

Parhimpunan Purba \*)

*Abstract*

*In our previous analysis of trusses, it was always assumed that the truss members are joined by ideal hinges and that loads are applied only at joints. The centroidal axes of all members are straight, coincide with the lines connecting the joint center, and lie in a plane that also contains the lines of action of all the loads and reaction. Thus the members of truss are subjected to axial force only, and these can be determined by static method. A stress analysis based on these assumptions leads to the determination of so-called "primary stresses".*

*In actual cases the joints are usually riveted or welded; and because of this fact the members undergo, not only axial forces, but also bending stresses from secondary moment, caused by this condition are called "secondary stresses". In discussing secondary stresses we shall consider only trusses in one plane and assume that this plane represents the plane of symmetry for all members and that external loads are acting in the same plane. Of these the most important are caused by the fact that the joints are rigid, and hence the members are not free to change their relative directions when the truss is deformed. This problem can likewise be solved very efficiently by means of moment distribution.*

*From the first analysis result, it was obtained the secondary tension ratio with the primary tension at the pull shaft about 19.20%. This result is significant that it will increase the existence of primary tension. At the analysis by SAP 2000 it was obtained that the end tension is much lower than the secondary tension in the first analysis. This needs to obtain attention at planning trusses.*

*Key words : primary stresses, secondary stresses, trusses, axial load, bending, moment distribution*

**Pendahuluan**

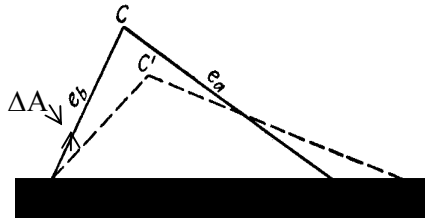
Struktur rangka adalah konstruksi yang terdiri dari susunan beberapa batang yang disambungkan atau dirangkai sedemikian rupa menjadi sederet segitiga dengan bentuk yang stabil. Analisis pada rangka batang didasarkan pada asumsi bahwa batang disambungkan pada ujungnya dengan sendi tanpa gesekan. Beban luar dan reaksi termasuk berat sendiri bekerja pada titik buhul, dan sumbu batang dalam keadaan lurus searah dengan garis sambung titik buhul. Dalam hal ini oleh beban yang ada akan timbul gaya batang berupa gaya tekan dan gaya tarik. Oleh karena itu maka batang-batang akan menerima tegangan tarik atau tekan saja, sedang gaya lintang maupun momen tidak terjadi. Tegangan yang terjadi berdasarkan asumsi di atas disebut tegangan primer (*primary stresses*). Untuk mendapatkan besaran gaya batang, ada beberapa metode yang lazim digunakan antara lain metode kesetimbangan buhul, metode potongan atau Ritter, metode grafis atau Cremona dan beberapa metode lain. Besarnya tegangan primer didapatkan dengan membagi gaya batang dengan luasampang batangnya. Akibat tegangan primer, maka panjang batang akan berubah dengan demikian sambungan atau sendinya harus bergerak sesuai dengan kedudukan yang baru. Dalam hal ini seolah-olah menyesuaikan diri dengan panjang yang baru. Gerakan dari sambungan ini harus sesuai dengan perubahan sudut antara batang. Hal ini dapat terjadi apabila batang dapat berputar sekeliling sambungan dan sambungan adalah sendi licin atau sendi sempurna.

Dalam praktek sebenarnya di lapangan, titik-titik buhul tersebut tidaklah berupa sendi sempurna. Bila sambungan pada titik buhul menggunakan alat sambung baut atau paku keling, maka sambungan akan terkunci akibat gesekan atau pengencangan baut sehingga sambungan tidak bebas berputar kecuali untuk luluhan yang terjadi akibat deformasi paku keling atau ikatan keling yang longgar dalam lubangnya. Apabila sambungan dengan memakai alat sambung las, maka sambungan akan sangat kaku yakni sudut antara batang tidak berubah sama sekali. Oleh karena keadaan batang cenderung berputar disekitar sambungan tetapi tertahan seperti pada sambungan setengah kaku dan sambungan kaku maka batang-batangnya akan melengkung sehingga akan terjadi tekuk dan momen lengkung yang disebut momen sekunder (*secondary moment*). Momen sekunder pada sambungan ini menimbulkan tegangan yang disebut tegangan sekunder (*secondary stresses*).

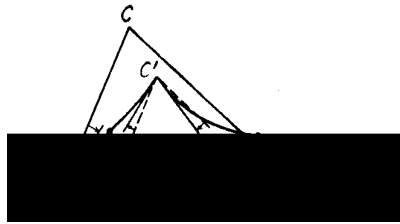
**Rangka dengan sambungan kaku****Analisis pertama atau konvensional**

Untuk membandingkan rangka dengan sambungan sendi dengan rangka kaku diperlihatkan pada gambar 1 dan 2 berikut ini. Gambar 1 adalah sambungan dengan sendi sempurna. Bila panjang batang berubah maka sambungan atau sendinya bergerak sesuai dengan kedudukan yang baru yang menyesuaikan dengan panjang yang baru. Gerakan atau defleksi dari sambungan tersebut harus sesuai dengan perubahan sudut antara batang. Dengan demikian terjadi perubahan sudut antar batang.

\*) Staf Pengajar Jurusan D III Teknik Sipil Fakultas Teknik Undip



Gambar 1. Sambungan sendi sempurna



Gambar 2. Sambungan kaku

Pada gambar 2 adalah sambungan kaku dimana titik buhul bersifat kaku oleh karena itu maka sudut antar batang tetap tidak berubah. Sambungan sebagai keseluruhan dapat berputar selama sudut antara garis singgungnya tidak berubah. Dalam hal ini maka titik buhul akan berputar sehingga batang-batang akan melentur.

Untuk menentukan besarnya tegangan sekunder pada rangka dengan sambungan kaku dilakukan sesuai prosedur berikut. Menentukan perubahan sudut antar batang (gambar 1 & 2) dengan rumus cara berat – sudut.

$$\begin{aligned} \Delta A &= (e_a - e_b) \cot C + (e_a - e_c) \cot B \\ \Delta B &= (e_b - e_c) \cot A + (e_b - e_a) \cot C \dots\dots\dots (1) \\ \Delta C &= (e_c - e_a) \cot B + (e_c - e_b) \cot A \end{aligned}$$

dengan

$\Delta A = \text{perubahan sudut A}$ $\Delta B = \text{perubahan sudut B}$ $\Delta C = \text{perubahan sudut C}$	}	akibat regangan $e_a, e_b, \& e_c$
---	---	------------------------------------

Selanjutnya dengan menetapkan sebuah batang sebagai pedoman atau referensi atau rotasi batang tersebut diambil sama dengan nol, maka rotasi relatif batang-batang yang lain terhadap batang referensi tersebut dapat dihitung yang dinyatakan dengan  $R_i$  dimana indeks  $i$  menyatakan batang. Contoh:

$$\begin{aligned} R_{BC} &= R_{AB} + \Delta B \\ R_{CA} &= R_{BC} + \Delta C \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Dengan diketahuinya  $R_i$ , maka momen jepit ujung atau “Fixed End Moment” akibat  $R_i$  pada ujung-ujung batang  $i$  dapat diperoleh, yakni (misal batang BC)

$$M_{F_{BC}} = M_{F_{BC}} = \left( \frac{6EI R}{L} \right)_{BC} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan metode Cross (Moment Distribution Method), maka momen-momen pada ujung semua batang dapat diperoleh. Dengan membagi momen akhir pada ujung dengan momen tahanan batang didapatkan tegangan sekunder dengan rumus :

$$\sigma_{sek} = \frac{M_{sek} \cdot c}{I} \dots\dots\dots (4)$$

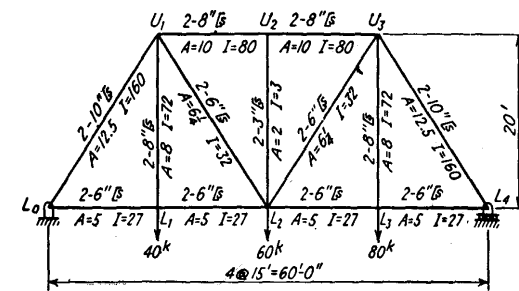
- Dimana
- $\sigma_{sek}$  = Tegangan sekunder yang terjadi
  - $M_{sek}$  = Momen sekunder
  - $C$  = Jarak sisi terluar terhadap garis netral
  - $I$  = Momen inersia tampang
  - $A$  = Luas tampang
  - $L$  = Panjang batang
  - $E$  = Modulus elastik batang

Selanjutnya menentukan rasio tegangan sekunder dengan tegangan primer dengan rumus :

$$\frac{\sigma_{sek}}{\sigma_{primer}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Dari rumus-rumus yang ada maka terlihat bahwa tegangan sekunder akan sangat dipengaruhi oleh jenis atau bentuk rangka, ukuran, dimensi batang dan pembebanan yang direncanakan.

Untuk lebih memperjelas penyelesaian rangka dengan sambungan kaku sampai mendapatkan tegangan primer dipilih bentuk rangka seperti berikut. Sebuah contoh rangka batang “Pratt” yang memiliki batang bawah 4 buah seperti Gambar 3 lengkap dengan beban, profil yang dipakai dan propertis, serta nama titik buhulnya.

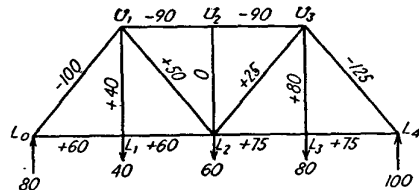


Catatan : A dalam in<sup>2</sup> dan I dalam in<sup>4</sup>

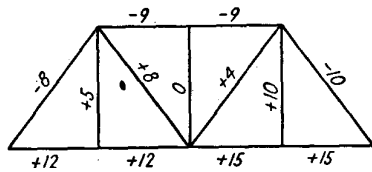
Gambar 3. Rangka Pratt dengan 4 batang bawah

Setelah dilakukan perhitungan sesuai dengan prosedur yang telah disebutkan diatas maka didapatkan hasil sebagai berikut.

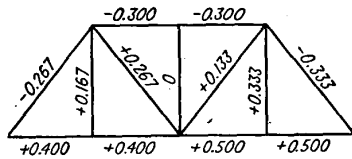
Gaya setiap batang dengan anggapan titik buhul berupa sendi sempurna diperlihatkan pada Gambar 4. dan tegangan primer pada Gambar 5, serta deformasi sumbu satuan diperlihatkan pada Gambar 6.



Gaya batang, S dalam kip  
Gambar 4. Gaya batang



Tegangan primer, S/A, dalam kip per in kuadrat  
Gambar 5. Tegangan primer



Deformasi sumbu satuan e, dalam  $10^{-3}$   
Gambar 6. Deformasi sumbu satuan

Perhitungan selanjutnya dilakukan sampai menemukan besaran momen sekunder, tegangan sekunder dan rasio tegangan sekunder dengan tegangan primer seperti diperlihatkan pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil perhitungan momen sekunder, tegangan sekunder dan rasio tegangan sekunder dengan tegangan primer.

Batang	$I, \text{in}^4$	$c, \text{in.}$	Momen ujung yg lebih lebar kip-ft	Tegangan sekunder $S = \frac{Mc}{I}$ psi	Tegangan primer psi	Perbandingan tegangan sekunder terhadap tegangan primer
$U_1U_2$	80,	4	2.52	$\pm 1510$	- 9,000	16.8%
$U_2U_3$	80	4	2.49	$\pm 1490$	- 9,000	16.6%
$L_0L_1$	27	3	1.39	$\pm 1850$	+12,000	15.4%
$L_1L_2$	27	3	0.27	$\pm 300$	+12,000	3.0%
$L_2L_3$	27	3	1.01	$\pm 1350$	+15,000	9.0%
$L_3L_4$	27	3	2.16	$\pm 2890$	+15,000	19.2%
$L_1U_1$	160	5	1.00	$\pm 375$	- 8,000	4.7%
$U_2L_2$	32	3	0.31	$\pm 350$	+ 8,000	4.4%
$L_2U_2$	32	3	0.37	$\pm 415$	+ 4,000	10.4%
$U_3L_3$	160	5	1.52	$\pm 570$	-10,000	5.7%
$U_1L_1$	72	4	1.26	$\pm 840$	+ 5,000	16.8%
$U_2L_2$	3	1.5	0.04	$\pm 240$	0	
$U_3L_3$	72	4	1.15	$\pm 770$	+10,000	7.7%

### Analisis pada rangka sambungan kaku dengan memakai SAP 2000.

Untuk mengetahui hasil sebenarnya momen jepit yang terjadi apabila memakai sistem sambungan kaku, dilakukan analisis dengan bantuan SAP 2000 untuk bentuk rangka Pratt dengan batang bawah 4 buah seperti contoh terdahulu. Didapat hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis dengan SAP 2000

Batang	Momen Inersia $I (\text{in}^4)$	Jarak $c (\text{in})$	Momen ujung (kip ft)	Tegangan (psi)
$U_1U_2$	80	4	1,03	620
$U_2U_3$	80	4	2,32	1389
$L_0L_1$	27	3	0,97	1300
$L_1L_2$	27	3	0,15	203
$L_2L_3$	27	3	0,14	192
$L_3L_4$	27	3	2,09	2783
$L_0U_1$	160	5	0,97	366
$U_1L_2$	32	3	0,01	9
$L_2U_3$	32	3	0,28	311
$U_3L_4$	160	5	1,46	548
$U_1L_1$	72	4	1,21	806
$U_2L_2$	3	1,5	0,04	241
$U\#L_3$	72	4	0,95	634

### Pembahasan dan Hasil

Pada analisis rangka sambungan kaku seperti ditunjukkan pada tabel 1, berisi tegangan sekunder, tegangan primer serta rasio tegangan sekunder terhadap tegangan primer dari contoh rangka Pratt. Pada metode konvensional ini terlihat nilai rasio yang relatif beragam. Hasil terbesar terlihat pada batang  $L_3L_4$  yakni batang mendatar bawah dekat tumpuan B yang berupa batang tarik, dengan nilai rasio sebesar 19,2%. Nilai rasio terendah sebesar 3,0% terjadi pada batang  $L_1L_2$  yaitu batang mendatar bawah ditengah bentang yang juga batang tarik. Sedangkan rasio pada batang tekan bervariasi dari nilai 4,4% sampai dengan 16,8%. Dengan nilai rasio sebesar 19,2% terlihat bahwa tegangan sekunder cukup berarti yang akan menambah tegangan primer yang ada.

Dengan analisis memakai SAP 2000 pada rangka yang sama didapat hasil seperti terlihat pada tabel 2. Hasil yang didapat disini adalah momen ujung akhir, gaya lintang dan gaya batang. Namun nilai gaya batang sama seperti pada analisis yang pertama, sedangkan gaya lintang tidak terlalu berarti atau dapat diabaikan. Maka yang dapat diperbandingkan adalah momen ujung akhir. Dari momen akhir ujung yang didapat, ditentukanlah tegangan yang terjadi akibat momen tersebut. Dengan memperbandingkan tegangan sekunder pada analisis yang pertama dengan tegangan ujung pada SAP 2000 dapat dilihat perbandingan yang cukup besar seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tegangan sekunder, tegangan ujung serta rasio tegangan sekunder dan tegangan ujung

Batang	$\sigma$ Sekunder (psi)	$\sigma$ Ujung (psi)	Rasio $\sigma$ Sekunder dgn $\sigma$ Ujung
U1 U2	1510	620	2,44
U2 U3	1494	1389	1,08
L0 L1	1853	1300	1,43
L1 L2	360	203	1,78
L2 L3	1347	192	7,02
L3 L4	2880	2783	1,04
L0 U1	375	366	1,03
U1 U2	349	90	4,00
L2 U3	416	311	1,34
U3 L4	570	548	1,04
U1 L1	840	806	1,04
U2 L2	240	241	1,00
U3 L3	767	634	1,21

Terlihat perbandingan tegangan sekunder dengan tegangan ujung memiliki nilai tertinggi sebesar 7,02 pada batang L2 L3 yakni pada batang mendarat bawah dibagian tengah bentang. Sedangkan batang-batang U2 L2 yakni batang tegak tengah nilai perbandingan sebesar 1.

### Kesimpulan

Pada analisis yang pertama nilai rasio tertinggi tegangan sekunder dengan tegangan primer sebesar 19,20% cukup berarti. Maka hal ini harus mendapat perhatian ketika merancang sebuah kerangka dengan metode konvensional.

Pada analisis yang kedua yakni dengan SAP 2000 merupakan metode yang sebenarnya dan mutakhir dengan menganggap simpul adalah sambungan kaku. Ternyata nilai yang didapatkan berupa momen ujung akhir jauh lebih rendah daripada momen sekunder yang didapat dari analisis yang pertama. Keadaan ini terlihat juga pada tegangan sekunder berbanding tegangan ujung yang mencapai nilai sebesar 7,02. Hal ini membuktikan bahwa nilai tegangan sekunder lebih besar dari tegangan ujung yang sebenarnya.

### Daftar Pustaka

1. Kinney, J.S, *Indeterminate Structural Analysis*, Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1957.
2. Norris & Wilbur, *Elementary Structural Analysis*, Second edition, Mc Graw – Hill Book Company, New York, 1960.
3. Timoshenko, S; *Strength Of Materials, Chapter II*; Robert E Krieger Publishing, New York, 1958.
4. Timoshenko, S and Young, D.H; *Theory Of Structures*, Mc Graw – Hill, New York, 1961.
5. Vazirani, V.N & Ratwani, M.M; *Analysis of Structure*, Khanna Publisher, Nai Sarak, Delhi, 1981.
6. Wang, C. K.;, *Struktur Statis Tak Tentu*, terjemahan H W Soemitro, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989