

ANALISIS PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG METODE *STRESSING* SATU ARAH DAN DUA ARAH JEMBATAN BETON PRATEGANG PADA PROYEK JEMBATAN BENOWO SURABAYA

Arnolda Deru¹, Siswoyo², Miftahul Huda³

Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil¹, Dosen Program Fakultas Teknik Sipil^{2,3}
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
Jl. Dukuh Kupang XX No. 54, Kota Surabaya, 60225, Jawa Timur, Indonesia
Email : ¹nheeyarnolda@gmail.com, ²siswoyosecure@gmail.com

Abstrak. Beton prategang merupakan beton yang menerima tahanan internal berupa tegangan tekan awal yang diakibatkan oleh gabungan tendon yang ditarik dahulu sebelum menerima beban untuk mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal, dimana proses pemberian tegangan dilakukan sebelum beton dicetak (pratarik) atau setelah beton dicetak (pascatarik). Tegangan yang diberikan dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu metode *stressing* satu arah dan *stressing* dua arah. Pemberian tegangan dengan kedua metode *stressing* mengakibatkan kehilangan gaya prategang. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui besar kehilangan prategang agar dapat memprediksi kehilangan prategang jangka panjang guna mengestimasi besarnya lawan lendut. Analisis yang dilakukan yaitu dengan menghitung gaya prategang, menentukan jumlah dan lintasan tendon, menghitung kehilangan prategang metode *stressing* satu arah dan dua arah, menghitung kontrol tegangan dan lendutan pada *girder*. Jenis *girder* yang digunakan pada perhitungan ini adalah PC I *Girder*. Dari hasil analisis didapatkan hasil kehilangan prategang metode *stressing* satu arah pada PC I *girder* sebesar 24,40 %, dan kehilangan prategang metode *stressing* dua arah (ditarik bergantian) sebesar 24,12% dan metode *stressing* dua arah (ditarik bersamaan) sebesar 20,76%. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kehilangan prategang dengan menggunakan metode *stressing* dua arah khususnya yang ditarik bersamaan lebih kecil dibandingkan dengan metode *stressing* satu arah.

Kata kunci : beton prategang, metode *stressing*, satu arah, dua arah

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai atau saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Pada saat ini lebih dari 50 % jembatan dibuat dengan beton prategang, baik berupa balok pracetak dengan perletakan sederhana, struktur menerus dengan gelagar profil dan *box* maupun *cable stayed*.

Prinsip beton prategang yaitu pemberian tegangan awal pada bagian bawah penampang, yaitu dengan memberikan tegangan lawan dari tegangan akibat berat sendiri dan beban hidup dengan memberikan penarikan kabel pada *girder*, dimana sebelum dibebani tegangan adalah negatif, dan setelah dibebani menjadi positif. (Troitsky, M, S, 1990).

Penarikan baja prategang dilakukan dengan dua cara yaitu dilakukan sebelum pencoran beton (*pre tensioning*) dan setelah beton mengeras (*post tensioning*). Perbedaan penarikan ini akan berpengaruh terhadap luas penampang yang digunakan pada perhitungan tegangan yang

terjadi baik tahap *initial stage* atau *final stage*. (Supriyadi, 2007).

Salah satu tahapan perhitungan yang penting dalam perhitungan konstruksi beton prategang yaitu memperhitungkan besarnya kehilangan prategang (*loss of prestress*). Besarnya kehilangan prategang menentukan seberapa besar gaya yang diperlukan untuk pemberian prategang agar struktur beton prategang mampu memikul beban-beban yang direncanakan secara efektif. Kesalahan dalam perkiraan kehilangan prategang mempunyai efek yang besar terhadap tingkat pelayanan (*serviceability*) dari struktur beton prategang. (Darmawan, 2008)

Tegangan tendon beton prategang berkurang secara kontinyu seiring dengan waktu total. Berkurangnya tegangan disebut kehilangan prategang total. Kehilangan prategang total menjadi faktor utama yang mengganggu perkembangan awal beton prategang. (Supriyadi, 2007)

Kesulitan di dalam memprediksi kehilangan prategang jangka panjang total secara akurat menyebabkan lebih sulitnya mengestimasi besarnya lawan-lendut dengan tepat. Ketepatan

ANALISIS PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG METODE *STRESSING* SATU ARAH DAN DUA ARAH JEMBATAN BETON PRATEGANG PADA PROYEK JEMBATAN BENOWO SURABAYA

(Arnolda Deru, Siswoyo, Miftahul Huda)

menjadi hal yang lebih sulit lagi di dalam sistem beton prategang parsial di mana retak yang terbatas diperkenankan terjadi dengan penggunaan tambahan penulangan nonprategang. (Nawy,2001)

Pada penelitian ini digunakan beton prategang atau girder jembatan baru pada lokasi Jalan Sememi Benowo Surabaya dengan panjang bentang jembatan 60 m dengan analisis perhitungan untuk kehilangan prategang akibat *stressing* pada girder yang diakibatkan oleh perpendekan elastis beton, gesekan pada tendon, akibat slip ankur, rangkai beton, susut beton dan akibat relaksasi baja yang dibandingkan melalui perhitungan satu arah dan dua arah.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, maka rumusan masalahnya adalah :

- 1) Berapa besar kehilangan gaya prategang akibat metode *stressing* ?
- 2) Bagaimana perbandingan kehilangan prategang akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jembatan

Menurut surat edaran menteri pekerjaan umum dan perumahan rakyat nomor 07/SE/M/2015, jembatan adalah bangunan pelengkap jalan yang difungsikan sebagai penghubung dan ujung jalan yang terputus sungai, saluran, lembah dan selat atau laut, jalan raya dan jalan kereta api dan lain lain.

2.2 Pembebanan Jembatan

Beban yang bekerja pada desain struktur girder pada penelitian ini mengacu pada RSNi T-02-2005. Beban yang bekerja adalah :

- 1) Berat Sendiri

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen struktural lain yang dipikulnya.

- 2) Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas sebagai perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar lajur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya.

- 3) Gaya Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

1.25% dari berat gandar truk desain

2.5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

- 4) Beban Angin

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan.

- 5) Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang penentuannya berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (Csm) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan factor modifikasi respon (Rd).

2.3 Beton Prategang

Beton prategang merupakan beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga bisa mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. (ACI)

2.3.1 Material Beton Prategang

- 1) Beton

Beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran (*admixture*). (SNI 2847:2013).

- 2) Baja Prategang

Baja prategang adalah elemen baja mutu tinggi seperti kawat, batang, atau *strand*, atau bundel elemen seperti itu, yang berfungsi sebagai penyalur gaya prategang ke beton.

(SNI 2847:2013).

- 3) Grouting

Grouting adalah bahan pengisi selubung baja prategang (tendon) pada beton prategang yang menggunakan metode pascatarik

(SNI 2847:2013).

- 4) Selubung (*Sheathing*)

Selubung adalah material baja prategang sebagai pencegah lekatan baja prategang dengan beton yang mengelilinginya

menyediakan perlindungan korosi dan mengandung pelapis (*coating*) pencegah korosi.

2.4 Metode Prategang

1) Pemberian Pratarik (*Pretension*)

Pada metode pratarik, penarikan tendon sebelum beton dicor. Setelah beton cukup keras tendon dipotong dan gaya prategang akan tersalur ke beton melalui lekatan. Sebutan pratarik berarti pemberian pratarik pada baja prategang, bukan pada baloknya. Pemberian pratarik biasanya dilakukan di lokasi pembuatan beton.

2) Pemberian Pascatarik (*Post Tension*)

Pada metode pascatarik, penarikan tendon setelah beton dicor. Sebelum pengecoran, terlebih dahulu dipasang selongsong untuk alur dari tendon. Setelah beton jadi, tendon dimasukkan ke dalam beton melalui selubung tendon yang sebelumnya sudah dipasang ketika pengecoran. Penarikan dilakukan setelah beton mencapai kekuatan yang diinginkan. Setelah penarikan, selongsong diisi dengan bahan *grouting*.

2.5 Perhitungan Struktur Beton Prategang

2.5.1 Gaya Prategang

Besar tegangan maksimum pada serat penampang dapat dihitung menggunakan rumus : (SNI 2847 : 2013)

$$\sigma = -\frac{P}{A} \pm \frac{P}{w} \pm \frac{M}{w}$$

2.5.2 Tegangan Izin Beton Prategang (SNI 2847 : 2013)

Tegangan izin beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang tidak boleh melampaui nilai berikut :

- Tegangan izin serat tekan = $0,6 \times f'c$ (awal)
- Tegangan izin serat tarik = $0,5 \times \sqrt{f'c}$ (awal)

Tegangan pada beton saat beban layan (setelah mengalami semua kehilangan prategang) tidak boleh melampaui nilai berikut :

- Tegangan izin serat tekan = $0,45 \times f'c$
- Tegangan izin serat tarik = $0,5 \times \sqrt{f'c}$

2.5.3 Kontrol Lentutan

Dalam menentukan nilai *camber* digunakan rumus berikut :

$$c = \frac{5.P.j.e.L^2}{48.Ec.I}$$

2.5.4 Lintasan Inti Tendon

Dalam menentukan lintasan inti tendon digunakan rumus sebagai berikut :

$$Y = \left(\frac{4.fi.X}{L^2} \right) (L-X)$$

2.5.5 Sudut Angkur

Rumus menentukan sudut angkur :

$$\alpha = \text{ATAN} \left(\frac{dy}{dx} \right)$$

$$\text{dengan : } \frac{dy}{dx} = \frac{4fi(L-2X)}{L^2}$$

2.5.6 Tata Letak dan *Trace* Tendon

Rumus menentukan tata letak dan *trace* tendon :

$$z_i = z_i' - \left[\left(\frac{4fi.X}{L^2} \right) X(L-X) \right]$$

2.5.7 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang yaitu pengurangan gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap pembebanan. Kehilangan prategang tendon untuk setiap waktu harus diambil sebagai jumlah kehilangan seketika dan kehilangan yang tergantung waktu, baik dalam jangka pendek ataupun jangka panjang.

Jenis kehilangan prategang yang harus diperhitungkan adalah :

- Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton :

$$\Delta f_{ES(a,b)} = n.f_{Cr(a,b)}$$

- Kehilangan Prategang akibat Gesekan Tendon :

$$F_s = P_j.e^{(\mu\alpha+KL)}$$

- Kehilangan Prategang akibat Slip Angkur :

$$\Delta f_s = \epsilon_s . E_s$$

- Kehilangan Prategang akibat Rangkak pada Beton :

$$\Delta f_{CR} = C_t.n.f_c$$

- Kehilangan Prategang akibat Susut pada Beton :

$$\Delta f_{sh} = K_{sh} . \epsilon_{sh} . E_s$$

- Kehilangan Prategang akibat Relaksasi Baja :

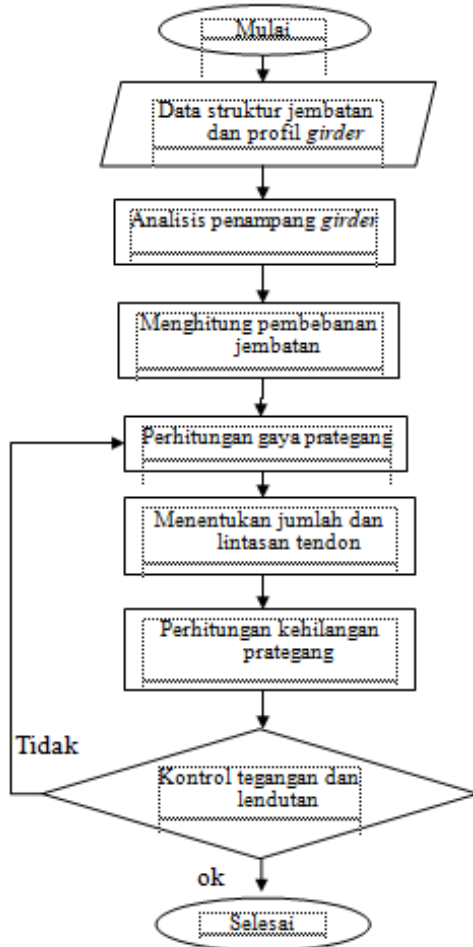
$$\Delta f_{RE} = \{ K_{RE} - J (\Delta f_{SH} + \Delta f_{CR} + \Delta f_{ES}) \} C$$

III. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian tugas akhir ini merupakan studi kasus untuk melakukan perhitungan kehilangan gaya prategang pada jembatan beton prategang jalan Sememi, Benowo, Surabaya. Kehilangan gaya prategang yang dihitung, diakibatkan oleh metode *stressing* yang dibandingkan melalui satu arah dan dua arah.

ANALISIS PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG METODE STRESSING SATU ARAH DAN DUA ARAH JEMBATAN BETON PRATEGANG PADA PROYEK JEMBATAN BENOWO SURABAYA
(Arnolda Deru, Siswoyo, Miftahul Huda)

3.1 Diagram Penelitian



Gambar 1 Diagram alir penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Menentukan data struktur jembatan dan profil girder
2. Menghitung analisis penampang girder
3. Menghitung pembebanan pada jembatan
4. Menentukan gaya prategang
5. Menentukan jumlah dan lintasan tendon
6. Menghitung kehilangan prategang akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah
7. Menghitung kontrol tegangan dan lendutan
8. Menyimpulkan bagaimana perbedaan kehilangan prategang akibat kedua metode *stressing*.

3.3 Data Struktur

Data struktur desain jembatan:

- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| a. Bentang Jembatan | : 60 m |
| b. Lebar Jembatan | : 6 m |
| c. Jumlah Jalur | : 2 jalur |
| d. Lebar Jalur | : 3 m |
| e. Pagar tepi | : Lebar : 1.5 m
Tinggi: 1.8 m |
| f. Tebal plat lantai jembatan | : 0.20 m |
| g. Tebal aspal | : 0.05 m |

3.4 Dimensi Girder

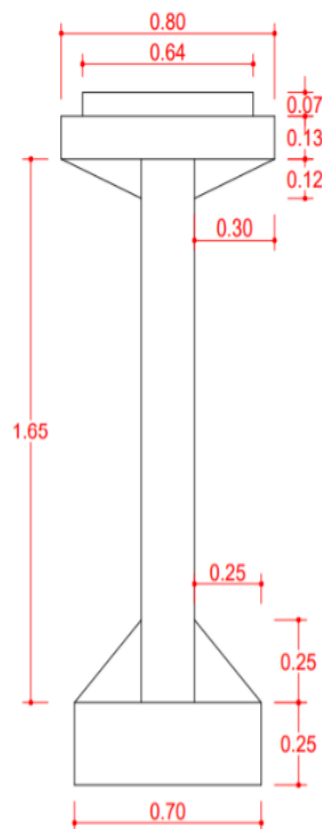
PC I Girder

- | | |
|--------------|--------------------------|
| Span | : 60 m |
| Beam Spacing | : 180 cm |
| Mutu Beton | : 500 kg/cm ² |
| Mutu Baja | : 240 Mpa |

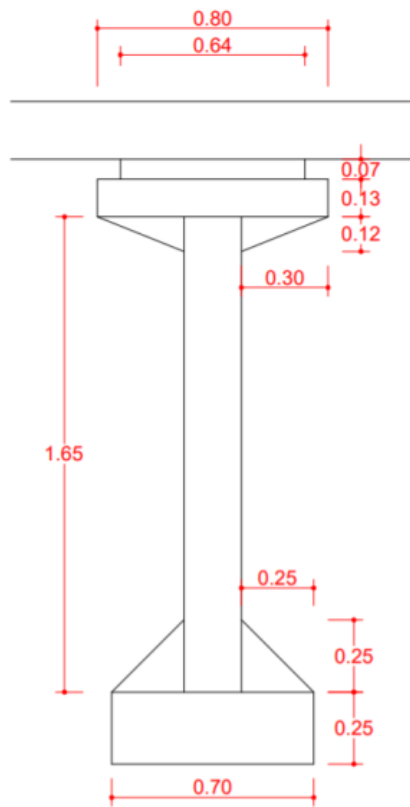
IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Penampang

Analisis penampang dibutuhkan untuk mengetahui luas, titik berat, momen inersia dan modulus *section* pada balok, baik balok *precast* maupun balok komposit.



Gambar 4.1 Dimensi Balok Prategang
Sumber : Wika Beton



Gambar 2 Dimensi Balok Komposit
Sumber : wika beton

Analisis penampang pada girder dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Analisa Penampang

Ket	PC I Girder	Balok Komposit
A (m ²)	0.7523	0.9883
y _b (m)	1.0157	1.2988
y _a (m)	1.0843	1.0012
I (m ⁴)	0.4148	0.6669
w _a (m ³)	0.3826	0.6661
w _b (m ³)	0.4083	0.4661

Sumber : Olahan peneliti

4.2 Pembebanan Jembatan

Dari perhitungan kombinasi beban layan untuk PC I Girder didapatkan hasil perhitungan kombinasi momen terbesar yaitu :
Mu = 23660,108 kN

4.3 Gaya Prategang dan Jumlah Tendon

Jenis kabel yang digunakan *uncoated 7 wire super strands*, ASTM A-416 grade 270 dengan spesifikasi diameter standar 1,27 cm, modulus elastisitas 1960000 Mpa.

- Titik berat tendon (z_o) = 0.135 m
- Eksentrisitas tendon (e_s) = 0.8807 m
- Momen beban sendiri (M_{bs}) = 8463.15 kNm
- Gaya Prategang awal (P_t) = 14079 kN
- Jumlah tendon rencana (n_t) = 5.81 = 6 tendon
- Jumlah *strand* tiap tendon (n_s) = 112.94 = 114 *strands*
- Teg. Leleh *strand* (f_{py}) = 1580 Mpa
- Gaya Prategang *Jacking* (P_j) = 16563.32 kN

4.4 Posisi Tendon

Jarak posisi tendon pada girder dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2 Posisi Tendon dari Sisi Bawah Girder

Baris Tendon	Tengah bentang	Tumpuan
1	400	1250
2	300	1050
3	200	850
4	100	650
5	100	450
6	100	250

Sumber : Olahan peneliti

4.5 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang pada girder akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Kehilangan Prategang

Kehilangan Prategang	Metode <i>Stressing</i>		
	Satu Arah (%)	Dua Arah (%)	
		Ditarik bergantian	Ditarik bersamaan
Permendekan elastis beton	3.010	2.76	1.594

ANALISIS PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG METODE STRESSING SATU ARAH DAN DUA ARAH JEMBATAN BETON PRATEGANG PADA PROYEK JEMBATAN BENOWO SURABAYA
(Arnolda Deru, Siswoyo, Miftahul Huda)

Gesekan Tendon	0.8260	0.8260	0.8260
Slip Angkur	0.0061 7	0.00617	0.00617
Rangkak beton	12.4	12.4	12.4
Susut beton	0.0233	0.0233	0.0233
Relaksasi Baja	7.92	7.92	8.07
Tot.Kehilangan prategang	24.40	24.12	23.54

Sumber : Olahan Peneliti

4.6 Kontrol Chamber

Keadaan Awal = 370 mm (ke atas)

Keadaan akhir = 272.62 mm (ke atas)

4.7 Kontrol Tegangan dan Lendutan

Kontrol Tegangan izin dan lendutan pada *girder*
Tegangan beton sesaat penyaluran gaya prategang

Tegangan serat atas = -0.9043 Mpa < 2.8810 Mpa

Tegangan serat bawah = 18.839 Mpa < 19.92 Mpa

Tegangan beton pada Kondisi Beban Layan
Tegangan Serat atas = 14.701 Mpa < 18.675 Mpa

Tegangan Serat Bawah = -6.07 Mpa < 3.221 Mpa

Kontrol Lendutan

Kondisi Awal = 22.47 mm < tegangan izin (240 mm)

Kondisi akhir = -316 < 240 mm

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil kehilangan prategang metode *stressing* satu arah pada PC I *girder* sebesar 24,40 %, dan kehilangan prategang metode *stressing* dua arah (ditarik bergantian) sebesar 24,12% dan metode *stressing* dua arah (ditarik bersamaan) sebesar 20,76%, Kehilangan prategang dengan menggunakan metode *stressing* dua arah khususnya yang ditarik bersamaan lebih kecil dibandingkan dengan metode *stressing* satu arah, sehingga metode yang dianjurkan atau yang paling efektif digunakan dalam konstruksi yaitu metode *stressing* dua arah yang ditarik bersamaan.

5.2 SARAN

1. Diperlukan analisis penelitian lebih lanjut dengan meninjau kekuatan penampang beton prategang akibat geser dan puntir.
2. Dapat dilakukan penelitian serupa pada jembatan dengan struktur statis tak tentu.
3. Dalam hal pemilihan metode *stressing* pada pelaksanaan jembatan, sebaiknya tidak hanya melihat dari segi analisis struktur, tetapi juga dapat di analisis dari segi pemakaian alat, kemudahan dalam pelaksanaan, biaya, kondisi lingkungan, waktu, pekerja dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2005. RSNI T-02-2005 *Pembebanan untuk Jembatan*
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. SNI 2847:2013 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*
- Ilham, M. N, 2008. *Perhitungan Balok Prategang (PC-I Girder)*. Yogyakarta
- Kojongian,Dapas,Wallah, 2018. Desain Struktur Balok Beton Prategang Untuk Bangunan Industri *Vol.6 No.11 Jurnal Sipil Statik*
- Nyaman,Sutarja, 2006.Pengaruh Rangkak, Susut dan Relaksasi Baja Terhadap Lendutan Balok Jembatan Komposit Beton Prategang *vol. 10 No.1 Jurnal Imliah Teknik Sipil*
- Miswar,Devinta, 2018.Perencanaan Gelagar Beton Prategang Pada Jembatan Pucok Alue, Kec.Baktiya Kab.Aceh Utara *Vol.10 No.2 Jurnal Teknik Sipil*