

Pengaruh Mode Shape Frekuensi Alami terhadap Estimasi Gaya Tarik Batang Baja dengan Metode Vibrasi

(Effect of Shape Mode of Natural Frequency on Estimation of Tension Force of Steel Rods using Vibration Method)

GUNTUR NUGROHO

ABSTRACT

The vibration method has been widely applied to estimate the force on cable structures as well as beams. This method utilizes the natural frequency of structural elements in estimating tensile as well as compressive forces. On the cable element, a different natural frequency will appear according to the shape number. This study raises the suitability of force estimation by using the natural frequency of the first second and third modes. The steel specimen have cross section of width, thickness and length of 6 mm, 40 mm and 2000 mm respectively. The results of natural frequency, calculated by using analytic formulas (string, beam-string and stokey) has been compared with the natural frequency resulted by numerical modeling. The difference of natural frequency of specimen calculated by using analytic formulas (strings, beam-strings, stokey), compared with the result of numerical modeling has the smallest value in the first mode which is 3.75% at 5,000N load and 0.61% at 50,000N load.

Keywords: natural frequency, mode shape, vibration method

METODE PENELITIAN

PENDAHULUAN

Estimasi tegangan dan gaya pada elemen struktur dengan menggunakan metode vibrasi telah banyak dilakukan. Aplikasi metode vibrasi bisa digunakan untuk elemen struktur yang menerima beban aksial tarik maupun beban aksial tekan. Metode ini memanfaatkan nilai frekuensi alami yang ada pada elemen struktur untuk estimasi gaya dan tegangan.

Dalam satu elemen struktur akan ada beberapa nilai frekuensi yang berbeda, hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan nilai frekuensi pada setiap modenya. Semakin besar *mode number* maka nilai frekuensi alami akan semakin besar. Pemilihan data frekuensi alami yang digunakan untuk estimasi gaya dan tegangan disesuaikan dengan rumus analitik metode vibrasi pada setiap *mode number*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara frekuensi alami hasil perhitungan analitik dengan hasil pemodelan numerik pada ketiga mode yang pertama dengan metode perhitungan analitik dan pemodelan numerik menggunakan software Abaqus.

String theory

Pada metode *string theory* mengabaikan kedua parameter lendutan dan kekakuan lentur kabel (Saxon dan Chan 1953; Irvine 1981):

$$T = 4mL^2 \left(\frac{f_n}{n} \right)^2 \quad (1)$$

dengan:

- T = gaya aksial (N)
- m = massa (kg/m)
- L = panjang (m)
- f_n = frekuensi alami (Hz)
- n = *mode number*

Gaya tarik dapat dengan mudah ditetapkan dari pengukuran beberapa variable tersebut. Akan tetapi formula pada Persamaan 1 hanya valid untuk tipe kabel yang langsing, datar dan tunggal. Meskipun Persamaan 1 tidak valid untuk kabel dengan lendutan yang besar, kekakuan lentur dan sistem dengan *double hanger*, metode ini sangat bermanfaat untuk pendekatan gaya tarik pertama.

Beam-string theory

Shimada dkk, (1994) dan Humar (1990) memperkenalkan formula yang biasa digunakan pada balok yang dibebani aksial tarik dengan memasukkan parameter kekakuan lentur tanpa memperhitungkan lendutan.

$$\left(\frac{f_n}{n}\right)^2 = \left(\frac{1}{4ml^2}\right)T + \left(\frac{n^2\pi^2}{4mL^4}\right)EI \quad (2)$$

dengan:

T = gaya aksial (N)

m = massa (kg/m)

L = panjang (m)

f_n = frekuensi alami (Hz)

n = *mode number*

EI = kekakuan lentur (Nm²)

Dengan menghubungkan gaya tarik yang belum diketahui dan kekakuan lentur, prosedur regresi linier diaplikasikan untuk mengukur frekuensi dan hubungan nomer modenya. Kekakuan lentur (EI) dan tegangan kabel dapat secara bersamaan diestimasi. Meskipun estimasi yang dihasilkan sangat akurat untuk kabel dengan tipe *single*, pendek dan besar, estimasi pada kekakuan lentur tidak akurat untuk kabel dengan lendutan besar. Walaupun ada beberapa batasan, pendekatan ini sering digunakan karena bisa digunakan dengan cepat dan simpel.

Stokey theory

Stokey (1998) memperkenalkan formulasi praktis untuk menghitung frekuensi alami batang yang diberikan beban aksial sebagai berikut:

$$f_n = \frac{\kappa^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \sqrt{1 \pm \frac{FL^2}{EI\pi^2 n^2}} \quad (3)$$

Dimana nilai f_n , L, EI dan n adalah frekuensi alam (Hz), panjang batang (m), kekakuan lentur (kNm²) dan *mode number*. Sedangkan nilai K adalah parameter yang didasarkan pada jenis tumpuan yang digunakan, adapun nilai K dapat dilihat pada Tabel 1.

Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan batang strip baja yang mempunyai ukuran (6x40x2000) mm. Tahapan pemodelan numerik dengan menggunakan software abaqus meliputi beberapa tahap sebagai berikut:

Part

Pada bagian *part* elemen batang digambar menggunakan elemen strip plat solid 3 dimensi dengan ukuran panjang 2000 mm dan penampang melintang persegi dengan ukuran tanpang 6 mm x 40 mm. Detail visualisasi gambar dapat dilihat pada Gambar 1.

TABEL 1. Nilai K pada berbagai kondisi batas ujung tumpuan

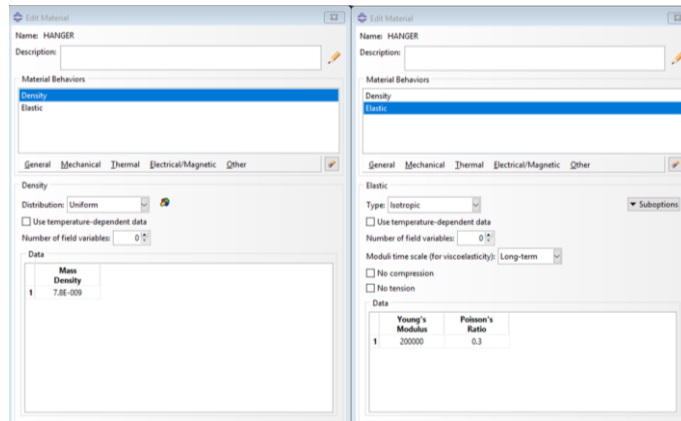
Ujung Tumpuan	Nilai K		
	Mode 1	Mode 2	Mode 3
Sendi-sendid	3,146	6,283	9,425
Jepit-jepit	4,730	7,853	10,996
Jepit-sendid	3,927	7,069	10,210
Jepit-bebas	1,875	4,694	7,855



GAMBAR 1. Penggambaran model benda uji.

Material dan section properties

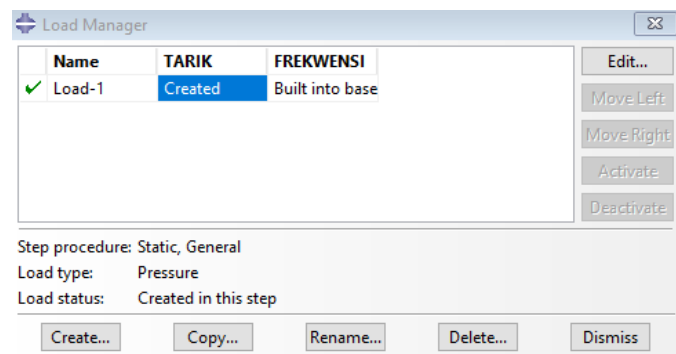
Data material baja dimasukkan pada menu *property* dengan nilai berat jenis 7800 kg/m^3 , modulus elastis 200.000 MPa dan poisson rasio $0,3$ seperti pada Gambar 2.



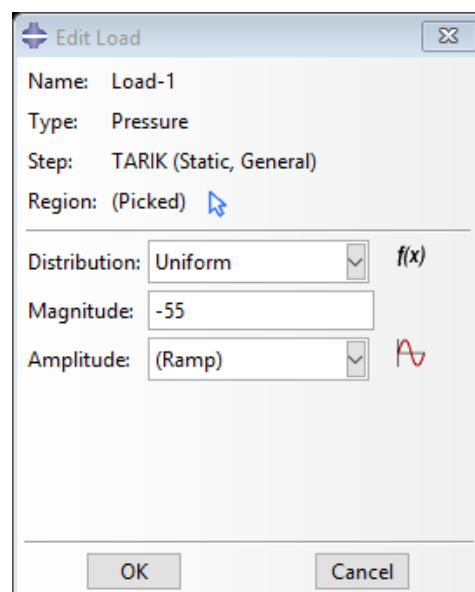
GAMBAR 2. Data *material properties* yang digunakan

Load

Pada tahap ini pembebanan diaplikasikan dengan menggunakan fasilitas *Load manager*. Tipe pembebanan yang di aplikasikan pada pemodelan ini adalah *pressure* seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4.



GAMBAR 3. Pembebanan dengan tipe *pressure*



GAMBAR 4. Data gaya yang diaplikasikan dalam bentuk tegangan.

Boundary Condition

Boundary condition digunakan untuk mengaplikasikan kondisi batas pada pemodelan. Kondisi batas yang di aplikasikan pada ujung elemen *hanger* berupa sendi-sendi dengan tipe *displacement* dan *rotation* seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6.

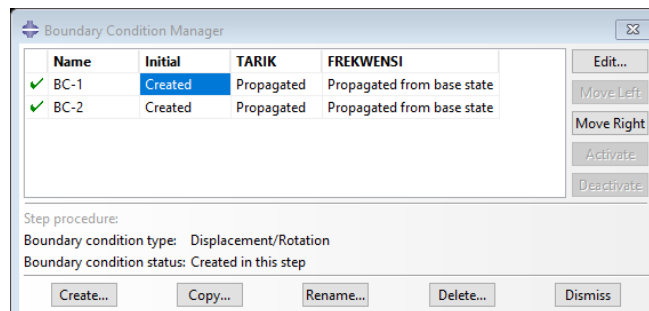
Step

Step berfungsi untuk mengatur tahapan pada proses analisis. Pada proses pemodelan *step* terdiri dari beberapa tahapan. Step 1 *initial*

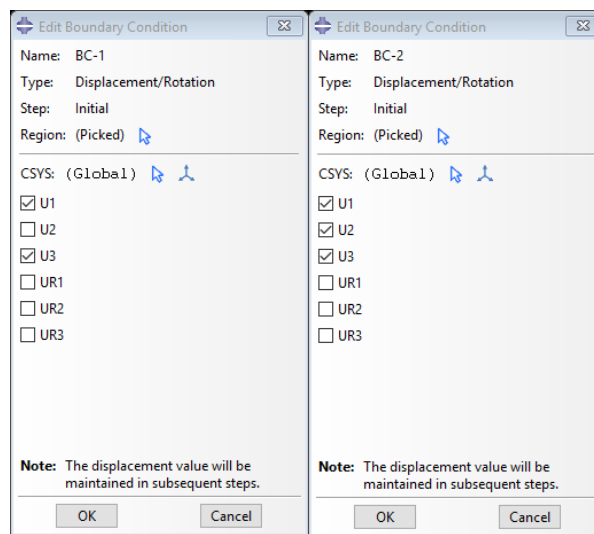
condition yang berfungsi untuk mendefinisikan kondisi batas tumpuan. Step 2 *static general* digunakan untuk aplikasi gaya aksial. Step 3 *frequency* yang digunakan untuk menghitung frekuensi alami model seperti terlihat pada Gambar 7.

Job Manager

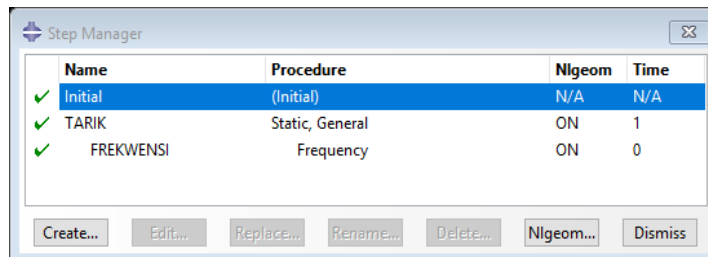
Pada *job manager* seluruh model yang sudah disiapkan akan di *running* dengan menekan tombol *submit* seperti pada Gambar 8.



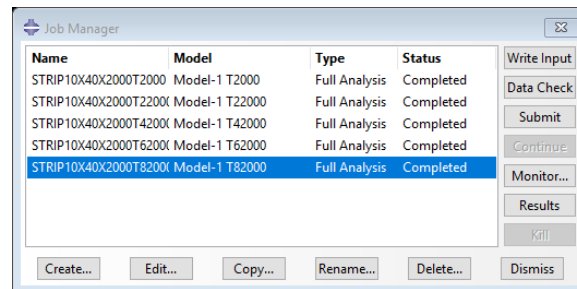
GAMBAR 5. Kondisi batas model



GAMBAR 6. Aplikasi kondisi batas model dengan tipe *displacement/rotation*



GAMBAR 7. Tahapan pemodelan benda uji



GAMBAR 8. Job manager

Vizualisation

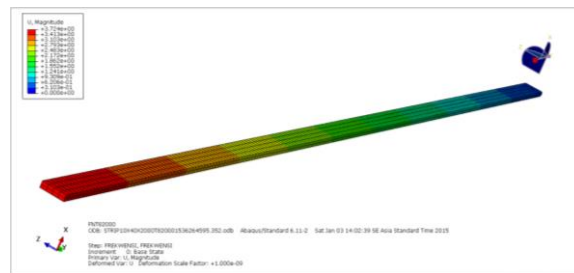
Tahap *Visualisation* digunakan untuk menampilkan keluaran analisis numerik secara grafis meliputi kontur tegangan, regangan, *displacement*, *damage parameter*, dan parameter output lainnya dari model yang sudah selesai di *running* seperti pada Gambar 9.

Modal Frequencies

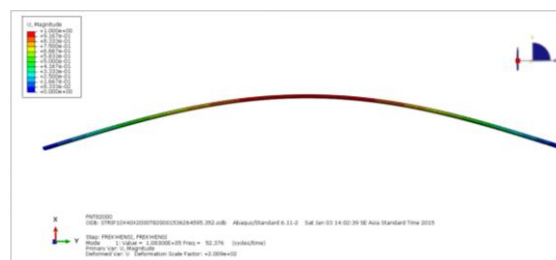
Untuk mendapatkan nilai frekuensi alami pada benda uji yang dibebani gaya aksial tarik, tahapan pemodelan abaqus terdiri dari beberapa tahap.

Tahap 1: Pembebanan tarik aksial diaplikasikan pada salah satu ujung benda uji dengan menggunakan pembebanan tipe *pressure load*. Beban tersebut akan berpengaruh tegangan internal pada model yang diikuti oleh peningkatan kekakuan. Pada tahap ini dilakukan analisis non linier geometri.

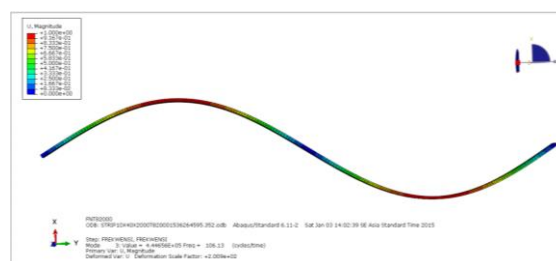
Tahap 2 : Setelah benda uji diberikan beban aksial tarik dan mengalami perpanjangan, analisis eigenvalue dengan menggunakan matrik masa dan matrik kekakuan untuk mendapatkan nilai frekuensi alami. Visualisasi *mode shape* hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 10 sampai Gambar 13.



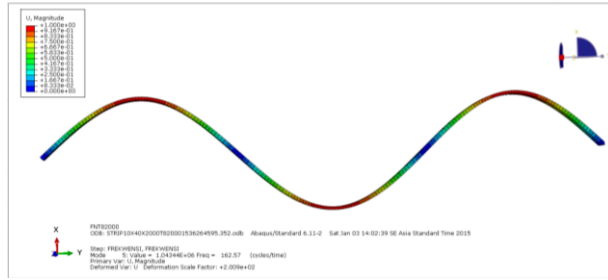
GAMBAR 9. Visualisasi hasil running model.



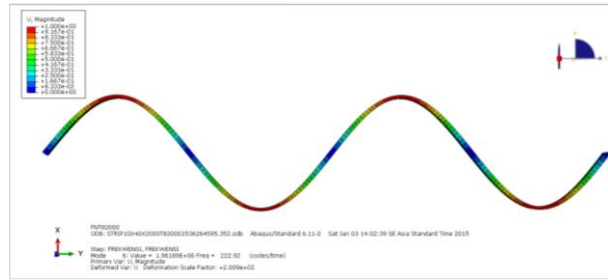
GAMBAR 10. Visualisasi bentuk mode pertama.



GAMBAR 11. Visualisasi bentuk mode kedua



GAMBAR 12. Visualisasi bentuk mode ketiga

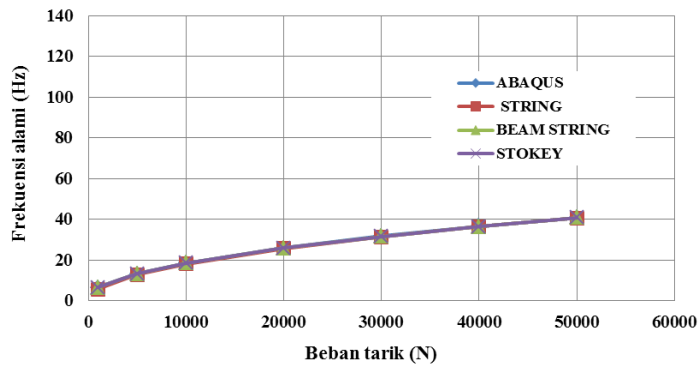


GAMBAR 13. Visualisasi bentuk mode keempat

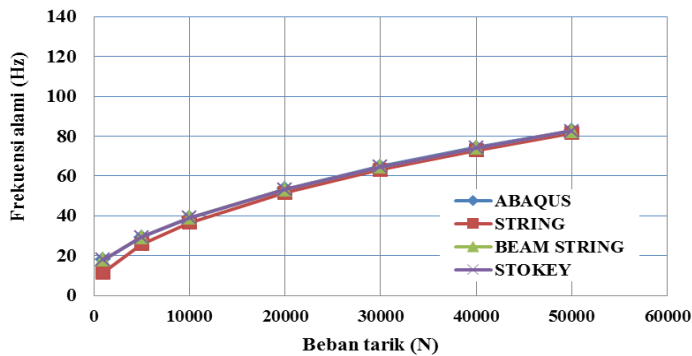
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan frekuensi alami dilakukan dengan menggunakan rumus analitik *string*, *stokey* dan *beam-string* yang dibandingkan dengan hasil

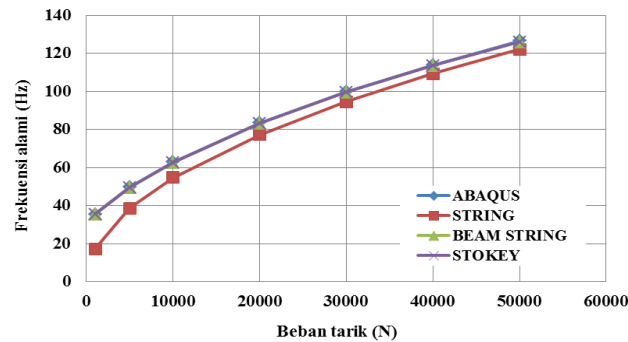
pemodelan numerik menggunakan *software* Abaqus 6.11. Hubungan antara frekuensi alami dan beban tarik pada setiap tahap pembebanan dapat dilihat pada Gambar 14-16.



GAMBAR 14. Perbandingan frekuensi alami hasil perhitungan analitik dan pemodelan numerik pada mode pertama.



GAMBAR 15. Perbandingan frekuensi alami hasil perhitungan analitik dan pemodelan numerik pada mode kedua.



GAMBAR 16. Perbandingan frekuensi alami hasil perhitungan analitik dan pemodelan numerik pada mode ketiga.

Dari Gambar 14 – Gambar 16 dapat dilihat grafik hubungan antara beban tarik dan frekuensi alami pada mode pertama, kedua dan ketiga. Perbedaan nilai frekuensi alami hasil pemodelan numerik terhadap rumus analitik *string*, *stokey*, *beam-string* pada pembebanan 5.000 N dan pada mode pertama mempunyai nilai sebesar 3,75%, 0,42%, dan 0,24%. Perbedaan nilai frekuensi alami pada mode kedua mempunyai nilai sebesar 13,65%, 0,46% dan 0,27%. Perbedaan nilai frekuensi alami pada mode ketiga mempunyai nilai sebesar 28,41%, 0,35% dan 0,27%.

Perbedaan nilai frekuensi alami hasil pemodelan numerik terhadap rumus analitik *string*, *stokey*, *beam-string* pada pembebanan 50.000 N dan pada mode pertama mempunyai nilai sebesar 0,61%, 0,43%, dan 0,25%. Perbedaan nilai frekuensi alami pada mode kedua mempunyai nilai sebesar 1,65%, 0,42% dan 0,23%. Perbedaan nilai frekuensi alami pada mode ketiga mempunyai nilai sebesar 3,6%, 0,51% dan 0,44%. Rumus analitik *beam-string* dan *stokey* mempunyai kesesuaian dengan hasil pemodelan numerik pada mode pertama, kedua dan ketiga.

Rumus analitik *string* mempunyai nilai perbedaan terhadap frekuensi alami hasil pemodelan numerik mode pertama sebesar 3,75% pada beban 5.000N dan 0,61% pada beban 50.000N. Pada mode kedua sebesar 13,65% pada beban 5000N dan 1,65% pada beban 50.000N. Pada mode ketiga sebesar 28,41% pada beban 5000N dan 3,6% pada beban 50.000N. Rumus analitik *string* mempunyai perbedaan lebih besar dibanding dengan hasil perhitungan *beam-string* dan *stokey*, hal tersebut dikarenakan rumus analitik *string* mengabaikan parameter momen inersia (I) dalam perhitungannya.

Perbedaan frekuensi alami benda uji dengan menggunakan rumus analitik (*string*, *beam-string*, *stokey*) dan hasil pemodelan numerik mempunyai nilai terkecil pada mode pertama yaitu sebesar 3,75% pada beban 5.000N dan 0,61% pada beban 50.000N. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa frekuensi alami hasil pemodelan benda numerik sesuai dengan rumus analitik (*string*, *stokey* dan *beam-string*) pada mode yang pertama. Sehingga mode pertama direkomendasikan untuk digunakan dalam estimasi gaya dengan metode vibrasi.

KESIMPULAN

Frekuensi alami hasil pemodelan benda numerik sesuai dengan rumus analitik *string*, *stokey* dan *beam-string* pada mode yang pertama. Sehingga mode pertama direkomendasikan untuk digunakan dalam estimasi gaya dengan metode vibrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Humar, J. L. (1990). *Dynamics of structures*, Prentice Hall, Upper SaddleRiver, NJ.
- Irvine, H. M, (1981). *Cable Structure*, MIT Pers, Cambridge, M.A, USA.
- Saxon dan Chan (1953) *Mode of vibration of a suspended chain*. Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, Vol.6, No.6, pp. 273-285.
- Shimada, T. (1994). *Estimating method of cable tension from natural frequency of high mode*. Proc. JSCE, 501(1-29), 163-171.

Stokey.W.F,(1998), *Vibration of Systems having distributed mass and elasticity*, 4th Edition, McGraw-Hill.

PENULIS:

Guntur Nugroho

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
Bantul, D.I. Yogyakarta.

Email: guntur.nugroho@umy.ac.id