

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan, pekerjaan suatu konstruksi proyek diuntut lebih berkualitas selain dari segi kekuatan yang mutlak harus dipenuhi yaitu seperti aspek ekonomi dan kemudahan pengerjaan. Apalagi dengan berkembangnya inovasi dari para *engineer*, dimana banyak bangunan yang didesign dengan skala yang cukup besar baik dari bentang hingga tinggi bangunan.

Pada saat ini rangka batang sangat penting untuk pembangunan karena merupakan salah satu konstruksi ringan yang mempunyai kemampuan untuk menerima beban struktur relatif besar dan mampu melayani kebutuhan bentang struktur yang panjang. Struktur rangka batang juga dapat memberikan estetika yang tinggi untuk konstruksi, seperti konstruksi menara Eiffel di Paris. Rangka batang merupakan suatu konstruksi yang terdiri dari sejumlah batang-batang yang disambung satu dengan yang lain pada kedua ujungnya sehingga membentuk suatu kesatuan struktur yang kokoh. Bentuk rangka batang dapat bermacam-macam sesuai dengan fungsi dan konstruksi, seperti konstruksi untuk jembatan, rangka untuk atap, serta menara dan disesuaikan dengan bahan yang digunakan, seperti baja atau kayu. Pada konstruksi berat, batang konstruksi dibuat dari bahan baja, yakni batang baja yang disebut baja profil, seperti baja siku, baja kanal, baja C, baja I, dan baja profil lainnya. Rangka konstruksi berat yang dimaksud diatas adalah jembatan, rangka bangunan pabrik, menara yang tinggi dan sebagainya. Batang-batang pada konstruksi rangka baja biasanya disambung satu dengan yang lain dengan menggunakan las, paku keling atau baut. Rangka batang juga merupakan konstruksi yang terdiri dari batang-batang tarik dan batang-batang tekan saja.

Bentuk paling sederhana dari struktur rangka batang adalah rangkaian batang yang dirangkai membentuk satu atau lebih unit segitiga. Pola susunan segitiga dipilih karena merupakan struktur yang stabil. Struktur rangka batang umumnya terletak pada dua perletakan yang prinsipnya sama dengan perletakan

pada struktur balok yakni perletakan sendi atau rol. Titik rangkai yang menghubungkan elemen rangka disebut node atau titik sambung.

Saat ini struktur rangka batang berkembang sangat cepat baik terhadap geometris ataupun pembebanannya yang semakin kompleks. Hal ini membuat analisis rangka batang mendapat perhatian dari banyak desainer dan konsultan. Struktur rangka batang harus dirancang sedemikian rupa sehingga memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup untuk memenuhi kekuatan dan batas pelayanannya. Untuk mencapai peryaratan yang ada maka perlu dilakukan analisis yang tepat dan akurat untuk menyelidiki reaksi dan gaya yang bekerja dalam setiap elemen rangka batang.

Struktur rangka batang pada umumnya dihitung dengan menggunakan metode ritter (potongan). Pada metode ini luas penampang pada setiap elemen dianggap sama dengan elemen lain. Hal ini membuat perlu dilakukan pengontrolan kembali terhadap struktur rangka batang tersebut apabila luas penampang disetiap elemen berbeda-beda. Adapun metode yang digunakan adalah metode kekakuan yang memiliki tingkat akurasi yang baik karna dapat dibantu dengan program-program komputer dalam proses analisisnya. Dengan metode kekakuan, analisis matriks yang kompleks dapat dilakukan dengan mudah cepat jika menggunakan bantuan komputer.

1.2 Maksud dan Tujuan

1. maksud

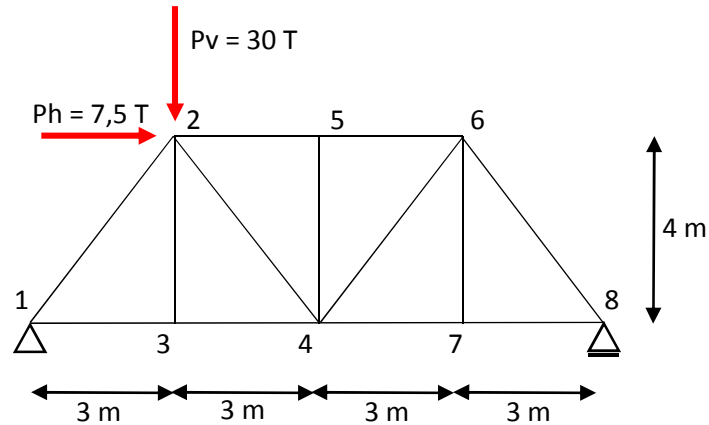
maksud dari tugas akhir ini adalah untuk menghitung deformasi elemen rangka batang dengan metode kekakuan yang dibantu dengan *microsoft excel* serta dibandingkan dengan program komputer.

2. Tujuan

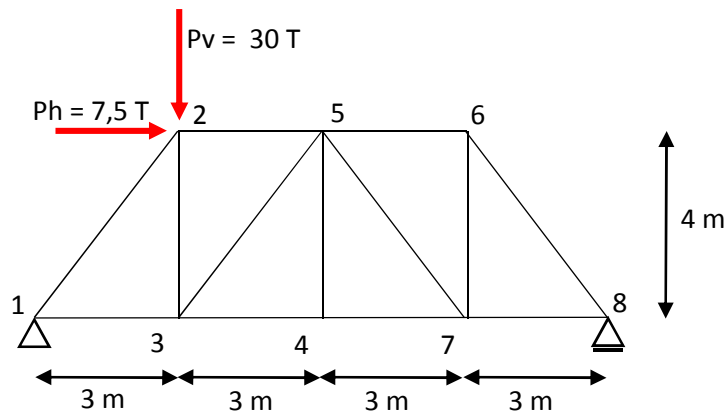
Tujuan dari tugas akhir ini membandingkan deformasi yang terjadi pada dua bentuk struktur rangka batang dengan variasi letak beban.

1.3 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas penulis merumuskan masalah dalam tugas akhir ini adalah menganalisis seberapa besar deformasi yang terjadi pada kedua bentuk struktur rangka batang serta membandingkan pengaruh perletakan beban pada titik yang berbeda terhadap deformasi struktur rangka batang, dseperti terlihat pada gambar 1.1 sampai gambar 1.2 dibawah.



Gambar 1.1 Rangka batang bentuk *pratt*



Gambar 1.2 Rangka batang bentuk *howe*

1.4 Batasan masalah

Dalam analisa ini penulis membatasi permasalahan untuk penyederhanaan untuk sehingga tujuan dari penulisan tugas akhir ini dapat dicapai, adapun pembatasan masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan pada 2 bentuk struktur rangka bidang (*plane truss*) bentuk pratt dan howe .
2. Tidak menggunakan tumpuan jepit.
3. Beban yang digunakan adalah beban yang sama dengan beban Ph tetap pada titik 2 dan beban Pv berganti-ganti tempat, yaitu dititik 2, titik 3, titik 4 dan titik 5
4. Variabel yang tetap:
 - Profil baja —|— 100.100.10
 - Mutu baja (Bj.41)
 - Modulus Elastisitas ($E_s = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$)
 - Tinggi ($h = 4\text{m}$)
 - Panjang batang ($\lambda = 3\text{m}$)
 - Beban horizontal ($Ph = 7,5 \text{ Ton}$)
 - Beban vertikal ($Pv = 30 \text{ Ton}$)

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Struktur Rangka Batang

Struktur rangka secara sederhana sama dengan jenis balok-tiang (*post-and-beam*), tetapi dengan aksial struktural yang berbeda karena adanya titik hubung kaku antar elemen vertikal dan elemen horizontalnya. Kekakuan titik hubung ini member kestabilan terhadap gaya lateral. Pada sistem rangka ini, balok maupun kolom akan melentur sebagai akibat adanya aksi beban pada stuktur. Pada stuktur rangka panjang setiap elemen terbatas, sehingga biasanya akan dibuat dengan pola berulang (Dian Ariestadi, 2008).

Rangka batang (*trusses*) adalah struktur yang dibuat dengan menyusun elemen linear berbentuk batang-batang yang relatif pendek dan lurus menjadi pola-pola segitiga. Rangka batang yang terdiri atas elemen-elemen diskrit akan melendut secara keseluruhan apabila mengalami pembebanan seperti halnya balok yang terbebani transversal. Setiap elemen batangnya tidak melentur tetapi hanya akan mengalami gaya tarik atau tekan saja (Dian Ariestadi, 2008).

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 pada batangnya (Daniel L. Schodek, 1999).

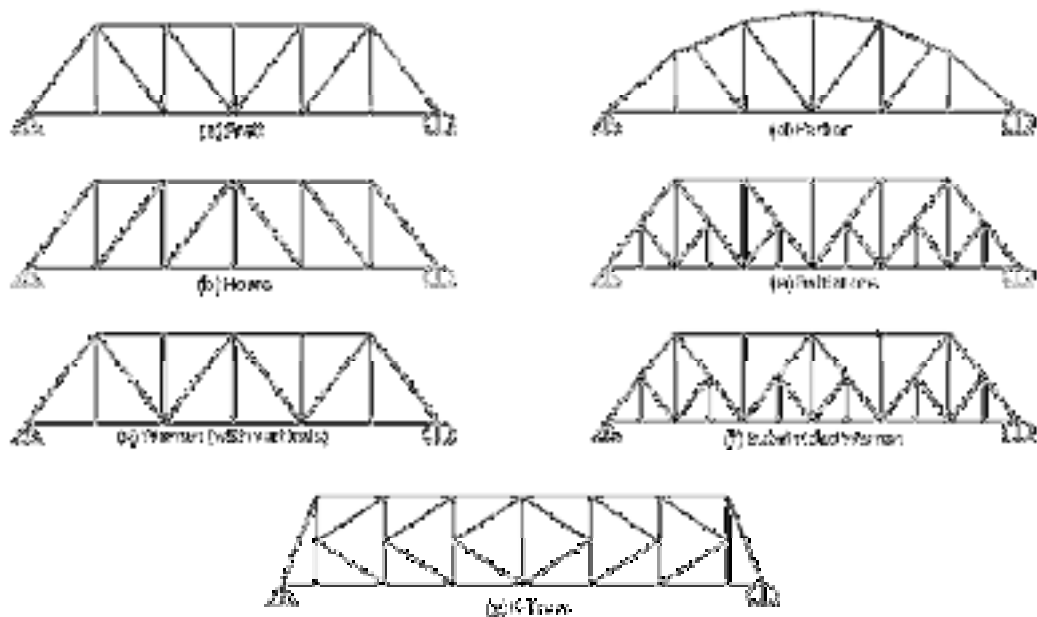
Sistem struktur rangka batang merupakan suatu sistem stuktur yang terdiri dari batang-batang lurus yang dirangkai menjadi suatu bentuk berupa segitiga (Agus Setiawan, 2015)

Dari pendapat ahli diatas dapat disimpulkan bahwa rangka batang merupakan struktur yang terbentuk dari batang-batang linear yang dirangkai membentuk pola-pola segitiga hingga manjadi bentuk stabil.

Pada tahun 1518-1580, seorang arsitek bernama Andrea Palladio yang berasal dari Italia, memberikan gambaran mengenai struktur rangka batang dengan rangkaian pola segitiga yang benar dan menunjukkan bahwa ia memiliki pengetahuan tentang potensi dan cara stuktur tersebut memikul beban. Setelah itu, rangka batang mulai digunakan pada konstruksi besar, misalnya gedung-gedung

bangunan. Akan tetapi, hal ini tidak memberikan pengaruh apapun pada inovasi struktur. Para ahli jembatan pada abad ke sembilan belaslah yang mulai secara sistematis mempelajari dan bereksperimen dengan potensi rangka batang, hal ini dilakukan karena meningkatnya kebutuhan transportasi pada saat itu. Dengan demikian perkembangan rangka batang dibantu oleh dasar pengetahuan teoritis yang bersifat percobaan tetapi dapat berkembang dengan cepat. Berkembangnya rangka batang sebagai suatu bentuk struktural utama berlangsung sangat cepat dan memberikan pengaruh yang sangat berarti.

Beberapa bentuk khas suatu stuktur rangka batang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dari suatu bentuk rangka batang sederhana dapat digabungkan menjadi suatu stuktur rangka batang yang baru, dengan menambahkan satu atau dua buah batang untuk menjamin stabilitas dari sistem struktur yang baru (Agus Setiawan, 2015).

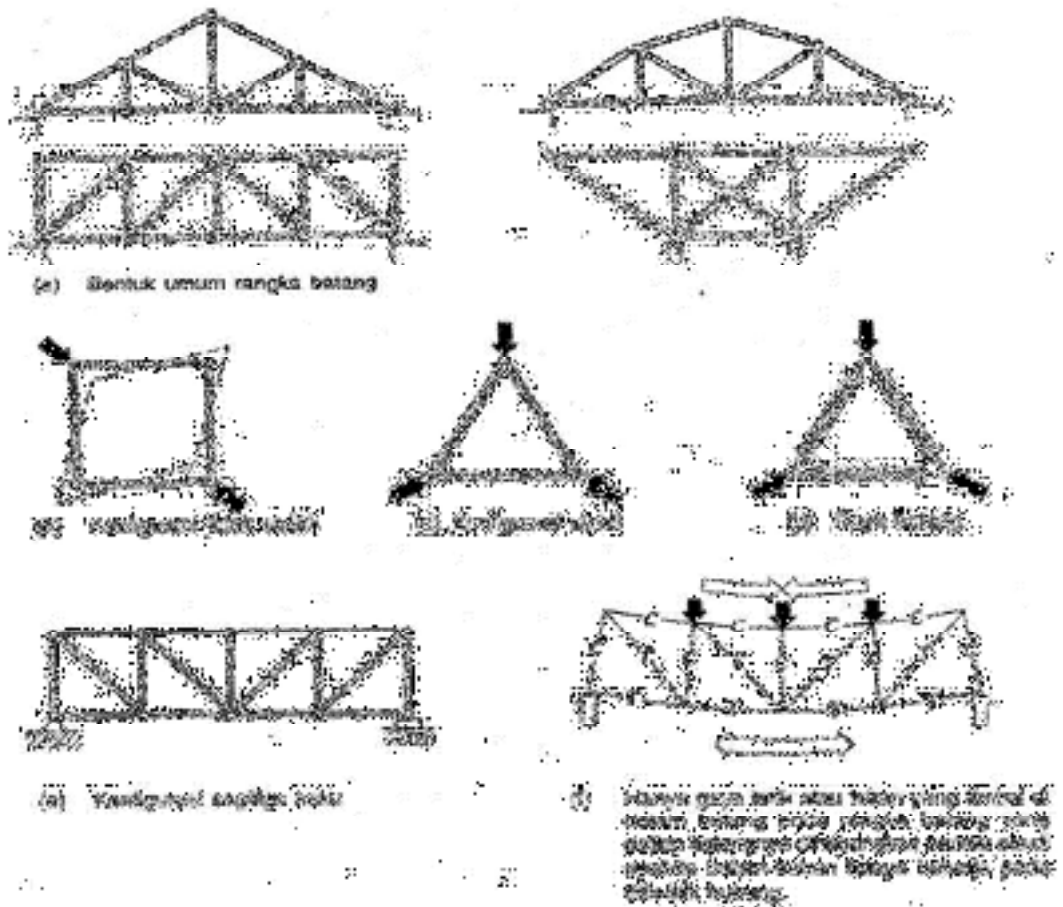


Gambar 2.1 Jenis-Jenis Struktur Rangka Batang
(Sumber: Hibbeller,2002)

2.2 Prinsip – Prinsip Umum Rangka Batang

2.2.1 Prinsip Dasar Pembentukan Segitiga

Pada gambar 2.2 menunjukkan prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil (Daniel L. Schodek, 1999).



Gambar 2.2 Rangka batang dan prinsip-prinsip dasar triangulasi
(sumber: Schodek,1999)

Pada struktur stabil, sudut yang terbentuk antara dua batang tidak akan berubah apabila dibebani. Hal ini berbeda dengan mekanisme yang terjadi pada bentuk struktur yang tidak stabil, dimana sudut antara dua batangnya akan berubah sangat besar apabila dibebani.

Bila susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk stabil, maka sembarang susunan segitiga juga membentuk struktur stabil dan kokoh. Bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga-segitiga itu. Pada struktur stabil, gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya tarik dan tekan. (Daniel L. Schodek, 1998)

Efek beban eksternal menyebabkan keadaan tarik atau tekan pada setiap batang. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan dan pada tepi bawah timbul gaya tarik. Gaya tarik atau tekan ini dapat timbul pada setiap batang, dan mungkin saja terjadi pola yang berganti-ganti antara tarik dan tekan. Rangka batang hanya dibebani dengan beban-beban terpusat yang bekerja pada titik-titik hubung agar batang-batanganya mengalami gaya tarik atau tekan. Apabila beban bekerja langsung pada batang, maka akan timbul pula tegangan lentur pada batang tersebut, selain juga tegangan tarik atau tekan. Hal ini berakibat desain batang menjadi rumit dan efisiensi menyeluruh pada rangka batang berkurang.

2.2.2 Analisa Rangka Batang

2.2.2.1 Stabilitas

Tahap awal 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. Pola susunan batang yang tidak segitiga, umumnya kurang stabil yang akan runtuh apabila dibebani, karena rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang yang mencukupi untuk mempertahankan hubungan geometri yang tetap antara titik-titik hubungannya.

Pada suatu rangka batang, kita dapat menggunakan batang melebihi jumlah minimum yang diperlukan untuk kestabilan. Penting untuk mengetahui apakah konfigurasi batang stabil atau tidak stabil. Keruntuhan akan terjadi apabila struktur tak stabil dibebani. Persyaratan yang harus dipenuhi untuk kestabilan rangka batang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n = 2J - R$$

Dimana: J = Jumlah simpul

n = Jumlah batang

R = Jumlah komponen reaksi, R_{av} , R_{ah} , R_{bv} ,

Sebelumnya telah dikatakan bahwa struktur rangka batang pada umumnya memiliki tumpuan berupa sendi dan rol. Tumpuan rol hanya memberikan reaksi arah vertikal, sehingga dapat terjadi perpindahan dalam arah horizontal. Tumpuan

sendi mampu memberikan reaksi dalam arah horizontal dan vertikal. Sehingga terdapat 3 komponen reaksi dukungan. Berdasarkan hal tersebut, kestabilan rangka batang dapat ditulis :

$$n = 2 J - 3$$

2.2.2.2 Gaya Batang

Prinsip dasar dalam menganalisis gaya batang adalah bahwa setiap struktur atau setiap bagian dari setiap struktur harus berada dalam kondisi seimbang. Gaya-gaya batang yang bekerja pada titik hubung rangka batang pada semua bagian struktur harus berada dalam keseimbangan. Prinsip ini merupakan kunci utama dari analisis rangka batang. (Dian Ariestadi, 2008)

2.2.2.3 Metode Analisis Rangka Batang

Untuk menyelesaikan perhitungan konstruksi rangka batang, umumnya dapat diselesaikan dengan beberapa metode sebagai berikut:

a. Cara Grafis

- Metode cremona

Metode cremona adalah metode grafis dimana dalam penyelesaiannya menggunakan alat tulis dan penggaris siku (segitiga). Luigi Cremona (Italia) adalah orang yang pertama menguraikan diagram cremona tersebut. Pada metode ini, skala gambar sangat berpengaruh terhadap besarnya kekuatan batang karena kalau gambarnya terlalu kecil akan sulit pengamatannya.

b. Cara Analitis

- Metode keseimbangan titik buhul

Pada analisis rangka batang dengan metode titik hubung (joint), rangka batang dianggap sebagai gabungan batang dan titik hubung. Gaya batang diperoleh dengan meninjau keseimbangan titik-titik hubung. Setiap titik hubung harus berada dalam keseimbangan, sehingga untuk menghitung gaya-gaya yang belum diketahui digunakan $\Sigma H = 0$ dan $\Sigma V = 0$.

- Metode keseimbangan potongan (ritter)

Metode keseimbangan potongan (ritter) adalah metode yang mencari gaya batang dengan potongan atau irisan analitis. Metode ini umumnya hanya memotong tiga batang mengingat hanya ada tiga persamaan statika saja, yaitu: $\Sigma M = 0$, $\Sigma H = 0$, dan $\Sigma V = 0$. Perbedaan metode ritter dengan

metode keseimbangan titik buhul adalah dalam peninjauan keseimbangan rotasionalnya. Metode keseimbangan titik buhul, biasanya digunakan apabila ingin mengetahui semua gaya batang. Sedangkan metode potongan biasanya digunakan apabila ingin mengetahui hanya sejumlah terbatas gaya batang (Dian Ariestadi, 2008).

- **Gaya Geser dan Momen pada Rangka Batang**

Metode ini merupakan cara khusus untuk meninjau bagaimana rangka batang memikul beban yang melibatkan gaya dan momen eksternal, serta gaya dan momen tahanan internal pada rangka batang. Agar keseimbangan vertikal potongan struktur dapat dijamin, maka gaya geser eksternal harus diimbangi dengan gaya geser tahanan total atau gaya geser tahanan internal (VR), yang besarnya sama tapi arahnya berlawanan dengan gaya geser eksternal. Efek rotasional total dari gaya internal tersebut juga harus diimbangi dengan momen tahanan internal (MR) yang besarnya sama dan berlawanan arah dengan momen lentur eksternal. Sehingga memenuhi syarat keseimbangan, dimana :

$$M_E = M_R \quad \text{atau} \quad M_E - M_R = 0$$

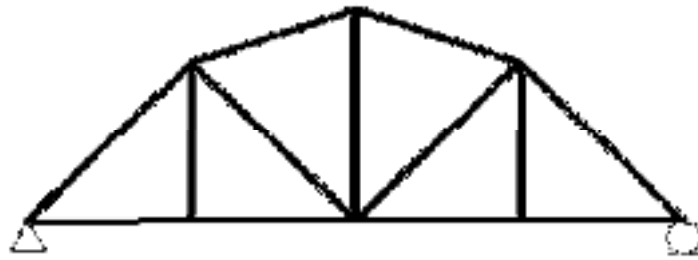
Akan tetapi, metode matriks kekakuan mulai sering digunakan dalam analisa perhitungan struktur rangka batang, karena metode ini memiliki ketelitian yang tinggi.

2.3 Pemodelan Struktur Rangka Batang

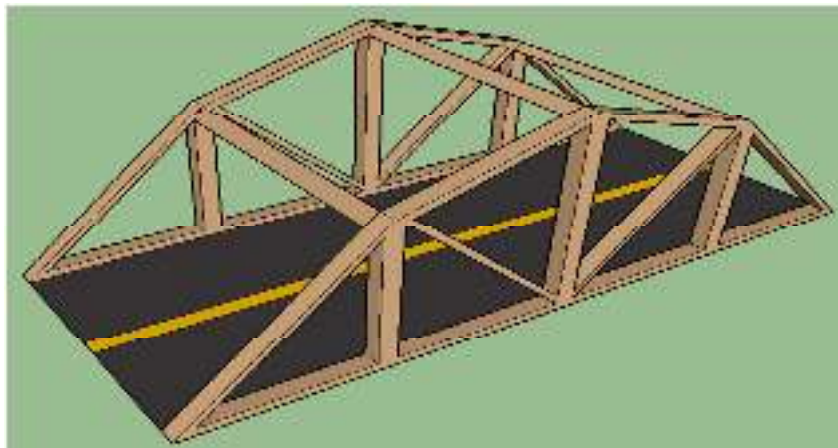
Secara umum dalam analisis struktur rangka batang dikenal beberapa tipe struktur sebagai berikut:

- a. Rangka bidang (*plane truss*) ;
- b. Rangka ruang (*space truss*);
- c. Portal bidang (*plane frame*)
- d. Portal ruang (*space frame*);
- e. Balok silang (*grid*);

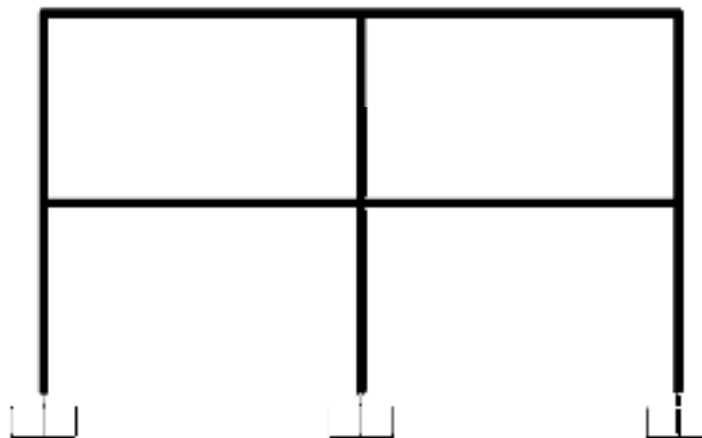
Seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 -2.7 di bawah.



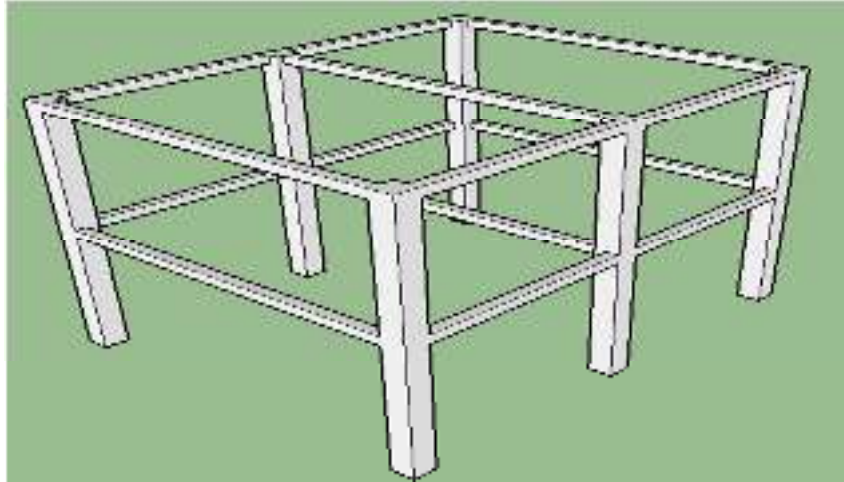
Gambar 2.3 struktur rangka bidang (*plane truss*)



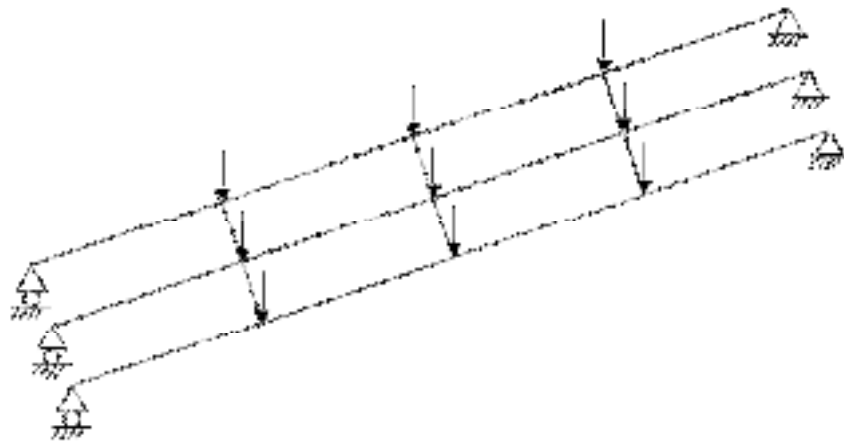
Gambar 2.4 struktur rangka ruang (*space truss*)



Gambar 2.5 struktur portal bidang (*plane frame*)



Gambar 2.6 Struktur portal ruang (*space frame*)



Gambar 2.7 Struktur balok silang (*grid*)

2.4 Metode matriks kekauan

Metode kekauan (yang dikenal juga sebagai metode perpindahan) adalah metode yang dipakai dalam analisa struktur dengan matriks. Kelebihan dari metode ini adalah mudah diprogram pada komputer. Perkembangan yang pesat dalam bidang komputer menyebabkan analisis struktur yang mengacu pada metode matriks kekakuan menjadi populer dan dapat dilakukan menggunakan bantuan komputer. Hal ini dikarenakan langkah- langkah analisis pada metode matriks kekakuan sangat sistematis dan terpola sehingga mudah diprogram komputer. Dengan metode matriks kekakuan, analisis struktur yang kompleks dapat dilakukan dengan mudah dan cepat jika menggunakan bantuan komputer.

Dalam metode matriks kekakuan, beberapa hal perlu diketahui sebelum analisis struktur dilakukan. Sifat-sifat bahan yang menyatakan hubungan antara tegangan dan deformasi perlu diketahui. Apabila bahan bersifat elastik maka hukum hooke dapat digunakan. Hubungan antara tegangan dan deformasi ini umumnya dinyatakan dalam arah sumbu batang, yang biasa dikenal sebagai sumbu loka. Dalam metode matriks kekakuan hubungan ini dinyatakan pada titik-titik pada ujung batang yang ditinjau. Hubungan antara tegangan atau gaya internal batang dengan deformasi menunjukkan kekakuan suatu batang tertentu.

Prinsip lain yang harus diperhatikan adalah prinsip kesepadanan (*compability*). Batang – batang dihubungkan dengan suatu titik simpul untuk membentuk struktur secara keseluruhan. Orientasi batang pada suatu struktur dapat sembarang (batang dapat merupakan batang – batang horizontal , vertikal atau membentuk suatu sudut kemiringan tertentu). Orientasi batang pada struktur dapat sembarang; artinya batang dapat merupakan batang horizontal, vertikal atau membentuk suatu sudut kemiringan tertentu.

Deformasi atau perpindahan ujung – ujung batang yang bertemu pada suatu titik simpul tertentu harus sepadan (*compatible*) dengan perpindahan pada titik simpul tersebut. Perpindahan titik – titik simpul suatu struktur biasanya diukur pada sumbu Certasius sebagai koordinat global struktur. Untuk memenuhi prinsip kesepadanan maka diperlukan suatu transformasi dari sumbu lokal batang kesumbu global struktur, agar semua pengukuran perpindahan gaya dilakukan pada suatu sistem koordinat tertentu.

Apabila batang – batang digabungkan pada struktur yang stabil, keseimbangan antara beban luar dan perpindahan yang terjadi terpenuhi. Oleh pengaruh beban luar yang bekerja pada titik – titik simpul, dapat dihitung perpindahan titik simpul tersebut. Besarnya perpindahan titik simpul yang terjadi tergantung dari kekakuan struktur tersebut. Semakin kaku suatu struktur semakin kecil perpindahan yang terjadi. Selanjutnya dari hubungan kesepadanan, dapat dihitung deformasi pada setiap batang yang pada akhirnya dengan hubungan gaya internal dan deformasi, gaya – gaya batang dapat diperoleh.

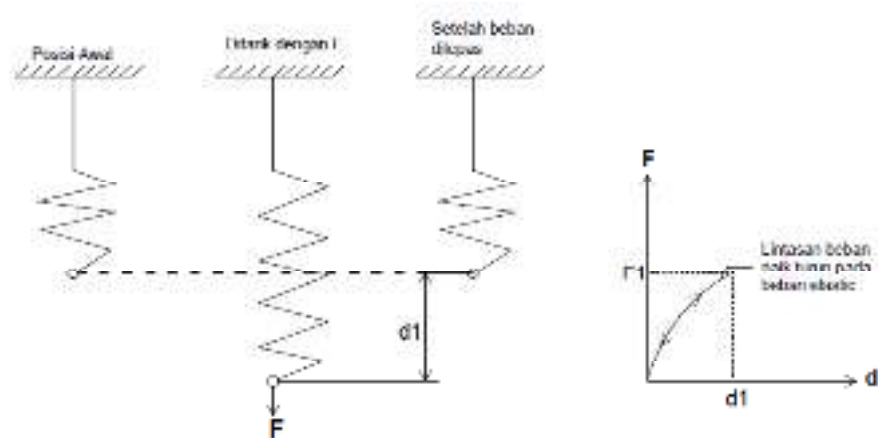
Mengingat langkah -langkah hitungan dalam metode kekakuan, metode matriks kekakuan sering disebut metode perpindahan, karena pertama kali

dihitung adalah perpindahan. Setelah perpindahan diperoleh gaya – gaya batang dihitung (Yoyong Arfiadi, 2011).

2.4.1 Sifat – Sifat Bahan

2.4.1.1 Bahan Yang Bersifat Elastic Dan Inelastic

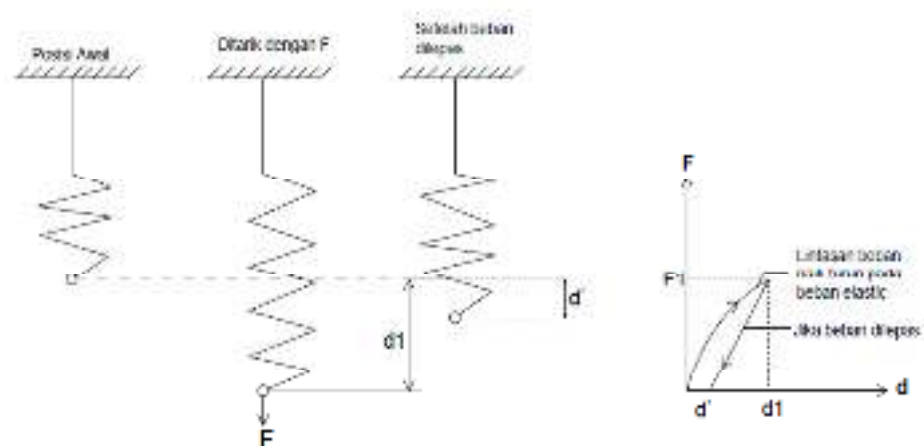
Perilaku bahan yang bersifat elastic ditunjukkan pada gambar 2.8, dimana hubungan beban dan perpindahan mempunyai lintasan yang sama baik pada saat dibebani maupun pada saat beban dilepas serta selalu kembali ke posisi semula.



Gambar 2.8 Bahan elastik

(sumber: Yoyong,2001)

Pada bahan inelastik, jika beban dilepas maka bahan tersebut tidak kembali ke posisi semula, tetapi masih terdapat deformasi tertentu seperti ditunjukkan pada gambar 2.9

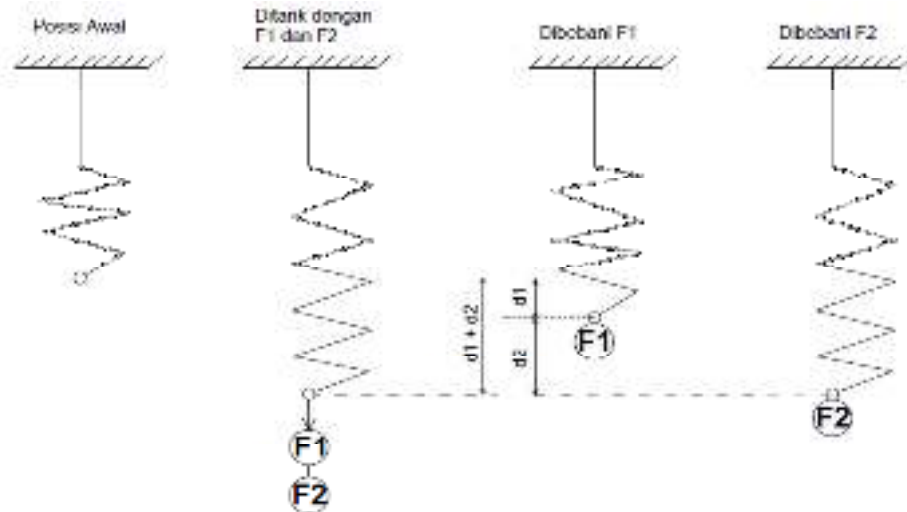


Gambar 2.9 Bahan inelastik

(sumber: Yoyong,2001)

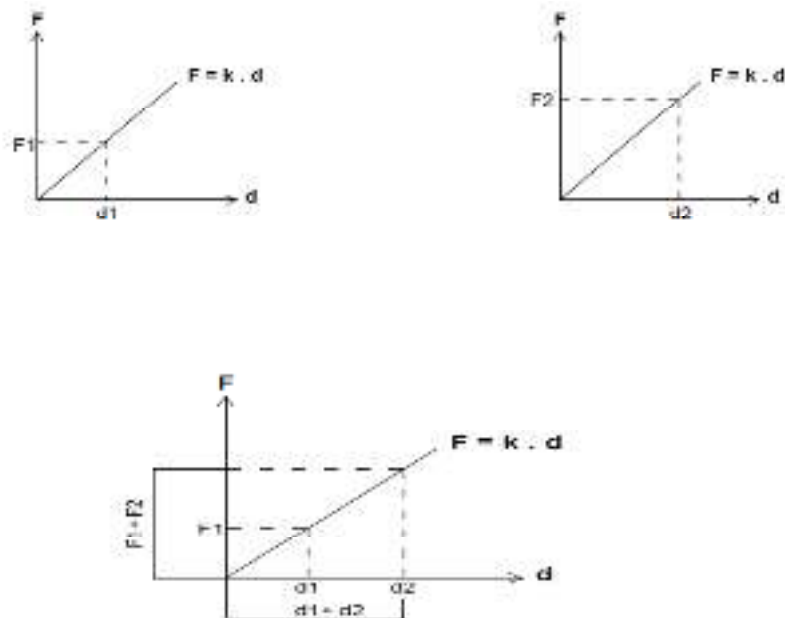
2.4.1.2 Bahan Yang Bersifat Linier Dan Nonlinier

Suatu bahan dapat bersifat linier dan nonlinier. Pada bahan linier berlaku prinsip superposisi, sedangkan pada bahan nonlinier tidak. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.10 dan gambar 2.11 untuk bahan linier serta gambar 2.12 dan gambar 2.13 untuk bahan nonlinier.



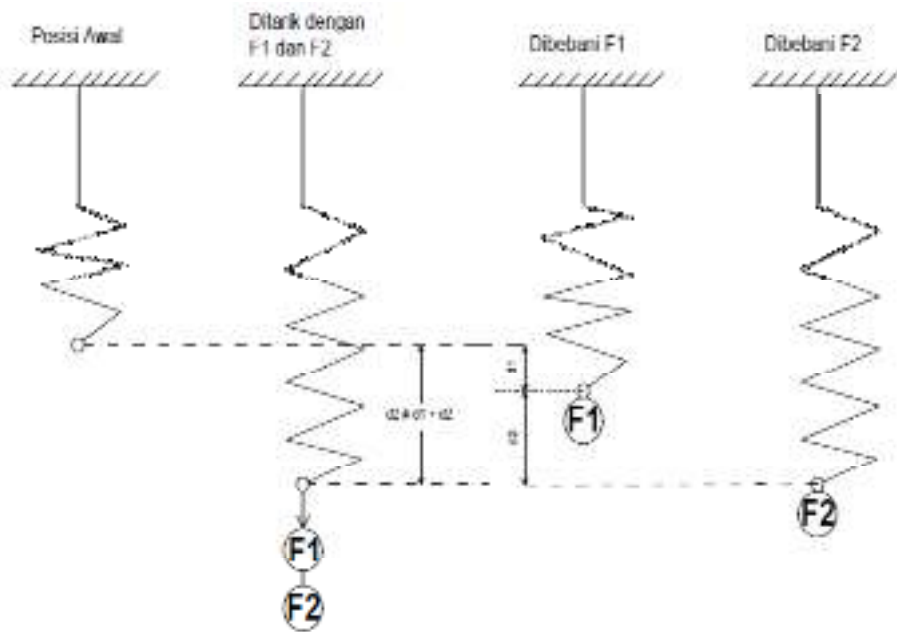
Gambar 2.10 perilaku pegas (bahan) linier

(sumber: Yoyong,2001)

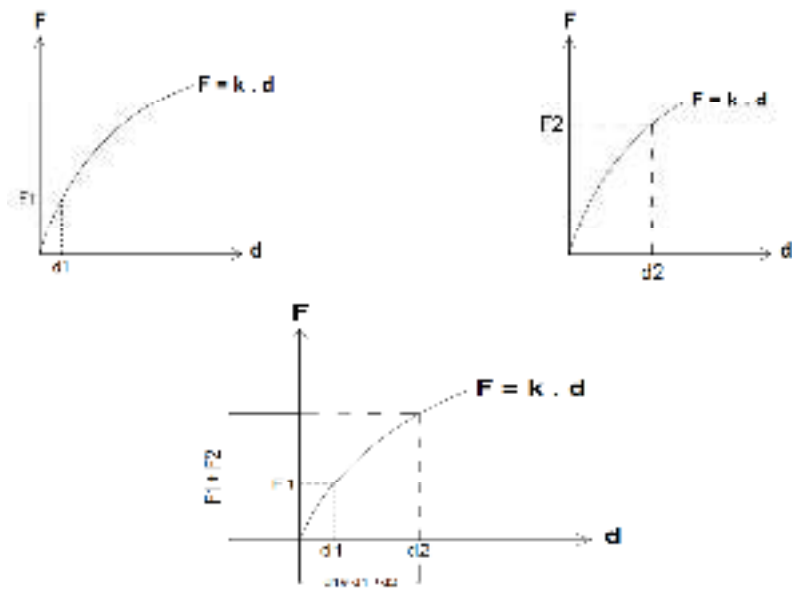


Gambar 2.11 hubungan beban dan perpindahan bahan linier (berlaku prinsip superposisi)

(sumber: Yoyong,2001)



Gambar 2.12 Perilaku pegas (bahan) nonlinier
(sumber: Yoyong,2001)



Gambar 2.13 hubungan beban dan perpindahan bahan nonlinier (tidak berlaku superposisi)
(sumber: Yoyong,2001)

Pada bahan linier hubungan antara beban (F) dan perpindahan (d) mengikuti garis lurus, sehingga berlaku :

$$F = k \cdot d \quad (2.1)$$

Jika pada gambar 2.12 mempunyai kekakuan yang tinggi, maka diperlukan gaya yang besar untuk memberikan perpindahan yang besar. Untuk gaya yang konstan, maka perpindahan akan semakin kecil jika kekakuan pegas semakin besar.

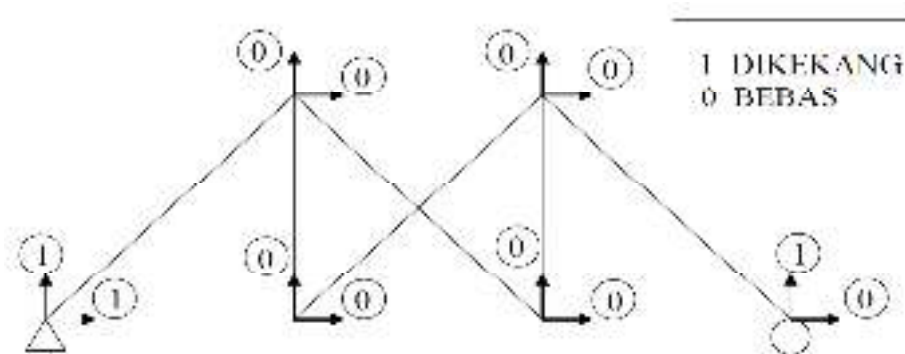
Pada bahan nonlinier, hubungan antara gaya (F) dan perpindahan (d) mengikuti suatu garis nonlinier. Dalam hal ini berlaku :

$$F = k \cdot d^n \quad (2.2)$$

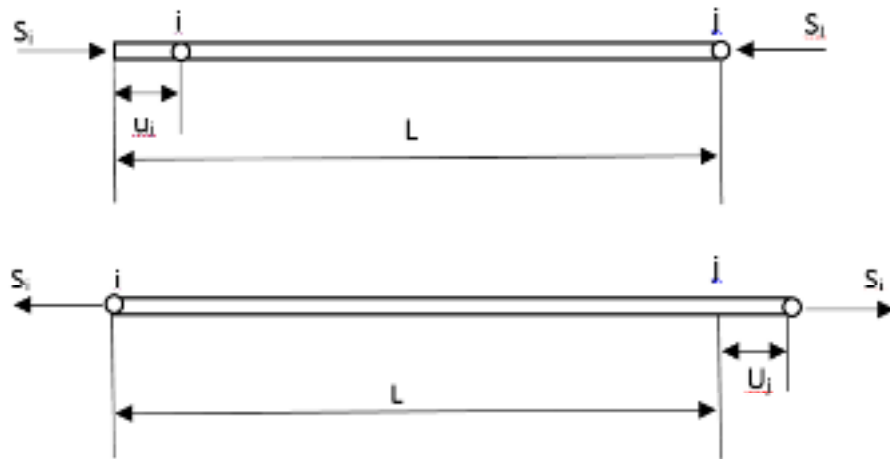
Dengan nilai n mengikuti fungsi polinomial tertentu tergantung sifat bahannya.

2.4.2 Matriks kekakuan batang

Karena dalam analisis didasarkan pada jumlah derajat kebebasan, maka tidak dibedakan apakah strukturnya merupakan struktur statik tertentu atau struktur statik tak tertentu. Jumlah besaran yang dihitung dalam hal ini tergantung dari jumlah derajat kebebasannya, yaitu jumlah perpindahan titik kumpul yang ada dalam struktur yang tidak tergantung dengan perpindahan titik kumpul yang lain. Untuk struktur rangka bidang, setiap titik kumpul yang bebas mempunyai dua derajat kebebasan, kecuali pada tumpuannya. Apabila suatu struktur rangka bidang mempunyai N buah titik kumpul yang bebas, sedang titik kumpul yang lain merupakan tumpuan sendi, maka jumlah derajat kebebasan (KD) adalah 2N (Yoyong Arfiadi, 2011).



Gambar 2.14 Derajat kebebasan pada struktur rangka bidang



Gambar 2.15 Hubungan antara deformasi dan gaya batang
(sumber: Yoyong,2001)

Berdasarkan hubungan antara deformasi dan gaya batang di atas diperoleh persamaan yang menggambarkan hubungan antara gaya batang dan deformasi yang terjadi pada sumbu batang atau dikenal dengan koordinat lokal.

$$\begin{Bmatrix} S_i \\ S_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L} \\ -\frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

Dapat disederhanakan menjadi

$$\{S\} = [k] \{u\} \quad (2.4)$$

Jika nilai-nilai perpindahan diambil sama dengan 1, gaya batang menjadi sama dengan kekakuan batangnya. Mengingat hal ini, kekakuan batang dapat didefinisikan sebagai gaya batang yang disebabkan oleh satu satuan perpindahan.

$$[k] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Mengingat pada struktur rangka batang terdapat 2 derajat kebebasan untuk setiap titik kumpul, yang diukur pada suatu salib sumbu struktur yang lebih global maka persamaan di atas dapat dimodifikasi dengan menambahkan pengaruh perpindahan dalam arah tegak lurus batang. Dapat dilihat bahwa sebenarnya perpindahan dalam arah tegak lurus batang ini tidak berpengaruh pada gaya internal batang. seperti terlihat pada gambar 2.15. gaya internal dalam arah tegak lurus batang sebenarnya tidak ada (Yoyong Arfiadi, 2011).

Berdasarkan gambar 2.16 diperoleh persamaan yang menggambarkan hubungan antara gaya batang dan deformasi, setiap titik 2 buah komponen deformasi.

$$\begin{Bmatrix} S_{xi} \\ S_{yi} \\ S_{xj} \\ S_{yj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{xi} \\ u_{yi} \\ u_{xj} \\ u_{yj} \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

Dari persamaan (2.6) matriks kekakuan batang (dalam koordinat lokal) adalah

$$[k] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$



a. Deformasi



b. Gaya internal

Gambar 2.16 hubungan antara gaya batang dan deformasi, setiap titik 2 buah komponen deformasi

(sumber: Yoyong,2001)

2.5 Transformasi Perpindahan

Hubungan kesepadanan antara deformasi internal pada koordinat local (batang) dan perpindahan pada suatu koordinat global dapat dilihat pada gambar 2.17 .

Pada ujung -i terdapat hubungan :

$$u_{xi} = U_{xi} \cos \alpha + U_{yi} \sin \alpha$$

$$u_{yi} = -U_{xi} \sin \alpha + U_{yi} \cos \alpha$$

Dengan cara yang sama pada ujung -j akan diperoleh:

$$u_{xj} = U_{xj} \cos \alpha + U_{yj} \sin \alpha$$

$$u_{yj} = -U_{xj} \sin \alpha + U_{yj} \cos \alpha$$

Apabila hubungan tersebut ditulis dalam bentuk matriks diperoleh:

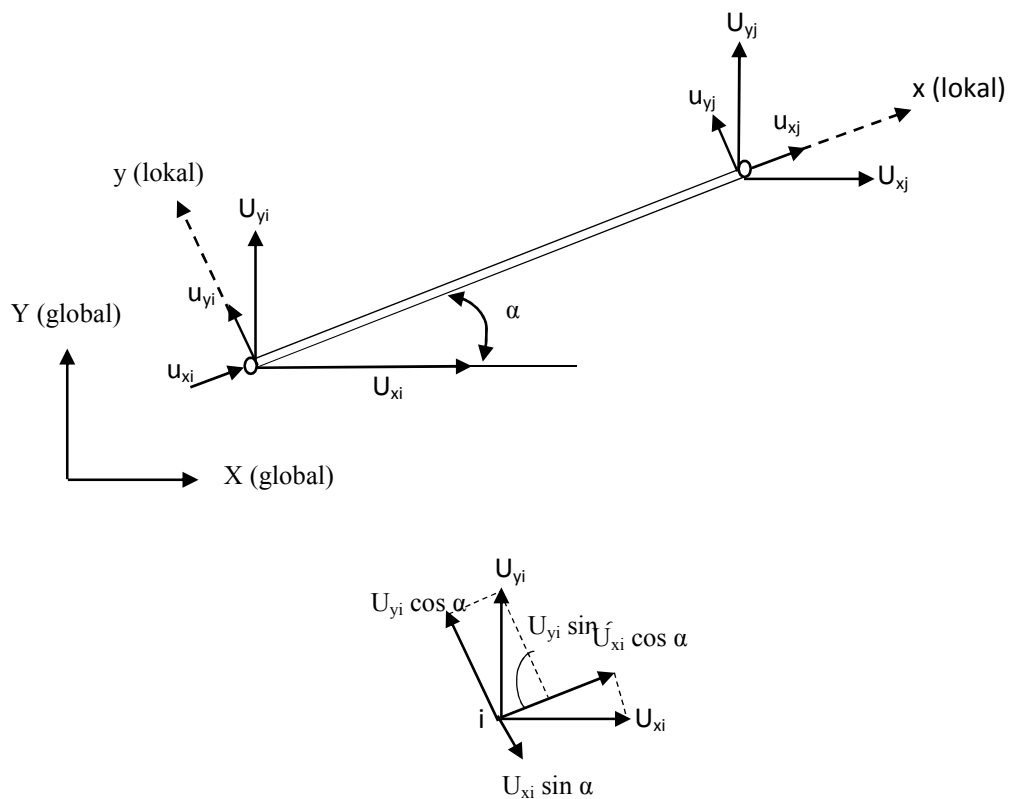
$$\begin{Bmatrix} u_{xi} \\ u_{yi} \\ u_{xj} \\ u_{yj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{xi} \\ U_{yi} \\ U_{xj} \\ U_{yj} \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

Ditulis dalam bentuk sederhana

$$\{u\} = [T] \{U\} \quad (2.9)$$

Matriks transformasi [T] dapat ditulis sebagai

$$[T] = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & s \\ 0 & 0 & -s & c \end{bmatrix} \quad (2.10)$$



Gambar 2.17 Transformasi perpindahan

Dengan

$$c = \cos \alpha = \frac{x_J - x_I}{L}$$

$$s = \sin \alpha = \frac{y_J - y_I}{L}$$

Perlu dicatat bahwa matriks transformasi $[T]$ adalah matriks orthogonal sehingga berlaku

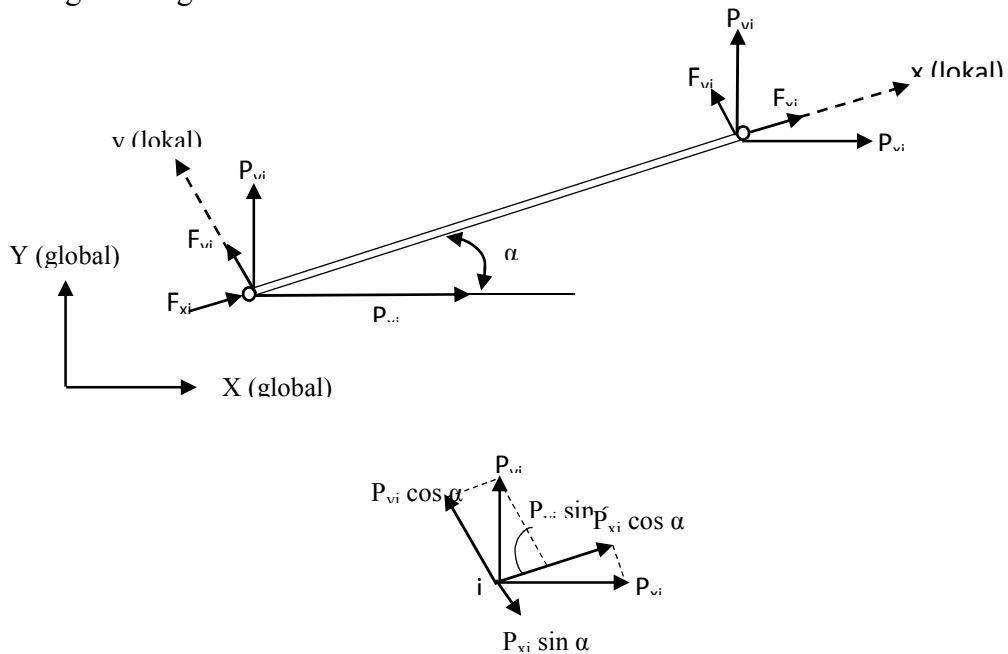
$$[T]^{-1} = [T]^T \quad (2.11)$$

Atau

$$[T]^T [T] = [I] \quad (2.12)$$

2.6 Transformasi Gaya

Hubungan antara gaya luar $\{P\}$ dalam koordinat global dan gaya batang $\{F\}$ dalam koordinat lokal dapat diperoleh dengan cara yang sama seperti pada transformasi perpindahan dengan mengacu pada gambar 2.17, dapat diperoleh hubungan sebagai berikut.



Gambar 2.18 Transformasi gaya

Pada ujung -i terdapat hubungan :

$$F_{xi} = P_{xi} \cos \alpha + P_{yi} \sin \alpha$$

$$F_{yi} = -P_{xi} \sin \alpha + P_{yi} \cos \alpha$$

Dengan cara yang sama pada ujung -j akan diperoleh:

$$F_{xj} = P_{xj} \cos \alpha + P_{yj} \sin \alpha$$

$$F_{yj} = -P_{xj} \sin \alpha + P_{yj} \cos \alpha$$

Apabila hubungan tersebut ditulis dalam bentuk matriks diperoleh:

$$\begin{Bmatrix} F_{xi} \\ F_{yi} \\ F_{xj} \\ F_{yj} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_{xi} \\ P_{yi} \\ P_{xj} \\ P_{yj} \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

Atau

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{Bmatrix} \quad (2.14)$$

Secara sederhana dapat ditulis menjadi

$$\{F\} = [T] \{P\} \quad (2.15)$$

Karena $[T]$ adalah matriks bujur sangkar, maka persamaan (2.15) dapat ditulis dalam bentuk lain sebagai berikut.

$$\{P\} = [T]^{-1} \{F\} \quad (2.16)$$

Karena matriks transformasi $[T]$ adalah matriks ortogonal dimana $[T]^{-1} = [T]^T$, maka persamaan (2.16) dapat ditulis menjadi

$$\{P\} = [T]^T \{F\} \quad (2.17)$$

2.7 Matriks kekakuan dalam sumbu koordinat lokal

Karena dalam suatu struktur, batang-batang yang bertemu dalam suatu titik kumpul, bias berorientasi sembarang, maka perlu dicari suatu cara agar pengukuran, baik itu gaya maupun perpindahan, menggunakan referensi yang sama. Dalam hal ini biasanya diambil suatu salib sumbu global tertentu dalam arah X dan Y. dengan menggunakan referensi salib sumbu global ini, maka

perpindahan dan gaya-gaya dalam dijumlahkan sesuai dengan prinsip keseimbangan.

Dengan mensubstitusi persamaan $\{F\} = [k] \{u\}$, pada $\{P\} = [T]^T \{F\}$, diperoleh

$$\{P\} = [T]^T \{F\}$$

$$\{P\} = [T]^T [k] \{u\}$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan persamaan 2.7, $\{u\} = [T] \{U\}$, diperoleh

$$\{P\} = [T]^T [k] [T] \{U\} \quad (2.18)$$

Persamaan 2.16 merupakan hubungan antara gaya dalam koordinat global $\{P\}$ dan perpindahan dalam koordinat global $\{U\}$, persamaan 2.18 dapat disederhanakan menjadi

$$\{P\} = [K] \{U\} \quad (2.19)$$

Dengan

$$[K] = [T]^T [k] [T] \quad (2.20)$$

$$\{U\} = [K]^{-1} \{P\} \quad (2.21)$$

Persamaan (2.19) berlaku untuk semua batang dalam struktur dimana matriks $[K] = [T]^T [k] [T]$ dikenal dengan matriks kekakuan batang dalam koordinat global. Apabila pada matriks kekakuan dalam koordinat global, persamaan (2.20) disubstitusikan matriks transformasi $[T]$ dan matriks kekakuan batang dalam koordinat lokal $[k]$ diperoleh

$$[K] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c^2 & sc & -c^2 & -sc \\ sc & s^2 & -sc & s^2 \\ -c^2 & -sc & c^2 & sc \\ -sc & -s^2 & sc & s^2 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Metodologi penelitian merupakan suatu cara peneliti bekerja untuk memperoleh data yang dibutuhkan yang selanjutnya akan digunakan untuk dianalisa sehingga memperoleh kesimpulan yang ingin dicapai dalam penelitian. Metodologi penelitian ini bertujuan untuk mempermudah pelaksanaan dalam melakukan penelitian guna memperoleh pemecahan masalah dengan maksud dan tujuan yang telah ditetapkan secara sistematis. Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data atau studi adalah dengan studi literature. Metode ini dilakukan dengan cara membaca dan memahami buku-buku referensi, jurnal dan media lain yang berkaitan dengan pengolahan data secara umum. Untuk mengetahui efek dari beban luar terhadap struktur rangka batang, maka perlu diambil model struktur yang akan digunakan sebagai bahan kajian/analisis.

3.2 Bahan Dan Alat

1. Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Buku Literatur Metode Matriks Kekakuan
- b. Materi mengenai contoh perhitungan struktur rangka batang dengan menggunakan metode Matriks Kekakuan.
- c. Program *Microsoft Excel 2013*
- d. Program SAP 2000

2. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- * Komputer /Laptop + Mesin Print + Tinta + Kertas.

3.3 Metode analisis

Dalam pelaksanaan penelitian ini metode yang digunakan adalah metode analisis struktur rangka batang dengan metode kekakuan dan SAP 2000.

2.3.1 Analisis struktur dengan metode kekakuan

1. Pengumpulan literatur
2. Memodelkan struktur rangka batang
3. Analisa konstruksi
 - Elemen
 - Simpul
 - *Constrain*
 - *Degree of freedom* : (2 x jumlah simpul) – *Constrain*
4. Menentukan kekakuan elemen pada sumbu global
 - Menentukan panjang elemen
 - Menentukan sudut masing-masing elemen
 - Menentukan luas masing-masing elemen
 - Menentukan $\frac{EA}{L}$ pada masing-masing elemen
 - Kekakuan elemen pada sumbu global

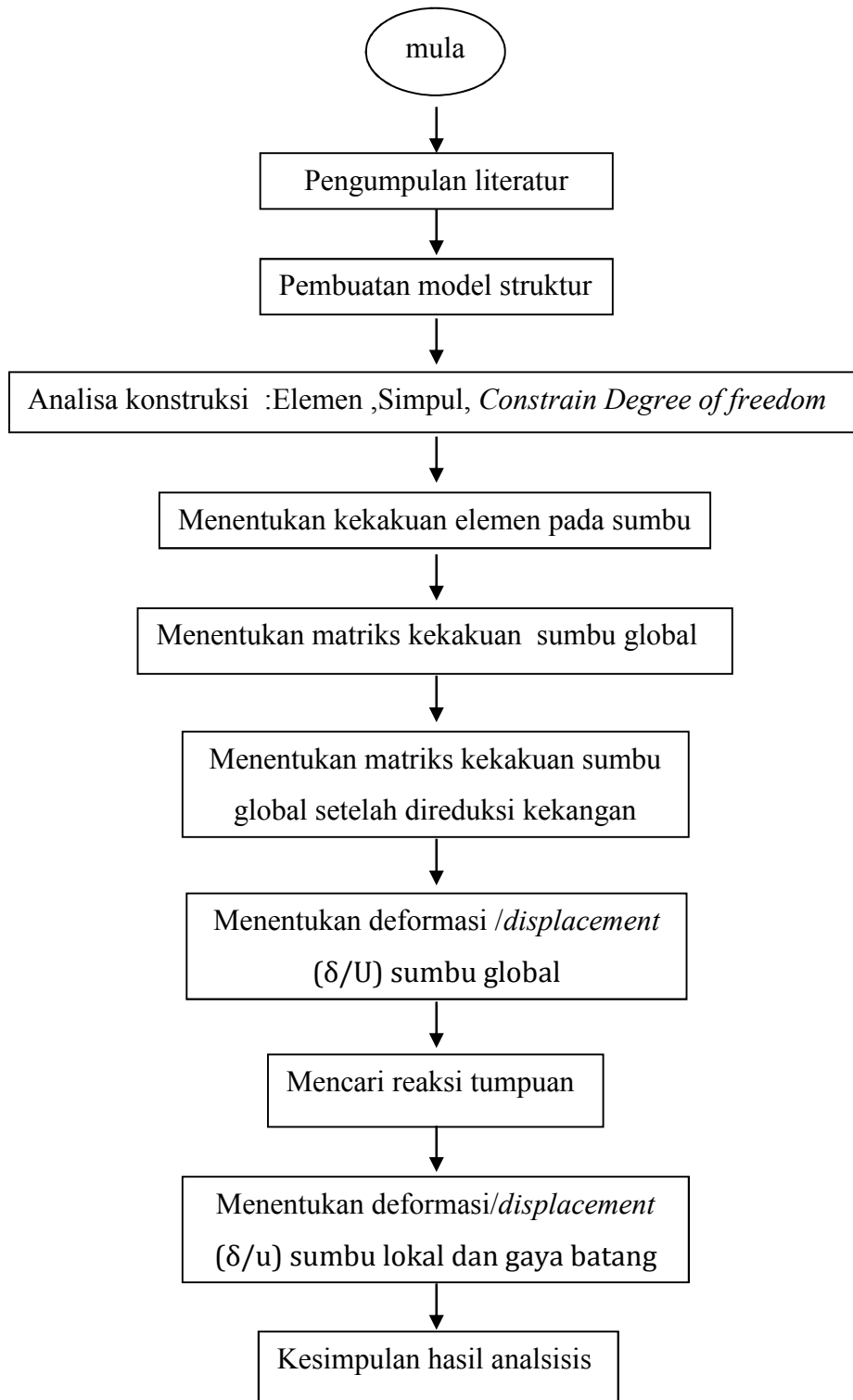
$$[K] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c^2 & sc & -c^2 & -sc \\ sc & s^2 & -sc & s^2 \\ -c^2 & -sc & c^2 & sc \\ -sc & -s^2 & sc & s^2 \end{bmatrix}$$

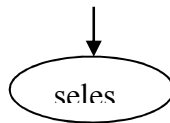
5. Menentukan matriks kekakuan sumbu global
6. Menentukan matriks kekakuan sumbu global setelah direduksi kekangan
7. Menentukan deformasi/*displacement* (δ/U) sumbu global
8. Mencari reaksi tumpuan
9. Menentukan deformasi/*displacement* (δ/u) sumbu lokal
10. Menentukan gaya batang

2.3.2 Metode Analisis Dengan Program Komputer

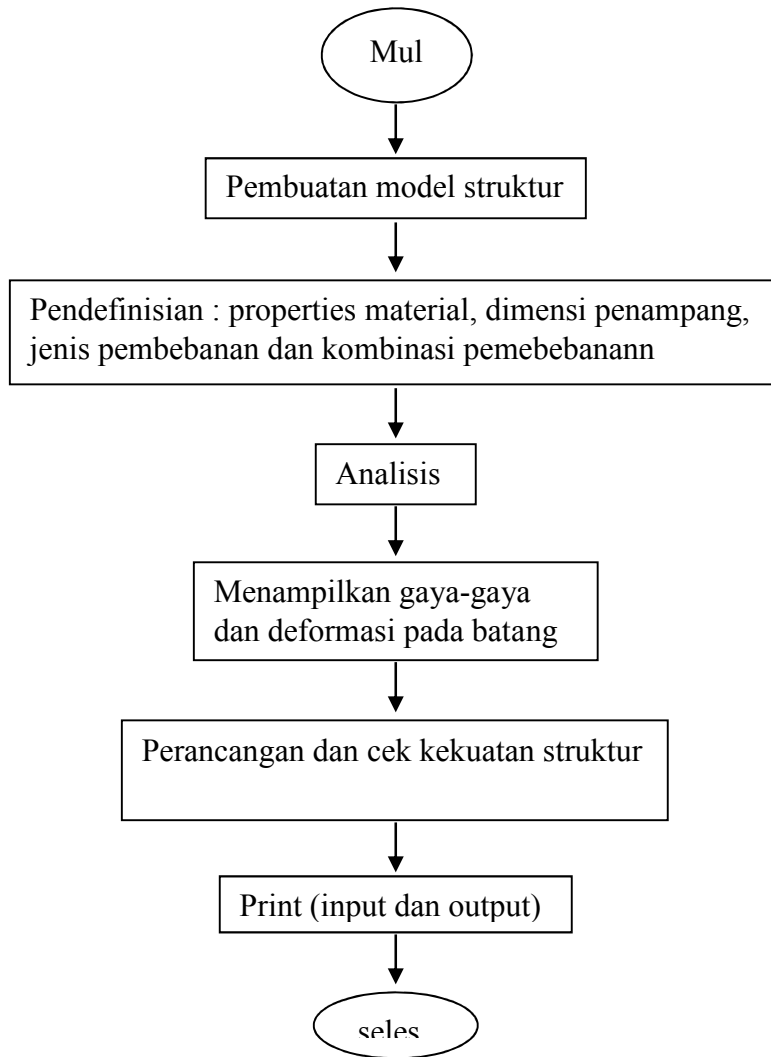
Secara garis besar, perhitungan analisis struktur rangka batang dengan program komputer akan melalui beberapa tahap, yaitu :

1. Info model
 - Dimensi elemen struktur
 - Mutu bahan
2. Input bahan
 - Menggambar model
 - Menetapkan material
 - Menetapkan penampang
 - Mengganti tipe tumpuan
 - Menetapkan beban
 - Mendefinisikan kombinasi beban
 - Menampilkan pembebanan pada struktur
3. Analisis
 - Menentukan tipe analisis struktur
 - Melakukan analisis
4. Hasil keluaran/ *output*
 - Menampilkan bentuk deformasi struktur
 - Menampilkan bentuk awal struktur
 - Menampilkan reaksi tumpuan
 - Menampilkan gaya-gaya batang
 - Menampilkan tabel *output*





Gambar 3.1 Diagram alir analisis metode kekakuan



Gambar 3.2 Diagram alir analisis program komputer

