

PENGARUH PERKUATAN LENTUR DENGAN PELAT BAJA TERHADAP PERILAKU BALOK-T JEMBATAN

Made Sukrawa¹ dan L.G. Wahyu Widyarini²

Abstrak: Beberapa penelitian tentang penambahan perkuatan eksternal dari pelat baja pada balok beton bertulang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas dari penambahan pelat baja eksternal sebagai perkuatan lentur pada balok-T beton bertulang untuk jembatan.

Sebanyak tiga buah balok-T standar Bina Marga dibuat dalam skala 1: 4, dimana satu buah balok digunakan sebagai kontrol sedangkan dua balok lainnya diperkuat dengan pelat baja. Balok T dengan lebar badan 112,5 mm, tinggi 262,5 mm, dan panjang 3750 mm, diperkuat pelat baja dengan dimensi 98,4x2400x1,4 mm. Pembebanan dilakukan dengan mengerjakan dua buah beban terpusat sejarak 1 m ditengah bentang balok, yang menirukan beban roda truk menurut BMS 1992. Parameter yang diukur dalam pengujian ini adalah lendutan, beban retak pertama dan lebar retak. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan hasil analisa.

Balok-T standar Bina Marga bentang 15 m masih cukup kuat bila dibebani sebesar beban batas menurut BMS 1992. Hal ini terlihat dari lendutan yang terjadi pada balok kontrol lebih kecil dari lendutan ijin pada saat dibebani sebesar beban layan dengan faktor kejut (DLA) sebesar 0,3. Prosentase perbandingan lendutan balok dengan lendutan ijin adalah sebesar 87,5%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan pelat perkuatan dapat meningkatkan kekakuan balok. Lendutan yang terjadi pada balok perkuatan (B1 dan B2) lebih kecil 71% dari lendutan balok kontrol (BK) untuk pembebanan 16,25 kN, lebih kecil 56,9% untuk pembebanan 32,5 kN dan lebih kecil 36,04% untuk pembebanan 65 kN. Pada pembebanan ultimit, lendutan balok perkuatan (B1) lebih kecil 45,6% dari lendutan balok kontrol (BK). Beban retak pertama hasil eksperimen pada balok dengan perkuatan (B1 dan B2) lebih besar 65,4% dari balok kontrol (BK). Pola kegagalan yang terjadi pada balok dengan dan tanpa perkuatan adalah kegagalan geser yang disebabkan oleh perbedaan mutu baja antara model dengan prototipe.

Kata kunci: balok-T, perkuatan lentur, pelat baja, lendutan, lebar retak, beban retak pertama.

INFLUENCE OF FLEXURAL STRENGTHENING WITH STEEL PLATE TO THE BEHAVIOR OF T-BEAM BRIDGE

Abstract : Some research about reinforced concrete beams strengthened by external steel plate have been conducted previously. This research is done to obtain the effectiveness of addition of external steel plate as flexural strengthening on T-reinforced concrete beam of bridge.

Three T-beams were made according to Bina Marga Standard in scale of 1: 4, where one beam was used as a control beam while two other beams were externally strengthened by steel plate. T-beams with dimension of 112,5 mm wide, 262,5 mm high and 3750 mm long, were strengthened by steel plate with dimension of 98,4 mm wide, 2400 mm long and 1,4 mm thick. The loads were applied by doing two concentrated loads 1 m apart in the middle of beam, representing the application of truck wheel load according to BMS 1992. Parameter which was measured in this

¹ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

² Alumnus dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

research were deflection, crack width and initial crack width. Result of examination was then compared to result of analysis.

The 15 m long of T-beam of Bina Marga Standard still strong enough when resisting load equal to ultimate load according to BMS 1992. This condition showed by the deflection of control beam was smaller than its allowed deflection at service load with dynamic load factor (DLA) of 0,3. Percent ratio of beam deflection and allowed deflection was 87,5%. Result of this research indicated that the addition of strengthening plate improve the stiffness of the beams. Deflection on strengthened beams (B1 and of B2) were 71% smaller than that of control beam (BK) for 16,25 kN loading, was 56,9% smaller for 32,5 kN loading and 36,04% smaller for 65 kN loading. At ultimate load, the deflection of strengthened beam (B1) was 45,6% smaller than that of control beam. The initial crack width of strengthened beams was 65,4% smaller than that of control beam. The failure of beams with or without strengthening was shear failure which caused by quality difference between model with prototype.

Keywords: T-beam, flexural strengthening, steel plate, deflection, crack width, initial crack load.

PENDAHULUAN

Balok-T merupakan balok jembatan yang umum dipakai untuk jembatan dengan panjang bentang 5 m sampai dengan 25 m. Untuk itu Departemen Pekerjaan Umum, khususnya Direktorat Jenderal Bina Marga mempunyai standar konstruksi untuk jembatan Balok-T.

Meningkatnya beban lalu lintas, berubahnya fungsi, bertambahnya umur suatu jembatan dan korosi menyebabkan penurunan kekuatan dari balok. Untuk itu kekuatan dari suatu jembatan perlu ditingkatkan. Perkuatan balok beton bertulang tidak dapat dilakukan dengan penambahan tulangan internal, tetapi dapat dilakukan dengan penambahan tulangan eksternal berupa penempelan pelat baja atau bahan komposit lain seperti *Fiber Reinforced Plastic* (FRP). Perkuatan yang dilakukan dengan menempelkan bahan ini pada permukaan beton dengan bantuan lem epoxy sudah dilakukan di berbagai negara di dunia. Perkuatan dilakukan pada daerah tarik balok yaitu pada serat bawah. Metode perkuatan ini dianggap lebih menguntungkan dibandingkan dengan melakukan penggantian jembatan karena selain lebih murah juga tidak mengganggu lalu lintas yang melalui jembatan tersebut.

Penelitian intensif oleh Swamy dkk. (1987) telah membuktikan bahwa metode perkuatan di atas terbukti efektif meningkatkan kuat lentur dan mengurangi lendutan balok beton bertulang secara signifikan dalam batas-batas tertentu. Batasan dimana perkuatan lentur bekerja dengan baik antara lain: balok bertulangan lemah (*under-reinforced*), tidak terjadi keruntuhan geser, tebal lapisan perkuatan terbatas dan terjadi aksi komposit yang sempurna antara lapisan perkuatan, lem dan permukaan beton.

Hampir semua penelitian yang telah dilakukan menggunakan balok persegi yang bukan merupakan bagian dari suatu struktur sebagai benda uji. Berdasarkan hasil penelitian, Ziraba dkk. (1994) mengusulkan suatu tata cara (*guidelines*) yang dapat digunakan untuk merencanakan pelat baja sebagai perkuatan lentur eksternal pada balok beton bertulang dengan penampang persegi.

Hasil penelitian di atas dapat dikembangkan untuk memperkuat jembatan tipe balok-T, dimana dengan memanfaatkan pelat lantai kendaraan sebagai bagian tekan balok maka akan terjadi penambahan efektivitas lapis perkuatan sebagai tulangan luar. Oleh karena itu maka dipandang perlu untuk melakukan penelitian guna mengetahui pengaruh dari

metode perkuatan ini dalam meningkatkan kekuatan lentur dan mengurangi lendutan yang terjadi pada balok-T jembatan. Untuk penelitian ini dipilih pelat baja sebagai perkuatan lentur. Pemilihan pelat baja sebagai bahan perkuatan didasari atas beberapa kelebihan seperti mudah diperoleh, dapat disambung untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas dari penambahan pelat baja eksternal sebagai perkuatan lentur pada balok-T beton bertulang untuk jembatan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai salah satu metode perkuatan balok jembatan di lapangan.

MATERI DAN METODE

Materi

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland type I, pasir dan kerikil dari Karangasem, baja tulangan dan pelat dengan $f_y = 235,3$ MPa. Target nilai kuat tekan beton yang disyaratkan adalah sebesar 18,31 MPa. Ukuran agregat maksimum yang digunakan untuk prototipe beton adalah 40 mm, sedangkan untuk beton mikro ukuran maksimum agregat menjadi 10 mm untuk skala 1:4. Hanya agregat maksimum yang diskala untuk menghasilkan rencana campuran dari beton mikro karena pemakaian pasir yang terlalu halus memerlukan proporsi penggunaan air yang berlebihan. Beton model direncanakan memiliki nilai slump antara 75 hingga 150 mm. Dengan ukuran agregat maksimum 10 mm, air yang diperlukan untuk campuran kira-kira 226 kg/m^3 beton. Untuk dapat meraih kuat tekan sebesar 18,31 MPa (225 kg/cm^2), rasio air-semen maksimum adalah 0,6 seperti yang diberikan oleh Tabel 7.6 dalam Tjokrodimuljo (1996). Dengan menggunakan agregat halus yang memiliki modulus kehalusan 2,70 volume agregat kasar yang disyaratkan per unit volume beton adalah $0,43 \text{ m}^3$ seperti yang diperlihatkan pada Tabel 7.10 dalam

Tjokrodimuljo (1996). Berat tiap-tiap bahan campuran beton untuk satu meter kubik beton adalah 226 kg air, 377 kg semen, 897 kg agregat halus, dan 688 kg agregat kasar, atau dengan perbandingan 0,6 : 1 : 2,33 : 1,82.

Metode

Perencanaan Model Balok-T

Model jembatan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada salah satu jembatan standar Bina Marga dengan panjang bentang teoritis 15 m. Pembuatan model dilakukan dengan menggunakan skala panjang 1:4, dimana ukuran model diperoleh dengan membagi ukuran panjang prototipe dengan empat. Dengan demikian diperoleh balok-T dengan ukuran panjang 3750 mm, jarak antar balok 425 mm, lebar balok 112,5 mm, tebal sayap 50 mm dan tinggi total balok 262,5 mm.

Dari hasil perencanaan pelat perkuatan diperoleh luas pelat perkuatan (A_p) pada balok-T model adalah $134,9 \text{ mm}^2$ (tebal 1,4 mm dan lebar 96,4 mm), tetapi pada saat pemasangan digunakan pelat baja dengan tebal 1,4 mm, lebar 98,4 mm dan panjang 2400 mm sebagai perkuatan lentur pada balok-T model. Ketebalan lem yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1,5 mm. Karena balok-T dalam penelitian ini merupakan model skala kecil dari jembatan balok-T standar Bina Marga panjang 15 m, maka penempelan perkuatan pelat baja pada model balok-T ini disesuaikan dengan kondisi sebenarnya yang akan ditemui saat memperkuat jembatan prototipe.

Pembuatan Benda Uji

Silinder beton yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton mempunyai diameter 75 mm dan tinggi 150 mm. Semakin kecil dimensi silinder, maka kekuatan yang dihasilkan akan semakin besar. Kekuatan tekan silinder ini adalah 108% lebih tinggi dibandingkan dengan silinder beton

standar (Mehta and Monteiro, 1993). Jumlah spesimen yang akan diuji terdiri dari tiga buah balok-T yang masing-masing diberi perlakuan yang berbeda. Balok pertama adalah balok-T beton

bertulang tanpa perkuatan yang digunakan sebagai balok kontrol, sedangkan dua buah balok lainnya diberikan perkuatan berupa pelat baja yang direkatkan dengan lem epoxy.

Tabel 1. Sifat-sifat Prototipe dan Skala 1:4 Model Jembatan

Komponen		Prototipe	Ter-skala	Model	Rasio
1	Dimensi balok				
	Lebar sayap (mm)	1700	425	425	1
	Tebal sayap (mm)	200	50	50	1
	Lebar badan (mm)	450	112,5	112,5	1
	Tinggi badan (mm)	850	212,5	212,5	1
	Bentang (mm)	15000	3750	3750	1
2	Tulangan				
	Tarik	22 Ø 1"		6 Ø 10,6	1
	Kapasitas Momen (Nmm)	2357121224	36830019	36830061,6	
	Tekan	4 Ø 1"		3 Ø 6,4	1,01
	Gaya (N)	486480	30405	30883	
	Sengkang	Ø3/8"-200		Ø 3,5-140	1
	Kapasitas Geser (N)	153680,97	9605,06	9560,43	
	Geser/miring	3 Ø 1"-750		2 Ø 6-144	1
	Kapasitas Geser (N)	437110,43	27319,4	27311,33	

Catatan: perhitungan momen dan gaya pada tabel diatas menggunakan $f_y = 320$ MPa.

Perawatan Benda Uji

Perawatan terhadap beton silinder dan balok-T model dilakukan dengan penggenangan air di dalam ruangan. Untuk tujuan ini tepi atas dari balok model ditebalkan sekitar 50 mm untuk menahan air yang menggenang. Penggenangan dilakukan selama 28 hari, sampai dengan pelepasan bekisting pada saat balok model siap untuk diuji.

Pengujian

Pembebanan dilakukan dengan mengerjakan dua buah beban terpusat sejarak 1 m ditengah bentang balok, yang merupakan aplikasi dari beban roda truk menurut BMS 1992 yang telah diskala. Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah beban, lendutan dan lebar retak. Lendutan yang terjadi di bawah beban atau di tengah bentang pada balok dengan perkuatan pelat baja pada setiap tahap pembebanan dicatat, kemudian digambarkan dalam grafik hubungan antara beban dengan lendutan. Disamping itu juga

diamati keadaan permukaan balok, terutama timbulnya retak pada balok. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan hasil analisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada penelitian ini menggunakan benda uji silinder dengan diameter 75 mm dan tinggi 150 mm dan dilakukan ketika beton berumur 28 hari. Kuat tekan beton rata-rata yang didapat dari hasil pengujian silinder ini sebesar 23,66 MPa. Sedangkan dari hasil pengujian kuat tarik belah diperoleh nilai kuat tarik rata-rata beton sebesar 2,18 MPa.

Pengujian Baja Tulangan dan Baja Pelat

Pengujian ini dilakukan karena baja tulangan yang digunakan tidak memiliki sertifikasi dari pabrik, yang menyatakan

nilai tegangan lelehnya. Benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat tarik ini adalah baja diameter 10,6 mm, dengan panjang benda uji 150 mm. Pada bagian tengah baja tulangan sepanjang 80 mm, diameter tulangan dikurangi menjadi 8 mm. Hal ini dilakukan agar penyebaran tegangan pada benda uji merata. Dari hasil pengujian diketahui tegangan leleh baja tulangan (f_y) adalah sebesar 37,32 Kg/mm² (366 MPa), tegangan ultimit bahan sebesar 53,24 Kg/mm² (522,12 MPa), dan tegangan putus bahan sebesar 38,88 Kg/mm² (381,3 MPa). Nilai tegangan leleh baja inilah yang digunakan dalam perencanaan penulangan balok.

Pelat baja yang digunakan dalam pengujian kuat tarik ini adalah baja dengan tebal 1,4 mm, panjang 200 mm. Bagian tengah pelat yang akan diuji sepanjang 100 mm, lebar pelat dibuat lebih kecil dari lebar pelat bagian pinggir. Lebar pelat ditengah adalah 23 mm, sedangkan lebar pelat pinggir adalah 40 mm. Dari hasil pengujian didapat tegangan leleh pelat baja (f_y) sebesar 23,91 Kg/mm² (234,49 MPa), dan nilai tegangan ultimit bahan sebesar 31,52 Kg/mm². Nilai tegangan leleh baja inilah yang digunakan dalam perencanaan pelat perkuatan.

Pola Kegagalan Balok

Hasil pengujian menunjukkan bahwa keruntuhan yang terjadi pada balok kontrol dan balok dengan perkuatan pelat baja adalah keruntuhan geser. Retak lentur terutama terjadi pada lokasi di bawah beban terpusat. Dalam keadaan runtuh lentur, beberapa retak halus arah vertikal terjadi di daerah tengah bentang. Dengan bertambahnya beban, retak-retak lentur yang terjadi ditengah bentang akan

bertambah dan retak awal yang sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang. Hal ini terjadi bersamaan dengan semakin besarnya lendutan yang terjadi ditengah bentang. Sedangkan pada daerah diluar beban terpusat sampai dengan perletakan terjadi retak geser lentur. Seiring dengan meningkatnya beban, maka mulai terbentuk retak miring (diagonal) yang merupakan kelanjutan dari retak lentur yang terjadi. Pada balok dengan perkuatan, retak miring terjadi pada daerah ujung pelat perkuatan terutama pada jarak 1 m sampai 1,25 m dari ujung balok. Penambahan beban menyebabkan retak miring ini bertambah lebar. Bertambahnya lebar retak miring ini mengakibatkan hancurnya beton pada daerah tarik. Retak ini mengakibatkan terlepasnya ujung pelat perkuatan sepanjang 20 cm.

Hubungan Beban dengan Lebar Retak

Lebar retak balok dicatat pada pembebanan 32,5 kN, 35 kN, 48,75 kN, dan 65 kN. Hubungan beban dan lebar retak untuk balok kontrol (BK) dan balok dengan perkuatan (B1 dan B2) dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa perbedaan lebar retak mulai terjadi saat pembebanan 35 kN dan 48,75 kN, dimana lebar retak yang terjadi pada balok B1 dan B2 adalah 50% lebih kecil dibandingkan dengan lebar retak pada balok kontrol (BK). Pada pembebanan sebesar 65 kN, lebar retak pada balok kontrol (BK) hampir lima kali lebih besar dari balok B1 dan B2. Dengan penambahan perkuatan pelat baja, lebar retak lentur yang terjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan karena retak yang terjadi pada balok ditahan oleh pelat perkuatan.

Tabel 2. Hubungan Beban dengan Lebar Retak

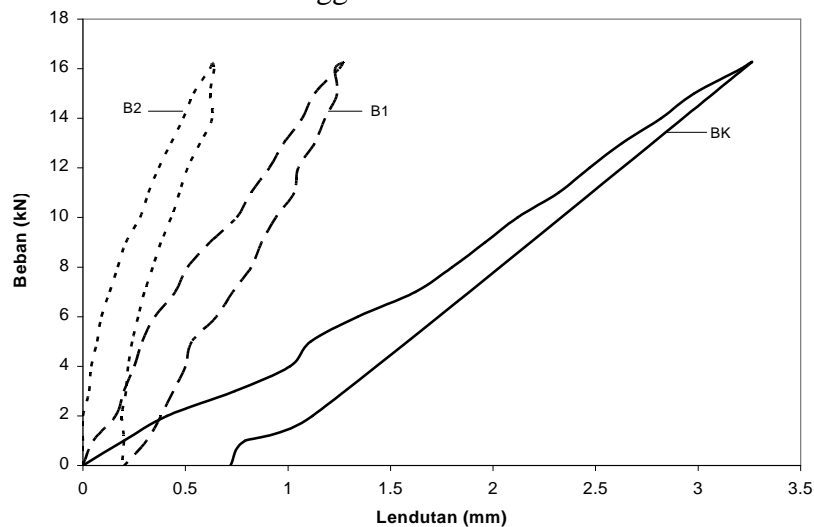
Beban (kN)	Lebar Retak (mm)		
	Balok Kontrol (BK)	Balok Perkuatan (B1)	Balok Perkuatan(B2)
32,5	0.1	0.1	0.1
35	0.5	0.1	0.1
48,75	1	0.2	0.2
65	1.2	0.25	0.25

Beban Retak Pertama (P_{cr})

Beban yang menyebabkan terjadinya retak pertama pada masing-masing balok adalah berbeda-beda. Retak terjadi karena kemampuan beton untuk menahan gaya tarik pada daerah tarik terlampaui. Seluruh gaya tarik selanjutnya ditahan oleh baja tulangan. Dari hasil analisa besarnya beban retak pertama pada balok kontrol adalah 16,29 kN, sedangkan dari hasil eksperimen sebesar 13 kN. Dari pengujian balok dengan perkuatan (B1 dan B2), retak pertama terjadi pada pembebanan 2,6 kali beban truk. Hasil analisa menunjukkan besarnya beban retak pertama untuk balok B1 dan B2 adalah 17,1 kN, sedangkan dari hasil eksperimen besarnya 20 kN dan 23 kN masing-masing untuk balok B1 dan B2. Dari hasil eksperimen beban retak pertama balok B1 dan B2 lebih besar 65,4% dari balok kontrol (BK).

Hubungan Beban dengan Lendutan

Besarnya lendutan dicatat setiap peningkatan beban 1 kN hingga balok



Gambar 1. Grafik hubungan beban-lendutan di tengah bentang pada balok untuk pembebanan sebesar 16,25 kN

Pembebanan sebesar 32,5 kN

Pada saat pembebanan sebesar 32,5 kN, lendutan yang terjadi di tengah bentang pada balok kontrol (BK) lebih besar dari lendutan balok dengan perkuatan B1 dan B2, seperti terlihat pada Gambar 2. Besarnya lendutan yang terjadi pada balok kontrol (BK) sebesar 9,48 mm,

mengalami kegagalan yang ditunjukkan dengan terjadinya retak di sepanjang tinggi balok yang lebarnya terus bertambah.

Pembebanan sebesar 16,25 kN

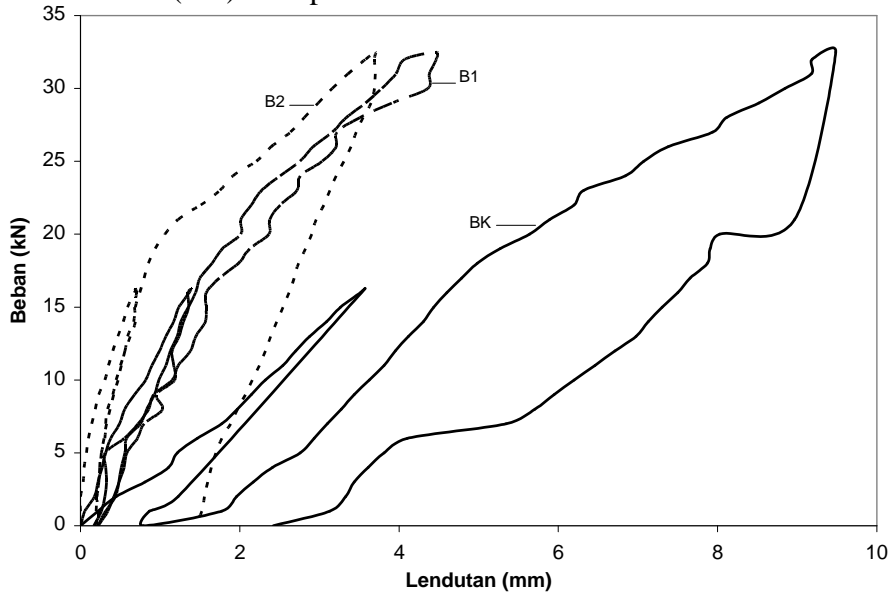
Dari Gambar 1 terlihat lendutan yang terjadi di tengah bentang pada balok saat dibebani sebesar 16,25 kN. Besarnya lendutan balok kontrol adalah 3,57 mm, sedangkan lendutan balok perkuatan (B1 dan B2) masing-masing adalah 1,39 mm dan 0,69 mm. Lendutan yang terjadi pada balok dengan perkuatan dalam tahap pembebanan ini lebih kecil 71% dari lendutan pada balok kontrol (BK). Lendutan di tengah bentang balok kontrol sebesar 3,57 mm lebih kecil daripada lendutan ijin akibat beban layan dengan faktor kejut ($DLA=0,3$) yaitu sebesar $L/800 = 3750/800 = 4,08$ mm. Dimana prosentase perbandingan lendutan balok dengan lendutan ijin adalah sebesar 87,5%.

sedangkan untuk balok perkuatan (B1 dan B2) masing-masing sebesar 4,47 mm dan 3,70 mm.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa lendutan yang terjadi pada masing-masing balok sudah tidak linier lagi. Pada saat beban kira-kira sebesar 20 kN, grafik lendutan terlihat lebih melengkung dari sebelum-

nya, dimana untuk setiap penambahan beban, lendutan yang terjadi lebih besar dari pembebanan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa balok telah mengalami retak. Dari Gambar 2 juga terlihat bahwa saat pengembalian beban dari pembebanan sebesar 2,6 kali beban truk, baik balok kontrol (BK) maupun balok

perkuatan (B1 dan B2) masih memiliki kekuatan untuk kembali ke lendutan saat awal pembebanan. Pada tahapan pembebanan ini, lendutan yang terjadi pada balok dengan perkuatan (B1 dan B2) lebih kecil 56,9% dari lendutan pada balok kontrol (BK).

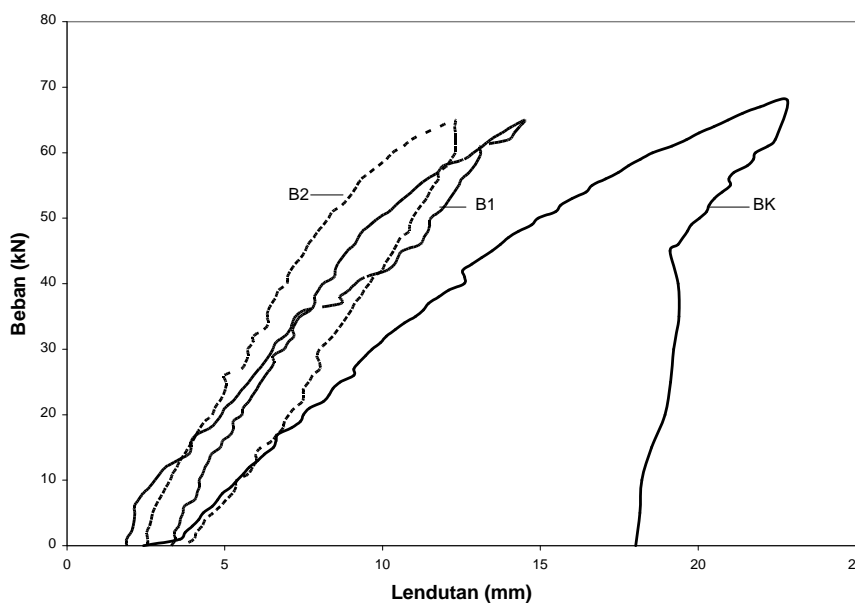


Gambar 2. Grafik hubungan beban-lendutan ditengah bentang balok untuk pembebanan sebesar 32,5 kN

Pembebanan sebesar 65 kN

Pada pembebanan sebesar 65 kN seperti ditunjukkan pada Gambar 3 terlihat bahwa lendutan yang terjadi ditengah bentang pada balok kontrol (BK)

sebesar 20,95 mm. Sedangkan lendutan yang terjadi pada balok dengan perkuatan (B1 dan B2) masing-masing sebesar 14,51 mm dan 12,59 mm.



Gambar 3. Grafik hubungan beban-lendutan ditengah bentang untuk pembebanan sebesar 65 kN

Dalam tahap pembebanan ini lendutan yang terjadi pada balok dengan perkuatan (B1 dan B2) lebih kecil 36,04% dari lendutan pada balok kontrol (BK).

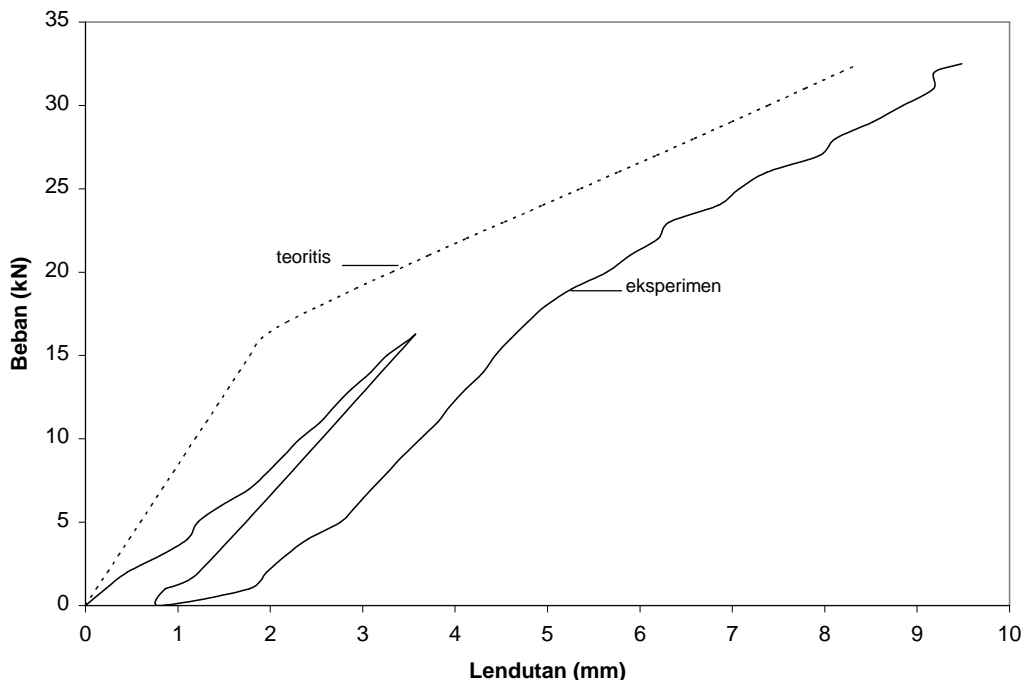
Pada saat *unloading* dari pembebanan ini, lendutan pada balok kontrol tidak terlihat berkurang melainkan cenderung bertambah. Hal ini menunjukkan bahwa balok kontrol sudah tidak kuat lagi untuk mengembalikan lendutan walaupun telah dilakukan pengembalian beban hingga ke nol.

Perbandingan Lendutan Eksperimen dengan Lendutan Teoritis

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa lendutan teoritis yang terjadi pada balok kontrol lebih kecil dibandingkan dengan lendutan eksperimen. Besarnya lendutan eksperimen dari balok kontrol saat pembebanan 32,5 kN adalah sebesar 9,48 mm, sedangkan untuk lendutan teoritis sebesar 8,37 mm. Pada balok kontrol lendutan hasil eksperimen lebih besar 13,26% dari lendutan teoritisnya.

Perbandingan besarnya lendutan eksperimen untuk balok dengan perkuatan pelat baja dapat dilihat pada Gambar 5. Dari Gambar terlihat bahwa lendutan teoritis pada balok dengan perkuatan lebih besar dibandingkan dengan lendutan eksperimen. Besarnya lendutan teoritis balok perkuatan saat pembebanan sebesar 2,6 kali beban truk adalah sebesar 6,33 mm, sedangkan lendutan eksperimennya sebesar 4,08 mm. Pada balok dengan perkuatan (B1 dan B2) lendutan hasil eksperimen lebih kecil 35,54% dari lendutan teoritisnya.

Untuk perhitungan teoritis digunakan anggapan bahwa setelah balok mengalami retak, dimana tegangan (f) lebih besar dari tegangan tarik beton (f_r) maka inersia penampang yang digunakan adalah inersia efektif. Terdapat perbedaan besarnya lendutan hasil analisa dan lendutan hasil eksperimen, ini terjadi karena terbatasnya persamaan yang digunakan dalam analisa.

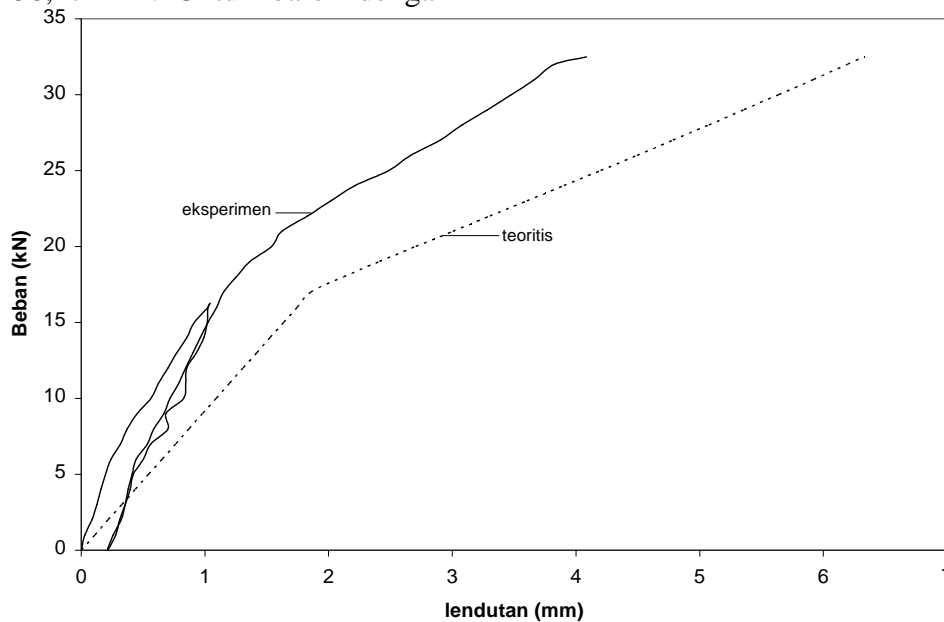


Gambar 4. Grafik perbandingan lendutan eksperimen dan teoritis balok kontrol

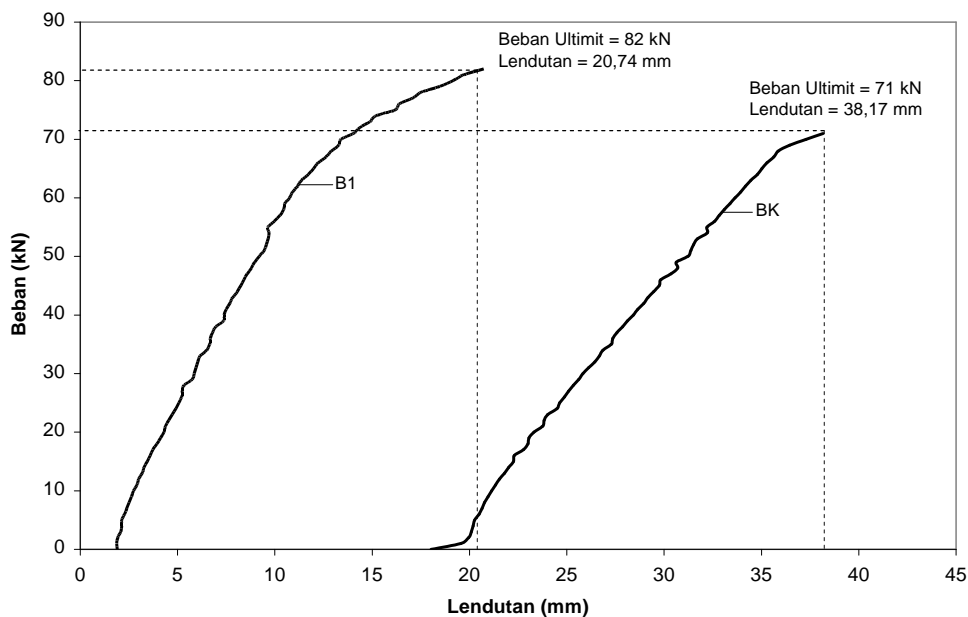
Kapasitas Ultimit Model Balok-T

Pembebanan ultimit dilakukan setelah pembebanan sebesar 65 kN. Besarnya beban ultimit yang dapat dipikul balok kontrol (BK) lebih kecil dibandingkan beban ultimit balok dengan perkuatan (B1). Dari Gambar 6 terlihat besarnya beban ultimit pada balok kontrol adalah 71 kN dan lendutan di tengah bentang sebesar 38,17 mm. Untuk balok dengan

perkuatan B1 beban ultimitnya adalah sebesar 82 kN dan lendutan yang terjadi sebesar 20,74 mm. Besarnya beban ultimit pada balok dengan perkuatan (B1 dan B2) meningkat hingga 15,5% dari beban ultimit pada balok kontrol (BK). Sedangkan lendutan pada balok perkuatan lebih kecil 45,6% dari lendutan pada balok kontrol (BK).



Gambar 5. Grafik perbandingan lendutan eksperimen dan teoritis balok perkuatan



Gambar 6. Grafik hubungan beban-lendutan di tengah bentang untuk pembebanan ultimit

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Balok-T standar Bina Marga bentang 15 m, masih cukup kuat bila dibebani sebesar beban batas menurut BMS 1992, terlihat dari lendutan yang terjadi pada balok kontrol pada saat dibebani sebesar beban layan lebih kecil dari lendutan ijin akibat beban layan dengan faktor kejut ($DLA=0,3$). Dimana prosentase perbandingan lendutan balok dengan lendutan ijin adalah sebesar 87,5%. Penambahan pelat perkuatan dapat meningkatkan kekakuan balok, yang ditunjukkan dengan berkurangnya lendutan balok dengan perkuatan (B1 dan B2) dibandingkan dengan lendutan balok kontrol (BK). Pada saat pembebanan 16,25 kN, lendutan yang terjadi pada balok perkuatan (B1 dan B2) lebih kecil 71% dari lendutan balok kontrol (BK). Pada pembebanan 32,5 kN, lendutan yang terjadi pada balok perkuatan (B1 dan B2) lebih kecil 56,9% dari lendutan balok kontrol (BK). Pada pembebanan 65 kN, lendutan yang terjadi pada balok perkuatan (B1 dan B2) lebih kecil 36,04% dari lendutan pada balok kontrol (BK). Pada pembebanan ultimit, lendutan balok perkuatan (B1) lebih kecil 45,6% dari lendutan balok kontrol (BK).
2. Beban retak pertama hasil eksperimen pada balok dengan perkuatan (B1 dan B2) lebih besar 65,4% dari balok kontrol (BK).
3. Model balok-T baik dengan maupun tanpa perkuatan mengalami kegagalan geser, padahal yang diharapkan model balok-T mengalami kegagalan lentur karena berdasarkan perhitungan prototipe balok-T mengalami kegagalan lentur. Ini terjadi karena mutu baja

yang dipergunakan pada prototipe dan model berbeda.

Saran

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, maka dapat disarankan beberapa hal yaitu:

1. Perlu dibuat analisa yang lebih mendekati hasil penelitian, berdasarkan hasil pengujian yang lebih komprehensif.
2. Dari kegagalan geser lentur yang terjadi pada balok dengan perkuatan lentur, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perkuatan geser pada balok-T dengan menyertakan instrumentasi seperti pengukuran regangan dengan alat *strain gauge*.
3. Apabila dilakukan perkuatan lentur, maka benda uji sama sekali tidak boleh mengalami kegagalan geser.
4. Penggunaan tulangan baja untuk model balok harus dipilih yang sesuai dengan prototipenya. Agar hasil yang diperoleh tidak jauh menyimpang dari yang diharapkan.
5. Penskalaan tulangan harus dilakukan dengan benar agar antara prototipe dan model mengalami kegagalan lentur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, Bagian 2, Beban Jembatan, Bridge Management System*, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Program Jalan.
- Anonimus. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, Bagian 6, Perencanaan Beton Struktural, Bridge Management System*, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal

- Bina Marga, Direktorat Bina Program Jalan.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 2002*.
- Hussain, M. Sharif, A. Basunbul, I.A. Baluch, M.H., and Al-Sulaimani, G.J. 1995. *Flexural Behavior of Precracked Reinforced Concrete Beam Strengthened Externally by Steel Plates*, ACI Structural Journal, Vol. 92 No. 1, Januari-Februari, pp. 14-21.
- McKeena, I.K. and Erki, M.A. 1994. *Strengthening of Reinforced Concrete Flexural Members Using Externally Applied Steel Plates and Fiber Composite Sheets - A Survey*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 21, pp. 16-24.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. 1993. *Concrete: Structure, Properties, and Materials*, 2nd Edition, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ. 07632, pp. 60-61.
- Nawy, E.G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Refika Aditama, Bandung, 763 pp.
- Nilson, A.H. dan Winter, G. 1993. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Cetakan Pertama, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 669 pp.
- Ritchie, P.A., Thomas, D.A., Lu, I.W., and Connelly, G.M. 1994. *External Reinforcement of Concrete Beam Using Fiber Reinforced Plastics*, ACI Structural Journal, No. 88-S52, July-August, pp. 490-500.
- Sabnis, G.M., Harris, H.G., White, R.N., and Mirza, M.S. 1983. *Structural Modelling and Experimental Techniques*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ. 07632.
- Sukrawa, M. 2000. *Experimental Investigation of The Behavior of RC Deck Slab with Added Lateral Restrain*, Ph.D. Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI. 48824.
- Swamy, R.N., Jones, R., and Bloxham, J.W. 1987. *Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plates*, The Structural Engineer, Vol. 65A No.2, February, pp. 59-68.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Edisi Pertama, Penerbit Nafiri, Yogyakarta.
- Ziraba, Y.N., Baluch, M.H., Basunbul, I.A., Sharif, A.M., Azad, A.K., and Al-Sulaimani. G.J. 1994. *Guidelines Toward The Design of Reinforced Concrete Beams with External Plate*, ACI Structural Journal, Vol. 91-S61, November-December, pp. 639-646.