

Kaji Elemen Hingga dan Experimental Frekuensi Pribadi Getaran Model Struktur Berkaki Tiga

Alexander Tompodung

Jurusan Mesin, Universitas Sam Ratulangi

Email : alexander_tompodung@yahoo.com

Abstrak

Struktur berkaki tiga sering digunakan pada bangunan-bangunan yang kokoh tetapi hemat seperti pada struktur bangunan lepas pantai. Tulisan ini menjelaskan kajian getaran model struktur berkaki tiga secara elemen hingga dan experimental. Geometri struktur berbentuk meja dengan berkaki tiga, tinggi 250 mm, kaki pejal dengan diameter masing-masing kaki 6 mm. Ujung kaki yang satu di patri (dilas) pada bagian yang diam dan ujung yang lainnya dipatri pada plat yang bebas bergetar. Kajian dilakukan terhadap frekuensi pribadi dengan metoda elemen hingga, yakni dengan bantuan program MSC NASTRAN for Windows 4.5 dan dengan metoda experimental yakni dengan impuls, yang dilakukan di Lab Dinamika PAU-ITB. Diperoleh bahwa hasil pengukuran frekuensi pribadi dengan metode eksitasi impuls berbeda cukup menyolok (kesalahan > 10%) terhadap hasil dari NASTRAN pada modus getar ke-4, -5 dan -6. Sedangkan untuk modus getar ke-1, -2, -3, -7, -8, -9 dan -10 kesalahannya kurang dari 10%. Perbedaan frekuensi pribadi ini diperkirakan dikarenakan oleh karaktertektur sambungan, yang dalam hal ini berupa lasan. Sambungan tersebut bisa menyebabkan redaman dalam suatu struktur tergantung dari amplitudo.

Kata kunci: frekuensi pribadi, getaran, struktur kaki tiga

Pendahuluan

Pada beberapa konstruksi sering menggunakan system berkaki tiga dimana selain kokoh tetapi juga ringan dan hemat biaya. **Gambar 1** adalah sebuah menara air yang menunjukkan bentuk sistem berkaki tiga. Untuk menganalisis karakteristik dinamik suatu struktur berkaki tiga maka berikut ini adalah kajiannya yang dilakukan dengan pendekatan pemodelan. Gerakan input, dalam hal ini pada bagian tengah meja, yang diakibatkan oleh gaya *rotating unbalance* atau bentuk impuls. Selanjutnya dilakukan kajian secara elemen hingga, yakni dengan bantuan perangkat lunak MSC.NASTRAN for Windows 4.5 dan kajian dengan eksperimental.

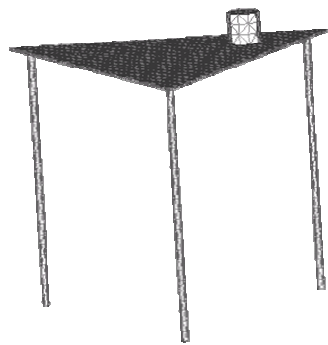


Gambar 1 Contoh sebuah struktur berkaki tiga, menara air.

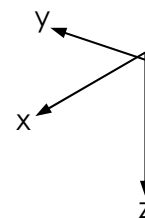
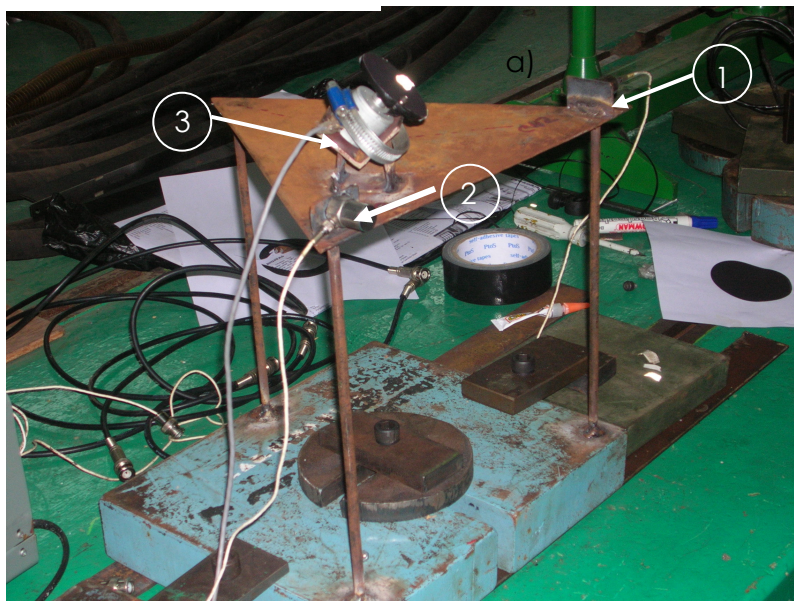
Tujuan penelitian ini untuk mengkaji respon model struktur segitiga sama sisi berkaki tiga berdasar pengukuran FRF dan berdasar pengukuran *spectral map* dan berdasarkan elemen hingga yakni dengan bantuan perangkat lunak MSC.NASTRAN for Windows 4.5.

Obyek Uji.

Obyek yang diuji mempunyai data geometris seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2a**.



Meja :
30x30x30cm, tebal 0.2mm
Kaki :
Panjang 25cm, dia 6.25 mm
Bahan : Carbon steel SI



b)

Gambar 2 Obyek uji: a) Data geometris, b) foto: 1) Sensor arah-x (CH2), 2) Sensor arah-y (CH3), 3) Posisi pemukulan *impact hammer*.

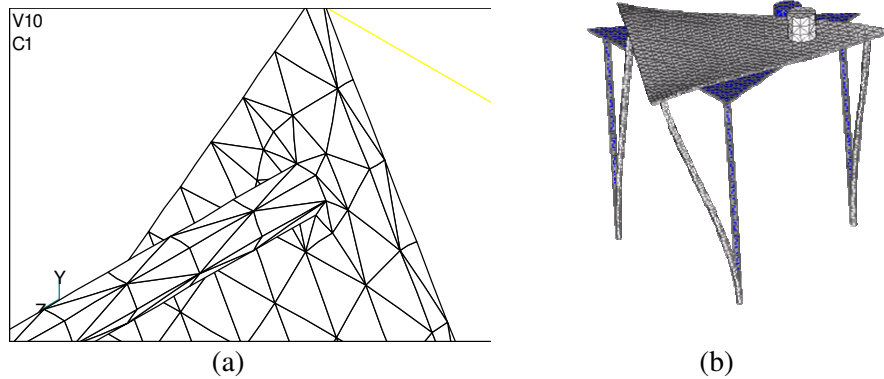
Pemodelan dan Simulasi dengan NASTRAN.

Langkah awal yang telah dilakukan adalah memodelkan dan mensimulasikan obyek uji dengan perangkat lunak MSC.NASTRAN for Windows 4.5. Dari hasil simulasi tersebut dapat ditentukan frekuensi pribadi dan modus getar dari obyek uji.

Data model NASTRAN dari obyek uji adalah sebagai berikut:

- ⇒ Model dianggap satu kesatuan, tanpa ada sambungan
- ⇒ Material: Carbon Steel SI, isotropic
- ⇒ Mesh berukuran: 0.01 meter dan berbentuk hexagonal, lihat **Gambar 3a**
- ⇒ Boundary condition: fixed on surface pada dasar ketiga kaki meja

Agar kesepuluh modus getar bisa terukur maka posisi sensor untuk pengukuran pada arah-x dan arah-y tidak boleh terletak pada posisi node. Dengan demikian, berdasar posisi node hasil simulasi NASTRAN posisi-posisi sensor tersebut ditunjukkan seperti pada **Gambar 2b**. Pada **Gambar 3b** ditunjukkan contoh hasil simulasi, sedangkan pada **Tabel 1** ditunjukkan besarnya frekuensi pribadi kesepuluh modus getar dan arah deformasi dari bagian kaki meja serta bagian plat.



Gambar 3 a) *Mesh countur* dari model obyek uji dan (b) hasil simulasi Nastran

Eksperimental dan Hasil

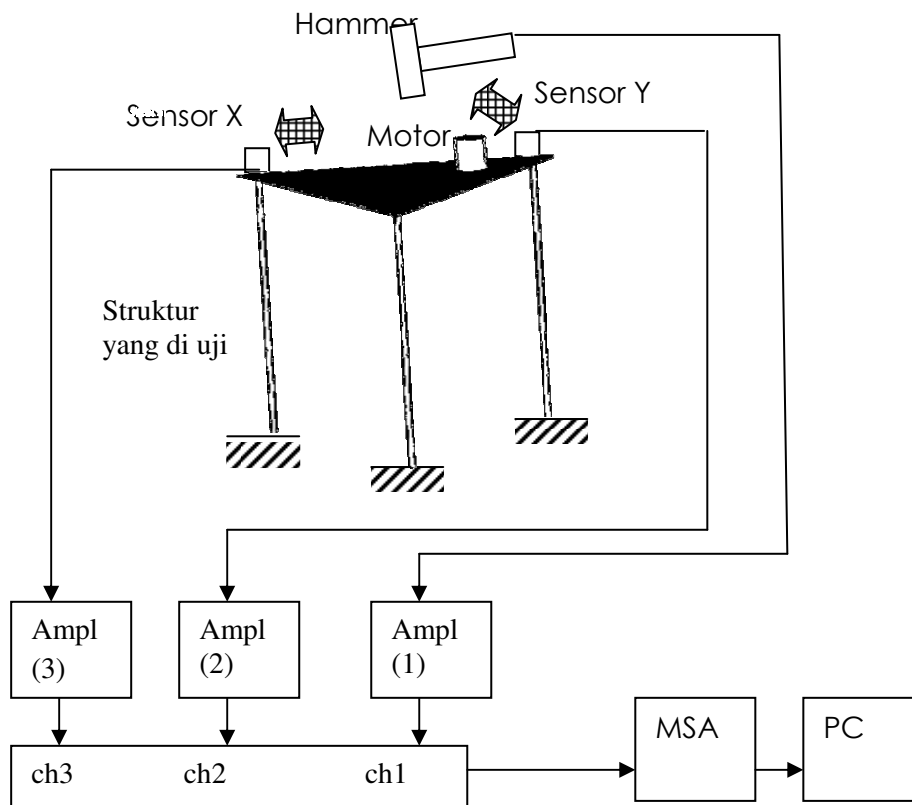
Berdasarkan kaji elemen hingga dengan NASTRAN, selanjutnya dilakukan kaji eksperimental sebagai berikut.

a. FRF dengan eksitasi impuls

Pada **Gambar 4** ditunjukkan setup pengujian fungsi repon frekuensi atau FRF dengan eksitasi impuls. Peralatan pengujian FRF yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 2** dan prosedur pengujian FRF ditunjukkan pada **Tabel 3**.

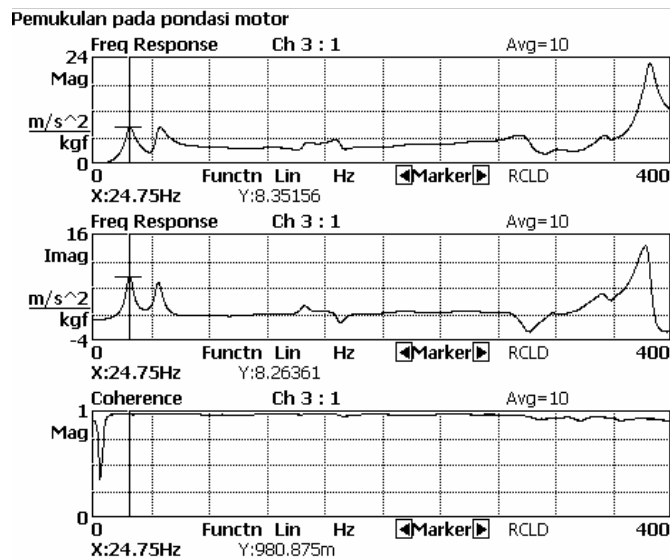
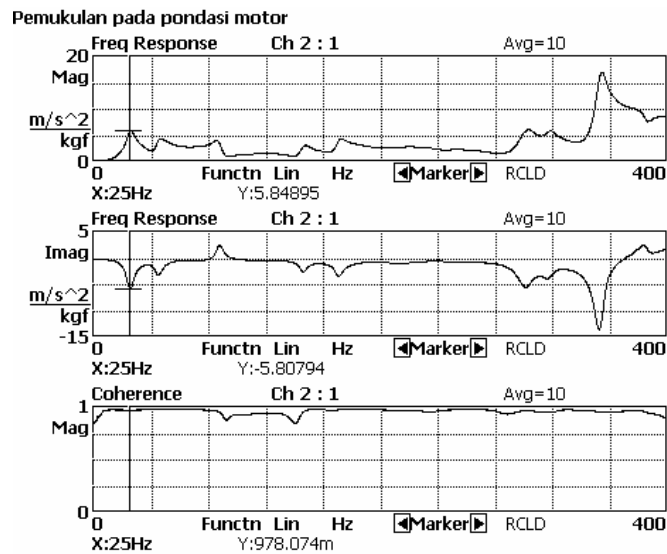
Tabel 1 Hasil Analisis dengan Nastran						
Mod us Ke-	Frekue nsi (Hz)	Deformasi				
		Kaki		Plat		
		bagian tengah	yang menempel pada plat	sudut	antara sudut plat dan pusat plat	pusat
1	23.24	TRX TRY (arah transversal)	TRX TRY (arah transversal)	TRX TRY (arah transversal)	TRX TRY (arah transversal)	TRX TRY (arah transversal)
2	23.24	TRX TRY	TRX TRY	TRX TRY	TRX TRY	TRX TRY
3	41.60	TRX & TRY	TRX & TRY	TRX & TRY	TRX & TRY	
4	102.88	TRX TRY (arah transversal)		TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)
5	195.56	TRX TRY (arah transversal)		TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)
6	195.58	TRX TRY (arah transversal)		TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)
7	337.34	TRX TRY (arah transversal searah)		TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)	
8	337.35	TRX TRY (arah transversal)		TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)	
9	351.59	TRX TRY (arah transversal)	TRX & TRY	TRX & TRY	TRZ (arah transversal)	
10	365.91	TRX TRY (arah transversal)		TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)	TRZ (arah transversal)

TR....= translasi



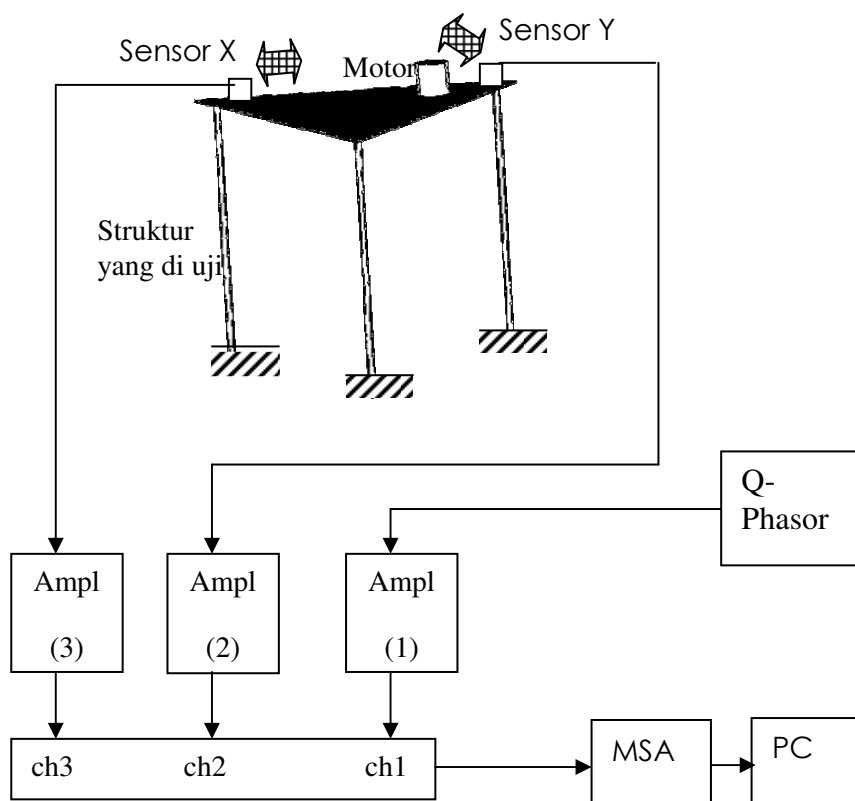
Gambar 4 Setup pengujian FRF dengan eksitasi impuls

Tabel 2. Spesifikasi peralatan pengujian		
01	Exiter : <i>Hammer</i>	Sensitifitas Source: Impuls <i>Loadcell</i> = 1,01 pC/N (Bruel & Kjaer),
02	Sensor accelerometer	Sensitifitas Acc Meter 2 dan 3 = 9.81 pC/N (<i>Integrated circuit piezo ICP wilcoxon</i>)
03	Amplifier	Power ampl. = 0,1 v/unit out $\rightarrow$ (v/N)
04	<i>Multy Signal Analyzer</i> MSA	HP3562A
05	PC	

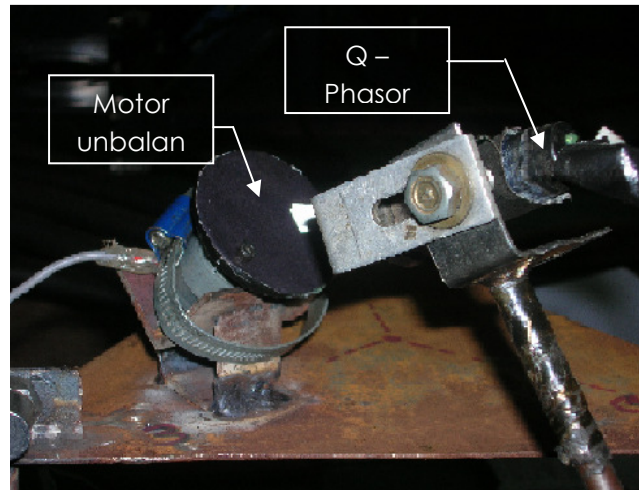


Gambar 5 Hasil pengujian FRF dengan eksitasi impuls, a) FRF sensor yang terpasang pada arah x, b) FRF sensor yang terpasang pada arah y

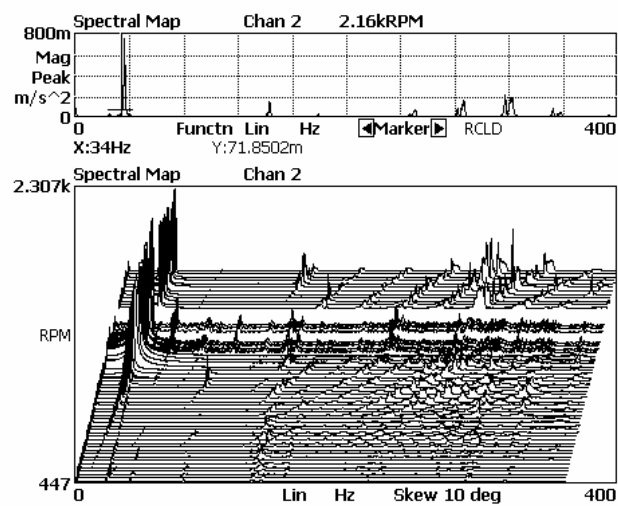
Tabel 4 Data Impuls FRF di impuls pada dudukan motor				
Modus ke	CH 2 (sumbu x)		CH 3 (sumbu y)	
	Hz	m/s ² /kgf	Hz	m/s ² /kgf
1	25.00	5.85	24.75	8.35
2	25.00	5.85	24.75	8.35
3	44.75	4.11	44.75	8.03
4	87.00	3.65		
5	146.00	2.95	146.00	4.59
6	170.75	4.10	171.00	4.33
7	301.00	5.90	301.0	5.36
8	316.25	5.61	318.75	3.28
9	352.50	15.75	352.00	6.43
10	383.00	8.96	382.25	19.73



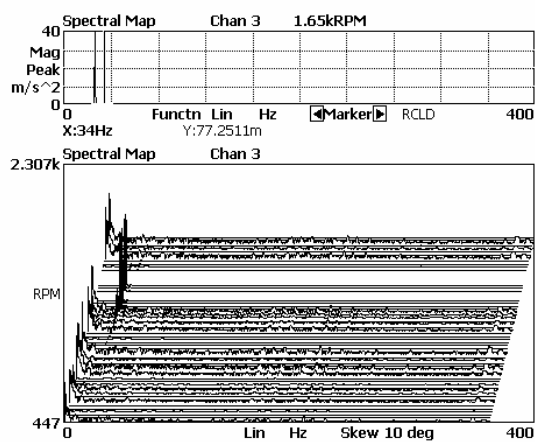
Gambar 6 Setup pengujian spektral map dengan eksitasi unbalance



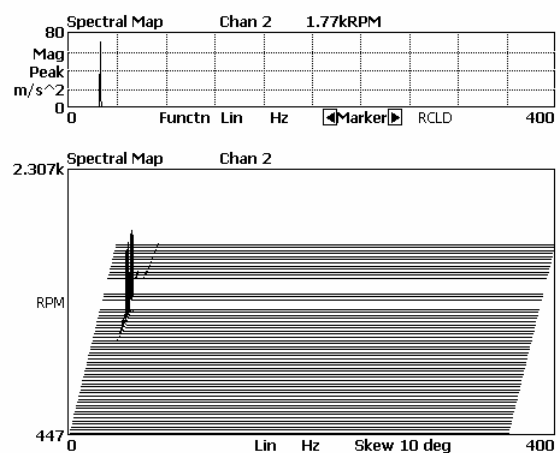
Gambar 7 Posisi Q-Phasor



Gambar 9 Spektral map pada CH3 (sumbu y)



a)



b)

Gambar 8 Spektral map pada CH2 (sumbu x), a) spektral map tanpa zooming, b) spektral map yang di-zooming untuk menunjukkan pengaruh unbalance

Hasil pengujian FRF untuk sensor sumbu-x dan sumbu-y dengan eksitasi impuls yang diberikan padaudukan motor ditampilkan pada **Gambar 5**. Eksitasi tersebut diberikan pada pondasi motor. Hasil pengukuran frekuensi pribadi kesepuluh modus getar dari **Gambar 5** modus getar dibagikan pada **Tabel 4**.

b. Spektral map dengan eksitasi unbalance

Pada **Gambar 6** ditunjukkan setup pengujian FRF dengan eksitasi impuls.

Posisi Q-phasor dalam pengukuran spektral map ditunjukkan pada **Gambar 7**. Hasil pengujian dengan spektral map pada CH2 (sumbu x) ditunjukkan pada **Gambar 8**. Hasil pengujian dengan spektral map pada CH3 (sumbu y) ditunjukkan pada **Gambar 9**.

Komentar

a. Experimen Impuls FRF

Pada **Tabel 5** ditunjukkan perbandingan antara data hasil pengukuran FRF dengan menggunakan metode eksitasi impuls dan data hasil simulasi NASTRAN.

Eksperimen impuls FRF adalah pengukuran perkembangan frekuensi dan amplitude suatu struktur dalam keadaan statis berdasarkan input impuls. Pada pengukuran impuls FRF ini dilakukan 10 kali pemukulan hal ini untuk mendapatkan hasil yang tanpa dipengaruhi oleh noise yang dinyatakan dengan koherensi.

Pada **Tabel 6** ditunjukkan prosentase kesalahan pengukuran frekuensi pribadi pada CH2 dan CH3 relatif terhadap hasil simulasi NASTRAN.

Berdasarkan **Tabel 6** frekuensi pribadi dari hasil pengukuran mengalami penyimpangan terhadap frekuensi pribadi dari hasil simulasi NASTRAN. Penyimpangan frekuensi pribadi dari modus getar ke-1, -2, -3, -7, -8, -9 dan -10 maksimum sebesar ~10%. Penyimpangan frekuensi pribadi ke-4, -5 dan -6 lebih besar dari 10% dan maksimum sebesar 25% pada modus getar ke-5.

Tabel 5

Perbandingan frekuensi mode shape dari FRF dengan eksitasi impuls terhadap frekuensi mode shape dari simulasi NASTRAN

Modus ke	CH 2 (sumbu x)		CH 3 (sumbu y)		NASTRAN
	Hz	m/s2/kgf	Hz	m/s2/kgf	Hz
1	25.00	5.85	24.75	8.35	23.24
2	25.00	5.85	24.75	8.35	23.24
3	44.75	4.12	44.75	8.03	41.60
4	87.00	3.65			102.88
5	146.00	2.95	146.00	4.59	195.56
6	170.75	4.10	171.00	4.33	195.58
7	301.00	5.90	301.0	5.36	337.34
8	316.25	5.61	318.75	3.28	337.35
9	352.50	15.75	352.00	6.43	351.59
10	383.00	8.96	382.25	19.73	365.91

Tabel 6 Prosentase kesalahan pengukuran frekuensi pribadi relatif terhadap hasil simulasi NASTRAN				
CH2	CH3	NASTRAN	ERR CH2 [%]	ERR CH3 [%]
25,00	24,75	23,24	-7,57	-6,49
25,00	24,75	23,25	-7,55	-6,48
44,75	44,75	41,60	-7,57	-7,578
87,00		102,88	15,44	
146,00	146,00	195,56	25,34	25,348
170,75	171,00	195,58	12,70	12,57
301,00	301,00	337,34	10,77	10,77
316,25	318,75	337,35	6,26	5,51
352,50	352,00	351,59	-0,26	-0,12
383,00	382,25	365,91	-4,67	-4,47

b. Eksperimen Spectral Map

Peta spectral adalah peta yang menunjukkan perkembangan frekuensi dan amplitude untuk setiap rpm.

Input eksitasi : rotasi unbalance maximum rpm 2300 (38.3Hz) dan span frekuensi 400Hz.

Dari peta spektrum hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 8a** dan **9** diperoleh gejala resonansi terjadi pada daerah rpm 1600 (26.6 Hz) pada frekuensi 1 x rpm. Pada **Gambar 8b** ditunjukkan gejala unbalance terjadi pada 1 x rpm dan diikuti harmonisnya. Terjadinya lompatan (*data missing*) seperti yang terlihat pada **Gambar 8** dan **9** khususnya pada daerah resonansi disebabkan oleh amplitudo getaran struktur cukup besar yang menyebabkan sensor putaran (q-phasor) tidak dapat mengambil data dengan baik dari reflektor.

Kesimpulan

- Hasil pengukuran frekuensi pribadi dengan metode eksitasi impuls berbeda cukup menyolok (kesalahan > 10%) terhadap hasil dari NASTRAN pada modus getar ke-4, -5 dan -6. Sedangkan untuk modus getar ke-1, -2, -3, -7, -8, -9 dan -10 kesalahannya kurang dari 10%.
- Perbedaan frekuensi pribadi hasil pengukuran terhadap hasil dari NASTRAN bisa dikarenakan karakter sambungan, yang dalam hal ini berupa lasan. Sambungan tersebut bisa menyebabkan redaman dalam suatu struktur tergantung dari amplitudo.
- Karena kecepatan putar motor maksimum sebesar 2300 rpm (38.3 Hz) maka dengan metode spektral map hanya bisa diukur modus getar ke-1 dan ke-2.
- Hasil pengukuran dengan metode spektral map menunjukkan bahwa kesalahan relatif pada modus getar ke-1 dan ke-2 sebesar 14.5 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. McConnel K.G., *Vibration Testing: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, Inc., 1995.