

## PERKUATAN LENTUR PELAT BENTANG 5 METER DENGAN PENAMBAHAN PLAT BAJA MENGGUNAKAN PEREKAT EPOXY

Soelarso

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon 42435.  
E-mail : soelarso@ft-untirta.ac.id

### ABSTRACT

*If a structure can not sustain the new load applied on it but on the other hand we want to keep this structure without destructing it, one of the solutions is using additional bars to strengthen it. This research was conducted to study the flexural capacity, stiffness, ductility and failure patterns bridge slab using additional steel plate by epoxy resin.*

*In this research 4 concrete slab are made. They are separated 2 control slab (PK), 1 slab strengthened 60% (PP60%) and 1 slab strengthened 120% (PP120%). The whole slab specimens with dimension 1800 mm x 1000 mm x 100 mm with 13 tension reinforcement and 7 compression reinforcement of 10 mm. Slab specimens are placed in loading frame with simply supported and are loaded by wheel load at the middle of the beam span. The loading process is applied by gradually using hydraulic jack until it reaches failure condition. Numerical approach using ATENA V2.1.9 non-linear analysis program is done in order to give comparison to the result of experiment.*

*The average compressive strength of cylindrical concrete ( $f'_c$ ) is 43,290 MPa. The average yield stress of steel bar D10 is 299,729 MPa and average yield stress of strengthening steel is 500,482 MPa. Result from flexural test of PK1, PK2, PP60% and 120% up to 97000 N, 94000 N, 159000 N and 173000 N. The increase of bending capacity are 66,492% for PP60% and 81,151% compared to PK. The reduction of ductility for the slab PP60% and PP120% were 8,591% and 15,455% respectively, relative to the control slab.*

**Keyword :** slab, strengthening, flexural capacity, ATENA V2.1.9

### ABSTRAK

Apabila struktur tidak mampu menahan beban tetapi struktur tetap ingin dipertahankan, maka salah satu penyelesaiannya adalah dengan perkuatan pada struktur tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas lentur, kekakuan, daktilitas dan pola retak plat jembatan dengan penambahan plat baja menggunakan perekat epoxy.

Pada penelitian ini dibuat benda uji sebanyak 4 buah pelat yang terdiri dari 2 buah pelat kontrol, 1 buah pelat perkuatan 60% dan 1 buah pelat perkuatan 120%. Benda uji berupa pelat dengan dimensi 1800 mm x 1000 mm x 100 mm dengan tulangan tarik berdiameter 10 mm sebanyak 13 buah dan tulangan tekan berdiameter 10 mm sebanyak 7 buah. Benda uji ditempatkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi rol pada kedua ujungnya dan dibebani dengan beban roda terpusat ditengah bentang. Pembebanan dilakukan bertahap dengan *hydraulic jack* hingga mencapai runtuh. Analisis numerik menggunakan program analisis non-linier ATENA V2.1.9 dilakukan dalam penelitian ini untuk membandingkan hasil dari eksperimen.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan silinder beton rata-rata ( $f'_c$ ) = 43,290 MPa, tegangan leleh rata-rata ( $f_y$ ) tulangan D10 = 299,729 MPa, tegangan leleh rata-rata ( $f_y$ ) plat perkuatan = 500,482 MPa. Hasil pengujian kuat lentur benda uji PK1, PK2, PP60% dan PP120% berturut-turut adalah 97000 N, 94000 N, 159000 N dan 173000 N. Hal ini berarti pelat mengalami persentase peningkatan kuat lentur sebesar 66,492% dan 81,151% secara berturut-turut untuk PP60% dan PP120% terhadap PK. Kenaikan kekakuan lentur juga terjadi sebesar 37,055% untuk PP60% dan 81,480% untuk PP120% terhadap pelat kontrol (PK). Daktilitas pelat PP60% dan PP120% turun berturut-turut sebesar 8,591% dan 15,455% terhadap pelat kontrol.

**Kata kunci :** pelat, perkuatan, kapasitas lentur, ATENA V2.1.9

### 1. PENDAHULUAN

Salah satu bangunan teknik sipil yang mengalami masalah seiring dengan bertambahnya waktu adalah jembatan. Banyak contoh jembatan yang ada di Indonesia yang sudah tidak layak digunakan

lagi karena pertambahan beban yang sudah melebihi batasan beban yang telah direncanakan, akan tetapi jembatan-jembatan tersebut masih saja digunakan sampai sekarang. Batas beban yang terlampaui akan mengakibatkan bangunan jembatan tersebut

gagal, hal ini sangat membahayakan bagi pengguna jembatan tersebut.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut ada beberapa metode yang digunakan, salah satunya adalah dengan perkuatan pada jembatan. Ada beberapa macam perkuatan yang dapat diaplikasikan dalam memberikan suatu perkuatan pada jembatan, khususnya pada pelat beton. Salah satu cara adalah penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Cara lain yaitu dengan menambah tulangan dan dimensi struktur, namun berakibat penambahan berat sendiri struktur setelah diperkuat. Penelitian ini akan mencoba alternatif perkuatan yang belum pernah dilakukan yaitu penambahan tulangan pada daerah tarik menggunakan plat baja.

**2. TINJAUAN PUSTAKA**

Perkuatan struktur jembatan telah dilakukan oleh Antonio Nanni (2000), yaitu melakukan perkuatan struktur *deck* jembatan dengan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. Perkuatan dengan laminasi CFRP kapasitasnya mencapai 181,8 KNm dan perkuatan dengan *Near Surface Mounted (NSM)* mencapai kapasitas tertinggi yaitu 200 KNm dari kapasitas sebelum perkuatan 155,4 KNm.

Rahman dkk, (2000) melakukan penelitian tentang perilaku pelat jembatan beton bertulang dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* saat beban layan dan beban ultimit. Penelitian terhadap perilaku saat beban layan dan beban ultimit dilakukan dengan memberikan beban statis dan beban siklis. Pengujian beban statis dilakukan dengan memberikan dua beban terpusat pada tengah bentang pelat dengan beban sebesar 150 KN, sedangkan pengujian siklis dilakukan dengan memberikan jumlah siklus maksimum

sebesar 4.000.000 siklus dengan frekwensi pembebanan 5 Hz. Beban diberikan pada tengah bentang pelat dengan besar beban bervariasi dari 0 hingga 100 KN yang diberikan melalui aktuator. Dari penelitian yang dilakukan, disimpulkan beberapa hal, yakni :

1. Perilaku keseluruhan pelat jembatan pada beban layan sangat memuaskan. Defleksi yang terjadi sangat kecil, hanya 2,5 mm atau sekitar L/800, tegangan maksimum dan tegangan minimum yang terjadi pada tulangan juga sangat kecil, hanya sekitar 100 MPa atau 7% dari kekuatan ultimitnya.
2. Uji kekuatan ultimit menunjukkan bahwa pelat memiliki kapasitas sisa yang memadai setelah mengalami 4.000.000 siklus pembebanan dari beban layan rencana. Kapasitas beban ultimit minimum adalah 534 KN, lebih dari 5 kali beban roda desain, yakni 100 KN.

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

**A. Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari baja tulangan, beton, Plat baja untuk perkuatan dengan ukuran 3,5x34 mm dan *Epoxy resin bonding agent (Sikadur 31)*.

**B. Alat Penelitian**

Alat yang dipakai dalam penelitian ini yaitu rangka baja (*loading frame*), *hydraulic jack*, *load cell*, *data logger*, *strain gauge*, *LVDT*, *micro cracker meter*, *internal vibrator*, *slump test apparatus*, *cutting bar*, cetakan silinder beton, *compression testing machine*, *universal testing machine*.

**C. Benda Uji**

Benda uji dibuat sebanyak 4 buah dengan ukuran tebal 100 mm, lebar 1000 mm dan panjang 1800 mm. Bentuk benda uji dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Spesifikasi Benda Uji

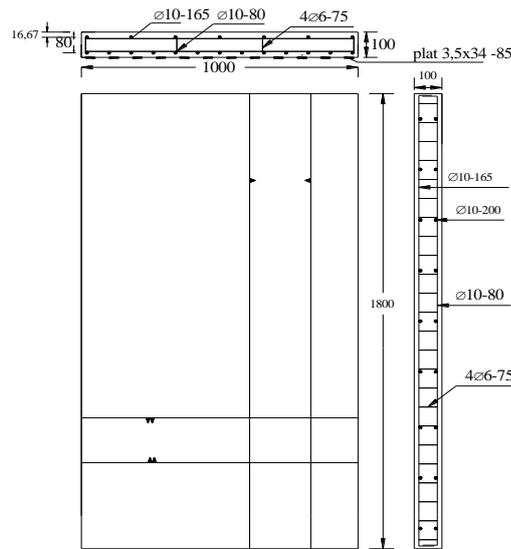
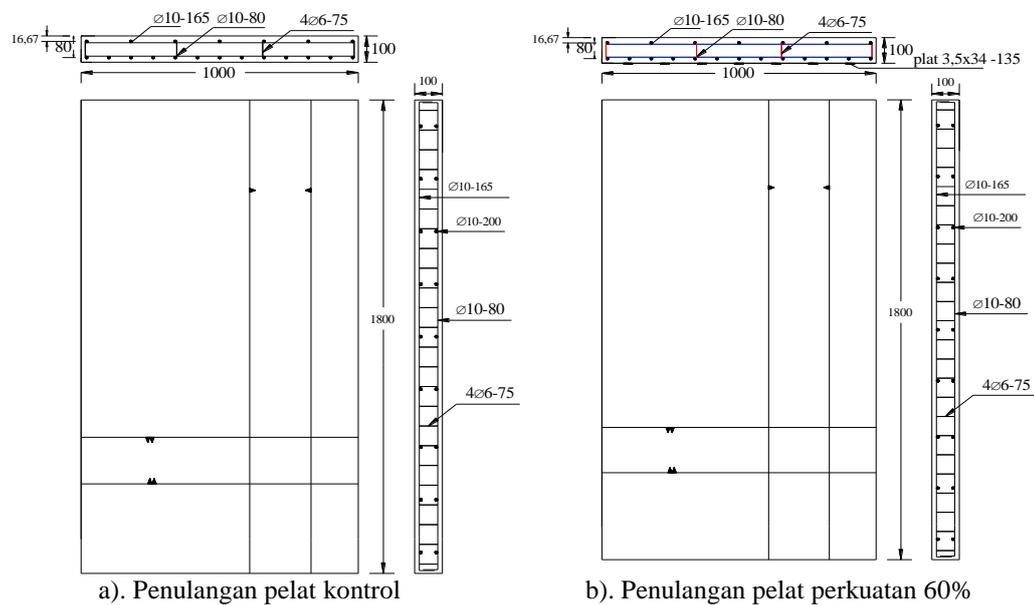
Benda uji	Dimensi pelat			Tulangan lentur		Perkuatan plat baja	Tulangan geser
	l (mm)	b (mm)	t (mm)	Atas	Bawah		
PK	1800	1000	100	7d10	13d10	-	p6 - 300
PP 60%	1800	1000	100	7d10	13d10	7 plat	p6 - 300
PP 120%	1800	1000	100	7d10	13d10	12 plat	p6 -300

Keterangan :

PK : Pelat kontrol

PP 60% : Pelat dengan penambahan perkuatan sebesar 60% terhadap pelat kontrol dengan pelat baja

PP 120% : Pelat dengan penambahan perkuatan sebesar 120% terhadap pelat kontrol dengan pelat baja

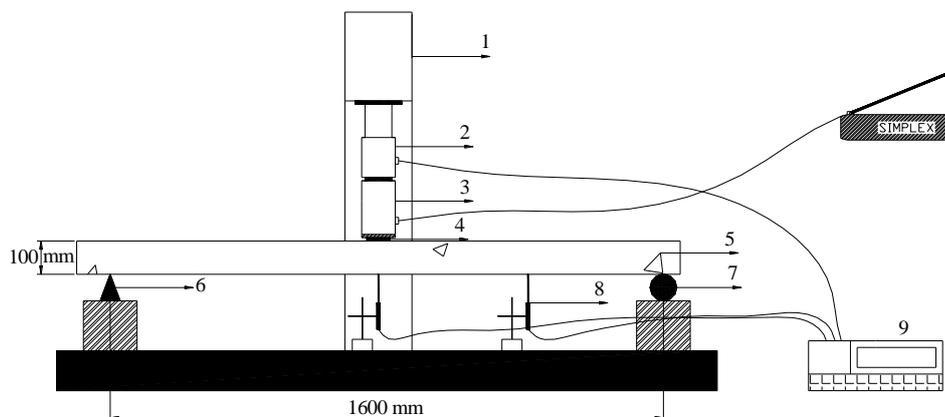


c). Penulangan pelat perkuatan 120%  
Gambar 1. Detail penulangan benda uji

**D. Pengujian Benda Uji**

Pengujian benda uji pelat jembatan dilakukan setelah umur benda uji 28 hari dan perkuatan terhadap benda uji telah dilakukan. Benda uji diletakkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi dan rol pada kedua ujungnya. Pembebanan dilakukan dengan

menggunakan *hydraulic jack* dengan mengaplikasikan beban roda yang berada ditengah bentang pelat jembatan. Lentutan vertikal diukur dengan menggunakan *LVDT* yang dipasang 1 buah ditengah bentang dan 1 buah di ¼ bentang.



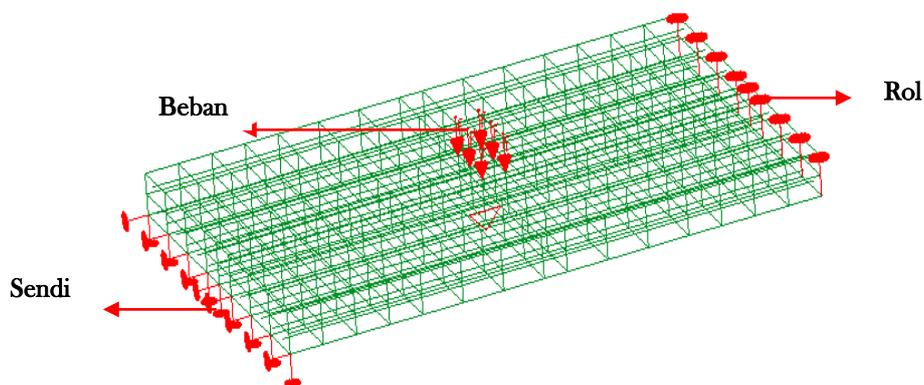
Gambar 2. Set up pengujian pelat

Keterangan :

1. Loading Frame
2. Load Cell
3. Hidraulic jack
4. Pembebanan roda
5. Benda uji pelat jembatan
6. Tumpuan sendi
7. Tumpuan rol
8. LVDT
9. Data logger

### E. Pemodelan numerik ATENA

Untuk analisis numerik ini digunakan software ATENA3D 2.1.9 dimana beton dimodelkan *reinforced concrete* dengan *Material Prototype CC3DnonLinCementitious2* sedangkan tulangan dimodelkan dalam *CCReinforcement* dengan *Material Prototype CCReinforcement*. Pemodelan numerik dilakukan untuk memberikan perbandingan terhadap hasil eksperimen.



Gambar 3. Pemodelan numerik

## 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### a. Pengujian Bahan

Hasil pengujian silinder beton menunjukkan bahwa kuat tekan silinder beton rata-rata sebesar 43,290 MPa. Sedangkan hasil uji tarik baja diameter 10 mm menunjukkan tegangan leleh rata-rata sebesar 299,729 MPa dengan modulus elastisitas rata-rata sebesar 123065,6 MPa. Hasil uji tarik plat

baja perkuatan yang berukuran 3,5x34 mm, didapat tegangan leleh rata-rata sebesar 500,482 MPa dan modulus elastisitas rata-rata sebesar 160243,12 MPa.

### b. Pengujian Benda Uji Pelat dan Analisis Numerik

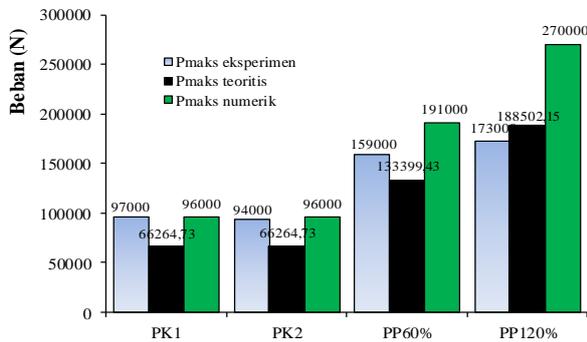
#### 1. Kuat Lentur

Nilai kuat lentur dari benda uji berupa pelat dapat dilihat pada Tabel 2.

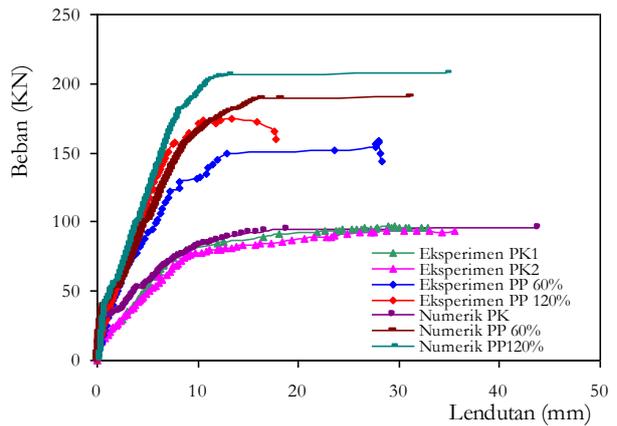
Tabel 2. Persentase peningkatan kuat lentur pelat

Benda Uji	$P_{crack}$ (N)	$P_{maks}$ (N)	$P_{maks}$ rerata (N)	Persentase peningkatan (%)
PK1	20000	97000	95500	0
PK2	16000	94000		
PP 60%	25000	159000	159000	66,492
PP 120%	30000	173000	173000	81,152

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pelat jembatan PP60% yang diperkuat dengan 60% perkuatan lentur secara analitis, ternyata secara eksperimen benda uji mengalami peningkatan sebesar 66,492% terhadap PK. Sedangkan perkuatan 120% secara analitis, ternyata secara eksperimen benda uji PP120% hanya mengalami peningkatan kuat lentur 81,152% terhadap PK. Hal ini disebabkan karena lepasnya perkuatan plat baja yang ada pada daerah retak yang terjadi pada bagian tarik beton, sehingga perkuatan plat baja tidak bisa bekerja secara maksimum. Secara umum jenis kerusakan pengujian terhadap pengujian pelat merupakan keruntuhan lentur. Nilai Perbandingan peningkatan  $P_{crack}$  dan  $P_{maks}$  baik secara teoritis maupun eksperimen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram perbandingan kuat lentur benda uji pelat



Gambar 5. Hubungan beban dan lendutan pada pengujian lentur

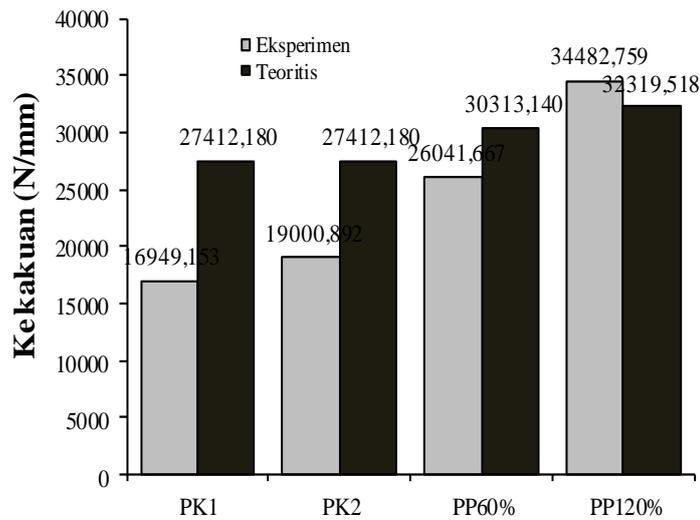
## 2. Kekakuan

Berdasarkan kurva hubungan beban-lendutan dapat dianalisis karakteristik kekakuan masing-masing benda uji. Dalam analisis kekakuan dipilih data dari beban-lendutan ditengah bentang untuk mewakili kekakuan dari masing masing benda uji.

Nilai kekakuan lentur pada saat *crack* baik secara eksperimen maupun teoritis dari masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 3. Nilai kekakuan lentur pelat

Benda uji	$P_{crack}$ (N)	Lendutan (mm)	Kekakuan (N/mm)	Kekakuan rata-rata (N/mm)	Peningkatan Kekakuan (%)
PK1	20000	1,18	16949,153	19000,892	0
PK2	16000	0,76	21052,632		
PP 60%	25000	0,96	26041,667	-	37,055
PP 120%	30000	0,87	34482,759	-	81,480



Gambar 6. Diagram perbandingan kekakuan benda uji

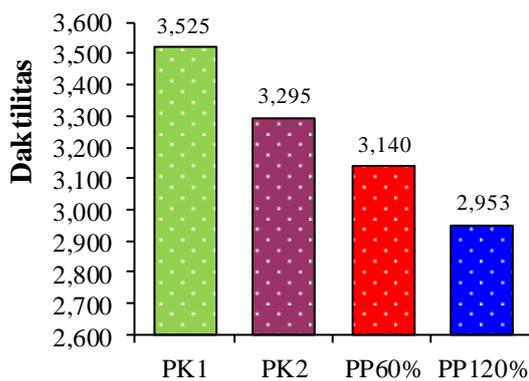
3. Daktilitas

Perhitungan nilai daktilitas mengacu pada definisi faktor daktilitas seperti yang terdapat pada teori Park dan Paulay, dimana faktor daktilitas adalah perbandingan antara lendutan pada saat beban ultimit dan beban

pada saat leleh. Lendutan ultimit adalah lendutan pada saat beban mengalami penurunan sebesar 0,8 dari beban maksimum. Nilai daktilitas dari benda uji secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Persen penurunan daktilitas

Benda uji	$\delta_y$ (mm)	$\delta_u$ (mm)	Daktilitas $\delta = \delta_u / \delta_y$	Daktilitas Rata-rata	Persen penurunan
PK1	10	35,25	3,525	3,41	0
PK2	11	36,24	3,295		
PP60%	9	28,26	3,140	3,140	8,591
PP120%	6	17,72	2,953	2,953	15,455



Gambar 7. Diagram perbandingan nilai daktilitas benda uji

4. Regangan Tulangan

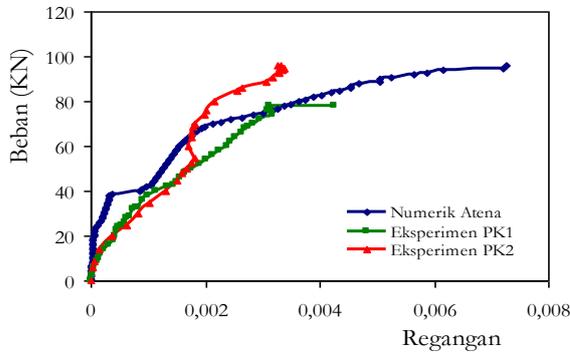
Nilai regangan tulangan tarik utama dan perkuatan didapat dari pembacaan *strain gauge* yang dipasang pada tulangan tarik

utama longitudinal dan perkuatan. Pemasangan *strain gauge* dilakukan pada tulangan tarik utama longitudinal setiap benda uji dan tulangan perkuatan plat baja.

a. Pelat Kontrol (PK)

Hasil regangan untuk PK1 dan PK2 dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini. Dari gambar dapat dilihat kedua regangan pelat kontrol bisa dikatakan sama, tetapi pada saat beban 55 KN yaitu saat regangan mencapai 0,0018 dan 0,002, setelah itu regangan pada PK1 mulai kurang stabil. Hal ini di karenakan kemungkinan timbulnya retak pada sekitar daerah bagian tulangan tarik atau pun mulai tidak stabilnya lekatan *strain gauge* pada tulangan. Berdasarkan uji tarik baja yang dilakukan didapat regangan leleh baja sebesar 0,002323, sedangkan dari hasil pembacaan *strain gauge* didapat regangan maksimum

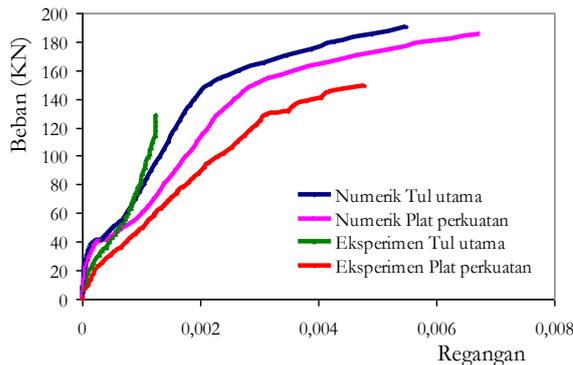
sebesar 0,003389 untuk PK1 dan 0,004258 untuk PK2. Hal ini menunjukkan bahwa tulangan baja telah leleh.



Gambar 8. Hubungan beban dengan regangan pelat kontrol

b. Pelat Perkuatan 60% (PP60%)

Hasil regangan untuk PP60% dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan uji tarik baja yang dilakukan didapat regangan leleh baja sebesar 0,002323 untuk tulangan utama dan 0,00314 untuk plat baja perkuatan, sedangkan dari hasil pembacaan *strain gauge* didapat regangan maksimum sebesar 0,001243 untuk tulangan utama dan 0,005381 untuk plat baja perkuatan. Hal ini menunjukkan bahwa tulangan utama belum leleh, tetapi tulangan perkuatan plat baja telah leleh.

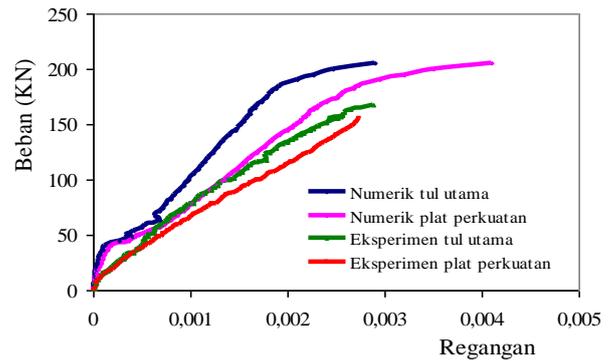


Gambar 9. Hubungan beban dengan regangan PP60%

c. Pelat Perkuatan 120% (PP120%)

Hasil regangan untuk PP120% dapat dilihat pada Gambar 10. Berdasarkan uji tarik baja yang dilakukan didapat regangan leleh baja sebesar 0,002323 untuk tulangan utama dan 0,00314 untuk plat baja perkuatan, sedangkan hasil

pembacaan *strain gauge* didapat regangan maksimum sebesar 0,003198 untuk tulangan utama dan 0,002734 untuk plat baja perkuatan. Hal ini menunjukkan bahwa tulangan utama telah leleh, tetapi tulangan perkuatan plat baja belum leleh. Belum lelehnya plat baja perkuatan diakibatkan karena lepasnya plat baja perkuatan dan ini disebabkan oleh banyaknya retak pada beton disekitar rekatan plat baja.



Gambar 10 Hubungan beban dengan regangan PP120%

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dan analisis numerik menggunakan ATENA3D 2.1.9-GID 7.4 dapat diambil kesimpulan :

- 1) Nilai kuat lentur pada pengujian pelat jembatan adalah 97 kN untuk PK1, 94 kN untuk PK2, 159 kN untuk PP60% dan 173 kN untuk PP120%.
- 2) Besarnya persentase peningkatan kuat lentur terhadap pelat kontrol adalah 66,492% untuk PP60% dan 81,152% untuk PP120%.
- 3) Persentase penurunan daktilitas dari eksperimen terhadap pelat kontrol adalah 8,591 % untuk PP60% dan 15,455% untuk PP120%.
- 4) Besarnya persentase kekakuan dari eksperimen terhadap pelat kontrol adalah 37,055% untuk PP60% dan 81,480% untuk PP120%.
- 5) Retak pertama dari hasil eksperimen untuk PK1 terjadi pada beban 16 kN dan 20 kN untuk PK2, sedangkan untuk PP60% dan PP120% terjadi pada beban 25 kN dan 30 kN.
- 6) Besarnya regangan yang terjadi pada PK1 dan PK2 yaitu 0,003389 dan 0,004258. Hal ini menunjukkan bahwa

tulangan telah leleh karena berdasarkan uji tarik baja, regangan leleh baja sebesar 0,002323

- 7) Besarnya regangan untuk pelat perkuatan 60% sebesar 0,001243 untuk tulangan tarik utama dan 0,005381 untuk tulangan plat perkuatan. Hal ini menunjukkan bahwa tulangan tarik utama belum leleh dan tulangan plat perkuatan sudah leleh karena besarnya regangan leleh pada tulangan perkuatan pelat sebesar 0,00314.
- 8) Besarnya regangan untuk pelat perkuatan 120% sebesar 0,003198 untuk tulangan tarik utama dan 0,002738 untuk tulangan plat perkuatan. Hal ini menunjukkan bahwa tulangan tarik utama sudah leleh dan tulangan plat perkuatan belum leleh. Ini disebabkan karena lepasnya tulangan plat perkuatan sebelum beban ultimit.
- 9) Hasil dari analisis numerik didapat beban ultimit untuk pelat kontrol (PK), pelat perkuatan 60% (PP60%) dan pelat perkuatan 120% (PP120) sebesar 96 KN, 191 KN dan 207 KN.
- 10) Besarnya lendutan dari analisis numerik untuk pelat kontrol (PK), pelat perkuatan 60% (PP60%) dan pelat perkuatan 120% (PP120) sebesar 43,83 mm, 31,2083 mm dan 13,1028 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pelat semakin kaku.

#### **B. Saran**

- 1) Dalam melekatkan perkuatan plat dengan beton haruslah dilakukan dengan sempurna sehingga tidak terjadi lepasnya plat perkuatan dengan beton pada saat pengujian.
- 2) Analisis numerik yang dilakukan dibatasi kemampuan program ATENA yang merupakan demo *software* yang hanya dibatasi 300 elemen, sehingga sangat dianjurkan pemakaian *software* resmi yang mempunyai jumlah elemen yang lebih banyak.
- 3) Perlu ruang yang cukup pada bagian bagian bawah pelat pada *settip* benda uji sehingga peneliti dapat lebih cermat mengamati proses terjadinya retak pada pelat uji.
- 4) Kondisi tumpuan harus dibuat kaku, sehingga tidak terjadi lendutan pada bagian tengah tumpuan ketika pembebanan pada pelat uji.

- 5) Perlu penelitian lebih lanjut tentang perkuatan pelat jembatan ini dengan pembebanan dinamis, sehingga diketahui perilaku perkuatan dan kerekatan pelat beton dengan plat baja terhadap beban dinamis.

#### **6. DAFTAR PUSTAKA**

- Cervenka & Niewald, 2003, *ATENA Program Documentation: User's Manual for ATENA – GID interface*, Cervenka Consulting, Prague
- Foley, C.M. dan Buckhouse, E.R., 1998, *Strengthening Existing Reinforced Concrete Beams or Flexure Using Bolted External Structural Steel Channels*, College of Engineering Departement of Civil & Environmental Engineering Marquette University
- Iswari, A.Y.D., 2004, *Perkuatan Lentur Balok Tampang Persegi Dengan Penambahan Tulangan Menggunakan Epoxy*, Tesis, Program Studi Teknik Struktur, Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nanni, A., 2000, *Fiber Reinforced Polymer Composites for Infrastructure Strengthening – From Research to Practice*, University of Missouri – Rolla and University of Naples Federico II
- Park, R. dan Paulay, T., 1974, *Reinforced Concrete Structure*, A Wiley-Interscience Publication, New York-London-Sydney-Toronto.