

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

**Perkuatan jembatan rangka baja Australia
dengan metode prategang eksternal**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	iii
Pendahuluan.....	iv - v
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
3.1 Batang pratekan.....	1
3.2 Blok angker	2
3.3 Deviator.....	2
3.4 Prategang eksternal	2
3.5 Selubung kabel	2
3.6 Kawat jalinan tujuh	2
4 Sistem prategang eksternal (PE)	2
5 Petunjuk perencanaan	4
5.1 Blok angker	4
5.2 Panjang kabel di belakang angker	5
5.3 Deviator.....	5
5.4 Penentuan parameter perencanaan	7
5.5 Analisa perhitungan	7
5.6 Kehilangan gaya prategang.....	7
5.7 Sokongan deviator	7
6 Pelaksanaan	8
6.1 Persiapan bahan dan peralatan.....	8
6.2 Tahapan pelaksanaan	8
7 Kontrol kualitas.....	10
7.1 Bahan.....	10
7.2 Peralatan	10
7.3 Pelaksanaan penarikan kabel	11
8 Pemeliharaan	11
Bibliografi	12
Lampiran A Bentuk jembatan rangka baja Australia B60.....	13
Lampiran B Kabel prategang, batang baja pratekan dan selubung kabel	15
B.1 <i>Strand</i> tunggal	15
B.2 <i>Strand</i> gabungan	15
B.3 Batang baja	16
B.4 Selubung kabel	17
Lampiran C Latar belakang dan parameter pemilihan perkuatan	18
C.1 Latar belakang kebutuhan akan perkuatan	18

C.2	Parameter pemilihan jenis perkuatan.....	18
Lampiran D	Rangkuman penerapan prategang eksternal.....	19
Lampiran E	Daftar nama dan lembaga	20
Gambar 1	Beberapa contoh penempatan kabel.....	3
Gambar 2	Blok angker	4
Gambar 3	Deviator	6
Gambar 4	Bentuk kelengkungan kabel pada deviator.....	6
Gambar 5	Pelaksanaan metode prategang eksternal	10
Gambar A.1	Jembatan rangka baja Australia B60	13
Gambar A.2	Dimensi komponen jembatan rangka baja Australia B60.....	14
Gambar B.1	Strand tunggal	15
Gambar B.2	Strand gabungan	15
Tabel B.1	Karakteristik strand	15
Tabel B.2	Karakteristik batang baja kuat tarik tinggi	16
Tabel B.3	Pelat penahan angker, mur, cincin dan baut.....	16

Prakata

Pedoman perkuatan jembatan rangka baja Australia dengan metode prategang eksternal dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, melalui Gugus Kerja Bidang Konstruksi Jembatan dan Bangunan Jalan pada Sub Panitia Teknik Standardisasi Bidang Prasarana Transportasi. Pedoman ini diprakarsai oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Pedoman ini disusun dengan melakukan pendekatan adaptasi beberapa referensi asing dan justifikasi berdasarkan kajian litbang penerapan prategang eksternal. Penulisan pedoman ini mengikuti Pedoman BSN No. 8 tahun 2000, dibahas melalui forum konsensus yang melibatkan instansi pemerintah, direktorat jenderal, profesional, dan konsultan serta kalangan akademisi.

Pedoman diperuntukan untuk semua pihak yang terlibat dalam rehabilitasi bangunan atas jembatan, mulai dari perancang, kontraktor, dan instansi pemerintah pusat serta daerah dan disusun dengan maksud agar dapat dipergunakan sebagai acuan umum dalam melakukan peningkatan kapasitas dan daya layan jembatan melalui penerapan metode prategang eksternal.

pada tanggal 31 Juli 2006

Pendahuluan

Jembatan rangka baja Australia merupakan bangunan atas jembatan yang disusun dari beberapa panel segitiga dan dirangkai satu persatu dengan hubungan baut untuk menahan beban rencana jembatan yang sesuai dengan peraturan beban yang berlaku pada saat itu.

Jembatan jenis ini pertama kali dipasang di Indonesia sekitar tahun 1990. Dengan bertambahnya umur jembatan dapat diduga terjadi : peningkatan beban dan volume lalu-lintas; peningkatan beban akibat tebal pelapisan ulang perkerasan aspal di jembatan yang berlebihan; dan penurunan ketahanan konstruksi jembatan. Hal-hal di atas sangat berpengaruh pada peningkatan tegangan elemen jembatan dan bertambah besarnya lendutan yang terjadi.

Salah satu usaha untuk meningkatkan daya layan dan kapasitas jembatan adalah dengan menerapkan perkuatan jembatan menggunakan metode prategang eksternal. Prinsip penerapan prategang eksternal pada rangka baja adalah memberikan suatu gaya yang akan mereduksi tegangan tarik rangka batang jembatan dengan mempergunakan kabel atau batang baja yang ditempatkan di bagian luar struktur jembatan. Penempatan perkuatan dapat dilakukan pada satu, beberapa rangka batang atau struktur jembatan secara keseluruhan. Agar kabel dan/atau batang baja dapat menyalurkan gaya prategang pada suatu rangka batang jembatan sebagaimana yang direncanakan maka kabel tersebut harus dijangkarkan pada bagian anker dan/atau deviator dengan suatu alinyemen tendon tertentu, melalui suatu metode perancangan, pelaksanaan dan pemeliharaan prategang eksternal tertentu yang akan dibahas pada pedoman ini.

Sebelum melangkah lebih jauh mengenai penerapan metode prategang eksternal pada jembatan rangka akan lebih baik pembaca mengetahui keuntungan dan kekurangan penggunaan metode tersebut.

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, rangka jembatan;
- d) pada jembatan rangka baja, pemberian gaya aksial dapat mengakibatkan masalah kestabilan lokal sehingga diperlukan adanya perkuatan lokal pada struktur anker atau penambahan profil di dekat elemen rangka baja yang letaknya paling dekat dengan anker.

Keputusan untuk melakukan perkuatan dilakukan bila :

1. Ditemukan kerusakan kondisi fisik secara visual jembatan yang membahayakan.
2. Lendutan berlebih dan getaran terukur yang menyebabkan kendaraan kurang nyaman berdasarkan survei detail kondisi jembatan.
3. Diindikasikan adanya peningkatan beban kendaraan pada jembatan berdasarkan uji sampel pengukuran beban kendaraan.
4. Tegangan bahan baja terukur yang hampir mendekati tegangan ijinnya.

Perkuatan jembatan rangka baja Australia dengan metode prategang eksternal

1 Ruang lingkup

Pedoman ini berisi kaidah-kaidah dan tata cara penerapan prategang eksternal pada jembatan rangka baja Australia, dengan contoh penggunaan pada tipe B60. Struktur jembatan yang dimaksud pada pedoman ini dibatasi hanya untuk struktur di atas dua perletakan.

Hal-hal prinsip yang dibahas pada pedoman ini meliputi faktor penentu penerapan prategang eksternal, perancangan penerapan prategang eksternal, Pelaksanaan penerapan prategang eksternal, dan pemeliharaan struktur prategang eksternal.

Pedoman ini tidak memberikan arahan mengenai prosedur penilaian/assessment kondisi struktur eksisting dan analisis detail respon struktur.

2 Acuan normatif

- SNI 03-1725-1989, *Pedoman perencanaan pembebanan jembatan jalan raya*
- SNI 06-0939-1989, *HDPE untuk plastik*
- SNI 07-0358-1989, *Peraturan umum pemeriksaan baja*
- SNI 07-6764-2002, *Spesifikasi baja struktural*
- SNI 07-1051-1989, *Kawat baja karbon tinggi untuk konstruksi beton pratekan*
- SNI 07-1154-1989, *Kawat baja tanpa lapisan bebas tegangan untuk konstruksi beton pratekan, jalinan tujuh*
- SNI 07-1155-1989, *Kawat baja tanpa lapisan bebas tegangan untuk konstruksi beton pratekan*
- SNI 07-3651.1-1995, *Kawat baja beton pratekan, Bagian 1 : Persyaratan umum*
- SNI 07-3651.2-1995, *Kawat baja beton pratekan, Bagian 2 : Kawat tarik dingin*
- SNI 07-3651.3-1995, *Baja beton pratekan, Bagian 3 : Kawat kuens (quench) dan temper*
- SNI 07-3651.4-1995, *Kawat baja beton pratekan, Bagian 4 : Pilihan*
- AASHTO M164M – 90, *High Strength Bolts for Structural Steel Joints.*
- AASHTO M169 – 83, *Steel Bars, Carbon, Cold Finished, Standard Quality.*
- ASTM A233, *Mild Steel, Arc Welding Electrode*
- ASTM A307, *Mild Steel Bolts and Nuts (Grade A)*

3 Istilah dan definisi

3.1

batang pratekan

batang baja kuat tarik tinggi yang akan diberikan gaya tarik padanya

3.2

blok anker

bagian tempat menambatkan kabel prategang pada struktur yang ada

3.3

deviator

suatu konstruksi yang berfungsi mengubah arah kabel dan memudahkan pembentukan alinyemen kabel, baik blok anker dan deviator ini harus dirancang dengan benar agar kabel menempel dan bekerja dengan sempurna

3.4

prategang eksternal (PE)

kabel/ tendon/ strand yang diberi gaya prategang yang ditempatkan di bagian luar / eksternal atau dicantelkan pada struktur dalam hal ini jembatan rangka baja Australia B60

3.5

selubung kabel

pembungkus yang terbuat dari bahan *polypropylene* atau *high density polyethylene* (HDPE) untuk melindungi kabel dari bahaya korosi

3.6

kawat baja jalinan tujuh/ *7-wire strand*

kabel yang terdiri dari tujuh buah lilitan kawat dengan kuat tarik tinggi

4 Sistem prategang eksternal (PE)

Prinsip perkuatan dengan PE adalah menyederhanakan penerapan beban aksial yang dikombinasikan dengan gaya angkat untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser dari struktur balok atau komponen. Peningkatan kekakuan yang diberikan dengan prategang eksternal dapat mereduksi defleksi dan vibrasi selama umur layannya. Selain itu 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.

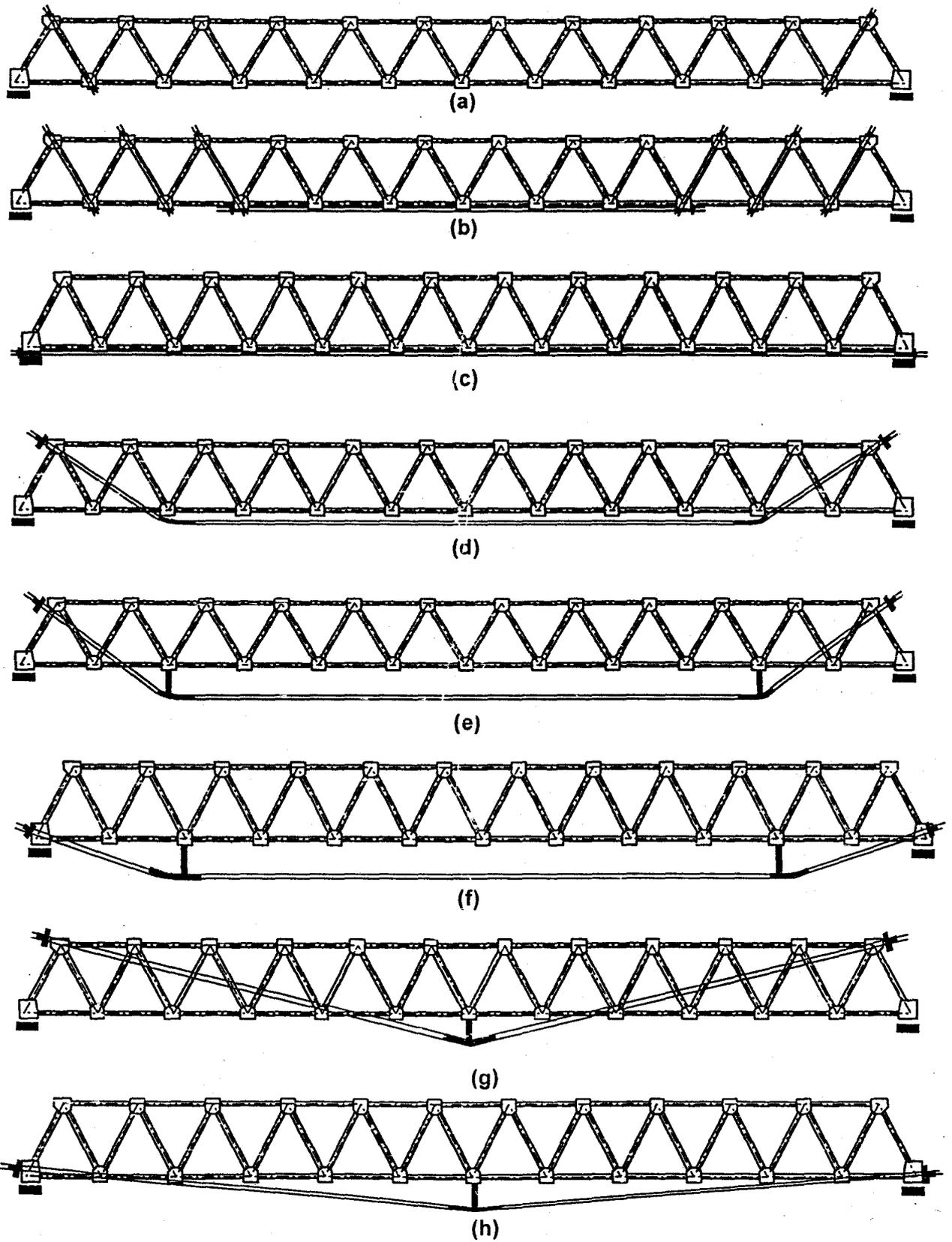
Sama seperti pada sistem prategang yang biasa dilakukan khususnya jembatan beton pratekan PE, menerapkan suatu gaya tekan yang dikombinasikan dengan momen eksentrisitas guna menambah kapasitas lentur serta memperbaiki kondisi retakan dari suatu gelagar. Penerapan sistem prategang ini dilakukan dengan pemasangan anker, tendon dan deviator pada struktur jembatan.

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.

Perkuatan dengan sistem PE dapat dilakukan pada satu batang rangka saja, (lihat Gambar 1 (a)), beberapa batang rangka (Gambar 1 (b) dan (c)), atau pada struktur rangka secara keseluruhan (Gambar 1 (d) s/d (f)).

Keputusan untuk memilih jenis metode perkuatan jembatan rangka baja harus didahului dengan suatu penilaian kondisi struktur jembatan.

Di bawah ini diperlihatkan bentuk-bentuk penempatan kabel atau batang baja (khusus untuk item a) saja) yang dapat ditempatkan pada jembatan rangka baja Australia B60.



Gambar 1 Beberapa contoh penempatan kabel atau batang baja yang mungkin pada jembatan rangka baja Australia B60

5.2 Panjang kabel di belakang angker

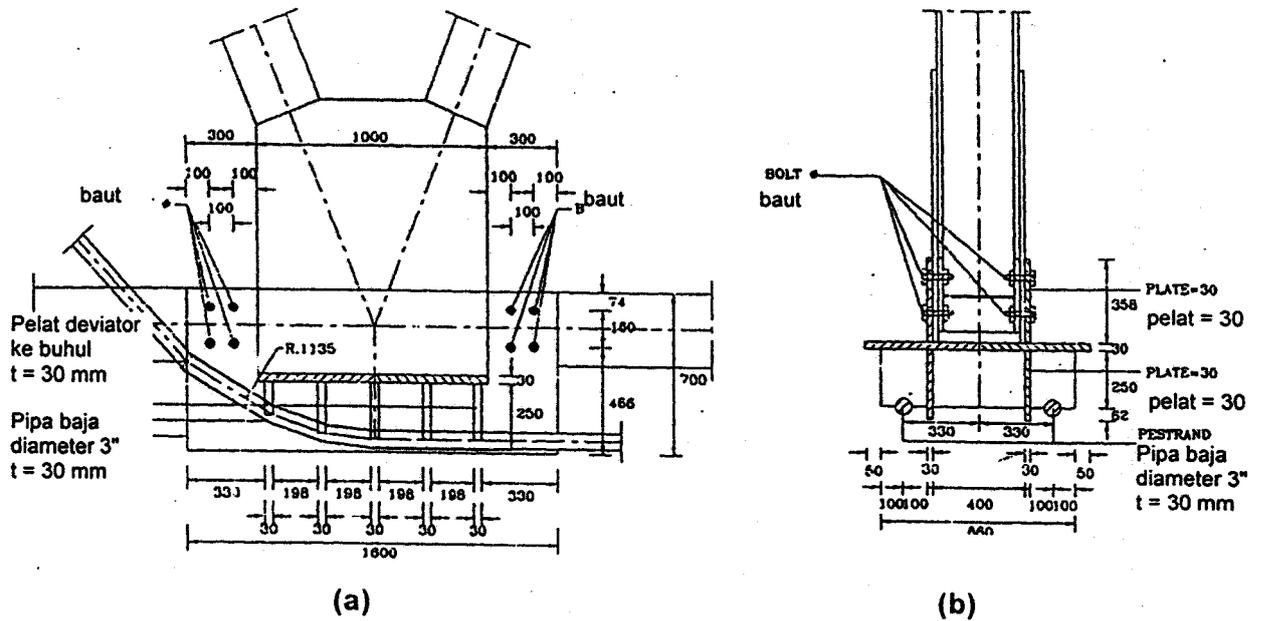
Untuk keperluan pemeliharaan, penggantian, penegangan ulang kabel, ataupun keperluan pemantauan, maka perlu direncanakan adanya kabel dengan panjang tertentu di belakang angker, minimum 50 cm. Selanjutnya kabel berlebih tersebut diberi penutup untuk menghindari korosi dan dan di dalamnya diisi dengan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

5.3 Deviator

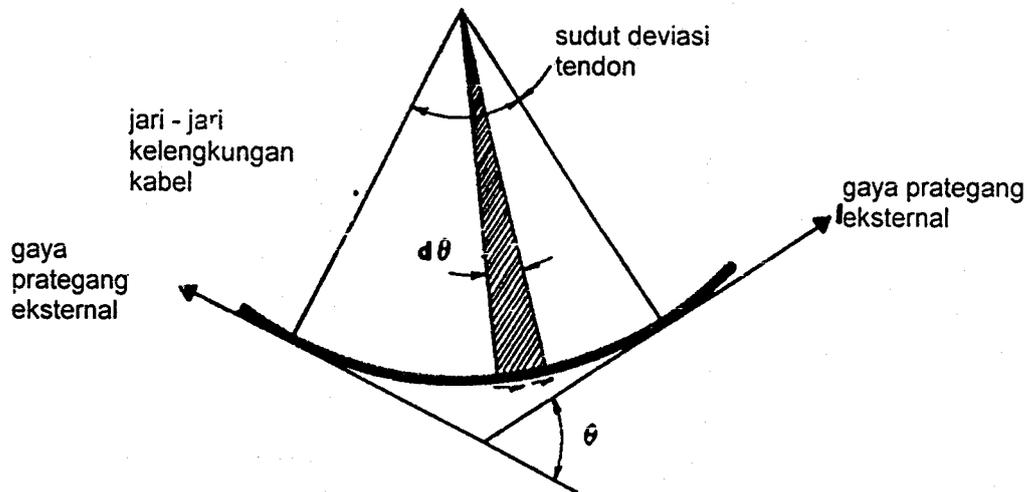
Deviator merupakan suatu unit alat bantu yang dibuat guna memudahkan pembentukan suatu profil (*layout*) kabel prategang yang sesuai dengan kebutuhan. Konstruksi deviator bisa direncanakan seperti contoh deviator dalam Gambar 3 atau bentuk lain sesuai kebutuhan dan memenuhi fungsinya.

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;
- e) harus diperhitungkan perkuatan setempat dengan menggunakan pelat-pelat pengaku pada pelat buhul dan batang rangka baja yang berdekatan dengan deviator;
- d) 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;
- e) 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;
- f) 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;
- g) jari-jari kelengkungan alinyemen tendon prategang yang berada pada deviator tidak boleh lebih kecil dari 6 jari-jari tendon, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 (a) Tampak depan, (b) tampak samping deviator



Gambar 4 Bentuk kelengkungan kabel pada deviator

5.4 Penentuan parameter perencanaan

Sebagai dasar yang akan digunakan dalam menentukan perlunya suatu perkuatan jembatan lama adalah mengetahui terlebih dahulu berapa kapasitas daya pikul yang dimiliki oleh rangka jembatan. Kapasitas rangka baja dalam memikul momen dan geser dapat dihitung berdasarkan data bahan dan dimensi struktur yang ada di lapangan.

Data yang digunakan untuk menghitung kapasitas struktur tersebut dapat diperoleh dari beberapa sumber, antara lain ;

- a) gambar pelaksanaan (*as-built drawing*);
- b) mutu bahan yang diperoleh dari pengujian;
- c) ukuran dan dimensi detail profil rangka baja dan letak baut.

5.5 Analisa perhitungan

Perencanaan perkuatan struktur ini harus ditinjau untuk batas tegangan ijin (*working stress design*) dan batas ultimit (*ultimate limit states*) dengan faktor beban dan reduksi kapasitas elemen sebagaimana yang tercantum pada Sistem Manajemen Jembatan Bagian 2 Beban Jembatan, 1992. Fluktuasi gaya prategang pada kabel pratregang PE lebih besar dibanding kabel pratregang pada beton pratregang normal akibat baja pratregang mendapat gaya tambahan akibat perpendekan dari perpanjangan kabel.

Gaya pratregang untuk sistem pratregang eksternal (PE) dibatasi sebesar 45 % terhadap gaya putus. Hal ini dimaksudkan untuk mengakomodasi fatik yang disebabkan oleh getaran struktur dan getaran kabel sendiri.

5.6 Kehilangan gaya pratregang

Dalam menghitung gaya pratregang eksternal harus dipertimbangkan adanya kehilangan gaya pratregang yang dapat dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu :

1. Terjadi seketika selama penegangan kabel. Gaya pratregang dapat hilang dengan segera akibat gesekan dan slip pada angker. Gaya pratregang yang telah direduksi akibat kehilangan awal disebut gaya pratregang awal.
2. Kehilangan akibat berjalannya waktu, terutama disebabkan oleh relaksasi. Kemudian gaya pratregang yang telah direduksi akibat relaksasi disebut gaya pratregang efektif.

5.7 Sokongan deviator

Kadang-kadang akibat kebutuhan letak tendon yang cukup jauh dari bagian rangka baja diperlukan sokongan. Karena itu perlu ada perancangan yang lebih detail pada bagian sokongan tersebut untuk menahan gaya-gaya sebagai berikut :

1. Gaya aksial yang menekan struktur sokongan.
2. Gaya mendatar yang didistribusikan ke baut-baut.

Ketinggian deviator ditentukan dari analisis respon struktur, yang mana semakin tinggi deviator akan semakin besar gaya tekan yang terjadi pada batang-batang rangka jembatan. Namun hal ini juga harus dipertimbangkan terhadap gaya-gaya rangka maupun pelat buhul apakah gaya tersebut melewati kapasitas ijin bahan baja. Selain itu juga harus dipertimbangkan jarak ruang bebas di bawah jembatan, dimana semakin tinggi deviator akan mengurangi ruang bebas dan semakin tinggi pula resiko terhadap benda hanyutan.

6. Pelaksanaan

6.1 Persiapan bahan dan peralatan

Prosedur yang harus dipersiapkan dalam pelaksanaan adalah :

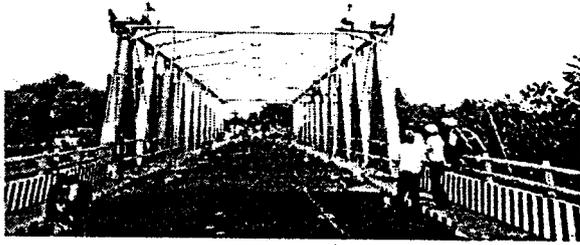
- a) persiapan pengadaan kabel prategang dan batang baja pratekan;
- b) persiapan blok angker, selongsong dan deviator secara pabrikasi;
- c) persiapan dongkrak hidrolis;
- d) persiapan peralatan-peralatan penunjang seperti generator, bor beton, gerinda tangan dan lain-lain.

6.2 Tahapan pelaksanaan

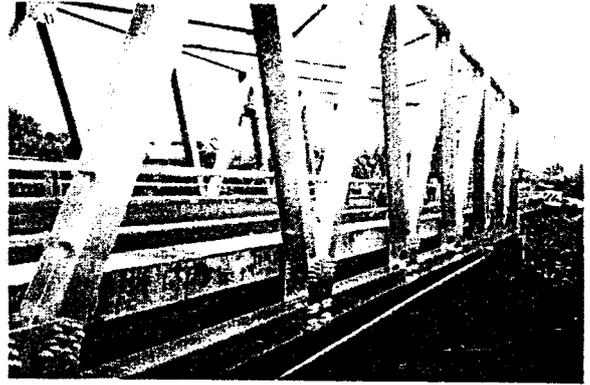
Langkah penting dalam pelaksanaan adalah :

- a) periksa kondisi lapangan, untuk mengantisipasi bahan dan peralatan penunjang apa saja yang perlu disediakan;
- b) pasang struktur angker dan deviator pada gelagar baja dengan menggunakan baut;
- c) pasang kabel prategang sampai alinyemen tendon rencana terbentuk;
- d) lakukan penegangan atau penarikan kabel secara bertahap;
- e) kontrol pengaruh penegangan pada batang baja;
- f) jika didapatkan adanya perubahan berupa retakan pada pelat lantai jembatan, hentikan penegangan, kemudian hitung dan rencana kembali sistem prategang eksternal termasuk letak dan jumlah angker dan/atau deviator;
- g) lakukan pemotongan strand di belakang angker sampai mempunyai panjang minimum 50 cm;
- h) lindungi angker dan deviator dari pengaruh korosi;
- i) tutup bagian angker dengan kotak penutup dari pelat baja kemudian masukan gemuk ke dalamnya.

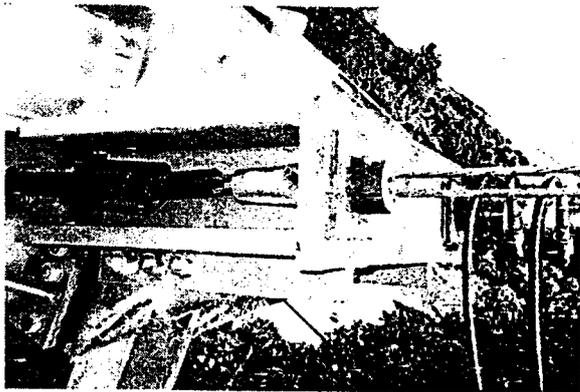
Di bawah ini dapat dilihat foto-foto pelaksanaan dan struktur angker dan deviator yang dipakai dalam penerapan metode prategang eksternal pada jembatan rangka baja Australia.



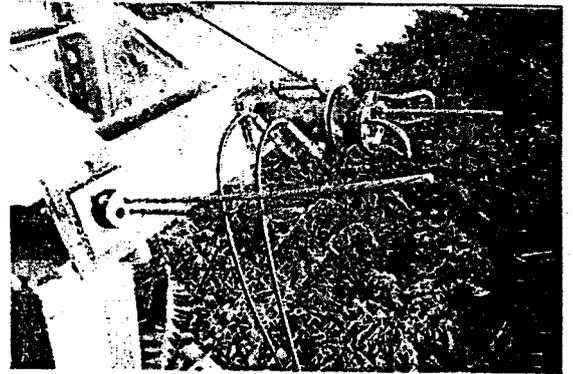
(a)



(b)



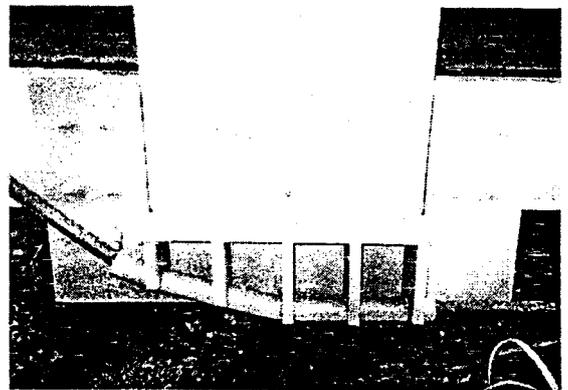
(c)



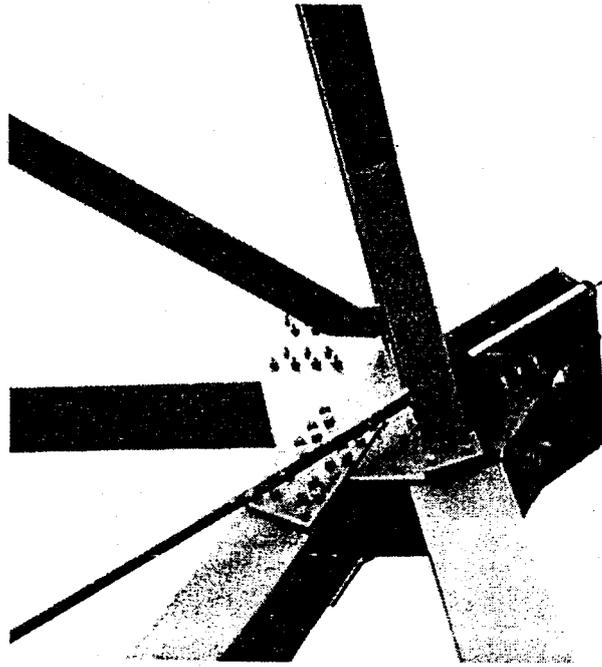
(d)



(e)



(f)



(g)

Gambar 5 Pelaksanaan metode prategang eksternal pada jembatan rangka baja Australia

- (a) Tampak depan jembatan yang telah diperkuat
- (b) Tampak samping jembatan yang telah diperkuat
- (c) & (d) Penarikan kabel pada bagian blok anker di bagian ujung atas rangka baja, terlihat penambahan lubang baut baru
- (d) & (f) Detail konstruksi deviator terlihat penambahan lubang baut baru
- (e) Detail blok anker ujung

7 Kontrol kualitas

7.1 Bahan

Bahan-bahan untuk prategang eksternal harus sesuai dengan spesifikasi pada Bagian 2. Kabel prategang dan pelat penyusun deviator dan anker blok sebaiknya diuji tarik sesuai dengan ketentuan uji tarik untuk mendapatkan beban leleh, beban ultimit dan elongasi.

7.2 Peralatan

Kontraktor wajib menyediakan semua peralatan utama dan pendukung untuk pelaksanaan prategang eksternal. Dongkrak hidrolik yang dipakai harus telah dikalibrasi dengan menunjukkan bukti sertifikat kalibrasi yang dikeluarkan oleh lembaga berwenang dan belum digunakan untuk pekerjaan lain. Dongkrak hidrolik juga harus dilengkapi dengan alat pengukur tekanan hidrolik (manometer) sehingga dapat diketahui besarnya gaya penarikan kabel. Kontraktor juga harus menyediakan peralatan cadangan untuk mengantisipasi kerusakan salah satu dongkrak.

Alat las yang digunakan harus dalam kondisi baik sehingga dapat menghasilkan arus sesuai dengan kebutuhan dan hasil penetrasi las sesuai dengan persyaratan yang tertuang dalam gambar rencana.

7.3 Pelaksanaan penarikan kabel

Setelah angker dan deviator terpasang, maka kabel prategang yang sudah dilindungi terhadap karat dengan selongsong polypropelene, dipasang pada masing-masing sisi rangka baja sesuai dengan gambar rencana. Setiap kabel diberi gaya prategang awal sebesar 50 % gaya rencana. Tahapan penarikan dimulai dari sisi terluar dilanjutkan pada kabel sisi dalam pada setiap sisi rangka. Hal ini dimaksudkan agar jembatan tidak mengalami deformasi berlebihan.

Setelah semua kabel ditarik sebesar 50 %, maka dilanjutkan sampai 100 % gaya rencana dengan urutan seperti di atas. Selama penarikan kabel perlu dilakukan kontrol terhadap :

- Gaya prategang yang dibaca melalui manometer yang terpasang pada dongkrak
- Elongasi kabel yang terjadi pada setiap penarikan untuk memeriksa apakah terjadi elongasi berlebih atau tidak
- Kontrol terhadap lendutan vertikal jembatan selama dan sesudah penarikan kabel.
- Amati perubahan pada struktur rangka baja dan juga elemen-elemen pendukungnya, seperti : baut dan perletakan.

8 Pemeliharaan

Langkah-langkah yang harus diperhatikan dalam pemeliharaan adalah :

- a) lakukan pemeriksaan rutin setiap setahun sekali;
- b) periksa tegangan-tegangan pada kabel, guna menjamin bahwa sistem masih dalam fungsinya;
- c) lindungi kabel, angker, serta deviator dari pengaruh air agar tidak terkena korosi;
- d) kabel harus diberi perlindungan terhadap korosi sepanjang umur rencananya, termasuk selama jangka waktu sebelum pemasangannya;
- e) hindarkan pengaruh kebakaran yang mungkin terjadi pada kabel/tendon;
- f) tendon atau kabel harus selalu dalam keadaan tertutup, oleh karena itu lapisan pelindung harus selalu dijaga keutuhannya;
- g) kabel di dalam selongsong harus diinjeksi dengan bahan parafin, gemuk atau semen yang akan berfungsi sebagai penghalang fisik terhadap air dan bahan pencemar lainnya;
- h) karena semen bersifat kaku, padat dan merekat erat pada kabel, sehingga menimbulkan kesulitan dalam pemeriksaan keutuhan kabel ataupun kesulitan sewaktu diperlukan penggantian kabel maka penggunaan bahan injeksi dengan semen pada perkuatan PE tidak disarankan;
- i) gunakan perlindungan korosi lain seperti lak-band, cat atau bahan pelapis yang sejenis untuk perbaikan kerusakan setempat dan menutup sambungan antara ujung selubung dengan kabel;
- j) apabila karat sudah terjadi maka kabel harus diganti dan dilakukan penegangan kembali pada tempat yang sama dengan kabel yang baru;
- k) kepala angker harus dilindungi dengan cara menutupnya dengan penutup kotak yang di dalamnya diisi gemuk;
- l) periksa kepala angker dan deviator dari bahaya karat, dan jika sudah terjadi lakukan perbaikan dengan cara perkuatan.

Bibliografi

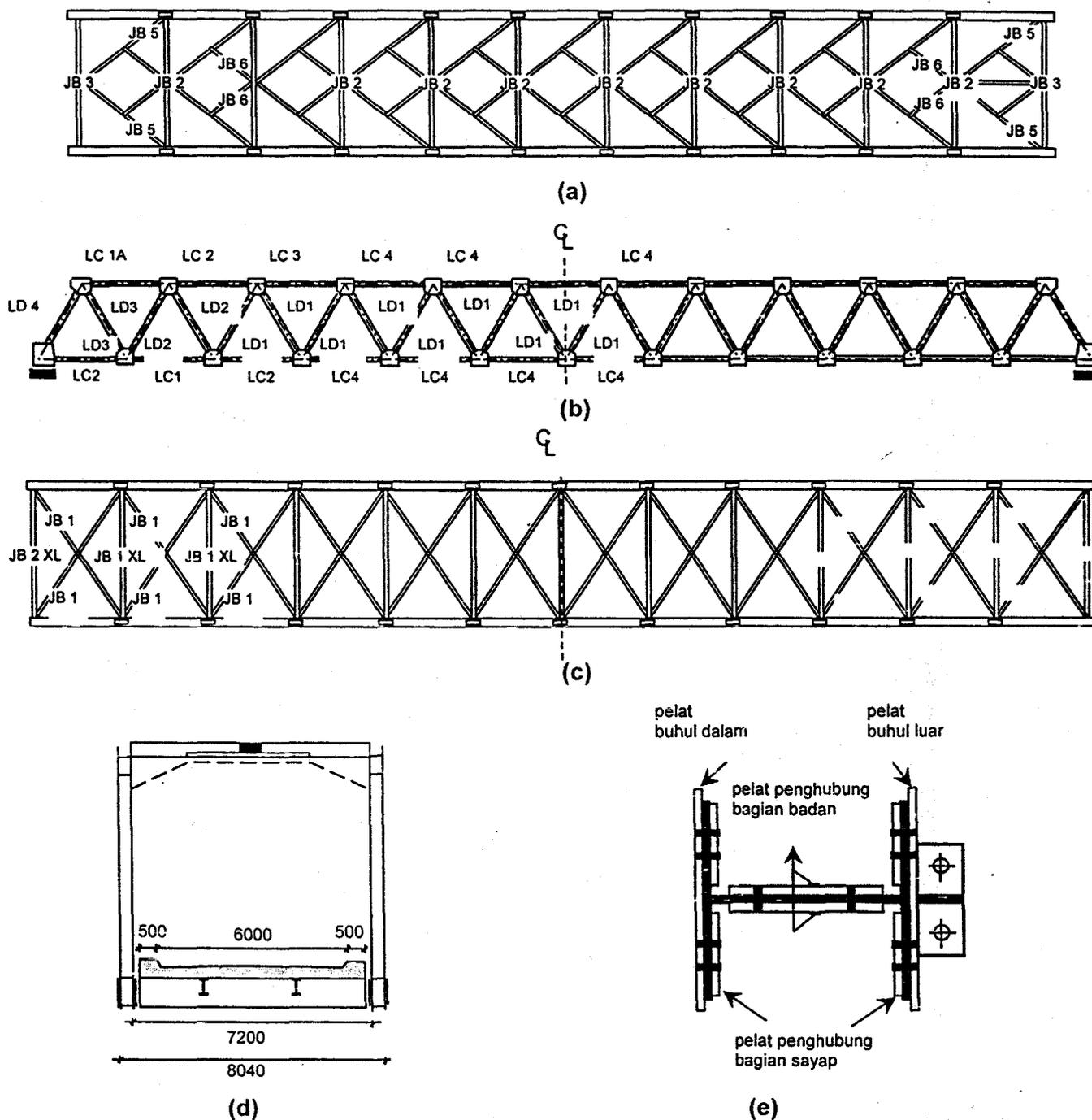
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Program, Sistem Manajemen Jembatan Bagian 2 Beban Jembatan, 1992
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Program, Sistem Manajemen Jembatan Bagian 7 Struktur Baja, 1992
- Pusat Litbang Teknologi Prasarana Jalan, Badan Litbang Departemen Kimbangwil, Brosur Perkuatan Jembatan dengan Metode Prategang Eksternal ,1999
- Wardhana, P.K dan tim, Aplikasi Metode Perkuatan Rangka Baja Australia, Laporan Penelitian Puslitbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen KimPrasWil, 2001
- Witarnawan, W. dan tim, Penentuan Perkuatan Jembatan Callender Hamilton, Laporan Pengembangan Puslitbang Teknologi Prasarana Jalan, Badan Litbang Departemen KimBangWil, 2000
- Witarnawan, W. dan tim, Pengembangan Metode Perkuatan Jembatan Rangka Baja Tipe Callender Hamilton, Laporan Penelitian Puslitbang Jalan, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 1999
- Troistsky, M.S., Prestressed Steel Bridges Theory and Design, Van Nostrand Reinhold Company, 1990,
- Transfield – MBK, Standar Steel Bridging For Indonesia Permanent Standard Truss Spans 35 to 60 m – A, B and C – Class , Manual for Assembly and Erection of Steel Spans Volume 2 for Directorate General of Highways Ministry of Public Works Republic of Indonesia, Sydney, Australia, 1984
- Daly, A.F. , dan Witarnawan, W. , A Method for Increasing The Capacity of Short and Medium Span Bridges
[www. transport-links.org/transport_links/filearea/ publications /1_452_PA3575%20.PDF](http://www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_452_PA3575%20.PDF)

Lampiran A (Informatif) Bentuk jembatan rangka baja Australia B60

Jembatan rangka baja Australia kelas B mempunyai spesifikasi :

- Terdiri dari 2 lajur
- Lebar jalur kendaraan 6.0 meter
- Tempat untuk berjalan kaki (trotoar) selebar 0.5 meter pada setiap sisi.

Bentuk tampak depan dan samping jembatan rangka baja Australia dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

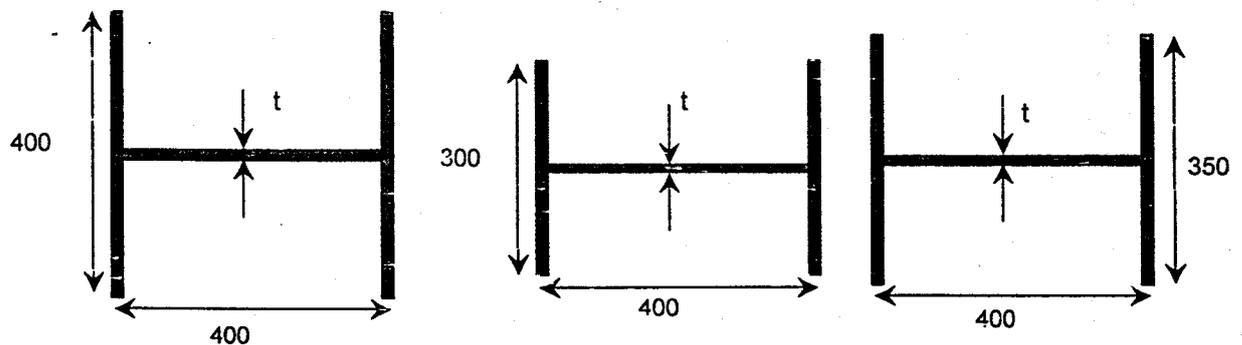


Gambar A.1 (a),(c) Tampak atas dan bawah, (b) tampak samping, (d) tampak depan (e) bentuk pemasangan profil jembatan rangka baja Australia B60

Dimensi masing-masing komponen dalam jembatan rangka baja Australia B60 adalah sebagai mana yang diperlihatkan pada Gambar B.2 berikut :

MARK	DETAILS		
	T mm	t mm	LENGTH mm
CHORDS			
LC 1	12	12	4860
LC 1A	12	12	4690
LC 2	16	12	4860
LC 2A	16	12	4690
LC 3	20	12	4860
LC 4	28	12	4860
LC 5	32	12	4860
LC 6	36	12	4860
DIAGONALS			
LD 1	10	10	5804
LD 2	12	12	5804
LD 3	16	12	5804
LD 4 end	36	12	6420
CROSS-GIRDER			
JX 1L	760 UB 148		7200
JX 2L end	760 UB 148		7160
BRACING			
JB 1	102 x 102 x 6L		8490
JB 2	250 UB 31		7140
JB 3 end	460 UB 67		7168
JB 4 end	410 UB 54		7172
JB 5	152 x 102 x 10L		5930
JB 6	89 x 89 x 6.5 L		2940
JB 7	127 x 127 x 8L		4845

MARK	DESCRIPTION mm		
	HEIGHT	WIDTH	THICKNESS
GUSSET PLATES			
LG 1	918	848	16
LG 2R	918	848	16
LG 2L	918	848	16
LG 3	1060	870	16
LG 4	948	1130	16
SPLICE PLATES			
LS 1	180	848	20
LS 2	180	848	14
LS 3	240	648	12
LS 4	180	832	20
LS 5	180	832	14
LS 6	240	632	12
LS 7	180	350	4



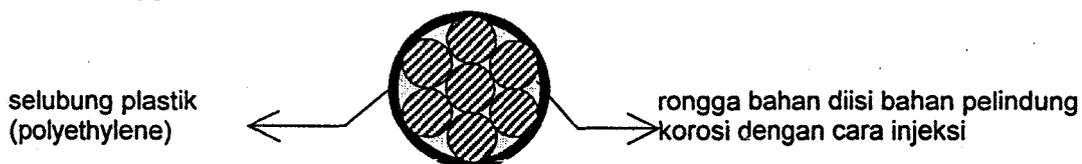
Gambar A.2 Dimensi komponen jembatan rangka baja Australia Kelas B60

Lampiran B (informatif)

Kabel prategang, batang baja pratekan dan selubung kabel

Seperti telah disinggung di muka, pemberian tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan kabel prategang, baik yang berupa strand tunggal maupun gabungan. Setiap strand yang digunakan dalam PE harus dilindungi terhadap bahaya korosi dengan cara memasukkannya ke dalam selubung *polyethylene* yang diisi dengan bahan pelindung korosi. (lihat Gambar B.1). Karakteristik dari strand dapat dilihat pada Tabel B.1 dan B.2.

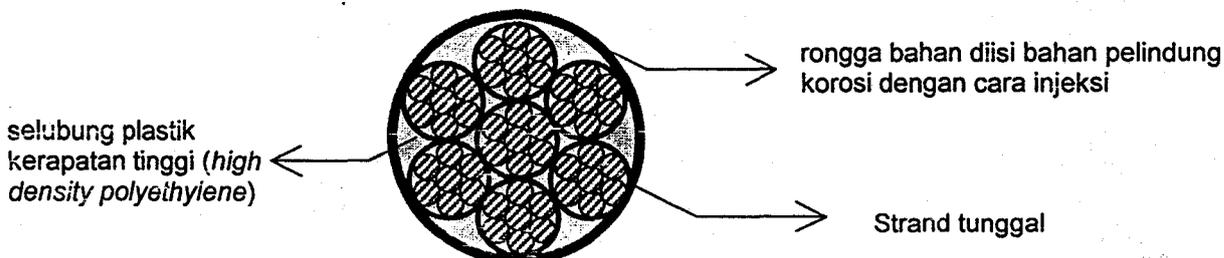
B.1 Strand tunggal



Gambar B.1 Strand tunggal dengan selubung proteksi korosi

B.2 Strand gabungan

Pada tendon yang terdiri dari beberapa strand, setiap strand tidak perlu dilindungi terhadap bahaya korosi sebagaimana pada strand tunggal. Sebagai gantinya strand-strand tersebut dapat dilindungi dengan galvanisasi atau dengan memasukkannya kedalam selubung untuk kemudian diisi dengan bahan pelindung korosi. (lihat Gambar B.2)



Gambar B.2 Strand gabungan dengan selubung proteksi korosi

Tabel B.1 Karakteristik Strand

TIPE STRAND	ASTM GRADE 270	
	13 mm (0,5")	15 mm (0,6")
diameter (mm)	12,7	-
luas nominal (mm ²)	98,7	140
berat nominal (kg/m)	0,775	1,1
tegangan leleh (MPa)	1670	1670
tegangan tarik putus (MPa)	1860	1860
batas leleh (kN)	183,7	260,7
modulus (GPa)	sekitar 195	sekitar 195
Relaksasi (%)	maksimum 2,5	Maksimum 2,5

Catatan : Tegangan ijin 45 % dari tegangan leleh

B.3 Batang baja

Batang baja biasanya digunakan apabila panjang struktur yang akan ditegangkan relatif pendek dan akan dipasang lurus. Batang baja ini tersedia dalam berbagai ukuran, mulai, dari diameter 15 mm sampai dengan 75 mm, dengan panjang sampai 18 meter. Karakteristik batang baja kuat tarik tinggi dapat dilihat pada Tabel C.2.

Tabel B.2 Karakteristik batang baja kuat tarik tinggi

Diameter Batang nominal	Jarak ulir (mm)	Diameter utama Dari ulir (mm)	Berat per meter (kg)	Beban putus ultimit minimal (Mpa)	
				Regular grade	Super grade
15	2	16,50	1,58	-	190
19	2	20,32	2,47	-	305
*23	2	24,00	3,55	430	450
26	2	27,13	4,49	545	570
*29	2	30,02	5,55	680	710
*32	3	33,73	6,71	830	870
35	3	36,57	7,99	990	1040
*38	3	39,63	9,38	1175	1230

* diameter batang yang lazim digunakan

Selain dari batang baja kuat tarik diatas tersedia juga batang baja tahan karat dengan panjang sampai 18 meter, namun dengan biaya 5 sampai 6 kali lebih mahal. Sementara itu baja yang digalvanisasi tidak direkomendasikan untuk digunakan, mengingat masalah peregasan karena hidrogen.

Untuk keperluan pelat penahan anker, cincin dan mur dapat dilihat dalam Tabel C.3

Tabel B.3 Pelat penahan anker, mur, cincin dan baut

Diameter batang nominal	Dimensi pelat anker			Diameter luar dari kepala	Diameter dalam dari selubung	Diameter lubang	Berat pelat	Dimensi mur				Cincin	
								pelat melintang	Tinggi Standar	Tinggi kunci	Berat mur	Cincin rata dia. luar t = 5 mm	Cincin pegas t = 5 mm
	mm	mm	m	mm	mm	mm	kg	kg	kg	kg	kg	mm	mm
	A	B	C	D	E	G		H	I	J	K		
15	75	75	25	35	36	20	1,20	28	22	20	0,12	41	40
19	100	100	32	35	36	24	2,40	32	25	20	0,15	41	45
23	130	130	38	38	39	27	4,25	38	33	20	0,20	51	45
26	130	130	38	38	39	30	4,25	42	38	20	0,25	57	50
29	150	130	38	38	39	33	6,12	47	43	20	0,37	64	56
32	150	130	50	43,5	45	35	7,81	52	48	25	0,52	70	64
35	150	150	50	43,5	45	38	9,01	56	53	25	0,60	76	70
38	180	150	50	48	50	44	10,81	64	58	25	0,93	83	75

B.4 Selubung kabel

Selubung kabel terbuat dari plastik berbahan *polyethylene* atau *polypropylene*, yang berguna untuk melindungi kabel terhadap korosi sehingga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a) kuat menahan kerusakan yang mungkin terjadi selama fabrikasi, transportasi, pemasangan dan penegangan;
- b) kedap terhadap air pada keseluruhan panjang tendon;
- c) mempunyai kestabilan kimiawi untuk tahan terhadap peregangan atau pelunakan di dalam suatu rentang temperatur dan pengaruh lingkungan selama umur dari sistem perkuatan;
- d) tidak bersifat reaktif terhadap baja, beton, bahan injeksi atau bahan pengisi celah;
- e) untuk lingkungan yang korosif, maka ketebalan selongsong minimal 1 mm;
- f) diameter dalam harus 2,5 mm atau lebih besar dari dimensi strand maksimum.

Lampiran C (Informatif)

Latar belakang dan parameter pemilihan jenis perkuatan

C.1 Latar belakang kebutuhan akan perkuatan

Latar belakang kebutuhan akan perkuatan adalah :

1. Pertumbuhan yang cepat dalam volume dan beban kendaraan yang menyebabkan harus dilakukan usaha untuk peningkatan kapasitas pemikulan dan daya layan
2. Penurunan kinerja/ *deterioration* atau kerusakan yang mana mengganggu perilaku struktur jembatan itu.

C.2 Parameter pemilihan jenis perkuatan

Parameter yang menentukan penerapan suatu prategang eksternal adalah

1. Kesesuaian antara besarnya peningkatan kapasitas, daya layan jembatan eksisting yang diharapkan dengan biaya yang harus dikeluarkan termasuk biaya pemeliharannya
2. Umur rencana yang diharapkan pada jembatan
3. Ketahanan komponen jembatan yang direhabilitasi dan kemudahan untuk diinspeksi dimonitor, diganti dan kemungkinan untuk ditingkatkan lebih jauh di kemudian hari.
4. Gangguan pada lalu-lintas dan penampakan jembatan yang akan timbul setelah diperkuat

Lampiran D
(Normatif)

Rangkuman penerapan prategang eksternal



**Lampiran E
(Informatif)**

Daftar nama dan lembaga

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kimpraswil

2) Penyusun

Nama	Lembaga
Ir. Setyo Hardono, MT.	Pusat Litbang Prasarana Transportasi
Redrik Irawan, ST, MT.	Pusat Litbang Prasarana Transportasi