

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang Masalah

Secara umum jembatan merupakan infrastruktur yang penting di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan salah satu negara tropis yang terdiri atas pulau-pulau besar dan kecil yang berjumlah sekitar 17.000 pulau. Dengan memperhatikan kondisi alam Indonesia jembatan berfungsi sebagai penghubung antar daerah yang dipisahkan sungai, jurang, lembah, kanal, bahkan laut ataupun fasilitas-fasilitas umum seperti jalan tol atau jalan raya. Jembatan yang sering kita jumpai di Indonesia menggunakan struktur rangka. Jenis jembatan ini dibagi lagi menjadi jembatan rangka atas dan jembatan rangka bawah. Jembatan rangka terdiri dari batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan perantara titik-titik simpul yang berupa sendi tanpa gesekan. Gaya-gaya luar hanya bekerja pada titik-titik simpul rangka.

Perkembangan teknologi dibidang struktur menciptakan beragam macam bahan pada konstruksi jembatan yang tentunya bisa diterapkan dengan metode *Camber*. Sejarahnya jembatan terbuat dari kayu yang difungsikan untuk menyeberangi sungai kecil di Kota Roma, yang berawal dari tumbangnya pohon ke arah melintang sungai. Kemudian oleh warga setempat digunakan sebagai media penyeberangan. Pada abad ke-18 mulai banyak pembaruan dan pembuatan jembatan kayu baru oleh Hans Ulrich dan Johannes Grubenmann. Jenis jembatan kayu memiliki nilai lebih terutama dari segi artistiknyanya yang tidak dimiliki oleh jembatan berbahan dasar lain; seperti baja, beton komposit dan model *cable stayed* untuk bentang panjang. (<http://en.wikipedia.org/wiki/bridge>, akses: 6 Juli 2009).

Dilihat dari segi bahan kayu mempunyai kekuatan tinggi sesuai dengan kelas kayunya. Begitu juga dilihat dari segi estetika jembatan kayu lebih bernilai tinggi karena mempunyai alur yang unik. Seperti halnya pada model jembatan B-Bone yang telah lolos seleksi Kompetisi Jembatan Nasional V kategori jembatan kayu pada 9 Agustus 2009 di Politeknik Negeri Jakarta, Depok. Namun, jembatan ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga perlu adanya kajian ulang mengenai desain konstruksi dan kekuatannya menahan beban. Mengingat hasil uji beban di lapangan jembatan B-Bone masih belum bisa mendapat kategori jembatan terkokoh.

Atas dasar pemikiran di atas, penulis tertarik untuk melakukan analisis ulang terhadap struktur jembatan B-Bone namun dalam ukuran sebenarnya. Penelitian ini menggunakan metode *Camber* guna mengetahui pengaruh metode tersebut terhadap penurunan lendutan dan gaya geser.

### 1.2. Batasan Masalah

Permasalahan dalam skripsi ini hanya difokuskan pada perilaku struktural model jembatan rangka terhadap lendutan dan gaya geser ketika diterapkan metode *Camber*. Oleh karena itu ada pembatasan terhadap permasalahan yang terjadi. Batasan masalah dalam skripsi ini adalah tidak membahas masalah ekonomi yang terjadi, susut pada material kayu, sambungan pada struktur jembatan, analisis tumpuan serta pengaruh perubahan temperatur pada model jembatan.

### 1.3. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah :

1. Pengaruh metode *Camber* terhadap jembatan rangka ruang B-Bone ditinjau dari selisih penurunan lendutan;
2. Pengaruh metode *Camber* terhadap jembatan rangka ruang B-Bone ditinjau dari perubahan gaya batang akibat beban-beban yang diberikan.

### 1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan skripsi ini adalah :

1. Untuk mengetahui besarnya selisih lendutan akibat penggunaan metode *Camber* pada jembatan rangka ruang B-Bone;
2. Untuk mengetahui perubahan gaya batang akibat penggunaan metode *Camber* pada jembatan rangka ruang B-Bone.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Semakin berkembang pesatnya teknologi jembatan tidak lepas dari sejarah jembatan itu sendiri. Jembatan pertama kali terbuat dari kayu yang difungsikan untuk menyeberangi sungai kecil di kota Roma, yang berawal dari tumbangnya pohon ke arah melintang sungai. Kemudian oleh warga setempat digunakan sebagai media penyeberangan. Pada abad ke-18 mulai banyak pembaruan dan pembuatan jembatan kayu baru oleh Hans Ulrich dan Johannes Grubenmann. Jenis jembatan kayu memiliki nilai lebih terutama dari segi artistiknyanya yang tidak dimiliki oleh jembatan berbahan dasar lain. (<http://en.wikipedia.org/wiki/bridge>, akses: 6 Juli 2009).

Pembangunan jembatan bertujuan untuk membentuk kehidupan masyarakat secara merata dalam kemajuan perekonomian, yang diantaranya sebagai sarana penghubung untuk perdagangan, transportasi dan juga pertukaran sosial budaya. Tentu saja hal ini tidak terlepas dari keberadaan jembatan sebagai salah satu prasarana transportasi yang dapat mendukung mobilitas tersebut. (Yvnone, 2009).

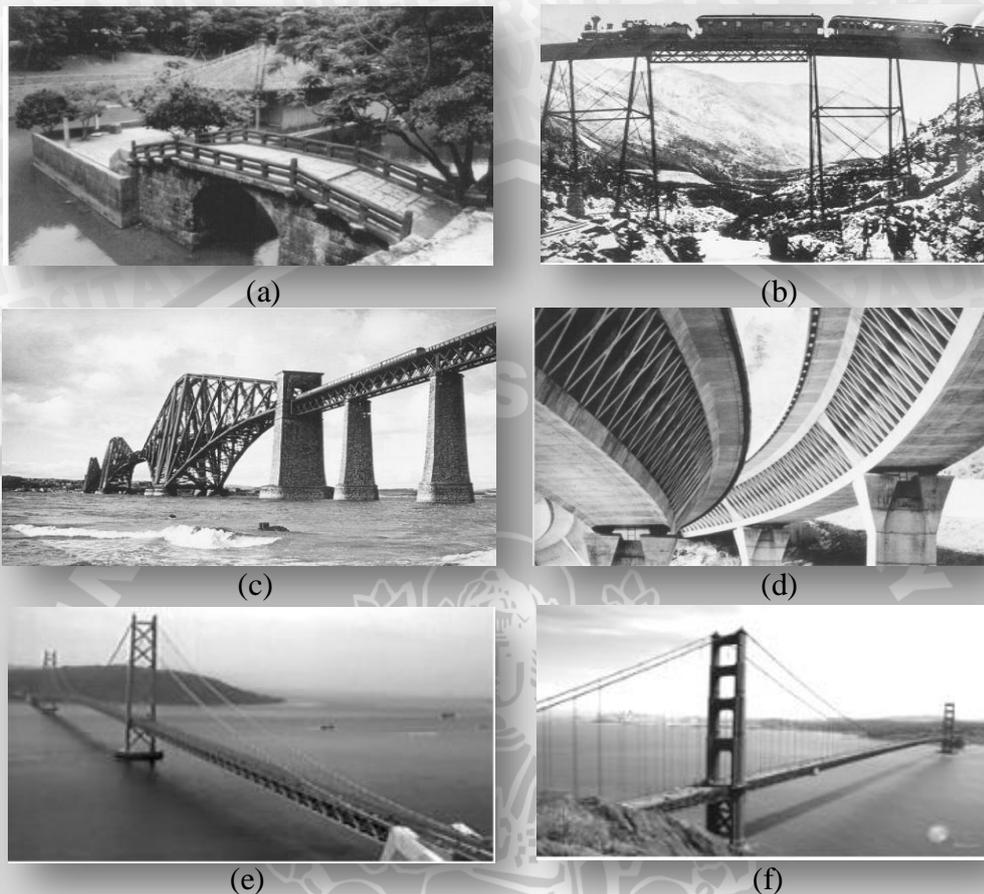
Maka dari itu pendesain bertujuan mempertahankan umur jembatan sesuai teori posisinya, dengan cara tersebut menjamin *actual stress* mendekati *design stress*. Pentingnya metode *Camber* pada konstruksi jembatan yaitu untuk mendukung tercapainya tujuan para pendesain. (Precast Prestress Concrete Institute, 1997). Gambar 2.1 merupakan contoh jembatan yang menggunakan metode *Camber*.



**Gambar 2.1** Jembatan Woodrow Wilson, Washington, D.C.  
Sumber : Chen & Duan (2000).

Dengan perkembangan teknologi yang ada ternyata metode *Camber* selalu digunakan dalam perancangan jembatan. Hal ini membuktikan bahwa metode ini

sangat penting. Gambar 2.2 merupakan foto jembatan di berbagai negara yang menggunakan metode *Camber*.



**Gambar 2.2** Jembatan yang menggunakan metode *Camber*: ( a ) Jembatan Tennyson-Bashi, ( b ) Jembatan Devil's Gate, ( c ) Jembatan Forth, ( d ) Jembatan Sylans, ( e ) Jembatan Akashi Kaikyo, ( f ) Jembatan Golden Gate.

Sumber : Chen & Duan (2000)

## 2.2. Model Jembatan B-Bone

Jembatan B-Bone adalah jembatan rangka ruang bawah (lalu lintas atas) yang menggunakan satu gelagar utama pada bagian bawah. Model jembatannya sudah dilombakan pada Kompetisi Jembatan Indonesia V di Politeknik Negeri Jakarta. Secara desain jembatan ini mempunyai keunikan tersendiri karena memperhatikan optimalisasi jumlah batang dan tetap menjaga kekokohan struktural.

Pada jembatan model ini kami memakai konsep struktur rangka ruang. Satu tipe yang menarik untuk menjadi inspirasi dan diterapkan pada jembatan B-Bone, yaitu tipe struktur rangka ruang sistem Stephane Du Chateau (SDC) seperti pada Gambar 2.3. Sistem SDC ini menarik karena elemen yang dipakai adalah unit dengan bentuk piramid yang disatukan. Dengan perkataan lain, 8 elemen batang disatukan dengan 5

elemen titik simpul hingga menjadi satu kesatuan yang kokoh dan kuat, dalam bentuk piramid. Keuntungan lain menggunakan struktur rangka ruang antara lain relatif lebih ringan dan pengurangan beban struktur dalam satu rangkaian sistem. (Yvone, 2009).



**Gambar 2.3** Rangka Ruang *SDC* bentuk piramid terbalik pada model Jembatan B-Bone.

Sumber : Yvone (2009)

Gaya-gaya yang timbul pada batang suatu rangka batang ruang dapat diperoleh dengan meninjau keseimbangan ruang potongan rangka batang ruang tersebut. Jelas bahwa persamaan statika yang digunakan harus merupakan bentuk lengkap dari persamaan yang telah dibahas yaitu untuk benda tegar tiga dimensi. Persamaan yang dimaksud adalah:

$$\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma F_z = 0, \Sigma M_x = 0, \Sigma M_y = 0, \Sigma M_z = 0 \quad (2-1)$$

(Schodek, 1998).

## 2.3. Analisis dan Pembebanan

### 2.3.1. Kriteria analisis dan desain

Dalam melakukan analisis maupun desain struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai ukuran maupun untuk menentukan apakah struktur tersebut dapat diterima untuk penggunaan yang diinginkan atau untuk maksud desain tertentu. Kriteria-kriteria lain yang penting diantaranya kemampuan layan (*serviceability*), efisiensi, tinjauan konstruksi yaitu kemudahan pelaksanaan di lapangan, dan harga yang ekonomis. (Schodek, 1998).

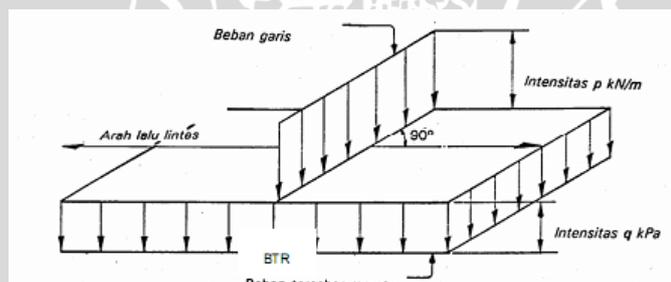
### 2.3.2. Beban-beban pada struktur

Beban pada analisa ini, dibagi menjadi dua yaitu beban primer dan beban sekunder. Beban primer adalah beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Sedangkan beban sekunder adalah beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan.

Pada kondisi di lapangan terjadi dua tahapan dalam pembebanan, yaitu pada saat pelaksanaan konstruksi dan pasca pelaksanaan konstruksi. Pada pelaksanaan konstruksi beban primer terdiri dari berat sendiri rangka jembatan, sambungan (pelat penyambung dan alat sambung), pelat lantai kendaraan, dan pekerja. Sedangkan berat sekunder terdiri dari beban angin saja.

Pada pasca pelaksanaan konstruksi beban primer pada pembebanan sebelumnya ditambah beban hidup yaitu beban lajur "D". Penjelasan nya bisa dilihat pada kutipan RSNI – T – 02 – 2005 berikut:

*Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Tipe jembatan adalah untuk lalu lintas sedang dan dibuat dua lajur. Dengan skema distribusi beban adalah :*



**Gambar 2.4** Beban hidup (BTR dan BGT).

Jembatan B-Bone merupakan jembatan satu lajur. Pada analisa beban lajur "D" menggunakan faktor beban ultimit, sehingga beban lajur "D" dikalikan 1,8. Sedangkan beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa, dimana besarnya  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$ . Pada jembatan B-Bone  $L \leq 30$  m maka  $q = 9,0$  kPa. Beban garis (BGT) dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $p$  adalah 49,0 kN/m.

Beban sekunder pada pasca pelaksanaan konstruksi merupakan pembebanan sebelumnya. Apabila suatu kendaraan sedang di atas jembatan, beban garis merata

tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_{EW} = 0,0012 C_W (V_W)^2 A_b \text{ [kN]} \quad (2-2)$$

dengan :

$C_W$  = Koefisien seret

$V_W$  = Kecepatan angin rencana (m/s)

$A_b$  = Luas ekuivalen bagian samping jembatan ( $m^2$ )

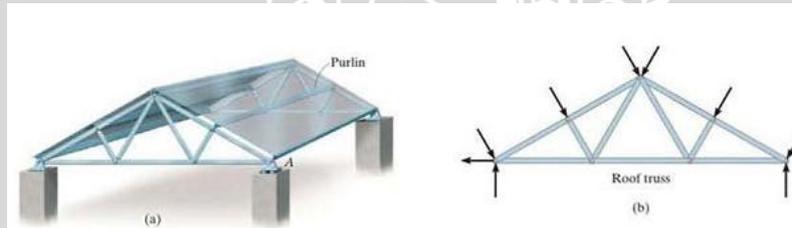
Dengan pengertian:

$$C_W = 1.2 \quad (2-3)$$

## 2.4. Statika

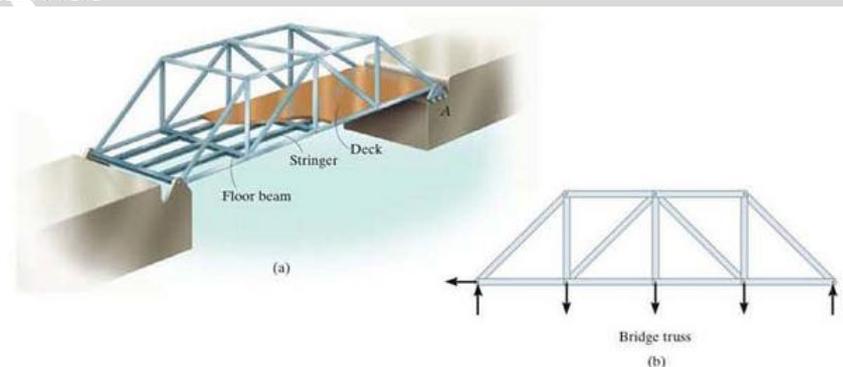
### 2.4.1 *Simple trusses* (Rangka batang sederhana)

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linear yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya. Setiap elemen tersebut pada titik hubung sendi. Batang-batang disusun sedemikian rupa sehingga semua beban dan reaksi hanya terjadi pada hubungan titik tersebut. Pada gambar di bawah adalah contoh atap rangka, analisa pembebanan dan gaya batangnya berlaku dua dimensi.



**Gambar 2.5** Atap rangka, (a) Tumpuan atap rangka, (b) pembebanan dua dimensi.

Sumber : Hibbeler.



**Gambar 2.6** Jembatan rangka, (a) Penyaluran beban pada jembatan, (b) pembebanan dua dimensi.

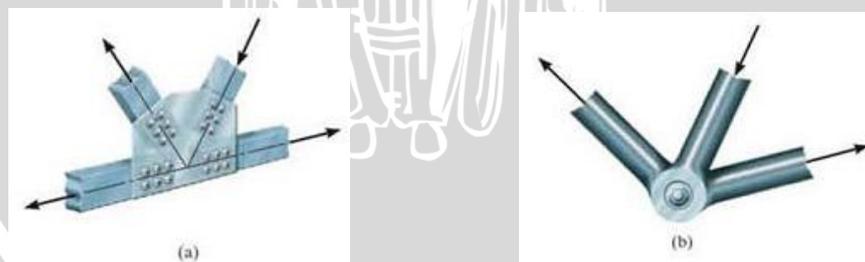
Sumber : Hibbeler.

Pada jembatan seperti pada Gambar 2.6, beban kendaraan di dek jembatan disalurkan ke balok yang kemudian disalurkan ke rangka utama dan berakhir di tumpuan. Seperti atap rangka, pembebanan pada jembatan rangka di atas juga sebidang.

Ketika jembatan atau atap rangka memanjang akibat deformasi sehingga melebihi panjang bentang sebenarnya, tumpuan *roll* biasanya digunakan di salah satu ujung bentang, seperti tumpuan *A* pada Gambar 2.5(a) dan 2.6(a). Tipe tumpuan ini mengijinkan batang bebas memanjang akibat pemuaian atau pembebanan.

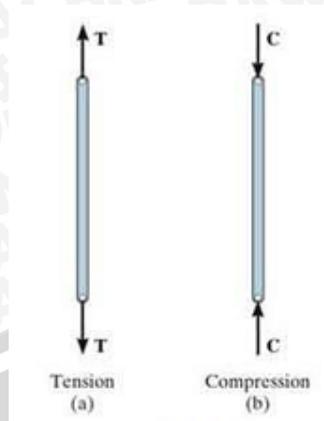
Dalam mendesain sambungan batang pada struktur rangka, ada dua asumsi yang harus diperhatikan:

- Semua beban ditempatkan langsung pada titik simpul. Pada berbagai desain rangka, seperti pada jembatan dan atap rangka, asumsi ini benar. Sering kali berat sendiri batang diabaikan karena daya dukung masing-masing batang cukup besar ketika profilnya besar dan berat. Namun, apabila berat sendiri dimasukkan dalam analisis, umumnya digunakan untuk mencari gaya vertikal, diambil dari setengah bentang dan dianalisis pada masing-masing ujung batang.
- Batang disambung dengan titik simpul sendi. Titik simpul biasanya dibentuk dari sambungan baut atau las yang menyambungkan dua ujung batang dengan pelat sambung. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.7(a) atau baut yang lebih besar pada Gambar 2.7(b). Kita bisa mengasumsikan sambungan tersebut adalah sendi dari pertemuan garis-as, pada pertemuan batang yang sama seperti pada Gambar 2.7 (a) dan (b).



**Gambar 2.7** Sambungan baut, (a) Sambungan baut dengan pelat, (b) sambungan baut tanpa pelat.

Sumber : Hibbeler.



**Gambar 2.8** Gaya batang, (a) Gaya tarik, (b) gaya tekan.  
Sumber : Hibbeler.

Berdasarkan dua asumsi tersebut, masing-masing batang mengalami dua gaya batang, sehingga gaya aksi di ujung batang disalurkan sepanjang sumbu batang. Jika gaya cenderung memanjangkan batang, maka gaya tersebut adalah gaya tarik atau *tensile force* ( $T$ ), seperti pada Gambar 2.8(a). Jika gaya cenderung memendekkan batang, maka gaya tersebut adalah gaya tekan atau *compressive force* ( $C$ ), seperti pada Gambar 2.8(b). Batang tekan harus dibuat lebih tebal daripada batang tarik sebab *buckling* atau tekuk seperti pada efek kolom juga terjadi pada batang tekan. (Hibbeler).

Cara menghitung gaya-gaya batang yang diakibatkan oleh beban luar pada konstruksi rangka batang statis tertentu dalam dan luar:

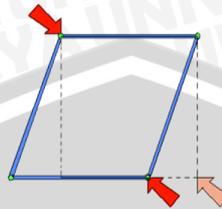
1. Metode kesetimbangan titik pertemuan (*method of joint*),
2. Diagram Cremona,
3. *Method of section* (metode potongan)
  - dipergunakan untuk mengecek kebenaran hasil diagram Cremona
  - dapat dilaksanakan dengan 2 cara:
    - (a) cara analitis (disebut cara Ritter)
    - (b) cara grafis (disebut cara Cullman)

(Gunawan & Margareth, 1997)

Jembatan B-Bone merupakan jembatan rangka ruang sehingga akan lebih mudah menganalisa gaya batang dengan *software STAAD.Pro*. Berikut ini adalah konsep penting yang ada pada struktur rangka batang (*trusses*):

a. Konsep triangulasi

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga hingga menjadi bentuk stabil.



**Gambar 2.9** Struktur yang tidak stabil.

Sumber : Yyvone (2009).

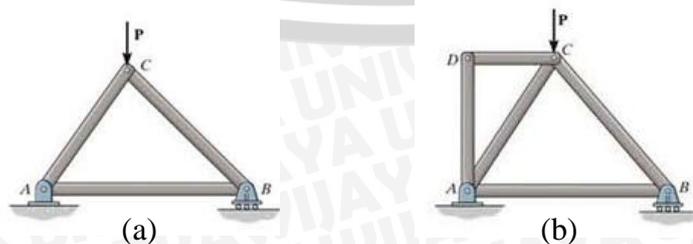
Struktur pada gambar 2.9 adalah struktur yang tidak stabil yang dapat membentuk mekanisme runtuh (*collapse*) apabila dibebani. Pada struktur tersebut, perubahan bentuk struktur akan dapat terjadi dengan mudah tanpa adanya perubahan bentuk pada batang (batang tidak memanjang, melengkung, ataupun memendek). (Schodek, 1998).



**Gambar 2.10** Struktur triangulasi.

Sumber : Yyvone (2009).

Sebaliknya, struktur rangka batang pada gambar 2.10 tidak dapat berubah bentuk ataupun runtuh seperti pada rangka sebelumnya. Dengan demikian, struktur segitiga diatas adalah stabil. Setiap deformasi yang terjadi pada struktur stabil adalah minor dan diasosiasikan dengan perubahan panjang batang yang diakibatkan oleh gaya yang timbul dalam batang akibat gaya eksternal. Selain itu, sudut yang dihasilkan oleh kedua batang tidak berubah apabila struktur tersebut dibebani.



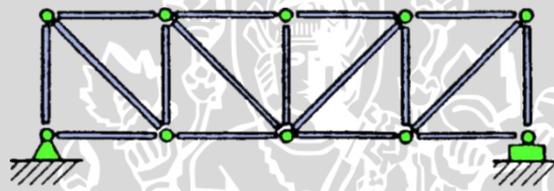
**Gambar 2.11** Simple truss yang dibebani.

Sumber : Hibbeler.

Jika tiga batang dengan sambungan sendi pada ujung batangnya membentuk *triangular truss* maka strukturnya menjadi *rigid*, seperti pada Gambar 2.11(a), penambahan dua batang dan disambung pada simpul *D* sehingga membentuk rangka lebih besar, seperti pada Gambar 2.11(b). Apabila konstruksi rangka batang dirancang dengan dasar *triangular truss*, maka bisa disebut *simple truss*. (Hibbeler).

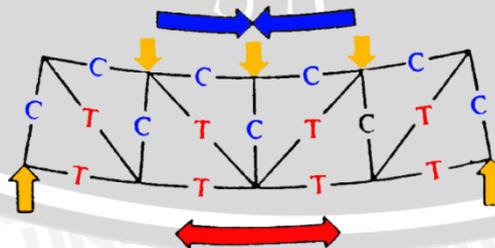
#### b. Konfigurasi

Karena susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk yang stabil, maka susunan segitiga sembarang pun menjadi struktur yang stabil dan kaku. Ide ini merupakan prinsip dasar penggunaan rangka batang pada gedung dan jembatan karena bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat diperbesar dengan memperbesar segitiga-segitiga tersebut. Gambar 2.12 merupakan konfigurasi struktur rangka.



**Gambar 2.12** Konfigurasi struktur *truss*.  
Sumber gambar : Yvone (2009).

Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada bagian tepi atas pada umumnya timbul gaya tekan, dan pada batang tepi bawahnya timbul gaya tarik seperti pada gambar 2.13. Pola dalam rangka batang dapat berganti-ganti, tarik maupun tekan. (Schodek, 1988).



**Gambar 2.13** Gaya batang struktur *truss*.  
Sumber : Yvone (2009).

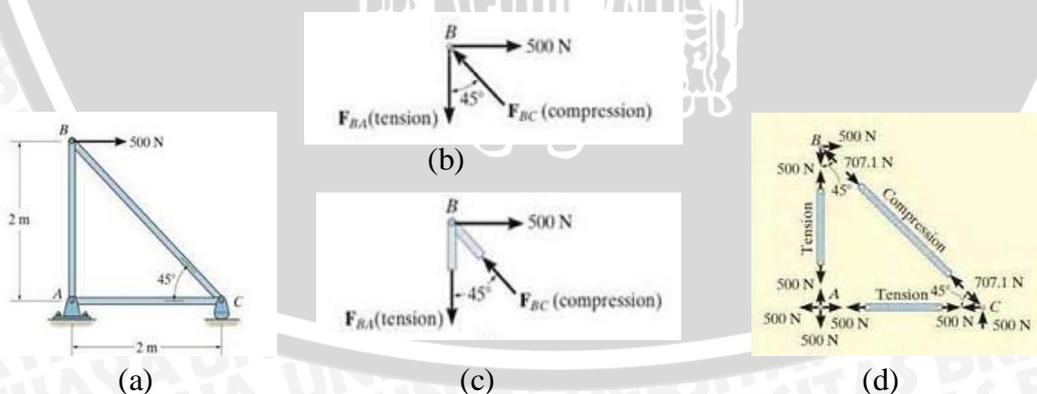
#### c. Keseimbangan titik simpul

Hal terpenting pada analisis atau desain struktur rangka batang adalah menentukan gaya pada masing-masing batang. Salah satu cara yaitu dengan metode

keseimbangan titik simpul. Metode ini berdasarkan fakta bahwa seluruh rangka batang ada pada kesetimbangan, ketika masing-masing titik simpul ada pada kesetimbangan. Sehingga, setelah diagram *free-body* pada masing-masing titik simpul digambar, persamaan keseimbangan gaya dapat digunakan untuk mencari gaya aksi batang pada masing-masing titik simpul. Dari batang rangka bidang yang lurus dua gaya di satu bidang, masing-masing titik kumpul diperlakukan menjadi sistem gaya yang sebidang dan sama. Hasilnya, hanya  $\sum F_x = 0$  dan  $\sum F_y = 0$  dibutuhkan untuk menuju keseimbangan.

Sebagai contoh, titik simpul  $B$  pada rangka batang di Gambar 2.14 (a). Tiga gaya yang bekerja pada sendi tersebut, yaitu gaya horizontal 500 N dan gaya yang timbul pada batang  $BA$  dan  $BC$ . Diagram *free-body* pada sendi  $B$  ditunjukkan pada Gambar 2.14 (b). Di situ  $F_{BA}$  menarik sendi  $B$ , ini berarti batang  $BA$  merupakan batang tarik. Sedangkan  $F_{BC}$  mendorong sendi  $B$ , dan konsekuensinya  $BC$  merupakan batang tekan. Efek ini murni ditunjukkan dengan mengisolasi titik kumpul dengan bagian segmen batang yang tersambung ke sendi  $B$ , seperti pada Gambar 2.14 (c). Dorongan atau tarikan pada sebagian segmen batang mengindikasikan efek batang saat tekan atau tarik.

Dengan menggunakan metode keseimbangan titik kumpul, selalu dimulai pada titik kumpul yang satu gaya diketahui dan dua gaya yang tidak diketahui, seperti pada Gambar 2.14 (b). Sehingga aplikasi  $\sum F_x = 0$  dan  $\sum F_y = 0$  dengan dua persamaan aljabar dapat menyelesaikan dua gaya yang tidak diketahui.



**Gambar 2.14** Keseimbangan titik simpul (a) gambar rangka, (b), (c) dan (d) diagram *free-body* titik simpul  $B$ .

Sumber : Hibbeler.

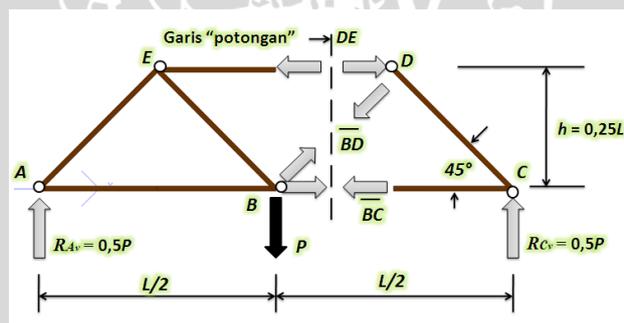
Pada kasus di atas  $F_{BC}$  di gambar 2.14 menekan ke sendi terhadap sumbu horizontal sebesar  $F_{BC} \sin 45^\circ$ , sehingga bisa mengimbangi gaya 500N. ( $\sum F_x = 0$ ; 500

$N - F_{BC} \sin 45^\circ = 0$ ;  $500 \text{ N} - 500 \text{ N} = 0$ ; kontrol ). Begitu juga pada  $F_{BA}$  yang merupakan gaya tarik dan mengimbangi terhadap sumbu vertikal sebesar  $F_{BC} \cos 45^\circ$ . ( $\sum F_y = 0$ ;  $F_{BC} \cos 45^\circ - F_{BA} = 0$ ;  $500 \text{ N} - 500 \text{ N} = 0$ ; kontrol).

d. Keseimbangan potongan

Mengenai keseimbangan titik, bagian dari rangka batang yang kita tinjau keseimbangannya adalah titik hubung itu sendiri. Prinsip yang mendasari teknik analisis yang dibahas di sini adalah bahwa setiap bagian dari suatu struktur harus berada dalam keadaan seimbang. Dengan demikian, bagian yang apat ditinjau dapat pula mencakup titik kumpul dan batang. Peninjauan keseimbangan bagian tersebut dapat digunakan untuk memperoleh besar gaya batang. Konsep peninjauan keseimbangan bagian dari suatu struktur yang bukan hanya satu titik hubung merupakan cara yang sangat berguna dan merupakan dasar untuk analisis dan desain rangka batang, juga banyak struktur lainnya.

Batang dapat diperoleh dengan menggunakan pendekatan tersebut akan dijelaskan dengan menggunakan contoh. Asumsikan dalam mencari gaya-gaya batang  $ED$ ,  $BD$ , dan  $BC$ , rangka batang tersebut dibagi menjadi dua bagian. Diagram benda bebas untuk bagian-bagian ini diperlihatkan pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Diagram benda bebas untuk mencari gaya batang  $ED$ ,  $BD$ , dan  $BC$  dengan cara potongan.

Sumber : Schodeck (1998).

Kumpulan gaya-gaya internal yang terlihat pada gambar tersebut merupakan akibat dari beban luar pada seluruh struktur, dan juga merupakan gaya-gaya yang mempertahankan keseimbangan bagian rangka batang yang kita tinjau itu. Keseimbangan translasional maupun rotasional harus ditinjau karena gaya-gaya yang ada padanya bersifat koplanar, tidak merupakan gaya-gaya yang kongruen maupun sistem gaya sejajar.

Sebelum kita mencari gaya-gaya batang pada contoh ini, kita dapat menyelidiki terlebih dahulu bagaimana sifat batang tersebut, apakah tarik atau tekan. Sebagai contoh, perhatikan persyaratan keseimbangan bagian yang terlihat pada Gambar 2.15. Jelaslah bahwa gaya batang  $BD$  harus berarah ke atas agar mempunyai komponen vertikal yang cukup untuk mengimbangi perbedaan yang ada di antara reaksi  $0,5P$  dan gaya  $P$  ke bawah yang bekerja pada bagian tersebut. Dengan demikian batang tersebut bersifat tarik. Karena bagian sebelah kiri dari rangka batang itu harus berada dalam keseimbangan juga, maka momen yang diakibatkan oleh gaya internal (lihat Gambar 2.15), dengan menjumlahkan momen-momen tersebut pada titik  $B$ , terlihat bahwa sifat gaya batang  $DE$  harus berarah seperti pada gambar tersebut agar keseimbangan momen terhadap titik  $B$  terpenuhi. Ingat bahwa jumlah momen yang diakibatkan oleh semua gaya harus sama dengan nol terhadap sembarang titik. Dengan demikian, batang  $DE$  harus merupakan batang tekan. Gaya-gaya yang terlihat pada bagian kiri dan berlawanan arah dengan yang ada pada bagian kanan. Karena pada bagian kanan juga harus memenuhi keseimbangan translasional dan rotasional, maka sifat gaya batang  $BC$  dapat diperoleh dengan menjumlahkan momen terhadap titik  $D$ . agar keseimbangan momen terhadap titik itu terpenuhi, maka gaya  $BC$  harus mempunyai arah seperti tergambar, yaitu berupa gaya tarik. Dengan demikian, keadaan tegangan pada setiap batang dapat ditentukan secara kualitatif. Proses matematis untuk menentukan besar numerik gaya-gaya batang secara konseptual sama dengan yang telah disebutkan di atas. (Schodek, 1998).

#### e. Stabilitas

Stabilitas struktur adalah suatu hal yang penting, bahkan dapat dikatakan sangat penting. Struktur yang tidak stabil tidak bisa digunakan sebelum dilakukan perubahan sistem yang menyebabkan struktur menjadi stabil. Oleh karena itu mengetahui suatu struktur stabil atau tidak merupakan hal yang penting dan harus diketahui sebelum melakukan analisa struktur.

Untuk struktur rangka batang dengan sistem batang berbentuk segi-tiga maka kriteria stabil dapat ditetapkan berdasarkan hal-hal berikut:

- Memenuhi rumus  $B + R \geq 2J$ ,  
dimana  $B$  = batang,  $J$  = nodal dan  $R$  = reaksi tumpuan
- Cara Inspeksi
  - Stabilitas Internal : geometri rangka harus berbentuk segitiga.

○ Stabilitas Eksternal : Orientasi dan jenis tumpuan (*Concurrent* dan *Paralel*)

Setiap batang dari konstruksi rangka merupakan batang dua gaya, oleh karena itu masing-masing menunjukkan satu unsur gaya dalam yang tidak diketahui. Jumlah keseluruhan unsur-unsur yang tidak diketahui untuk sistem keseluruhan dihitung dengan jumlah batang (*internal*) ditambah jumlah unsur-unsur reaksi yang tersendiri (*external*). Jadi kalau kita misalkan  $b$  menunjukkan jumlah batang dan  $r$  jumlah komponen reaksi, jumlah seluruhnya dari unsur-unsur yang tidak diketahui dari keseluruhan sistem adalah  $b + r$ .

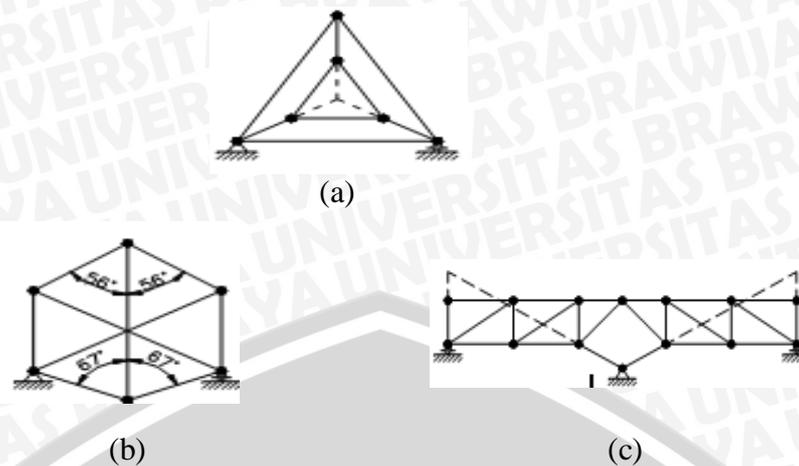
Sekarang apabila konstruksi rangka dalam keadaan seimbang setiap bagian secara terpisah harus juga dalam keadaan seimbang. Untuk suatu konstruksi rangka yang mempunyai  $j$  titik kumpul sistem keseluruhan dapat dipisahkan ke dalam  $j$  benda-benda lepas. Dimana setiap titik kumpul menghasilkan dua persamaan keseimbangan  $\Sigma F_x = 0$  dan  $\Sigma F_y = 0$ , untuk setiap sistem gaya-gaya yang berimpit titik tangkapnya yang bekerja terhadapnya. Dari hal ini sebanyak  $2j$  persamaan bebas (tersendiri), yang melibatkan  $(b + r)$  bilangan tak diketahui, dapat diperoleh. Jadi kita dapat menetapkan suatu kriteria untuk stabilitas dan sifat ketertentuan dari konstruksi rangka dengan menghitung jumlah bilangan tak diketahui dan jumlah persamaannya.

1. Jika  $b + r < 2j$ , sistem adalah tidak stabil
2. Jika  $b + r = 2j$ , sistem adalah statis tertentu asalkan ia juga stabil
3. Jika  $b + r > 2j$ , sistem adalah statis tidak tertentu

Dipenuhinya syarat  $b + r > 2j$  tidak meyakinkan pasti suatu konstruksi rangka stabil. Agar supaya rangka menjadi stabil diperlukan pemenuhan syarat-syarat lebih lanjut. Pertama, nilai dari  $r$  harus sama dengan atau lebih besar daripada ketiganya yang diperlukan untuk stabilitas statis dari tumpuan-tumpuannya. Selanjutnya harus tidak ada kekurangan didalam susunan perletakan dan batang-batang sedemikian untuk menghindarkan tidak stabilnya geometris baik dari luar maupun dari dalam.

Pada dasarnya, suatu konstruksi rangka yang stabil biasanya dapat diperoleh dengan tiga batang yang dikaitkan bersama pada ujung-ujungnya dalam bentuk segitiga, dan kemudian dilanjutkan dengan menambahkan dua batang baru untuk setiap sambungannya.

Identifikasi jenis struktur rangka batang yang dianalisis, yaitu rangka batang biasa, majemuk atau kompleks, merupakan suatu hal harus dikuasai terlebih dahulu untuk dapat mengidentifikasi masalah stabilitas rangka batang dengan cara klasik. Contoh rangka batang majemuk dan kompleks pada gambar 2.16:



**Gambar 2.16** Rangka batang, (a) Rangka batang majemuk (b) & (c) rangka batang kompleks.

Sumber : Dewobroto (2005).

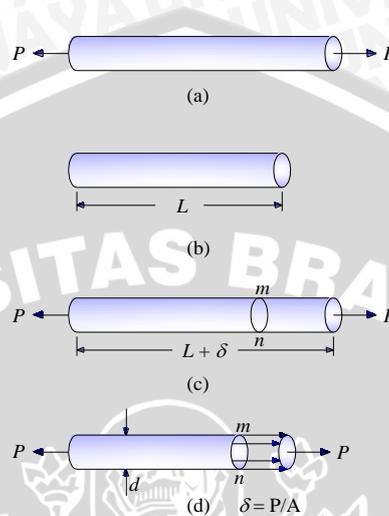
Seperti diketahui bahwa analisa rangka batang kompleks cara klasik tidak bisa diselesaikan dengan cara keseimbangan titik buhul (metode *joint*) maupun cara keseimbangan global (metode potongan) tetapi memerlukan metode khusus yaitu “cara tukar batang”, bilamana dengan metode itu pun tidak diperoleh penyelesaian maka dapat diperkirakan bahwa rangka batang kompleks tersebut adalah struktur yang tidak stabil. Jadi tahapan yang diperlukan untuk analisa ketidak-stabilan rangka batang kompleks adalah tahapan yang sekaligus bersamaan dengan penyelesaian gaya-gayanya. (Dewobroto, 2005).

#### 2.4.2 Tegangan dan regangan

Konsep paling dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Konsep ini dapat diilustrasikan dalam bentuk yang paling mendasar dengan meninjau sebuah batang prismatis yang mengalami gaya aksial. Batang prismatis adalah sebuah elemen struktural lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, dan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya tarik atau tekan pada batang. (Gere & Timoshenko, 2000)

Sebagai contoh kabel penderek tarik (*tow bar*) pada *crane* yang merupakan elemen prismatis yang mengalami tarik dan batang piston *crane* untuk mengendalikan gerakan vertikal adalah elemen yang mengalami tekan. Contoh-contoh lainnya adalah elemen rangka batang pada jembatan, batang-batang penghubung pada mesin mobil dan sepeda, kolom di gedung, dan flens tarik di pesawat terbang kecil.

Pada kabel penderek terjadi gaya aksial  $P$  di ujung-ujungnya. Selanjutnya kita tinjau dua kondisi kabel tersebut, yang pertama sebelum beban diterapkan pada Gambar 2.17 (b) dan yang kedua sesudah beban diterapkan yaitu pada Gambar 2.17 (c). Perhatikan bahwa panjang semula dari batang ditunjukkan dengan huruf  $L$  dan penambahan panjangnya  $\delta$  (delta).



**Gambar 2.17** Elemen struktur yang mengalami beban aksial.  
 Sumber : Hibbeler.

Tegangan internal di batang akan terlihat apabila kita membuat sebuah potongan imajiner melalui batang pada bagian  $mn$  pada Gambar 2.17 (c). Karena potongan ini diambil tegak lurus sumbu longitudinal batang, maka disebut potongan melintang (penampang). Aksi yang terjadi pada Gambar 2.17 terdiri atas gaya yang terdistribusi kontinu yang bekerja pada seluruh penampang. Intensitas gaya (yaitu gaya per satuan luas) disebut tegangan. Jadi, gaya aksial  $P$  yang bekerja di penampang adalah *resultan* dari tegangan yang terdistribusi kontinu. (Gaya resultan ditunjukkan dengan garis putus-putus di dalam Gambar 2.17 (d)).

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh potongan  $mn$  pada Gambar 2.17 (d), kita dapat melihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas  $\sigma$  dikalikan dengan luas penampang  $A$  dari batang tersebut. Dengan demikian, kita mendapatkan rumus berikut untuk menyatakan besar tegangan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-4)$$

dengan :

$$\sigma = \text{tegangan (kg/m}^2\text{)}$$

$$P = \text{gaya (kg)}$$

$$A = \text{luas penampang (m}^2\text{)}$$

Persamaan ini memberikan intensitas tegangan merata pada batang prsmatis yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila batang ini ditarik dengan gaya  $P$ , maka tegangan adalah tegangan tarik (*tensile stress*): apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal (*normal stress*). Jadi, tegangan normal dapat berupa tarik atau tekan. Apabila konvensi tanda untuk tegangan normal dibutuhkan, biasanya tegangan tarik didefinisikan bertanda positif dan tegangan tekan bertanda negatif.

Batang lurus akan mengalami perubahan panjang apabila dibebani secara aksial, yaitu menjadi panjang bila mengalami tarik dan menjadi pendek jika mengalami tekan. Sebagai contoh, tinjau kembali batang prismatis dalam pada Gambar 2.17. Perpanjangan  $\delta$  dari batang pada Gambar 2.17(c) adalah hasil kumulatif dari perpanjangan semua elemen bahan di seluruh elemen batang. Asumsikan bahwa bahan tersebut sama di mana pun di dalam batang. Selanjutnya, jika kita meninjau setengah bagian dari batang (panjangnya  $L/2$ ), bagian ini akan mempunyai perpanjangan yang sama dengan  $\delta/2$ , dan jika kita meninjau seperempat bagian dari batang, bagian akan mempunyai perpanjangan yang sama dengan  $\delta/4$ . Dengan cara yang sama, satu satuan panjang dari batang tersebut akan mempunyai perpanjangan yang sama dengan  $1/L$  kali perpanjangan total  $\delta$ . Dengan proses ini kita akan sampai pada konsep *perpanjangan per satuan panjang*, atau regangan, berikut adalah persamaannya:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2-5)$$

dengan :

$$\varepsilon = \text{regangan}$$

$$\delta = \text{deformasi (m)}$$

$$L = \text{panjang batang (m)}$$

Jika batang tersebut mengalami tarik, maka regangannya disebut regangan tarik, yang menunjukkan perpanjangan bahan. Jika batang tersebut mengalami tekan, maka

regangan tekan dan batang tersebut memendek. Regangan tarik biasanya bertanda positif dan regangan tekan bertanda negatif. Regangan  $\varepsilon$  disebut regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal. Karena merupakan rasio antara dua panjang, maka regangan normal ini merupakan besaran tak berdimensi, artinya regangan tidak mempunyai satuan.

### 2.4.3 Elastisitas

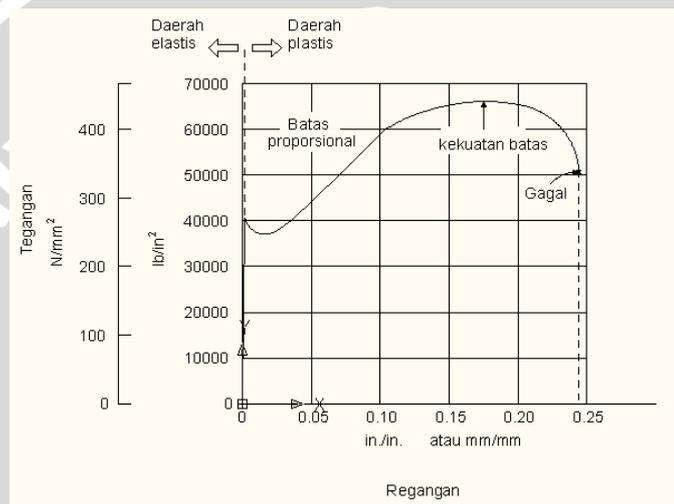
Material yang masih berada dalam daerah elastis adalah material yang dapat kembali ke ukuran dan bentuk semula apabila tegangan dihilangkan. Cara utama dalam menjelaskan perubahan ukuran dan bentuk adalah dengan menggunakan konsep regangan ( $\varepsilon$ ). Secara umum regangan didefinisikan sebagai rasio (perbandingan) antara perubahan ukuran atau bentuk suatu elemen yaitu mengalami tegangan, terhadap ukuran atau bentuk semula ( $S$ ) elemen [yaitu  $\varepsilon = \Delta S / (S + \Delta S)$ ]. Karena merupakan perbandingan, regangan tidak mempunyai dimensi fisis. Ada hubungan umum antara tegangan dan regangan untuk material elastis yang pertama kali dinyatakan oleh Robert Hooke (1635-1703) dan dikenal sebagai hukum Hooke. Hukum Hooke ini menyatakan bahwa untuk benda elastis, perbandingan antara tegangan yang ada pada elemen terhadap regangan yang dihasilkan adalah konstan.

Besarnya konstanta ini merupakan sifat material dan, seperti telah disinggung di atas, biasanya disebut sebagai *modulus elastisitas* seperti pada persamaan 2-5. Satuan untuk konstanta ini sama dengan satuan tegangan (yaitu gaya per satuan luas) karena regangan tidak mempunyai dimensi.

$$\begin{aligned} \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} &= \text{konstanta untuk suatu material} \\ &= \text{modulus elastisitas} = E \end{aligned} \quad (2-6)$$

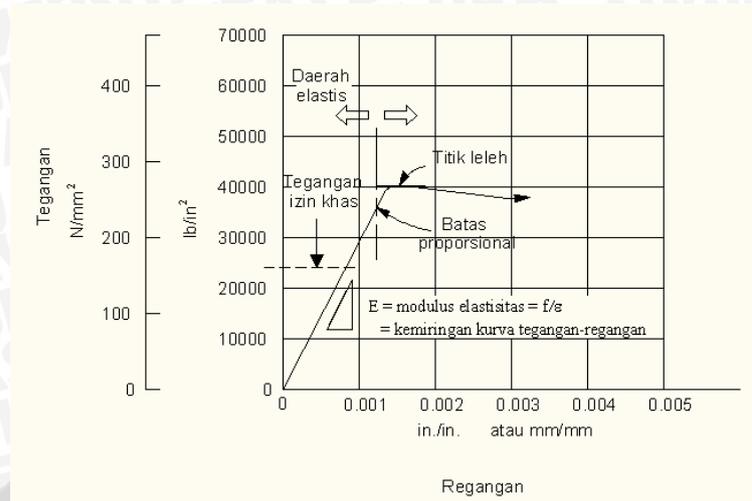
Apabila elemen struktur mengalami gaya tarik murni, maka elemen struktur tersebut akan mengalami perpanjangan (seperti gambar). Jika  $L$  menunjukkan panjang semula, dan  $\Delta L$  adalah perubahan panjang, maka regangan yang ada pada batang tersebut seperti pada persamaan 2.4. Seperti telah disebut di atas regangan tidak mempunyai dimensi. Kita dapat memandang regangan sebagai sebagai besar deformasi per satuan panjang. Dengan pengertian ini, regangan dipandang seolah-olah mempunyai dimensi mm/mm atau in/in.

Umumnya hasil penelitian modulus elastis untuk baja (*steel*),  $E_s = 29,6 \times 10^6$   $lb/in^2$  ( $204000$   $N/mm^2$  atau  $204000$   $MPa$ ), dan untuk aluminium,  $E_a = 11,3 \times 10^6$  ( $77900$   $N/mm^2$ ). Harga yang umum untuk beton (*concrete*) adalah  $E = 3 \times 10^6$   $lb/in^2$  ( $20700$   $N/mm^2$ ), dan untuk kayu (*timber*) adalah  $E_t = 1,6 \times 10^6$   $lb/in^2$  ( $11000$   $N/mm^2$ ). Nilai  $E$  untuk kayu dan beton bergantung pada karakteristik campuran beton atau mutu dan jenis kayu yang digunakan. Apabila nilai telah diketahui,  $E$  dapat dipakai sebagai konstanta dalam memprediksi deformasi material yang mengalami deformasi akibat berbagai kondisi tegangan. Gambar 2.18 adalah diagram tegangan regangan hasil uji tarik baja dan Gambar 2.10 untuk berbagai material.

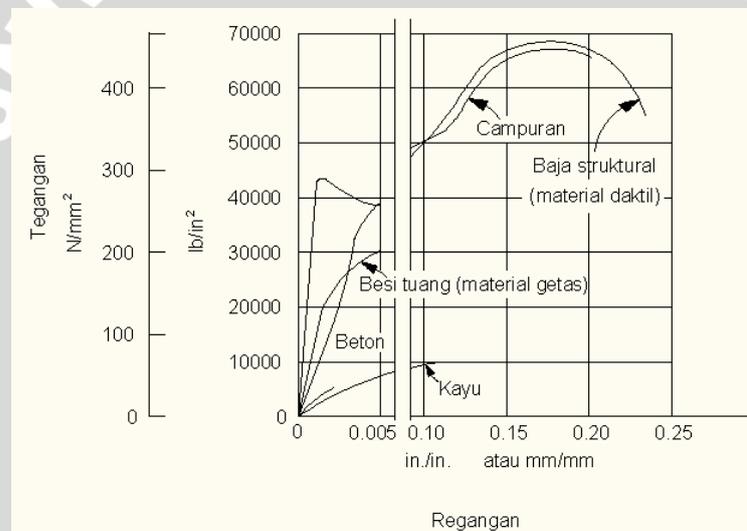


**Gambar 2.18** Diagram tegangan regangan hasil uji tarik baja.  
Sumber : Schodeck (1998).

Dengan memperhatikan Gambar 2.19 terlihat bahwa modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis material. Untuk tegangan yang semakin tinggi pada elemen struktur, suatu titik dicapai dimana regangannya akan menjadi tidak bergantung linear lagi terhadap tegangan. Ini adalah titik transisi antara daerah elastis dan plastis untuk material tersebut, atau disebut juga sebagai *limit proporsional* untuk material. Sesudah titik ini dilalui, konsep modulus elastisitas konstan tidak berlaku lagi. Untuk kebanyakan material, seperti baja, besar deformasi yang dapat terjadi di dalam daerah plastis jauh lebih besar dibandingkan dengan di dalam daerah elastis.



**Gambar 2.19** Diagram daerah elastis yang diperbesar hasil uji tarik baja.  
Sumber : Schodeck (1998).



**Gambar 2.20** Diagram tegangan-regangan untuk berbagai material.  
Sumber : Schodeck (1998).

#### 2.4.4 Kekuatan

Sebutan kekuatan sering digunakan sebagai acuan dalam menentukan kapasitas-pikul-beban material. Sebagaimana telah disinggung di atas, material sering kali menunjukkan perilaku yang tidak sederhana apabila dibebani sehingga perlu ada definisi yang lebih tepat untuk menyebut “kekuatan”. Sebagai contoh, banyak material yang dapat terus memikul beban tambahan setelah limit proporsional material terlampaui. Baja dapat terus memikul taraf tegangan di atas limit proporsional, tetapi disertai deformasi yang sangat berlebihan untuk penambahan tegangan yang sedikit saja. Titik kritis yang disebut titik leleh, dicapai apabila baja berdeformasi tanpa adanya

penambahan tegangan sama sekali. Sebenarnya apabila baja diuji tarik dengan menggunakan mesin uji tarik dengan menggunakan mesin uji tarik (pengurangan aktual dalam taraf tegangan, titik leleh dengan mudah akan terlihat dengan adanya penambahan deformasi secara tiba-tiba. Selanjutnya material akan mengalami deformasi permanen dalam selang plastis) pada taraf tegangan yang relative konstan. Akan tetapi, pada saat deformasi bertambah, baja mulai tidak aman untuk memikul sedikit saja penambahan beban, dan taraf tegangan yang akan bertambah lagi. Ini adalah yang disebut sebagai kekuatan batas (*ultimates strength*) material. Sesudah tegangan ini tercapai, baja deformasi dengan sangat cepat disertai dengan berkurangnya luas penampang, yaitu terbentuk apa yang disebut *takik (notch)*, dan akhirnya putus. (Schodeck, 1998).

#### 2.4.5 Material daktil

Perilaku daktil dan getas, material yang dapat mengalami deformasi plastis seperti yang baru dibahas di atas, sampai keadaan sebelum putus biasanya disebut sebagai material *daktil*. Baja adalah contoh klasik dari material daktil. Sebaliknya apabila material tidak menunjukkan perilaku plastis apabila dibebani, tetapi dapat putus pada saat deformasi yang tidak besar, disebut material getas (*brittle*). Besi tuang adalah material getas, begitu pula beton polos (plain concrete). Kurva tegangan regangan seperti yang terlihat pada Gambar 2.20 menggambarkan perbedaan perilaku yang ada di antara kedua jenis umum material. (Schodeck, 1998).

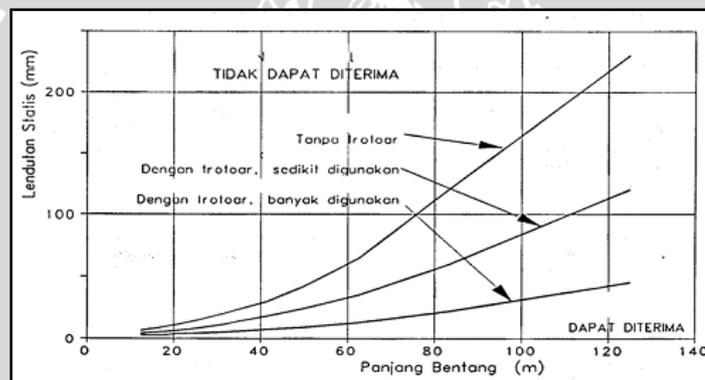
#### 2.4.6 Deformasi

Adanya beban pada elemen struktur selalu menyebabkan perubahan dimensional pada elemen struktur tersebut. Struktur tersebut mengalami perubahan ukuran atau bentuk atau kedua-duanya. Pada sebagian besar jenis material, misalnya baja, perubahan dimensional yang terjadi dapat dikelompokkan kedalam dua jenis, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis yang terjadi secara berurutan dengan semakin bertambahnya beban. Apabila elemen struktur tersebut mula-mula dibebani, maka deformasi yang terjadi masih dalam daerah elastis dari material. Dalam daerah ini, elemen struktur tersebut masih dapat kembali kepada keadaan semula apabila bebannya dihilangkan (perilaku demikian sama dengan perilaku pegas). Deformasi dalam daerah elastis bergantung langsung pada besar taraf tegangan yang terjadi pada elemen struktur. Apabila bebannya bertambah terus, maka akan terjadi deformasi yang

termasuk ke dalam daerah plastis dari material. Hal ini terjadi apabila tegangan pada material sedemikian besarnya sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan permanen di dalam struktur internal material. Apabila perubahan internal material ini terjadi, maka keadaan semula tidak dapat tercapai meskipun beban dihilangkan. Dengan demikian, apabila material sudah masuk ke dalam daerah plastis, maka pada material terjadi perubahan dimensi tak dapat balik (*irreversible*) dan terjadi perubahan bentuk yang permanen meskipun bebannya dihilangkan. (Schodeck, 1998).

#### 2.4.7 Defleksi

Lendutan yang berlebihan, disamping akan mempengaruhi kekuatan struktur juga mempunyai dampak psikologis bagi pengendara. Besarnya lendutan maksimum yang diijinkan asal proporsional dengan bentang jembatan yang bersangkutan, sesuai dengan tabel RSNI – T – 02 – 2005 pada Gambar 2.21.

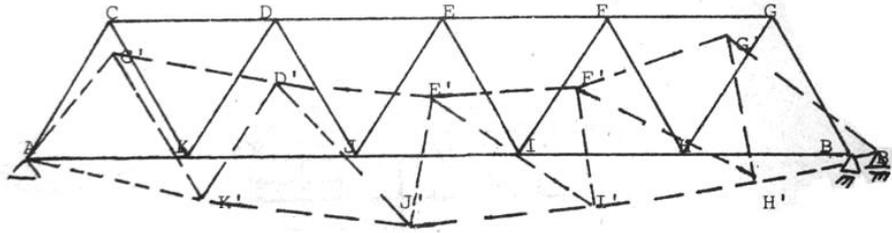


**Gambar 2. 21** Lendutan statis maksimum untuk jembatan

Lendutan pada rangka batang merupakan deformasi total elemen-elemen batang pada titik-titik pertemuannya akibat adanya gaya-gaya aksial dalam elemen-elemen batang tersebut. Nilai deformasi pada elemen-elemen batang tersebut. Nilai deformasi pada elemen-elemen batang akibat gaya-gaya aksial tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2 - 7)$$

Besarnya lendutan pada setiap join rangka batang dapat ditentukan secara geometris, dengan mengasumsikan bahwa setiap elemen batang dalam kondisi sendi pada titik pertemuannya. Gambar 2.22 adalah contoh perpindahan pada jembatan rangka.



**Gambar 2.22** Perpindahan pada jembatan rangka.  
Sumber : Gunawan & Margareth (2000).

Rangka batang seperti tergambar di atas, dibebani oleh gaya-gaya terpusat pada titik buhul H, I, J, K. lendutan akan terjadi pada masing-masing titik kumpul batang. Untuk menentukan penurunan titik kumpul, kita menggunakan beberapa metode yaitu:

1. Metode beban satuan (*Unit load method*)

Dengan metode ini, hanya dapat dihitung satu komponen peralihan vertikal titik kumpul saja (misalnya vertikal atau horizontal), untuk sekali perhitungan.

2. Metode “*Angle Weight*”

Dengan metode ini kita dapat menentukan peralihan vertikal titik kumpul secara serentak dalam satu garis horizontal. Peralihan horizontal titik kumpul tidak bisa dihitung dengan metode ini.

3. Metode “*Joint Displacement*”

Dengan metode ini kita dapat menghitung peralihan horizontal dan vertical semua titik kumpul batang.

4. Metode Grafis (Diagram Williot Mohr)

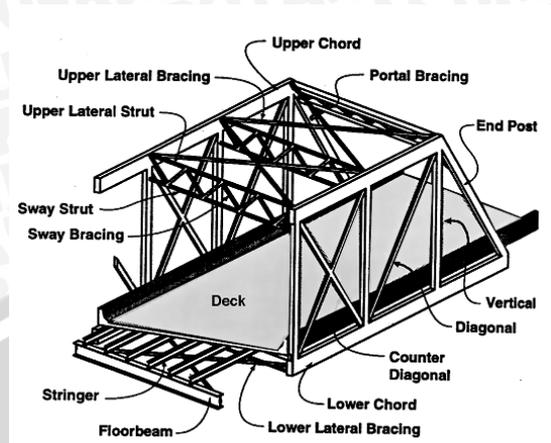
Peralihan vertikal dan horizontal semua titik kumpul batang diperoleh dengan cara grafis. (Gunawan & Margareth, 2000).

Lendutan yang terjadi tidak hanya hasil perpindahan secara vertikal namun juga secara horizontal untuk itu dibuat tumpuan roll pada salah satu ujung struktur rangka batang. Persamaan dalam menghitung perpindahan pun bermacam-macam, namun akan lebih mudah dengan menggunakan software *STAAD.Pro* mengingat Jembatan B-Bone merupakan jembatan rangka ruang.

## 2.5. Bagian-bagian jembatan

Pada jembatan rangka terdapat bagian-bagian yang mendukung kekuatan struktural, stabilitas dan fasilitas penunjang sarana prasarana transportasi. Diantaranya

rangka utama, balok memanjang, balok melintang, pelat lantai kendaraan, dan sambungan seperti pada gambar 2.23.



**Gambar 2.23** Gambar bagian-bagian jembatan.

a. Pelat lantai kendaraan

Lantai kendaraan dapat direncanakan dari pelat beton bertulang atau balok/papan kayu. Pelat beton bertulang direncanakan sebagai pelat menerus di atas balok-balok memanjang. Tata cara perencanaan dan pelaksanaan pelat beton bertulang diatur dalam Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. Jika pelat beton diikat pada balok memanjang dengan hubungan geser, maka perhitungannya dapat dilihat pada balok memanjang dengan hubungan geser, maka perhitungannya dapat dilihat pada Bagian 8 mengenai perencanaan gelagar komposit. (RSNI T-03-2005).

b. Balok memanjang

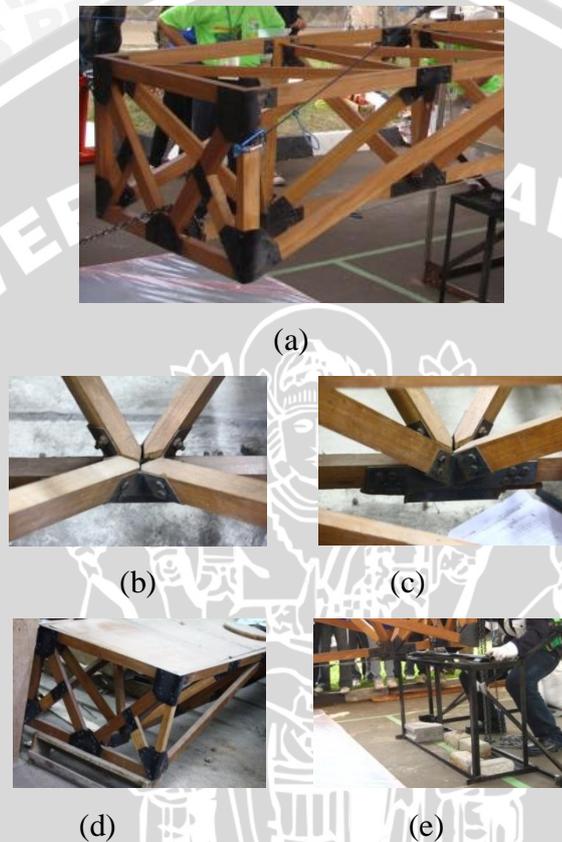
Balok memanjang diikat pada balok melintang . jika balok memanjang dipasang menumpang di atas balok melintang, sebaiknya dipasang menerus melampaui dua atau lebih bentang antara balok melintang.

c. Balok melintang

Balok melintang sebaiknya tegak lurus arah balok induk atau balok rangka dan diikat kaku kepadanya. Ikatan ini sebaiknya demikian sehingga ikatan lateral dapat mengikat baik balok melintang maupun balok induk.

#### d. Sambungan

Elemen sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat penyambung, pelat buhul, pelat pendukung, pelat isi). Ukuran dan perbandingan dimensi sambungan dalam struktur harus konsisten dengan anggapan dalam analisis struktur dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya dalam rencana. Gambar 2.24 adalah gambar model jembatan B-Bone.



**Gambar 2.24** Gambar bagian jembatan B-Bone: (a) struktur rangka, (b) & (c) sambungan pelat, (d) pelat lantai kendaraan, dan (e) *abutment* dan tumpuan *roll*.

#### 2.6. Metode *Camber*

Berdasarkan peraturan yang dikutip dari <https://www.nysdot.gov/main/business-center/engineering/cadd-info/bridge-details-sheets-repository/bdos06r1.pdf> (akses : 10 Pebruari 2010) terdapat peraturan tentang *Camber* bertuliskan State of New York “*Department of Transportation Structure Design and Costruction Division*”. Peraturan ini mengatur ketinggian *Camber* sesuai dengan panjang bentang jembatan. Ketinggian tersebut direncanakan optimal untuk menjaga kenyamanan pengendara dan diharapkan menjadi perkuatan struktural.

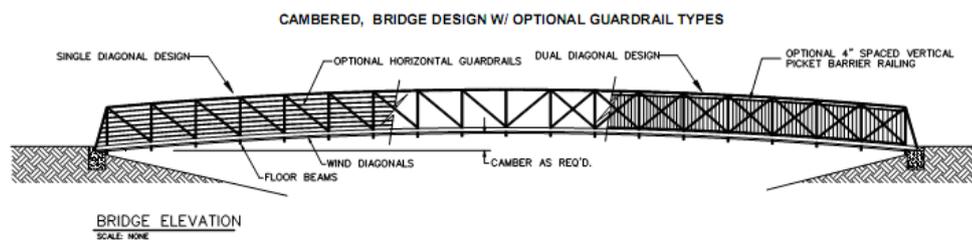
Lawan lendutan atau *Camber* dibuat untuk mencegah terjadinya lendutan akibat berat sendiri lantai kendaraan berupa beton bertulang dan aspal serta beban hidup rencana. Lawan lendut direncanakan dan dibuat langsung di pabrik sehingga begitu pemasangannya di lapangan, lawan lendut akan langsung terbentuk. Walaupun akan langsung terbentuk, elevasinya harus tetap dikontrol dengan menggunakan theodolit.

**Tabel 2.1** *Camber* maksimum menurut panjang jembatan

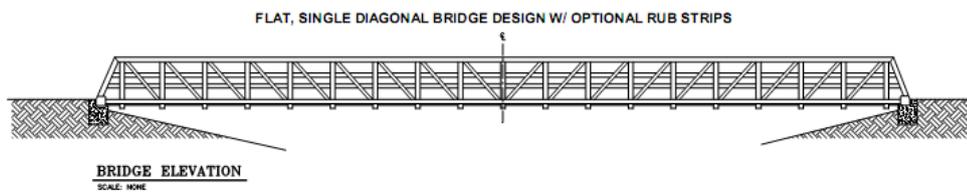
P maks (m)	h maks (cm)
	<i>Camber</i>
15	20
20	30
25	40
30	50
35	60
40	70
45	80
50	100
55	120
60	140
65	180

Sumber: <https://www.nysdot.gov/main/business-center/engineering/cadd-info/bridge-details-sheets-repository/bdos06r1.pdf>, akses:10 Pebruari 2010.

Berdasarkan sumber yang berbeda yaitu <http://en.wikipedia.org/wiki/bridge/buy-pedestrian-bridges-spesification>, akses:10 Pebruari 2010, batas metode *Camber* pada jembatan pedestrian adalah 2,5 % dari panjang. Berikut adalah gambar yang diambil dari peraturan tersebut.



(a)



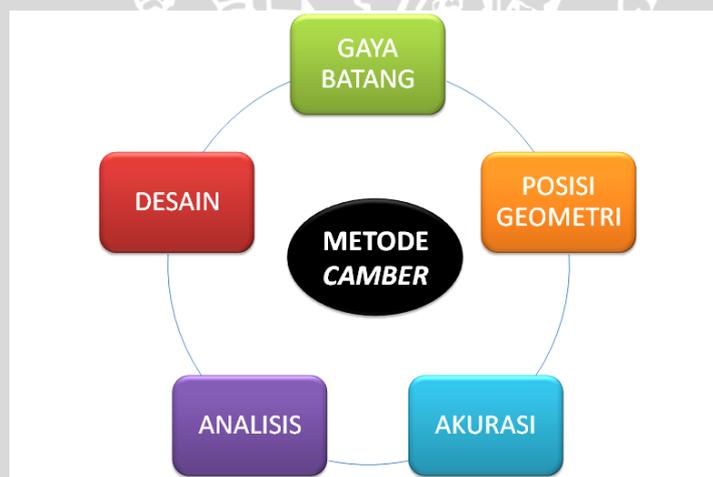
(b)

**Gambar 2.25** Posisi jembatan, (a) Jembatan yang dicamberkan, (b) jembatan dalam keadaan normal.

Sumber: <http://en.wikipedia.org/wiki/bridge/buy-pedestrian-bridges-specification>, akses: 10 Pebruari 2010.

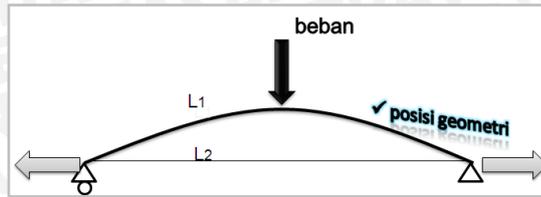
### 2.6.1 Metode *Camber* untuk geometri vertikal

Teori lokasi geometri jembatan harus seperti yang ditentukan pada gambar desain final. Setiap batang mempunyai sebuah panjang teori dan lokasi pada ruang. Tujuan pendesain, fabrikasi dan pelaksana adalah menghasilkan jembatan seperti dengan teori posisi, dengan cara tersebut menjamin *actual stress* sama dengan *design stress*. Hal penting pada metode *Camber* yaitu gaya batang, posisi geometri, akurasi, analisis struktur, dan desain. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.26.



**Gambar 2.26** Hal penting dalam metode *Camber*.

Setelah penyelesaian gelagar utama biasanya dilakukan metode *Camber*. Batang mulai menegang akibat beban terjadi pasca konstruksi. Panjang sebelum ditegangkan lebih pendek daripada panjang dibawah efek beban mati dari struktur. Perbedaan itu benar untuk batang yang terkena beban. Bagian dari jembatan saat *Camber* aktif disebut posisi geometri seperti pada Gambar 2.27.



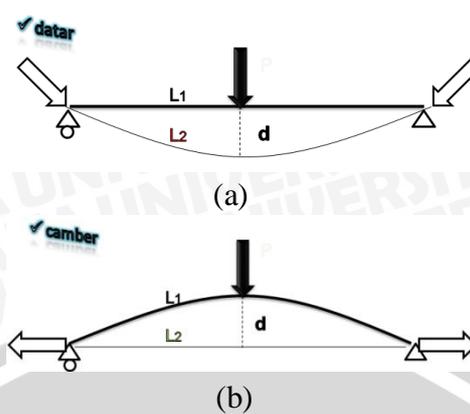
**Gambar 2.27** Posisi geometri.

Beban diatas jembatan cukup untuk mengembalikan semua batang ke panjang teori. Di bagian lainnya, jembatan akan keluar dari bentuk dan tekanan pengganti, hal ini bisa dihasilkan dari perbedaan antara bentuk pada waktu yang lain serta bentuk akhir. Secara relatif mudah untuk dilihat dalam lapisan *truss* menerus karena dengan jelas statis pada faktor yang ditentukan, gaya geser dan momen yang memproduksi gaya tekan bergantung juga pada bentuknya. Hal ini benar untuk *truss* jarak pendek karena simpulnya tidak bebas dari gesekan sendi seperti yang bisa diasumsikan pada analisis. Karena itu, peristiwa sederhana dari *truss* dapat berarti gaya tekan dan momen sementara sampai mencapai posisi geometri, bergantung dari posisi pola penghubung di atas batang akhir saat pengerjaannya di bengkel. Batang kedua di cabang samping dan *frame* batang biasanya tidak dicamberkan. Hal ini ditujukan untuk bebas menegang di posisi geometri. Demikian, di langkah lanjutan pembangunan bisa juga untuk gaya sementara.

Pentingnya keberhasilan metode *Camber* merupakan tujuan para pendesain. Faktor yang menentukan struktur dan gaya di komponen adalah faktor yang menentukan keunikan dari geometri, pembebanan, dan kondisi tumpuan melalui persamaan keseimbangan. Pendesain tidak dapat mengubah aksi struktural.

Pada struktur yang berlebihan, pendesain dapat mengubah kumpulan gaya dengan banyak masalah pembebanan. Setelah ini, distribusi gaya sekali lagi merupakan faktor unik yang ditentukan oleh kondisi diatas, ditambah kekakuan relatif dari variasi komponen struktural.

Pada konstruksi *truss*, penyesuaian oleh gaya natural aktualnya jarang dikerjakan. Pada kenyataannya, *camber* memproduksi faktor yang menentukan struktur dapat digunakan pada konstruksi. *Camber* untuk kontrol gaya sangat umum di berbagai tipe jembatan. Pada Gambar 2.28 merupakan model jembatan yang diwakilkan sebuah garis untuk menggambarkan metode *Camber* dan non *Camber*. (Precast Prestress Concrete Institute, 1997).



**Gambar 2.28** Pemodelan jembatan, (a) metode non-Camber, (b) metode Camber.

Dari gambar di atas jelas terlihat penggunaan metode *camber* berpengaruh terhadap model lendutan yang terjadi. Saat dibebani *Camber* akan membuat struktur terdorong ke luar tumpuan khususnya pada tumpuan *roll*. Subbab berikut ini merupakan pembahasan tentang pentingnya akurasi pada metode *Camber*.

### 2.6.2 Metode *Camber* pada titik simpul

Pada saat pengerjaan, perlakuan seperti pukulan, pengeboran, dan pemotongan sudah terlaksana, dan ketika bagian detail yang menghubungkan sesudah dibuat, semua komponen dirangkai bersama, sementara perakitan dengan memasang baut, klem, atau paku las. Pada waktu ini, batang diperiksa dengan dimensi yang akurat, persegi, dan pada umumnya cocok dengan gambar detail bengkel. Tidak diijarkan di lubang bagian *matting* akan dideteksi seketika dan lubang yang dilebarkan, jika perlu, untuk penempatan baut. Ketika penyusunan sudah komplit, batang sudah dibaut atau dilas pada sambungan akhir bengkel. (Precast Prestress Concrete Institute, 1997). Akurasi pengerjaan model jembatan B-Bone seperti pada Gambar 2.29.



(a)



(b)

**Gambar 2.29** Pengerjaan titik simpul, (a) pengeboran pelat sambung, (b) pemasangan baut.

Hal penting berikutnya tentang analisis sudah dibahas disubbab 2.3. Analisis dan desain merupakan hal penting dalam semua perencanaan konstruksi. Dalam perkembangannya sudah banyak *software* yang membantu untuk kemudahan perencanaan.

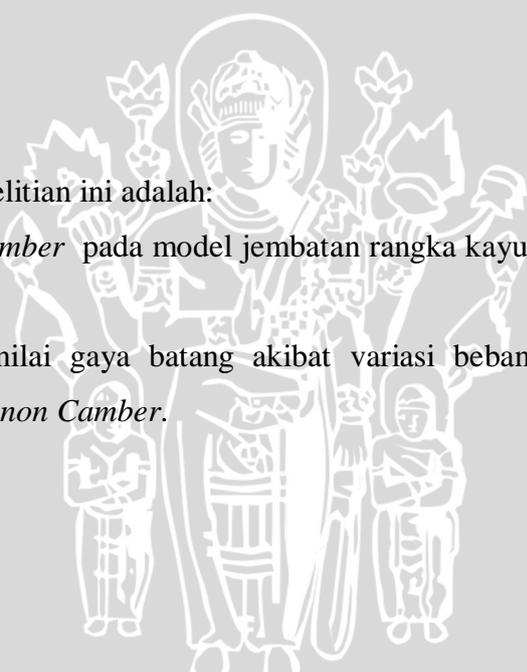
### 2.6.3 Batasan *Camber* dengan pelengkung

Jembatan yang menggunakan metode *Camber* masih aturannya sama seperti jembatan pada umumnya. Perbedaan jembatan *Camber* dengan pelengkung bisa dilihat pada kondisi tumpuannya yang menggunakan sendi dan *roll* pada jembatan *Camber*. Sedangkan jembatan pelengkung menggunakan tumpuan sendi-sendi sehingga saat terjadi deformasi jembatan akan bergeser ke atas atau kebawah. Faktor yang membatasi *Camber* dan pelengkung adalah gaya geser yang akan terjadi bila jembatan dilengkungkan ke atas.

### 2.7. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

- 1) Terdapat pengaruh *Camber* pada model jembatan rangka kayu terhadap penurunan lendutan;
- 2) Terdapat penurunan nilai gaya batang akibat variasi beban yang sama antara jembatan *Camber* dan *non Camber*.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu

Pengujian model jembatan B-Bone telah dilakukan sebelumnya pada 9 Agustus 2009, yaitu pada Kompetisi Jembatan Nasional V di Politeknik Negeri Jakarta, Depok. Selanjutnya penerapan metode *Camber* hanya berupa analisa dan pengujian *software*, mengingat jembatan B-Bone adalah jembatan ruang yang rumit dan lama dalam proses pengerjaannya.

#### 3.2. Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan untuk uji analisa ini adalah :

- *Software AutoCAD* 2009,
- *Software STAAD.Pro* 2004,
- Proposal KJI Tim Yvnone selaku tim Jembatan B-Bone,
- Pustaka dan referensi yang mendukung.

Proses analisis meliputi:

- Menghitung pembebanan sesuai peraturan pembebanan,
- Menggambar variasi *camber* dengan *AutoCAD*,
- Menganalisa gaya batang, lendutan dan perpindahan dengan *STAAD.Pro*,
- Membuat persamaan keseimbangan gaya batang,
- Membuat tabel hasil variasi *Camber*, seperti Tabel 3.1 berikut:

**Tabel 3.1** Contoh tabel “Rincian variasi *Camber*”.

Varian	h maks posisi	Sudut (°)
	geometri (mm)	

- Membuat tabel variasi *camber*, seperti tabel 3.2 berikut :

**Tabel 3.2** Contoh tabel variasi *Camber*, (a) Perbandingan lendutan pada variasi *Camber*, (b) Perbandingan gaya tarik pada variasi *Camber*, (c) Perbandingan gaya tekan pada variasi *Camber*, (d) Perbandingan gaya geser terhadap sumbu-x pada variasi *Camber*, (e) Perbandingan gaya geser terhadap sumbu-z pada variasi *Camber*.

(a)

Varian	Tinggi maks.	Lendutan maksimum (mm)				Selisih
	posisi geometri	dengan beban hidup		tanpa beban hidup		(mm)
	(mm)	(a)	(b)	(c)	(d)	(d)-(a)

(b)

Varian	h maks	Gaya tarik maksimum		Selisih	$\Delta L$	
	<i>Camber</i>	LL	Non LL		(kg)	(m)

(c)

Varian	h maks	Gaya tekan maksimum		Selisih	$\Delta L$	
	<i>Camber</i>	LL	Non LL		(kg)	(m)

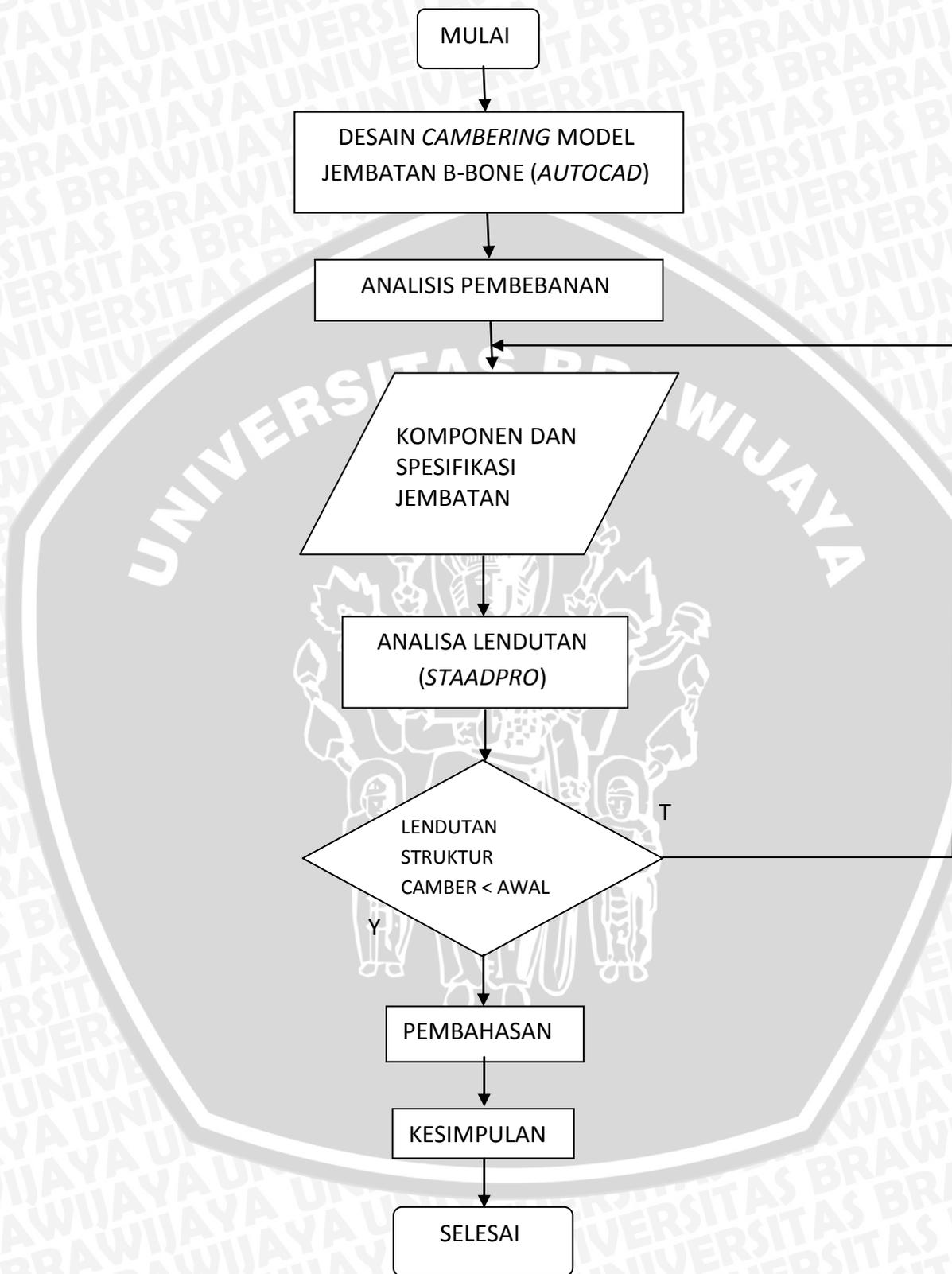
(d)

Varian	Tinggi maks.	Geser sumbu x maksimum (mm)						Selisih
	posisi geometri	dengan beban hidup		Selisih (c)	tanpa beban hidup		Selisih (f)	
	(mm)	(a)	(b)	(b)-(a)	(d)	(e)	(e)-(d)	(f)-(c)

(e)

Varian	Tinggi maks.	Geser sumbu z maksimum (mm)						Selisih
	posisi geometri	dengan beban hidup		Selisih (c)	tanpa beban hidup		Selisih (f)	
	(mm)	(a)	(b)	(b)-(a)	(d)	(e)	(e)-(d)	(c)-(f)

### 3.3. Rencana Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir.

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Jembatan B-Bone adalah jembatan rangka ruang bawah (lalu lintas kendaraan atas) yang menggunakan tiga gelagar utama. Model jembatannya sudah dilombakan pada Kompetisi Jembatan Indonesia V di Politeknik Negeri Jakarta. Secara desain jembatan ini mempunyai keunikan tersendiri karena memperhatikan optimalisasi jumlah batang dan tetap menjaga kekokohan struktural.

Pada pelaksanaannya tidak bisa dihindari terjadinya kesalahan dalam proses pembuatan dan perakitan jembatan, apalagi pada sambungan rangka ruang bagian bawah. Sebab semua pengerjaannya dilakukan secara manual baik pemotongan, pengelasan dan pengeboran material. Universitas dan Politeknik di Kota Malang masih belum bisa menciptakan alat pemotong kayu tiga dimensi yang bisa di-*input* datanya hanya dengan gambar dan memotongnya secara otomatis. Tentunya bila alat tersebut diimpor dari negara yang lebih maju teknologinya akan menambah biaya dalam pembuatan jembatan. Akurasi pendesainan dan pelaksanaan sangat diperhatikan untuk dapat tercapainya target konsep pembangunan jembatan.

Hal untuk mengantisipasi perbedaan lendutan yang terjadi pada hasil pelaksanaan dengan pendesainan beberapa antisipasi bisa dilakukan yang diantaranya pengecekan dan pengawasan mutu material, akurasi pengeboran, dan penerapan metode *camber* pada jembatan.

#### 4.1. Data Struktur

Jembatan B-Bone menggunakan sistem rangka ruang dan lalu lintas kendaraan atas. Pada pemodelannya menggunakan material kayu dan pelat sambung baja dan alat sambung baut dan las. Modelisasi jembatan rangka ruang B-Bone pada Kompetisi Jembatan Indonesia V hanya sebatas *adequate model* yang hanya menguji dari beban statis, yang dibagi menjadi dua tes yaitu beban terpusat hingga 200 kg di tengah bentang dan seperempat bentang. Hal ini hanya untuk memudahkan para peserta dalam membuka pikiran mereka untuk masuk di dunia jembatan yang sebenarnya. Sekilas dokumentasi tentang Tim Yvone dan model jembatan B-Bone di Kompetisi Jembatan Indonesia tercantum di bagian lampiran. Berikut ini adalah data struktur dari jembatan B-Bone pada tabel 4.1.

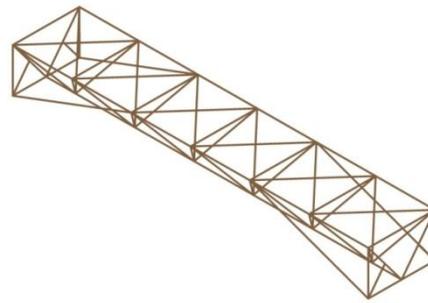
**Tabel 4.1** Data jembatan B-Bone

Komponen	Keterangan
Tumpuan	Sendi-Roll ( <i>rubber pad</i> )
Jumlah segmen	6 segmen
Sambungan	Las, paku, keling/riwet
Kelas kuat kayu	Kelas 1
Jenis	Bangkirai
Dimensi kayu	30 X 40 cm
	45 X 50 cm
Pelat lantai	Multiplek 6 cm
Spesifikasi	
- Bentang	1600 (as-as)
- Lebar	300 (luar-luar)
- Tinggi	200 (luar-luar)
Panjang	
- Dimensi 30 X 40	2213,82
- Dimensi 45 X 50	16175,53

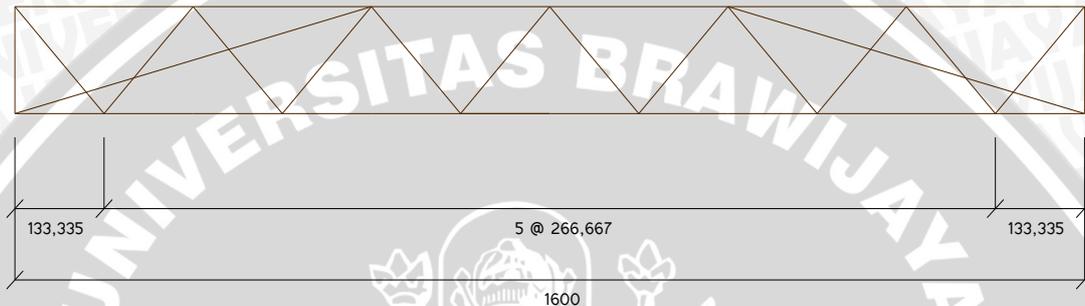
Dalam penelitian ini, analisis pembebanan mengacu pada RSNI T-02-2005 dan fokus penelitian untuk mempelajari efek metode *Camber* pada jembatan *prototype* B-Bone. Variasi utama yang dipersiapkan adalah variasi tinggi maksimum posisi geometri. Sedangkan variasi sekunder namun berhubungan dan mendukung tercapainya tujuan penelitian diambil saat data variasi utama diperoleh. Tentunya akan erat sekali kaitannya dengan gaya batang dan tegangan.

Sebelum meneliti variasi utamanya, hal yang harus dipersiapkan adalah menganalisa struktur jembatannya terlebih dahulu. Dimulai dari perhitungan pembebanan sesuai dengan RSNI T-02-2005, menghitung gaya batang dengan menggunakan *software* staad-pro, lalu mencari dimensi batang dengan perhitungan manual. Setelah didapat dimensi batang yang cocok dan aman terhadap tekuk, lalu dihitung tebal pelat sambung dan perencanaan jumlah alat sambungnya. Pada jembatan B-Bone menggunakan pelat sambung khusus untuk rangka ruang kayu (dokumentasi model pelat sambung ada di bagian lampiran).

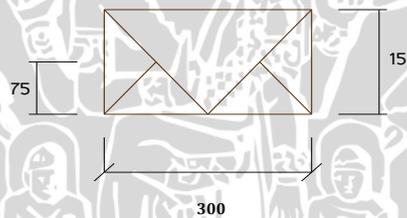
Selain meneliti tentang lendutan, dari hasil data primer tersebut dapat digunakan untuk mempelajari pengaruh gaya dalam terhadap material. Sehingga banyak yang bisa disimpulkan dari hasil penelitian dan tentunya menjadi dasar untuk dikaji lebih dalam lagi. Gambar 4.1 merupakan gambar-as dari jembatan *prototype* B-Bone 16 meter.



(a) Tampak perspektif



(b) Tampak samping



(c) Tampak Depan

**Gambar 4.1** Konstruksi jembatan B-Bone (a) tampak perspektif, (b) tampak samping, (d) tampak depan.

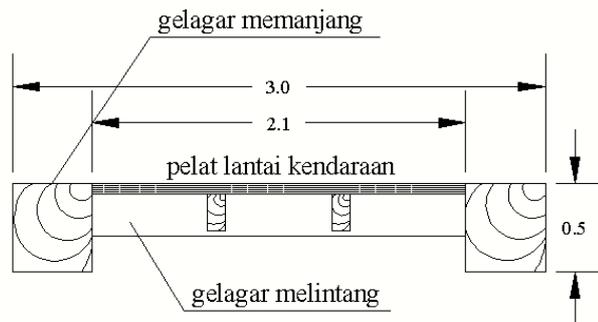
#### 4.2. Analisis Struktur

Jembatan kayu direncanakan memiliki lebar jalur 3 m dan merupakan jalur 1 arah dengan jumlah lajur 1 buah. Pelat kendaraan terbuat dari papan kayu keras dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tebal = 6 cm
- Berat =  $11 \text{ kN/m}^3$
- Berat jenis =  $1120 \text{ kg/m}^3$

(Tabel 3 RSNI T-02-2005 Pembebanan Untuk Jembatan)

Direncanakan terdapat 4 gelagar memanjang dengan jarak antar gelagar memanjang adalah 1 m dan 7 gelagar melintang dengan jarak antar gelagar melintang adalah 2,667 m. Gambar 4.2 merupakan potongan melintang jembatan.



Gambar 4.2 Potongan melintang jembatan.

#### 4.2.1. Analisis pembebanan pada gelagar

##### ➤ Beban Pelat

Beban mati lantai kendaraan terdiri atas berat masing-masing elemen non-struktural. Masing-masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang terintegrasi pada waktu menerapkan faktor beban biasa dan yang berkurang.

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri papan untuk 1 pias} &= 0,06 \times 1120 = 67,2 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat sambungan} &= 10\% \times 67,2 = \underline{6,72 \text{ kg/m}^2} + \\ \text{Total beban mati} &= 73,92 \text{ kg/m}^2 \\ &= 74 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Berat sendiri terpusat} = 74 \times 1 \text{ m} \times 2,667 \text{ m} = 197,358 \text{ kg (tengah)}$$

$$\text{Berat sendiri terpusat} = 74 \times 0,5 \text{ m} \times 2,667 \text{ m} = 98,679 \text{ kg (tepi)}$$

Faktor beban ultimit akibat beban mati kayu : 1,4 (Tabel 4).

##### ➤ Beban Hidup

Sesuai tabel 11 RSNI T-02-2005 Pembebanan Untuk Jembatan, lebar jembatan 4m untuk lalu lintas 1 arah dengan lajur 1 buah.

$$\text{BTR untuk } L \leq 30 \text{ m, maka } q = 9 \text{ kPa} = 900 \text{ kg/m}^2$$

$$p = 900 \times 1 \text{ m} \times 2,667 \text{ m} = 2400,3 \text{ kg (tengah)}$$

$$p = 900 \times 0,5 \text{ m} \times 2,667 \text{ m} = 1200,15 \text{ kg (tepi)}$$

BGT : Lajur kurang atau sama dengan 5,5 m, maka

$$p = 49 \text{ kN/m} = 4900 \text{ kg/m}$$

Beban D bekerja di seluruh bentang lantai kendaraan sebesar 100 %

Faktor beban ultimit akibat beban lajur " D " : 1,8 (Tabel 10).

➤ **Beban Angin** (Sub bab 7.6 RSNI T-02-2005 Pembebanan Untuk Jembatan)

Beban angin bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Beban angin dapat dihitung dengan persamaan :

$$T_{EW} = 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \times A_b \text{ (kN)}$$

Luas ekuivalen yang terkena beban angin adalah 30 % dari luas kedua sisi rangka luar.

$$\begin{aligned} A_b &= 30\% \times 37,3071 \text{ m}^2 \\ &= 11,192 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

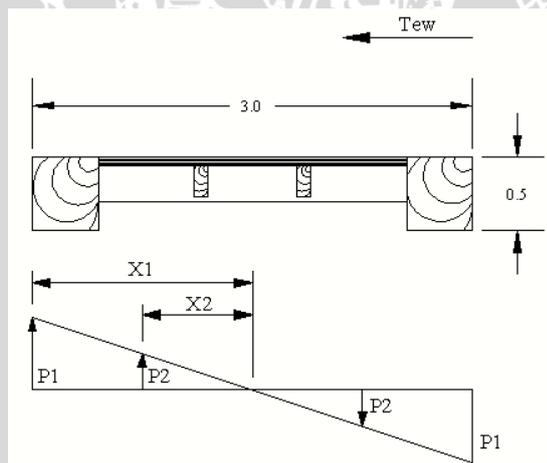
Nilai  $C_w$  : 1,2

Kecepatan angin rencana =  $V_w = 30 \text{ m/dt}$  (Tabel 28)

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } T_{EW} &= 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \times A_b \text{ (kN)} \\ &= 0,0012 \times 1,2 \times 30^2 \times 11,192 \\ &= 14,505 \text{ kN} \\ &= 1450,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Faktor beban ultimit akibat beban angin : 1,2 (Tabel 26).

Untuk menghitung beban akibat angin diperlukan diagram momen seperti pada Gambar 4.3. Berikut adalah gambar diagram momen.



**Gambar 4.3** Diagram momen akibat beban angin.

$$y = 0.5 \cdot 0.5 + 1 = 1,25 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_A &= y \cdot T_{EW} \text{ per m panjang} \\ &= 1,25 \cdot 1450,5 \\ &= 1813,125 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_A = P_1 \cdot x + P_2 \cdot x_2$$

$$1813,125 = P_1 \cdot 1 + 0,5 P_1 \cdot 2$$

$$2 P_1 = 1813,125$$

$$P_1 = 906,56 \text{ kg}$$

$$P \text{ per m panjang} = 906,56/16 = 56,66 \text{ kg/m}$$

Beban P angin yang bekerja pada gelagar induk sebesar 56,66 kg/m

Beban P angin pada titik simpul gelagar atas:

$$P = 56,66 \text{ kg/m} \cdot 2,667 = 151,1126 \text{ kg}$$

#### ➤ **Beban Kombinasi**

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi Tengah} &= 1,4 \text{ B.Pelat lantai kendaraan} + 1,8 \text{ B.Hidup} + 1,2 \text{ B.Angin} \\ &= 1,4 \times 197,358 + 1,8 \times 2400,3 + 1,2 \times 151,1126 \\ &= 4778,176 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi Tepi} &= 1,4 \text{ B.Mati} + 1,8 \text{ B.Hidup} + 1,2 \text{ B.Angin} \\ &= 1,4 \times 98,679 + 1,8 \times 1200,15 + 1,2 \times 75,5563 \\ &= 2389,088 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.2.2. Perencanaan gelagar memanjang

##### ➤ **Beban Mati**

$$\text{Berat jenis kayu Bangkirai kelas I} = 1250 \text{ kg/m}^3$$

Berat gelagar memanjang untuk 1 pias (b = 10 cm, h = 20 cm)

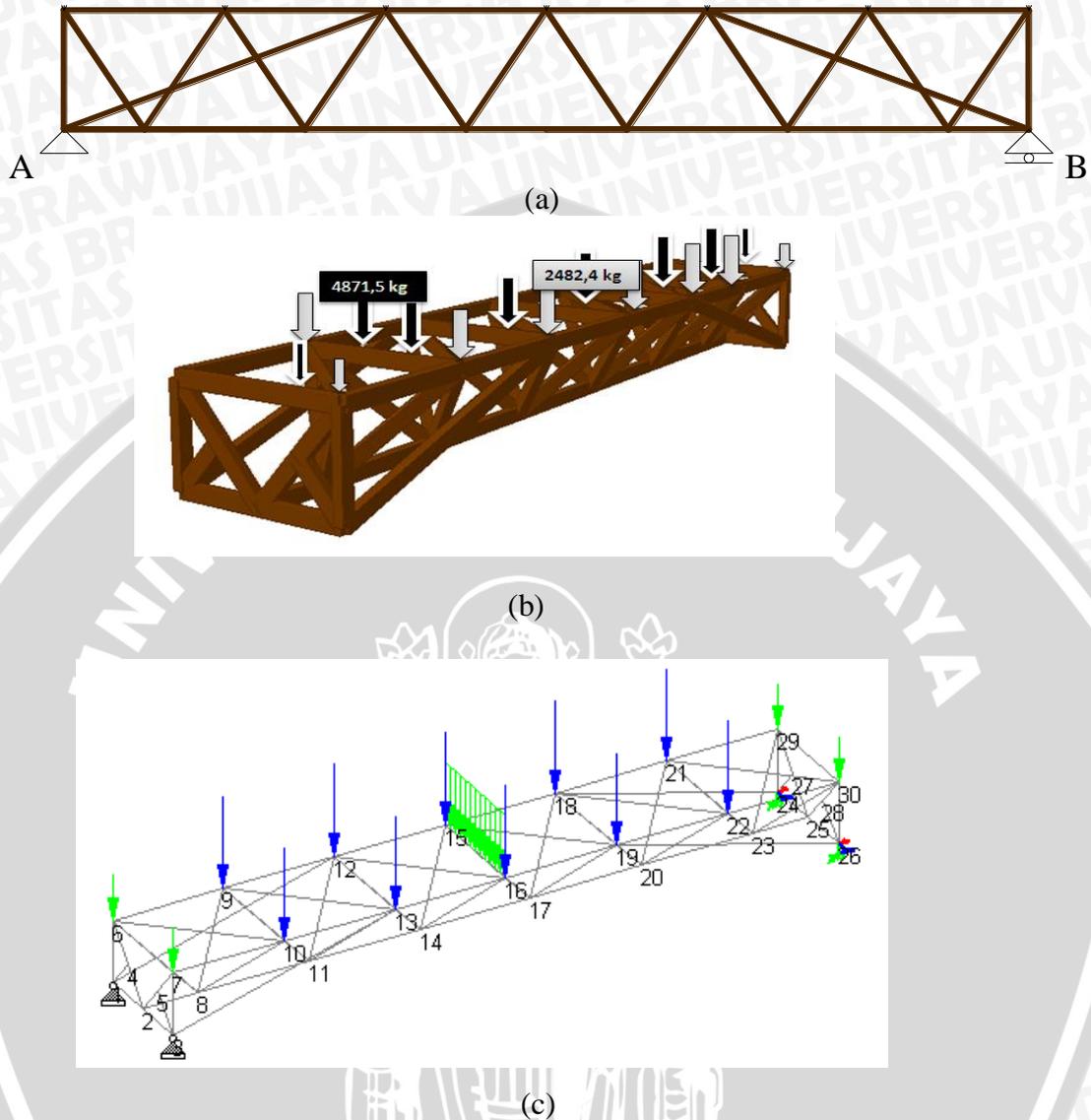
$$\begin{aligned} &= 0,10 \times 0,20 \times 2,667 \times 1250 \\ &= 66,675 \text{ kg} \end{aligned}$$

##### ➤ **Beban Kombinasi**

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi Tengah} &= 1,4 \times 66,675 + \text{Kombinasi} \\ &= 93,345 + 4778,176 \\ &= 4871,521 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kombinasi Tepi} &= 1,4 \times 495 + \text{Kombinasi 2} \\ &= 93,345 + 2389,088 \\ &= 2482,433 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga model struktur menjadi :



**Gambar 4.4** Jembatan B-Bone, (a) kondisi tumpuan, (b) dan (c) pembebanan

Karena beban simetris maka nilai reaksi di kedua tumpuan adalah:

$$R_a = R_b = \frac{54871,521 \times 6 + 2482,433 \times 6}{2} = 172061,9 \text{ kg}$$

Nilai reaksi ini adalah nilai gaya yang bekerja pada 1 titik buhul tumpuan.

Setelah analisis pembebanan, maka dapat dilakukan analisis gaya batang menggunakan *STAAD.Pro*. Hasil analisis gaya batang jembatan B-Bone terlampir pada Lampiran 3.

### Mendimensi Batang

Dalam mendimensi batang menggunakan SNI 03-xxxx-2000 (kayu), tabel 3.1. Kayu yang digunakan adalah kayu dengan kode mutu E26 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\sigma_{lt} = 66 \text{ Mpa} = 660 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{tr//} = 60 \text{ Mpa} = 600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{tk//} = 46 \text{ Mpa} = 460 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{tk \perp} = 24 \text{ Mpa} = 240 \text{ kg/cm}^2$$

Dimensi kayu yang diambil adalah 45 x 50 cm. Berikut adalah analisa batang tarik dan batang tekan berdasarkan gaya batang, dimensi kayu dan tegangan ijin.

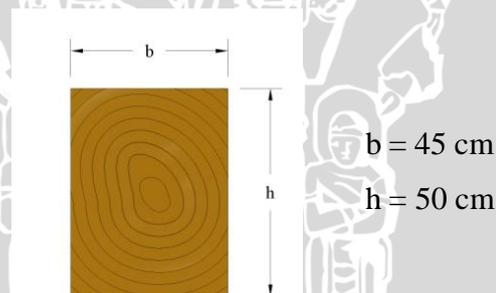
### Analisa Batang Tarik

Dalam menganalisa batang tarik, digunakan tabel 4.2. Batang yang mengalami tarik maksimum yaitu batang 40 dengan rincian sebagai berikut:

$$\text{gaya batang} = 181748,41 \text{ kg}$$

$$\text{panjang batang} = 266,667 \text{ cm}$$

$$\text{ukuran kayu} = 45 \times 50 \text{ cm}$$



**Gambar 4.5** Dimensi Batang

Konstruksi tidak terlindung tetapi dapat cepat mengering sehingga faktor  $\alpha = 5/6$ . Konstruksi yang tegangannya diakibatkan oleh muatan tetap dan muatan tidak tetap sehingga faktor  $\beta = 5/4$ .  $\sigma_{tr//} = 600 \text{ kg/cm}^2$ .

Penyelesaian :

Tegangan maksimum tarik ijin

$$\sigma_{tr//} = \alpha \times \beta \times \sigma_{tr//}$$

$$= 5/6 \times 5/4 \times 600$$

$$= 625 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Bruto} = 2250 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Netto} = 1687,5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{tr} // = \frac{P}{F_n} = \frac{181748,41}{1687,5} = 107,703 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{tr} // (\dots\dots\text{ok})$$

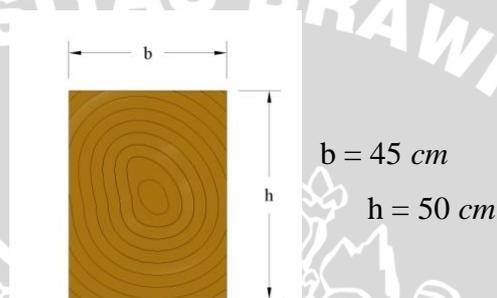
### Analisa Batang Tekan

Dalam menganalisa batang tekan, digunakan tabel 4.2. Batang yang mengalami tarik maksimum yaitu batang 35 dengan rincian sebagai berikut:

$$\text{gaya batang} = 82814,487 \text{ kg}$$

$$\text{Panjang batang} = 266,667 \text{ cm}$$

$$\text{ukuran kayu} = 45 \times 50 \text{ cm}$$



**Gambar 4.6** Dimensi Batang

Konstruksi tidak terlindung tetapi dapat cepat mengering sehingga faktor  $\alpha = 5/6$ . Konstruksi yang tegangannya diakibatkan oleh muatan tetap dan muatan tidak tetap sehingga faktor  $\beta = 5/4$ .  $\sigma_{tk} // = 460 \text{ kg/cm}^2$ .

Penyelesaian :

Tegangan maksimum tekan ijin

$$\begin{aligned} \sigma_{tk} // &= \alpha \times \beta \times \sigma_{tk} // \\ &= 5/6 \times 5/4 \times 460 \\ &= 416,6667 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas Penampang Bruto} = 2250 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas Penampang Netto} = 1687,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Panjang batang efektif } (L_k) = 1 \times 266,667 = 266,667 \text{ cm } (L_k \text{ sendi-sendi})$$

$$i_{min} = i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1/12 h b^3}{h b}} = 0,289b = 0,289 \times 45 = 13,01$$

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{min}} = \frac{266,667}{13,01} = 20,497$$

Dengan menggunakan metode interpolasi maka didapatkan:

$$\left. \begin{array}{l} \lambda = 20 \rightarrow \omega = 1,15 \\ \lambda = 21 \rightarrow \omega = 1,16 \end{array} \right\} \omega = 1,15 + \frac{(20,497 - 20)(1,16 - 1,15)}{(21 - 20)} = 1,154 \approx 1,15$$

Karena  $\omega = 1,15$  maka  $\bar{\sigma}_{tk} // = 113 \text{ kg/cm}^2$  (diambil dari PKK1 1961, hal 10)

$$\sigma_{tk} // = \frac{\omega P}{F_{br}} = \frac{1,15 \times 82814,487}{2250} = 42,327 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_{tk} // (\dots\dots\text{ok})$$

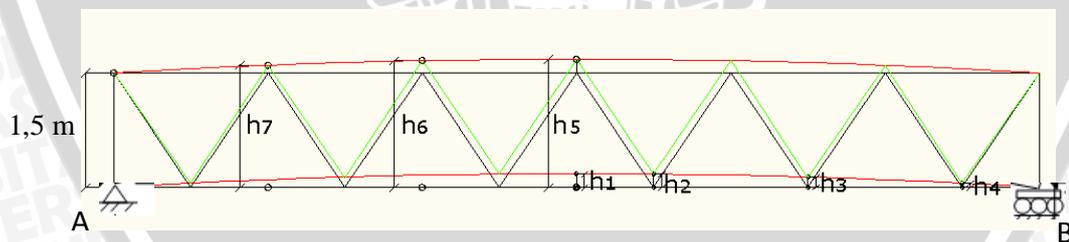
Kontrol tegangan batang tarik dan tekan masih di bawah tegangan ijin. Maka dimensi 45 x 50 aman untuk digunakan.

### 4.3. Analisis Metode Camber

Analisis metode *Camber* meliputi dua proses, yaitu desain ketinggian posisi geometri sesuai variasi yang ditetapkan. Selanjutnya memasukkan desain masing-masing varian dengan pembebanan yang sudah dihitung sebelumnya.

#### 4.3.1. Desain jembatan B-Bone dengan metode *Camber*

Desain jembatan B-Bone dibagi menjadi tujuh variasi, mulai dari ketinggian  $h_1 = 0 \text{ mm}$ , 40 mm, 80 mm, 120 mm, 180 mm dan 200 mm. Untuk mendapatkan perbandingan maksimum, maka diambil varian ketujuh dengan  $h_1 = 400 \text{ mm}$ .



**Gambar 4.7** Rencana ketinggian *Camber* pada jembatan B-Bone

Gambar 4.7 merupakan skema untuk memudahkan variasi *Camber* pada *Autocad*. Ketinggian  $h_1$  hingga  $h_7$  dihitung sehingga membuat *Camber* lebih presisi. Setelah didapat tinggi maksimum *Camber*, kita bisa menarik garis lengkung 3 titik dengan menu *3-Point* pada *Autocad* dengan posisi titik tumpuan A – titik  $h_1$  – titik tumpuan B. Sedangkan pada gelagar atas disejajarkan dengan gelagar bawah. Setelah dibuat garis lengkung, koordinat pada masing-masing titik simpul bisa menjadi acuan

untuk digunakan dalam pendesainan jembatan pada menu *Geometry* di *STAAD.Pro*. Gambar ketujuh varian ada di bagian lampiran.

#### 4.3.2. Pengaruh *Camber* terhadap lendutan

Pengaruh *Camber* terhadap Lendutan pada Jembatan Rangka Ruang B-bone berdasar variasi ketinggian dan sudut. Tabel 4.2 merupakan rincian dari ketujuh variasi yang digunakan.

**Tabel 4.2** Rincian variasi *Camber*.

Varian	h maks posisi geometri (mm)	Sudut
0	0	0.00°
1	40	0.57°
2	80	1.15°
3	120	1.72°
4	160	2.29°
5	200	2.86°
6	400	5.25°

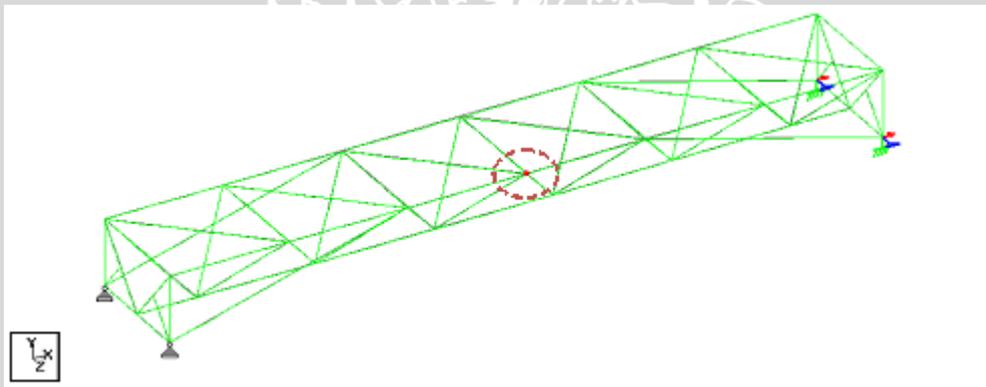
Penggunaan metode *Camber* juga ada batasnya, mengingat perencanaan jembatan juga memperhatikan segi kenyamanan pengendara. Dan apabila terlalu melengkung mengakibatkan ujung jembatan akan keluar berlebihan pada tumpuan sendi rol dan menghantam timbunan tanah sebelah tumpuan.

Pada penelitian ini, digunakan beberapa analisa perbandingan untuk mengetahui sejauh mana peran metode *Camber* pada jembatan B-Bone. Penelitian ini diawali dengan membuat variasi *Camber* dilihat dari tinggi maksimum posisi geometri pada gelagar bawah jembatan. Diambil rentang dari tinggi maksimum 0 sampai 200 mm dengan selisih 40 mm. Serta untuk perbandingan maksimum tinggi posisi geometri yaitu 2.5 % dari panjang bentang jembatan, pada jembatan B-Bone tinggi maksimumnya 400 mm. Hasil perbandingan variannya bisa dilihat pada Tabel 4.3. Selain variasi *camber* juga dianalisa pengaruh ada dan tidaknya beban hidup atau *Life Load(LL)*.

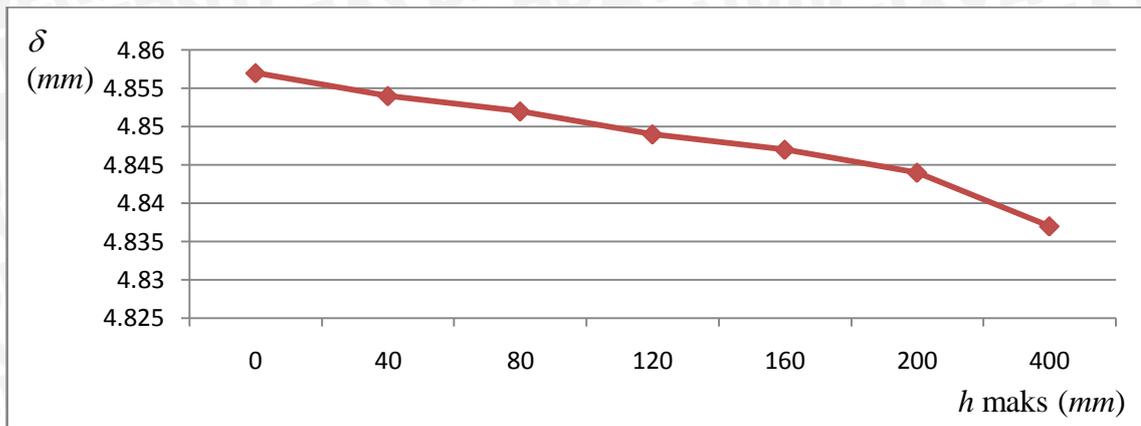
**Tabel 4.3** Perbandingan lendutan pada variasi *Camber*.

Varian	Tinggi maks.	Lendutan maksimum (mm)		Selisih (mm)
	posisi geometri	<i>LL</i>	Non <i>LL</i>	
	(mm)	(a)	(b)	(b) - (a)
0	0	-19.073	-4.857	14.216
1	40	-19.06	-4.854	14.206
2	80	-19.046	-4.852	14.194
3	120	-19.033	-4.849	14.184
4	160	-19.021	-4.847	14.174
5	200	-19.008	-4.844	14.164
6	400	-18.963	-4.837	14.126

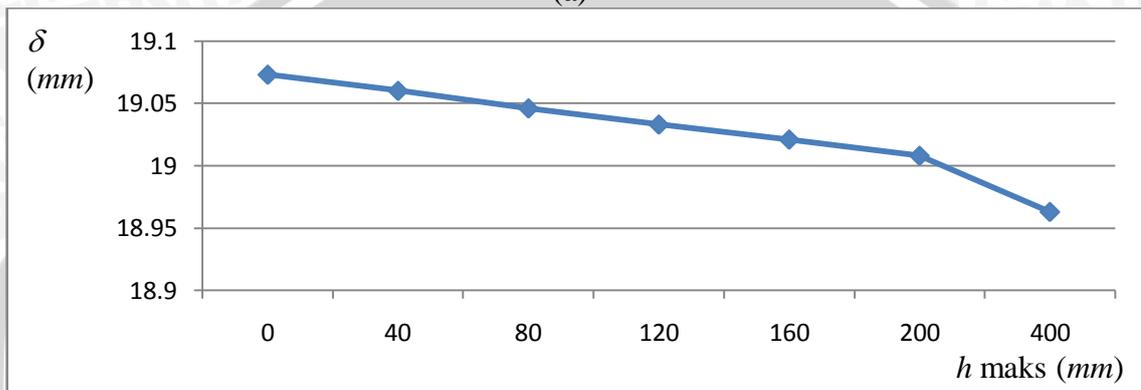
Dari tabel 4.3 lendutan yang terjadi semakin mengecil jika posisi geometri ditinggikan hingga pada posisi *Camber* maksimum. Dari variasi di atas membuktikan lendutan tanpa beban hidup (non *LL*) besarnya sekitar 25% dari lendutan dengan beban hidup (*LL*). Adanya beban hidup pada tabel 4.3, merupakan kondisi saat kendaraan penuh di atas jembatan. Gambar 4.8 memperlihatkan letak lendutan maksimum pada jembatan B-Bone tepatnya pada titik simpul 16 (yang dilingkari).

**Gambar 4.8** Letak lendutan maksimum pada titik simpul 16.

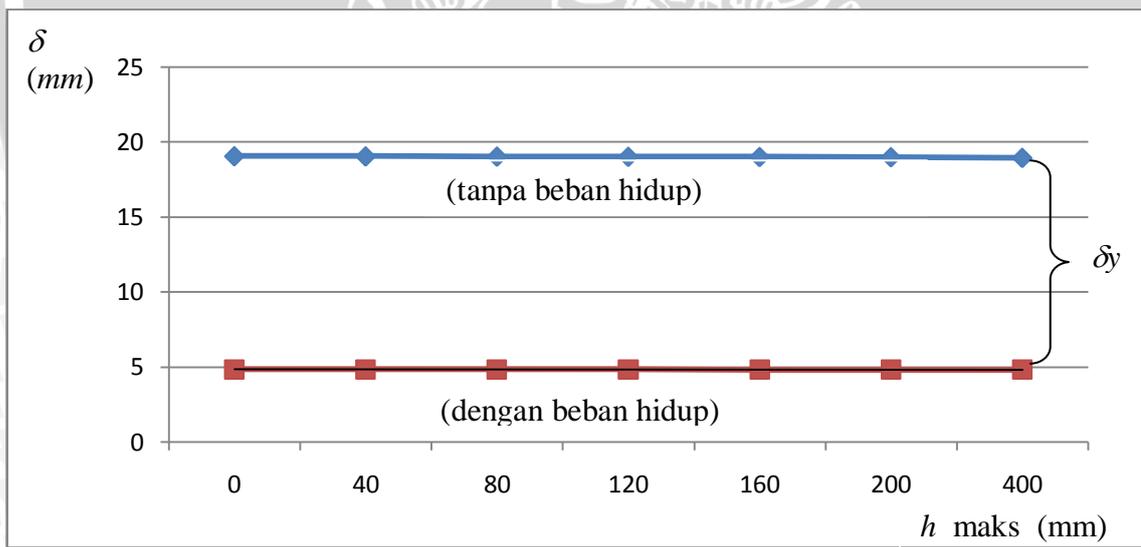
Berdasarkan Tabel 4.3, selisih lendutan pada varian-0 saat ada beban hidup dan saat tidak ada beban hidup sebesar 14,216 mm atau sebesar 74,53%. Selisih ( $\delta y$ ) yang cukup besar ini bisa berkurang dengan menggunakan metode *Camber*. Hasil penggunaan metode ini bisa dilihat pada penurunan lendutan varian-6 sebesar 14,126 mm atau sebesar 74,49%. Bila dilihat secara rinci,  $\delta y$  antar varian turun sebesar 1% dan  $\delta y$  varian-0 dengan varian-6 turun sebesar 9%. Gambar 4.9 adalah grafik selisih lendutan ( $\delta y$ ) dari variasi *Camber* dengan meninjau ada dan tidaknya pembebanan “D” pada jembatan.



(a)



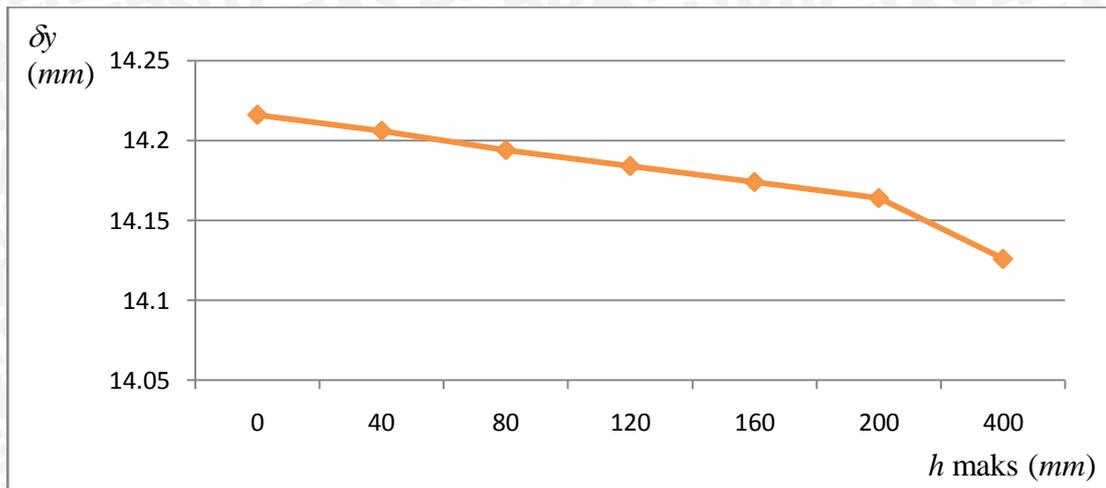
(b)



(c)

**Gambar 4.9** Perbandingan lendutan pada variasi *Camber*, (a) tanpa beban hidup, (b) dengan beban hidup, (c)  $\delta_y$ .

Penurunan selisih lendutan seperti yang terlihat merupakan bukti peningkatan kekuatan pada jembatan. Gambar 4.10 merupakan grafik penurunan selisih lendutan akibat pembebanan.



**Gambar 4.10** Penurunan lendutan pada variasi *Camber*

Dari data yang di dapat selisih lendutan saat jembatan dibebani dan tidak dibebani, semakin mengecil saat posisi *Camber* maksimum. Sehingga  $\delta y$  tersebut adalah jarak dari selisih perpindahan yang terjadi. Semakin kecil nilai  $\delta y$  maka semakin kecil nilai  $\Delta L$ , mengingat setiap varian *Camber* mempunyai variabel terikat yaitu panjang awal ( $P$ ), luas penampang ( $A$ ) dan modulus elastisitas ( $E$ ) yang konstan. Penurunan  $\Delta L$  (perpanjangan atau perpendekan) berbanding lurus dengan penurunan besar  $P$  (gaya batang). Tabel 4.4 berisi penurunan gaya pada batang yang mengalami tarik maksimum.

**Tabel 4.4** Perbandingan gaya tarik pada variasi *Camber*.

Varian	h maks <i>Camber</i> (mm)	Gaya tarik maksimum (kg)		Selisih (kg)	$\Delta L$	
		LL	Non LL		(m)	(cm)
0	0	181748.4	44735.5	137012.9	0.0013	0.12993
1	40	181626.8	44709.73	136917.1	0.0013	0.12983
2	80	181493.6	44681.39	136812.3	0.0013	0.12974
3	120	181367.2	44655.03	136712.1	0.0013	0.12964
4	160	181241.1	44628.88	136612.2	0.0013	0.12955
5	200	181103.8	44600.48	136503.3	0.0013	0.12944
6	400	180484.4	44477.89	136006.5	0.0013	0.12897

Tabel 4.4 memperlihatkan penurunan gaya tarik maksimum dari varian-0 hingga varian-6. Pada varian-0, gaya tarik maksimum yang dimasukkan beban hidup (LL) dikurangi gaya tarik maksimum yang tidak dimasukkan beban hidup (non LL) sebesar 137012,9 kg atau sebesar 75,39%. Sedangkan pada varian-6, gaya tarik

maksimum yang dimasukkan beban hidup dikurangi gaya tarik maksimum yang tidak dimasukkan beban hidup sebesar 136006,5 kg atau sebesar 75,36%. Selisih yang bisa diambil dari kedua varian tersebut sebesar 1006,425 kg atau sebesar 0,73%. Ditinjau dari batang yang mengalami gaya tarik maksimum pada varian-0 dan varian-6 saat keduanya dimasukkan beban hidup dapat diambil penurunan sebesar 1264,03 kg atau sebesar 0,695%. Apabila beban hidup dihilangkan atau pada kondisi lapangannya saat tidak ada kendaraan diatas jembatan terjadi penurunan gaya pada batang tarik maksimum sebesar 257,605 kg atau sebesar 0,576%. Sehingga, bisa diambil pengurangan gaya tarik maksimum pada varian-6. Hal ini menunjukkan metode *Camber* mengurangi tegangan tarik pada batang. Begitu juga pada deformasi(perpanjangan) batang, terjadi penurunan  $\Delta L$  pada varian-0 dengan varian-6 sebesar 0,73%. Berikut ini merupakan pembahasan pengaruh metode *Camber* terhadap batang yang mengalami tekan. Hal ini merupakan kebalikan dari pengaruh *Camber* terhadap batang yang mengalami tarik karena semakin posisi geometri menuju *Camber* maksimum semakin meningkat gaya tekannya, seperti pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Perbandingan gaya tekan pada variasi *Camber*.

Varian	$h$ maks	Gaya tekan maksimum		Selisih	$\Delta L$	
	<i>Camber</i> (mm)	<i>LL</i>	Non <i>LL</i>	(kg)	(m)	(cm)
0	0	82814.49	21061.22	61753.27	0.0006	0.05856
1	40	82854.27	21073.38	61780.89	0.0006	0.05859
2	80	82897.21	21086.47	61810.73	0.0006	0.05861
3	120	82937.82	21099.15	61838.67	0.0006	0.05864
4	160	82981.55	21112.68	61868.87	0.0006	0.05867
5	200	83017.59	21124.5	61893.09	0.0006	0.05869
6	400	83236.73	21195.02	62041.71	0.0006	0.05883

Peningkatan gaya pada batang yang mengalami gaya tekan maksimum masih aman terhadap faktor tekuk. Hal ini bisa dikatakan aman karena selisih peningkatan gaya tekan pada varian-0 dengan varian-6 sebesar 422,239 kg atau sekitar 0,51% saat dimasukkan beban hidup(*LL*) masih jauh dari tegangan ijin tekan. Apabila beban hidup dihilangkan maka peningkatan gaya tekan sebesar 133,803 kg atau sebesar 0,63%. Pada varian-0, gaya tekan maksimum yang dimasukkan beban hidup dikurangi gaya tekan maksimum yang tidak dimasukkan beban hidup sebesar 61753,27 kg atau sebesar 74,57%. Sedangkan pada varian-6, gaya tekan maksimum yang dimasukkan beban hidup dikurangi gaya tekan maksimum yang tidak dimasukkan beban hidup sebesar 62041,71 kg atau sebesar 74,54%. Selisih yang bisa diambil dari kedua varian tersebut

sebesar 288,436 kg atau sebesar 0,46%. Angka ini cukup kecil jika dibandingkan gaya pada batang tarik maksimum. Perbandingan gaya tekan dan gaya tarik hasil dari selisih varian-0 dan varian-6 jika dimasukkan variabel terikat beban hidup yaitu 1: 3. Sedangkan jika tidak dimasukkan beban hidup perbandingannya menjadi 1: 2. Sehingga bisa dikatakan metode *Camber* lebih berpengaruh mengurangi gaya tarik dibandingkan dengan peningkatan gaya tekan pada batang. Begitu juga pada deformasi(perpendekan) batang, terjadi penurunan  $\Delta L$  pada varian-0 dengan varian-6 sebesar 0,46%.

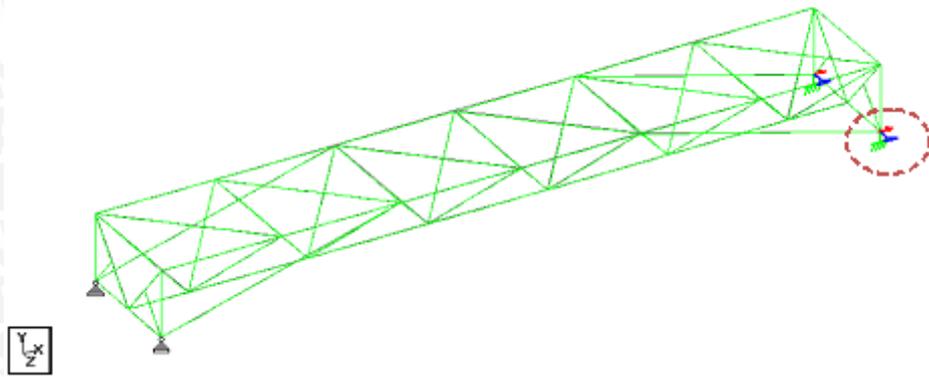
Menurunnya deformasi tarik merupakan usaha menjaga elastisitas bahan. Dengan metode *Camber*, tegangan yang terjadi berkurang dibawah tegangan tarik ijin. Apalagi jembatan merupakan konstruksi yang terkena efek fatik dan rangkak. Mengingat efek fatik pada material dapat menimbulkan kegagalan pada tegangan yang relatif rendah (meskipun masih di bawah kekuatan elastis material).

Pada dasar teori Metode *Camber* menimbulkan gaya geser keluar dari tumpuan *roll*. Pada penelitian ini telah dianalisa berapa besar gaya geser atau perpindahan yang terjadi pada sumbu x dan z. Hasil analisa dijabarkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Perbandingan gaya geser terhadap sumbu-x pada variasi *Camber*.

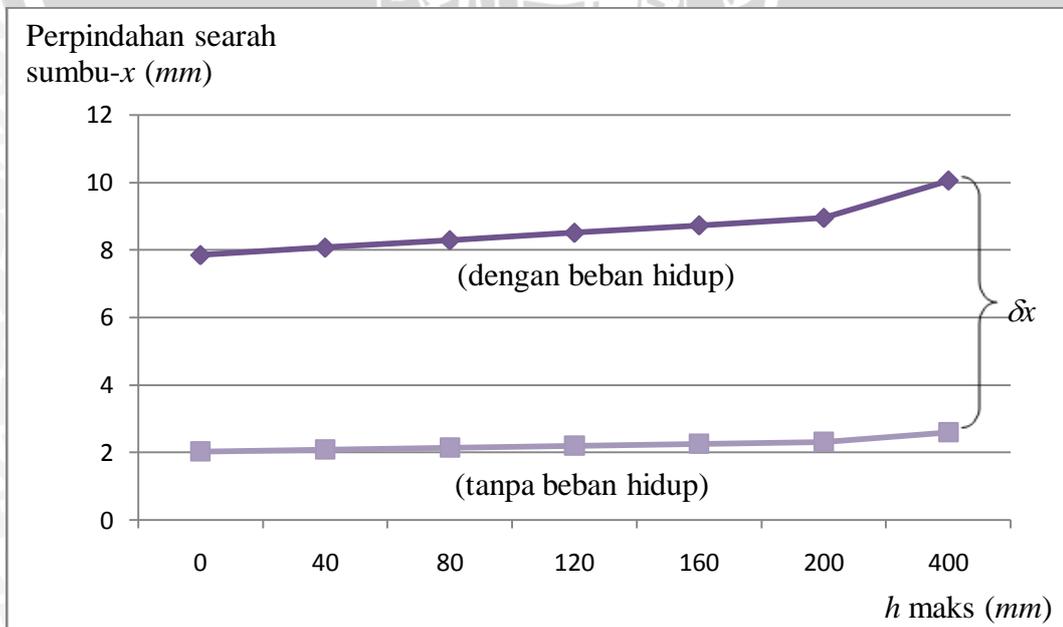
Varian	Tinggi maks.	Geser sumbu x maksimum (mm)					Selisih (mm)	
	posisi geometri	dengan beban hidup		Selisih (c)	tanpa beban hidup			Selisih (f)
	(mm)	(a)	(b)	(b)-(a)	(d)	(e)		(e)-(d)
0	0	0	7.841	7.841	0	2.025	2.025	5.816
1	40	0	8.061	8.061	0	2.082	2.082	5.979
2	80	0	8.281	8.281	0	2.138	2.138	6.143
3	120	0	8.501	8.501	0	2.195	2.195	6.306
4	160	0	8.722	8.722	0	2.252	2.252	6.47
5	200	0	8.941	8.941	0	2.309	2.309	6.632
6	400	0	10.047	10.047	0	2.595	2.595	7.452

Berdasar tabel 4.6 metode *Camber* mengakibatkan perpindahan searah sumbu-x. Kolom (a) dan (d) adalah perpindahan yang terjadi pada titik simpul di tumpuan sendi. Sedangkan kolom (b) dan (e) adalah perpindahan yang terjadi pada titik simpul di tumpuan *roll* tepatnya di titik simpul 26 seperti pada Gambar 4.11 (yang dilingkari).

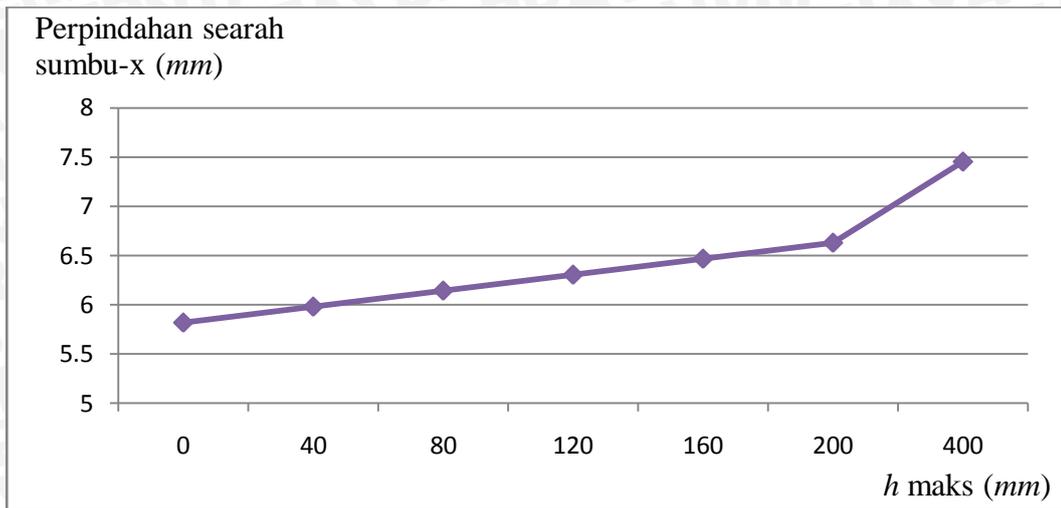


**Gambar 4.11** Letak geser maksimum searah sumbu-x pada titik simpul 26.

Berdasarkan Tabel 4.6, perpindahan pada varian-0 dan varian-6 dengan memasukkan beban hidup terjadi peningkatan sebesar 2,21 mm atau sebesar 21,96%. Sedangkan apabila beban hidup dihilangkan peningkatannya sebesar 0,57 mm atau sebesar 21,97%. Untuk diketahui selisih perpindahan searah sumbu-x saat ada beban hidup dan tidak ada beban hidup meningkat yaitu dari 5,816 mm(pada varian-0) menjadi 7,452 mm(pada varian-6). Peningkatan sebesar 1,64 mm atau sebesar 21,95% menyatakan bahwa semakin tinggi posisi *Camber* semakin besar pula pergeseran yang terjadi. Mengingat salah satu tumpuan jembatan bersifat *roll* sehingga memungkinkan untuk bebas bergerak. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.12. Selisih perpindahan saat jembatan terdapat beban hidup dan saat tidak ada beban hidup membesar seiring bertambahnya tinggi *Camber*.



(a)



(b)

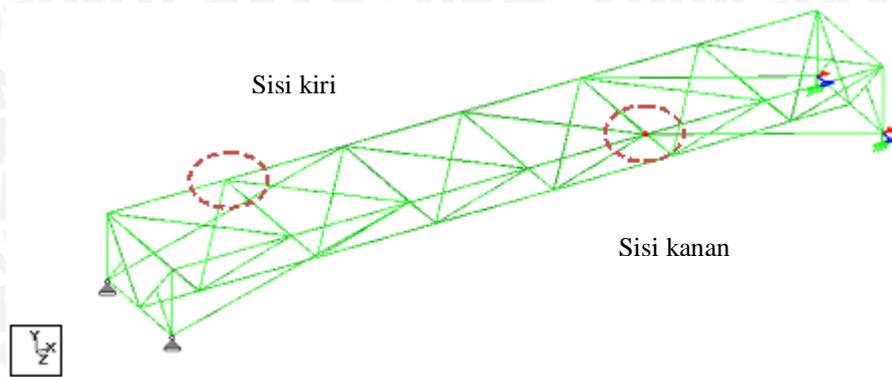
**Gambar 4.12** Gaya geser terhadap sumbu-x jembatan dengan variasi *Camber* (a)  $\delta x$ , (b) kenaikan  $\delta x$  akibat variasi *Camber*.

Berikut adalah hasil analisa gaya geser yang terjadi searah sumbu-z akibat variasi *Camber*. Metode ini berpengaruh terhadap perpindahan searah sumbu-z. Hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Perbandingan gaya geser terhadap sumbu-z pada variasi *Camber*.

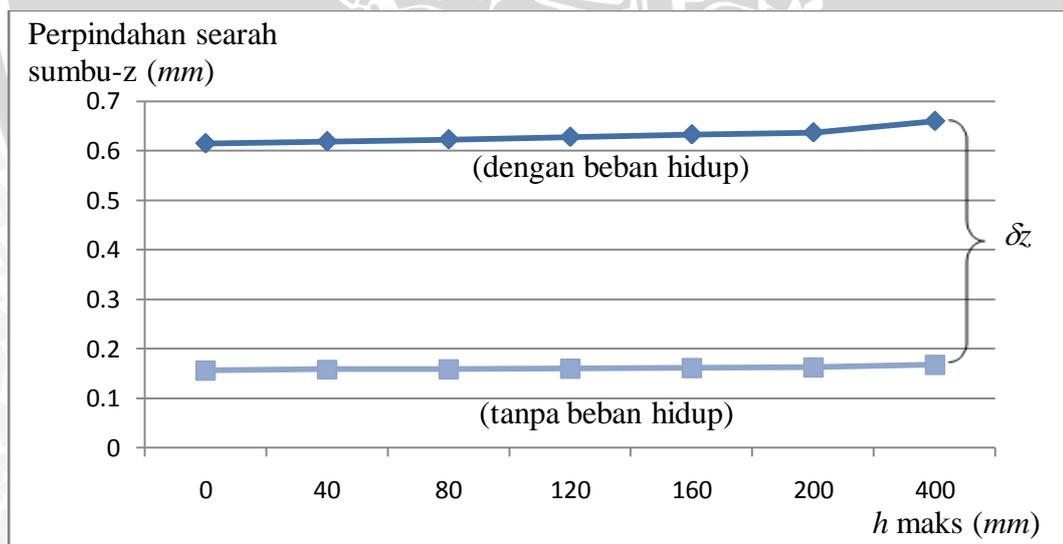
Varian	Tinggi maks.	Geser sumbu z maksimum (mm)					Selisih (mm)	
	posisi geometri	dengan beban hidup		Selisih (c)	tanpa beban hidup			Selisih (f)
	(mm)	(a)	(b)	(b)-(a)	(d)	(e)		(e)-(d)
0	0	-0.207	0.408	0.615	-0.051	0.105	0.156	0.459
1	40	-0.207	0.412	0.619	-0.051	0.107	0.158	0.461
2	80	-0.206	0.417	0.623	-0.051	0.108	0.159	0.464
3	120	-0.206	0.422	0.628	-0.051	0.109	0.16	0.468
4	160	-0.206	0.427	0.633	-0.051	0.11	0.161	0.472
5	200	-0.206	0.431	0.637	-0.051	0.112	0.163	0.474
6	400	-0.204	0.456	0.66	-0.05	0.118	0.168	0.492

Berdasar Tabel 4.7, metode *Camber* mengakibatkan perpindahan searah sumbu-z. Kolom (a) dan (d) adalah perpindahan yang terjadi pada titik simpul sisi jembatan sebelah kiri. Sehingga nilai negatif menyatakan perpindahan titik simpul berlawanan dengan sisi jembatan sebelah kanan. Sedangkan kolom (b) dan (e) adalah perpindahan yang terjadi pada titik simpul sisi jembatan sebelah kanan. Sehingga nilai positif menyatakan perpindahan titik simpul berlawanan dengan sisi jembatan sebelah kiri. Nilai maksimum pada sisi kanan yaitu pada titik simpul 19. Sedangkan pada sisi kiri yaitu pada titik simpul 9. Seperti pada Gambar 4.13 (yang dilingkari).

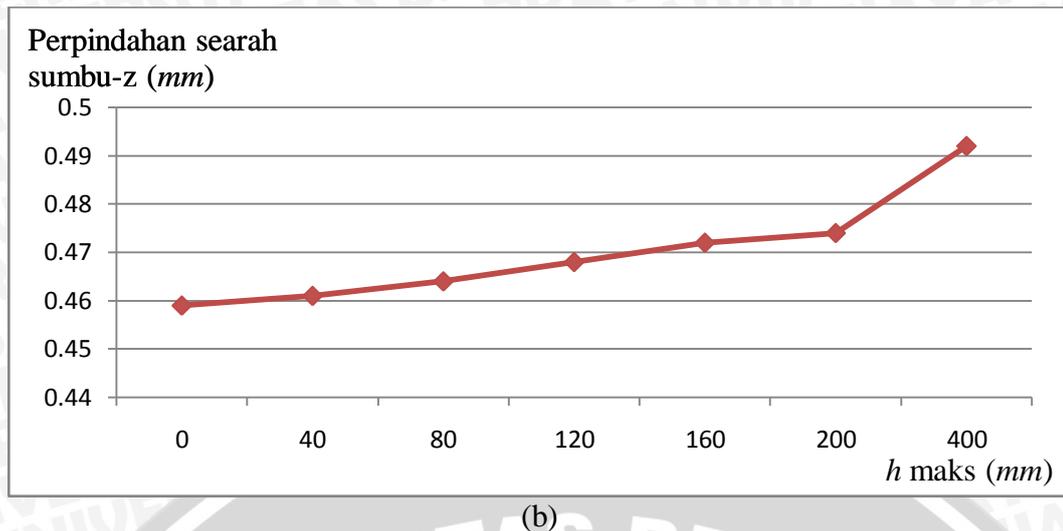


**Gambar 4.13** Letak geser maksimum searah sumbu-z, sisi kanan pada titik simpul 19 dan sisi kiri pada titik simpul 9.

Selisih Perpindahan searah sumbu-z dengan memasukkan beban hidup pada varian-0 dan varian-6 terjadi peningkatan sebesar 0,45 mm atau sebesar 6,82%. Sedangkan apabila beban hidup dihilangkan peningkatannya sebesar 0,012 mm atau sebesar 7,14%. Sedangkan selisih perpindahan searah sumbu-z saat ada beban hidup dan tidak ada beban hidup meningkat dari 0,459 mm (pada varian-0) menjadi 0,492 mm (pada varian-6). Peningkatan sebesar 0,033 mm atau sebesar 6,707% cukup kecil untuk diperhatikan pengaruhnya, sehingga bisa diabaikan. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.14.



(a)



**Gambar 4.14** Gaya geser terhadap sumbu-z jembatan dengan variasi *Camber*  
(a) Dengan beban hidup, (b) tanpa beban hidup

Dari Gambar 4.12 dan 4.14, bisa dilihat gaya geser yang terjadi meningkat seiring bertambahnya tinggi posisi geometri. Sehingga dalam penerapan Metode *Camber* bisa kita ambil desain optimum untuk mengurangi perpindahan searah sumbu-x dan sumbu-z.

Pada kondisi di lapangan, analisis tentang kekokohan sangat diutamakan. Baik terhadap lendutan maupun perpindahan searah sumbu-x dan sumbu-z. Perencanaan yang sempurna namun tidak didukung dengan pelaksanaan yang tepat, seperti terjadinya keteledoran para pekerja dapat berakibat mengurangi kekuatan jembatan. Apalagi ditambah dengan pengaruh alam seperti hujan dan angin, membuat perancang jembatan berpikir perencanaan yang tepat untuk kondisi sekarang sampai beberapa puluh tahun yang akan datang.

Kondisi di lapangan sangat mempengaruhi jenis bahan dan perlakuan yang tidak lain untuk menjaga kekuatan dan keawetan bahan. *Camber* merupakan salah satu metode yang dapat membuat bahan lebih lama di daerah elastis sebelum memasuki batas plastisnya, yaitu dengan cara menurunkan tegangan pada bahan. Metode *Camber* adalah salah satu solusi untuk mempertahankan kekuatan konstruksi pada jembatan. Sehingga sangat baik jika jembatan dipertahankan pada kondisi *Camber*.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode *Camber* berfungsi menurunkan lendutan pada struktur jembatan *B-Bone* sehingga berfungsi menambah kekokohan jembatan. Pengaruh *Camber* terhadap lendutan pada varian-0, saat ada beban hidup dikurangi saat tidak ada beban hidup ( $\delta y$ ) sebesar 74,53%. Sedangkan pada varian-6,  $\delta y$  turun sebesar 74,49%. Bila dilihat secara rinci,  $\Delta y$  antar varian turun sebesar 1% dan  $\delta y$  antara varian-0 dengan varian-6 turun sebesar 9%.
2. Metode *Camber* berfungsi menurunkan gaya batang pada struktur jembatan *B-Bone*. Pada varian-0, gaya tarik maksimum yang dimasukkan beban hidup dikurangi gaya tarik maksimum yang tidak dimasukkan beban hidup sebesar 75,39%. Sedangkan pada varian-6 sebesar 75,36%. Selisih yang bisa diambil dari kedua varian tersebut sebesar 0,73%. Pada varian-0, gaya tekan maksimum yang dimasukkan beban hidup dikurangi gaya tekan maksimum yang tidak dimasukkan beban hidup sebesar 74,57%. Sedangkan pada varian-6, gaya tekan maksimum yang dimasukkan beban hidup dikurangi gaya tekan maksimum yang tidak dimasukkan beban hidup sebesar 74,54%. Selisih yang bisa diambil dari kedua varian tersebut sebesar 0,46%. Perbandingan gaya tekan dan gaya tarik hasil dari selisih varian-0 dan varian-6 jika dimasukkan variabel terikat beban hidup yaitu 1: 3. Sedangkan jika tidak dimasukkan beban hidup perbandingannya menjadi 1: 2. Sehingga bisa dikatakan metode *Camber* lebih berpengaruh mengurangi gaya tarik dibandingkan dengan peningkatan gaya tekan.
3. Metode *Camber* meningkatkan geser atau perpindahan searah sumbu- $x$  dan sumbu- $z$  yang timbul akibat beban hidup. Perpindahan searah sumbu- $x$ , pada varian-0 dan varian-6 terjadi peningkatan sebesar 21,96% dengan memasukkan beban hidup. Apabila beban hidup dihilangkan peningkatannya sebesar 21,97%. Perpindahan searah sumbu- $z$  cukup kecil yaitu 6,707% sehingga bisa diabaikan.

## 5.2. Saran

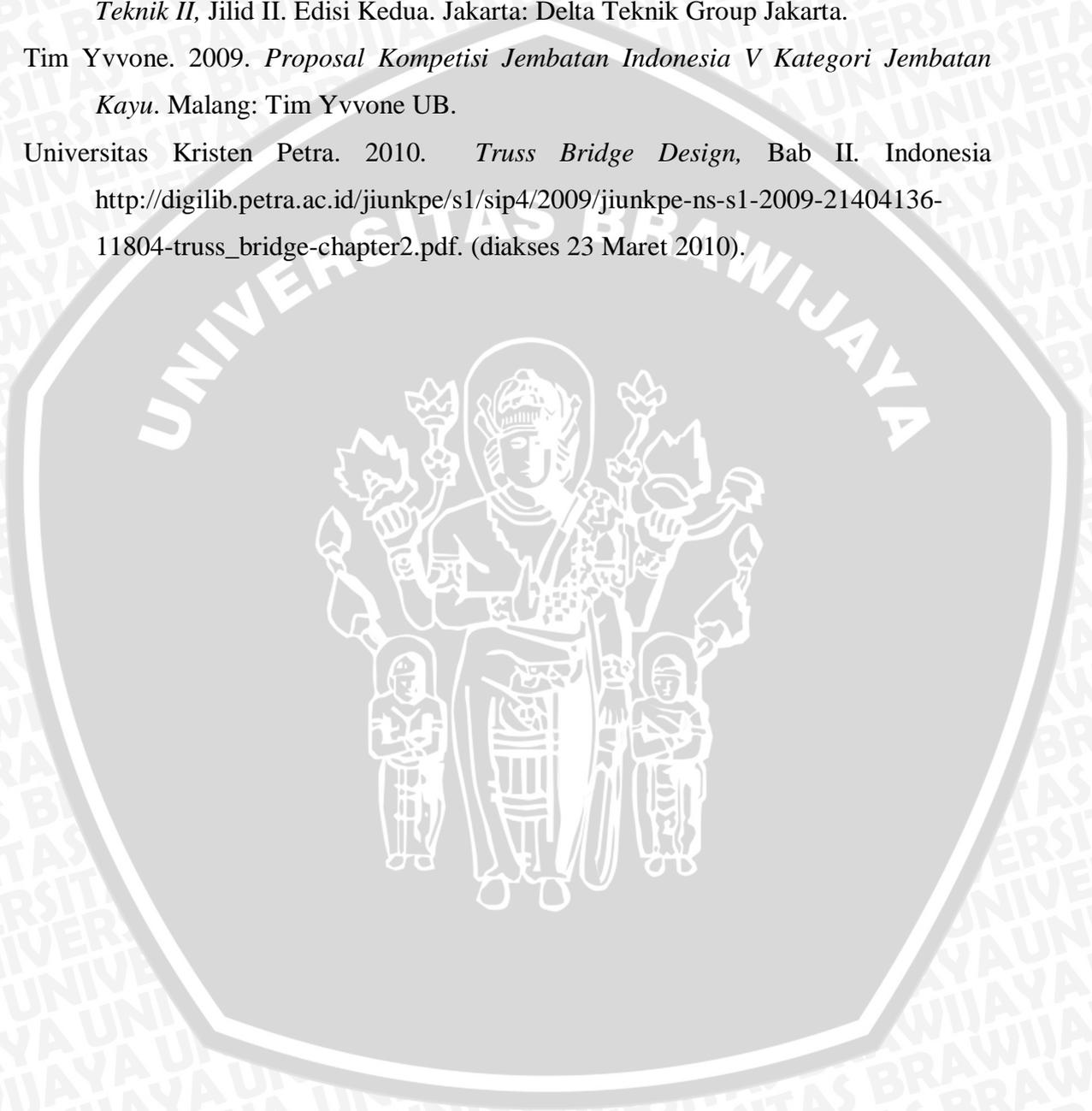
Dari penelitian ini, penyusun memberikan saran kepada perancang jembatan untuk menggunakan metode *Camber*. Selain itu bisa dikembangkan penelitian dengan analisis sambungan dan beban dinamis. Semoga dengan metode tersebut dapat memberikan kekokohan pada struktur jembatan. Tentunya, pengecekan dan perawatan secara berkala sangat dianjurkan untuk menjaga keawetan konstruksi jembatan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2009. *Bridge*. <http://en.wikipedia.org/wiki/bridge>. (diakses: 6 Juli 2009).
- Anonim. 2009. *Pedestrian Bridge Specification*. Buyboard. <http://en.wikipedia.org/wiki/bridge/buy-pedestrian-bridges-specification>, (diakses:10 Pebruari 2010).
- BSN. 2000. *SK SNI 03-xxxx-2005. Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. 2005. *RSNI T-02-2005. Pembebanan untuk Jembatan*. Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- Chen W.F. & Duan L. 2000. *Bridge Engineering Substructure Design*. Washington: CRC Press.
- Christian, G.A. 2004. *Truss Detail Sheet 1 of 2*. <https://www.nysdot.gov/main/business-center/engineering/cadd-info/bridge-details-sheets-repository/bdos06r1.pdf>, akses:10 Pebruari 2010.
- Dewobroto, W. 2005. *Masih Perlukah Mempelajari Mekanika Teknik Klasik dalam Era Serba Komputer*. Wir@centrin.net.id.
- Direktorat Bina Teknik. 2008. *Ringkasan Jembatan Indonesia*. Indonesia: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Bina Teknik. 2008. *Panduan Perencanaan Teknik Jembatan Standar*. Indonesia: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum.
- DPU. 1961. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia*. Bandung: Direktorat Jenderal Ciptakarya. Departemen Pekerjaan Umum.
- Gere, J. M. & Timoshenko, S. P. 1997. *Mekanika Bahan*, Jilid I. Edisi Keempat. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Editor H. Wibi Hardani. Jakarta: Erlangga.
- Hibbeler, R.C. *Engineering Mechanics - Statics, R.C. Hibbeler, 12th Edition*.
- Wisnumurti. 2009. *Teori Model Struktur*. Makalah dalam *Kuliah Persiapan Kompetisi Jembatan V Kontingen UB*. Amera Bridge Club Himpunan Mahasiswa Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang: 2009.
- Nurlina, Siti. 2008. *Buku Ajar Struktur Kayu*. Malang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Precast Prestress Concrete Institute. 1997. *Bridge Design Manual*. Chicago: Jackson Boulevard.

- Schodek, Daniel L. 1998. *Struktur*, Cetakan III. Terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc. Bandung: PT Refika Aditama.
- T, Gunawan. & S, Margareth. 1997. *Diktat Teori Soal dan Penyelesaian Mekanika Teknik I*. Edisi Kedua. Jakarta: Delta Teknik Group Jakarta.
- T, Gunawan. & S, Margareth. 2000. *Diktat Teori Soal dan Penyelesaian Mekanika Teknik II*, Jilid II. Edisi Kedua. Jakarta: Delta Teknik Group Jakarta.
- Tim Yyvone. 2009. *Proposal Kompetisi Jembatan Indonesia V Kategori Jembatan Kayu*. Malang: Tim Yyvone UB.
- Universitas Kristen Petra. 2010. *Truss Bridge Design*, Bab II. Indonesia [http://digilib.petra.ac.id/jiunkpe/s1/sip4/2009/jiunkpe-ns-s1-2009-21404136-11804-truss\\_bridge-chapter2.pdf](http://digilib.petra.ac.id/jiunkpe/s1/sip4/2009/jiunkpe-ns-s1-2009-21404136-11804-truss_bridge-chapter2.pdf). (diakses 23 Maret 2010).



**Lampiran 1**

Foto Tim Yvone dan pengujian lendutan saat KJI V.



*Tim Yvone dan Dosen Pembimbing.*



*Tes beban untuk menguji lendutan.*



**Lampiran 2**

Gambar Model Jembatan B-Bone.



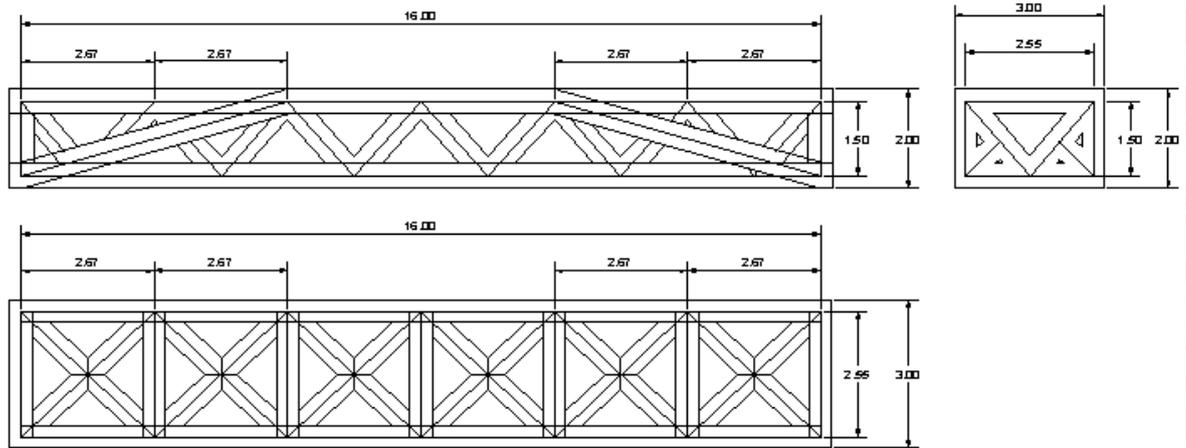




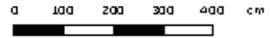


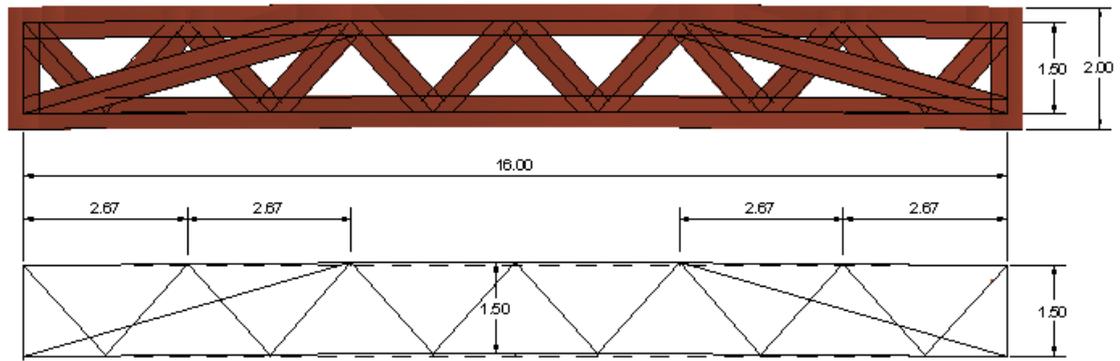
**Lampiran 3**

Gambar kerja Jembatan B-Bone.

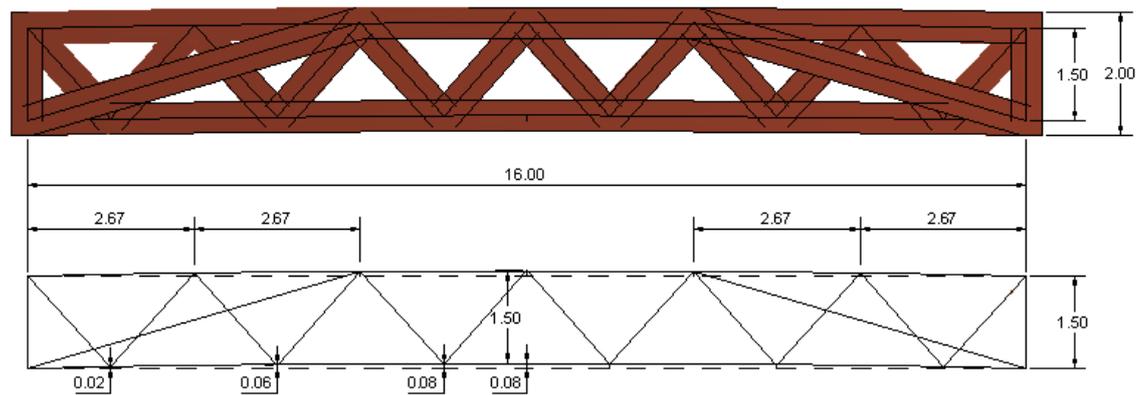
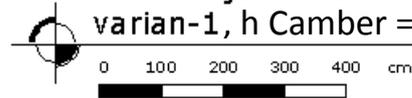


Gambar tampak  
jembatan B-Bone

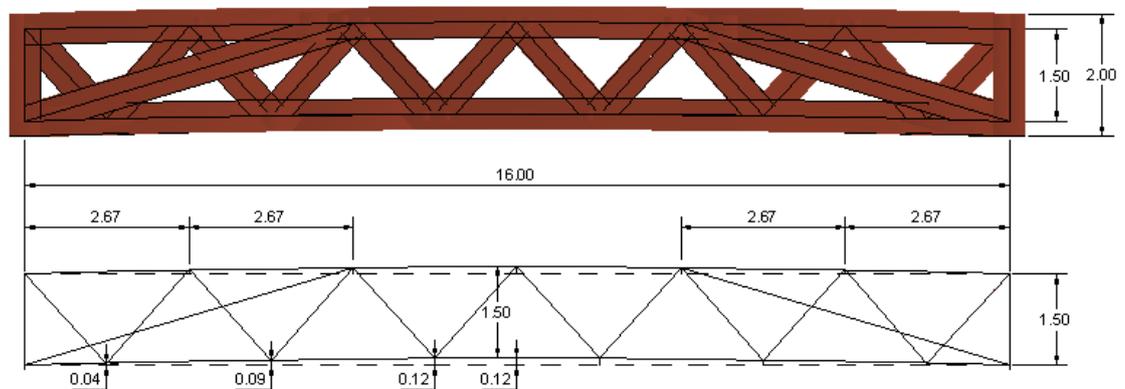
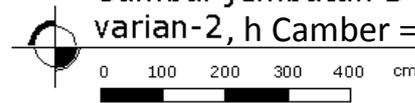




Gambar jembatan B-Bone  
varian-1, h Camber = 0,02 m

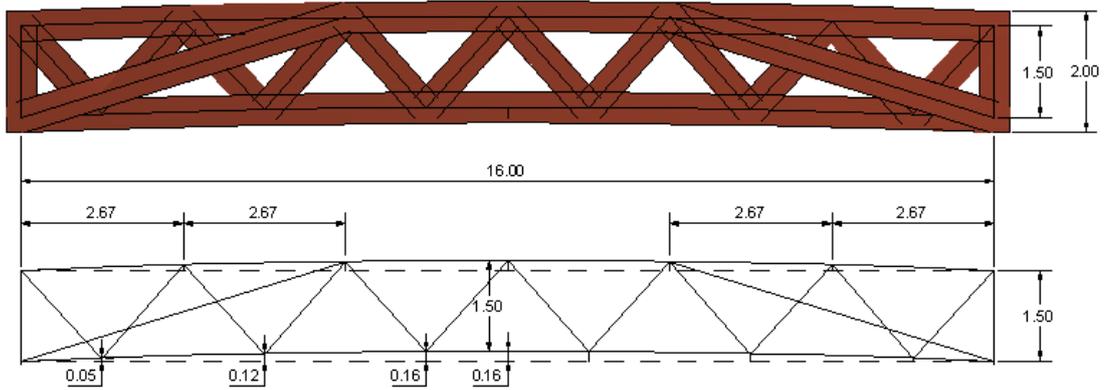


Gambar jembatan B-Bone  
varian-2, h Camber = 0,08 m

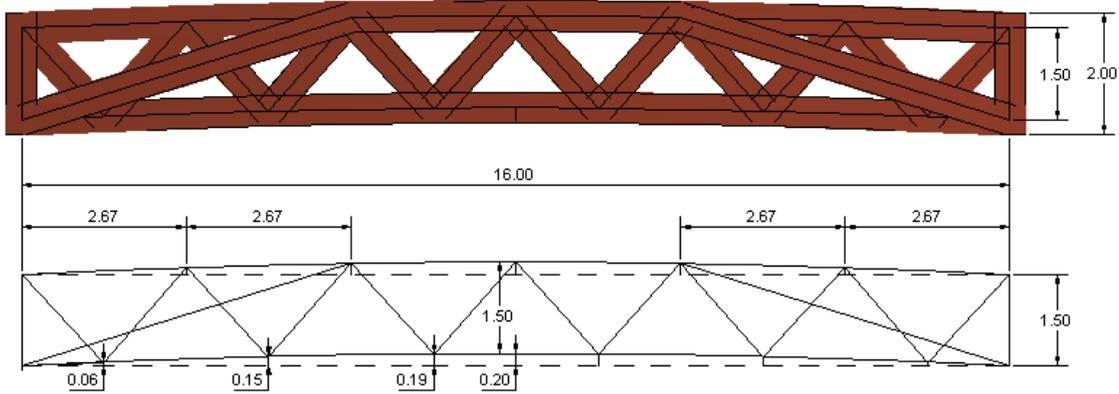
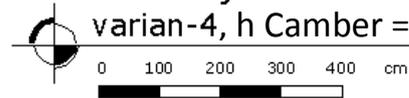


Gambar jembatan B-Bone  
varian-3, h Camber = 0,12 m

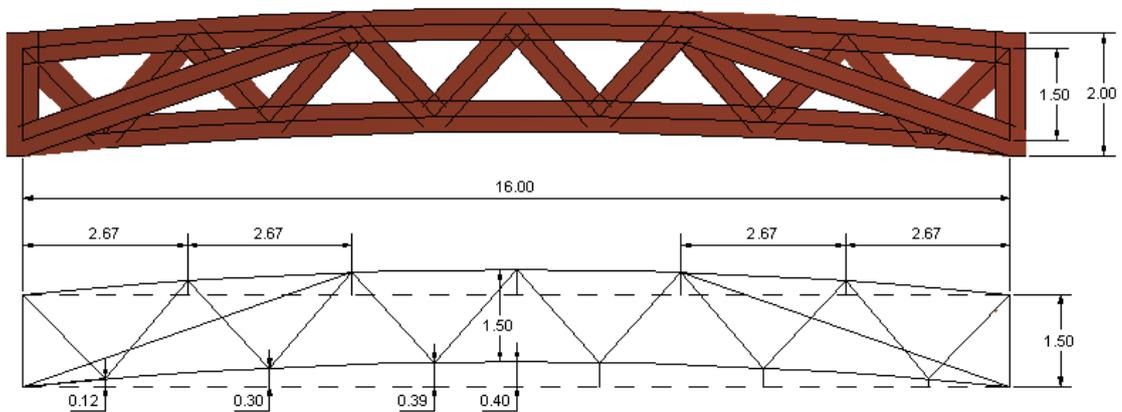
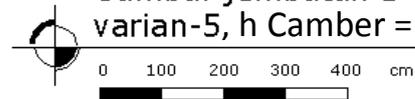




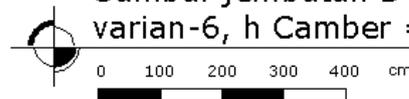
Gambar jembatan B-Bone  
varian-4, h Camber = 0,16 m



Gambar jembatan B-Bone  
varian-5, h Camber = 0,2 m



Gambar jembatan B-Bone  
varian-6, h Camber = 0,4 m



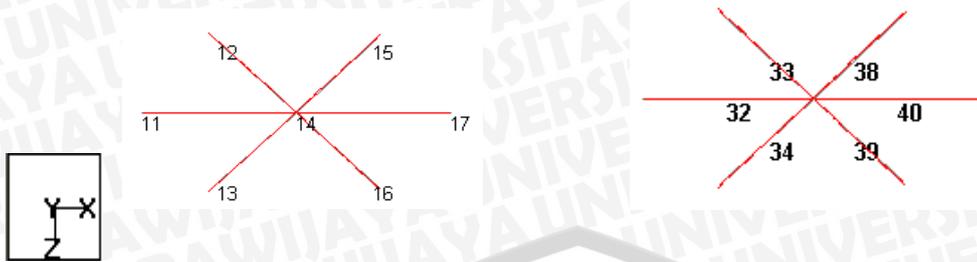
**Lampiran 4** Gaya batang jembatan B-Bone 16 meter hasil analisa *STAAD.Pro*.

Batang	Titik simpul	Gaya batang (kg)	Keterangan	Batang	Titik simpul	Gaya batang (kg)	Keterangan
1	1	236.97	tekan	21	12	2970.988	tekan
	2	-236.97			1	-3207.238	
2	2	-236.97	tarik	22	13	-3207.238	Tarik
	3	236.97			3	2970.988	
3	1	211.665	-	23	9	-11999.636	Tarik
	4	-93.54			10	11999.636	
4	2	-609.245	tarik	24	11	-31605.053	Tarik
	4	727.37			9	31841.305	
5	2	122.54	tekan	25	11	-23591.571	Tarik
	5	-4.415			10	23827.819	
6	3	211.665	-	26	9	58980.973	tekan
	5	-93.54			12	-58980.973	
7	1	34418.503	tekan	27	9	6903.356	tekan
	6	-34182.255			13	-6903.356	
8	3	28650.534	tekan	28	10	60467.84	tekan
	7	-28414.286			13	-60467.84	
9	4	-761.848	tarik	29	11	30914.822	tekan
	6	879.973			12	-30678.571	
10	5	-30.063	tekan	30	11	22901.338	tekan
	7	148.188			13	-22665.09	
11	6	20452.474	tekan	31	12	-13081.396	Tarik
	7	-20452.474			13	13081.396	
12	2	0	-	32	11	-1.54E+05	Tarik
	8	0			14	1.54E+05	
13	8	-45928.556	tarik	33	14	-17832.532	Tarik
	6	46164.804			12	18068.781	
14	8	-37915.073	tarik	34	14	-7167.542	Tarik
	7	38151.322			13	7403.791	
15	6	20832.152	tekan	35	12	82814.487	tekan
	9	-20832.152			15	-82814.487	
16	6	6903.368	tekan	36	12	8960.637	tekan
	10	-6903.368			16	-8960.637	
17	7	21327.792	tekan	37	13	79345.106	tekan
	10	-21327.792			16	-79345.106	
18	8	45321.649	tekan	38	14	17142.258	tekan
	9	-45085.398			15	-16906.008	
19	8	37308.145	tekan	39	14	6477.293	tekan
	10	-37071.897			16	-6241.042	
20	8	-93353.165	tarik	40	14	-1.82E+05	Tarik
	11	93353.165			17	1.82E+05	

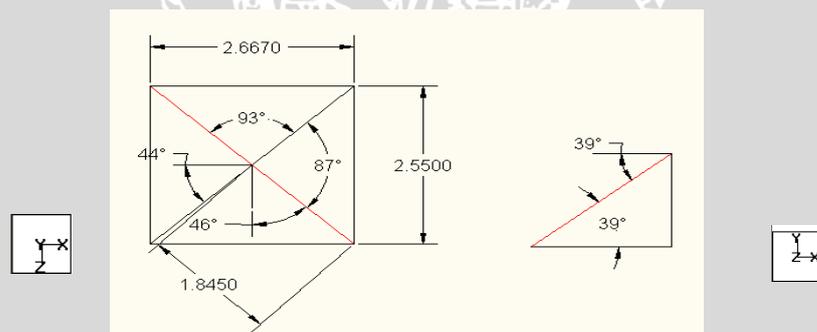
Batang	Titik simpul	Gaya batang (kg)	Keterangan	Batang	Titik simpul	Gaya batang (kg)	Keterangan
41	15	-18731.833	tarik	61	19	-118.125	-
	16	18731.833			26	-118.125	
42	17	6477.304	tekan	62	23	35982.915	Tekan
	15	-6241.053			21	-35746.667	
43	17	17142.269	tekan	63	23	46648.058	Tekan
	16	-16906.018			22	-46411.807	
44	15	82318.763	tekan	64	21	20583.897	Tekan
	18	-82318.763			29	-20583.897	
45	15	8960.689	tekan	65	21	8960.69	Tekan
	19	-8960.689			30	-8960.69	
46	16	79840.742	tekan	66	22	20088.041	Tekan
	19	-79840.742			30	-20088.041	
47	17	-7167.606	tarik	67	23	0	-
	18	7403.857			25	0	
48	17	-17832.67	tarik	68	23	-36589.075	Tarik
	19	18068.921			29	36825.323	
49	17	-1.54E+05	tarik	69	23	-47253.963	tarik
	20	1.54E+05			30	47490.211	
50	18	-13792.301	tarik	70	24	-236.97	tarik
	19	13792.301			25	236.97	
51	20	21575.445	tekan	71	25	236.97	tekan
	18	-21339.197			26	-236.97	
52	20	32240.338	tekan	72	24	211.665	-
	19	-32004.09			27	-93.54	
53	18	59724.643	tekan	73	25	122.541	tekan
	21	-59724.643			27	-4.416	
54	18	8960.515	tekan	74	25	-609.244	tekan
	22	-8960.515			28	727.369	
55	19	58237.777	tekan	75	26	211.665	-
	22	-58237.777			28	-93.54	
56	20	-22265.666	tarik	76	24	27814.173	tekan
	21	22501.917			29	-27577.924	
57	20	-32930.56	tarik	77	26	35254.871	tekan
	22	33166.805			30	-35018.619	
58	21	-13421.455	tarik	78	27	-30.062	tekan
	22	13421.455			29	148.187	
59	20	-93354.21	tarik	79	28	-761.847	tarik
	23	93354.21			30	879.972	
60	18	-118.125	-	80	29	19741.563	tekan
	24	-118.125			30	-19741.563	

Sumber : Yvnone (2009).

### Persamaan kesetimbangan titik simpul 14



Batang	Titik Simpul	Gaya batang (kg)	Keterangan
32	11	-154000	tarik
	14	154000	
33	14	-17832.532	tarik
	12	18068.781	
34	14	-7167.542	tarik
	13	7403.791	
38	14	17142.258	tekan
	15	-16906.008	
39	14	6477.293	tekan
	16	-6241.042	
40	14	-1.82E+05	tarik
	17	1.82E+05	



$$\sum F_x = 0$$

$$(S_{33} \cos 39^\circ) \cos 44^\circ + (S_{34} \cos 39^\circ) \cos 44^\circ + (S_{38} \cos 39^\circ) \cos 44^\circ + (S_{39} \cos 39^\circ) \cos 44^\circ + S_{32} - S_{40} = 0$$

$$9562.15 + 3843.38 + 9562.15 + 3843.38 + 154000 - 154000 = 0 \quad (\text{.....ok})$$

$$\sum F_z = 0$$

$$(S_{33} \cos 39^\circ) \cos 46^\circ + (S_{34} \cos 39^\circ) \cos 46^\circ + (S_{38} \cos 39^\circ) \cos 46^\circ + (S_{39} \cos 39^\circ) \cos 46^\circ = 0$$

$$9754.45 + 3869.4 - 9754.45 - 3869.4 = 0 \quad (\text{.....ok})$$

$$\sum F_y = 0$$

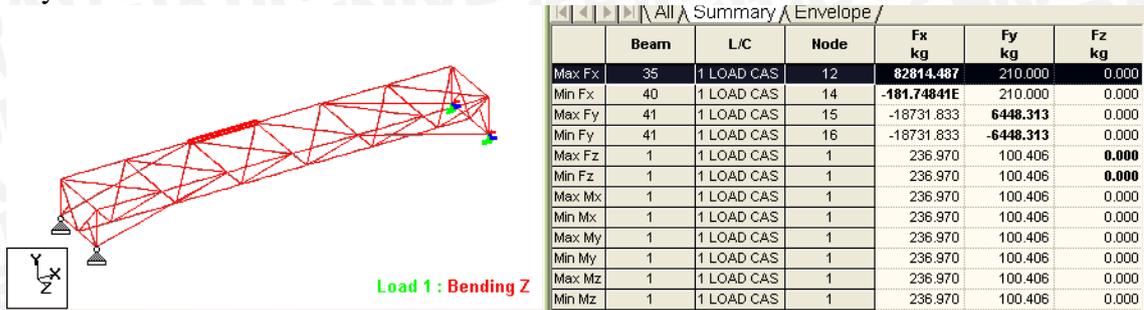
$$S_{33} \sin 39^\circ + S_{34} \sin 39^\circ + S_{38} \cos 39^\circ + S_{39} \cos 39^\circ = 0$$

$$11371.05 + 4659.36 - 11371.05 - 4659.36 = 0 \quad (\text{.....ok})$$

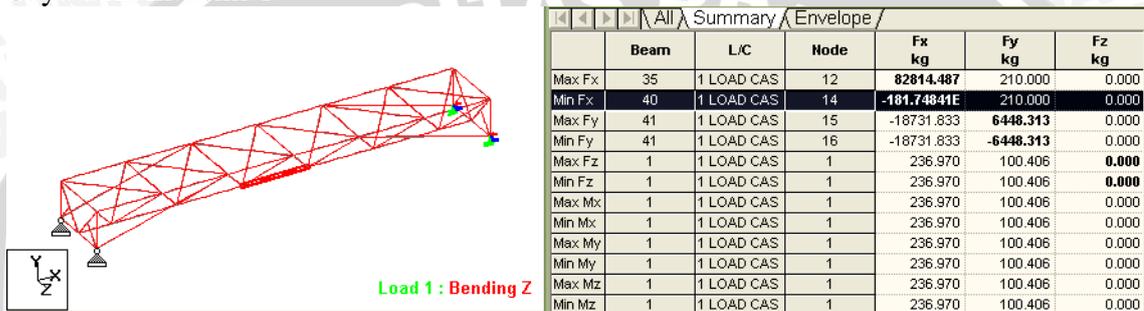
**Lampiran 5 STAAD.Pro.**

**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-0,  $h$  Camber = 0 mm (Life Load).**

Gaya tekan maksimal.

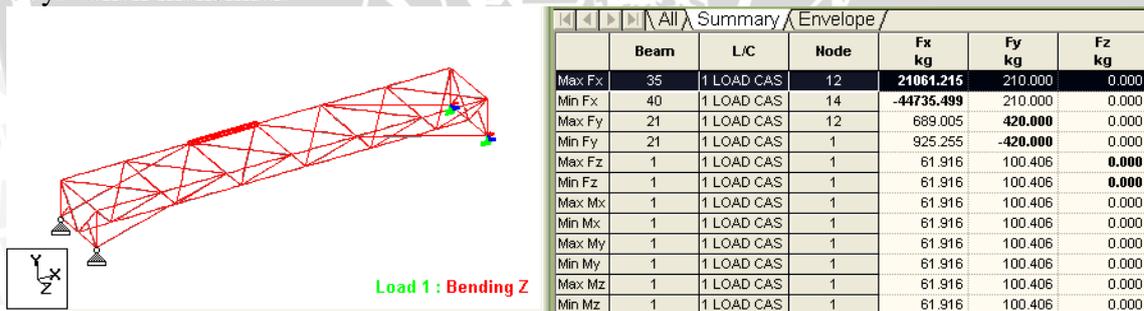


Gaya tarik maksimal.

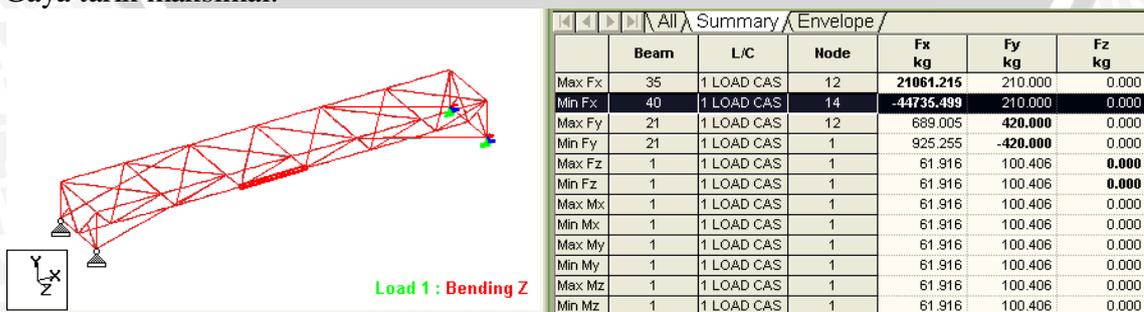


**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-0,  $h$  Camber = 0 mm (Non Life Load).**

Gaya tekan maksimal.



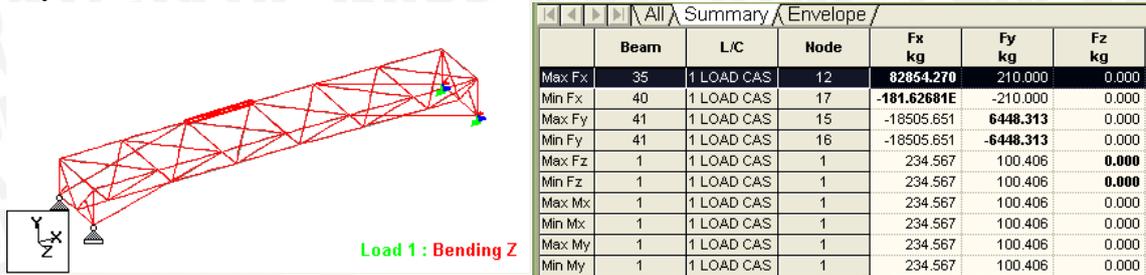
Gaya tarik maksimal.



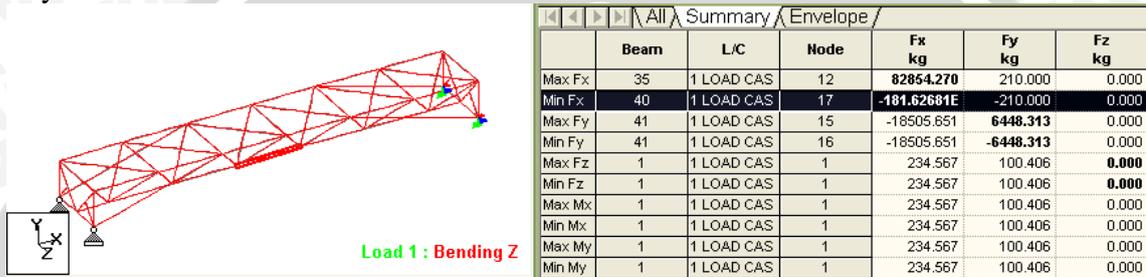
**Lampiran 5 Lanjutan.**

**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-1,  $h$  Camber = 40 mm (Life Load).**

Gaya tekan maksimal.

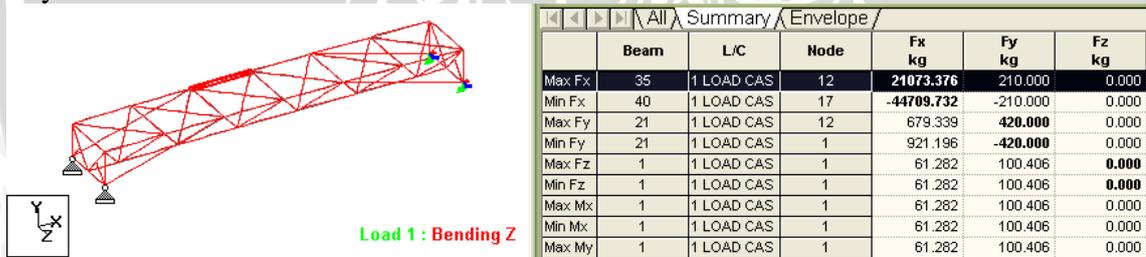


Gaya tarik maksimal.

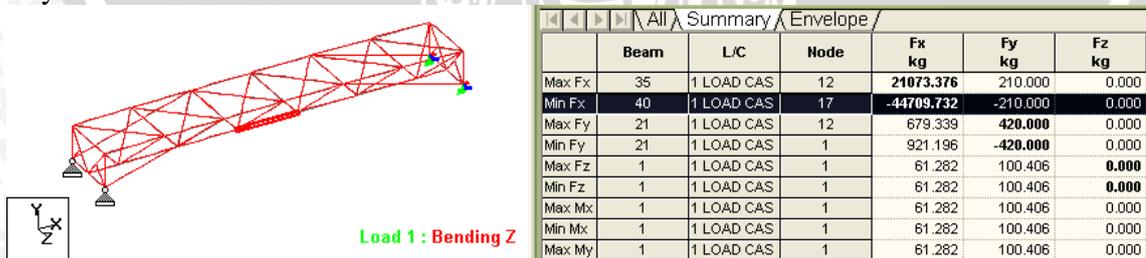


**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-1,  $h$  Camber = 40 mm (Non Life Load).**

Gaya tekan maksimal.



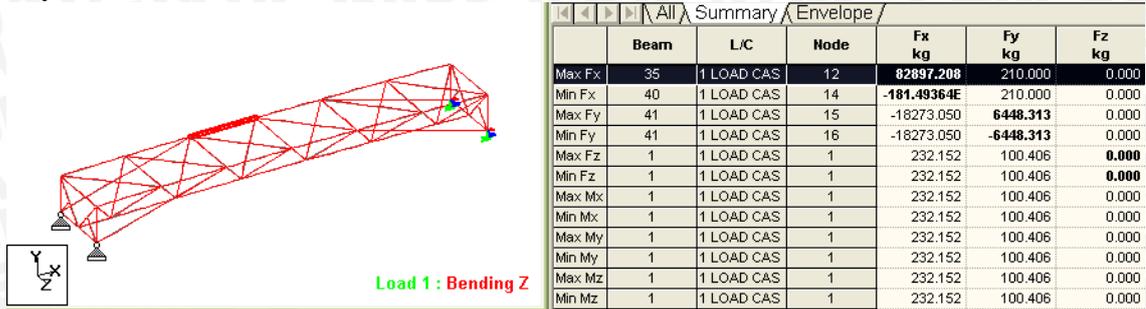
Gaya tarik maksimal.



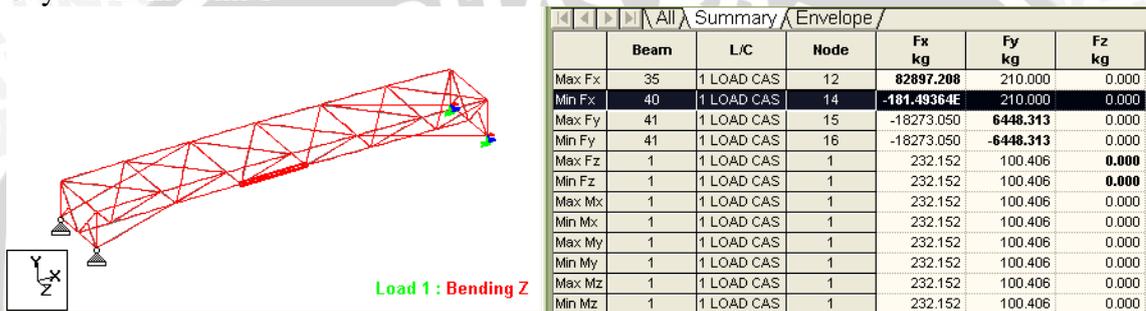
**Lampiran 5 Lanjutan.**

**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-2,  $h$  Camber = 80 mm (Life Load).**

Gaya tekan maksimal.

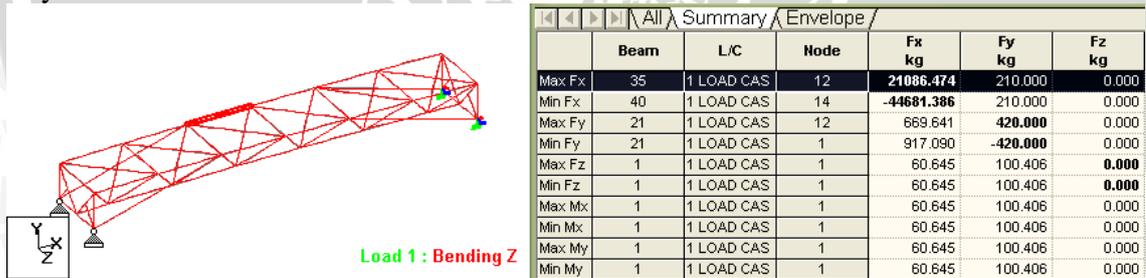


Gaya tarik maksimal.

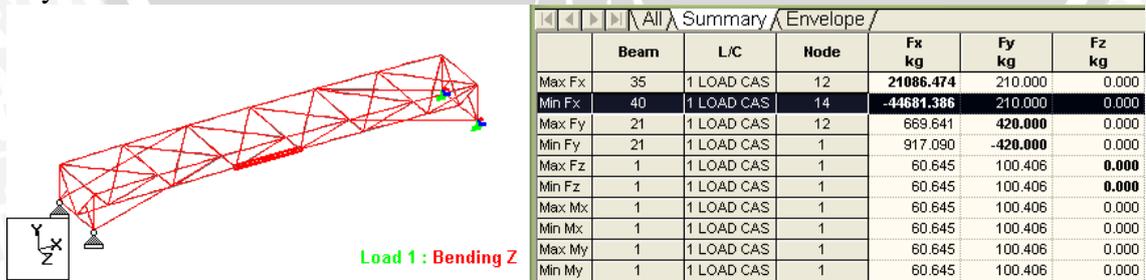


**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-2,  $h$  Camber = 80 mm (Non Life Load).**

Gaya tekan maksimal.



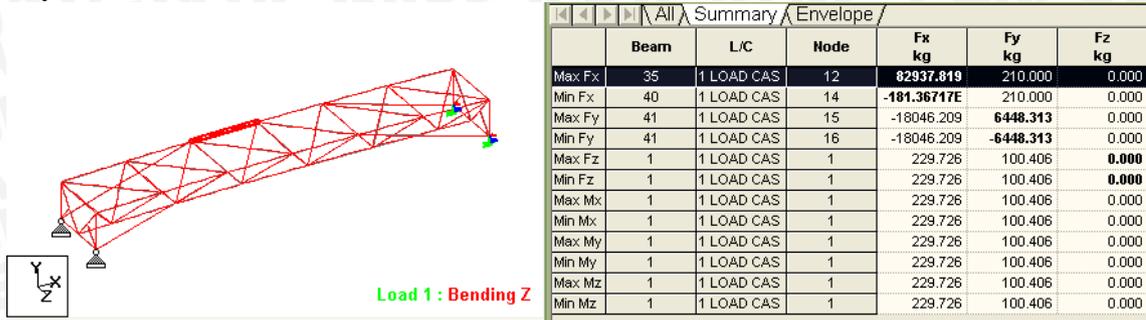
Gaya tarik maksimal.



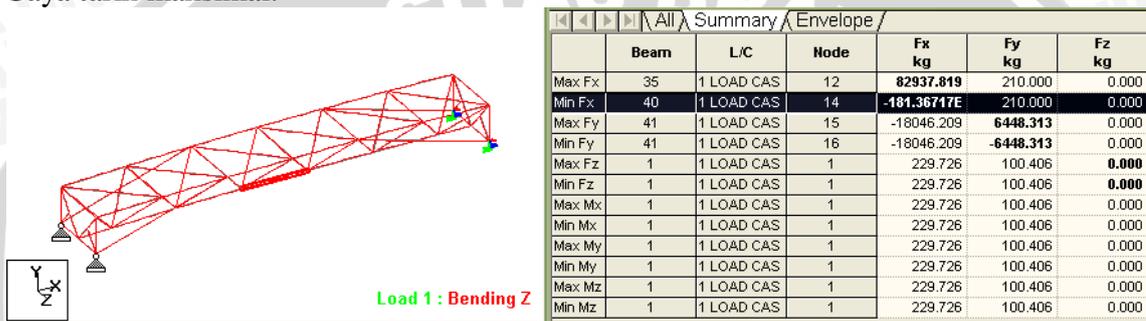
**Lampiran 5 Lanjutan.**

**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-3, *h* Camber = 120 mm (Life Load).**

Gaya tekan maksimal.

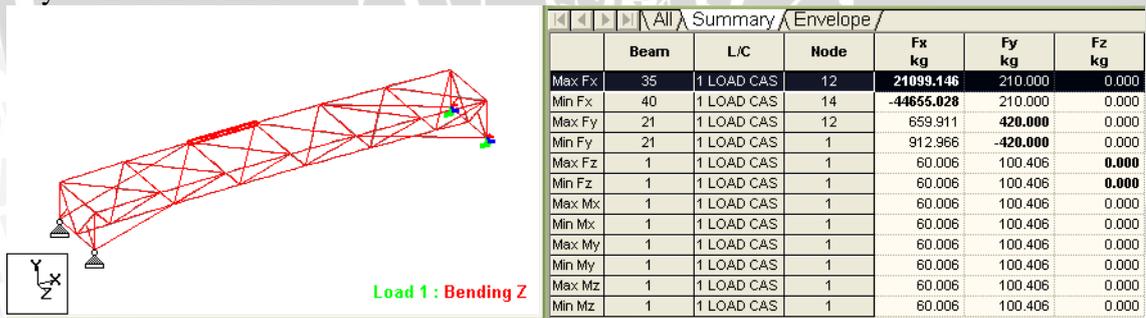


Gaya tarik maksimal.

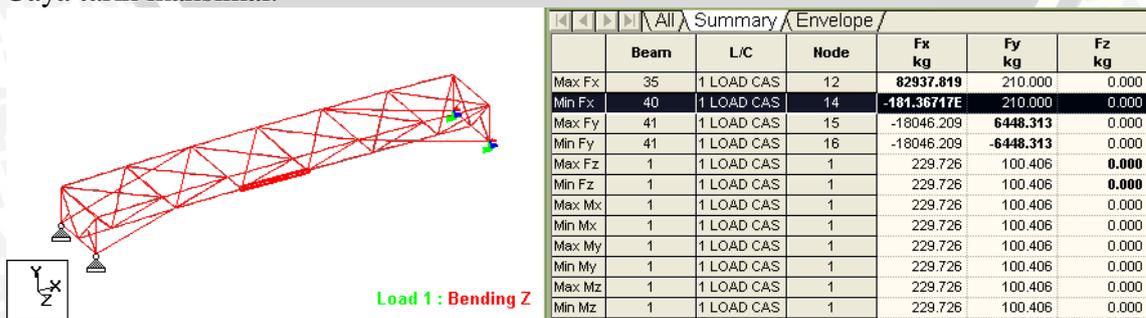


**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-3, *h* Camber = 120 mm (Non Life Load).**

Gaya tekan maksimal.



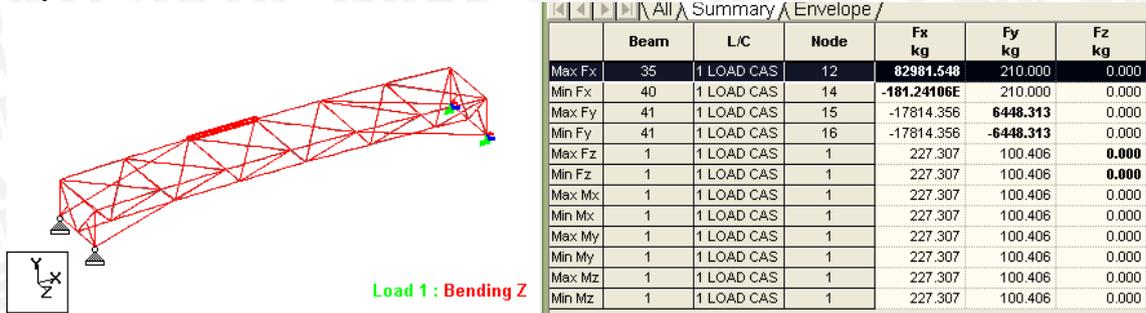
Gaya tarik maksimal.



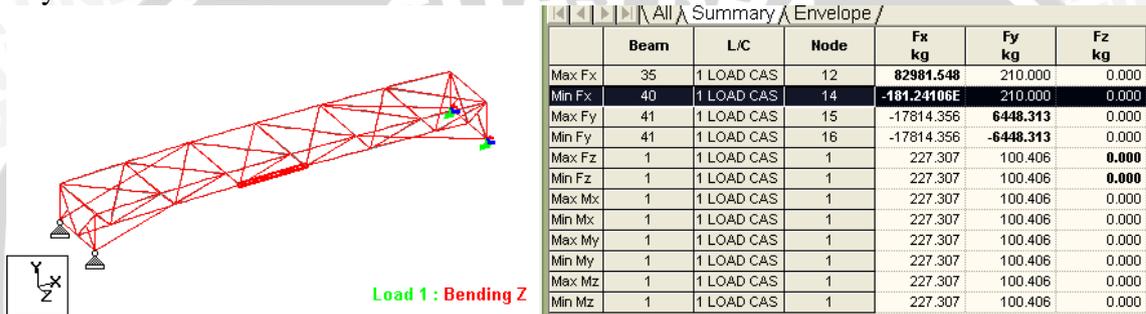
**Lampiran 5 Lanjutan.**

**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-4,  $h$  Camber = 160 mm (Life Load).**

Gaya tekan maksimal.

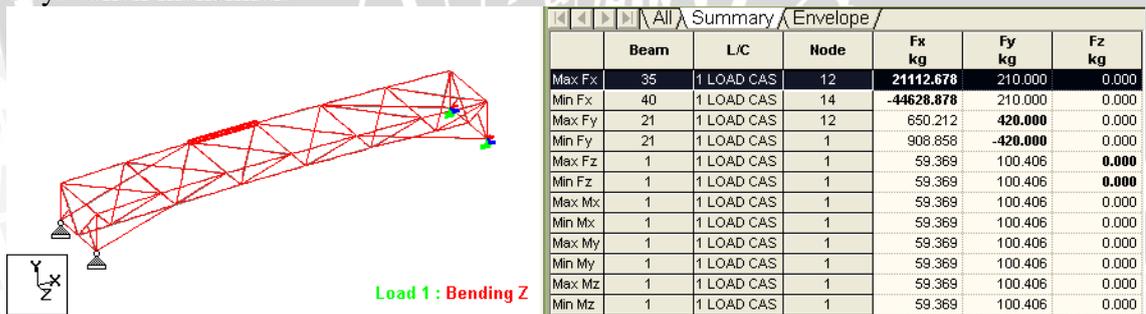


Gaya tarik maksimal.

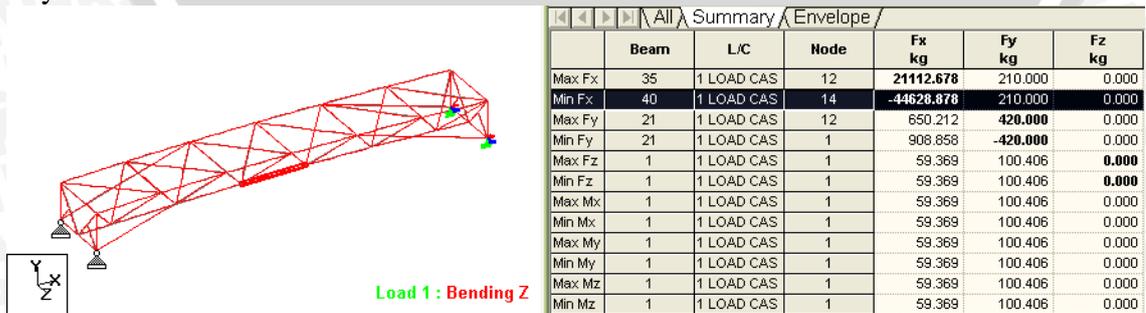


**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-4,  $h$  Camber = 160 mm (Non Life Load).**

Gaya tekan maksimal.



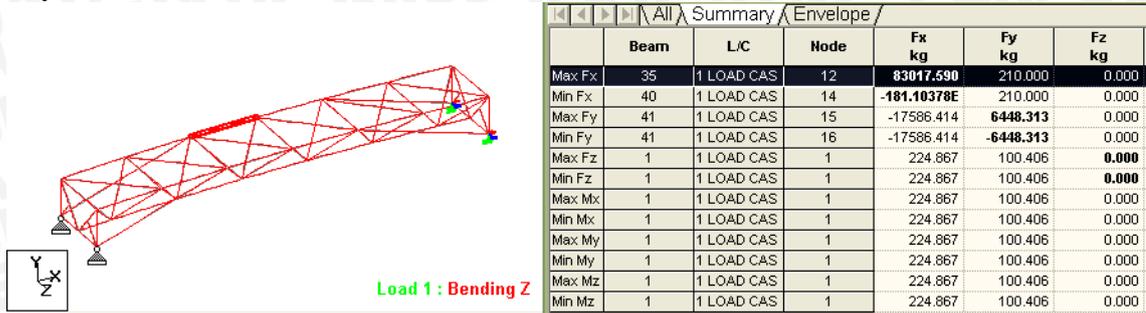
Gaya tarik maksimal.



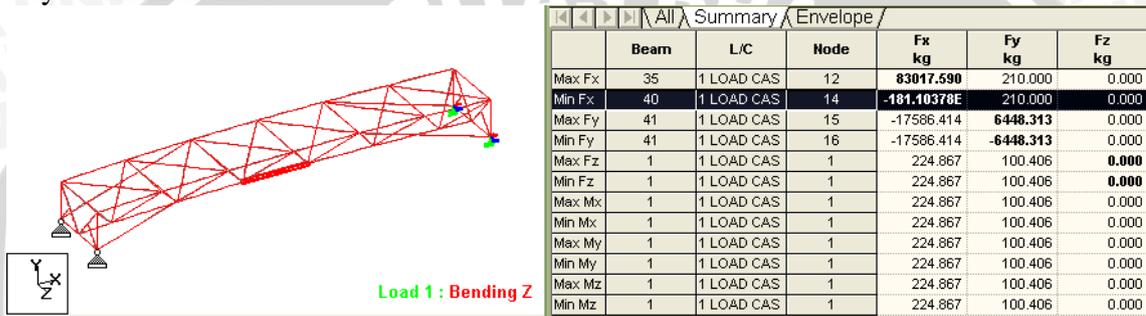
**Lampiran 5 Lanjutan.**

**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-5,  $h$  Camber = 200 mm (Life Load).**

Gaya tekan maksimal.

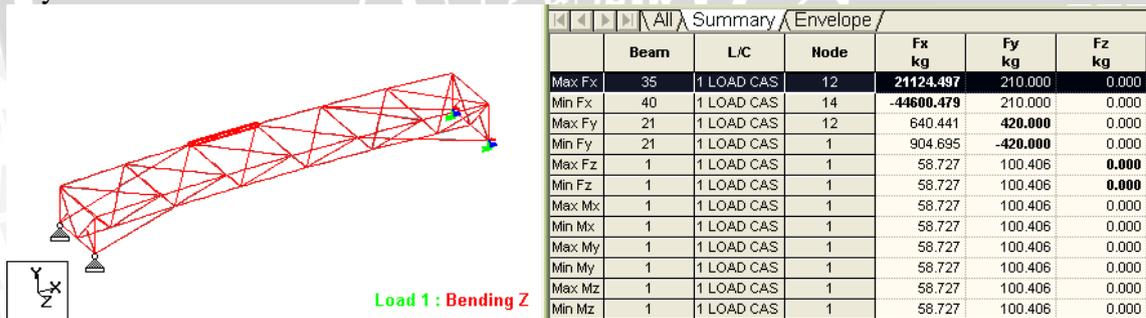


Gaya tarik maksimal.

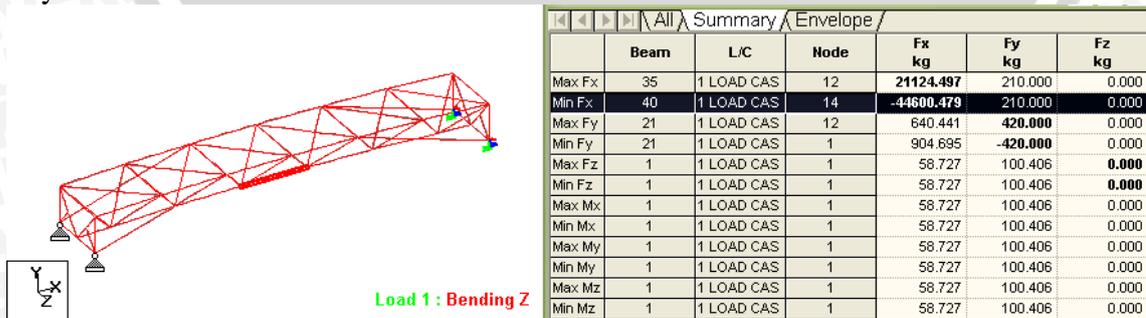


**Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-5,  $h$  Camber = 200 mm (Non Life Load).**

Gaya tekan maksimal.



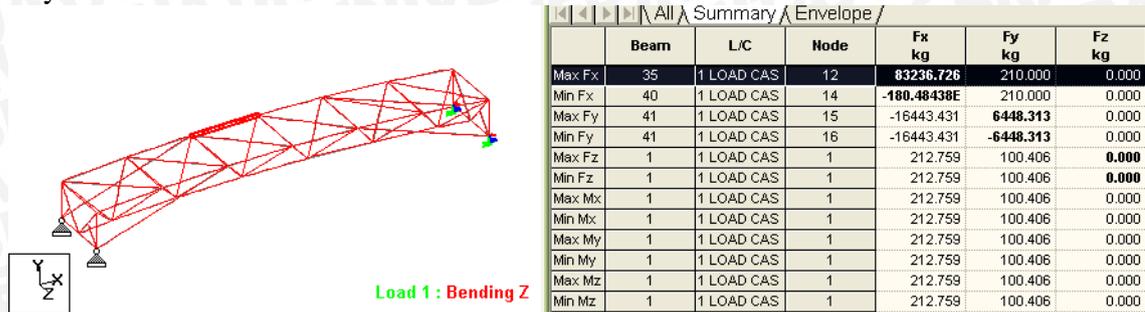
Gaya tarik maksimal.



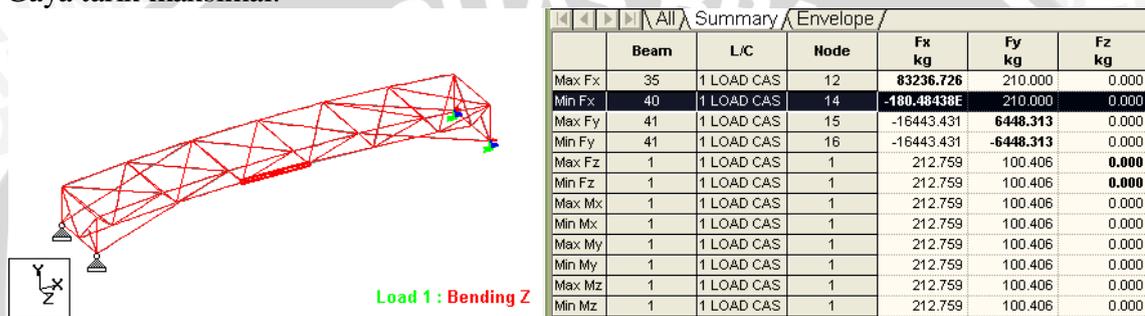
### Lampiran 5 Lanjutan.

#### Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-6, $h$ Camber = 400 mm (Life Load).

Gaya tekan maksimal.

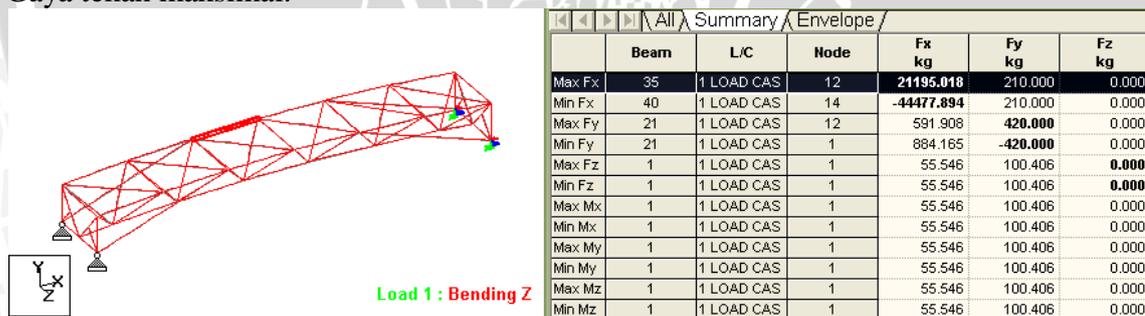


Gaya tarik maksimal.



#### Gaya batang Jembatan B-Bone Varian-6, $h$ Camber = 400 mm (Non Life Load).

Gaya tekan maksimal.



Gaya tarik maksimal.

