

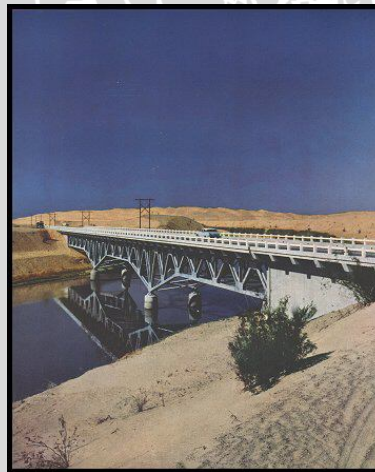
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Umum

Penguasaan teknologi jembatan baik dari aspek peralatan, material maupun analisisnya mutlak dibutuhkan. Pembangunan jembatan di daerah perkotaan dengan kondisi lahan yang terbatas dan volume lalu lintas yang tetap operasional menuntut diperlukannya peralatan dan metode konstruksi serta material yang baik disamping teknologinya. Penggunaan dan penguasaan teknologi material yang kuat, ringan, dan ekonomis juga sangat diperlukan untuk pembangunan jembatan, (Falcon, 2010).

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. Maka dari itu pendesaian bertujuan mempertahankan umur jembatan sesuai teori posisinya, dengan cara tersebut menjamin *actual stress* mendekati *design stress* (Gambar 2.1).



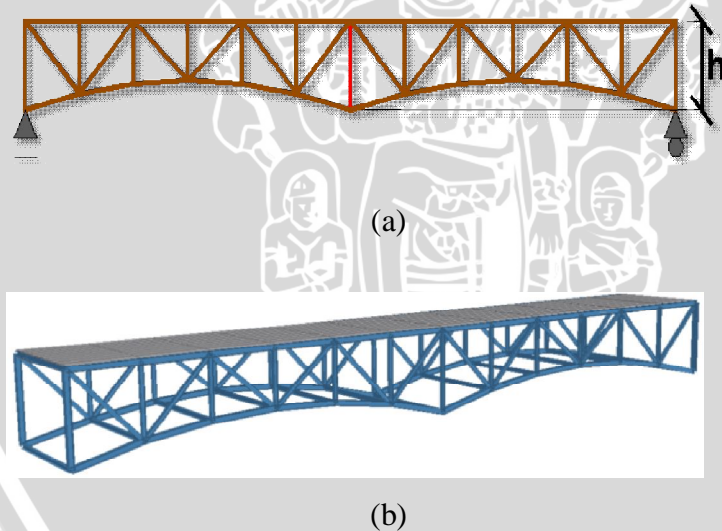
Gambar 2.1 Jembatan Colorado River

(Sumber : http://www.gbcnet.com/ushighways/US80/80pics_e.html , akses: 2 Agustus 2011)

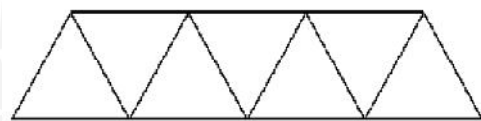
2.2 Model Jembatan Star “5” Bridge

Jembatan star “5” bridge adalah jembatan rangka bawah (lalu lintas atas) yang menggunakan desain pelengkung. Model jembatan sudah di lombakan pada Kompetisi Jembatan Indonesia VI di Politeknik Negeri Jakarta. Secara desain jembatan ini memenangkan kategori jembatan terindah karena pelengkung tersebut.

Model Jembatan *Star “5” Bridge* (**Gambar 2.2**) merupakan perpaduan antara bentuk konfigurasi *warren truss* dan *arch truss*. Dilihat dari sisi bentuk konfigurasi rangka batang termasuk model jembatan rangka yang mengacu pada bentuk konfigurasi rangka *warren truss* (**Gambar 2.3**), sedangkan berdasarkan fungsi strukturnya jembatan *Star “5” Bridge* menggunakan bentuk variasi pelengkung (*arch*) dibagian rangka luar bawah dengan lantai kendaraan atas, dimana pada jembatan bertipe lantai kendaraan atas umumnya mempunyai fungsi struktur sebagai jembatan untuk rintangan atau jurang yang memiliki perbedaan tinggi elevasi permukaan tanah dengan elevasi muka air sungai yang terlalu jauh sehingga lebih cocok untuk jembatan di sungai yang curam dan tinggi.



Gambar 2.2. (a) Tampak 2 dimensi jembatan *Star “5” Bridge*. (b) Tampak 3 dimensi jembatan *Star “5” Bridge*.
(Sumber : Falcon, 2010)



Gambar 2.3. *Warren truss*
(Sumber : Boon, 2008)

2.3 Analisis Pembebanan

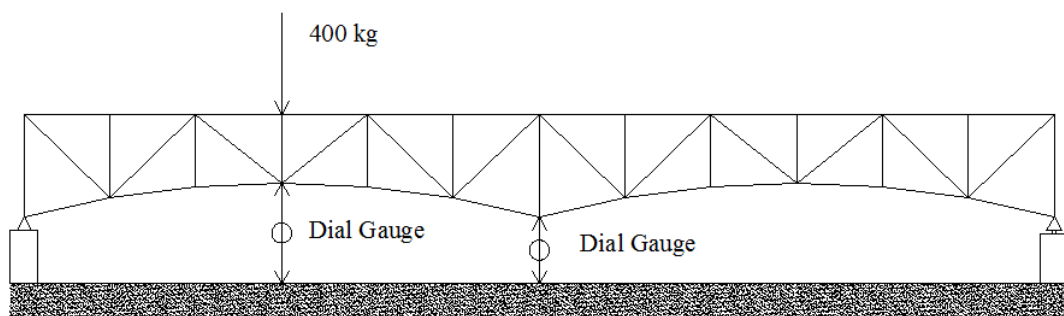
2.3.1 Kriteria analisis dan desain

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).

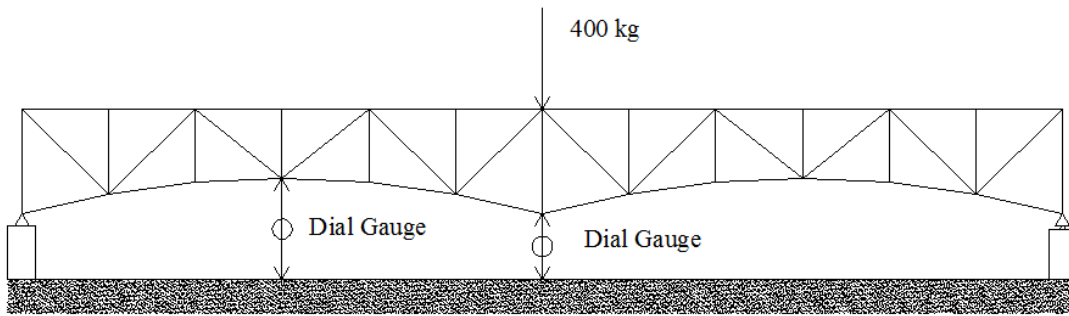
2.3.2 Pembebanan

Pembebanan yang dilakukan pada jembatan star “5” bridge berdasarkan pembebanan jembatan model dengan tahapan pengujian pembebanan sebagai berikut :

1. Pasang kepala jembatan.
2. Pasang tumpuan.
3. Pasang rangka.
4. Pasang *dial indicator* di tengah bentang.
5. Pasang beban secara bertahap, Beban terpusat dipasang di seperempat dan di tengah bentang, secara bergantian (**Gambar 2.4**). Besar lendutan dicatat pada setiap penambahan beban, dengan lendutan maksimum sebesar 7,5 mm. Pembebanan maksimum sebesar =400 kg (Panduan KJI ke-6, 2010).



Konfigurasi Beban Tahap 1



Konfigurasi Beban Tahap 2

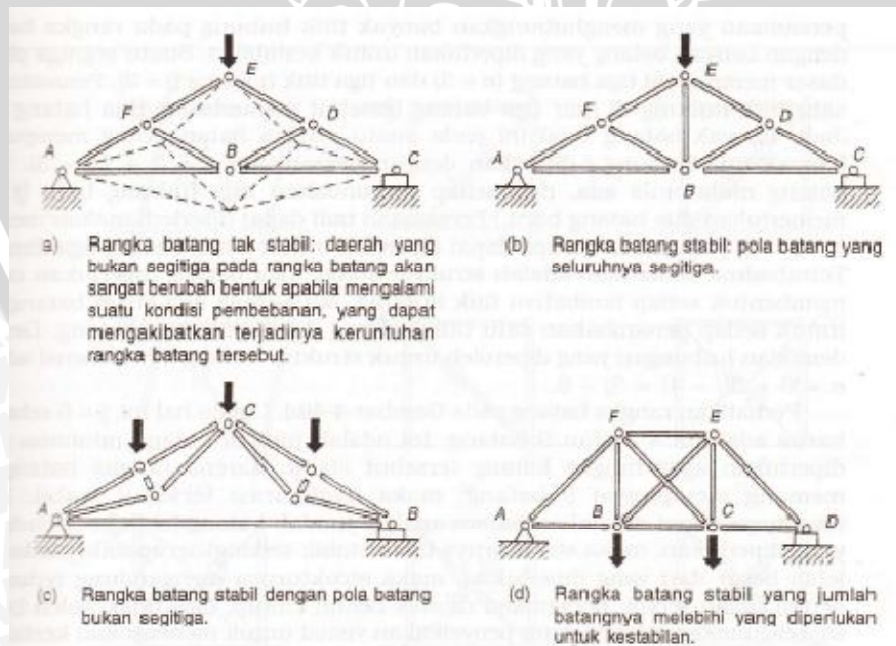
Unit CM

Gambar 2.4. Pembebanan

(Sumber : Panduan KJI ke-6 2010)

2.3.3 Stabilitas rangka batang

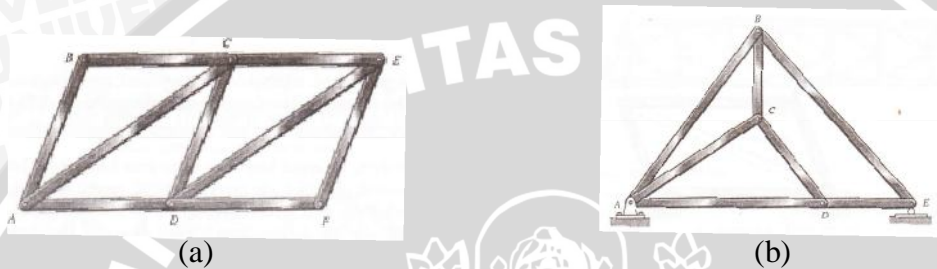
Langkah pertama pada analisis rangka batang adalah menentukan apakah rangka batang itu mempunyai konfigurasi yang stabil atau tidak. Secara umum, setiap rangka batang yang merupakan susunan bentuk dasar segitiga merupakan struktur yang stabil (**Gambar 2.5**), sedangkan pola susunan batang yang tidak segitiga umumnya kurang stabil. Rangka batang yang tidak stabil akan runtuh apabila dibebani karena rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang yang mencukupi untuk mempertahankan hubungan geometri yang tetap antara titik-titik hubungannya (Schodek, 1999).



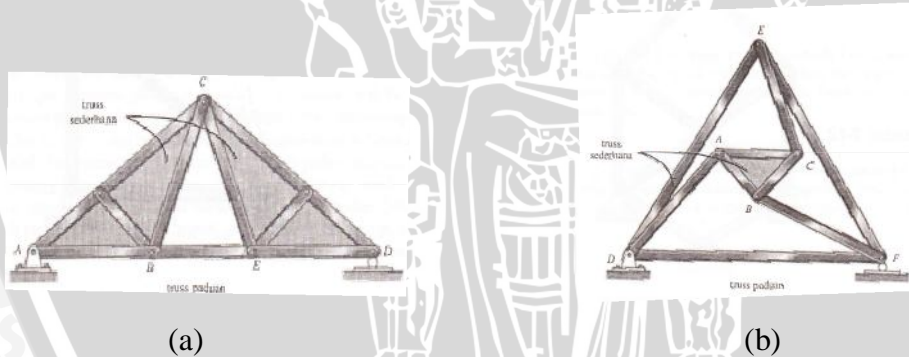
Gambar 2.5. Kestabilan internal pada rangka batang

(Sumber : Schodek, 1999)

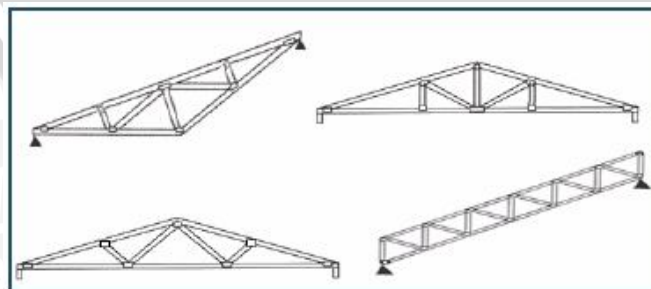
Bentuk struktur rangka batang (*truss*) dipilih karena mampu menerima beban struktur relatif besar dan dapat melayani kebutuhan bentang struktur yang panjang. Bentuk struktur ini dimaksudkan menghindari lenturan pada batang struktur seperti terjadi pada balok. Pada struktur rangka batang ini batang struktur dimaksudkan hanya menerima beban normal baik tarikan maupun beban tekan. Bentuk rangka batang diklasifikasikan menjadi rangka batang sederhana (**Gambar 2.6**) dan paduan atau kompleks (**Gambar 2.7**). Sedangkan bentuk paling sederhana dari struktur ini adalah rangkaian batang yang dirangkai membentuk bangun segitiga, struktur seperti ini dapat dijumpai pada rangka atap maupun jembatan (**Gambar 2.8**).



Gambar 2.6. Rangka batang sederhana
(Sumber : Hibbeller, 2002)



Gambar 2.7. Rangka batang paduan
(Sumber : Hibbeller, 2002)



Gambar 2.8. Tipikal struktur rangka batang
(Sumber : Schodek, 1999)

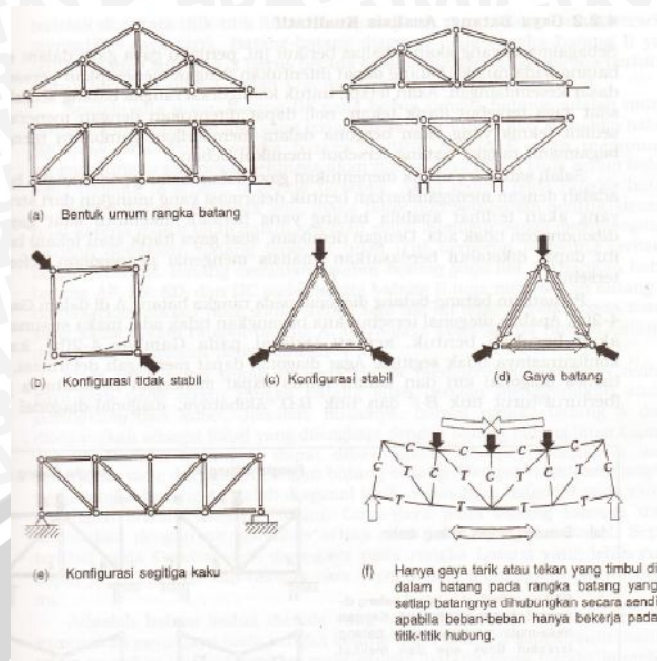
2.4 Statika

2.4.1 Simple Truss (Rangka Batang Sederhana)

2.4.1.1. Konsep Triangulasi

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Pada bentuk segiempat atau bujursangkar, bila struktur tersebut diberi beban, maka akan terjadi deformasi masif dan menjadikan struktur tak stabil. Bila struktur ini diberi beban, maka akan membentuk suatu mekanisme runtuh (*collapse*), sebagaimana diilustrasikan pada gambar berikut ini. Struktur yang demikian dapat berubah bentuk dengan mudah tanpa adanya perubahan pada panjang setiap batang. Sebaliknya, konfigurasi segitiga tidak dapat berubah bentuk atau runtuh, sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk ini stabil (**Gambar 2.9**).

Pada struktur stabil, setiap deformasi yang terjadi relatif kecil dan dikaitkan dengan perubahan panjang batang yang diakibatkan oleh gaya yang timbul di dalam batang sebagai akibat dari beban eksternal. Selain itu, sudut yang terbentuk antara dua batang tidak akan berubah apabila struktur stabil tersebut dibebani. Hal ini sangat berbeda dengan mekanisme yang terjadi pada bentuk tak stabil, dimana sudut antara dua batangnya berubah sangat besar. Gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya tarik dan tekan murni. Lentur (*bending*) tidak akan terjadi selama gaya eksternal berada pada titik nodal (titik simpul). Bila susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk stabil, maka sembarang susunan segitiga juga membentuk struktur stabil dan kukuh. Hal ini merupakan prinsip dasar penggunaan rangka batang pada gedung. Bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga-segitiga itu. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan, dan pada tepi bawah umumnya timbul gaya tarik. Gaya tarik atau tekan ini dapat timbul pada setiap batang dan mungkin terjadi pola yang berganti-ganti antara tarik dan tekan.

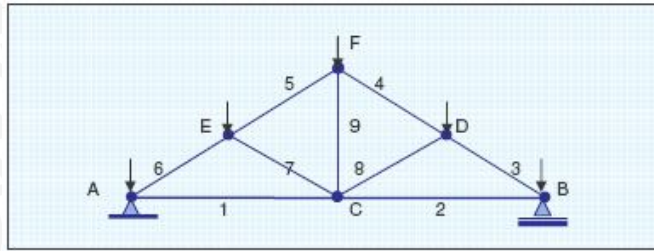


Gambar 2.9. Rangka batang dan prinsip-prinsip dasar triangulasi
(Sumber : Schodek, 1999)

Penekanan pada prinsip struktur rangka batang adalah bahwa struktur hanya dibebani dengan beban-beban terpusat pada titik-titik hubung agar batang-batangnya mengalami gaya tarik atau tekan. Bila beban bekerja langsung pada batang, maka timbul pula tegangan lentur pada batang itu sehingga desain batang sangat rumit dan tingkat efisiensi menyeluruh pada batang menurun.

2.4.2 Analisa rangka batang sederhana

Bentuk struktur rangka batang (*truss*) dipilih karena mampu menerima beban struktur relatif besar dan dapat melayani kebutuhan bentang struktur yang panjang. Bentuk struktur ini dimaksudkan menghindari lenturan pada batang struktur seperti terjadi pada balok. Pada struktur rangka batang ini batang struktur dimaksudkan hanya menerima beban normal baik tarikan maupun beban tekan. Titik rangkai disebut sebagai simpul/buhul atau titik sambung. Struktur rangka statis umumnya memiliki dua dukungan yang prinsipnya sama dengan dukungan pada struktur balok, yakni dukungan sendi dan dukungan gelinding atau gelincir. **Gambar 2.10** menunjukkan struktur rangka batang yang tersusun dari rangkaian bangun segitiga yang merupakan bentuk dasar yang memiliki sifat stabil. Persyaratan yang harus dipenuhi untuk kestabilan rangka batang dapat dituliskan sebagai berikut.



Gambar 2.10. Tipikal bentuk struktur rangka batang sederhana
(Sumber : Istimawan, 2000)

Peninjauan mengenai kestabilan dan ketidak tentuan statis dari struktur rangka atap diambil dari *determination of the static determinacy of trusses* oleh O. Mohr (1874), dapat ditentukan dengan rumus pendekatan berikut :

$m + r = 2j$, statis tertentu, stabilitas terpenuhi.

$m + r < 2j$, tidak stabil.

$m + r > 2j$, statis tak tentu, stabilitas terpenuhi.

dimana,

m = jumlah batang

r = banyaknya reaksi perletakan (untuk tumpuan sederhana, $r = 3$)

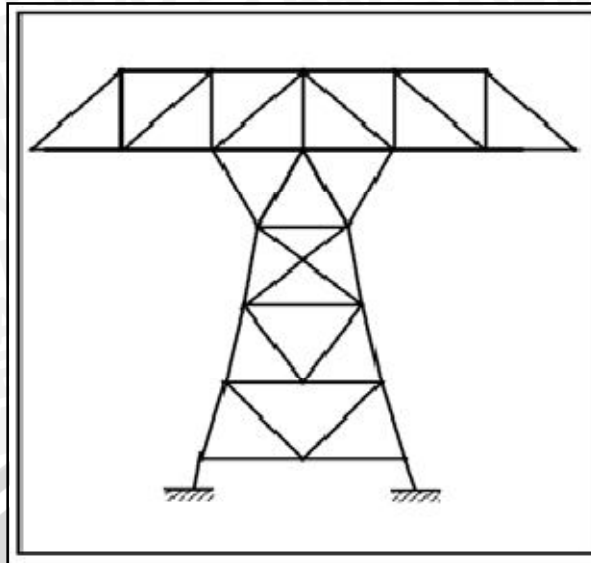
j = jumlah titik buhul (joint)

Cek stabilitas struktur, $m + r = (9) + (3) = 12 > 2 \cdot j = 2 \cdot 6 = 12$

sehingga struktur tersebut statis tertentu, stabilitas terpenuhi.

2.4.3 Metode elemen hingga (*finite element*)

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah salah satu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai problem rekayasa, seperti mekanika struktur, mekanika tanah, mekanika batuan, mekanika fluida, hidrodinamik, aerodinamik, medan magnet, perpindahan panas, dinamika struktur, mekanika nuklir, aeronautika, akustik, mekanika kedokteran dan sebagainya, (Irwan Katili, 2008).



Gambar 2.11. Struktur rangka batang
(Sumber : Indrakto, 2007)

Rangka batang adalah struktur yang istimewa, dimana joint yang dirancang tidak untuk mendukung momen, dan dapat dikatakan merupakan elemen-elemen Force member yang seolah-olah merupakan sambungan pin. Walaupun pin-joint menggabungkan komponen batang kadang hal ini merepresentasikan hal yang aktual. Representasi aktual inilah yang disebut idealisasi, dimana secara axial menyangga komponen dan pin tidak ada gesekan, struktur inilah yang mendekati dari keadaan realnya.

Metode Elemen Hingga merupakan prosedur numerik untuk menyelesaikan permasalahan fisik yang diatur dengan persamaan diferensial. Karakteristik Metode Elemen Hingga yang membedakan dengan prosedur numerik yang lain adalah :

- Metode Elemen Hingga menggunakan penyelesaian integral untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar.
- Metode Elemen Hingga menggunakan fungsi-fungsi kontinu sebagian untuk mendeteksi kuantitas atau beberapa kuantitas yang tidak diketahui.

Secara umum Metode Elemen Hingga terdiri dari lima langkah dasar yaitu :

1. Mendiskritisasikan daerah-daerah yang meliputi penempatan titik-titik nodal, penomoran titik-titik nodal dan penentuan koordinatnya.
2. Menentukan derajat atau orde persamaan pendekatan linear atau kuadratik, persamaan harus dinyatakan sebagai fungsi nodal.

3. Menyusun sistem persamaan-persamaan.
4. Menyelesaikan sistem persamaan-persamaan.
5. Menghitung kuantitas yang dicari, kuantitas dapat merupakan komponen tegangan dan lain-lain.

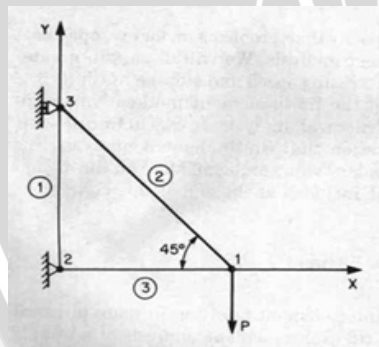
Persamaan dalam Metode Elemen Hingga biasanya berbentuk :

$$\{ F \} = [k] \{ u \} \quad \dots \quad (2.1)$$

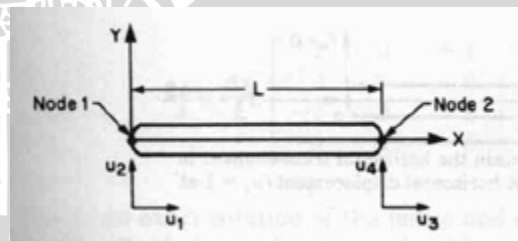
Dengan :

- $[k]$ = Matrik kekakuan
- $\{ u \}$ = Vektor kolom dengan komponen matrik berupa nilai nodal
- $\{ F \}$ = Gaya yang bekerja pada nodal

Metode yang paling efisien untuk mengenal lebih jauh mengenai *Finite element* adalah belajar dengan contoh. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.12a** merupakan kasus rangka batang sederhana yang terdiri dari tiga elemen batang. Metode solusi untuk masalah ini menunjukkan konsep dasar metode elemen hingga yang bisa digunakan dalam analisis apapun. Hal pertama yang harus dilakukan adalah memilih setiap anggota truss menjadi salah satu elemen (**Gambar 2.12b**).



(a)



(b)

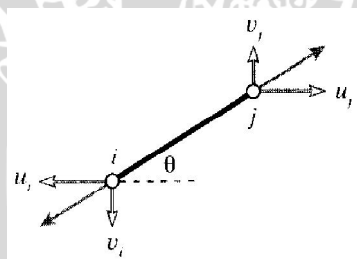
Gambar 2.12. Rangka batang sederhana
(Sumber : Baran, 1988)

Gambar 2.12b. menunjukkan satu elemen rangka batang yang merupakan batang lurus dengan panjang L dan kekakuan batang AE , dengan dua vektor bebas pada tiap ujungnya. Sesuai dengan sifat dari rangka batang, maka dianggap elemen batangnya tidak akan menderita bekerjanya gaya momen atau lintang, melainkan hanya menderita bekerjanya gaya normal saja.

Hubungan umum antara gaya dan perpindahan adalah seperti pada persamaan 2.1 atau dalam bentuk matrik yang ditunjukkan pada persamaan 2.2. Dimana Matrik k_{ij} disebut *Global stiffness matrix* (matrik kekakuan global), Ini adalah matriks yang mendefinisikan sifat geometrik dan material batang dengan komponen ij menjadi bentuk pendefinisian dari pengaruh perpindahan j di gaya batang i . Matriks kekakuan ini adalah bagian mendasar dari metode elemen hingga.

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.2)$$

Sebagai langkah pertama dalam mengembangkan satu bentuk persamaan matriks yang menggambarkan sistem *truss*, diperlukan hubungan antara gaya dan perpindahan pada setiap akhir dari elemen *truss* tunggal. Elemen gaya dan perpindahan dalam bidang $x - y$ seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.13**, yang melekat pada titik nomor i dan j dan miring pada sudut θ dari arah horizontal.



Gambar 2.13. Elemen batang tunggal
(Sumber : Roylance, 2001)

Vektor perpanjangan δ harus diselesaikan dalam arah memanjang dan melintang terhadap elemen, perpanjangan dalam elemen truss dapat ditulis berdasarkan perbedaan dari perpindahan dititik akhirnya.

$$\delta = (u_j \cos \theta + v_j \sin \theta) - (u_i \cos \theta + v_i \sin \theta) \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan u dan v adalah komponen vertikal dan horisontal dari defleksi, perpindahan pada titik i dalam **Gambar 2.13** adalah negatif sehingga hubungan tersebut dapat ditulis dalam bentuk matrik seperti dibawah ini :

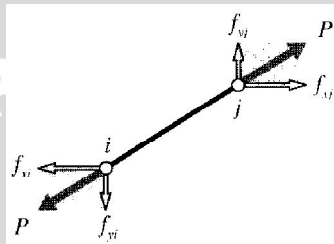


$$\delta = \begin{bmatrix} -c & -s & c & s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{Bmatrix}$$

Dengan :

$$c = \cos \theta \text{ dan } s = \sin \theta$$

Gaya aksial P yang menyertai perpanjangan δ berdasarkan hukum Hooke untuk elastis linier yang berbentuk $P = (AE / L) \delta$. Gaya titik vertikal dan horisontal ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Komponen gaya pada nodal
(Sumber : Roylance, 2001)

Berdasarkan hukum Hooke $P = (AE / L) \delta$ maka persamaan gaya aksial total yang terdapat pada setiap elemen batang dapat ditulis dalam bentuk matrik seperti pada persamaan 2.4

$$\begin{Bmatrix} f_{xi} \\ f_{yi} \\ f_{xj} \\ f_{yj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -c \\ -s \\ c \\ s \end{bmatrix} P = \begin{bmatrix} -c \\ -s \\ c \\ s \end{bmatrix} \frac{AE}{L} \delta$$

$$= \begin{bmatrix} -c \\ -s \\ c \\ s \end{bmatrix} \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} -c & -s & c & s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} f_{xi} \\ f_{yi} \\ f_{xj} \\ f_{yj} \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

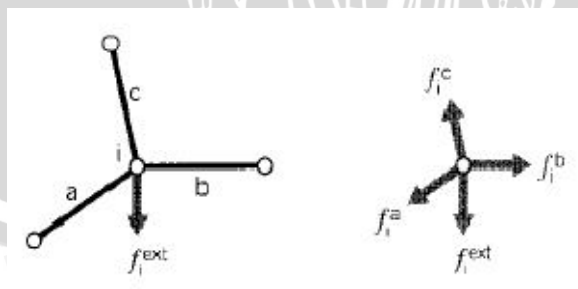
$$c = \cos \theta \text{ dan } s = \sin \theta$$

Kuantitas dalam kurung tersebut dikalikan dengan (AE / L) sehingga didapatkan bentuk matrik seperti dibawah ini :

$$[K] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin\theta.\cos\theta & -\cos^2\theta & -\sin^2\theta.\cos\theta \\ \sin\theta.\cos\theta & \sin^2\theta & -\sin\theta.\cos\theta & -\sin^2\theta \\ -\cos^2\theta & -\sin\theta.\cos\theta & \cos^2\theta & \sin\theta.\cos\theta \\ -\sin\theta.\cos\theta & -\sin^2\theta & \sin\theta.\cos\theta & \sin^2\theta \end{bmatrix}$$

Bentuk matrik tersebut dikenal sebagai "matrik kekakuan elemen" k_{ij} . Masing-masing istilah tersebut memiliki makna fisik yang merupakan kontribusi dari salah satu perpindahan ke salah satu gaya batang. Sistem global persamaan dibentuk dengan menggabungkan matrik kekakuan elemen dari masing-masing elemen truss yang berurutan, maka matrik kekakuan tersebut adalah pusat dari metode analisis struktur matriks. Perbedaan utama antara metode truss matriks dan metode elemen hingga umum adalah bagaimana matrik kekakuan elemen tersebut terbentuk, selanjutnya sebagian besar dari operasi komputer yang lain adalah sama.

Langkah selanjutnya adalah untuk mempertimbangkan satu himpunan banyak elemen batang yang dihubungkan oleh joint. Setiap elemen yang bertemu pada joint atau node akan memberikan kontribusi gaya batang yang diakibatkan oleh adanya perpindahan dari kedua elemen *node* (**Gambar 2.15**). Untuk menjaga keseimbangan statis, unsur gaya yang menyokong f_i^{elem} pada node harus mempunyai jumlah sama dengan gaya eksternal yang diberikan pada node f_i^{ext} seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.5.



Gambar 2.15 Elemen kontribusi gaya pada node
(Sumber : Roylance, 2001)

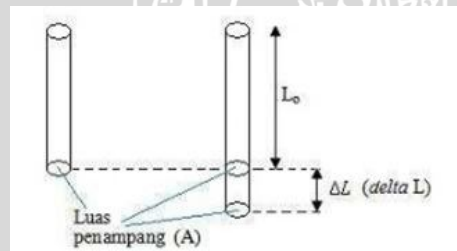
$$f_i^{ext} = \sum_{elem} f_i^{elem} = \left(\sum_{elem} k_{ij}^{elem} u_j \right) = \left(\sum_{elem} k_{ij}^{elem} \right) u_j = K_{ij} u_j \dots \dots (2.5)$$

Setiap kekakuan elemen matriks k_{ij}^{elem} ditambahkan ketempat yang sesuai dari elemen matrik keseluruhan, atau "global". Kekakuan matriks K_{ij} dihubungkan dengan semua perpindahan rangka dan gaya batang, proses ini disebut "Perakitan". Penomoran yang dilakukan harus secara global sehingga menjadi nomor yang ditetapkan terhadap struktur rangka secara keseluruhan.

2.4.6 Deformasi

Struktur rangka tersusun dari komponen-komponen (batang) yang ujungnya saling disambungkan membentuk konfigurasi geometri tertentu. Ketika beban bekerja, tubuh rangka menuju posisi baru dengan titik-titik buhulnya berpindah melalui gerak translasi. Adanya beban pada elemen struktur selalu menyebabkan terjadinya perubahan dimensional pada elemen struktur tersebut, sehingga akan mengalami perubahan ukuran atau bentuk atau keduanya. "Pada jenis material baja perubahan dimensional yang terjadi dapat secara kasar dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis yang terjadi secara berurutan dengan semakin bertambahnya beban" (Schodek, 1999).

Untuk batang yang dibebani aksial tarik atau tekan, yang tegangan internalnya terdistribusi secara merata pada penampang melintang, perpanjangan atau perpendekan yang dapat terjadi bergantung pada besar beban yang bekerja, luas penampang melintang batang, panjang batang dan jenis material yang digunakan (Gambar 2.21).



Gambar 2.21. Deformasi pada batang
(Sumber :Schodek, 1999)

Deformasi yang ada pada batang yang dibebani aksial dapat dihitung dengan menggunakan fakta bahwa untuk sembarang material elastis, perbandingan tegangan (f) yang ada dengan regangan (ϵ) adalah konstanta yaitu tegangan/regangan = konstanta = modulus elastisitas (E) pada (Pers.2.1). Perpanjangan pada batang tarik

dapat diperoleh dengan menentukan regangan yang diasosiasikan dengan tegangan yang ada, kemudian dengan menggunakan perbandingan ini dapat dicari deformasi total yang ada (pers.2.2).

$$\epsilon = f / E \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

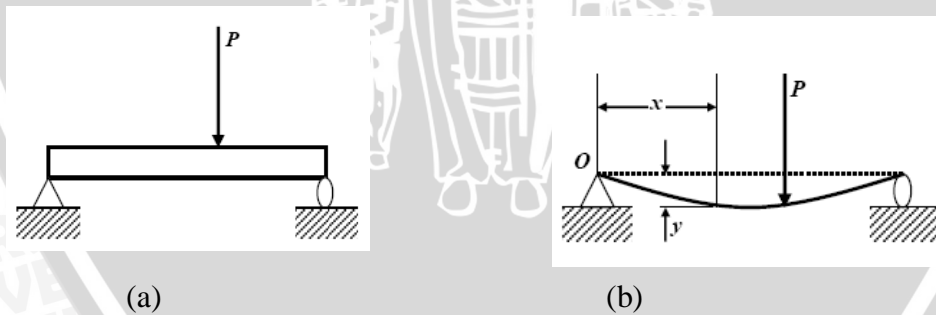
$$\Delta L = \epsilon L = \frac{PL}{AE} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

- F = Tegangan (N/mm²)
- ϵ = Regangan (mm/mm)
- P = Beban (N)
- A = Luas Penampang (mm²)
- E = Elastisitas (N/mm²)
- L = Panjang batang awal (mm)
- ΔL = Deformasi total (mm)

2.4.7 Defleksi

Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. **Gambar 2.22a** memperlihatkan batang pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan **Gambar 2.22b** adalah batang dalam kondisi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan *P*.



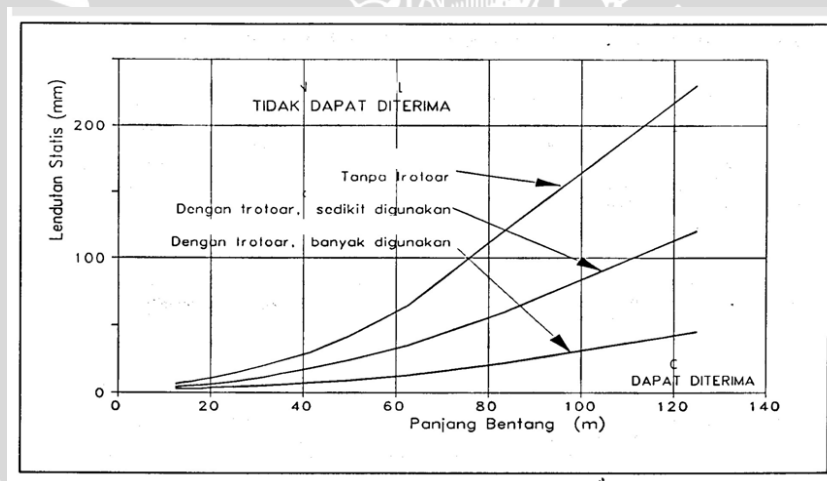
Gambar 2.22. Defleksi yang terjadi pada balok
(Sumber : Hariandja, 1996)

Jarak perpindahan *y* didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai *x* disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (atau kurva elastis) dari balok. Disamping faktor tegangan, spesifikasi untuk rancang bangun balok sering ditentukan oleh adanya defleksi. Konsekuensinya,



disamping perhitungan tentang tegangan-tegangan, perancang juga harus mampu menentukan defleksi. Dengan demikian, balok yang dirancang dengan baik tidak hanya mampu mendukung beban yang akan diterimanya tetapi juga harus mampu mengatasi terjadinya defleksi sampai batas tertentu.

Defleksi yang terjadi pada jembatan berupa getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat diatas jembatan dan akibat pejalan kaki pada jembatan penyeberangan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidak nyamanan seperti halnya keamanan bangunan. Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan "beban lajur D", dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada trotoar. Lendutan ini jangan melampaui apa yang diberikan dalam **Gambar 2.23**.



Gambar 2.23. Lendutan statis maksimum untuk jembatan
(Sumber : RSNI-T-02-2005)

2.5 Prategang

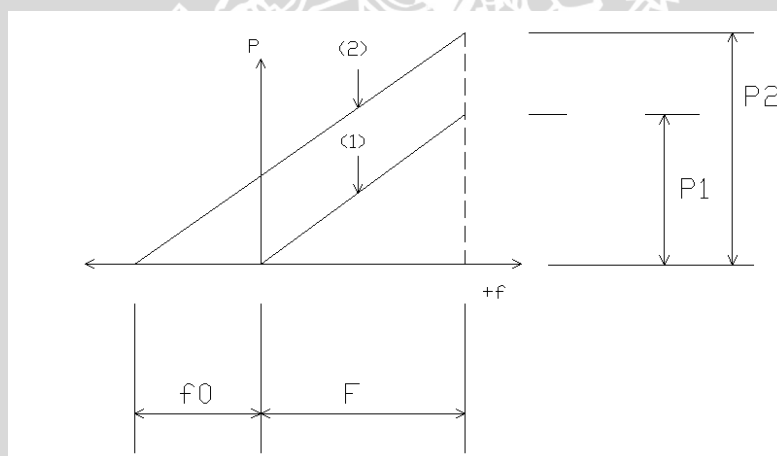
2.5.1. Pengertian dasar prategang

Prategang merupakan suatu sistem pemberian dan pendistribusian tegangan dengan besaran tertentu pada penampang melintang elemen struktur untuk meningkatkan kekuatan struktur tersebut. Tujuan dari prategang pada beton prategang adalah agar setiap penampang beton menerima gaya yang diakibatkan oleh adanya prategang dan beban yang diberikan, sehingga tegangan tekan pada seluruh penampang menjadi sangat dominan atau bahkan tidak terjadi tegangan tarik pada beton prategang tersebut. Namun, pada penampang yang sama dari baja prategang

dalam pembebanan, terdapat gaya tarik dan gaya tekan. Reaksi dari penampang melintang struktur baja lebih besar daripada struktur beton, sehingga struktur baja prategang lebih ekonomis dari struktur beton prategang. (Troitsky, 1990)

2.5.2 Konsep dasar prategang

Dalam struktur baja prategang ataupun elemen dari struktur baja prategang, tegangan tercipta secara buatan dan secara umum melawan tegangan yang tercipta akibat pembebanan. Ketika dalam sebuah struktur kita menciptakan prategang f_0 yang memiliki tegangan yang berlawanan dengan reaksi dari pembebanan, regangan dari kerja elastis material meningkat (**Gambar 2.24 (garis 2)**). Sehingga tegangan awal f_0 tercipta. Kemudian sebuah beban P , diberikan untuk menimbulkan tegangan pada batang hingga mencapai nilai tegangan yang diijinkan, F . Gaya tarik yang diterima oleh baja yang diberi prategang nilainya lebih besar f_0A daripada gaya yang diambil oleh batang yang sama tanpa adanya prategang. (**Gambar 2.24.(garis 1)**).

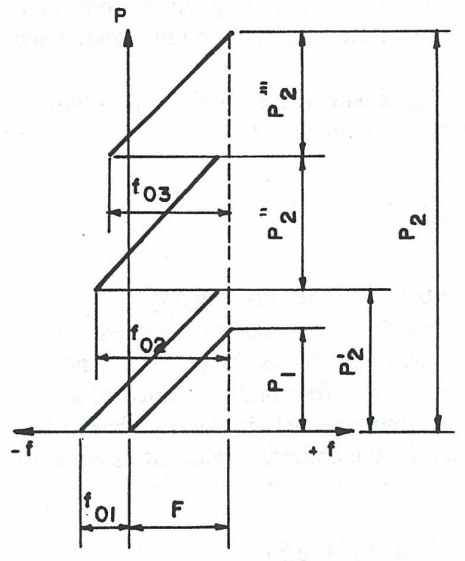


Gambar 2.24. Diagram kerja batang (garis 1) tanpa prategang dan (garis 2) dengan prategang

Sumber : Troitsky,1990

Sangat mungkin untuk meningkatkan kapasitas pelayanan lebih jauh dengan menerapkan prategang bertahap, dan beban yang diperlukan. Diperoleh dari melalui beberapa tahapan. (**Gambar 2.25**). Di bawah pengaruh beban P_1 , sebuah tegangan awal f_0 dihasilkan pada batang hingga nilai batas F diperoleh. Di siklus ke-2, tegangan awal f_{02} sekali lagi diberikan, yang menurunkan tegangan yang didapatkan dari beban

P_2 . Setelah beberapa siklus serupa, jumlah dari $\sum P_2$, dapat beberapa kali lebih besar daripada beban



Gambar 2.25. Diagram kerja batang dengan prategang bertahap

Sumber : Troitsky,1990

P_1 , yang dapat ditahan oleh struktur tanpa adanya prategang. Biasanya pembebanan yang dibutuhkan dapat dicapai dalam tiga atau empat siklus. Prategang selalu dihubungkan dengan deformasi, dimana dapat pula berupa kebalikan dari tanda deformasi yang terjadi akibat pembebanan.

Dalam beberapa kasus, deformasi ini dapat membatasi prategang, karena ada kemungkinan kehilangan kestabilan.

2.5.3. Prategang pada rangka batang

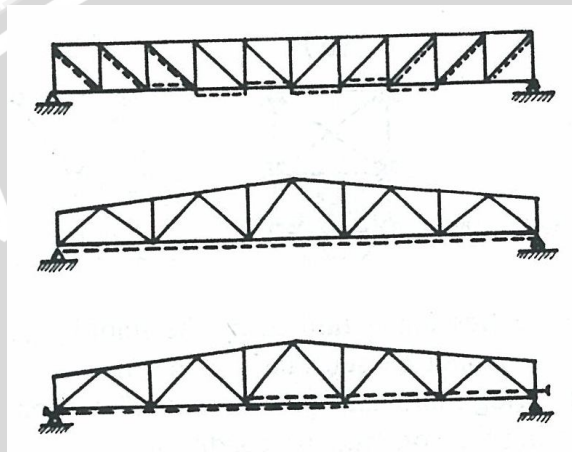
Efektifitas dari prategang rangka baja bergantung pada desain dari rangka terhadap performa struktur, prategang rangka dapat dibagi menjadi 2 tipe dasar :

1. Rangka dimana kabelnya terletak di batasan dari batang yang paling besar menerima tegangan.
2. Rangka dimana kabelnya diletakkan di seluruh atau di sepanjang bentang dan diberikan prategang pada beberapa atau semua anggota rangka batang.

2.5.3.1 Prategang pada elemen batang

Dalam rangka baja yang memiliki batang yang bereaksi tarik akibat pembebanan, tendon di pasang sepanjang bentang untuk memberikan gaya tekan

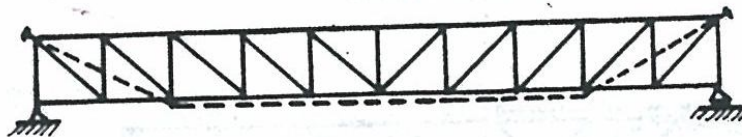
akibat prategang (**Gambar 2.26**). Batang-batang tersebut diberikan gaya prategang pada saat pelaksanaan fabrikasi atau selama pemasangan di tempat konstruksi. Jenis rangka baja berikut jauh lebih rumit dalam desain dan membutuhkan jangkar tendon yang lebih banyak. Jenis rangka prategang seperti ini hanya efektif pada jembatan bentang panjang dan beban dimana setiap batang prategang adalah sebuah unit individual dari proses fabrikasi. Penghematan dalam penggunaan prategang dengan menggunakan metode seperti ini dapat mencapai 10-15%. (Troitsky, 1990)



Gambar 2.26. Prategang pada elemen batang

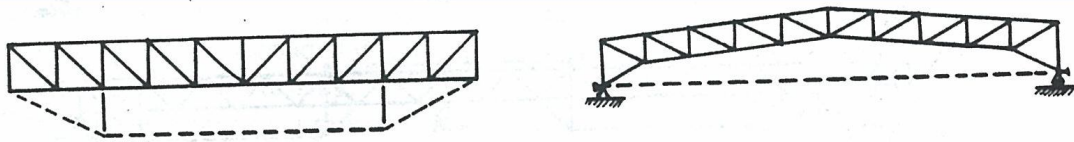
2.5.3.2. Prategang pada struktur rangka batang

Pemberian prategang pada jenis rangka ini memberikan kemungkinan yang jauh lebih luas dalam hal konfigurasi kabel dan penempatannya dibandingkan dengan apabila prategang diberikan pada batang individual. Terdapat dua cara dalam pemasangan kabel prategang pada struktur rangka batang. Cara yang paling sederhana adalah dengan pemasangan kabel prategang poligonal. Pada cara ini, kabel diletakkan sepanjang batang tarik dan dibentangkan melalui beberapa panel (**Gambar 2.27**). Penghematan baja dapat mencapai 10-15%.



Gambar 2.27. Rangka dengan kabel poligonal

Sumber : Troitsky, 1990



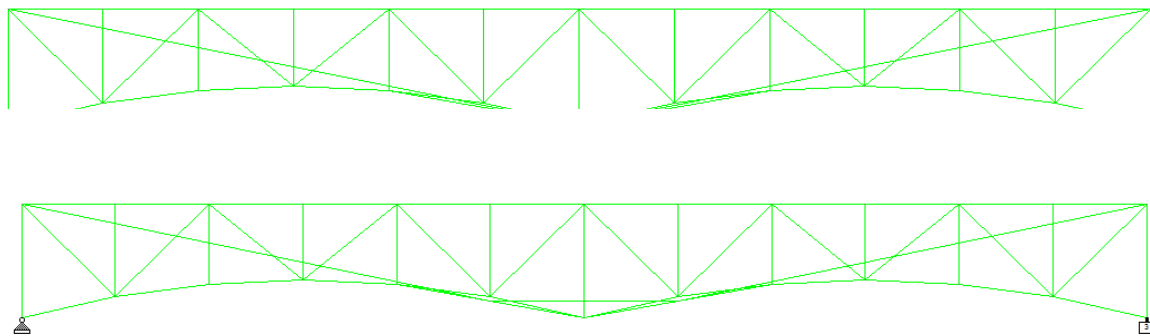
Gambar 2.28. Rangka dengan kabel eksternal

Sumber : Troitsky, 1990

Cara yang kedua yaitu pemasangan kabel prategang eksternal. Kabel diletakkan di luar dari rangka batang, dimungkinkan untuk mencapai penghematan baja hingga 25-30% (**Gambar 2.28**). (Troitsky, 1990)

2.6 Desain dan analisa model jembatan

Fungsi dari pemberian prategang pada jembatan adalah untuk melawan lendutan akibat beban yang bekerja sehingga lendutan yang timbul menjadi lebih kecil atau bahkan tidak terjadi lendutan sama sekali. Pada kasus prategang eksternal ini kabel prategang diletakkan pada ujung pelat simpul yang terdapat pada sisi atas pojok jembatan (**Gambar 2.29**).



Gambar 2.29 model jembatan menggunakan kabel prategang eksternal

2.7. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian adalah :

1. Terdapat pengaruh pada lendutan akibat penambahan kabel prategang eksternal.
2. Terdapat perubahan gaya batang akibat penambahan kabel prategang eksternal

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat Dan Waktu

Pengujian model jembatan star “5” Bridge telah dilakukan sebelumnya pada 6 november 2010, yaitu pada kompetisi jembatan nasional VI di Politeknik Negeri Jakarta, Depok. Selanjutnya penambahan kabel prategang eksternal ini hanya berupa analisis numerik menggunakan *software*.

3.2. Peralatan Dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan untuk uji analisis ini adalah :

- *Software* AutoCAD 2007,
- *Software* Structural Analysis Program (Program Analisis Struktur),
- Pustaka dan referensi yang mendukung.

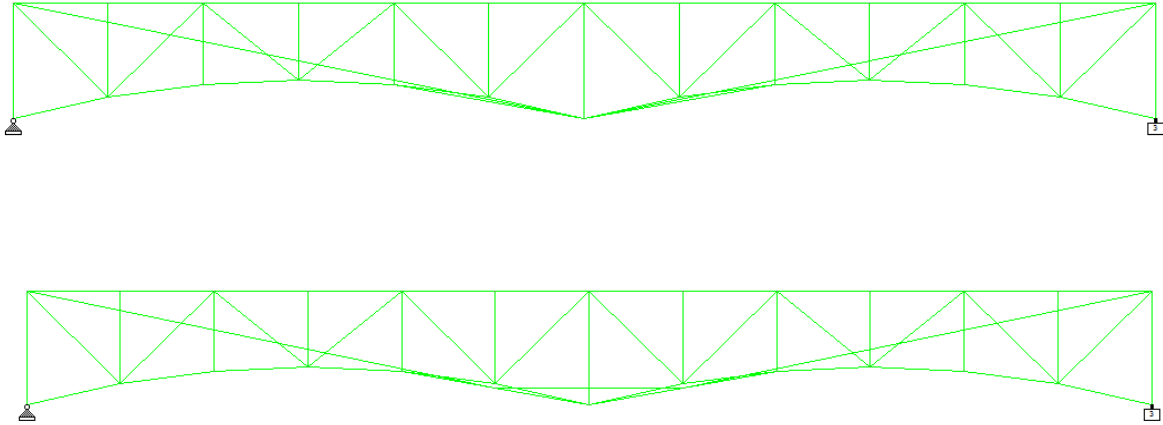
Proses analisis meliputi :

- Menghitung pembebanan sesuai dengan peraturan pembebanan
- Menambahkan kabel prategang eksternal, seperti **gambar 3.2**
- Menganalisis gaya batang, lendutan dan perpindahan dengan STAAD.Pro,
- Membuat persamaan keseimbangan gaya batang.
- Menganalisis.

3.3 Rancangan Penelitian

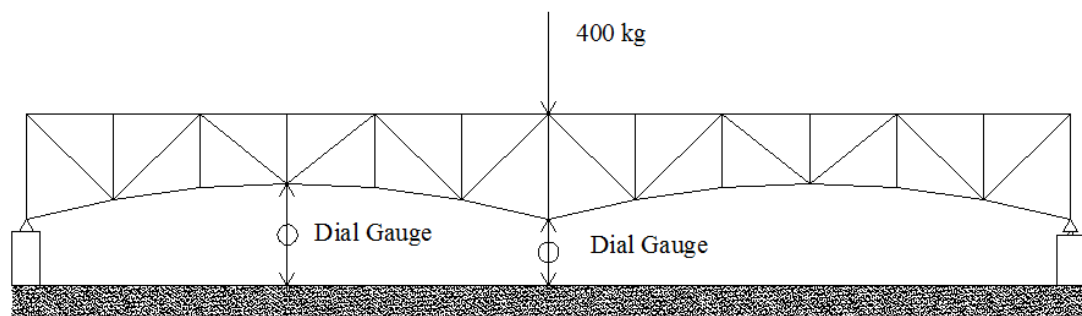
Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan perilaku pada jembatan rangka yang menggunakan material baja berdasarkan tinjauan kontrol lendutan dan terhadap gaya-gaya batang dengan menggunakan kabel prategang eksternal. Karena pada jembatan baja star ”5” bridge awalnya masih kurang dalam lendutan, sehingga kurang cukup kuat dalam memikul beban. Karena itu kami melakukan penambahan kabel prategang eksternal, sehingga mendapatkan hasil yang optimal. Langkah-langkah rancangan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menambahkan kabel prategang eksternal pada jembatan rangka, seperti pada **gambar 3.2**



Gambar 3.2. Kabel prategang pada jembatan star “5” bridge

2. Menghitung pembebanan yang akan digunakan dalam analisis, pembebanan didasarkan pada bentuk jembatan model yang ditetapkan pada pasal 18 dalam buku panduan Kompetisi Jembatan Indonesia ke-6 2010. Disini beban maksimum yang diberikan sebesar 400 kg yang dilakukan pada seperempat bentang dengan lendutan 3,7 mm dan setengah bentang sebesar 5,3 mm. Seperti pada **gambar 3.3**.



Konfigurasi Beban Tahap 2

Unit CM

Gambar 3.3. Pembebanan

- 3 Menganalisis kabel prategang eksternal dan pembebanan sehingga diketahui gaya-gaya batang dan lendutan yang ditimbulkan.
- 4 Dari analisis menggunakan kabel prategang eksternal, lendutan akibat penambahan kabel prategang eksternal dihasilkan dari analisis untuk mendapatkan lendutan yang paling kecil.
- 5 Mendapatkan gaya batang tekan dan tarik maksimum setelah penambahan kabel prategang eksternal.
- 6 Rancangan penelitian tersebut lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada halaman berikutnya.

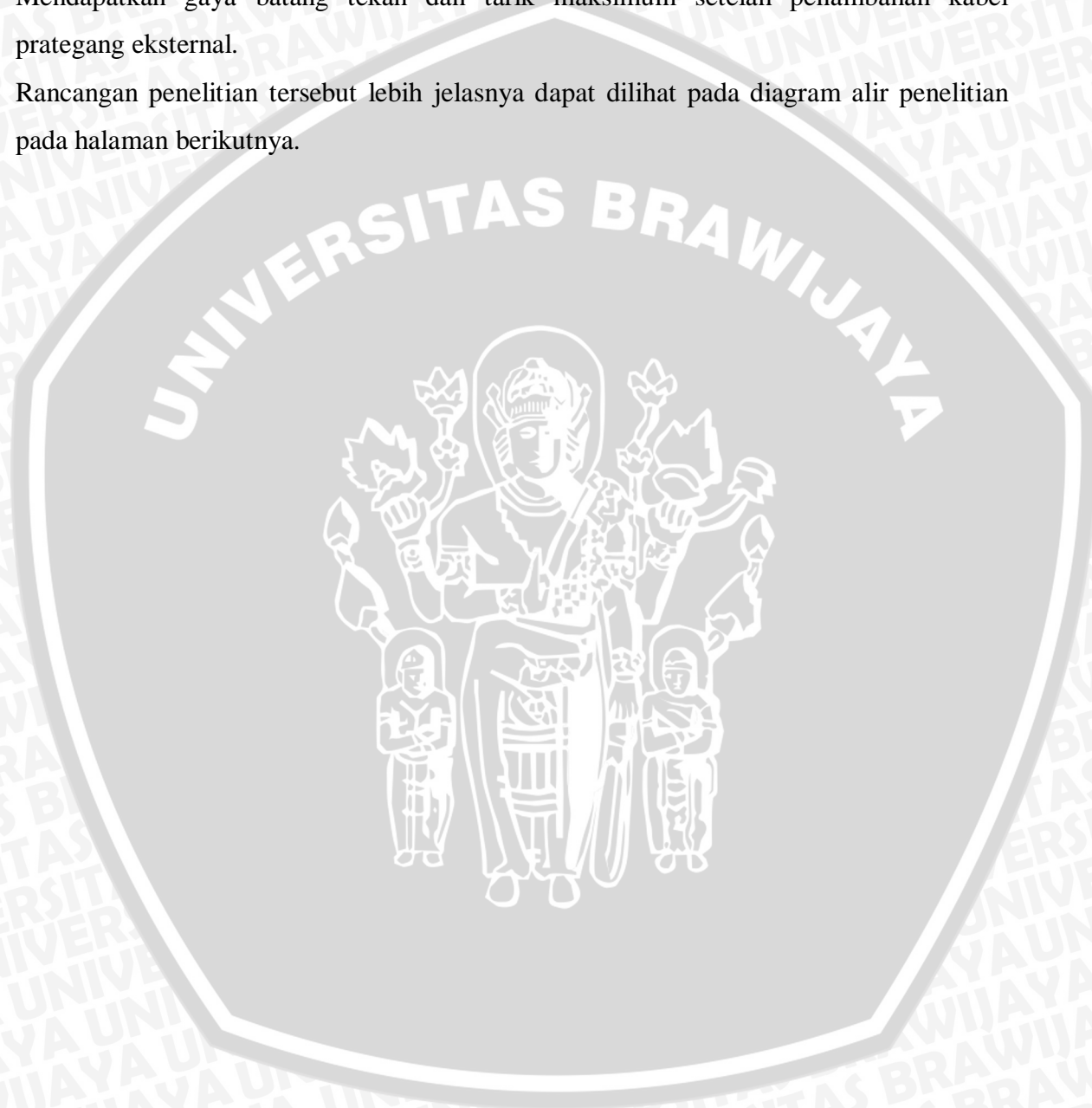


DIAGRAM ALIR PENELITIAN

