebagai berikut:

1. Perlindungan kepala jembatan terhadap pergerakan horisontal
 - a. Perlindungan kepala pilar dari pergerakan horisontal dengan reinforced concrete strut (**Gambar 4.28**)

Solusi ini hanya dapat digunakan untuk jembatan bentang pendek dan berada di atas tanah dasar dengan pergerakan horisontal yang relatif kecil. Kondisi kepala jembatan harus dalam kondisi baik, atau telah dilakukan perbaikan bila ada kerusakan. Metode ini dapat juga diaplikasikan apabila pergerakan horisontal tidak teramati/ tidak terjadi akan tetapi peningkatan beban hidup dapat diprediksi, sehingga dengan peningkatan beban tersebut dapat meningkatkan tekanan tanah jalan pendekat pada kepala jembatan.

- b. Perlindungan kepala pilar terhadap pergerakan horisontal akibat tekanan tanah

Pengaplikasian counterfort pada fondasi tiang sangat efektif untuk kestabilan kepala jembatan. Akan tetapi pelaksanaan pekerjaan cukup sulit dikarenakan terdapat pekerjaan pembuatan tiang baru dengan pile driving di sekitar kepala tiang. Dengan demikian tinggi bebas antara tanah dasar dengan permukaan bawah gelagar menjadi hal yang cukup penting dalam perkuatan dengan metode ini. Apabila ada keterbatasan tinggi bebas maka stabilisasi dengan metode fondasi dinding penuh akan mudah untuk dilaksanakan.

Untuk meningkatkan efektifitas dari dinding penopang maka direkomendasikan penggunaan hydraulic jacks pada gap antara kepala jembatan dan dinding penopang. Ketika gaya yang dikehendaki telah diaplikasikan dan gap ditahan oleh bahan sejenis baji sebagai penopang dan hydraulic jacks dilepas selanjutnya gap diisi dengan beton.

- c. Perkuatan kepala jembatan dengan penambahan pelat pada fondasi tiang (**Lihat Gambar 4-32**)

Fungsi dari penambahan pelat tersebut adalah sebagai unloading pada kepala jembatan sehingga cenderung mendapat perbaikan kestabilan. Pelat dengan kepala jembatan dapat monolit atau tidak monolit tergantung pada situasi. Konstruksi pelat dapat berdiri diatas fondasi tiang, fondasi dinding penuh atau tanpa fondasi.

- d. Perlindungan kepala pilar dari pergerakan horisontal dengan angker (**Lihat Gambar 4-33**)

Stabilisasi kepala jembatan dengan metode angker tanah, sangat tidak merekomendasi adanya kegiatan disekitar tanah timbunan jalan pendekat, hal tersebut sangat mempengaruhi kinerja dari angker tanah.

- e. Penambahan katahanan terhadap gelincir pada kepala pilar dengan memberikan footing pada fondasi (**Lihat Gambar 4-34**)

Digunakan untuk kepala jembatan yang baru. Dengan adanya fondasi telapak yang miring dan adanya rib dapat meningkatkan tahanan gelincir pada kepala jembatan.

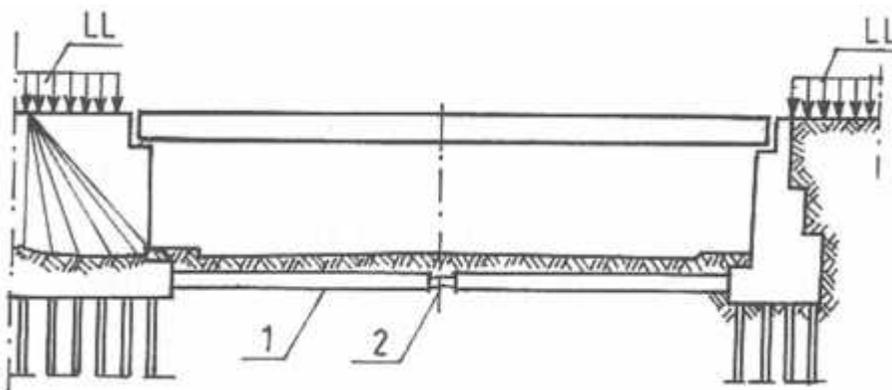
2. Mereduksi gaya horisontal

a. Mereduksi tekanan tanah (Lihat Gambar 4-35)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana untuk mereduksi tekanan tanah timbunan jalan pendekat sehingga kepala jembatan menjadi stabil. Bahan dasar semen umum digunakan untuk stabilisasi tanah.

b. Menghilangkan tekanan dari tanah timbunan jalan pendekat sehingga kepala jembatan berfungsi sebagai pilar dan pembuatan konstruksi kepala jembatan baru dan penambahan bentang bar (Lihat Gambar 4-28)

Metode ini merupakan metode yang cukup ekstrim karena merubah fungsi dari kepala jembatan lama dan menambah bentang baru serta membuat kepala jembatan baru akan tetapi sangat efektif. Metode ini digunakan apabila kondisi abutment yang lama memiliki permasalahan yang kompleks.

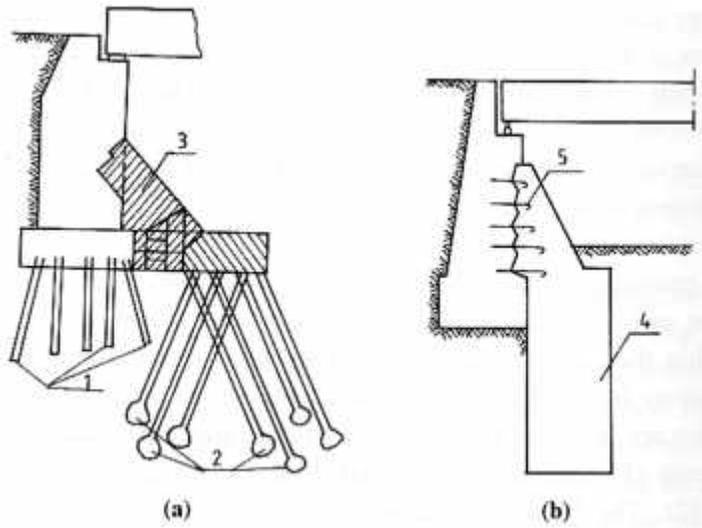


Gambar 30 – Perlindungan kepala pilar dari pergerakan horosontal dengan reinforced concrete strut

Keterangan gambar:

1. Strut

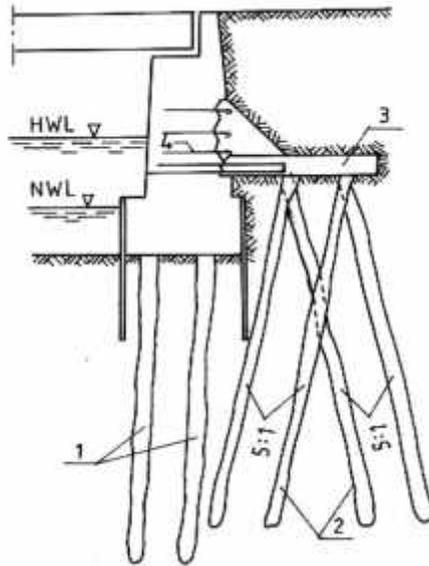
- Hydraulic jack untuk pemberi gaya yang diinginkan pada strut, selanjutnya jack dilepas setelah gap antara 2 bagian strut telah dikencangkan



Gambar 31 – Perlindungan kepala pilar terhadap pergerakan horosontaln akibat tekanan tanah, a) Counterfort dengan fondasi tiang, b) Counterfort dengan fondasi dinding penuh

Keterangan gambar:

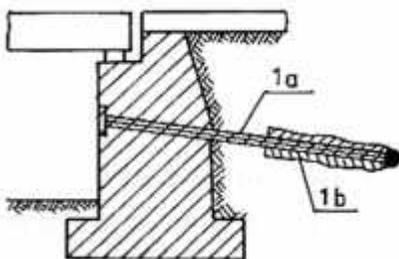
- Fondasi tiang lama
- Fondasi tiang baru (drill pile)
- Counterfort
- Dinding penuh
- Angker



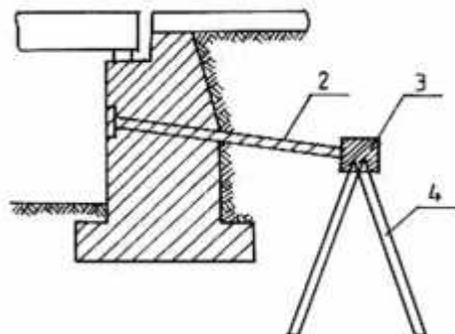
Gambar 32 – Perkuatan kepala jembatan dengan penambahan pelat pada fondasi tiang

Keterangan gambar:

1. Fondasi tiang lama
2. Fondasi tiang baru (inclined pile)
3. Cap
4. Angker



(a)

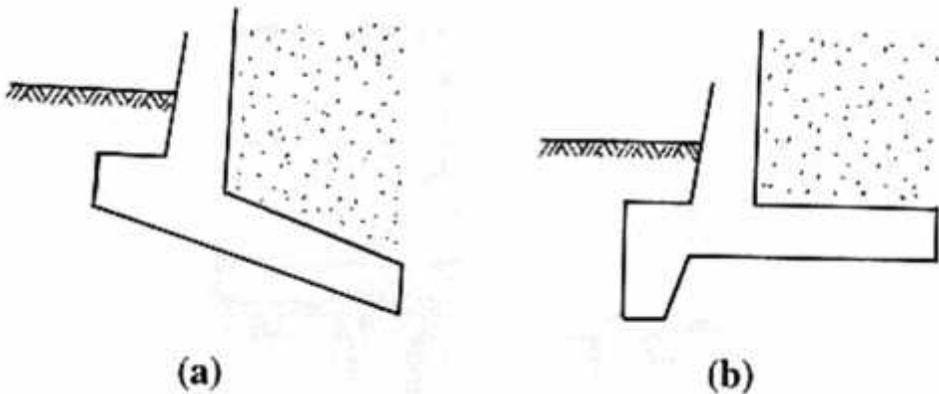


(b)

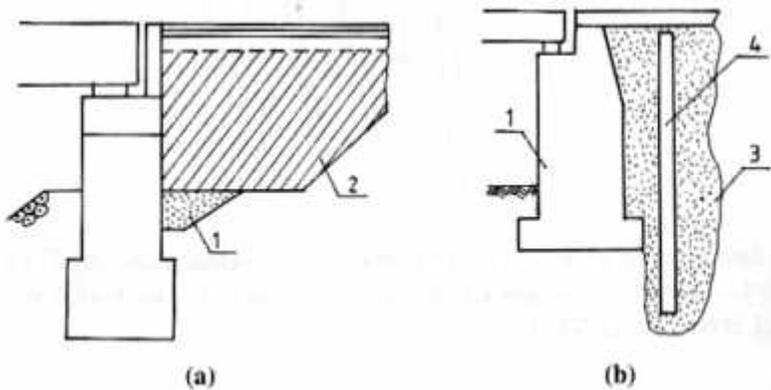
Keterangan gambar:

1. 1a)angker bebas,1b)angker terikat

2. Batang tarik
3. Blok angker
4. raking piles untuk menahan baban lateral



Gambar 33 – Penambahan katahanan terhadap gelincir pada kepala pilar dengan memberikan footing pada fondasi, a). Pemberian kemiringan pada dasar fondasi, b). pemberian rib pada dasar fondasi langsung

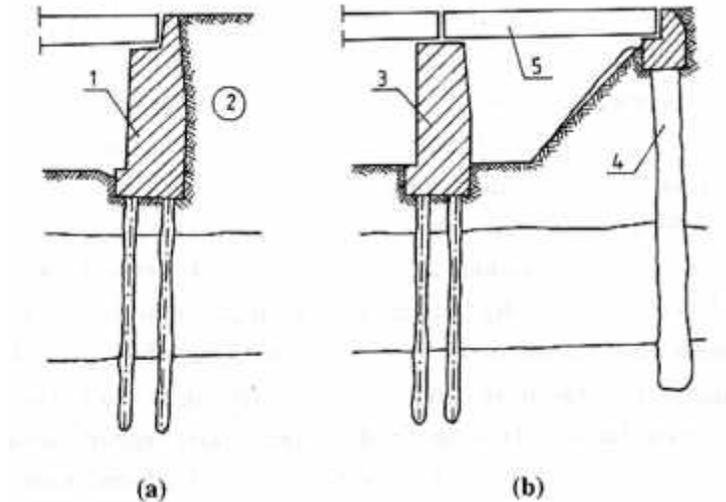


Gambar 34 – Mereduksi tekanan tanah, a). Stabilisasi tanah timbunan pada jalan pendekat, b). Dengan memasang konstruksi dinding penuh

Keterangan gambar:

1. Lapisan drainase
2. Penstabil tanah di belakang kepala pilar
3. Tanah timbunan jalan pendekat

4. Dinding penuh



Gambar 35 – Menghilangkan tekanan dari tanah timbunan jalan pendekat sehingga kepala jembatan berfungsi sebagai pilar dan pembuatan konstruksi kepala jembatan baru dan penambahan bentang baru, a). kondisi awal, b). Kondisi setelah modifikasi

Keterangan gambar:

1. Abutmen lama
2. Tanah timbunan jalan pendekat
3. Kepala jembatan setelah dimodifikasi
4. Kepala jembatan baru dengan fondasi bore pile
5. Bentang jembatan tambahan

4.2 Pilar

Perkuatan struktur pilar umumnya dilakukan apabila terjadi kerusakan yang cukup parah atau kurangnya kapasitas struktur pilar akibat kurang sempurnanya dalam perencanaan dan pelaksanaan serta adanya pelebaran jembatan sehingga beban hidup lalu lintas menjadi bertambah.

Metode perkuatan yang dapat diaplikasikan adalah:

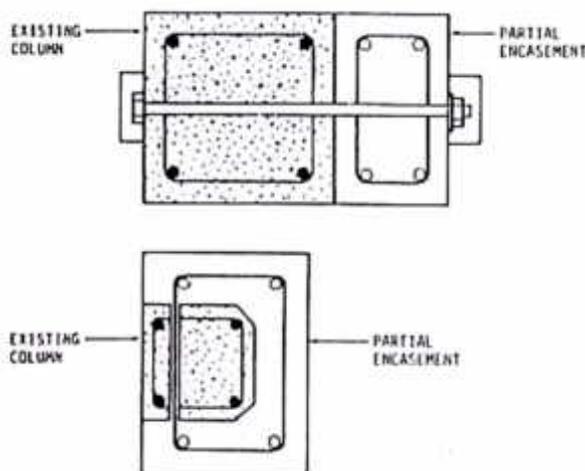
1. Reinforced Concrete Jacketing yaitu Penambahan penampang dengan Jaket beton bertulang

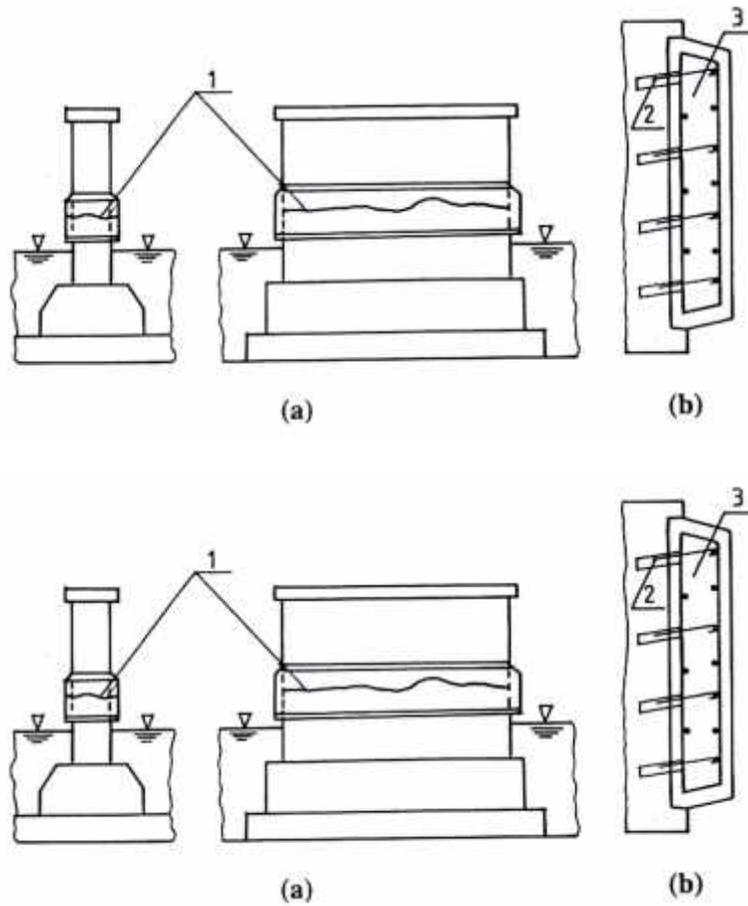
Metode perkuatan ini merupakan suatu perkuatan dengan cara menyelimuti bagian struktur memerlukan perkuatan dengan bahan beton. Dengan adanya jaket beton bertulang (tulangan lentur dan geser) tersebut, maka akan meningkatkan dimensi pilar dan kapasitas struktur pilar pun akan meningkat.

2. Fiber Reinforced Plastic (FRP) jacketing yaitu jaket dengan bahan komposit yang terbuat dari bahan fiber yang dikobimaskan dengan bahan epoxy resin. Metode perkuatan ini merupakan suatu perkuatan dengan cara menyelimuti bagian struktur memerlukan perkuatan dengan bahan fiber (carbon, atau glass).

3. Steel Jacketing

Metode perkuatan ini merupakan suatu perkuatan dengan cara menyelimuti bagian struktur memerlukan perkuatan dengan bahan baja.



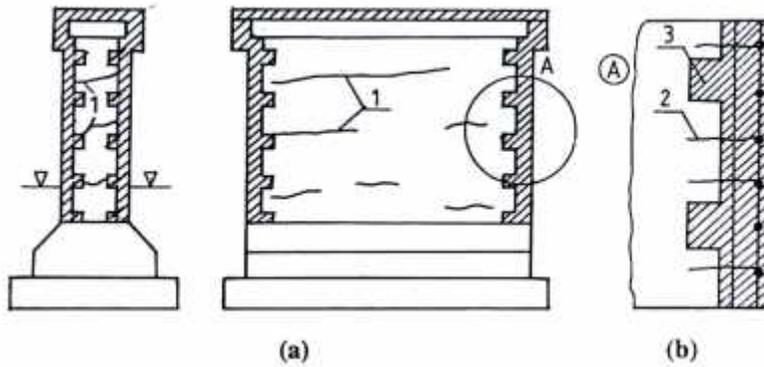


Gambar 36 - Reinforced Concrete Jacketing). Penambahan penampang setempat

b). Penambahan penampang keseluruhan

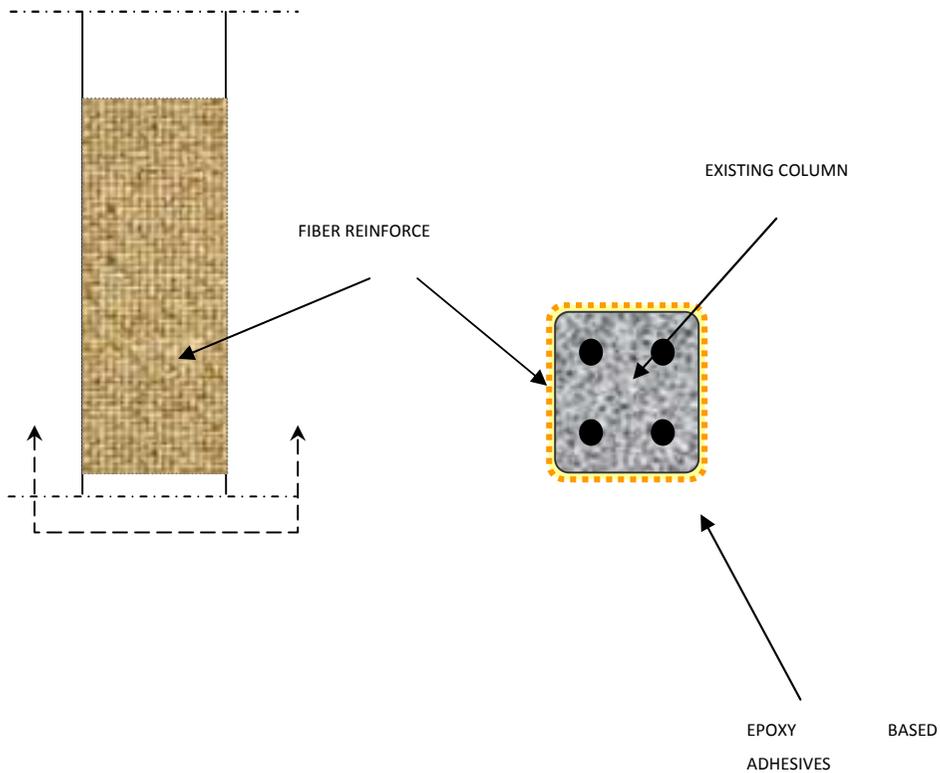
Keterangan gambar:

1. Retak mhorosontal pada pilar
2. Angker
3. jaket beton bertulang

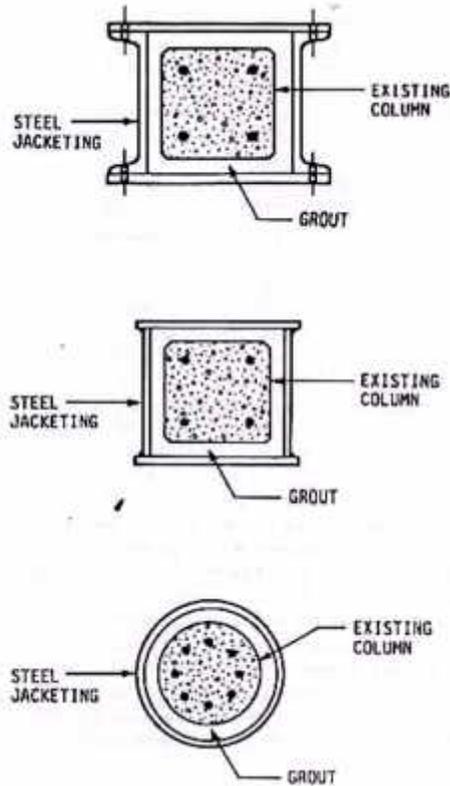


Keterangan gambar:

1. Retak mhorosantal pada pilar
2. angker
3. jaket beton bertulang



Gambar 37 – Fiber Reinforced Plastic (FRP) jacketing



Gambar 38 - Steel jacketing

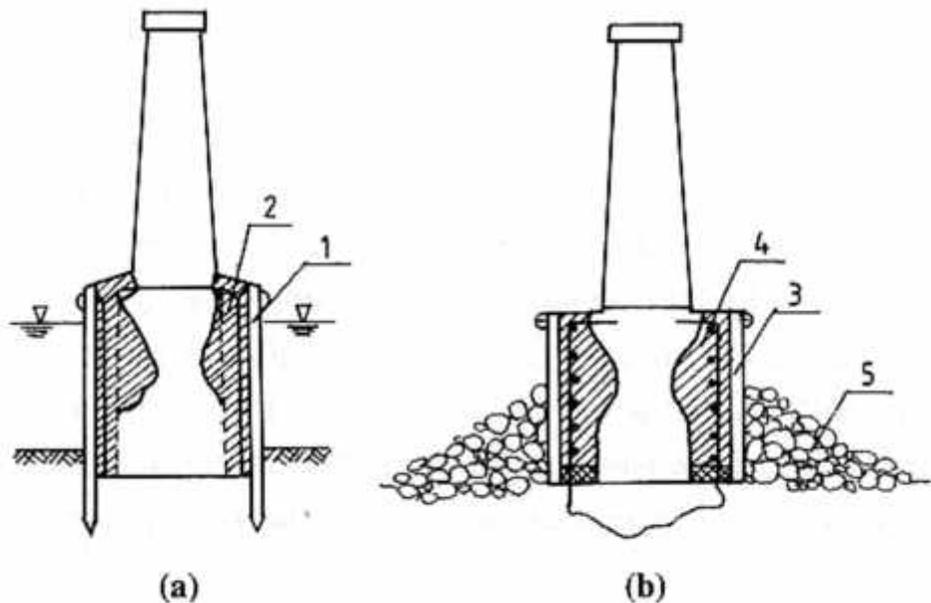
4.3 Fondasi

Kerusakan yang terjadi pada pada fondasi jembatan adalah sangat bergantung pada penyebabnya, kondisi tanah, dan type fondasi sendiri. Sebagai contoh adalah adanya penggerusan pada tanah dasar lokal oleh aliran air, abrasi pada material fondasi dan pengaruh erosi pada material fondasi. Pada bagian ini akan dibahas mengenai metode perbaikan, rehabilitasi dan perkuatan pada material fondasi yang hilang. Metode perbaikan kerusakan pada fondasi tersebut adalah dengan:

1. Pemasangan sheet pile di sekeliling fondasi kemudian air di pompa keluar, dan pekerjaan perbaikan kemudian dilakukan.

2. Pemasangan sheet pile di sekeliling fondasi, kemudian pengecoran beton dengan menggunakan peralatan tremie.

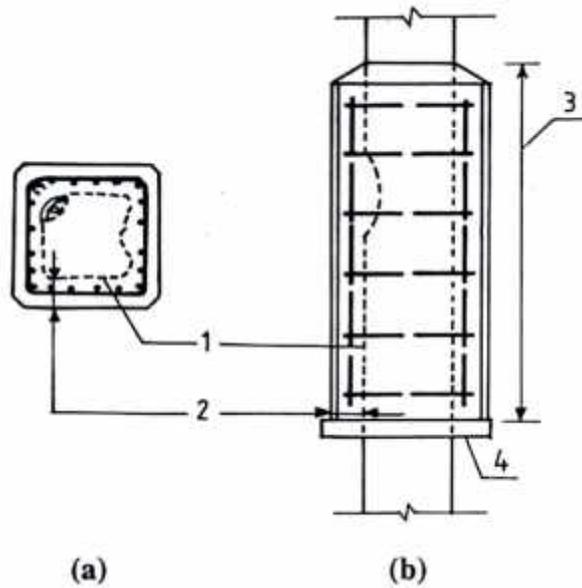
Jenis sheet pile yang dapat diaplikasikan adalah dengan menggunakan dari baja, beton atau kayu atau penggunaan form dari baja atau kayu
Lihat Gambar 4.11.



Gambar 39 - Perbaikan material yang hilang pada fondasi langsung, a). Penggunaan sheet pile, b). Penggunaan form dengan riprap

Keterangan gambar:

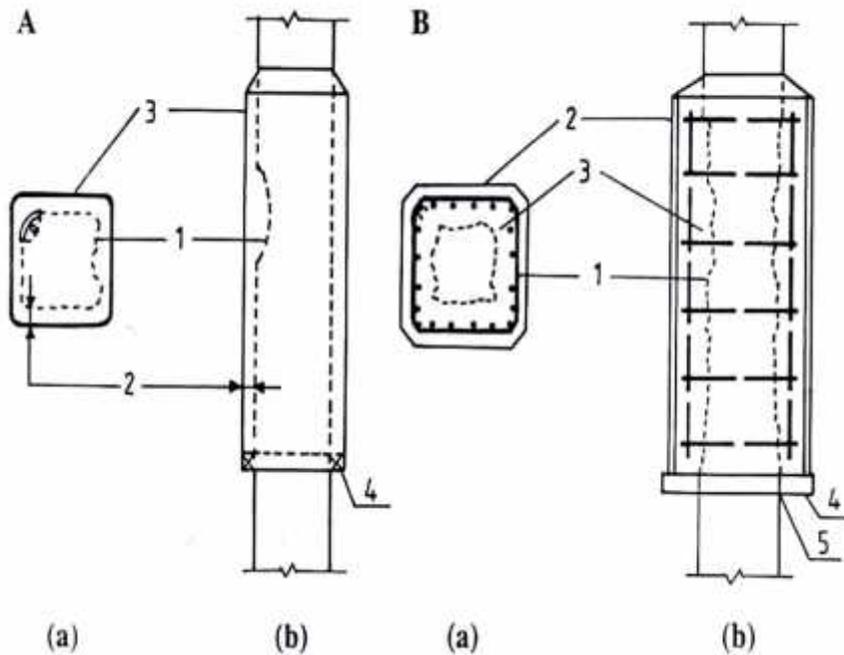
1. Sheet pile dari baja atau kayu
2. Beton bertulang baru
3. form dari besi atau kayu
4. Beton bertulang baru



Gambar 40 – Perbaikan tiang pancang dengan reinforced concrete jacketing, a). penampang, b). elevasi

Keterangan gambar:

1. Pile yang ada
2. Reinforced concrete jacketing
3. Panjang bagian yang rusak
4. Form



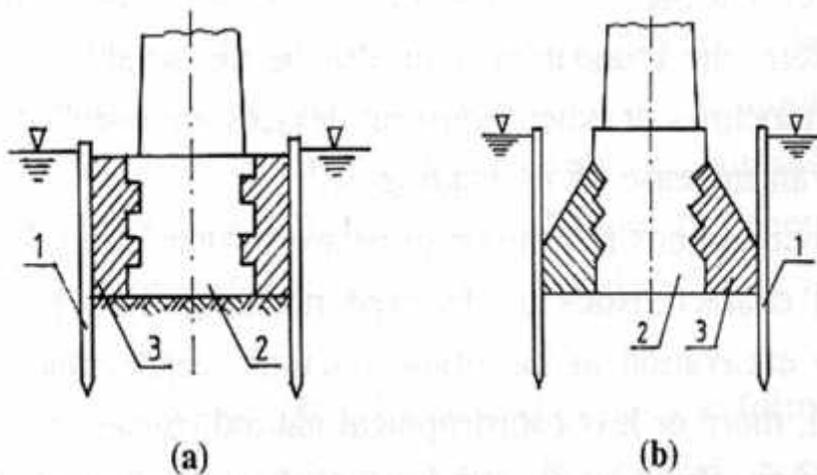
Gambar 41 – Perbaikan tiang pancang dengan jackets fiber glass, a). penampang, b). Elevasi

Keterangan gambar:

1. Pile yang ada
 2. Fiber glass form
 3. Bagian kosong yang akan diisi epoxy grout
 4. Compressible seal
 5. Penahan dari bahan kayu
- A. Tidak perlu penulangan
 B. Memerlukan penulangan tambahan

Perkuatan pada fondasi sangat ditentukan oleh kondisi tanah, tipe fondasi dan skala perkuatan itu sendiri. Perkuatan fondasi memiliki 2 prinsip dasar yaitu:

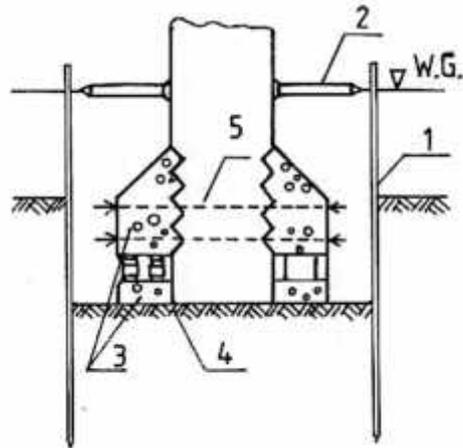
1. Metode perkuatan yang langsung dilakukan pada fondasi
 - a. Perkuatan fondasi dengan perbesaran penampang pasif,
 - b. Perkuatan fondasi dengan perbesaran penampang aktif, I
 - c. Perkuatan dengan menambah tiang fondasi.
2. Metode perkuatan tidak langsung dengan perkuatan pada tanah dasar.
 - a. Perbaikan daya dukung tanah dengan sheet pile, Perbaikan daya dukung tanah dengan grouting bahan sementious,



Gambar 42 - Perkuatan fondasi dengan perbesaran penampang pasif, a). Kebutuhan material akan banyak, b). Kebutuhan material lebih sedikit tapi solusi yang kompleks

Keterangan gambar

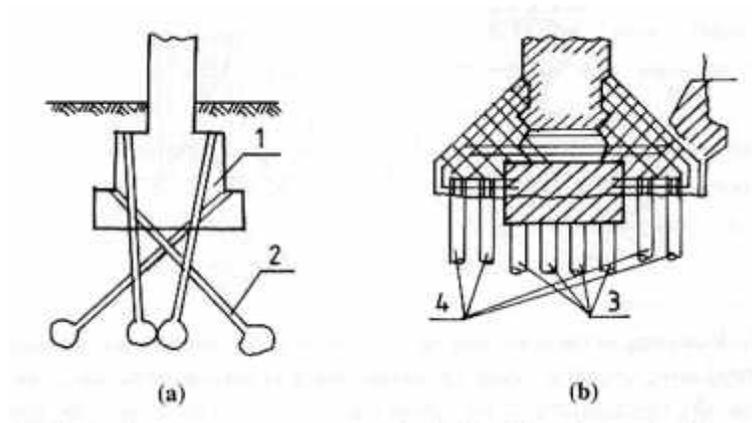
1. Sheet pile
2. Fondasi yang ada
3. Beton tambahan

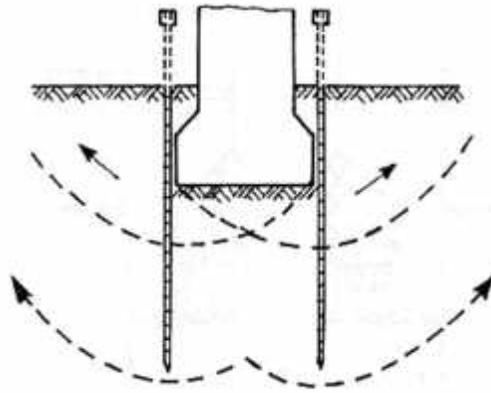


Gambar 43 – Perkuatan fondasi dengan perbesaran penampang aktif, a). Kebutuhan material akan banyak, b). Kebutuhan material lebih sedikit tapi solusi yang kompleks

Keterangan gambar

1. Sheet pile
2. Strut
3. Bagian fondasi yang baru
4. Hydraulic Jackt
5. prestressing tendon



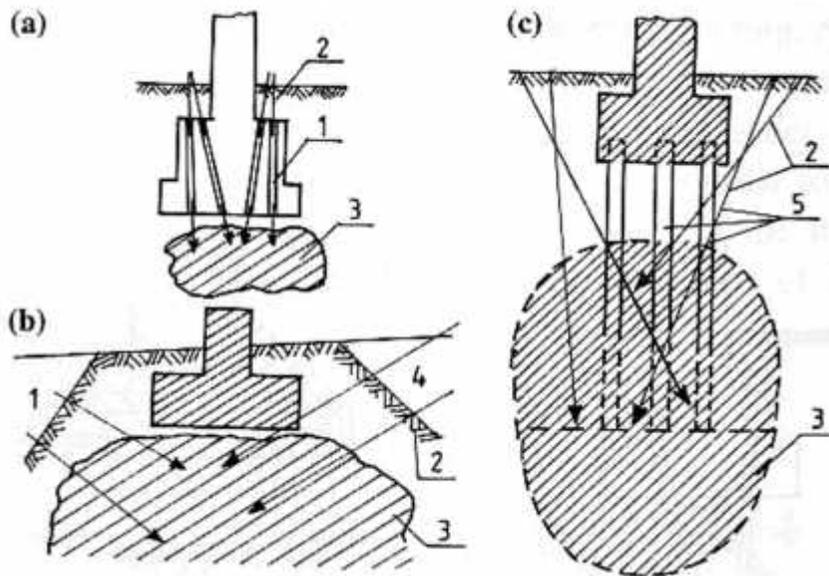


Gambar 44 – Perkuatan dengan menambah tiang fondasi, a). Perkuatan fondasi langsung, b). Perkuatan fondasi tiang

Gambar 45 – Perbaikan daya dukung tanah dengan sheet pile

Keterangan gambar:

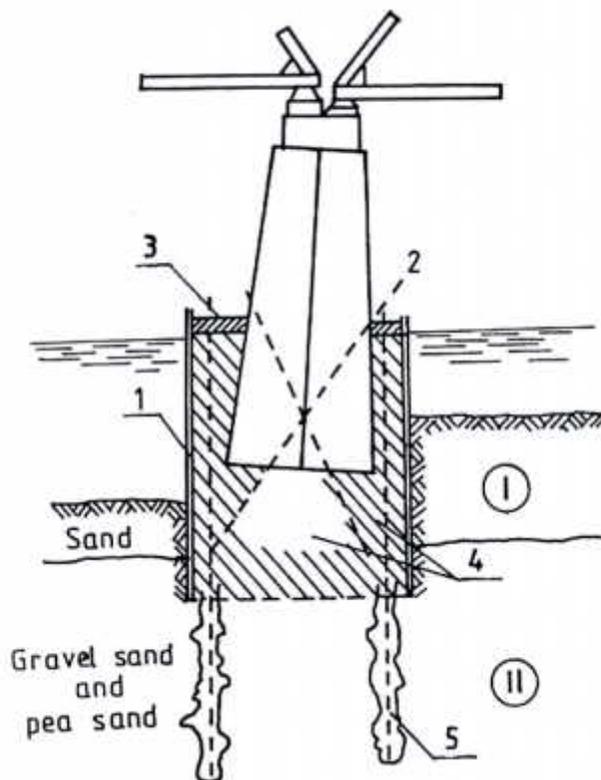
1. Fondasi langsung lama
2. Tiang baru dengan diameter kecil
3. Fondasi tiang lama
4. Fondasi tiang baru/ tambahan



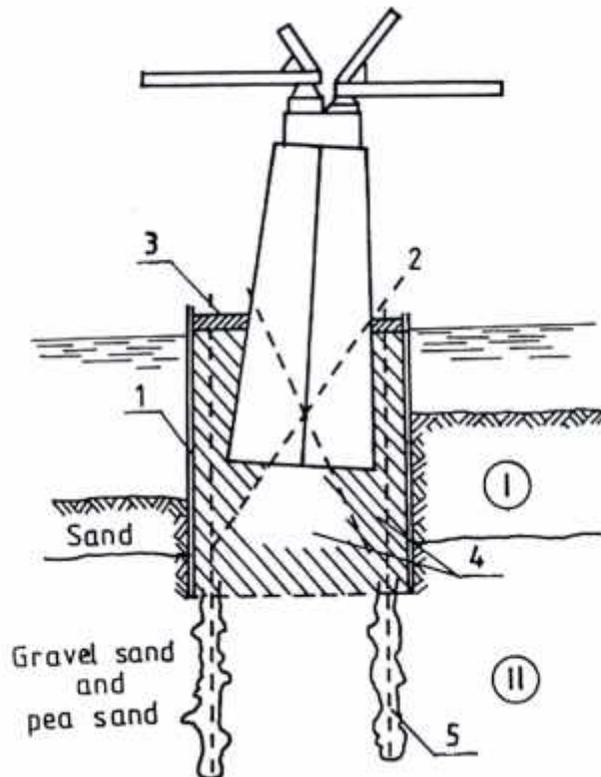
Gambar 46 – Perbaikan daya dukung tanah dengan grouting bahan sementious, a). Perkuatan tanah dasar dengan injeksi dari fondasi langsung, b). Perkuatan tanah dasar dengan injeksi dari luar fondasi langsung, c). Perkuatan tanah dasar di sekitar fondasi tiang bagian bawah dengan injeksi.

Keterangan gambar:

1. Lubang pada fondasi langsung
2. Semen injeksi
3. Tanah dasar yang diperkuat dengan injeksi
4. Penggalian
5. Fondasi tiang



Gambar 47 – Perbaikan daya dukung tanah dengan grouting bahan sementious pada fondasi langsung yang tidak stabil



Gambar 48 – Perbaikan daya dukung tanah dengan grouting bahan sementious pada fondasi langsung yang tidak stabil

Keterangan gambar:

1. Sheet pile
 2. Lubang injeksi
 3. Pelat beton
 4. Tanah yang dikeraskan
 5. Dinding injeksi
- I. Phasa perkuatan pada tanah dasar dengan injeksi semen di area di dalam sheet pile
- II. Phasa perkuatan tanah dasar dengan injeksi dinding dibawah sheet pile.

RANGKUMAN

Perkuatan struktur bangunan atas diaplikasikan dengan cara memperbesar penampang gelagar beton, memperbesar penampang bawah dengan pelat baja tambahan pada gelagar baja, memperbesar penampang dengan pelat baja tambahan pada rangka baja, penambahan batang baja pada gelagar baja, penambahan batang baja pada rangka baja, pendistribusian beban dengan balok melintang atau diafragma, penambahan elemen struktur, prategang eksternal, penambahan dengan steel plate bonding (CFR, FRPP), perubahan system struktur.

- Perkuatan pada kepala jembatan dilakukan umumnya apabila ada bagian yang lemah dengan cara: perlindungan kepala jembatan terhadap pergerakan horizontal, mereduksi gaya horizontal
- Perkuatan struktur pilar umumnya dilakukan apabila terjadi kerusakan yang cukup parah atau kurangnya kapasitas struktur pilar akibat kurang sempurnanya dalam perencanaan dan pelaksanaan serta adanya pelebaran jembatan sehingga beban hidup lalu lintas menjadi bertambah dengan aplikasi sebagai berikut: jaket beton bertulang berupa penambahan penampang dengan jaket beton bertulang (atau dengan FRP, jaket baja)
- Kerusakan yang terjadi pada pada fondasi jembatan adalah sangat bergantung pada penyebabnya, kondisi tanah, dan tipe fondasi sendiri. Perkuatan pada fondasi sangat ditentukan oleh kondisi tanah, tipe fondasi, dan skala perkuatan itu sendiri, yaitu: perkuatan yang langsung dilakukan pada Fondasi dan perkuatan tidak langsung dengan perkuatan pada tanah dasar.

LEMBAR KERJA

1. Sebutkan jenis-jenis perkuatan struktur bangunan atas jembatan!
2. Jelaskan keuntungan penerapan metode prategang eksternal pada jembatan!
3. Apa kegunaan dari steel plate bonding dan fibre reinforced plastic jembatan?
4. Jelaskan teknik perkuatan kepala jembatan yang miring!
5. Bagaimana teknik memperbaiki daya dukung fondasi?

DAFTAR PUSTAKA

Ditjen Bina Marga. (1993). *Manual Bridge Management System (BMS)*.

Ditjen Bina Marga. (2009). *Petunjuk Teknis Rehabilitasi Jembatan (No. 020/BM/2009)*.

Ditjen Bina Marga. (2011). *Manual Perbaikan Standar untuk Pemeliharaan Rutin Jalan (No.001-02/M/BM/2011)*.

Ditjen Bina Marga. (2011). *Manual Survai Kondisi Jalan dan Pemeliharaan Rutin (No.001-01/M/BM/2011)*.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Pedoman Pemeriksaan Jembatan*.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Pedoman Penanganan Preserva*.