

PERBANDINGAN ANALISA BALOK BAJA DENGAN CARA TEORITIS DAN FINITE ELEMENT ANALYSIS

Arief Kusbiantoro^{1*}, Ummi Chasanah², Soehartono Soehartono³
^{1,2,3}Program Studi DIII Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pandanaran
Jl. Banjarsari Barat No. 1 Tembalang Semarang 50275
Email* : ariefkusb@gmail.com

ABSTRAK

Balok merupakan salah satu bagian elemen struktur yang berfungsi menerima beban yang ada. Akibat pembebanan, komponen struktur tersebut pasti memiliki reaksi terhadap beban yang bekerja, contohnya balok baja. Jika dibebani maka akan mengalami lendutan yang besarnya tergantung dari besarnya beban yang diberikan dan material balok baja. Pada tulisan ini menyajikan hasil analisa terhadap balok baja dengan ukuran 40 mm x 40 mm x 1000 mm. Analisa dilakukan dengan teoritis dan menggunakan program berbasis elemen hingga. Hasil yang diperoleh adalah dengan perhitungan teoritis diperoleh lendutan terbesar sebesar 1,453 mm, tegangan terbesar yang terjadi sebesar 58,59 Mpa, dan gaya geser terbesar 2,5kN. Program berbasis elemen hingga yang dipakai adalah ANSYS dengan hasil yang didapat : lendutan terbesar sebesar 1,463 mm, tegangan terbesar yang terjadi sebesar 58,61 Mpa, dan gaya geser terbesar 2,496kN. Dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa terdapat kemiripan hasil antara perhitungan teoritis dan menggunakan elemen hingga.

Kata kunci : balok baja, lendutan, tegangan, gaya geser, elemen hingga

PENDAHULUAN

Pembahasan struktur baja membutuhkan pemahaman tentang respon struktur terhadap variasi pembebanan. Ada beberapa metode untuk permodelan struktur baja melalui analisa dan pendekatan numeris (Bangash, 1989). Analisis elemen hingga adalah salah satu metode numerik yang sudah luas diterapkan pada struktur baja berdasarkan pada perilaku non linier material (Hemmaty, 1998).

Penggunaan metode elemen hingga meningkat karena berkembangnya pengetahuan dan kemampuan *hardware* dan *software* komputer. Salah satu contoh *software* yang telah berhasil membuat model non linier terintegrasi adalah ANSYS, yang akan dipakai dalam tulisan ini.

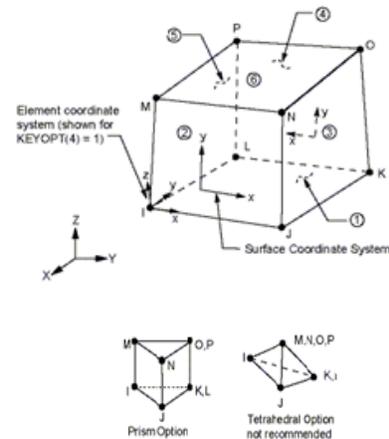
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Besaran tegangan dan *displacement* dibandingkan dengan perhitungan manual
2. Penerapan *software* ANSYS untuk analisa dan memperkirakan kegagalan baja.

Untuk mengetahui simulasi numerik menggantikan eksperimental sehingga bisa menghemat dalam waktu dan biaya.

LANDASAN TEORI

Sebuah elemen solid 8 titik, Solid45, digunakan untuk memodelkan material beton. Elemen solid mempunyai 8 titik dengan 3 derajat kebebasan tiap titiknya, translasi di arah sumbu X, Y, dan Z. Elemen ini mengalami deformasi plastis, retak dalam arah tiga sumbu. Bentuk geometri dan lokasi titik untuk tiap elemen seperti ditunjukkan dalam gambar berikut.



Gambar 1. Permodelan Geometri Solid 45

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku batang baja akibat mendapat beban terpusat. Pada penggunaannya, secara umum program ANSYS memiliki tahapan utama yaitu (Kezia, 2017) :

1. *Pre-Pocessing*

Preprocessing adalah langkah awal dalam permodelan elemen hingga. Pada pre-pocessing terdapat beberapa fungsi dimana kita harus mendeinisikan fungsi-fungsi tersebut akan menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisa. Fungsi-fungsi yang terdapat preprocessing adalah: permodelan, penentuan tipe elemen, penentuan material , *meshing*.

2. *Solution*

Pada tahapan ini FEM telah mendekati proses perhitungan dan analisa. Ada beberapa langkah dalam proses perhitungan yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah: pembebanan dan analisa.

3. *General Post-Processing*

Setelah proses permodelan dan analisis selesai langkah selanjutnya adalah proses post processing. Proses ini digunakan untuk melihat hasil analisis, dalam hal ini hasil yang dilihat adalah *displacement*, momen, gaya geser, dan gaya normal yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Data Masukan

Untuk baja, ANSYS memerlukan input data meliputi : modulus elastisitas (E_c), tegangan leleh (F_y), tegangan ultimate (F_u), *Poisson's rasio* (ν), Koefisien geser (β). Data material yang digunakan dalam analisa ini dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2. Data Geometri

No	Data Geometri	Besaran	Satuan
1	Panjang X	40	Mm
2	Panjang Y	40	Mm
3	Panjang Z	1000	Mm
4	Volume	1,60 E-3	m ³
5	Masa	12,56	kg
6	Centroid X	-1,76 E-19	m

7	Centroid Y	-1,76 E-19	m
8	Centroid Z	0,5	m
9	M. Inersia sb 1	1,04	kg.m ²
10	M. Inersia sb 2	1,04	kg.m ²
11	M. Inersia sb 3	3,35E-03	kg.m ²

Tabel 3. Data material

No.	Material Properties	Besaran	Satuan
1	Density	7850	kg.m ³
2	Coefficient of Thermal Expansion	1,20E+05	C ⁻¹
3	Reference Temperature	22	C
4	Young's Modulus	2,10E+05	Mpa
5	Poisson's Ratio	0,3	
6	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa
7	Shear Modulus	8,08E+10	Pa
8	Alternating Stress Mean Stress		
	> Interpolation	Log-Log	
	> Scale	1	
	> Offset	0	
10	Strain Life Parameters		
	> Display Curve Type	Strain-Life	
	> Strength Coefficient	9,20E+08	Pa
11	Ductility Coefficient	0,213	
12	Ductility Exponent	- 0,47	
13	Cyclic Strength Coefficient	1,00E+09	Pa
14	Cyclic Strain Hardening Exponent	0,2	
15	Tensile Yield Strength	2,50E+08	Pa
16	Compressive Yield Strength	2,50E+08	Pa
17	Tensile Ultimate Strength	4,60E+08	Pa
18	Compressive Ultimate Strength	0,00E+00	Pa

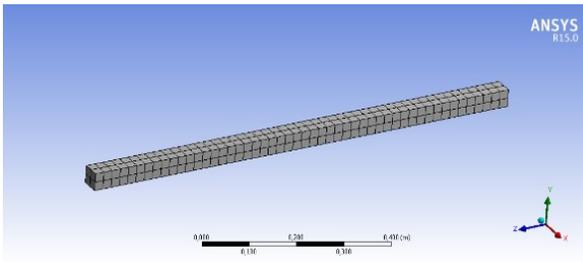
Diskritisasi Model

Tahap awal analisis elemen hingga memerlukan pembagian model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Dalam permodelan ini jumlah ada 200 elemen dengan 1521 titik. Tegangan dan regangan yang terjadi setelah pembebanan dapat dihitung pada masing-masing elemen.

Analisa struktur tersebut dapat dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu bagaimana perilaku setiap elemen individual tersebut, kemudian elemen-elemen tersebut dihubungkan sedemikian

rupa sehingga gaya-gaya kesetimbangannya dan komparabilitas dari perubahan posisi-posisi struktur tersebut sesuai pada setiap nodalnya (Bathe, 1996).

Analisa dapat dilakukan dengan menerapkan perhitungan-perhitungan numerik tersebut direpresentasikan dengan menggunakan metode matriks untuk menganalisa struktur secara kesinambungan. Karena analisa dilakukan pada setiap elemen maka kedekatan hasil analisa terhadap kondisi sebenarnya sangat bergantung pada jumlahnya elemen yang dibagi pada struktur yang dianalisa tersebut.



Gambar 2. Meshing model

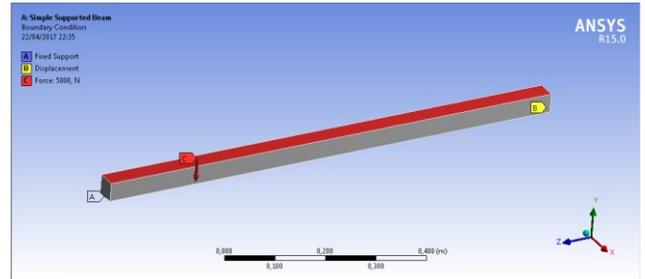
Dalam analisis non linier, total beban yang terjadi di model elemen hingga dibagi menjadi rangkaian beban di elemen-elemen yang lebih kecil. Pada program ANSYS menggunakan persamaan Newton-Raphson untuk model model kekakuan. Dalam pembahasan ini, kriteria konvergen berdasar pada gaya dan displacement, dan batas toleransi konvergen awal dipilih oleh program ANSYS. Saat ini solusi konvergen untuk model sulit didapatkan karena perilaku nonlinier baja.

Tahapan Pembebanan

Untuk analisis non linier, tahapan otomatis di ANSYS memperkirakan dan mengatur tahapan pembebanan. Berdasar pada catatan solusi sebelumnya dan bentuk fisik model, jika perilaku konvergen teratur, tahapan waktu otomatis akan meningkatkan penambahan beban sampai ke beban maksimum. Tahapan beban maksimum dan minimum diperlukan untuk tahapan waktu otomatis.

Teori Lentur

Pada gambar di atas, balok dengan penampang seragam yang dikenai momen pada bidang ABCD. Bidang ABCD membentuk sudut γ terhadap bidang xz. Momen ini direpresentasikan dengan vektor normal terhadap ABCD.



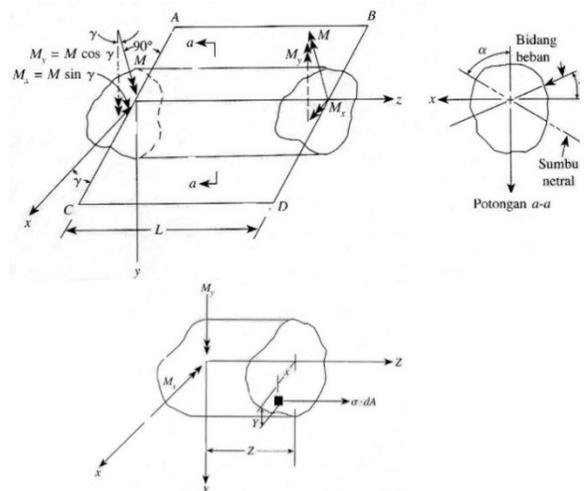
Gambar 3. Pembebanan

Perhatikan pula potongan berjarak z pada gambar berikut. Syarat kesetimbangan dalam free body dipenuhi bila :

$$\Sigma fz = 0 \Rightarrow \int_A \sigma dA = 0$$

$$\Sigma Mx = 0 \Rightarrow Mx = \int_A y \sigma dA$$

$$\Sigma My = 0 \Rightarrow My = \int_A x \sigma dA$$



Gambar 4. Perencanaan Struktur Baja

Momen M_x dan M_y positif bila menghasilkan momen lentur positif, artinya lentur yang mengakibatkan tekan pada bagian atas balok dan tarik pada bagian bawah balok.

Jika lentur terjadi dalam bidang xz, tegangan γ terjadi proporsional terhadap x , sehingga :

$$\sigma = k_2 \cdot y$$

Penggunaan Persamaan di atas memberikan hasil :

$$K_2 \int_A x \cdot dA = 0$$

$$M_x = k_2 \int xy \, dA = k_2 \cdot I_{xy}$$

$$M_y = k_2 \int_A x^2 \, dA = k_2 \cdot I_y$$

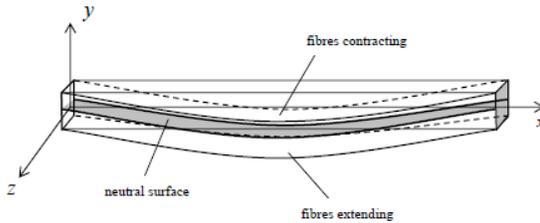
Dan sudut γ haruslah :

$$\tan \gamma = \frac{M_x}{M_y} = \frac{I_{xy}}{I_y}$$

Dalam kasus penampang yang memiliki paling sedikit satu sumbu simetri ($I_{xy} = 0$ dan $\tan \gamma = 0$) maka beban dan lentur terjadi dalam bidang xz.

Total Deformation

Dibayangkan bila balok terbuat dari banyak serat yg sejajar arah longitudinal, seperti gambar 5. Bila balok dapat dibengkokkan dengan pembebanan, serat dekat sisi atas balok akan memendek dan serat dekat bawah balok akan memanjang. Bidang yang di tengah, di antara sisi atas dan bawah, di mana serat tidak berubah. Dinamakan bidang netral. Perpotongan bidang simetri longitudinal dan bidang netral disebut sumbu balok, dan sumbu deformasi dinamakan kurva lenturan.



Gambar 5. Lenturan

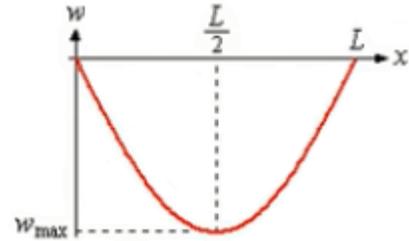
Sistem koordinat konvensional pada gambar 5. Sumbu X bertepatan dengan sumbu longitudinal balok, sumbu y berada di arah transversal dan bidang sumbu longitudinal adalah dalam bidang sumbu x – y, disebut bidang lentur.

SNI 03-1729-2002 Pasal 6.4.3. membatasi besarnya lenturan yang timbul pada balok. Dalam pasal ini dipersyaratkan lenturan maksimum untuk balok pemikul dinding atau bagian finishing yang getas adalah $L/360$, sedangkan balok bisa lenturan tidak boleh lebih dari $L/240$.

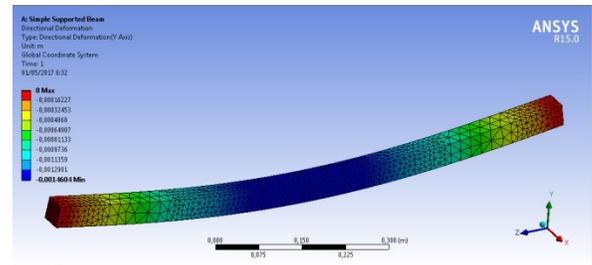
Pembatasan ini dimaksudkan agar balok memberikan kemampuan layan yang baik (serviceability). Besar lenturan pada beberapa jenis pembebanan balok yang umum terjadi ditunjukkan sebagai berikut :

$$W(x) = - \frac{px(L^3 - 2X^2L + X^3)}{24EI}$$

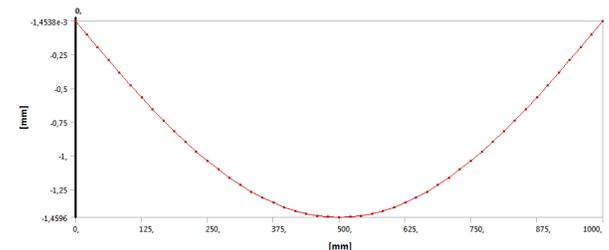
$$W_{\max} = W\left(\frac{L}{2}\right) = - \frac{5pL^4}{384EI} = -1.453 \text{ mm}$$



Gambar 6. Total deformasi



Gambar 7. Deformasi dalam FEM



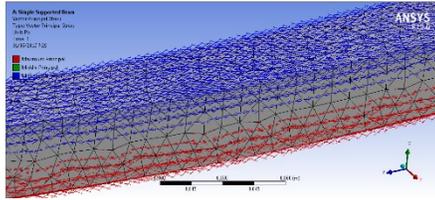
Gambar 8. Kurva Deformasi

Gambar di atas menunjukkan bahwa total deformasi yang terjadi paling besar berada di tengah bentang yang ditunjukkan dengan warna biru sebesar 1,460 mm dan paling kecil berada di ujung bentang yang ditunjukkan dengan warna merah sebesar 0 mm atau tidak mengalami deformasi. Pada perhitungan manual akan mendapatkan hasil sebesar 1,453 mm.

Vector Principal Stress

Untuk vektor principal stress, pada ketebalan 2 cm bagian atas mengalami tegangan

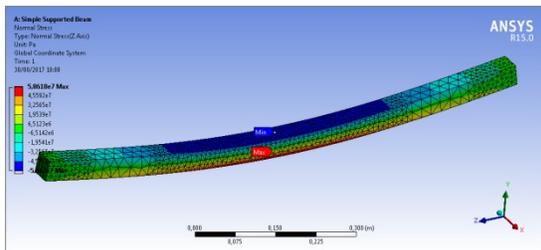
tekan. Sedangkan pada ketebalan 2 cm bagian bawah mengalami tegangan tarik.



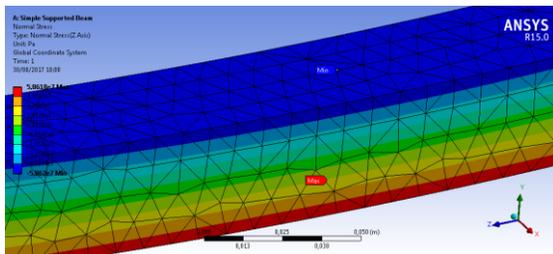
Gambar 9. Vector Principal Stress (Detail)

Maximum Bending Stress

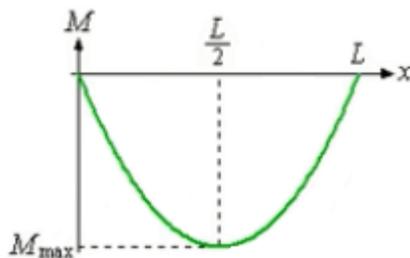
Tegangan yang terjadi pada balok sebesar - 58,61 Mpa (tekan) di bagian atas dan + 58,61 Mpa (tarik) dibagian bawah.



Gambar 10. Tegangan



Gambar 11. Tegangan (detail)



Gambar 12. Momen

$$M(x) = -\frac{1}{2} p (L - x) x$$

$$M_{max} = M \left(\frac{L}{2} \right) = -\frac{pL^2}{8}$$

$$\sigma_{max} = |M_{max}| \frac{c}{I} = \left| \frac{pL^2}{8} \right| = 58.59 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan perhitungan untuk mendapatkan momen, gaya geser, gaya normal, dan lendutan pada balok dapat dilihat di tabel berikut.

Tabel 4. Perbandingan hasil

Model	Moment Maximum bending Stress (Mpa)	Displacement (mm)
Hand Calculation	58.59 Mpa	-1.453
ANSYS	58.61 Mpa	-1.460

SIMPULAN

Berdasarkan perhitungan untuk mendapatkan momen, gaya geser, gaya normal, dan lendutan pada balok dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapat dari perhitungan teoritis dan menggunakan metode elemen hingga menunjukkan hasil yang hampir sama. Untuk tegangan lentur maksimum dengan menggunakan teoritis didapatkan hasil sebesar 58,59 Mpa, sedangkan dengan menggunakan elemen hingga didapatkan hasil sebesar 58,61 Mpa. Untuk lendutan maksimum dengan menggunakan teoritis didapatkan hasil sebesar 1,453 mm sedangkan dengan menggunakan elemen hingga didapatkan lendutan sebesar 1,460 mm. Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan sudah mendekati nilai yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

ANSYS Inc, 2009, *Advanced Analysis technique, 3rd Edition*, Southpointe, Cannonsburg.

ANSYS Inc, 2009, *Commands reference, tenth Edition*, Southpointe, Cannonsburg.

ANSYS Inc, 2009, *8.0 Manual Set*, ANSYS Southpointe, Canonsburg.

ANSYS Inc, 2009, *Theory Reference, Seventh Edition*, Swanson Analysis Systems, Southpointe, Canonsburg.

ANSYS Inc, 2009, *Engineering Analysis System. Theoretical Manual (for ANSYS revision 8.04)*, Southpointe, Canonsburg.

Bathe, 1996, *Finite Element Procedure*, Prentice-Hall Inc, New Jersey.

Bangash, MYH, 1989, *Concrete and concrete Structure, Numerical Modelling and Application*, Elsevier Science Publisher Ltd, London, England.

Hemmaty, Y, 1998, “*Modelling of the shear, force transfered between cracks in reinforced concrete structures*”, in : *Proc. of ANSYS Conf, Vol. 1*, Pittsburg, PA.