

PENYEIMBANG ROTOR DENGAN METODE CONVERGENT LOAD TRACHING

Sailon

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl.Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211

RINGKASAN

Benda putar (rotor) adalah bagian dari mesin yang berfungsi untuk memindahkan daya/putaran/momen torsi. Benda putar yang beroperasi pada kondisi yang tidak seimbang (gimbal atau *unbalance*) akan berdampak negatif berupa: terjadinya getaran tinggi, kerusakan bantalan serta pendeknya usia pakai dari mesin bahkan dapat mencelakai operator dari mesin itu misalnya sebuah mobil dimana rodanya tidak seimbang. Ketidakseimbangan benda putar disebabkan oleh beberapa faktor antara lain; material yang tidak homogen, kesalahan dari proses produksi serta kesalahan pada saat benda dioperasikan. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menambah wawasan di bidang teknologi konstruksi dan manfaat yang bisa diperoleh adalah menambah sarana praktikum bagi mahasiswa, khususnya pada Jurusan Teknik Mesin Polstri. Kegiatan penelitian dimulai dari membuat prototype mesin penyeimbang. Proses penyeimbang benda putar dilakukan dengan cara memberikan beban perlawanan (*counter mass*). Benda putar yang sudah diseimbangkan dengan alat yang dibuat selanjutnya diuji menggunakan mesin uji standar. Benda putar yang dijadikan bahan uji adalah roda mobil yang memiliki massa 42,6 kg, diameter 67,4 cm dengan tipe 185/R-70 lengkap dengan velk-nya

Kata Kunci: Benda putar, keseimbangan

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi menuntut manusia untuk dapat melakukan aktivitasnya secara lebih efektif dan efisien dengan senantiasa mengutamakan keselamatan baik bagi pekeja maupun peralatan atau mesin itu sendiri. Dalam kehidupan sehari-hari, baik di dunia industri maupun sarana transportasi sering dijumpai mekanisme rotasi, yaitu benda-benda yang didalam operasinya melakukan perputaran terhadap sumbu geometrinya. Bila karena sesuatu hal, benda putar tersebut harus berputar dalam keadaan gimbal, maka akibatnya adalah terjadinya kerusakan material seperti; bantalan, perapat maupun benda itu sendiri bahkan dapat memcelakakan operator mesin itu. Misalnya sebuah mobil yang bila rodanya dalam keadaan gimbal maka hal ini sangat berbahaya.

Hasil survey kuantitatif yang dilakukan oleh C. Johnson yang dipublikasikan dalam American Journal Vibration, edisi 21, p. 231-138, 1999 menyatakan bahwa usia pakai (life time) suatu rotor 37 % dipengaruhi oleh terjadinya getaran akibat rotor tersebut beroperasi dalam keadaan gimbal. Metode untuk mengurangi dampak negatif akibat getaran yang ditimbulkan oleh ketidakseimbangan dapat dilakukan dengan penyeimbangan (balancing). Proses

penyeimbangan dapat dilakukan dengan dua cara yang pertama adalah memberikan massa perlawanan (*counter mass*) dan yang kedua adalah dengan cara mengurangi sejumlah massa dari rotor.

Di dunia industri banyak dijumpai mesin penyeimbang rotor dengan berbagai spesifikasi serta cara kerjanya. Mesin-mesin penyeimbang tersebut kebanyakan adalah bersifat built up dengan komponen-komponen yang terintegrasi. Sebelum melakukan operasi penyeimbangan terlebih dahulu dilakukan pelatihan kepada operator yang akan bertanggung jawab kepada mesin tersebut. Pelatihan diberikan oleh agen pembuat mesin dengan menitik beratkan pada operasi. Dari hasil observasi di lapangan di beberapa industri penulis mendapatkan permasalahan yang perlu diselesaikan antara lain;

1. Pihak pembuat mesin tidak memberikan secara rinci tentang konsep yang dipakai pada proses penyeimbangan. Hal ini berdampak pada ekonomi biaya tinggi yang berasal dari biaya perbaikan, karena jika terjadi kerusakan mesin maka proses perbaikan harus dilaksanakan oleh agen yang ditunjuk oleh pembuat mesin dengan biaya yang relative mahal.

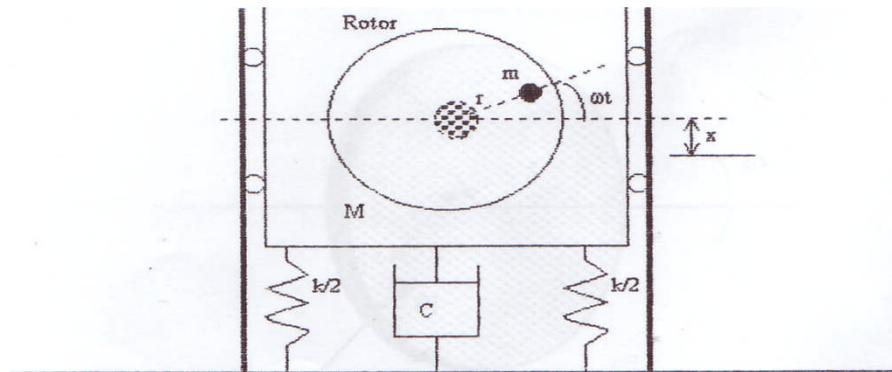
2. Dampak dari komponen yang terintegrasi mengakibatkan pemahaman operator tidak maksimal, hal ini berakibat pada perlambatan proses transfer teknologi.

Konsep Ketidakseimbangan Rotor

Sebuah rotor yang berotasi terhadap pusat geometrinya dikatakan gimbali jika pusat perputaran tidak berada pada pusat massa atau dengan kata lain terjadi konsentrasi massa disalah satu atau beberapa tempat pada jarak tertentu dari pusat geometri rotor Beer, F.P and

Jhonstone (1993). Ketidak seimbangan dapat disebabkan oleh factor konstruksi misalnya ketidakhomogenan massa jenis dari material yang dipakai maupun dari faktor manufaktur misalnya proses pembubutan yang kurang sempurna.

Gambar berikut memberikan ilustrasi dari sebuah ketidakseimbangan dua dimensi dengan M (kg): Massa benda, m (kg): massa konsentrasi, x (m): simpangan, k (N/m): konstanta pegas, C (N/m.det): peredaman, r (m) jari-jari ketidakseimbangan dan ω (rad/det: kecepatan sudut)



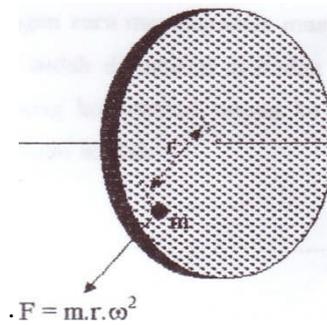
Gambar 1. Penomena Unbalance pada benda putar

Model matematika yang dikembangkan oleh Fourier G.F, William, T (1999) untuk ketidakseimbangan benda putar dua dimensi adalah :

$$(M - m) \ddot{x} + m \frac{d^2}{dt^2} (x + e \sin \omega t)$$

Penggunaan model matematik untuk kasus di lapangan tidaklah mudah, mengingat masih adanya variable lain yang tidak dapat dilibatkan dalam model tersebut, sehingga harus dilakukan eksperimen untuk menentukan harga X dan θ.

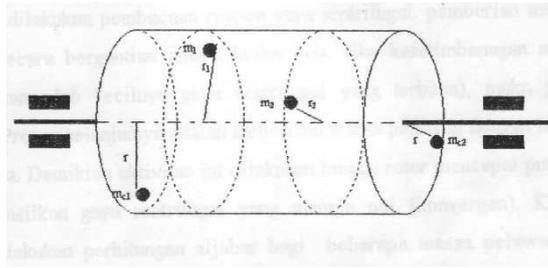
Untuk rotor yang berputar konstan pada analisis dua dimensi, pendekatan matematik yang umum adalah dengan memandang ketidakseimbangan timbul akibat adanya konsentrasi massa. Penomena ini terjadi karena konsentrasi massa yang terjadi akan mengakibatkan gaya sentrifugal (disebut juga gaya inersia). Gaya sentrifugal (Ft) berarah menjadi pusat perputaran sebagai reaksi dari gaya sentripetal kearah pusat perputaran benda. Persamaan (1) dapat disederhanakan menjadi:

$$F_r = m \cdot r \cdot \omega^2 \text{ (N)} \dots\dots\dots (3)$$


Gambar 2 Ketidakseimbangan rotor dua dimensi

Jika rotor tersebut ditumpu pada sebuah tumpuan dan diberi kebebasan bergerak arah lateral maka akan timbul gerakan oskilasi sinusoidal yang disebabkan oleh gaya sentrifugal akibat adanya konsentrasi massa.

Untuk kasus ketidakseimbangan rotor yang panjang dengan melibatkan dua tumpuan dan diberi kebebasan bergerak maka basis analisis didasarkan pada arah tiga dimensi (dua dimensi arah lateral dan satu dimensi arah longitudinal) dengan beberapa konsentrasi massa akan membentuk momen bengkok (bending moment) yang bervariasi di kedua tumpuan.



Gambar 3. Ketidakseimbangan dinamik rotor tiga dimensi

Implementasi Metode Convergen Load Traching

Dalam banya kasus dimana aspek kekuatan konstruksi maka penyeimbang dilakukan dengan cara menempatkan massa perlawanan (counter mass) pada radius dan bidang yang sudah ditentukan di kedua ujung rotor. Dengan a (m) adalah jarak dari masing-masing konsentrasi massa ke bidang acuan, maka syarat keseimbangan yang harus dipenuhi adalah ;

Keseimbangan Statik

$$\sum m r \cos \theta = 0 \text{ dan } \dots\dots\dots(4)$$

$$\sum m r \sin \theta = 0$$

Keseimbangan Dinamik

$$\sum m a \cos \theta = 0 \text{ dan}$$

$$\sum \text{masin}\theta=0\dots\dots\dots (5)$$

Dalam penelitian ini, proses penyeimbangan dilakukan dengan memberikan massa perlawanan di kedua bidang (kiri dan kanan) yang disediakan oleh rotor. Sangat untuk menentukan posisi dari konsentrasi massa, baik kearah lateral (sepanjang poros) maupun arah radial (menyangkut sudut dan datum). Salah satu sisi yang sudah seimbang dapat berubah jika sisi lain diberi massa penyeimbang. Begitu juga sebaliknya. Metode Convergent Load Traching meberikan solusi dalam menentukan nilai akhir dan sudut massa perlawanan dikedua bidang penyeimbang. Metode ini berintikan pelacakan massa penyebab ketidakseimbangan rotor. Proses pemberian massa percobaan dilakukan di satu sisi, selanjutnya dilakukan pembacaan respon gaya sentrifugal. Pemberian massa pelawan dilakukan secara bergantian antara kedua sisi. Jika keseimbangan sudah dicapai (diindikasikan oleh kecilnya gaya sentrifugal yang terbaca), maka putaran motor dinaikkan. Proses selanjutnya adalah memberikan massa pelawan dengan nilai dan sudut yang terbaca.

Demikian aktivitas ini dilakukan hingga rotor mencapai putran tertinggi dan menghasilkan gaya sentrifugal yang menuju nol (konvergen). Kegiatan akhir adalah melakukan perhitungan aljabar bagi beberapa massa pelawan yang sudah terpasang di kedua sisi. Selanjutnya, dengan metode titik berat akan ditentukan nilai dan sudut dari sebuah massa pelawan, satu dari kiri dan satu dari kanan.

BAHAN DAN METODE

Kegiatan ini diawali dengan rancang bangun mesin. Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah:

Rancang Bangun Mesin:

1. Rangka Mesin

Rangka berfungsi sebagai infra struktur dimana komponen mesin akan ditemptkan. Faktor yang menjadi pertimbangan dalam pembuatan rangka antara lain adalah aspek geometri (kesejajaran, kekuatan, keseimbangan), aspek konstruksi (kekuatan, kekakuan, kesetabilan dan kekerasan) serta aspek argonomis (kemudahan dalam mengoperasikan mesin). Pada sistem rangka terdapat beberapa subsistem, antara lain:

 - a. Rangka Penyangga, berfungsi untuk memegang, mengangkat dan mempertahankan posisi komponen mesin. Dirancang dan dibuat dengan sasaran untuk menjamin signifikansi data-data ketika mesin diuji'
 - b. Sistem Pengatur, berfungsi untuk mengatur kekencangan sabuk serta posisi dari instrument pengujian.
 - c. Rongga penyangga dan dan stopper, berfnsgsi untuk mempermudah pada proses pemindahan serta penguncian agar mesin tidak bergeser pada saat dioperasikan.
2. Komponen Utama Mesin

Komponen utama mesin sebagian dibuat sedangkan, bagian yang lain berupa komponen standar yang dibeli di pasaran sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Penepatan komponen-komponen tersebut akan diatur sedemikian sehingga bersifat fleksibel untuk setiap penggantian rotor uji. Komponen-komponen tersebut antara lain:

 - a. Motor penggerak, berfungsi untuk memutar rotor pada frekwensi yang telah ditetapkan. Untuk menjamin kesetabilan putaran maka dipilih motor listrik jenis DC asinkron dengan daya 250 Watt pada sumber tegangan AC 220 Volt

- b. Transmisi mekanik, berfungsi untuk memberikan variasi putaran rotor ketika dilakukan pengujian. Sistem yang dipakai adalah menggunakan pasangan sabuk dan pulley. Perbandingan transmisi bertingkat dipilih dengan rasio 1 : 2 : 3. Poros opsional berfungsi untuk mengikat rotor dari berbagai jenis ukuran.
- c. Tumpuan, berfungsi untuk menempatkan rotor yang akan diuji serta membrikan kebebasan rotor untuk beroksilasi. Karena meliputi rotor yang panjang maka terdapat dua tumpuan di kedua ujung rotor yang masing-masing dibentuk dari dua buah bantalan gelinding (ball bearing). Tumpuan diletakkan di atas batang luncur yang berada di atas rangka. Pada bidang luncur ditambahkan pegas dan peredam (absorber) serta jarum petunjuk. Pada saat pengujian mesin akan diambil data amplitudo dan posisi dari konsentrasi massa rotor.
3. Sistem Instrumentasi dan kendali.
Sistem instrumentasi dipasang dengan tujuan untuk pengambilan data pengujian, sedangkan sistem kendali dipasang untuk mendapatkan stabilitas putaran rotor. Untuk pengujian manual sistem instrumentasi terdiri dari :
- Jarum dan skala pergeseran, berfungsi untuk membaca amplitudo pada saat rotor beroksilasi arah lateral.
 - Sensor posisi, dilengkapi dengan amplifier bekerjasama dengan strobocop akan memberikan signal (berupa tegangan listrik) pada saat jarum penunjuk mencapai posisi terjauh (simpangan terbesar/amplitudo).
 - Strobocop, dengan mengambil trigger dari sensor posisi akan memberikan sinar sesaat ke bidang acuan pada rotor yang sudah diberi skala sudut, sedemikian rupa hingga posisi (sudut) dari konsentrasi massa dapat diketahui.
Untuk pengujian menggunakan komputer, maka instrumentasi yang akan dilibatkan meliputi
 - Infrared sensing* yang akan mengindera sekaligus amplitudo dan sudut konsentrasi massa.
 - Data akuisisi berfungsi untuk membaca data analog dari sensor menjadi data biner.
 - Program komputer, yang berfungsi untuk mengubah data biner menjadi data tampilan yang selanjutnya dapat dianalisis secara statistik.
- g. Fibrometer, berfungsi untuk mengetahui getaran yang terjadi setelah rotor menjalani proses penyeimbangan.
4. Sistem Keamanan.
Sistem keamanan diperlukan untuk menjamin keamanan dan keselamatan, baik untuk operator, mesin maupun motor rotor uji. Sistem keamanan yang akan dipakai pada mesin prototipe antara lain :
- Proteksi putaran lebih (over speed). Proses ini dilakukan dengan menempatkan governor elektrik sedemikian hingga jika terjadi kelebihan putaran, secara otomatis akan menggerakkan potensiometer dan menurunkan tegangan listrik DC yang disuplai ke motor listrik.
 - Rangka penutup dengan kaca akrilik, berfungsi untuk menutup mesin sehingga jika terjadi lemparan material dari dalam, pada saat dioperasikan tidak akan langsung keluar yang dapat mencelakakan operator.
 - Proteksi beban lebih (over load), berfungsi untuk memutuskan rangkaian listrik ke motor listrik jika terjadi pembebanan lebih yang ditunjukkan oleh kenaikan intensitas arus listrik (Ampere).
 - Proteksi panas, berfungsi untuk memutuskan rangkaian listrik ke motor listrik jika terjadi kenaikan temperatur diatas yang direkomendasikan.
5. Pengujian Mesin
sebelum dilakukan pengujian mula-mula dilakukan mengeset nol terhadap sensor-sensor yang dipakai. Hal ini diperlakukan bagi pengujian konvensional maupun pengujian menggunakan komputer. Sementara itu untuk pegas dan peredam juga akan disesuaikan dengan karakteristik rotor. Penyesuaian didasarkan pada hasil pembacaan data yang paling representatif. Secara garis besar prosedur pengujian adalah sebagai berikut:
- Rotor diikat pada poros opsional, diletakkan di atas dua tumpuan dan diikat dengan dua sabuk pada masing-masing pulley. Poros transmisi diset untuk kekencangan sabuk. Putaran poros opsional diset pada putaran terendah.
 - Motor listrik dihidupkan hingga putaran konstan. Data putaran dibaca menggunakan tachometer. Respon sensor diperhatikan. Pada tahap ini juga dilakukan pengesetan terhadap posisi sensor, pegas serta peredam, sedemikian hingga

- diperoleh pembacaan data yang representatif.
- c. Untuk pengujian konvensional, pembacaan data amplitudo diperoleh dari posisi jarum penunjuk dan sudut konsentrasi massa diperoleh dari penyinaran strobocop yang dihasilkan oleh sensor elektromekanik. Sedangkan untuk pengujian menggunakan komputer kedua data akan diambil dari infrared sensor selanjutnya ditampilkan dan disimpan oleh komputer. Langkah ini dilakukan pada kedua tumpuan.
 - d. Proses berikutnya adalah penyeimbangan yang mengacu pada data langkah Penyeimbangan dilakukan dengan menambahkan massa pelawan (counter mass) di kedua bidang pada rotor yang sudah ditetapkan. Posisi massa pelawan berseberangan dengan posisi konsentrasi massa rotor. Nilai dari massa pelawan dicoba-coba sedemikian hingga pada saat dilakukan pengujian kembali, rotor akan menghasilkan amplitudo yang lebih kecil. Coba-coba (Metode Convergent Load Tracing) dilakukan hingga diperoleh korelasi yang terbaik antara amplitudo, sudut peletakan dan nilai dari massa penyeimbang. Konsep yang dipakai pada proses ini adalah mendapatkan harga yang konvergen (menuju nol) dari amplitudo yang terjadi.
 - e. Langkah a s/d c dilakukan untuk massa dan putaran rotor yang berbeda dan akhirnya diperoleh tabel dan grafik proses penyeimbangan dengan variasi massa rotor dan variasi putaran rotor.
 - f. Untuk mendapatkan nilai dari beban tunggal di masing-masing bidang penyeimbangan dilakukan penimbangan semua massa pelawan, selanjutnya menggunakan metode titik berat akan diketahui nilai dari beban tunggal serta sudut dari posisi beban yang dimaksud.
 - g. Pemeriksaan hasil akhir dari proses penyeimbangan dilakukan dengan dua cara yaitu :

- Mengukur getaran rotot yang terjadi dibandingkan dengan Name Plate dari mesin yang mengoperasikan rotor (kegiatan ini akan memanfaatkan fasilitas bengkel PT. PUSRI).
- Melakukan pengujian kembali menggunakan mesin penyeimbang standar presisi tinggi (dilakukan di PT SUCOFINDO cabang Palembang) dan membandingkan datanya. Kesamaan kedua data diuji menggunakan metode chi-square pada confidence level 97,5 % (Hald T G., Statistics for ENgineering, McGrawHill, Inc, 1997)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Demi pencapaian tujuan, maka kegiatan disusun secara runut dan sistematis dengan alokasi waktu selama 6 bulan. Agar tidak terjadi overlap antara satu kegiatan dengan kegiatan yang lain, maka semua kegiatan akan dilaksanakan berdasarkan skala prioritas yang penulis anggap perlu.

Untuk menjamin kelancaran kegiatan, maka secara periodic selalu diadakan diskusi antar anggota pelaksanaan penelitian. Untuk memantau kegiatan penelitian dapat dilakukan sesuai dengan jadwal yang sudah dirancang. Pembagian tugas untuk tim peneliti didasarkan pada waktu dan keahlian yang sudah ditetapkan.

Kegiatan penelitian telah selesai dilaksanakan dan berlangsung sesuai dengan rencana kerja yang semula. Rancang bangun mesin penyeimbang dikerjakan di Bengkel Teknologi Mekanik Jurusan Teknik Mesin Polstri, sedangkan pengujian penyeimbangan benda putar dilaksanakan di Laboratorium M & R Jurusan Teknik Mesin Polstri. Benda putar (rotor) yang dijadikan bahan uji adalah 4 buah roda mobil lengkap dengan velgnya, dari jenis 185 R-14-88S dengan massa total 14,8 kg. keempat roda dalam keadaan tidak seimbang pada variasi putaran 500 rpm, 1500 rpm serta 2000 rpm. Tabel berikut menyajikan hasil pengujian penyeimbangan menggunakan Metode Convergent LoadTracing.

Tabel 1. Hasil pengujian penyeimbang rotor untuk $n = 500$ rpm

Tumpuan kiri			Tumpuan kanan		
Amplitudo X (mm)	Sudut θ ($^{\circ}$)	Massa pelawan m (gram)	Amplitudo X (mm)	Sudut θ ($^{\circ}$)	Massa pelawan m (gram)
5,2	58	6,1	3,5	125	2,4
4,3	53	5,5	3,4	131	2,6
4,0	58	4,3	2,7	122	2,0
3,5	61	2,9	2,5	129	1,4
2,1	59	2,4	2,1	130	0,8
1,8	60	1,3	1,2	133	0,5
0,6	60	0,6	0,5	128	0,2
0,3	59	0,2	1,1	129	0,1
0	63	0	0	130	0,1
Sudut dan massa pelawan	59,8	23,2	Sudut dan massa pelawan	128,4	10,1

Tabel 2. Hasil pengujian penyeimbangan rotor untuk $n = 1000$ rpm

Tumpuan kiri			Tumpuan kanan		
Amplitudo X (mm)	Sudut θ ($^{\circ}$)	Massa pelawan m (gram)	Amplitudo X (mm)	Sudut θ ($^{\circ}$)	Massa pelawan m (gram)
6,2	238	4,1	3,7	321	2,3
5,6	239	3,8	3,6	322	2,1
4,8	236	3,4	2,1	315	2,0
3,7	240	2,6	2,0	318	1,6
2,4	243	1,9	1,1	332	1,3
1,8	238	1,1	0,7	315	0,9
0,4	239	0,4	0,3	335	0,7
0,1	235	0,3	0,1	329	0,2
0	236	0,1	0	338	0,2
Sudut dan massa pelawan	59,8	17,7	Sudut dan massa pelawan	326,4	11,3

Tabel 3. Hasil pengujian penyeimbang rotor untuk $n = 1500$ rpm

Tumpuan kiri			Tumpuan kanan		
Amplitudo X (mm)	Sudut θ ($^{\circ}$)	Massa pelawan m (gram)	Amplitudo X (mm)	Sudut θ ($^{\circ}$)	Massa pelawan m (gram)
4,8	202	5,6	3,3	112	3,5
4,3	198	5,2	2,9	117	3,2
3,9	205	4,8	2,7	108	2,4
3,5	206	3,5	2,4	107	1,8
2,2	201	2,4	2,0	106	0,7
1,5	202	1,1	1,4	114	0,5
0,9	197	0,7	0,3	115	0,2
0,1	195	0,5	0,1	109	0,1
0	205	0,2	0	108	0,1
Sudut dan massa pelawan	199,0	29,0	Sudut dan massa pelawan	111,5	12,4

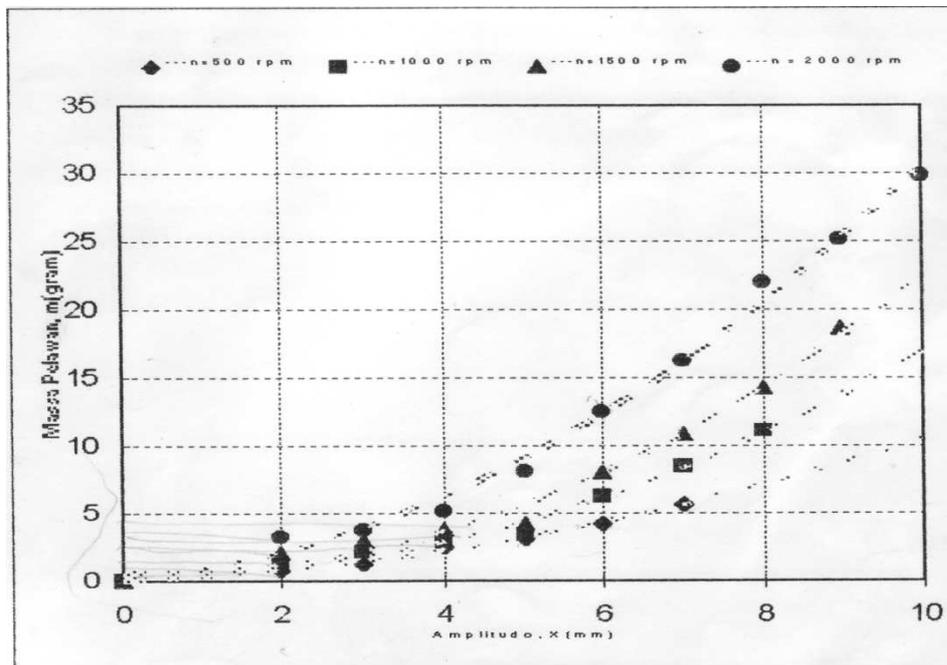
Tabel 4. Hasil pengujian penyeimbang rotor untuk n = 2000 rpm

Tumpuan kiri			Tumpuan kanan		
Amplitudo X (mm)	Sudut θ ($^{\circ}$)	Massa pelawan m (gram)	Amplitudo X (mm)	Sudut θ ($^{\circ}$)	Massa pelawan m (gram)
7,8	91	6,2	4,5	15	2,1
6,8	85	5,6	4,4	13	1,6
4,9	89	4,6	3,7	12	1,0
3,8	94	2,4	2,4	12	0,9
2,9	93	2,3	2,0	15	0,7
1,8	90	1,1	1,6	9	0,5
0,5	88	0,8	0,5	8	0,4
0,3	91	0,3	1,1	14	0,1
0	94	0,2	0	13	0
Sudut dan massa pelawan	59,8	23,2	Sudut dan massa pelawan	12,8	7,3

Tabel 5. Rangkuman hasil pengujian untuk 4 rotor sejenis dan 4 variasi putaran

N = 500 rpm		N = 1000 rpm				N = 1500 rpm				N = 2000 rpm					
Tumpuan kiri		Tumpuan kanan													
X (mm)	m (gm)	X (mm)	m (gm)	X (mm)	m (gm)	X (mm)	m (gm)	X (mm)	m (gm)	X (mm)	m (gm)	X (mm)	m (gm)	X (mm)	m (gm)
5,2	23,2	3,6	10,1	6,2	17,7	3,7	11,3	4,8	29	3,3	12,4	7,8	23,5	4,5	7,3

Dari table 1, 2, 3 dan 4 setelah melalui interpolasi diperoleh hubungan antara amplitudo dan massa pelawan untuk 4 variasi putaran. Kurva penyeimbang berikut ini berlaku untuk tumpuan kanan dan tumpuan kiri.



Gambar 6. Kurva Kolerasi antara massa pelawan, Amplitudo dan variasi putaran rotor

Dari kedua kurva gambar mengindikasikan adanya kecenderungan turun menuju ke titik nol. Rotor yang sudah dinyatakan sudah seimbang (balance), selanjutnya dicek menggunakan mesin penyeimbang menghasilkan tingkat keakuratan

97,8 %. Hal ini menunjukkan kinerja mesin penyeimbang yang dibuat adalah dalam kondisi baik. Mesin yang dibuat, selain mudah dioperasikan, juga mudah dalam melakukan perawatan dan perbaikan. Mesin dapat dipergunakan sebagai bahan praktikum

mahasiswa, khususnya pada mata kuliah praktek perawatan mesin industri

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa mesin yang dibuat, setelah dicek (dibandingkan) dengan mesin buatan industri menunjukkan keakuratan 97,8%. Hal ini menunjukkan kinerja mesin penyeimbang yang dibuat dapat digunakan, khususnya untuk alat praktek mahasiswa di Laboratorium Perawatan dan Perbaikan. Selain itu alat ini mudah dioperasikan juga mudah dalam melakukan perawatan dan perbaikan.

Saran

1. Pada saat melakukan pengujian hendaklah mengenakan pakain praktikum serta sistem keamanan
2. Gunakan prosedur yang sudah ada dan lakukan penyeimbangan yang benar

DAFTAR PUSTAKA

Beckwith T G and Buck N L., 1982, *Mechanical Measurement*, 3th editon, Addison Wesley, Inc

Ber F P and Jhonstone, E.R., 1982, *Mechanical Engineering, Dynamics*, PradWhitney Publisher

Hald F and Teddy B., 1987, *Statistics for Engneer*, 3th edition, McGraw-Hiil, Inc

Holowenko,A.R, 1985, *Dynamics of Machinery*, 2nd edition, Jhon Willey & Son, Inc

Jhonson C. et.al., 1999, *Convergen Loat Tracing Methode.*, American Journal of Engineering Vibration, 21th edition, Sec 6, p-231-238

Sigley J and Mitchell L D.,1982, *Mechanical Engineering Design*, International Edition, McGraw-Hill, Inc

William T & Thomson., 1991, *Theory of Vibration With Application*, 4thedition, Prntce Hall, Inc