

M7-028 Studi Eksperimental Proses Penyeimbang Dinamik Piringan Putar Tunggal dengan Metode Fasa

Winarto*, Suhardjono*, Kokok Winnetouw**

Laboratorium Mesin Perkakas, Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS, Surabaya.

E-mail: winarto@me.its.ac.id ; suhardjono@me.its.ac.id

ABSTRAK

Ketidak-seimbangan pada piringan putar tunggal terjadi bila pusat massa dan pusat putaran tidak bertepatan. Akibatnya terjadi gaya sentrifugal yang merupakan interaksi antara massa unbalance (tidak seimbang) dan akselerasi dari putaran. Selanjutnya gaya inilah sebagai gaya eksitasi getaran. Agar piringan dapat berputar seimbang, maka gaya setrifugal yang timbul tersebut harus dikompensasi dengan gaya tambahan yang sama tapi arahnya berlawanan. Sebenarnya ada dua metode yang umum digunakan untuk menentukan proses penyeimbangan ini, yaitu metode four run (4 langkah) dan metode fasa yang akan dibahas lebih lanjut. Sesuai dengan namanya metode four run ini membutuhkan 4 kali pengambilan data amplitud getaran, pertama kondisi awal, kedua, ketiga dan keempat masing-masing untuk kondisi dengan massa coba 0° , 120° dan 240° . Selanjutnya untuk menentukan posisi massa unbalance, keempat data amplitud getaran tersebut harus digambarkan secara grafis, sehingga metode four ini lebih rumit dan memakan waktu. Sedangkan dengan metode fasa, penentuan posisi massa unbalance dapat dilakukan dalam sekali pengukuran getaran yang didasarkan beda fasa antara arah getaran dan sinyal posisi dari foto elektrik. Dengan demikian metode ini lebih sederhana dan langsung dapat diolah dengan komputer tanpa harus menggambarkan secara grafis. Karena kelebihan inilah maka metode fasa ini dipelajari dan diteliti secara eksperimental lebih mendalam. Dari data-data hasil penelitian ini dan analisa yang dilakukan dapat dilihat bahwa Metode Sudut Fasa ini dapat mereduksi amplitud getaran yang timbul sampai pada batas yang diijinkan menurut Standar ISO 1940/1. Prosentase reduksi dari 3 (tiga) kasus yang terjadi yaitu:

- *Kasus 1, dapat menurunkan amplitud getaran dari nilai amplitud $1,087 \text{ m/s}^2$ menjadi $0,666 \text{ m/s}^2$ dengan prosentase reduksi 39%.*
- *Kasus 2, dapat menurunkan amplitud getaran dari nilai amplitud $1,199 \text{ m/s}^2$ menjadi $0,704 \text{ m/s}^2$ dengan prosentase reduksi 41%.*
- *Kasus 3, dapat menurunkan amplitud getaran dari nilai amplitud $0,883 \text{ m/s}^2$ menjadi $0,545 \text{ m/s}^2$ dengan prosentase reduksi 38%.*

Sehingga rata-rata dari ketiganya adalah 39%. Secara sekilas hasil ini kurang baik, tapi proses memang dihentikan ketika nilai amplitud telah masuk pada batas toleransi yang diijinkan menurut Standar ISO 1940/1, yaitu pada nilai amplitud $0,735 \text{ m/s}^2$.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Kata kunci: massa unbalance, eksentrisitas, piringan putar tunggal, Metode Fasa.

*) Dosen Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS, Surabaya.

***) Mahasiswa Teknik Mesin FTI – ITS, Surabaya.



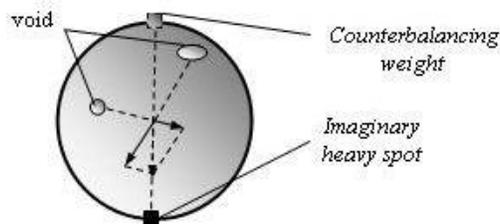
1. Pendahuluan

Ketidakseimbangan dinamik (*dynamic unbalance*) pada mesin yang berputar menjadi masalah yang besar, karena sebagai sumber eksitasi getaran, gaya eksitasi tersebut naik secara kuadratis terhadap putaran dan linier terhadap eksentrisitas (Suhardjono, 2004). Ada beberapa metode untuk mencari lokasi massa *unbalance* diantaranya metode beda fasa dan metode tiga massa coba. Metode yang pertama ini yang akan dibahas dalam makalah ini. Kelebihan metode ini adalah penentuan posisi massa *unbalance* dapat dilakukan dalam sekali pengukuran getaran yang didasarkan beda fasa antara arah getaran dan sinyal posisi dari foto elektrik. Setelah diketahui posisi massa *unbalance*, selanjutnya dapat ditentukan letak dan besar massa penyeimbangannya

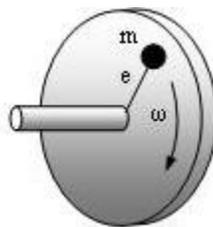
2. Dasar Teori

Massa Unbalance

Ketidakseimbangan (*Unbalance*) terjadi bila pusat massa tidak tepat berada pada sumbu putarannya. Seperti terlihat pada gambar 1, void (cacat) pada dua lokasi sebagai variabel ketidakseragaman massa secara vektorial dapat dijumlahkan menjadi satu vektor atau satu massa pada satu lokasi.



Gambar 1. Piringan dengan dua void (cacat) dan penjumlahan vektornya



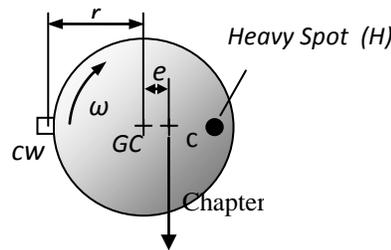
Gambar 2. Komponen gaya sentrifugal

Pada saat berputar, massa *unbalance* akan mengakibatkan terjadinya gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal inilah sebagai gaya eksitasi dalam sistem getaran struktur mesin. Gaya sentrifugal didefinisikan sebagai berikut :

$$F_c = m.e.\omega^2 \quad (1)$$

dimana F_c Gaya sentrifugal, m Massa, e Eksentrisitas dan ω Putaran dalam rad/s.

Hal terpenting yang harus diperhatikan dalam mempelajari massa *unbalance* adalah akibat adanya *unbalance* akan menimbulkan perpindahan pusat gravitasi massa cg.



Chapter V Gambar 3. Pergeseran titik pusat gravitasi dari titik pusat putaran

Pada gambar 3 piringan mempunyai pusat geometri (*geometry center*) pada titik GC dan pusat gravitasi (*center of gravity*) cg. Pusat geometri berfungsi sebagai pusat putaran atau sebagai sumbu putaran. Jika tidak terdapat massa unbalance (*heavy spot*) H, maka cg akan berada tepat pada pusat geometri dan akan menghasilkan putaran yang halus.

Proses manufaktur tidak ada yang sempurna, jadi kondisi ideal tidak akan tercapai dengan tepat. Variabel proses manufaktur tersebut akan memindahkan titik pusat gravitasi dari titik pusat putaran. Perpindahan ini disimbol-kan dengan *e*, atau eksentrisitas. Massa keseluruhan akan terkonsentrasi pada posisi titik cg.

Akibat pergeseran pusat gravitasi dari pusat putaran tersebut, akan timbul gaya sentrifugal. Sebagaimana terdapat pada persamaan 1, gaya sentrifugal pada saat berputar menjadi :

$$F_u = \frac{W}{g} . e . \omega^2 \quad (1)$$

dimana F_u Gaya sentrifugal akibat *unbalance*, W berat massa berputar dan g gravitasi bumi.

Gaya sentrifugal ini dapat diimbangi dengan meletakkan beban koreksi *cw* pada radius r dari pusat putaran. Beban koreksi ini akan mengkompensasi massa unbalance (*heavy spot*) H. Gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh beban koreksi ini adalah :

$$F_{cw} = \frac{(cw)}{g} . r . \omega^2 \quad (2)$$

dimana F_{cw} gaya sentrifugal akibat beban koreksi, cw berat beban koreksi, r radius beban koreksi. Gaya ini akan mengkompensasi gaya akibat unbalance F_u dengan tepat sehingga :

$$F_u = F_{cw} \quad \text{atau} \quad \frac{(W)}{g} . e . \omega^2 = \frac{(cw)}{g} . r . \omega^2 \quad \text{atau}$$

$$W . e = (cw) . r$$

Dari persamaan diatas terlihat bahwa beban koreksi yang dibutuhkan merupakan fungsi dari berat massa berputar dan perpindahan pusat gravitasi. Dengan menyusun kembali persamaan diatas diperoleh harga spesifik *unbalance* :

$$e = \frac{(cw)r}{W} = \frac{H.r}{W} \quad (4)$$

Jadi spesifik *unbalance* sama dengan eksentrisitas. Sedangkan unbalance adalah total massa komponen berputar dikalikan dengan eksentrisitas.

$$u = M . e \quad (5)$$

dimana $M = W/g$ Total massa komponen berputar dan u Unbalance.

Unbalance dapat juga diperoleh secara langsung dari pengukuran percepatan getaran. Percepatan getaran diukur oleh sensor akselerometer. Nilai *unbalancenya* dapat diperoleh dengan rumus :

$$u = (cw)r = \frac{M.a}{\omega^2} \quad (5) \quad (6)$$

dimana a = percepatan.

Standarisasi kondisi *balance* dapat dilihat pada *Balance Quality Requirement ISO 1940/1*. Pada standar ini terdapat suatu konstanta untuk mendefinisikan tingkat kualitas kondisi *balance*. Konstanta ini disimbolkan dengan G .

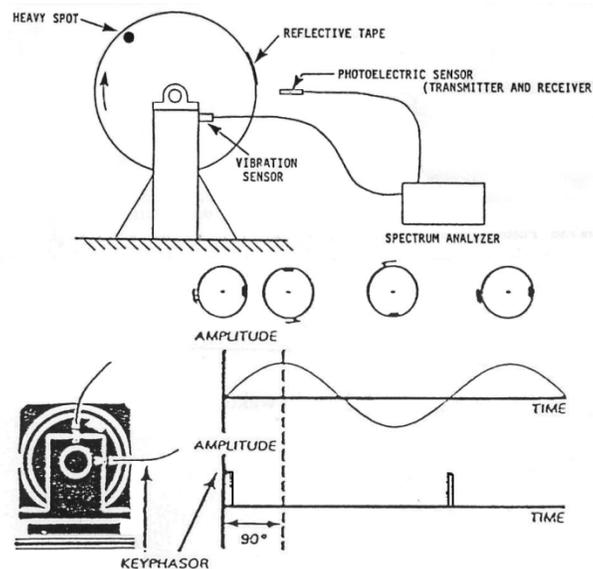
$$G = e.\omega \quad (6) \quad (7)$$

dimana G balance quality grade, e eksentrisitas, ω kecepatan putaran rad/sec.

3. Metodologi

Dua kanal *spectrum analyser* dengan kemampuan *cross chanel* (kanal A dan kanal B) digunakan untuk mengukur fasa dari kanal B ke kanal A. Jika sinyal referensi dijadikan masukan ke salah satu kanal dari dua kanal yang ada, maka besar beda fasa massa *unbalance* dapat diukur.

Dari gambar terlihat bahwa letak sensor *photoelectric* (sebagai sinyal referensi) mendahului 90° dari sensor *accelerometer*, sehingga ketika *photoelectric* mulai mentrigger maka *accelerometer* mulai melakukan pengukuran respon getaran. Ketika massa *unbalance* melewati *accelerometer* maka akan terbaca pada *software* nilai amplitudo maksimum. Jarak antara puncak amplitudo dengan titik referensi inilah yang disebut beda fasa.



Gambar 4. Metode pengukuran beda fasa

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Beda fasa dapat diperoleh dengan rumus:

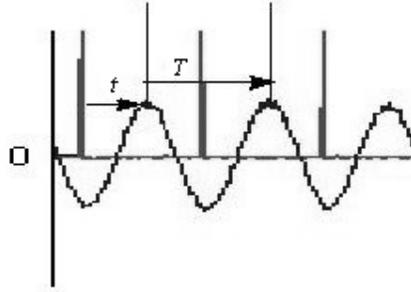
$$\alpha = \frac{t}{T} 360^\circ \quad (7)$$

dimana:

α = Sudut Beda Fasa

t = perbedaan jarak (waktu) antara puncak amplitude dengan puncak referensi photoelectric

T = Waktu 1 (satu) periode

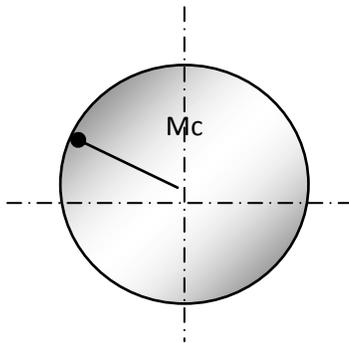


Metode Sudut Fasa adalah salah satu metode yang digunakan dalam proses *balancing*, selain Metode Tiga Massa Coba 120° . Adapun cara pengukuran dengan menggunakan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Rotor diputar dengan putaran tertentu, kemudian dicatat nilai amplitudo *unbalancenya* (A_0) dan beda fasanya (α_0).
2. Massa coba (M_c) dipasang, kemudian rotor diputar dan nilai amplitudo *unbalancenya* (A_1) dan beda fasanya (α_1) dicatat.

$$A_1 = A_0 + A_{MC} \quad (8)$$

Dimana: A_{MC} = amplitudo getaran akibat massa coba saja.



Gambar 5. Metode Sudut Fasa

Dari gambar diatas dapat diturunkan persamaan matematikanya:

$$A_{MC} = \sqrt{A_0 + A_1 - 2A_0A_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_0)} \quad (9)$$

Besar sudut antara A_{MC} dan A_0 dapat diketahui dengan rumus:

$$\frac{A_{MC}}{\sin(\alpha_1 - \alpha_0)} = \frac{A_0}{\sin \gamma} = \frac{A_1}{\sin \beta}$$

misal sudut A_{MC} dengan A_0 adalah ϕ maka:

$$\phi = (\alpha_1 - \alpha_0) + \arcsin\left(\frac{A_0}{A_{MC}} \sin(\alpha_1 - \alpha_0)\right)$$

Sedang sudut massa penyeimbang adalah $= \phi + 180^\circ$

Besar massa penyeimbang (M_p):

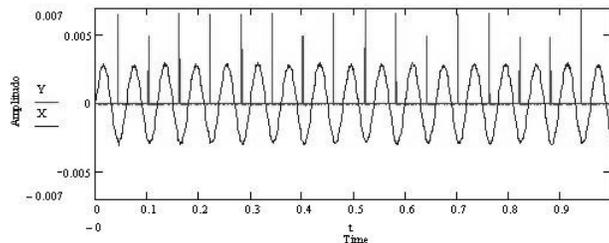
$$M_p = \frac{A_0}{A_{MC}} M_c \frac{r_c}{r_p} \quad (10)$$

dimana:

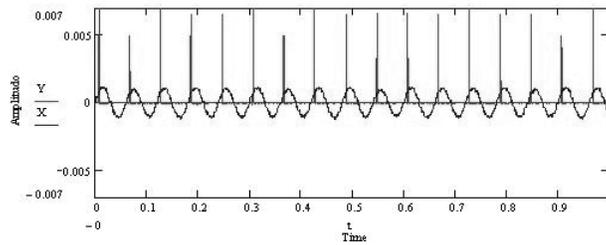
- M_p = massa penyeimbang
- M_c = massa coba
- r_p = jari-jari massa penyeimbang
- r_c = jari-jari massa coba

4. Hasil dan Diskusi

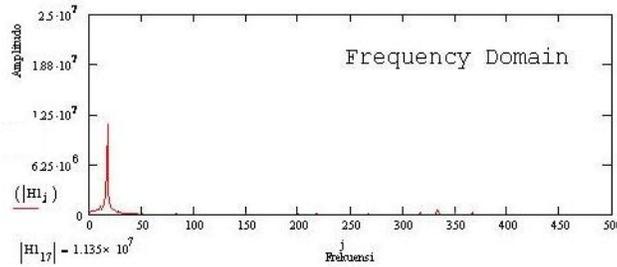
Piringan (*rotating disc*) yang digunakan untuk penelitian *dibalance* dahulu hingga masuk dalam *balance quality grade* 6.3 standard ISO 1940. Spesifikasi selengkapannya adalah berat 3.7 kg, putaran 1000 rpm disesuaikan dengan frekuensi pribadi mesin 17 Hz. Selanjutnya diberi massa tidak seimbang (*unbalance mass*) seberat 4.5 gram (kasus 1), 5 gram (kasus 2), 4 gram (kasus 3) dan getaran diukur dengan *accelerometer* didapatkan data seperti gambar 6. Massa coba seberat 4.5 gram diletakkan pada titik mc_1 yang ditandai dengan 0° dan diukur getarannya seperti gambar 7 (Kasus 1).



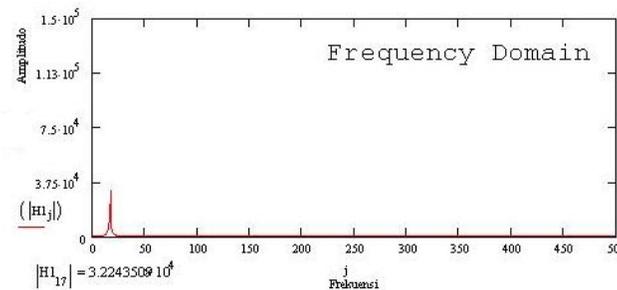
Gambar 6. Grafik domain waktu kondisi unbalance



Gambar 7. Grafik domain waktu kondisi balance



Gambar 8. Grafik domain frekwensi kondisi unbalance



Gambar 9. Grafik domain frekwensi kondisi balance

Dari grafik di atas terlihat penurunan besar nilai amplitudo (Gambar 7) dibanding dengan besar nilai amplitudo sebelum dibalance (Gambar 6). Adapun besar prosentase penurunan nilai amplitudo untuk kasus di atas adalah sebagai berikut:

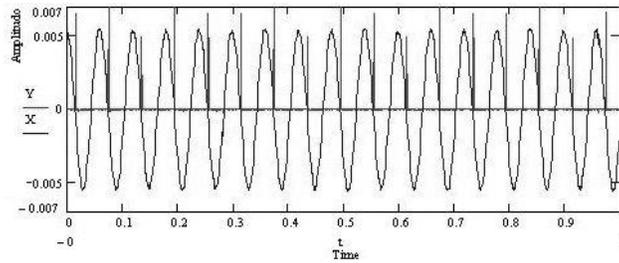
$$\text{Reduksi amplitudo} = \frac{1,087 - 0,666}{1,087} \times 100\% = 39\%.$$

Adapun untuk 2 (dua) kasus yang lain dilakukan dengan cara yang sama, baik itu langkah maupun analisisnya. Dari proses pengambilan data berikutnya didapatkan data-data sebagai berikut:

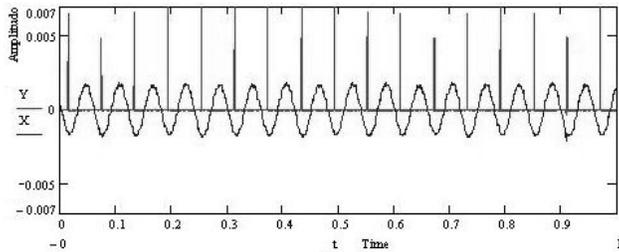
Kasus 2 :

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

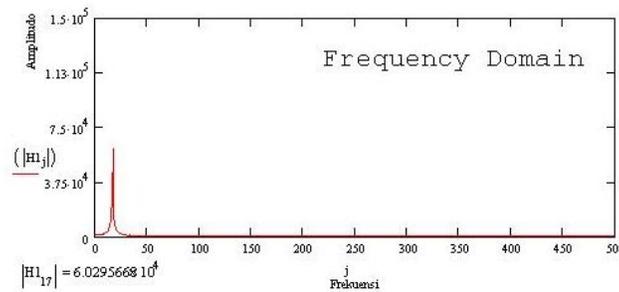
Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



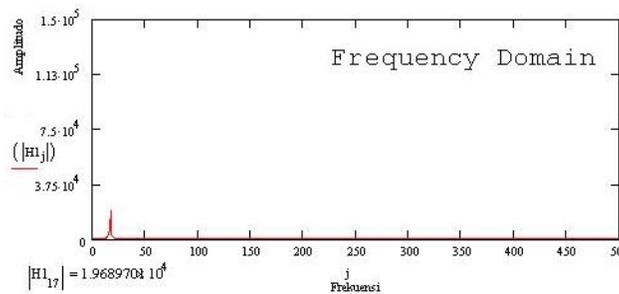
Gambar 10. Grafik domain waktu kondisi unbalance



Gambar 11. Grafik domain waktu kondisi balance



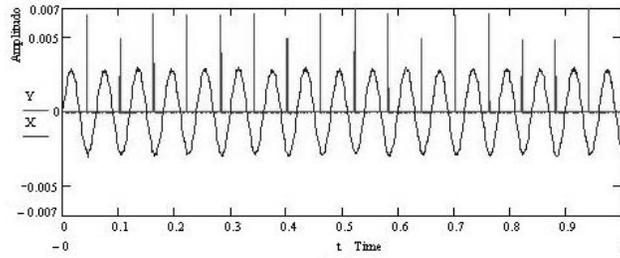
Gambar 12. Grafik domain frekwensi kondisi unbalance



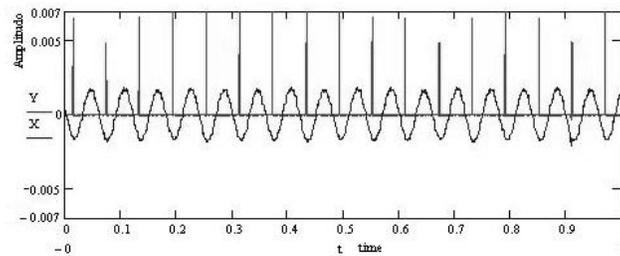
Gambar 13. Grafik domain frekwensi kondisi balance

$$\text{Reduksi amplitudo} = \frac{1,199 - 0,704}{1,199} \times 100\% = 41\%.$$

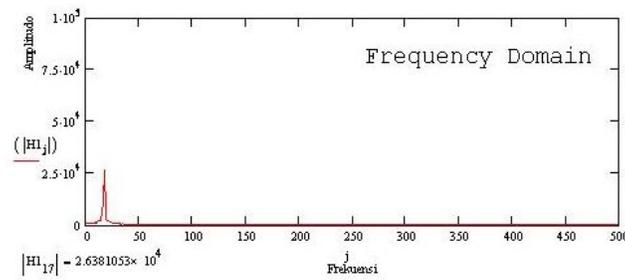
Kasus 3 :



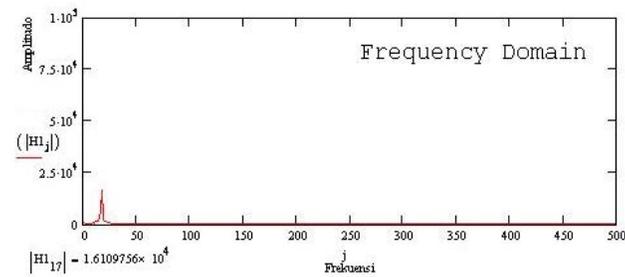
Gambar 14. Grafik domain waktu kondisi unbalance



Gambar 15. Grafik domain waktu kondisi balance



Gambar 16. Grafik domain frekwensi kondisi unbalance



Gambar 17. Grafik domain frekwensi kondisi balance

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

$$\text{Reduksi amplitudo} = \frac{0,883 - 0,545}{0,883} \times 100\% = 38\%.$$

5. Simpulan

Dari data-data yang didapatkan dari 3 (tiga) kasus di atas dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

- Frekuensi getaran akibat massa *unbalance* akan berada pada satu kali frekuensi kerjanya (satu kali rpm). Misalnya untuk putaran 1000 rpm, maka frekuensi getaran akibat massa *unbalancenya* akan berada pada frekuensi 17 Hz.
- Penggunaan dengan menggunakan Metode Sudut Fasa akan lebih cepat dan efektif dalam proses perhitungannya apabila dibantu dengan *software*.
- Rata-rata prosentase reduksi amplitudo = $(39\% + 41\% + 38\%) / 3 = 39\%$. Dilihat dari hasil rata-ratanya memang menunjukkan bahwa kinerja alat terlalu rendah, tapi sebetulnya kinerja di atas dapat ditingkatkan dengan memperbanyak jumlah pengambilan data per kasusnya, hanya pada kasus-kasus di atas penulis menganggap bahwa proses dapat dihentikan asal nilai amplitudo penyeimbang masuk dalam batas toleransi yang diijinkan menurut *Standard Balance quality requirement ISO 1940/1*.

Daftar Acuan

- Crowford Arthur R. (1992), *The Simplified Hand book Of Vibration Analysis*, Volume 1, SCI, Knoxville.
- Taylor, Rosemary (1997), *Data Acquisition for Sensor Systems*, Chapman & Hall, London.
- Randall, R.B. (1987), *Frequency Analysis*, Revised on september, Bruel & Kjaer, Denmark.
- Mobley, R. Keith (1999), *Vibration Fundamentals*, Newnes, USA.
- Vierck, Robert K. (1967), *Vibration Analysis*, International Harper & Row Publisher, New York.
- Total Indonesia, MTT – 8, LPM Institut Teknologi Bandung.
- Wowk, Victor (1995), *Machinery Vibration : Balancing*, McGraw-Hill, USA,
- Wowk, Victor (1991), *Machinery Vibration (Measurement & Analysis)*, McGraw-Hill, USA.
- Zaveri, K. (1984), *Modal Analysis of Large Structures Multiple Exciter Systems*, 1st Edition, Bruel & Kjaer.
-