

# PENGARUH LANTAI KOMPOSIT TERHADAP KINERJA RANGKA BAJA PRATEKAN

Andi Indianto

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta Kampus Baru UI, Depok  
e-mail : andipoltek@gmail.com

## Abstrak

Makalah ini memaparkan hasil penelitian tentang kajian rangka pratekan komposit untuk jembatan rangka baja dengan lantai jembatan diatas. Pemberian gaya pratekan pada rangka dilakukan dengan pemasangan Tendon / kabel *prestress* pada bagian bawah rangka, yang dihubungkan dengan angkur yang terpasang pada plat simpul bagian atas ujung rangka. Aksi komposit dari struktur ini didapatkan dengan menghubungkan lantai yang terbuat dari beton bertulang dengan bagian atas rangka menggunakan baut yang difungsikan sebagai *shear connector*. Untuk mengetahui daya layan struktur rangka pratekan komposit ini, dilakukan pengujian pembebanan terhadap struktur sebelum dipasang *shear connector* dan struktur setelah dipasang *shear connector*. Pengujian pembebanan dilakukan dengan alat yang disebut *Mechanical digital loading test*. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa aksi komposit pada rangka pratekan memberikan tambahan daya layan sebesar 71% lebih besar daripada struktur rangka pratekan yang lantainya tidak dipasang *shear connector*.

Kata Kunci: Tendon, prestress, Angkur, komposit, shear connector.

## Abstract

*This article explains result of research about frame study prestress composite for steel frame bridge with bridge floor is upper. Giving of force prestress at frame is done with erection of Tendon / cable prestress at frame lower part, what attributed to anchor attached at top node plate tip of frame. Composite action from this structures got by connecting floor made from reinforced concrete with top frame applies bolt functioned as shear connector. To know servibility composite structures prestressing truss, done loading test to structures before given shear connector and structures after given shear connector. Loading test is done with equipments of digital mechanical of loading test. From result of research indicates that composite action to prestressing truss gives attachment servibility equal to 71% bigger than prestressing truss which is not is given shear connector.*

Keyword: Tendon, prestress, Angkur, komposit, shear connector.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Jembatan merupakan prasarana transportasi yang sangat vital sebagai penghubung jalan yang terputus oleh sungai, lembah, selat atau bangunan lain yang ada dibawahnya. Saat ini banyak jembatan yang terbuat dari beton prategang, namun penggunaan beton prategang untuk di daerah pedalaman banyak kendalanya, selain sulit transportasinya, alat berat untuk memasang girdernya juga tidak mudah didatangkan ke lokasi jembatan. Untuk itu perlu dicari solusi untuk mengatasi kendala tersebut, yaitu dengan membuat rangka prategang komposit yang dapat menggantikan penggunaan beton prategang untuk jembatan. Penggunaan rangka prategang komposit ini

diharapkan akan dapat mengatasi masalah, dikarenakan rangka dapat dibuat dipabrik dengan sistem knockdown, sehingga dapat dibawa dengan kendaraan yang berukuran kecil, dapat dirangkai dilapangan dengan mudah, dan dapat dikonstruksi dengan alat-alat yang sederhana.

Penggunaan rangka baja dan lantai beton sebagai penahan beban hidup diatasnya sampai saat ini masih mendominasi bangunan jembatan, namun hanya terbatas pada rangka atas dan lantai dibawah sehingga antara baja dan beton tidak dapat dikompositkan. Untuk itu perlu diadakan perubahan struktur dengan menempatkan rangka dibawah dan lantai diatas, agar dapat dikompositkan, dimana beton sebagai penahan gaya tekan dan baja

berfungsi sebagai penahan gaya tarik, lebih-lebih jika rangkanya diprestress, penahan gaya tariknya akan dapat digantikan oleh kabel prestress. Struktur ini disebut *Composite Prestressed Truss*.

Pembuatan struktur ini dilakukan dengan memasang lantai dari beton bertulang yang dibuat dengan sistem pracetak, dengan menghubungkannya ke rangka prategang dengan menggunakan baut yang berfungsi sebagai shear connector. Untuk mengetahui tingkat pelayanan dari struktur baru yang diberi nama *Composite Prestressed Truss* ini, perlu dilakukan penelitian.

### **Manfaat Penelitian**

Memberikan solusi dalam pembuatan jembatan yang ringan dan kuat dengan cara mengkompositkan antara lantai beton bertulang dengan rangka prategang. Penelitian ini sangat penting untuk dilakukan, mengingat selama ini rangka baja hanya diperlakukan sebagai rangka konvensional yang hanya menerima beban secara langsung. Sedangkan secara teoritis rangka ini dapat ditingkatkan kemampuannya dengan memberikan gaya prategang seperti halnya beton, lebih-lebih jika rangka prategang ini dikompositkan dengan lantai beton bertulang. Fungsi rangka sebagai penahan beban hidup menjadi tidak ada, karena gaya tekan yang terjadi pada batang atas dari rangka akan diterima oleh beton, dan gaya tarik yang bekerja pada batang bawah akan diterima oleh kabel prestress.

Penggunaan *Composite Prestressed Truss* ini akan lebih menguntungkan, karena rangka baja dan beton dapat dibuat di pabrik dengan sistem knockdown, dan tentunya akan dapat menghemat waktu kerja dan biaya pelaksanaan.

Kelebihan penggunaan Komposit rangka prategang ini adalah:

- berat sendiri struktur lebih ringan dibanding beton prategang
- Mudah dikonstruksi, tidak perlu alat berat, dapat dibuat knockdown

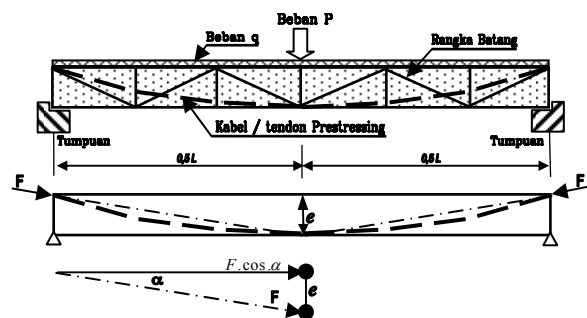
- Dapat dilaksanakan pada daerah pedalaman
- Lebih ringan dibanding rangka baja biasa
- Tinggi struktur lebih kecil bila dibanding rangka biasa

### **Studi Pendahuluan**

Jembatan rangka baja prategang composite adalah struktur jembatan yang struktur utamanya adalah rangka baja yang diperkuat dengan kabel eksternal prestressing, dimana struktur utama tersebut dikompositkan dengan plat beton bertulang lantai jembatan. Gagasan atau ide perlunya dibuat rangka baja dengan perkuatan ini, didasarkan pada teori tentang balok majemuk bagian balok-balok bertulang yang merupakan konstruksi gantungan dan sokongan (*Yap F.KH, 1997*) dan kajian tentang balok-balok bertulang baja dengan menggunakan trekstang (*Honing, J, 1996*), serta kajian tentang Externally Concrete Slab Bridge : Model Test Result. (*Naaman A, 1990*) seperti gambar dibawah ini.

### **Perkuatan Pada Rangka Batang**

Konsep dasar perkuatan pada struktur rangka batang ini adalah melakukan upaya agar struktur rangka baja dengan dimensi yang sama mampu menerima beban yang lebih besar. Hal ini dapat dilakukan dengan dua cara: Memberikan perimbangan beban terhadap beban luar dengan cara memasang tendon parabolik pada penampang struktur yang telah ditegangkan sebelumnya (*Nawi E G, 1996*) Secara mekanika teknik (*Hibbeler R C, 1997*) untuk mendapatkan beban P dapat dilakukan dengan analisa sebagai berikut



Gambar 1. Penurunan rumus beban P

$$M \text{ luar} = \frac{1}{8} q L^2 + \frac{1}{4} P L$$

$$M \text{ dalam} = F \cos \alpha \cdot e$$

$$\sigma_{tk} // = \frac{F \cdot \cos \alpha}{A} \Rightarrow F \cdot \cos \alpha = \sigma_{tk} // \cdot A$$

$A$  = luas penampang batang atas dari rangka

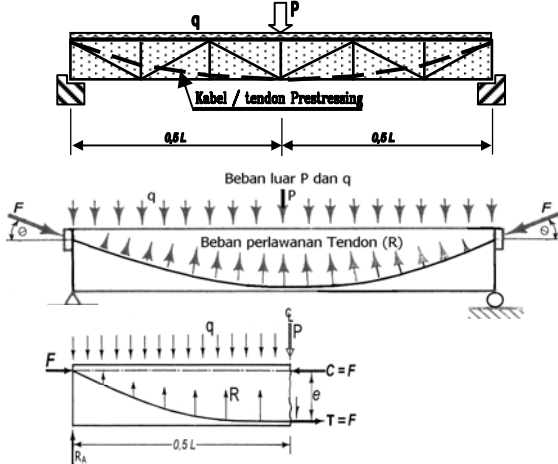
$$M \text{ dalam} = \sigma_{tk} // \cdot A \cdot e$$

Keseimbangan :  $M \text{ dalam} = M \text{ luar}$

$$\Rightarrow \sigma_{tk} // \cdot A \cdot e = \frac{1}{8} q L^2 + \frac{1}{4} P L$$

maka  $P = \frac{\sigma_{tk} // \cdot A \cdot e - \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2}{\frac{1}{4} L}$

Sedangkan untuk menentukan dimensi kabel / tendon dapat dilakukan dengan analisa sebagai berikut: (Nawi E G, 1996 )



Gambar 2. Penurunan rumus gaya T

$$\text{Momen luar} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot P \cdot l$$

$$\text{Momen dalam (Mi)} = T \times e$$

$$\text{Momen luar} = \text{Momen dalam}$$

$$\frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot P \cdot l = T \cdot e \Rightarrow \text{maka, } T = \frac{\frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot P \cdot l}{e}$$

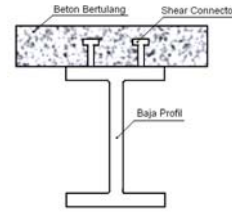
Diameter kabel (D) =  $\sqrt{1,27 \frac{T}{\sigma_{tr} \text{ kabel}}}$

Sehingga dimensi tendon/kabel didapatkan.

**Struktur Komposit**

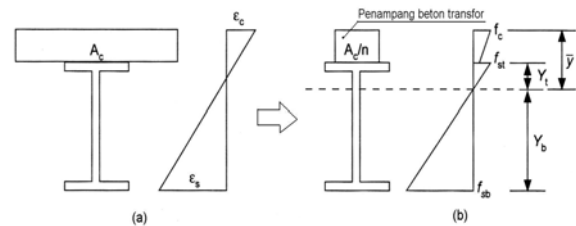
Tahun 1944 AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) mengeluarkan peraturan tentang jembatan jalan raya dengan struktur komposit. Pada jembatan ini gaya geser longitudinal ditransfer dari balok baja kepada pelat beton bertulang dengan menggunakan penghubung geser (shear connector). Hal ini mengakibatkan pelat beton tersebut akan turut

serta membantu memikul momen lentur yang timbul seperti gambar di bawah ini. (Setiawan, agus, 2008)



Gambar 3. Komposit Baja dengan Beton

Untuk dapat menghitung tegangan-tegangan pada suatu penampang komposit, diperlukan transformasi penampang umumnya penampang beton ditrasportasikan menjadi baja, namun mempunyai efek yang sama dengan beton. Gambar (6) sebuah segmen dari balok komposit dengan diagram tegangan dan regangannya.



Gambar 4. diagram tegangan dan regangan komposit

Untuk mentrasformasikan luasan beton (Ac) maka lebar efektif pelat beton dapat dibagi dengan n, sedangkan tebal beton tidak perlu diubah. Untuk menghitung tegangan, maka harus dihitung dahulu letak garis netral dan momen inersia dari penampang tersebut. Sehingga dapat dihitung besarnya lentur pada bagian atas dan bawah profil baja, dengan menggunakan persamaan :

$$f_{st} = M \cdot y_t / I_{tr}$$

$$f_{sb} = M \cdot y_b / I_{tr}$$

Dimana :  $M$  = adalah momen lentur  
 $I_{tr}$  = adalah momen  
 $y_t$  = adalah jarak dari sumbu netral ke serat atas profil baja  
 $y_b$  = adalah jarak dari sumbu netral ke serat bawah profil baja  
 $n = E_s / E_c$

Tegangan pada serat atas beton dihitung

$$f_c = \frac{M \cdot y}{n \cdot I_{tr}}$$

berdasarkan persamaan :

Lendutan yang terjadi akibat beban hidup pada steel concrete composite akan mengakibatkan terjadinya slip antara beton dengan flange dari profil. Slip ini ditimbulkan oleh adanya gaya geser sebagai akibat dari lendutan beton dan baja (*Jianguo Nie, 2003*)

$$P \cdot \tau = K \cdot S$$

$P$  = Jarak antara penghubung geser

$\tau$  = Tegangan geser

$K$  = Kekakuan geser dari penghubung geser

$S$  = Slip antara baja dengan beton

Gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser, sehingga tidak terjadi slip pada saat beban layan. Besarnya gaya geser horizontal yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 Pasal 12.6.2. :  $A_s \cdot f_y \geq 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$  atau  $\sum Q_n$ .

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot f_u$$

Dimana :  $A_{sc}$  = luas penampang penghubung geser jenis paku, mm<sup>2</sup>

$f_u$  = tegangan putus penghubung geser jenis paku, Mpa

$Q_n$  = kuat geser nominal untuk penghubung geser

## METODE PENELITIAN

### Scope Kegiatan

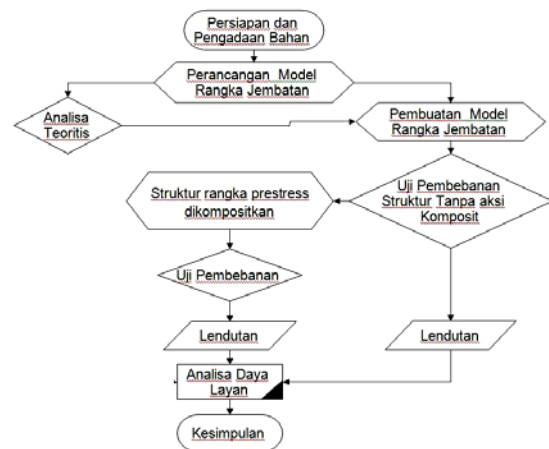
- Membuat model jembatan lengkap dengan lantainya dengan ukuran panjang 4 m dan lebar lantai 0,9m , lalu mengujinya dengan uji statis dengan cara memberikan beban bertahap diatas lantai jembatan..
- Melakukan analisa terhadap kinerja jembatan tersebut setelah melalui uji statis , dengan mengamati dan meng-evaluasi lendutan yang terjadi pada jembatan akibat beban uji tersebut.

### Metode yang diterapkan

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah dengan membuat prototipe rangka baja pratekan dengan trace tendon parabolik.

Rangka baja pratekan dikompositkan dengan beton bertulang diatasnya yang berfungsi sebagai lantai jembatan. Agar antara beton dengan rangka pratekan menyatu, maka keduanya dipasang shear connector, agar terjadi aksi komposit. Struktur gabungan ini disebut ”Composite Prestressed Truss” . Struktur diuji dengan memberikan beban sampai batas tegangan yang diijinkan. Untuk mengetahui sejauh mana peningkatan daya layannya, maka pengujian dilakukan terhadap rangka komposit dan non komposit, sebelum dan sesudah diberi perkuatan . Pengamatan dilakukan terhadap lendutan yang terjadi sesuai dengan beban yang diberikan. Pengamatan lendutan ini dilakukan dengan cara memasang dial indicator pada tengah bentang sebelum dan sesudah rangka dibebani.

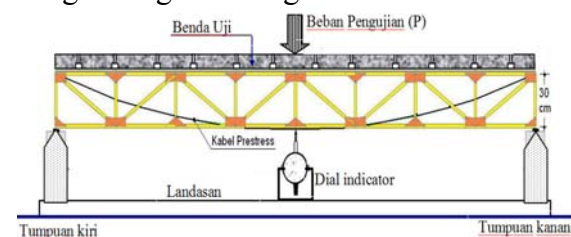
### Alur Penelitian



Gambar 5. diagram alir penelitian

### Metode Pengujian

Untuk mengetahui kemampuan rangka setelah dikompositkan, maka dilakukan pengujian dengan langkah sebagai berikut:



Gambar 6. metode pengujian

### Langkah-langkah pengujian:

1. Memasang alat uji pembebanan .
2. Memasang Perletakan benda uji .
3. Memasang rangka prestress tanpa shear connector pada perletakan
4. Memasang dial Indikator pada stand dial .
5. Melakukan pengujian pembebanan pada struktur benda uji.
6. Mencatat hasil pengujian
7. Melepaskan beban pada struktur benda uji
8. Memasang shear connector pada rangka prestress
9. Mengencangkan kabel prestress.
10. Mengukur dan Mencatat besarnya camber akibat prestress
11. Melakukan pengujian pembebanan kembali
12. Membaca kembali pembacaan dial .
13. Melakukan tabulasi terhadap hasil uji pembebanan.

### Metode Analisa Data

Analisa data dilakukan dengan cara :  
Melakukan komparasi terhadap hasil uji pembebanan struktur yang tidak dikompositkan dengan hasil uji pembebanan struktur yang telah dikompositkan, untuk mengetahui peningkatan daya layan struktur oleh akibat adanya aksi komposit pada struktur.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

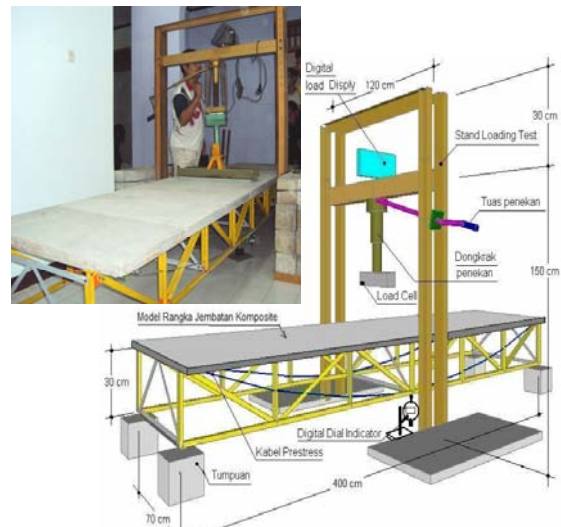
### Hasil Pembuatan Prototype

Model rangka jembatan menggunakan profil baja dobel siku berukuran 21,5 x 21,5 x 1,7 mm. Kabel yang digunakan adalah kabel lilitan dengan diameter 3 mm. Lantai jembatan menggunakan beton bertulang dengan ketebalan 4,5cm



Gambar 7. Prototype Jembatan Alat Uji Pembebanan

Alat uji beban untuk melakukan pengujian terhadap daya layan struktur digunakan "Mechanical digital loading test" dengan kapasitas 500 kg. Alat ini dilengkapi dengan tuas penekan yang digerakkan secara manual untuk mengatur besar tekanan pada "load cell" melalui dongkrak penekan. Besarnya gaya tekan yang dideteksi oleh "load cell" dapat dilihat pada layar "digital load display".



Gambar 8. Alat uji Pembebanan

### Proses Pengujian

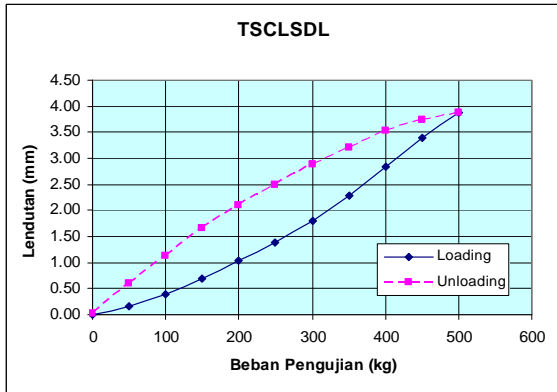
Uji pembebanan ini dilaksanakan untuk mengetahui besarnya lendutan struktur yang menerima beban lateral, pada kondisi sebelum terjadi aksi komposit dan kondisi setelah terjadi aksi komposit. Beban pengujian bervariasi dari 0 hingga 500 kg.



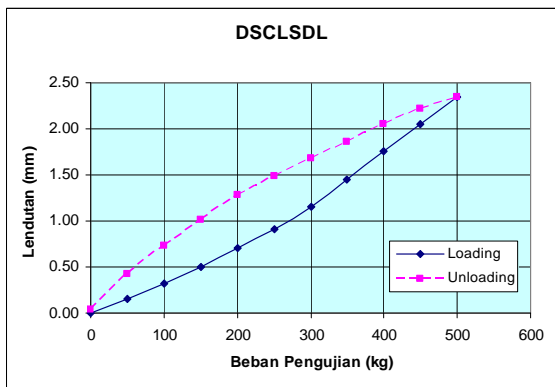
Gambar 9. Uji Pembebanan

### Hasil Pengujian Uji Pembebanan Struktur

Rangkuman data lendutan hasil uji pembebanan pada struktur rangka disajikan dalam diagram dibawah.



Gambar 10. Hasil uji struktur tanpa shear connector



Gambar 11. Hasil uji struktur dengan shear connector

**Kinerja shear connector**

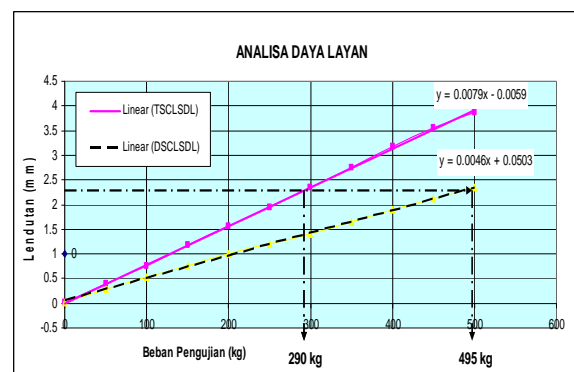
Untuk mengetahui kinerja struktur dengan shear connector, dilakukan komparasi antara lendutan hasil uji struktur tanpa shear connector dengan hasil uji struktur setelah dipasang shear connector.

Gambar 12. perbandingan hasil uji struktur tanpa shear connector dan dengan shear connector.

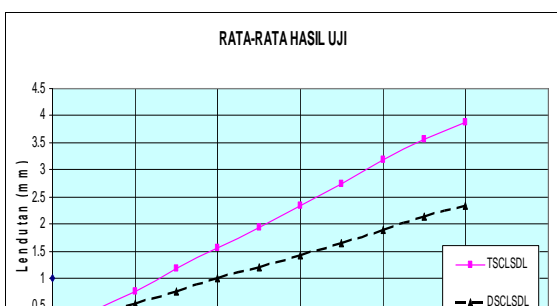
Diagram diatas menyatakan bahwa struktur yang dipasang shear connector memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar dari pada struktur yang tidak dipasang shear connector.

**Peningkatan Daya Layan**

Untuk mengetahui peningkatan daya layan yang disumbangkan oleh adanya shear connector dilakukan analisa garis trend terhadap grafik hasil uji pembebanan, yang selanjutnya garis trend tersebut digunakan untuk mencari besarnya beban yang mampu ditahan oleh struktur pada batas lendutan tertentu sebesar 2,3 mm. Besarnya peningkatan daya layan ditentukan berdasarkan perbandingan kemampuan menahan beban pada lendutan yang sama dari kedua jenis struktur tersebut.



Gambar 13 . analisa daya layan.



sebesar 495 kg, sedangkan struktur tanpa shear connector hanya mampu menahan beban sebesar 290 kg . Artinya dengan adanya shear connector struktur lebih kuat. Peningkatan daya layan yang diperoleh sebesar  $((495 - 290) / 290) \times 100\% = 71\%$ . Jadi dengan adanya shear connector kekuatan struktur meningkat sebesar 1,71 kali.

## KESIMPULAN

Shear connector penghubung antara lantai jembatan yang terbuat dari beton bertulang dengan bagian atas struktur rangka prategang mampu meningkatkan daya layan struktur sebesar 71%, atau dengan adanya shear connector kekuatan struktur meningkat sebesar 1,71 kali.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi I, 2009, *prototype Rangka Pratekan untuk Jembatan Rangka Baja Lantai Di atas*, Jakarta, PNJ.
- [2] Honing,J, 1996,*Konstruksi Bangunan Air*, Jakarta, Pradnya Paramita.
- [3] Hibbeler. R.C. 1997, *Mekanika Teknik Statika*. Jakarta ,Prenhallindo.
- [4] Jianguo Nie, 2003, *Stell Concrete Composite Beams Considering Shear Slip Effects*, Journal Of Structural Engineering, 12:495, ASCE
- [5] Naaman A, 1990, *External Prestressing in Bridges*, Michigan ,American Concrete Institute.
- [6] Nawi E.G, 1996, *Prestressed Concrete*, New Jersey USA, Prentice Hall.
- [7] Troitsky M.S., 1990,*Prestressed steel bridges*, New york.,Van Nostrand Reinhold co.
- [8] Yap F. KH, 1997, *Konstruksi Kayu*, Bina Cipta, Jakarta.
- [9] Setiawan, agus, 2008, *Perencanaan Struktur Baja denganMetode LRFD ( berdasarkan SNI 03-1729-2002)*, Erlangga : Jakarta.