

# SEMI OTOMASI MESIN PENYEIMBANG

Oleh:

Zainal Abidin, Komang Bagiasna, Sigit Purwowinarwan, Ishak S. Iskandar  
Laboratorium Dinamika, PAU-Ilmu Rekayasa ITB.

## Abstract

*This paper presents research on the development of semi automation technique for balancing machines. Using this technique, rotational speed of rotors, data acquisition process, and amplitude and phase of vibration calculations could be performed by a computer. Consequently, faster and more accurate balancing process can be achieved. The effectiveness of the proposed control method was verified using experimental results. In this test, the rotor speed was measured by and compared to the results obtained from software, a digital oscilloscope, a digital tachometer and a Multi Channel Spectrum Analyzer (MSA). Furthermore, to verify the accuracy of amplitude and phase calculations, the values obtained from the developed software were compared to those from analytical results obtained from MSA.*

## Ringkasan

Dalam makalah ini dikemukakan tentang pengembangan teknik semi otomasi mesin penyeimbang. Dengan teknik ini kecepatan putar benda kerja, proses akuisisi data sinyal getaran dan perhitungan amplitudo serta sudut fasa getaran dapat dilakukan oleh komputer. Akibatnya, proses penyeimbangan dapat dilakukan dengan cepat dan teliti. Untuk membuktikan keefektifan metode pengaturan kecepatan yang dikembangkan, dilakukan pengujian ketelitian kecepatan benda kerja yang dapat dicapai, baik diukur dengan perangkat lunak, digital osiloskop, tachometer digital, maupun Multi Channel Spectrum Analyzer (MSA). Disamping itu, untuk membuktikan ketelitian perhitungan amplitudo dan sudut fasa, harga-harga yang diperoleh dari perangkat lunak yang telah dikembangkan, dibandingkan dengan hasil analisis yang diperoleh dari MSA.

**Keywords :** Balancing Machine, Semi Automation, Discrete Fourier Transform, Inverter

Simbol	Keterangan	Satuan
A	Amplitudo getaran setelah proses penyeimbangan	m/s <sup>2</sup>
A <sub>o</sub>	Amplitudo getaran awal	m/s <sup>2</sup>
f <sub>p</sub> (t)	fungsi waktu	---
f <sub>s</sub>	frekuensi cuplik	Hz
T	periode	s
t	waktu	s
Δt	selang waktu pencuplikan	s

## 1. PENDAHULUAN

Untuk memenuhi kebutuhan industri akan mesin penyeimbang yang murah dan memiliki kualitas yang baik, Laboratorium Dinamika PAU-IR ITB telah mengembangkan prototipe mesin penyeimbang dan metode penyeimbangan yang baru.

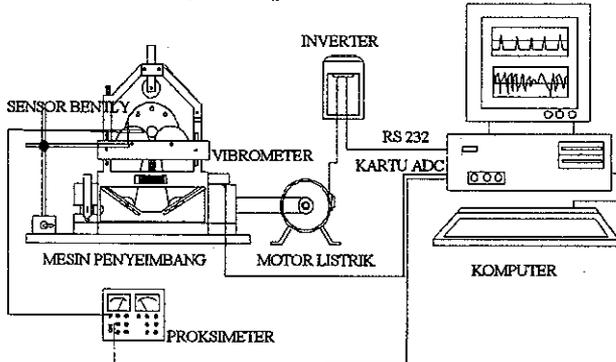
Penelitian awal dilakukan oleh Munasta [1] yang mengkaji beberapa metode penyeimbangan konvensional. Penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh Ermansyah [2] yang melakukan kaji teoritis dan eksperimental tentang penyeimbangan sistem poros rotor dengan banyak bidang penyeimbangan.

Selanjutnya, penelitian lain dilakukan oleh Saifudin [3] yang mengkaji proses penyeimbangan konvensional dengan menggunakan MSA. Melalui dana penelitian Hibah Bersaing I, Lab. Dinamika PAU-IR ITB telah berhasil membuat dua mesin penyeimbang berkapasitas 100 kg dan 500 kg. Disamping itu, Lab. Dinamika juga telah mengembangkan metode penyeimbangan berdasarkan kurva lacakan orde (Abidin [4] dan Irwanto [5]). Walaupun demikian, proses penyeimbangan pada mesin penyeimbang ini masih memerlukan MSA yang harganya relatif mahal. Selain itu, pengaturan kecepatan motor pada mesin penyeimbang ini masih dilakukan secara manual sehingga memerlukan waktu yang lama.

Untuk mempercepat proses penyeimbangan tersebut, dalam makalah ini akan dikemukakan penelitian tentang semi otomasi mesin penyeimbang yang berbasis komputer PC. Penelitian ini bermaksud untuk mengotomasi pengaturan kecepatan putar benda kerja dan menggantikan pemakaian MSA dengan sebuah komputer PC yang dilengkapi dengan kartu akuisisi data. Hasil penelitian ini dinamakan **semi** otomasi karena metode penyeimbangannya sendiri belum diotomasi (jadi masih memerlukan massa coba).

## 2. SEMI OTOMASI MESIN PENYEIMBANG

Pada mesin penyeimbang yang menerapkan teknik semi otomasi, sinyal yang berasal dari sensor posisi (*Bently probe*) dan *vibrometer* langsung dimasukkan ke dalam kartu ADC. Kartu ADC ini dipasang pada *expansion slot* dari komputer PC. Dengan demikian, sinyal posisi maupun sinyal getaran dapat langsung dicuplik oleh komputer. Jadi, peran osiloskop dan alat penganalisis dapat digantikan oleh komputer. Oleh karena itu, perangkat lunak yang dibuat harus mampu mencuplik data, menghitung frekuensi, mengatur kecepatan putar benda kerja sampai ke harga yang diinginkan dan menghitung amplitudo serta sudut fasa getaran. Perhitungan lebih lanjut yang perlu dilakukan adalah menentukan besar dan posisi massa tak seimbang, baik untuk penyeimbangan statik maupun dinamik. Skema dari perangkat uji yang digunakan untuk penelitian semi otomasi ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema perangkat uji dalam semi otomasi mesin penyeimbang.

Dalam gambar 1 terlihat bahwa komputer mula-mula mencuplik sinyal dari sensor *Bently*. Berdasarkan data ini, kecepatan putar benda kerja kemudian dihitung dan dibandingkan dengan harga yang diinginkan. Aksi koreksi yang diperlukan kemudian dikirimkan oleh komputer ke *inverter*. Proses pengaturan kecepatan putar ini berlangsung sampai kecepatan putar yang diinginkan sama dengan kecepatan yang terjadi. Bila proses ini selesai, pencuplikan data sinyal getaran baru dapat dilakukan.

Dalam penelitian ini, *inverter* yang digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor AC induksi adalah CD

75-750 buatan Control Techniques, U.K. [6]. *Inverter* ini mempunyai fasilitas pengaturan kecepatan putar motor secara jerat terbuka (*open loop*) melalui komunikasi *serial*. Jadi, *inverter* dapat diperintah oleh komputer untuk mengubah harga kecepatan putar motor bila diinginkan.

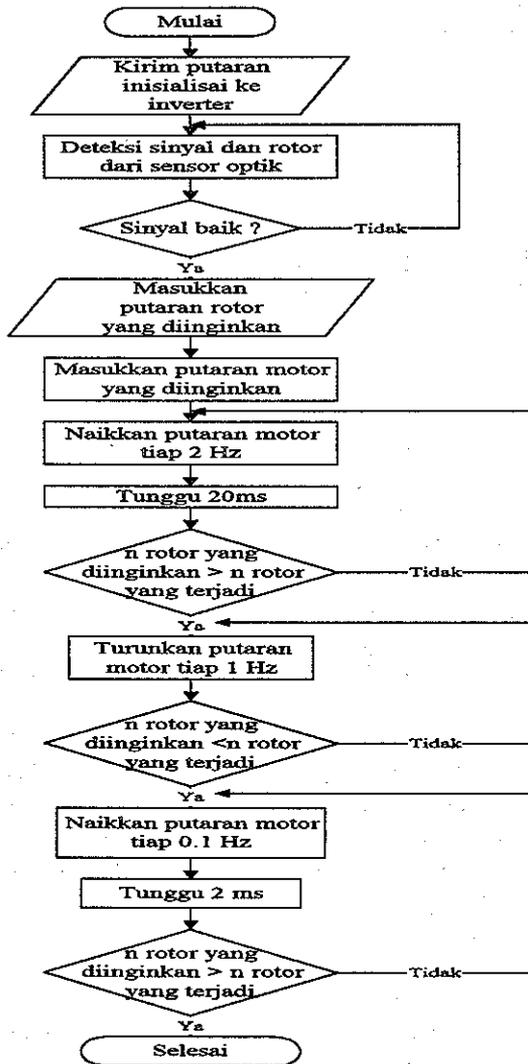
Kesulitan utama yang muncul dalam pengaturan kecepatan putar benda kerja dikarenakan kecepatan putar motor yang diinginkan tidak diketahui. Dalam proses penyeimbangan, besaran yang diketahui adalah kecepatan putar benda kerja. Pemakaian transmisi sabuk, selip pada sabuk serta perbedaan diameter puli motor dan poros benda kerja menyebabkan kecepatan putar motor tidak sama dengan kecepatan putar benda kerja. Oleh karena itu, pengaturan kecepatan motor harus didasarkan pada kecepatan putar benda kerja yang diinginkan, bukan kecepatan putar motor.

## 3. STRATEGI PENGENDALIAN MOTOR

Hal yang unik pada kebanyakan mesin penyeimbang serbaguna (*universal balancing machine*) adalah bahwa sensor kecepatan putar tidak dapat dipasang pada benda kerja. Hal ini disebabkan karena benda kerja yang akan diseimbangkan berubah-ubah. Perubahan ini meliputi perubahan massa (dan inersia), diameter poros dan besar kecepatan penyeimbangan. Satu-satunya sensor posisi yang tersedia untuk mesin penyeimbang serbaguna adalah sensor optik yang bersifat *retro-reflektif* (optik-pantul) atau *Bently probe* (sensor arus Eddy). Dengan sensor ini, pada permukaan benda kerja cukup dipasang kertas yang dapat memantulkan cahaya (optik) atau *keyphasor* (tonjolan). Jadi, keluaran dari sensor ini akan berupa sinyal satu pulsa per putaran. Karena itu, besar kecepatan putar benda kerja harus dihitung dari sinyal ini.

Dalam semi otomasi mesin penyeimbang, pengontrolan kecepatan putar benda kerja dilakukan dengan menggunakan sistem pengontrolan jerat tertutup (*closed loop*). Karena harga kecepatan putar motor yang diinginkan tidak diketahui maka pengaturan kecepatan putar motor dilakukan dengan cara bertangga. Jadi bila diinginkan kecepatan putar benda kerja sebesar 1000 rpm, maka pertama-tama komputer akan memerintah inverter untuk menaikkan kecepatan putar motor sebesar 120 rpm (2 Hz). Setelah ditunggu 20 ms, kecepatan putar benda kerja kemudian dihitung berdasarkan sinyal dari sensor *Bently*. Bila kecepatan benda kerja yang terjadi adalah 300 rpm, maka komputer akan memerintahkan inverter untuk menaikkan kecepatan putar motor menjadi 240 rpm (4 Hz). Demikian seterusnya sampai kecepatan putar benda kerja melebihi harga yang diinginkan. Langkah selanjutnya adalah menurunkan kecepatan putar motor. Penurunan kecepatan putar motor dilakukan setiap selang 60 rpm (1 Hz) sampai kecepatan benda kerja lebih rendah dari

harga yang diinginkan. Pada tahap akhir, kecepatan putar motor dinaikkan untuk selang 6 rpm (0.1 Hz). Demikian seterusnya sampai tercapai harga koreksi terkecil yang mampu diterima oleh inverter. Algoritma pengaturan kecepatan putar benda kerja ditunjukkan pada Gambar 2.



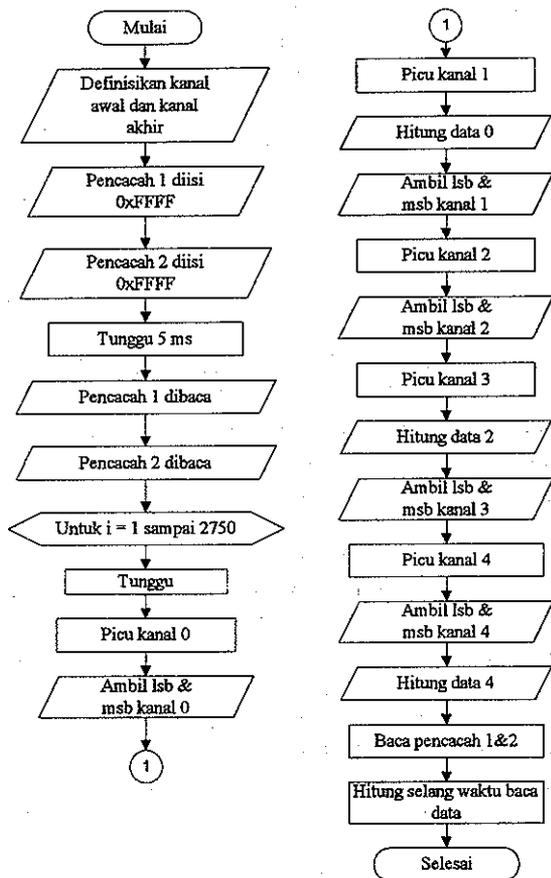
Gambar 2. Teknik kendali kecepatan putar benda kerja dengan algoritma bertangga.

Walaupun bersifat 'coba-coba', algoritma di atas ternyata dapat berfungsi dengan baik. Karena bersifat bertangga, metode ini dapat diatur untuk menghindari terjadinya *overshoot* yang berlebihan.

#### 4. STRATEGI PENGAMBILAN DATA

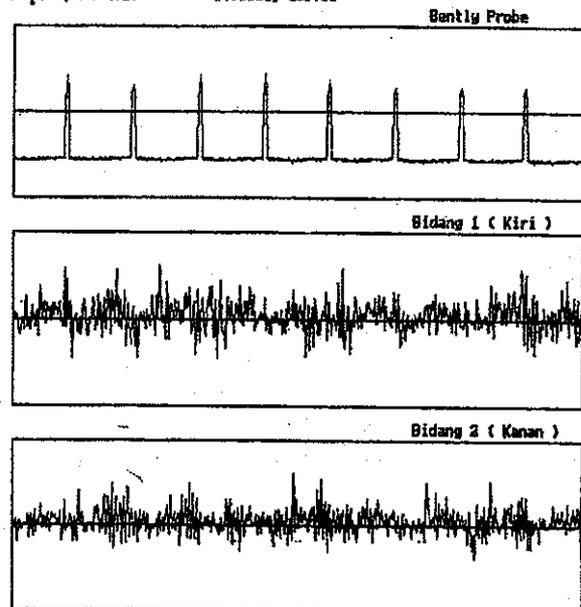
Pencuplikan data dilakukan dengan menggunakan kartu akuisisi data DAS 16 [7]. Pencuplikan data untuk penyeimbangan statik memerlukan 2 buah kanal masukan sedangkan untuk penyeimbangan dinamik memerlukan 3 buah kanal masukan. Untuk satu kali pengambilan data, pada setiap kanal akan dicuplik data

sebanyak 2750 buah. Diagram alir proses akuisisi data disajikan dalam Gambar 3, sedangkan contoh data yang diperoleh disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 3. Diagram alir proses akuisisi data.

frekuensi : 36.34  
 amp[1], fasa[1] : 0.88578, 184.62  
 amp[2], fasa[2] : 0.88621, 189.83



Gambar 4. Contoh data hasil cuplikan menggunakan kartu akuisisi data DAS 16 [8].

## 5. STRATEGI PENGOLAHAN DATA

Setelah proses akuisisi data selesai, perhitungan amplitudo dan sudut fasa dari sinyal getaran dengan frekuensi 1xRPM dapat dilakukan. Proses perhitungan amplitudo dan sudut fasa dilakukan dengan menggunakan transformasi Fourier diskrit. Pada uraian berikut ini akan dijelaskan secara singkat tentang proses transformasi tersebut.

Kandungan frekuensi yang terdapat dalam suatu sinyal yang kontinu dalam wawasan waktu dapat diketahui dengan cara mengubahnya menjadi sinyal dalam wawasan frekuensi. Suatu sinyal periodik  $f_p(t)$  dengan periode sebesar  $T$  dapat dinyatakan dalam deret Fourier sebagai berikut :

$$f_p(t) = \sum_{k=0}^{N-1} D_n \cdot e^{2\pi j \frac{kt}{T}} \quad (1)$$

dengan :

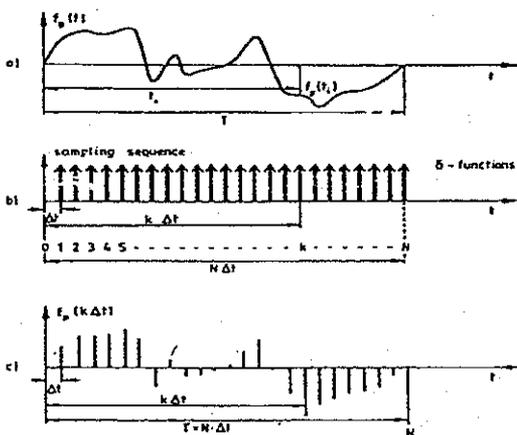
$$D_n = \frac{1}{T} \int_0^T f_p(t) \cdot e^{-2\pi j \frac{kt}{T}} dt \quad (2)$$

Jika sinyal kontinu  $f_p(t)$  ini kemudian dicuplik secara teratur dengan selang pencuplikan  $\Delta t$ , maka  $t$  dapat ditulis menjadi  $t_i = k\Delta t$ , sehingga:

$$f_p(t_i) \cdot e^{-2\pi j \frac{t_i}{T}} = f_p(k\Delta t) \cdot e^{-2\pi j \frac{k\Delta t}{T}} = f_k \cdot e^{-2\pi j \frac{nk}{N}} \quad (3)$$

dengan  $T = N \cdot \Delta t$ . Gambar 5 memberikan ilustrasi tentang proses pencuplikan suatu sinyal kontinu menjadi sinyal diskrit. Dalam hal ini notasi integral pada persamaan (2) dapat diubah menjadi penjumlahan berhingga, seperti dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$D_n = \frac{1}{N \cdot \Delta t} \sum_{k=0}^{N-1} f_k \cdot e^{-2\pi j \frac{nk}{N}} \cdot \Delta t \quad (4)$$



- a. Fungsi kontinu  $f_p(t)$
- b. Fungsi pencuplik
- c. Fungsi hasil pencuplikan  $f_p(k\Delta t)$ .

Gambar 5. Ilustrasi proses pencuplikan sinyal kontin menjadi sinyal diskrit [9].

Selanjutnya, Persamaan (2) dapat disederhanakan menjadi

$$D_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f_k \cdot e^{-2\pi j \frac{nk}{N}} \quad (5)$$

Persamaan (5) inilah yang disebut sebagai transformasi Fourier diskrit.

Interval antara dua komponen frekuensi  $D_n$ , adalah :

$$\Delta f = f_o = \frac{1}{T} = \frac{1}{N \cdot \Delta t} = \frac{f_s}{N} \quad (6)$$

Dalam Persamaan (6)  $f_s = 1/T$  disebut frekuensi cuplik (*sampling frequency*), sedangkan  $\Delta f$  merupakan resolusi yang diperoleh dari transformasi Fourier diskrit dari sinyal yang diamati selama selang waktu  $T$ .

Simbol frekuensi dalam Gambar 4 menyatakan kecepatan putar dari benda kerja dalam Hz. Adapun data amp[1] dan fasa[1] menyatakan amplitudo dan sudut fasa dari sinyal massa tak seimbang yang terukur oleh vibrometer pada pedestal kiri, sedangkan amp[2] dan fasa[2] menyatakan data yang sama untuk pedestal kanan. Data amplitudo dan sudut fasa ini merupakan hasil dari proses transformasi Fourier diskrit.

## 6. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keandalan dan ketelitian dari teknik semi otomatis mesin penyeimbang yang telah dikembangkan. Pengujian yang dilakukan dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu pengujian kontrol kecepatan, pengujian perhitungan amplitudo dan sudut fasa serta pengujian penyeimbangan. Uraian berikut ini akan menjelaskan pengujian-pengujian tersebut.

### 6.1 Uji kontrol kecepatan

Uji kontrol kecepatan dilakukan untuk mengetahui ketelitian kecepatan putar benda kerja yang diatur secara otomatis oleh komputer dan *inverter*. Pengujian dilakukan dengan membaca kecepatan putar benda kerja yang didapat dari komputer dan membandingkannya dengan hasil yang diperoleh dari pembacaan *optical tachometer*, *mechanical tachometer*, dan osiloskop digital. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kontrol Kecepatan

Frek yang diinginkan	Kecepatan Putar Benda Kerja (Hz)			
	Komp.	Os. Dig.	M. T.	O.T.
10,00	10,05	10,05	10,00	10,25
16,67	16,84	16,80	16,67	16,33
20,00	20,17	20,24	20,33	19,67
30,00	30,13	30,15	30,00	30,00
33,33	33,55	33,41	33,33	33,33
40,00	40,54	39,72	39,67	40,00
50,00	50,10	50,20	50,00	51,00
60,00	60,20	60,31	59,83	61,33
70,00	73,82	65,80	65,50	70,50

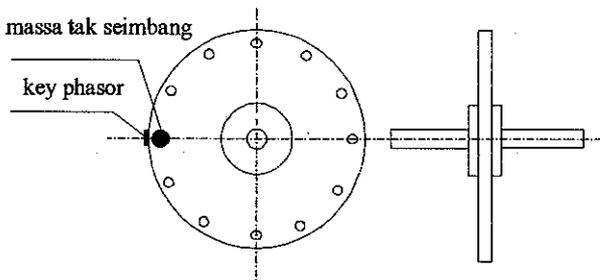
Keterangan :

- Komp : Komputer
- Os. Dig : Digital Oscilloscope HP 54201A
- M. T. : Mechanical Tachometer Hasler
- O. T. : Optical Tachometer Strobotac

Pada Tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa kecepatan putar benda kerja hasil dari pengontrolan menggunakan perangkat lunak sudah cukup baik. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan yang tidak terlalu besar antara kecepatan putar yang diinginkan dengan kecepatan putar benda kerja yang terjadi. Perbedaan ini disebabkan oleh resolusi yang dimiliki oleh inverter tidak terlalu baik (0,1Hz). Walaupun demikian, pada kecepatan putar di atas 3600 rpm (60 Hz), pengaturan kecepatan putar benda kerja maupun perhitungan frekuensi yang dilakukan oleh perangkat lunak kurang memuaskan. Hal ini karena sinyal yang dikeluarkan sensor posisi tidak cukup baik, sehingga perangkat lunak sukar untuk menentukan batas nilai picu yang digunakan untuk menghitung banyaknya puncak gelombang.

### 6.2 Uji perhitungan amplitudo dan sudut fasa

Pengujian amplitudo dan sudut fasa dilakukan untuk mengetahui ketelitian amplitudo dan sudut fasa hasil perhitungan dengan komputer. Uji amplitudo dan sudut fasa ini dilakukan dengan menggunakan sumber sinyal yang terukur pada vibrometer. Benda uji yang digunakan dalam pengujian amplitudo dan sudut fasa ini ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Benda uji dalam pengujian amplitudo dan sudut fasa.

Massa tak seimbang yang ditempelkan pada rotor besarnya 4,8 gram. Dalam pengujian ini sinyal yang diperoleh dari sensor didiskritkan oleh kartu ADC, kemudian hasilnya disimpan ke dalam suatu array oleh komputer. Komponen sinyal yang mempunyai frekuensi 1xRPM disarikan oleh perangkat lunak. Amplitudo sinyal harmonik yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan yang diperoleh dengan menggunakan MSA. Hasil pengujian amplitudo ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Amplitudo Dengan Massa Tak Seimbang 4,8 gram

Frek Hz	Komputer		MSA		Selisih	
	Bid. Kiri	Bid. Kanan	Bid. Kiri	Bid. Kanan	Bid. Kiri	Bid. Kanan
20,00	1.63	1.75	1.73	1.89	0.10	0.14
	1.31	1.76	1.69	1.83	0.38	0.07
	1.43	1.78	1.73	1.95	0.30	0.17
30,30	5.70	6.21	5.23	5.95	-0.47	-0.26
	5.50	6.11	5.52	6.06	-5.50	0.05
	5.29	6.33	4.47	5.97	-0.82	-0.36
40,00	12.31	13.57	12.05	13.11	-0.26	-0.46
	12.20	13.50	11.97	13.15	-0.23	-0.35
	12.44	13.42	11.99	12.83	-0.45	-0.59
50,00	27.14	28.41	25.68	26.72	-1.46	-1.69
	27.16	28.29	26.11	27.04	-1.05	-1.25
	27.06	28.30	25.54	27.10	-1.52	-1.20

Pada Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa besar amplitudo yang dihitung dengan program komputer tidak jauh berbeda dengan amplitudo yang diukur dengan MSA. Dalam pengujian ini, besarnya sudut fasa yang dihitung oleh program tidak dapat dibandingkan dengan hasil MSA karena pada MSA digunakan filter anti aliasing sehingga dikhawatirkan dapat menyebabkan pergeseran fasa.

Untuk menghindari pemakaian MSA, maka massa tak seimbang dan reflektor keyphasor diletakkan pada posisi yang sama. Akibatnya perbedaan fasa antara sinyal keyphasor dan sinyal harmonik 1xRPM haruslah 0°. Tetapi karena sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor kecepatan, maka beda fasa antara kedua sinyal tersebut akan terlihat sebagai 90°. Selanjutnya, perbedaan fasa sebesar 90° ini akan dilaporkan sebesar 180° oleh komputer karena pemilihan sinyal sinus acuan. Hasil pengujian ketelitian sudut fasa ini disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Sudut Fasa

Frekuensi Hz	Sudut Fasa derajat	Selisih* derajat
20.26	197.32	17.32
20.18	200.64	20.64
30.34	189.03	9.03
30.28	187.76	7.76
39.06	185.56	5.56
39.11	183.88	3.88
50.31	178.07	-1.93
50.27	179.68	-0.32

\* : selisih dengan 180°

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa selisih antara sudut fasa hasil pengukuran dan harga sebenarnya (180°) cenderung mengecil bila kecepatan putar benda kerja semakin tinggi. Hal ini terjadi karena amplitudo sinyal harmonik 1xRPM pada kecepatan rendah terlalu kecil bila dibandingkan dengan rentang pengukuran.

### 6.3 Uji penyeimbangan

Pengujian penyeimbangan ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem semi otomatis secara

keseluruhan. Unjuk kerja suatu proses penyeimbangan dapat dilihat berdasarkan pengurangan tingkat getaran sesudah proses penyeimbangan dilakukan. Formulasi matematik dari prestasi penyeimbangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Prestasi penyeimbangan} = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \cdot 100\% \quad (7)$$

dimana :

$A_0$  : tingkat getaran sebelum penyeimbangan

$A$  : tingkat getaran sesudah penyeimbangan

Untuk membandingkan efektifitas proses penyeimbangan dengan teknik ini, maka prestasi penyeimbangannya dibandingkan dengan prestasi penyeimbangan yang dicapai dengan menggunakan MSA. Kaji banding hasil penyeimbangan dinamik dengan menggunakan teknik semi otomasi dan MSA ditunjukkan pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Hasil Pengujian Penyeimbangan

Frek (Hz)	Teknik Semi Otomasi				MSA	
	Bidang Kiri		Bidang Kanan		Prestasi Bid. Kiri	Prestasi Bid. Kanan
	Prestasi	Rata-rata	Prestasi	Rata-rata		
20,00	51,20%	55,30%	47,20%	57,78%	42,23%	60,69%
	37,60%		41,20%			
	37,40%		46,70%			
	95,00%		96,00%			
30,00	24,50%	66,18%	51,59%	75,58%	38,57%	60,69%
	75,87%		73,64%			
	84,16%		83,60%			
	89,20%		93,47%			
40,00	42,70%	68,85%	43,40%	67,45%	57,49%	61,63%
	90,58%		90,44%			
	68,67%		66,67%			
	73,43%		69,27%			

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat terlihat bahwa prestasi penyeimbangan yang dicapai dengan teknik ini lebih baik jika dibandingkan dengan prestasi penyeimbangan MSA. Oleh karena itu, penelitian ini dianggap cukup berhasil

## 7. KESIMPULAN

Dalam makalah ini telah dibahas mengenai teknik semi otomasi mesin penyeimbang. Dari pengujian dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan berikut :

1. Teknik semi otomasi yang telah dikembangkan mampu mengatur kecepatan putar benda kerja dan menghitung amplitudo serta sudut fasa dari sinyal getaran karena massa tak seimbang. Dengan demikian, teknik semi otomasi ini telah berhasil mengurangi biaya dan jumlah peralatan yang dibutuhkan serta mempersingkat waktu proses penyeimbangan.

2. Unjuk kerja dan keandalan yang dicapai oleh metode pengaturan kecepatan putar benda kerja dan program perhitungan amplitudo serta sudut fasa sinyal getaran karena massa tak seimbang, yang telah dikembangkan dalam penelitian ini, sudah cukup baik
3. Prestasi penyeimbangan yang dicapai dengan menggunakan teknik semi otomasi ini sudah cukup baik, bahkan untuk contoh yang telah disajikan dalam makalah ini menunjukkan hasil yang lebih baik daripada MSA.

## 8. DAFTAR PUSTAKA

1. Munasta, K., : 'Pengkajian Metode-Metode Penyeimbangan dan Pemakaiannya Dalam Proses Gerinda', Tugas Sarjana S1, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, 1982.
2. Ermansyah, : 'Kaji Teoritik dan Eksperimental Penyeimbangan Poros Rotor Dengan Banyak Bidang Penyeimbangan', Tugas Sarjana S1, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, 1985.
3. Saifudin, M., : 'Kaji Proses Penyeimbangan Dengan Menggunakan Multi Channel Spectrum Analyzer, Tugas Sarjana S1, Jurusan Teknik Mesin ITB', Bandung, 1993.
4. Abidin, Z., et al., : 'Pengembangan Teknik Penyeimbangan Dengan Menggunakan Metode Suaian Kurva Lacakan Orde', Seminar ETM, Bandung, 1995.
5. Irwanto, : 'Pengembangan Metode Penyeimbangan Langsung Dengan Studi Kasus Metode Suaian Kurva Lacakan Orde', Tugas Sarjana S1, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, 1995 .
6. -----, : 'User's Guide for the CD 75-750 Variable Speed Drives', Control Techniques Crives Ltd., U.K., 1992.
7. -----, : 'DAS 16, DAS 16 F & DAS 16 G Operator's Manual, Omega Engineering Inc.', USA, 1992.
8. Purwowinarwan, S.: 'Semi Otomasi Mesin Penyeimbang', Tugas Sarjana S1, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, 1994 .
9. Newland, D.E.: 'An Introduction to Random Vibration and Spectral Analysis', 2<sup>nd</sup> Ed., Longman Ed., Prentice Hall Int. Ed., New Jersey, 1981.
10. Iskandar, I. S., et al., : 'Pengembangan Metode Penyeimbangan Langsung Tanpa Menggunakan Massa Coba', Majalah Mesin Volume XI No. 2, Jurusan Teknik Mesin ITB, 1996.