



Majelis Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung



Majelis Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**Profesor Zainal Abidin**

**PENGEMBANGAN  
METODA PERAWATAN PREDIKTIF  
BERBASIS GETARAN UNTUK MENINGKATKAN  
DAYA SAING INDUSTRI INDONESIA**

26 April 2013  
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Pidato Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung**  
26 April 2013

**Profesor Zainal Abidin**

**PENGEMBANGAN  
METODA PERAWATAN PREDIKTIF  
BERBASIS GETARAN UNTUK MENINGKATKAN  
DAYA SAING INDUSTRI INDONESIA**



Majelis Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: PENGEMBANGAN METODA PERAWATAN PREDIKTIF  
BERBASIS GETARAN UNTUK MENINGKATKAN  
DAYA SAING INDUSTRI INDONESIA  
Disampaikan pada sidang terbuka Majelis Guru Besar ITB,  
tanggal 26 April 2013.

**Hak Cipta dilindungi undang-undang.**

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

**UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis  
Data katalog dalam terbitan

Zainal Abidin  
PENGEMBANGAN METODA PERAWATAN PREDIKTIF BERBASIS GETARAN  
UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING INDUSTRI INDONESIA  
Disunting oleh Zainal Abidin

Bandung: Majelis Guru Besar ITB, 2013  
vi+46 h., 17,5 x 25 cm  
**ISBN 978-602-8468-66-4**  
1. Perancangan Mesin 1. Zainal Abidin

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karuniaNya sehingga naskah pidato ilmiah ini dapat penulis selesaikan. Terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan untuk menyampaikan pidato ilmiah dalam Sidang Terbuka Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung pada tanggal 26 April 2013.

Pidato ilmiah berjudul “**Pengembangan Metoda Perawatan Prediktif Berbasis Getaran Untuk Meningkatkan Daya Saing Industri Indonesia**” merupakan salah satu bentuk pertanggungjawaban akademik dan komitmen penulis atas jabatan sebagai Guru Besar dalam bidang Pemantauan Kondisi Mesin Berbasis Getaran.

Dalam tulisan ini penulis membahas secara ringkas perkembangan metoda perawatan mesin. Selanjutnya penulis memperkenalkan teknik perawatan prediktif berdasarkan getaran. Pada bagian akhir tulisan ini penulis memaparkan peranan teknik perawatan ini dalam mendukung daya saing industri Indonesia.

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 26 April 2013

**Zainal Abidin**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
1. SEJARAH PERKEMBANGAN METODA PERAWATAN MESIN	1
2. METODA PERAWATAN MESIN YANG SAAT INI DIGUNAKAN INDUSTRI .....	6
3. TEKNIK PEMANTAUAN DALAM METODA PERAWATAN PREDIKTIF .....	9
4. METODA PERAWATAN PREDIKTIF BERDASARKAN ANALISIS GETARAN .....	17
5. TANTANGAN METODA PERAWATAN PREDIKTIF BERDASARKAN GETARAN .....	21
6. PENGEMBANGAN PERAWATAN PREDIKTIF BERBASIS GETARAN UNTUK INDUSTRI INONESIA .....	23
7. PENUTUP .....	26
8. DAFTAR PUSTAKA .....	28
UCAPAN TERIMA KASIH .....	33
CURRICULUM VITAE .....	37

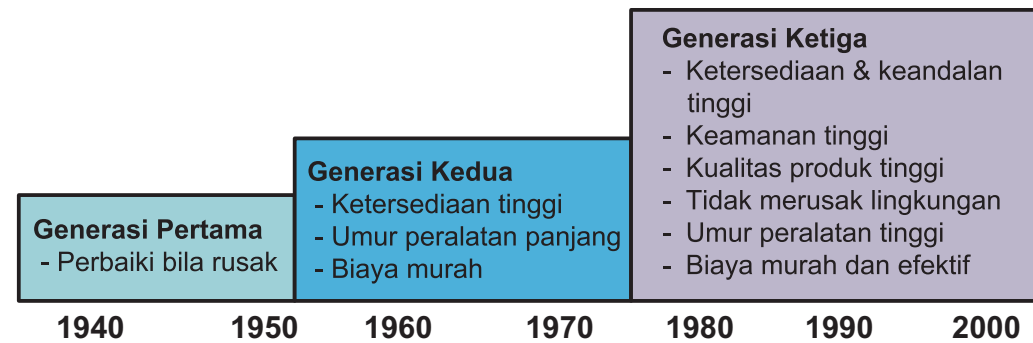
# PENGEMBANGAN METODA PERAWATAN PREDIKTIF BERBASIS GETARAN UNTUK MENINGKATKAN DAYA SAING INDUSTRI INDONESIA

## 1. SEJARAH PERKEMBANGAN METODA PERAWATAN MESIN

Perawatan merupakan salah satu aktivitas industri yang ditujukan untuk mempertahankan peralatan agar dapat digunakan dalam kondisi prima [1]. Bila perawatan tidak dilakukan secara baik, maka peralatan akan sering mengalami kerusakan sehingga mengganggu proses produksi. Terganggunya proses produksi dapat menyebabkan kerugian produksi (*loss of production*) yang besar. Untuk menghindari hal ini, beberapa ahli dan praktisi industri telah mengembangkan beberapa metoda perawatan.

Berdasarkan perkembangannya, metoda perawatan mesin dibagi menjadi tiga generasi sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1. Pada kurun waktu sebelum tahun 1950 metoda perawatan yang digunakan merupakan Metoda Perawatan Generasi Pertama yaitu Metoda Perawatan Reaktif. Metoda ini sering pula dikenal dengan nama perbaiki bila rusak (*Run-to-breakdown Maintenance*), *Run-to-Failure Maintenance*, atau *Fix-when-fail Maintenance*. Metoda ini dinamakan reaktif karena pada dasarnya tidak melakukan tindakan perawatan apa-apa, jadi kegiatan perawatan hanya bersifat reaktif bila kerusakan telah terjadi. Karena hanya bersifat reaktif, kerusakan mendadak dapat terjadi kapan saja.

Padahal, kerusakan mendadak dapat menyebabkan *downtime* (waktu berhentinya mesin) yang lama sehingga mengakibatkan kerugian produksi (*loss of production*) yang besar. Di samping itu, terhentinya mesin secara tiba-tiba akan memerlukan biaya perbaikan yang besar karena baik suku cadang, peralatan, maupun teknisi harus disediakan secara mendadak. Lebih parah lagi, Metoda Perawatan Reaktif tidak mengeliminir terjadinya kerusakan katastrofik, yaitu kerusakan tiba-tiba dan total akibat kerusakan kecil yang tidak dideteksi.



Gambar 1 Sejarah perkembangan Metoda Perawatan Mesin [2]

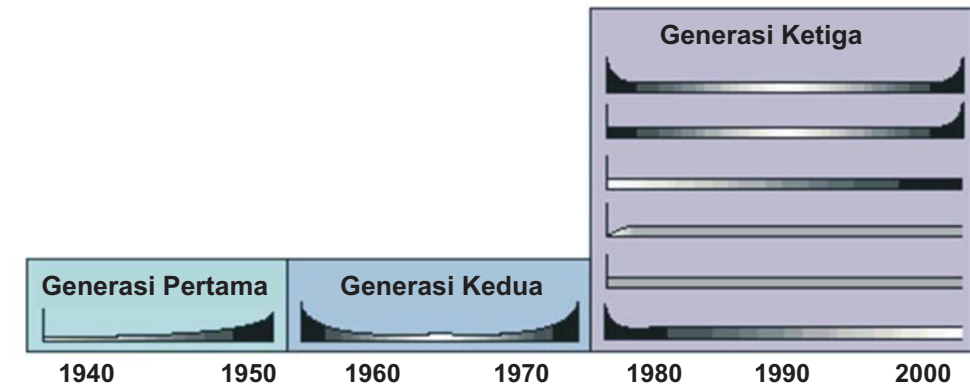
Pada kurun waktu antara tahun 1950 sampai kira-kira tahun 1975 terjadi peningkatan permintaan terhadap jumlah produk hasil industri. Peningkatan ini menyebabkan naiknya permintaan terhadap ketersediaan (*availability*) dan umur (*running hour*) mesin. Pada periode yang sama juga terjadi permintaan terhadap murahnya harga produk. Semua permintaan ini memotivasi industri untuk meminimalkan biaya operasi dan perawatan. Sebagai jawaban atas tuntutan ini, industri mengembangkan

Metoda Perawatan Generasi Kedua yaitu Metoda Perawatan Preventif (Pencegahan). Sesuai dengan namanya, metoda perawatan ini mencegah terjadinya kerusakan mendadak. Hal ini dilakukan dengan cara membongkar dan mengganti komponen peralatan secara berkala setelah waktu atau jam operasi tertentu. Selang waktu pembongkaran biasanya mengikuti rekomendasi pabrik pembuat mesin yang menentukan selang waktu pembongkaran berdasarkan waktu rata-rata antar kerusakan (*MTBF = Mean Time Between Failure*) dari sejumlah peralatan sejenis. Agar tidak dipersalahkan oleh *user*, biasanya pabrik pembuat mesin merekomendasikan selang waktu perbaikan berdasarkan perhitungan yang konservatif. Akibatnya, interval waktu perbaikan terencana yang digunakan dalam Metoda Perawatan Preventif umumnya hanya sebagian dari *MTBF*, karena itu dianggap tidak efektif. Apalagi perbaikan terencana ini tidak mampu menghilangkan terjadinya kerusakan mendadak.

Setelah tahun 1975 perkembangan komputer dan mikroprosesor memungkinkan proses pelaksanaan perawatan dilakukan dengan lebih baik. Pada periode ini terjadi kenaikan tuntutan akan ketersediaan dan keandalan mesin serta kualitas produk. Di samping itu, meningkatnya taraf hidup telah menyadarkan pentingnya keamanan jiwa, ramah lingkungan, serta biaya operasi yang murah dan efektif. Tuntutan-tuntutan ini telah memicu berkembangnya Metoda Perawatan Generasi Ketiga yaitu Metoda Perawatan Prediktif. Metoda ini juga sering disebut sebagai metoda perawatan berbasis kondisi karena tindakan perawatan

dilakukan berdasarkan kondisi mesin/peralatan. Metoda ini dijalankan dengan cara memantau kondisi mesin atau peralatan. Bila hasil pemantauan mengindikasikan adanya ketidaknormalan operasi maka tindakan prediktif segera dilakukan untuk meramalkan kapan mesin akan mengalami kegagalan fungsional. Berdasarkan prediksi tersebut selanjutnya devisi perawatan bersama dengan devisi operasi menentukan kapan proses perbaikan akan dilakukan. Selain prediksi kapan mesin akan mengalami kerusakan fungsional, analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagian mesin yang mana yang mengalami kerusakan. Berdasarkan analisis ini maka *spare part*, alat bantu, dan personil yang diperlukan dapat disediakan jauh sebelum proses perbaikan berlangsung.

Sejalan dengan metoda perawatan yang digunakan, kurva kegagalan (*PoF curve* atau *Probability of Failure curve*) yang digunakan industri juga mengalami perkembangan sebagaimana tampak pada Gambar 2. Pada kurun waktu sebelum tahun 1950 dimana Metoda Perawatan Generasi Pertama digunakan, orang percaya bahwa kurva kegagalan mesin berupa fungsi yang naik sejalan dengan waktu operasi mesin. Ini berarti bahwa mesin baru memiliki probabilitas yang kecil untuk mengalami kegagalan sementara mesin yang lama memiliki probabilitas yang besar untuk mengalami kegagalan; jadi probabilitas kerusakan meningkat sejalan dengan bertambahnya umur pakai peralatan.



Gambar 2 Sejarah kurva kegagalan yang diadopsi industri

Namun, pada kurun waktu antara tahun 1950 sampai kira-kira tahun 1975 terjadi perubahan kurva kegagalan yang digunakan industri. Pada periode ini kurva yang diadopsi berupa kurva bak mandi (*bath-tube curve*). Perubahan kurva kegagalan ini karena pengalaman menunjukkan bahwa mesin baru ternyata rentan terhadap kerusakan akibat adanya proses inreyen (*inrijden, running-in, break-in, infant mortality*) [3, 4]. Setelah proses inreyen ini selesai maka kemungkinan terjadinya kerusakan kecil sampai mesin mencapai umur pakainya (*wear out*) dimana probabilitas terjadinya kerusakan meningkat kembali.

Pada Metoda Perawatan Generasi Ketiga, yang digunakan setelah tahun 1975, banyak kalangan mulai percaya bahwa berbagai jenis mesin memiliki kurva kegagalan yang beraneka ragam. Namun, semakin kompleks peralatan, grafik kurva kegagalan semakin mendekati kurva rata yang berarti bahwa kerusakan dapat terjadi kapan saja dan tidak tergantung pada waktu pemakaian. Penelitian telah menunjukkan bahwa

hanya 20% kerusakan berkaitan dengan waktu pemakaian mesin sedangkan 80% sisanya tidak berkaitan dengan waktu [5]. Dari 80%, kurva kegagalan rata (grafik kedua terbawah dalam Generasi Ketiga) terjadi 14%, sedangkan kurva kegagalan yang awalnya tinggi kemudian mengecil dan selanjutnya rata (grafik terbawah dalam Generasi Ketiga) terjadi sebanyak 68%.

## 2. METODA PERAWATAN MESIN YANG DIGUNAKAN INDUSTRI SAAT INI

Saat ini banyak metoda perawatan mesin yang digunakan industri, diantaranya adalah Metoda Perawatan Reaktif, Metoda Perawatan Preventif, Metoda Perawatan Prediktif, Metoda Perawatan Proaktif, RCM (*Reliability-centered Maintenance*), TPM (*Total Productive Maintenance*), *Risk-Based Maintenance* dan lain-lain [6]. Karena bersifat pengantar, dalam tulisan ini hanya dibahas beberapa metoda perawatan saja secara sekilas.

Pada dasarnya saat ini industri dunia menggunakan berbagai metoda perawatan mesin untuk menekan biaya produksi dan perawatan serta meningkatkan keandalan peralatannya. Metoda perawatan Reaktif (*Run-to-breakdown Maintenance*) saat inipun masih tetap digunakan tetapi pemakaiannya terbatas pada peralatan-peralatan pendukung (*supporting equipment*), yaitu peralatan yang kalau berhenti tidak mempengaruhi laju produksi.

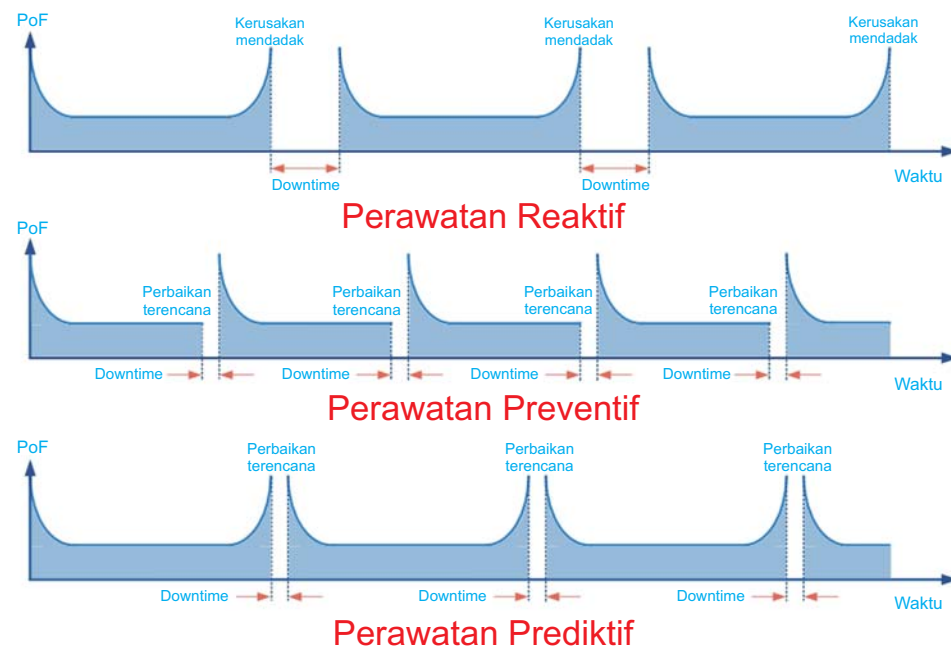
Metoda Perawatan Preventif (*Time-based Maintenance*) saat ini juga masih banyak digunakan yaitu untuk peralatan atau mesin yang MTBF-nya diketahui dengan baik. Di samping itu, metoda ini juga digunakan untuk peralatan atau mesin yang kerusakannya belum dapat dideteksi dengan teknik inspeksi manapun yang tersedia saat ini. Walau demikian, besar keinginan industri untuk beralih ke Metoda Perawatan Prediktif karena pengalaman menunjukkan bahwa penghentian dan perbaikan mesin yang sedang bekerja dengan baik sering justru menurunkan keandalan peralatan tersebut.

Perawatan prediktif saat ini menjadi idola digunakan oleh industri. Hal ini karena di antara ketiga metoda perawatan yang telah dibahas, metoda perawatan ini menjanjikan biaya perawatan yang paling kecil. Metoda ini memanfaatkan beberapa teknik seperti pengukuran getaran, temperatur, cairan pelumas dan lain-lain untuk memantau kondisi peralatan. Saat ini, hampir semua peralatan kritis (*critical equipment*) dan peralatan penting (*essential equipment*) dirawat dengan menggunakan metoda perawatan prediktif. Peralatan kritis adalah peralatan yang kalau berhenti menyebabkan terhentinya proses produksi, sedangkan peralatan penting adalah peralatan yang kalau berhenti menurunkan laju produksi.

Gambar 3 berikut memperagakan kurva kerusakan yang terjadi untuk ketiga metoda perawatan tersebut. Karena bersifat reaktif maka kerusakan mendadak akan terjadi pada Perawatan Reaktif. Akibatnya *downtime* akan panjang sehingga biaya perbaikan mahal dan *loss of*



production besar. Sebaliknya, karena pada Perawatan Preventif perbaikan dilakukan secara terjadwal maka *downtime* dan biaya perbaikan kecil. Namun karena interval perbaikan ditentukan secara konservatif maka frekuensi perbaikan bertambah. Berbeda dengan dua metoda sebelumnya, Metoda Perawatan Prediktif secara ideal mampu memperpendek *downtime* dan sekaligus memperkecil frekuensi perbaikan sehingga biaya perbaikan dan *loss of production* berkurang.



Gambar 3 Kaitan kurva kegagalan dan metoda perawatan yang dipakai

Metoda perawatan lain yang saat ini juga sering digunakan oleh industri adalah Metoda Perawatan Proaktif. Metoda ini melibatkan *improvement* baik pada hardware, software, ataupun prosedur operasi untuk meningkatkan keandalan peralatan. Metoda perawatan ini sering

dipakai untuk meningkatkan keandalan dari suatu peralatan yang mengalami masalah secara berulang.

Untuk memilih metoda yang mana yang cocok digunakan untuk suatu jenis kerusakan, dapat digunakan metoda RCM (*Reliability-Centered Maintenance*). Pada dasarnya, metoda ini menitik beratkan keandalan peralatan untuk kegiatan perawatan. Dengan kata lain, peralatan yang keandalannya rendah perlu mendapatkan usaha perawatan yang lebih besar dibandingkan peralatan yang keandalannya sudah tinggi. Metoda RCM ini selanjutnya memicu berkembangnya ide tentang *Risk-based Maintenance* dimana kerusakan yang menimbulkan resiko yang tinggi perlu diberi perhatian yang lebih besar dibandingkan dengan yang resikonya rendah karena resiko merupakan perkalian antara kemungkinan rusak (*probability of failure*) dan biaya kerusakan (*cost of failure*). Selain metoda-metoda tersebut, masih terdapat metoda TPM (*Total Productive Maintenance*) yang berawal dari industri manufaktur Jepang. Pada TPM, personel operasi ikut dalam kegiatan perawatan sehari-hari karena personel operasi sangat dekat dengan mesin yang dioperasikannya sehingga kelainan sedikit saja pada mesin tersebut dapat dikenali secara dini.

### 3. TEKNIK PEMANTAUAN DALAM PERAWATAN PREDIKTIF

Saat ini perawatan prediktif banyak diimplementasikan industri

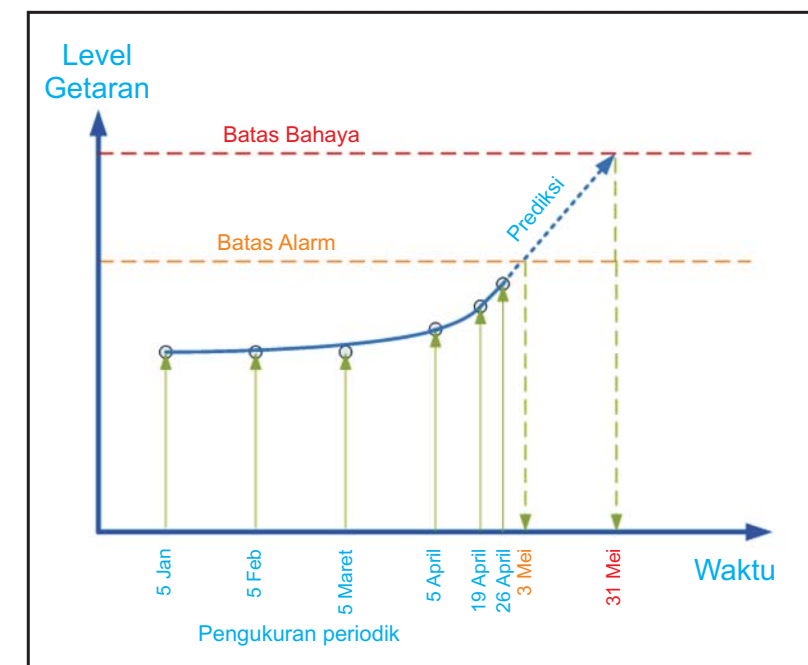
untuk menghasilkan keandalan peralatan yang tinggi dengan biaya perawatan yang minimal. Tabel 1 memperlihatkan keuntungan penggunaan Perawatan Prediktif. Survey ini dilakukan terhadap 500 perusahaan yang berada di Amerika, Inggris, Kanada, Perancis, dan Australia yang bergerak dalam berbagai bidang yang telah menerapkan Perawatan Prediktif selama 5 tahun. Pada tabel ini tampak bahwa implementasi metoda perawatan prediktif menghasilkan penghematan dan meningkatkan keandalan mesin cukup besar.

**Tabel 1** Keuntungan Penerapan Perawatan Prediktif [7,8]

Biaya perawatan turun	50 – 80 %
Kerusakan mendadak mesin turun	50 – 60 %
Spare part inventory turun	20 – 30 %
Machine downtime turun	50 – 80 %
Waktu lembur turun	20 – 50 %
Umur mesin naik	20 – 40 %
Produktivitas naik	20 – 30 %
Keuntungan meningkat	25 – 60 %

Pada dasarnya perawatan prediktif menjawab pertanyaan: “Apakah saat ini dalam kondisi sehat?”. Bila tidak, metoda ini akan meramalkan sampai berapa lama mesin masih dapat dioperasikan dengan aman, sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 4. Pada gambar ini tampak bahwa berdasarkan data pengukuran getaran, misalnya, sampai tanggal

26 April 2013 maka dapat diprediksi kapan getaran mesin mencapai batas alarm dan *danger* (bahaya). Misalnya saja bahwa batas danger diprediksi terjadi tanggal 31 Mei 2013 maka berdasarkan kesepakatan dengan devisa operasi selanjutnya dijadwalkan perbaikan terencana sebelum waktu tersebut sehingga suku cadang, peralatan, dan personel dapat disediakan sebelum proses perbaikan dimulai. Oleh karena itu, perawatan prediktif dipercaya mampu menghindari kerusakan mendadak maupun kerusakan katastrofik, yaitu kerusakan parah yang terjadi secara tiba-tiba. Kerusakan semacam ini biasanya merupakan akibat kerusakan kecil yang berkembang menjadi besar tanpa terpantau.



**Gambar 4** Prediksi dalam perawatan prediktif

Proses pemantauan yang digunakan dalam perawatan prediktif dapat dilakukan dengan beberapa teknik, diantaranya adalah pengukuran getaran, pengukuran ultrasonik, pengukuran temperatur, pengukuran kondisi cairan pelumas, pengukuran parameter proses, dan inspeksi visual. Beberapa teknik pemantauan tersebut umumnya digunakan secara bersamaan untuk mem-*pin point* penyebab suatu masalah.

Pengukuran dan analisis getaran merupakan salah satu teknik yang umum digunakan dalam perawatan prediktif. Teknik ini dapat digunakan baik untuk mesin rotasi, mesin bolak-balik, serta peralatan proses lainnya. Dengan teknik ini, analisis kesehatan mesin secara umum (*broadband trending*), kesehatan komponen mesin (*narrowband trending*), dan analisis pola kerusakan dapat dilakukan. Teknik ini telah memiliki batas level getaran yang diperbolehkan yaitu berdasarkan standar ISO, misalnya ISO 10816 dan ISO 7919, sehingga dapat digunakan sebagai rujukan bagi industri yang baru menggunakannya. Tabel 2 memperlihatkan contoh batas getaran yang diperbolehkan oleh standar ISO 10816-3.

Pengukuran bunyi dan ultrasonik juga sering digunakan di industri. Namun, karena pengukuran bunyi mudah terganggu oleh suara lingkungan maka pengukuran bunyi jarang digunakan untuk keperluan perawatan prediktif. Pengukuran bunyi, yang memiliki rentang frekuensi 20 s.d. 20.000 Hz, lebih sering digunakan industri untuk mencegah kebisingan lingkungan (sesuai dengan peraturan Kementrian Lingkungan Hidup Kep-48/MenLH/11/1996 tentang Baku Tingkat

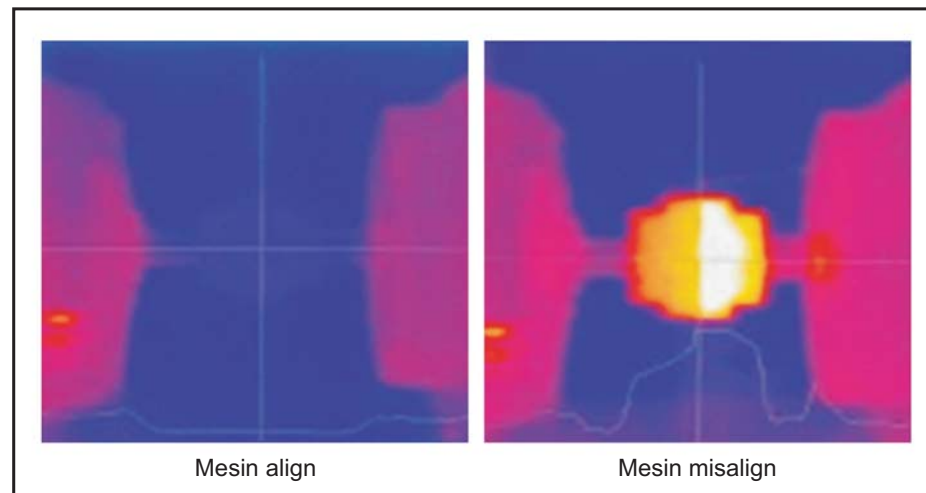
Kebisingan). Berbeda dengan pengukuran bunyi, pengukuran ultrasonik memiliki rentang frekuensi pengukuran di atas 20.000 Hz. Pengukuran ultrasonik banyak digunakan untuk mendeteksi kebocoran katup, pipa, *steam trap* dan lain-lain.

Tabel 2 Batas Getaran yang diperbolehkan oleh ISO 10816-3 [9]

DIN ISO 10816-3	Group 1		Group 2	
Machine type	Large machines 300 kW <P< 50 MW		Medium size machines 15 kW <P< 300 kW	
	Motor H>315 mm		Motor 160 mm <H< 315 mm	
Foundation	flexible	rigid	flexible	rigid
Velocity $v_{eff}$ mm/s rms	11,0	D		
	7,1	D		
	4,5	C		
	3,5	B		
	2,8	B		
	2,3	B		
	1,4	A		
©PRÜFTEHNIK AG				
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <span style="background-color: #add8e6; border: 1px solid black; padding: 2px;">A</span> Newly commissioned machines         </div> <div style="text-align: center;"> <span style="background-color: #008000; border: 1px solid black; padding: 2px;">B</span> Unrestricted long term operation         </div> <div style="text-align: center;"> <span style="background-color: #ffff00; border: 1px solid black; padding: 2px;">C</span> Restricted long term operation         </div> <div style="text-align: center;"> <span style="background-color: #ff0000; border: 1px solid black; padding: 2px;">D</span> Vibration causing damage         </div> </div>				

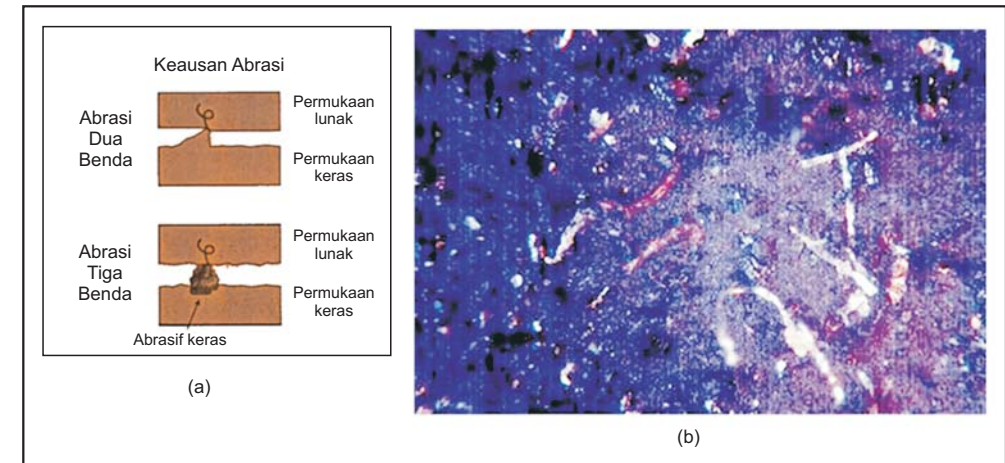
Pengukuran temperatur dapat dilakukan secara kontak maupun tidak berkontak. Untuk pengukuran tak kontak, obyek pengukuran dapat berupa titik, permukaan, maupun benda 3 dimensi yang hasilnya berupa grafik termal *infrared*. Contoh foto hasil pengukuran *infrared* diperlihatkan pada Gambar 5 yang memperlihatkan perbedaan temperatur kopling

ketika bekerja normal dan ketika mengalami *misalignment* (ketak-sesumbuan). Hasil pengukuran temperatur sering dikombinasikan dengan hasil pengukuran lain untuk mengkonfirmasi sumber ketak-normalan operasi.



**Gambar 5** Contoh hasil pengukuran termografi yang menunjukkan perbedaan kondisi operasi [10]

Pengukuran kondisi cairan pelumas merupakan salah satu teknik dalam metoda perawatan prediktif yang banyak digunakan untuk peralatan transportasi, trafo industri, *gearbox* dan lain-lain. Analisis ini umumnya menghasilkan kondisi cairan pelumas seperti viskositas, kadar air, kadar bahan bakar, jumlah padatan dalam pelumas, kadar jelaga, oksidasi, *Total Acid Number* (TAN), *Total Base Number* (TBN), dan lain-lain. Selain analisis kondisi tersebut, analisis cairan pelumas juga dapat digunakan untuk analisis partikel aus seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 6.

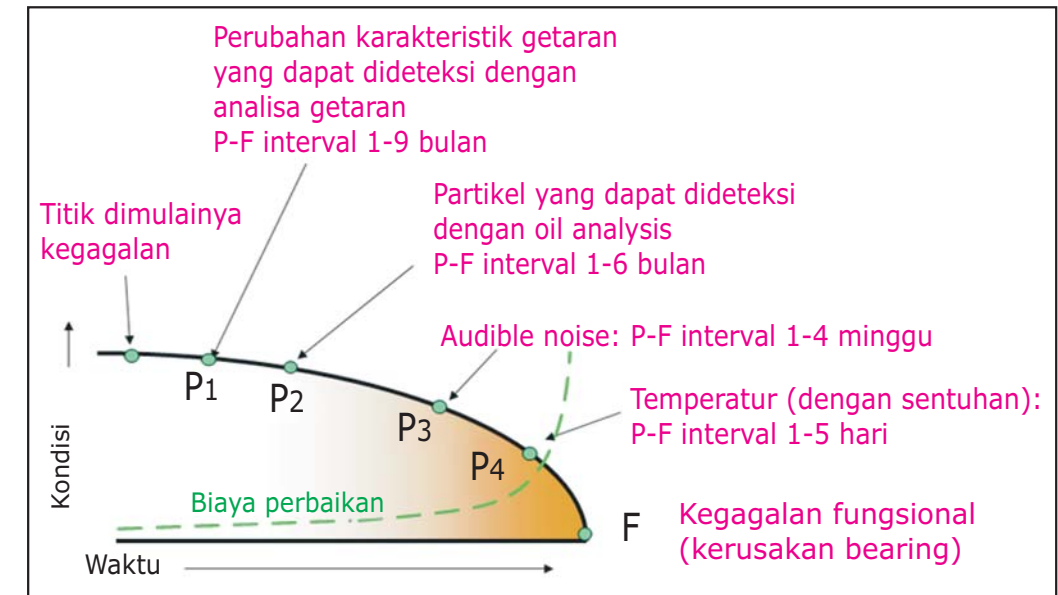


**Gambar 6** Analisis pelumas (a) Proses abrasi dan (b) Bentuk partikel abrasif [11,12]

Selain analisis getaran, pengukuran ultrasonik, pengukuran temperatur dan analisis cairan pelumas, metoda perawatan prediktif juga menerapkan pengukuran proses parameter seperti tekanan dan laju aliran (pada pompa), pengukuran arus dan tegangan (pada motor listrik), dan lain-lain. Pengukuran parameter proses sangat penting karena pompa yang mengalami kebocoran, sehingga efisiensi volumetriknya rendah, sering tidak menunjukkan kerusakan apa-apa bila dipantau dengan getaran maupun temperatur.

Sebagai pelengkap, metoda perawatan prediktif hampir selalu memanfaatkan pengamatan visual yang dilakukan oleh operator yang berpengalaman. Cara ini sering menemukan persoalan sederhana yang tidak terdeteksi dengan teknik pengukuran lain. Inspeksi visual memegang peranan vital agar program perawatan prediktif sukses diterapkan.

Penerapan beberapa teknik perawatan prediktif untuk mendeteksi kerusakan pada bantalan gelinding diperagakan pada Gambar 7. Pada gambar ini tampak bahwa kondisi bantalan akan mulai menurun pada titik dimana kegagalan mikro mulai terjadi. Pada kondisi ini tidak ada satupun teknik perawatan prediktif yang mampu mendeteksi kerusakan yang timbul. Namun, bila bantalan dioperasikan terus maka beberapa saat kemudian akan terjadi perubahan karakteristik getaran. Bila kondisi ini dijumpai maka sisa waktu operasi bantalan tinggal 1 sampai 9 bulan. Dengan bertambahnya ukuran kerusakan, maka jumlah partikel logam dalam pelumas akan bertambah sehingga analisis pelumas akan menemukan terjadinya kenaikan jumlah partikel logam. Pada kondisi demikian, sisa umur operasi bantalan tinggal 1 sampai 6 bulan. Bila bantalan tetap dioperasikan maka beberapa saat kemudian akan muncul bunyi yang dapat didengar oleh manusia. Pada saat ini umur bantalan tinggal 1 sampai 4 minggu. Bila bantalan terus dioperasikan maka beberapa waktu kemudian temperaturnya akan meningkat karena kerusakan merata telah terjadi di sepanjang *raceway*. Pada saat ini umur operasi tinggal 1 sampai 5 hari. Bila *bearing* terus dioperasikan maka bantalan akan mengalami kerusakan fungsional artinya tidak dapat dipakai lagi. Kerusakan semacam ini harus dihindari karena dapat mengakibatkan kerusakan katastropik pada mesin.



Gambar 7 Perkembangan kerusakan bantalan gelinding dan munculnya gejala [2]

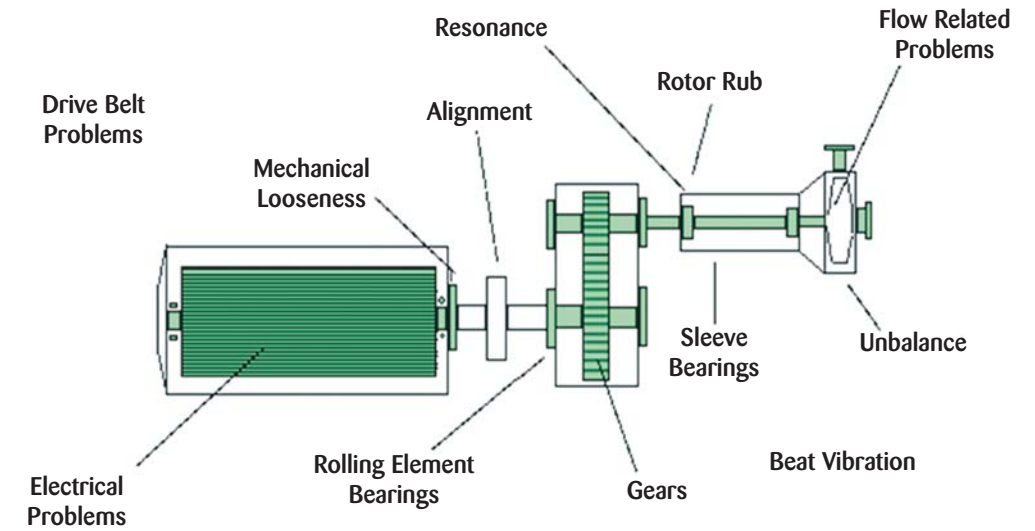
Gambar 7 juga memperlihatkan kenaikan biaya perbaikan sejalan dengan keterlambatan waktu deteksi. Bila suatu kerusakan dapat dideteksi secara dini maka biaya perbaikan yang diperlukan akan kecil karena *lead time* untuk pengadaan *spare part*, alat bantu, dan personil cukup panjang. Bila kerusakan dideteksi menjelang terjadinya kerusakan fungsional maka biaya perbaikan yang diperlukan akan tinggi karena waktu yang tersedia untuk pengadaan hanya sedikit.

#### 4. METODA PERAWATAN PREDIKTIF BERDASARKAN ANALISIS GETARAN

Di antara teknik-teknik pemantauan yang digunakan dalam

perawatan prediktif, pengukuran dan analisis getaran merupakan teknik perawatan prediktif yang pemakaiannya paling luas dan manfaatnya dirasakan sangat besar. Selain sebagai teknik pemantauan dalam perawatan prediktif, sistem pengukuran getaran yang terpasang pada mesin juga digunakan sebagai alat pengaman (*trip system*). Jadi ketika level getaran telah mencapai suatu nilai tertentu maka sistem kontrol akan secara otomatis menghentikan mesin untuk menghindari terjadinya kerusakan yang lebih parah.

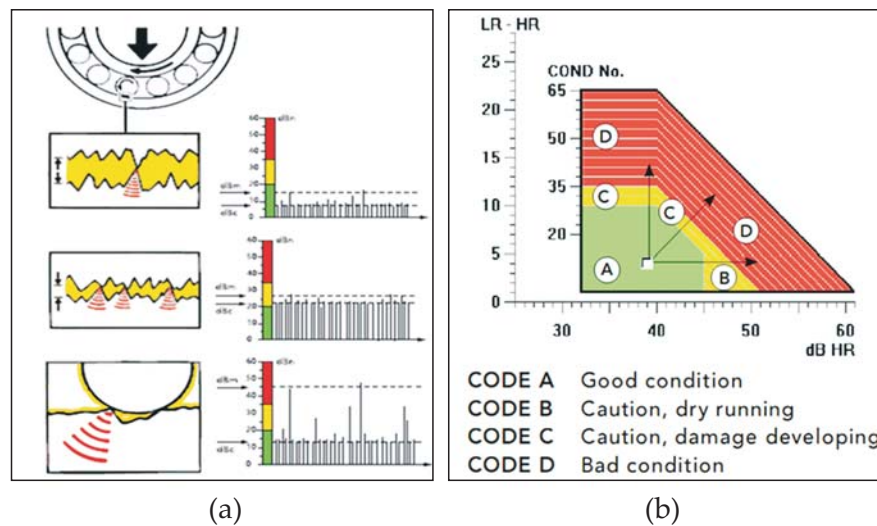
Beberapa masalah yang dapat dideteksi dengan baik oleh analisis getaran diantaranya adalah ketidakseimbangan rotor, patahnya sudu (*blade*), *misalign* antar dua poros, *misalign* bantalan, kelonggaran, *soft foot*, pondasi kendor, ketaknormalan operasi dan kerusakan bantalan gelinding, masalah pada bantalan fluida (*oil whirl*, *oil whip*), keausan dan kerusakan pada roda gigi, masalah resonansi, getaran pada pemipaan, masalah motor listrik (ketidakseimbangan elektrik, eksentrisitas, *broken rotor-bar*), kavitasi pada pompa, motor bolak-balik yang bermasalah dll. Beberapa kasus yang dapat dideteksi oleh analisis getaran diperagakan dalam Gambar 8.



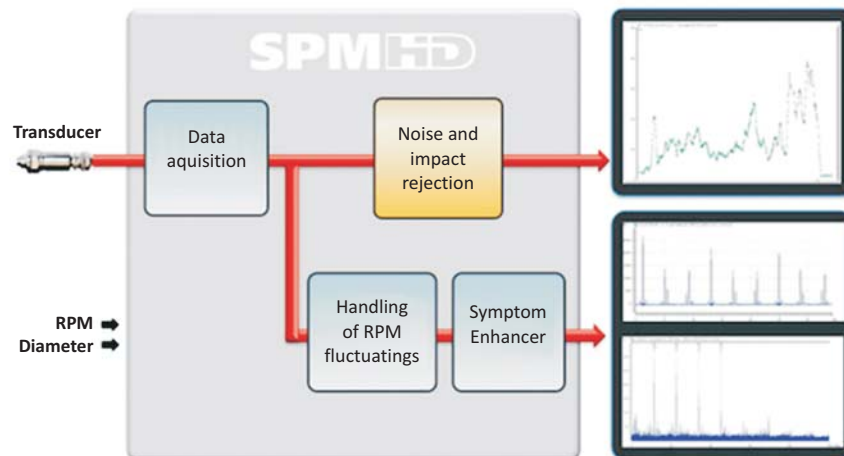
Gambar 8 Beberapa ketaknormalan mesin yang dapat dideteksi dengan analisis getaran [13]

Karena besarnya kebutuhan industri akan perawatan prediktif berbasis getaran, beberapa industri dunia telah mengembangkan sensor dan instrument pengukur getaran, software untuk membantu analisis, bahkan training dan sertifikasi bagi operator. Sebagai contoh Emerson Process Management mengembangkan CSI 2130 dan software analisis getarannya [14], Prufteknik telah mengembangkan instrumen VibExpertII dan software untuk analisis getaran [15], SPM bahkan mengembangkan deteksi dini kerusakan bantalan gelinding berdasarkan sensor *shock pulse* [16]. Berbeda dengan analisis getaran yang memanfaatkan sinyal pada frekuensi 1 s.d. 10.000 Hz, analisis *shock pulse* memanfaatkan sinyal di sekitar frekuensi pribadi sensor, yaitu 32000 Hz. Tujuannya adalah untuk

mendeteksi kerusakan bantalan gelinding secara dini. Analisis *shock pulse* dapat diterapkan dengan metoda dBm/dBc, metoda LR/HR atau metoda HD. Ketiga metoda ini ditampilkan pada Gambar 9 (a), Gambar 9 (b), dan Gambar 10.



Gambar 9 Deteksi dini kerusakan bantalan gelinding (a) Metoda dBm/dBc (b) Metoda LR/HR [16]



Gambar 10 Deteksi dini kerusakan bantalan gelinding dengan HD [16]

## 5. TANTANGAN METODA PERAWATAN PREDIKTIF BERDASARKAN GETARAN

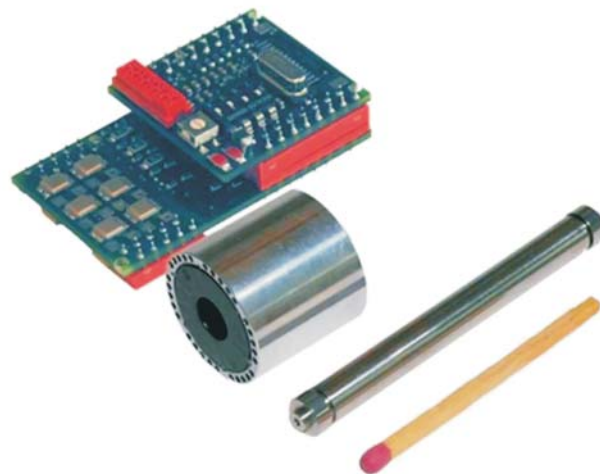
Dalam masa ekonomi global sekarang ini, penerapan metoda perawatan prediktif berdasarkan getaran menghadapi tantangan baik dalam bidang ekonomi, teknik, maupun SDM. Adanya krisis ekonomi di beberapa negara saat ini mengakibatkan terjadinya pengetatan investasi pada mesin dan peralatan pabrik. Investor di beberapa pabrik telah menginginkan penggunaan faktor keamanan minimum sehingga peralatan harus dioperasikan lebih hati-hati oleh SDM yang berkualitas tinggi.

Tuntutan akan minimalisasi biaya investasi juga telah menyebabkan digunakannya peralatan-peralatan murah buatan Cina yang keandalannya rendah. Pengalaman penulis dalam mendampingi beberapa industri yang menggunakan peralatan buatan Cina menunjukkan bahwa perbaikan kerusakan dengan mengikuti rekomendasi pabrik pembuat mesin kadang tidak cukup untuk menyelesaikan masalah yang timbul. Jadi karyawan industri yang mengoperasikan peralatan-peralatan murah semacam ini, selain harus kreatif dan memiliki kemampuan yang mumpuni, juga harus memiliki mental yang tangguh.

Tantangan dalam bidang teknik muncul sebagai konsekuensi dari tuntutan ekonomi. Sebagaimana umum diketahui bahwa daya dari suatu mesin merupakan perkalian antara torsi dan kecepatan putar. Tuntutan akan daya mesin yang tinggi tanpa menambah berat mesin menyebabkan

kecepatan putar mesin semakin tinggi. Saat ini gas turbin dengan kecepatan putar 500.000 rpm telah dibuat prototipenya sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 11. Naiknya kecepatan putar mesin menyebabkan banyak masalah getaran yang muncul akibat meningkatnya gaya-gaya dinamik dan bertambahnya jumlah *critical speed* yang harus dilalui. Tuntutan teknologi juga muncul akibat naiknya tuntutan terhadap kualitas produk sehingga mesin-mesin disyaratkan untuk memiliki tingkat getaran yang sangat rendah ketika beroperasi. Tuntutan-tuntutan ini jelas memerlukan kontribusi lebih dari analisis getaran [17,18].

By Mike Hanlon  
September 30, 2006



500,000 RPM matchbox-sized gas turbine produces 100 watts

Gambar 11 Semakin kecilnya ukuran mesin akibat naiknya kecepatan putar [19]

Masalah sumber daya manusia muncul akibat adanya tuntutan ekonomi global untuk menekan ongkos produksi sehingga perusahaan cenderung untuk mempekerjakan karyawan dari negara yang berpendapatan lebih rendah dari Indonesia, seperti India, Cina, Bangladesh, Kamboja dll. ASEAN Free Trade Area (AFTA) 2015 sebentar lagi akan diperlakukan di negara ASEAN. Ketika telah diberlakukan, maka tarif import antar negara penandatanganan AFTA disyaratkan minimal. Ini berarti bahwa industri Indonesia harus mampu bersaing dengan industri yang berada di negara-negara AFTA [20]. Agar mampu bertahan berarti bahwa industri Indonesia harus mampu menekan biaya produksi dan mengurangi sebanyak mungkin *downtime* mesin-mesin yang digunakannya. Selain itu, pengadaan *spare part* juga harus ditekan seminimal mungkin. Untuk mencapai tujuan ini, metoda perawatan prediktif harus mampu mendeteksi lebih dini kerusakan yang terjadi agar *lead time* untuk memesan *spare part* lebih panjang dan waktu perbaikan dapat dilaksanakan ketika permintaan produksi sedang rendah.

## 6. PENGEMBANGAN PERAWATAN PREDIKTIF BERBASIS GETARAN UNTUK INDUSTRI INDONESIA

Walaupun teknologi perawatan prediktif berbasis getaran saat ini telah banyak dikembangkan dunia, namun masih banyak keilmuan, teknologi, pendidikan, standar dan sertifikasi/kalibrasi yang perlu



dikembangkan di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan saat ini apalagi untuk masa yang akan datang.

Pertama, banyak ciri getaran yang diakibatkan oleh kerusakan mesin diadopsi dari pengalaman industri sehingga hasilnya bersifat *heuristik* dan tidak bersifat *scientific*. Sesungguhnya telah banyak penelitian yang telah dilakukan oleh para akademisi dan ditulis di beberapa jurnal ilmiah [21], namun banyak dari tulisan-tulisan tersebut terlalu ilmiah dan tidak menggambarkan kondisi riil yang ditemui di industri. Akibatnya, hasil penelitian yang diperoleh sulit untuk diterapkan dalam praktek.

Kedua, operator industri akan dituntut untuk memiliki pengetahuan yang tinggi karena harus mengoperasikan mesin murah yang rentan mengalami kerusakan, padahal kecepatan putarnya tinggi dan disyaratkan untuk menghasilkan kualitas produk yang tinggi. Untuk memenuhi tuntutan ini, pendidikan bagi operator industri dan sarjana sangatlah penting agar ketika bekerja mereka mampu menyelesaikan masalah rumit yang dihadapi [22]. Pendidikan juga akan menjadi sangat penting saat AFTA diberlakukan karena diperkirakan banyak personnel yang telah mahir akan dibajak untuk bekerja di negara anggota AFTA. Kondisi ini menimbulkan kekhawatiran banyak kalangan [20]. Sejalan dengan pendidikan, sertifikasi bidang keahlian menjadi sangat penting. Bila sertifikasi bidang getaran dilakukan di luar negeri, akan banyak devisa dibuang ke luar negeri.

Ketiga, sensor, instrumen dan software untuk perawatan prediktif

berbasis getaran yang tersedia saat ini harganya terlalu mahal untuk industri menengah ke bawah. Saat ini total harga perangkat keras dan perangkat lunak instrumen portabel peng analisis getaran kira-kira \$80.000. Untuk peralatan *on-line monitoring*, harganya dapat mencapai \$300.000. Walau harga instrumen ini jauh lebih kecil dari *loss of production* yang terjadi bila peralatan rusak mendadak, apalagi bila kerusakan yang terjadi bersifat *katastropik*, harga instrumen ini jauh dari daya beli industri menengah ke bawah. Jadi perlu dikembangkan sensor dan instrumen yang harganya sangat murah terutama untuk produk seperti mikro-hidro, turbin angin dan lain-lain [23,24,25].

Keempat, jasa servis untuk membantu industri menyelesaikan masalah yang mereka hadapi akan menjadi semakin penting di masa yang akan datang mengingat bertambahnya kompleksitas peralatan yang digunakan industri. Bila jasa servis pengukuran dan analisis getaran ini tidak ditangani dengan baik maka industri Indonesia akan terpaksa menyewa ahli dari luar negeri. Ini berarti juga merupakan pemborosan devisa [26,27,28]. Selain jasa konsultasi, jasa kalibrasi sensor dan alat ukur getaran juga perlu ditingkatkan karena kalibrasi di luar negeri tidak hanya membuang devisa tetapi juga menyebabkan waktu *downtime* mesin yang lama terutama untuk sensor dan instrumen getaran yang digunakan untuk keamanan operasi mesin [29,30,31].

Kelima, lingkup analisis getaran saat ini telah meluas yaitu tidak terbatas pada peralatan bergerak saja tetapi juga untuk peralatan statis

seperti untuk mengecek kekakuan *end-winding* generator, retaknya *blade turbin*, getaran pipa, maupun *condition monitoring* struktur platform lepas pantai. Pengembangan aplikasi analisis getaran tentu saja memerlukan banyak dukungan dari kolega yang tertarik untuk menekuni bidang ini agar analisis yang diperoleh lebih tajam.

## 7. PENUTUP

Terjadinya krisis ekonomi di beberapa negara dan adanya globalisasi perekonomian dunia telah memicu minimalisasi biaya investasi dan biaya operasi peralatan industri. Minimalisasi biaya investasi menyebabkan peralatan-peralatan yang digunakan industri tidak lagi bersifat *over design* sehingga keandalannya tidak setinggi peralatan-peralatan yang digunakan pada dasawarsa sebelumnya.

Kerusakan mendadak yang terjadi pada suatu peralatan industri harus dihindari karena dapat menyebabkan tingginya biaya perawatan serta besarnya kerugian produksi. Untuk menghindari hal ini, metoda perawatan prediktif dapat digunakan. Metoda ini sebaiknya diterapkan dengan menggunakan beberapa teknik yaitu pengukuran dan analisis getaran, pengukuran ultrasonik, pengukuran temperatur dan termografi, analisis cairan pelumas, pengukuran parameter proses dan serta inspeksi visual.

Di antara teknik-teknik yang digunakan untuk perawatan prediktif,

pengukuran dan analisis getaran merupakan teknik yang paling banyak digunakan dan manfaatnya dirasakan paling besar. Teknik ini dapat mendeteksi kerusakan atau bahkan ketaknormalan operasi pada mesin rotasi, mesin bolak-balik maupun peralatan statis. Pengukuran dan analisis getaran memerlukan ahli yang masa belajarnya lebih lama dibandingkan teknik yang lain, tetapi umumnya analisis getaran mampu mendeteksi kerusakan lebih awal dibandingkan teknik pemantauan yang lain.

Dalam rangka menyongsong AFTA 2015 yang sebentar lagi akan diberlakukan, pengembangan teknik perawatan prediktif berbasis getaran perlu untuk ditingkatkan agar industri Indonesia mampu bersaing secara regional. Dalam bidang pendidikan, dukungan dapat berupa pelatihan dan sertifikasi personel agar pengetahuan dalam analisis getaran diakui secara regional. Selain itu, kalibrasi sensor dan instrumen pengukur getaran juga perlu dilaksanakan. Pengembangan sensor dan instrumen yang harganya murah juga perlu dilakukan agar industri kecil Indonesia mampu bersaing dengan industri di negara lain. Dalam bidang penelitian, perlu dikembangkan metoda-metoda deteksi dini kerusakan mesin agar kerusakan yang terjadi dapat diprediksi lebih awal dan pemakaiannya lebih luas yaitu untuk mesin-mesin yang kecepataannya sangat tinggi atau sangat rendah (seperti beberapa mesin kertas yang kecepataannya hanya 1 rpm) [32,33].

Sebagaimana telah diuraikan di atas, teknik perawatan prediktif

seharusnya tidak hanya mengandalkan pengukuran dan analisis getaran untuk mendeteksi suatu kerusakan mesin. Metoda-metoda lain, seperti pengukuran bunyi, pengukuran temperatur dan termografi, dan analisis cairan pelumas jelas perlu dikembangkan. Oleh karena itu, peran rekan-rekan lain, baik yang bidangnya getaran atau bidang lain yang berkaitan dengan pemantauan kondisi mesin, perlu ditingkatkan. Penerapan metoda perawatan prediktif pada industri Indonesia akan mengurangi biaya perawatan dan *loss of production*, serta meningkatkan keandalan peralatan sehingga industri Indonesia mampu bersaing di pasar regional maupun global.

## 8. DAFTAR PUSTAKA

1. [www.thefreedictionary.com/maintenance](http://www.thefreedictionary.com/maintenance), diakses tanggal 17 April 2013.
2. Moubray, J., 'Reliability-centered Maintenance', 2<sup>nd</sup> Edition, Industrial Press Inc., New York, 1997.
3. [www.saft7.com/masa-inreyaen-apaan-sih/](http://www.saft7.com/masa-inreyaen-apaan-sih/), diakses tanggal 17 April 2013.
4. <http://www.weibull.com/hotwire/issue21/hottopics21.htm>, diakses tanggal 17 April 2013.
5. [www.interiorsandsources.com/article-details/articleid/5377/title/reliabilitycentered-maintenance.aspx](http://www.interiorsandsources.com/article-details/articleid/5377/title/reliabilitycentered-maintenance.aspx), diakses tanggal 17 April 2013.
6. Clarke, G., Mulryan, G., and Liggan P., "Lean Maintenance – A Risk-based Approach", *Pharmaceutical Engineering*, Vol. 30, No. 5, September/October 2010, [www.dalkia.ie/ireland-energy/ressources/documents/1/13641,ISPE-approved-web-version-risk-bas.pdf](http://www.dalkia.ie/ireland-energy/ressources/documents/1/13641,ISPE-approved-web-version-risk-bas.pdf), diakses 17 April 2013.
7. Shafeek, H., "Maintenance Practices in Cement Industry", *Asian Transaction on Engineering*, Vol. 01, Issue 06, January 2012, <http://www.asian-transactions.org/journals/vol01issue06/ate/ate-70115068.pdf>, diakses 17 April 2013.
8. Sudiarto, E., "Predictive Maintenance As a Competitive Advantage", *Predix Conference*, P.T. Guna Elektro, H. Le Meridien, Jakarta, 22-26 Mei 2000.
9. [www.pruftechnik.com/en/condition-monitoring/downloads/tech-notes/iso-10816-standards-for-condition-monitoring.html](http://www.pruftechnik.com/en/condition-monitoring/downloads/tech-notes/iso-10816-standards-for-condition-monitoring.html), diakses tanggal 17 April 2013.
10. Piotrowski, J., "Shaft Alignment Handbook", 3rd Edition, CRC Press, 2006.
11. Fitch, J. Dan Troyer, D., "Oil Analysis Basics", 2nd Edition, Noria Co., USA, 2010.
12. ....: "Wear Analysis", Noria Co., [www.machinerylubrication.com/Read/382/wear-analysis](http://www.machinerylubrication.com/Read/382/wear-analysis), diakses tanggal 17 April 2013.
13. [www.vibanalysis.co.uk/vibanalysis/](http://www.vibanalysis.co.uk/vibanalysis/), diakses tanggal 18 April 2013.

14. CSI 2130 Machinery Health™ Collector, Product Data Sheet, August 2011, [www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductDataSheets/2130\\_ds\\_CSI2130MachineryHe.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductDataSheets/2130_ds_CSI2130MachineryHe.pdf), diakses 18 April 2013.
15. VIBXPRT®II Catalog, Pruftechnik Condition Monitoring 2011, [www.pruftechnik.com/fileadmin/user\\_upload/COM/Condition\\_Monitoring/Products/catalog/english/vibxpert\\_catalog122012\\_en.pdf](http://www.pruftechnik.com/fileadmin/user_upload/COM/Condition_Monitoring/Products/catalog/english/vibxpert_catalog122012_en.pdf), diakses 18 April 2013.
16. <http://www.spminstrument.nl/data/pdf/instructions/71904B.pdf>, diakses 18 April 2013.
17. Michell, John S., "From Vibration Measurements to Condition Based Maintenance: Seventy Years of Continuous Progress", Sound and Vibration 2007, [www.SandV.com](http://www.SandV.com), [http://vibrationinstitute.com/casestudy/michell\\_doc.pdf](http://vibrationinstitute.com/casestudy/michell_doc.pdf), diakses tanggal 17 April 2013.
18. Metso : "Vibration analysis", Metso Technical Paper Series, 10 Mei 2011, [http://www.metso.com/pulpandpaper/MPwGeneral.nsf/WebWID/WTB-111019-2256F-F19FF/\\$File/VibrationAnalysis.pdf](http://www.metso.com/pulpandpaper/MPwGeneral.nsf/WebWID/WTB-111019-2256F-F19FF/$File/VibrationAnalysis.pdf), diakses tanggal 10 April 2013.
19. <http://www.gizmag.com/go/6245/>, diakses 18 April 2012.
20. .... : "AFTA 2015 Ancam Sektor Jasa", <http://www.tempo.com/read/news/2013/01/15/090454571/AFTA-2015-Ancam-Sektor-Jasa>, diakses tanggal tanggal 16 April 2013.
21. Kumar, S. et. al., "Vibration Analysis of 4 Jaw Flexible Coupling Considering Unbalance in Two Planes", International Journal of Science and Technology, Vol 1, No 11, November 2012.
22. Zainal Abidin, Film-film pendidikan. Tiap CD berdurasi kira-kira 25 menit. CD1: *Konsep Dasar Pengaturan*, CD2: *Pengaturan Ketinggian Air*, CD3: *Frekuensi Pribadi*, CD4: *Pengukuran Getaran untuk Perawatan Mesin*, CD5: *Pemodelan Sistem Dinamik*, CD6: *Fenomena Dasar Mesin* (Zainal Abidin sebagai koordinator), CD7: *Macam-macam Sensor Getaran*, Universitas Terbuka, 2000.
23. Zainal Abidin, *Jasa Pengembangan Instrument On-line Monitoring Vibrasi Turbin Generator Unit 3 PLTP Kamojang*, 2007.
24. Zainal Abidin, *Pengembangan Filter Gempa untuk mengatasi Trip pada unit Turbin Generator PLTP Gunung Salak* (Identifikasi Fenomena Getaran Pemicu Trip Pada Turbin-Generator), P.T. Indonesia Power, November 2006.
25. Zainal Abidin, *Pembuatan Kalibrator Sensor Proximity dan sensor RPM* (Pekerjaan Jasa Perbaikan Special Tool Turbine Supervisory Instrument Unit 1 PLTP Kamojang), P.T. Indonesia Power Kamojang, Oktober 2010.
26. Zainal Abidin, *Air Heat Exchanger Design Modification Due To Resonance Problem*, BP Tangguh, 17 Januari 2011.
27. Zainal Abidin, *Vibration Measurement and Piping Modeling of 4"/6" Line*

from LPV-3 Gas Out to HP-Flare, BP West Java, 18 April 2009.

28. Zainal Abidin, *Identification of Root Cause Phenomenon of Recurrence Electric Motor Failure through OL2R Measurement*, BP West Java, Desember 2005.
29. Komite Akreditasi Nasional (KAN), *Sertifikat Akreditasi, Lab. Dinamika PAU-IR-ITB sebagai Laboratorium Kalibrasi (untuk sensor dan alat ukur getaran)*, berlaku dari 12 September 2001 s.d. 11 September 2004 dan berhasil diperpanjang sd 11 September 2005.
30. *Laporan Kalibrasi Unit Data Logger VB Series Type VB2000-T, S.N. VBS-10142 dengan 2 sensor Type CIL7866A S.N. 198 dan S.N. 287*, P.T. Gresik Gases Indonesia, Lab Dinamika PPAU-IR-ITB, 15 Maret 2011.
31. *Laporan Kalibrasi Vibration Analyzer Unit, Type CSI B1010, S.N. 806006 dengan sensor Type A0720JP S.N. 13466*, P.T. Polysindo Eka Perkasa, Lab Dinamika PPAU-IR-ITB, 1 Desember 2009.
32. Carolus Bintoro, Komang Bagiasna, Djoko Suharto, Zainal Abidin, *Influence of wear and Rolling Element Position on Bearing Stiffness and Its Vibration Response*, The 8<sup>th</sup> International Conference on Quality in Research (QIR), Depok 9-10 Agustus 2005.
33. Zainal Abidin, Agusmian Partogi, Noval Lilansa, *Validation of the FRF Magnitude Error in Vibration Impact Testing Using Numerical Simulation*, Journal Experimental Mechanics and Materials, Vol. 83, Oktober 2011.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas segala karuniaNya. Penghargaan dan terima kasih penulis tujukan kepada Pimpinan dan Anggota Majelis Guru Besar ITB atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyampaikan Pidato Ilmiah di hadapan hadirin sekalian.

Penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Djoko Suharto yang telah membimbing dan memotivasi penulis untuk tetap menomorsatukan pendidikan di atas persoalan lain. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada Prof. Komang Bagiasna yang selalu memberi suri tauladan bagaimana hidup teratur dan menjadi peneliti yang tekun.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Masyhur Irsyam dan Prof. Haruo HOUJOH (Precision Machine Elements Laboratory, Tokyo Institut of Technology) atas rekomendasi yang diberikan untuk kenaikan jabatan ke Guru Besar.

Terima kasih penulis sampaikan kepada para senior di Teknik Mesin serta KBK Konstruksi/KK Perancangan Mesin yang telah memberi bimbingan dan kesempatan bagi penulis untuk berkarya di ITB. Prof. Samudro (alm), Prof. Darmawan Harsokoesoemo (alm), Prof. Satryo S. Brodjonegoro dan Prof. Komang Bagiasna adalah para senior yang mempersiapkan penulis untuk mengikuti program Pascasarjana sebagai staf Pusat Antar Universitas – Ilmu Rekayasa.

Terima kasih dan penghargaan juga penulis sampaikan kepada pimpinan ITB dan pimpinan FTMD yang telah memperjuangkan kenaikan jabatan penulis sebagai Guru Besar. Terima kasih kepada Prof. Bambang Sutjiatmo, Prof Indra Nurhadi dan rekan-rekan anggota KK Perancangan Mesin serta staff dan karyawan FTMD serta nasehat, bantuan dan dukungannya selama ini.

Terima kasih penulis sampaikan pada rekan-rekan peneliti di PAU-Ilmu Rekayasa, serta rekan-rekan industri yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan sehingga penulis dapat melaksanakan riset dan berperan dalam menyelesaikan masalah industri. Secara khusus, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Prastowo Priyatmoko ST, Wilis Wirawan ST. MT, Ilham B Santoso ST. MT, Khuschandra ST. MT, Tobias Tumbuan ST. MT, Budi Heriyadi ST, Adi Setiawan ST. MT, Arief Indrabayu ST.MT, Yani Mulyani, Udin Tajudin, Lutfi Hasanudin, dan Sugeng Suhartono serta seluruh asisten dan mahasiswa Lab. Dinamika PAU ITB. Tanpa kontribusi mereka semua dan banyak pihak lain, semua capaian yang penulis sampaikan tidak mungkin terwujud.

Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan alumni UMIST dan Salford University UK, MS79 ITB, teman-teman SMAN 2 Surabaya, dan para tetangga Cigadung Valley Residence yang selalu memberikan dukungan selama ini.

Ucapan terima kasih secara khusus penulis tujukan kepada Ayahanda Ali Oesman (Alm), Ibunda Hj. Siti Choezaimah, dan Kakanda

Anwaruddin Drs. MS. atas doa restu dan dukungan yang telah diberikan demi kemajuan penulis. Ibunda Hj. Siti Choezaimah pada tahun 1984 meminta penulis untuk 'nderek' Prof. Djoko Suharto walau saat itu penulis diterima di Schlumberger dan kondisi ekonomi keluarga sangat buruk. Salah satu contoh kasih sayang seorang ibu yang memberikan saran demi untuk kebaikan putranya, bukan untuk dirinya sendiri.

Kepada isteri tercinta Elly Suryani SE., MSi, Ak, putri tersayang Acintya Anindita ST., MBA dan Meitha Anindya penulis sampaikan ungkapan kasih atas dukungan, pengertian dan kesabarannya dalam menghadapi masalah yang penulis hadapi.

Semoga Allah SWT membalas semua amal kebaikan tersebut dengan pahala yang berlipat ganda. Semoga Allah SWT memberikan rahmat dan berkahNya bagi kita semua. Aamiin.

## CURRICULUM VITAE



Nama : **ZAINAL ABIDIN**

Tmpt./Tgl Lahir : Magelang, 12 April 1960

Nama Istri : Elly Suryani

Nama Anak : Acintya Anindita  
Meitha Anindya

Alamat Kantor : Fakultas Teknik Mesin dan  
Dirgantara (FTMD), ITB  
Jl. Ganesa 10, Bandung 40132  
Telp. (022) 2504243

### 1. RIWAYAT PENDIDIKAN

- 1992 : Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, Salford University, UK
- 1988 : MSc, Control System Centre UMIST, UK
- 1984 : Sarjana Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung

### 2. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

NO.	JABATAN FUNGSIONAL	TMT
1.	Asisten Ahli Madya	01 Mei 1986, FTI
2.	Asisten Ahli	01 April 1987, FTI
3.	Lektor Muda	01 Januari 1993, FTI
4.	Lektor Madya	01 Juli 1996, FTI
5.	Lektor	01 April 2000, FTI
6.	Lektor Kepala	01 Agustus 2005, FTI
7.	Guru Besar	01 Desember 2012, FTMD

### 3. RIWAYAT PEKERJAAN di ITB

- Jan 2012 – : Kaprodi Teknik Mesin, FTMD
- 2009 – 2011 : Kepala PAU-IR (PRI)
- 2009 – 2011 : Ketua GKM FTMD
- 2007 – 2009 : Kepala Lab. Dinamika PAU-IR

### 4. PENGHARGAAN

- a. Penghargaan Pengabdian 25 Tahun ITB (2010)
- b. Satyalencana Karya Satya XX Tahun Pemerintah RI (2007)
- c. Satyalencana Karya Satya X Tahun Pemerintah RI (2000)
- d. Dosen Favorit Versi Wisudawan Mesin, April 2011
- e. Dosen Teladan Tingkat 3 ITB, 1994
- f. Finalis Peneliti Muda Indonesia, Dikti Tahun 2000

### 5. PATEN

1. **Zainal Abidin**, *Alat Pengekleman Roda Pada Mesin Penyeimbang*, tanggal diberikan 1 September 2008, No paten: ID 0 000 852 S, Departemen Hukum dan Hak Asasi Manusia.
2. **Zainal Abidin**, *Metode dan Peralatan Pengukuran Regangan Secara Tidak Langsung pada Baut Pengikat Flensa Sambungan Pipa dengan Menggunakan Sensor Laser*, tanggal diberikan 26 Januari 2006, No paten: ID 0024688, Departemen Hukum dan Hak Asasi Manusia.

### 6. VIDEO PENDIDIKAN

Zainal Abidin, 7 film pendidikan. Tiap CD berdurasi kira-kira 25 menit. CD1: Konsep Dasar Pengaturan, CD2: Pengaturan Ketinggian

Air, CD3: Frekuensi Pribadi, CD4: Pengukuran Getaran untuk Perawatan Mesin, CD5: Pemodelan Sistem Dinamik, CD6: Fenomena Dasar Mesin (Zainal Abidin sebagai koordinator), CD7: Macam-macam Sensor Getaran, Universitas Terbuka, 2000.

### 7. PENELITIAN

1. Komang Bagiasna, *Perancangan dan Pembuatan Mesin Penyeimbang dengan Kapasitas 500 kg*, Laporan akhir penelitian program Hibah Bersaing, LP-ITB, 1994 (**Zainal Abidin** sebagai anggota peneliti).
2. **Zainal Abidin**, *Pengembangan Teknologi Perawatan Prediktif Terpadu Multi Kanal*, Laporan Akhir Riset Hibah Bersaing Tahap III, LP-ITB, Maret, 1997.
3. Komang Bagiasna, *Analisis Ciri Keausan Bantalan Gelinding Berbasis Pemantauan Sinyal Getaran*, Laporan Akhir Riset Hibah Bersaing, LP-ITB, 2002. (**Zainal Abidin** sebagai anggota peneliti).
4. **Zainal Abidin**, *Dynamic Modeling and Control of a High Precision Straight-Motion Mechanism*, Laporan Akhir Riset Hibah Tim Pascasarjana III, Tahap II, LP-ITB, Februari, 1999.
5. Laporan akhir Riset AUNSEEDNet: *Measuring and Compensating for Off-line to Running Machinery Movement*, Mahasiswa: Phan Anh Tuan, Mei 2005.
6. Laporan akhir Riset AUNSEEDNet: *Crack Location Detection using Operating Deflection Shape (ODS) Analysis*, Mahasiswa: Tran Khanh Duong, Mei 2005.



## 8. PUBLIKASI

### a. Dalam Jurnal Internasional

1. **Zainal Abidin**, Agusmian Partogi, Noval Lilansa: "Validation of the FRF Magnetude Error in Vibration Impact Testing Using Numerical Simulation", *Journal Experimental Mechanics and Materials*, Vol. 83 Sep/Okt 2011.

### b. Dalam Proceeding Internasional

1. Carolus Bintoro, Komang Bagiasna, Djoko Suharto, **Zainal Abidin**: "Influence of wear and Rolling Element Position on Bearing Stiffness and Its Vibration Response", *The 8th International Conference on Quality in Research (QIR)*, Depok 9-10 Agustus 2005.
2. **Zainal Abidin**, Feblil Huda, "Software Development for Critical Speed Analysis of Rotating Rotors Based on MATLAB", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, February 9-10, 2010.
3. N. Lilansa, **Z. Abidin**, D. Suharto, A.I.Mahyuddin, "Error Analysis of Discrete Response Spectrum in Structural Impact Testing", *Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology*, Bali, February 9-10, 2010.
4. Noval Lilansa, **Zainal Abidin**, Djoko Suharto, Andi I. Mahyuddin, "Analysis of FRF Errors Due to Finite Frequency Resolution in Vibration Impact Testing", *The International Conference on Experimental Mechanics (ICEM2010)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 29 November - 1 Desember, 2010.

5. Aung Myo Thant Sin, **Zainal Abidin**, Hideki Yanada, "Submecrometer Positioning Using Sliding Mode Friction Compensition" *Robotics and Biomimetics (IEEE-Robio 2011)*, Phuket Island, Thailand, December 7-11, 2011.

### c. Dalam Jurnal dan Seminar Nasional

1. **Zainal Abidin**, Fandi Purnama, Budi Heryadi, *Metode Diferensiasi Numerik yang Mampu Mereduksi Pengaruh Sinyal Pengganggu terhadap Hasil Diferensiasi*, *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) X*, 2-3 November, Malang, INA, 2011.
2. **Zainal Abidin**, Budi Heryadi, "*Penggunaan Jerk untuk Deteksi Dini Kerusakan Bantalan Gelinding dan Pemantauan Kondisi Pelumasan*" *Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, Universitas Kristen Petra Surabaya, Vol.13, No. 1, April 2011, ISSN 1410-9867, Terakreditasi Dikti No. 43/Dikti/Kep/2008, berlaku s.d. Juli 2011, Surabaya, Indonesia, 2010.
3. **Zainal Abidin**, Fandi Purnama, Budi Heryadi, *Pengembangan Metode Integrasi Numerik dengan Frekuensi Batas yang Mampu Mereduksi Pengaruh Sinyal Pengganggu*, *Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, Universitas Kristen Petra Surabaya, Vol.13, No. 1, April 2011, ISSN 1410-9867, 2010.
4. Khuschandra, **Zainal Abidin**, *Perilaku Kesalahan Puncak Spektrum Akibat Penggunaan Fungsi Jendela Kotak, Hanning dan Hattop pada Sinyal Sinus Waktu Kontinu*, *Jurnal Teknik Mesin*, *Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, Universitas Kristen Petra Surabaya, Vol12, No.1, April 2010, ISSN 1410-9867, 2010.
5. **Zainal Abidin**, J. Deswidawansyah, "*Pengembangan Program*

- Simulasi Pengujian Getaran Berbasis Matlab*", Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin - VIII, 11-14 Agustus 2009, Semarang, Indonesia, 2009.
6. Noval Lilansa, **Zainal Abidin**, Djoko Suharto, "*Analisis Kesalahan Fungsi Respon Frekuensi Akibat Penggunaan Jendela Eksponensial pada Pengujian Getaran dengan Eksitasi Impak*", Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin - VIII, 11-14 Agustus 2009, Semarang, Indonesia, 2009.
  7. Dedi Suryadi, **Zainal Abidin**, "*Pengaruh Keterbatasan Waktu Rekam Terhadap Kesalahan Magnitud Fungsi Respon Frekuensi (FRF) pada Sistem Getaran Dua Derajat Kebebasan*", Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin - VIII, 11-14 Agustus 2009, Semarang, Indonesia, 2009.
  8. **Zainal Abidin**, Fandi Purnama, "*Kesalahan Akibat Deferensial Numerik pada Sinyal Pengukuran Getaran dengan Metode Beda Maju, Mundur dan Tengah*", Jurnal Teknik Mesin, Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin, PETRA Vol. 11, No. 2 Oktober (2009), Hal. 73-79, ISSN1410-9867, Surabaya, Indonesia, 2009.
  9. **Zainal Abidin**, Haleyna Arstiani, *Pemodelan, Pengujian, dan Analisis Getaran Torsional dari Perangkat Uji Sistem Poros-Rotor*, Jurnal Teknik Mesin, Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra Surabaya, Vol. 10, No. 2, Oktober 2008.
  10. Noval Lilansa, **Zainal Abidin**, Djoko Suharto, "*Analisis Kesalahan Fungsi Respon Frekuensi Akibat Keterbatasan Waktu Rekam pada Pengujian Getaran dengan Eksitasi Impak Kasus Domain Waktu Kontinu*", Jurnal Teknik Mesin Vol. 23 No.1, April 2008, Hal. 19-24, ISSN 0852-6095, Bandung, Indonesia, 2008

11. Agusmian Partogi, **Zainal Abidin**, Komang Bagiasna, "*Analisis Besar Kesalahan Magnitude Fungsi Respon Frekuensi Hasil Pengujian dengan Metode Eksitasi Kejut akibat Keterbatasan Panjang Waktu Rekam*", Jurnal Teknik Mesin Vol. 21 No. 1, April 2006, hal. 1-9, ISSN 0852-6095, Terakreditasi Dikti No. 23a/DIKTI/Kep/2004, berlaku sampai dengan Juni 2007, Bandung, Indonesia, 2006.
12. Tran Khanh Duong, Djoko Suharto, Komang Bagiasna, **Zainal Abidin**, "*Crack Detection using Operating Deflection Shape*", Jurnal Teknik Mesin Vol. 21 No. 1, April 2006, hal. 21-27, ISSN 0852-6095, Terakreditasi Dikti No. 23a/DIKTI /Kep/ 2004, berlaku sampai dengan Juni 2007, Bandung, Indonesia, 2006.
13. Phan Anh Tuan, **Zainal Abidin**, Komang Bagiasna, "*Measuring and Compensating for Off-Line to Running Machinery Movement*", Jurnal Teknik Mesin Vol. 20 No. 2, Oktober 2005, hal. 68-72, ISSN 0852-6095, Terakreditasi Dikti No. 23a /DIKTI /Kep/ 2004, berlaku sampai dengan Juni 2007, ITB Bandung, Indonesia, 2005.
14. **Zainal Abidin**, Komang Bagiasna, dan Wayan Noviyantha, *Penerapan Metode Enveloping untuk Mendeteksi Cacat Lokal Bantalan Gelinding*, Jurnal Teknik Mesin, Vol XVIII, No. 1, April 2003.
15. **Zainal Abidin**, Novel Tjahjadi, Ishak S. Iskandar, Komang Bagiasna, *Pembuatan dan Pengujian Sistem Kendali Kecepatan Putar Motor DC untuk Mesin Penyeimbang*, Majalah Ilmiah Sistem Kendali (LIPI), Vol. 2 No.1, Juni 1998.
16. Ishak S. Iskandar, **Zainal Abidin**, Komang Bagiasna, *Pengembangan Metoda Penyeimbangan Langsung Tanpa Menggunakan Massa Coba*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. XI, No.2, Juni 1996.

17. **Zainal Abidin**, Komang Bagiasna, Sigit Purwowinarwan, Ishak S. Iskandar, *Semi Otomasi Mesin Penyeimbang*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. XI, No.2, Juni 1996.

## 9. PENGABDIAN PADA MASYARAKAT

1. **Zainal Abidin**, *Pipe Stress Analysis for Muara Karang Onshore Receiving Facility*, PT. Pertamina Hulu Energy ONWJ Ltd, Service Order No. SO/0562-063, 2012.
2. **Zainal Abidin**, *Dynamics Analysis of KLB P/F Deck Vibration due to operation of The New Centrifugal Compressor*, PT. Pertamina Hulu Energy ONWJ Ltd, Service Order No. SO/0562-052, 2012.
3. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement of Hotwell Pump 1A & 1B Before and After 2012*, Star Energy Geothermal (WayangWindu) Ltd. 11510017-OS/4200000403, 2012.
4. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement of Hotwell Pump 2A & 2B Before and After 2012*, Star Energy Geothermal (WayangWindu) Ltd. 2012.
5. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement Of Turbine-Generator Unit 1 Before And After 2012 Turn Around*, Star Energy Geothermal (WayangWindu) Ltd. 2012.
6. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement Of Turbine-Generator Unit 2 Before And After 2012 Turn Around*, Star Energy Geothermal (WayangWindu) Ltd. 2012.
7. **Zainal Abidin**, *Study Modifikasi Storage Tank dari Fix menjadi Floating Roof Tangki Premium dan Naphta Kilang Plaju*, PT. PERTAMINA, 2012.

8. **Zainal Abidin**, *Laporan Kalibrasi Unit Data Logger VB Series Type VB2000-T, S.N. VBS-10142 dengan 2 sensor Type CIL7866A S.N. 198 dan S.N. 287*, P.T. Gresik Gases Indonesia, Lab Dinamika PPAU-IR-ITB, 15 Maret 2011.
9. **Zainal Abidin**, *Provision of Vibration Measurement and Settlement Monitoring at Turbine Foundation Unit 1 &2 Service*, Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd. SO: No. 10510182 – OS, 2011.
10. **Zainal Abidin**, *Design of a Temporary Pipe Holder For Valves Installation at The Muara Karang Onshore Receiving Facility*, SO No. SO/0562-020, Pertamina PHE, 2011.
11. **Zainal Abidin**, *Pipe Stress Analysis and Design of Pipe Support for Valves Installation at Muara Karang Onshore Receiving Facility*, SO No. SO/0562-013 Pertamina PHE, 2011. SO No. SO/0562-005, Pertamina PHE, 2011.
12. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement and Dynamics Analysis of KLB P/F Deck Structure due to Instllation of New Mini Compressor*, SO No. SO/0562-005, Pertamina PHE, 2011.
13. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement of 25PV-0252 A/B/C/D North Belut - CPP Metering Valve and Piping System*, Work Order Number CS-15385572/3, ConocoPhillips Indonesia Inc. Ltd. 2011.
14. **Zainal Abidin**, *Turbine and Generator Vibration Diagnostic Services Wayang Windu Unit 1 and 2*, Contract Ref.: 11510017-OS, ITP No.: 001 dated 10 May 2011, Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd. 2011.
15. **Zainal Abidin**, *Unit 1 and 2 Hotwell Pump A & B Vibration Analysis Services*, Contract Ref.: 4200000403/11510017-OS Star Energy

- Geothermal (Wayang Windu) Ltd. 2011.
16. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement and Settlement Monitoring at Turbine Foundation Unit 1 and 2*, SO No.: 10510182-OSStar Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd. 2011.
  17. **Zainal Abidin**, *Air Heat Exchanger Design Modification Due To Resonance Problem*, 090-SDY-EM-ITB-5001 BP Tangguh, 17 Januari 2011, LAPIITB. 2011.
  18. **Zainal Abidin**, *Pembuatan Kalibrator Sensor Proximity dan sensor RPM (Pekerjaan Jasa Perbaikan Special Tool Turbine Supervisory Instrument Unit 1 PLTP Kamojang)*, P.T. Indonesia Power Kamojang, 18 Oktober 2010.
  19. **Zainal Abidin**, *Laporan Kalibrasi Vibration Analyzer Unit, Type EPAC-1200A, S.N. 040724 dengan sensor Type 9000A S.N. P154456*, P.T. Flowserve, Lab Dinamika PPAU-IR-ITB, 15 Desember 2010
  20. **Zainal Abidin**, *Pipe Stress Analysis for Muara Karang and Tanjung Priok Onshore Receiving Facility*, SO No. SO/0192-096, Pertamina PHE, 2010.
  21. **Zainal Abidin**, *Measurement to Verify Vibration of WHP-A Flowline After Applying Dampener*, Contract No: CS-14425002, ConocoPhillips Indonesia Inc. Ltd., 2010.
  22. **Zainal Abidin**, *North Belut - Vibration Measurement*, CONTRACT No: CS-14425002, PO No.: 4513085435, ConocoPhillips Indonesia Inc. Ltd. 2010.
  23. **Zainal Abidin**, *Vibration Analysis of Tube Package Suban Gas Plant Cooler System*, CONTRACT No: CS-14425002, PO No.: 4513085435, ConocoPhillips Indonesia Inc. Ltd. 2010.

24. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement and Analysis of Fire Water Pump 9820-P-224-A/B, Santos (Sampang) Pty. Ltd., PC/32/40000/VI/2010, Santos (Sampang) Pty. Ltd (under contract of PT. PAL), 2010.*
25. **Zainal Abidin**, *Platform Tilt Measurement and Jacket Platform Displacement Monitoring at KG Platform - STAR ENERGY KAKAP Ltd, SO-25, PT. Indonesia Service Berau, 2010.*
26. **Zainal Abidin**, *Laporan Kalibrasi Vibration Analyzer Unit, Type CSI B1010, S.N. 806006 dengan sensor Type A0720JP S.N. 13466, P.T. Polysindo Eka Perkasa, Lab Dinamika PPAU-IR-ITB, 1 Desember 2009*
27. **Zainal Abidin**, *Vibration Measurement and Piping Modeling of 4"/6" Line from LPV-3 Gas Out to HP-Flare, BP West Java, 18 April 2009, LAPIITB.*
28. **Zainal Abidin**, *Engineering Study for Integrity of Flare Knock Out Drum, NO. PMO 647621, ConocoPhillips Indonesia Inc. Ltd. 2009.*
29. **Zainal Abidin**, *Pipe Stress Analysis and Design of an Adjustable Pipe Support at Tanjung Priok ORF, SO No. STC/0192-056, BP West Java, 2009.*
30. **Zainal Abidin**, *Geotechnical Improvement at Regional Office 2 gas Booster Station Belilas, No. 1SVC-008834, TGI, 2009. (Bagian Stress Monitoring)*
31. **Zainal Abidin**, *Vibration Data Collection Of HWP Unit #1, Service Order No.: W-A-FAP-SO-00057, Star Energy Geothermal, 2009.*
32. **Zainal Abidin**, *Provision Of HWP-B Unit 1 Vibration And Diagnostic Services, SO No.: 91510085 – OS, Star Energy Geothermal, 2009.*

33. **Zainal Abidin**, *Provision Of U2 Turbine Generator Vibration Baseline Services*, Contract No.: 91510007-OS Magma Nusantara Limited, 2009.
34. **Zainal Abidin**, *Jasa Pengembangan Instrument On-line Monitoring Vibrasi Turbin Generator Unit 2 PLTP Kamojang*, UBPKMJ/2009.
35. **Zainal Abidin**, *Identification Of Causes Of Structure High-Vibration Nearby PCP-Z-25 Glycol Pump*, CONTRACT No: STC-0192, SO No. STC/0192-031, BP West Java, 2008.
36. **Zainal Abidin**, *HWP Alignment Check And Vibration Services*, WWS no. 573, Magma Nusantara Limited, 2008.
37. **Zainal Abidin**, *Brine Pump Vibration Study*, Work Order No.: C526089 dated April 2, 2007, Chevron Geothermal Salak, Ltd. 2007.
38. **Zainal Abidin**, *Turbine Generator Vibration Measurement*, C520440, Chevron Geothermal Salak, Ltd. 2007.
39. **Zainal Abidin**, *Hot Well Pump #B Diagnostics*, 71510071-OS, Magma Nusantara Limited, 2007.
40. **Zainal Abidin**, *Periodic Vibration-Monitoring Of Spols Bearing*, Service Order No. : 50000-4008, Kondur Petroleum S.A, 2007.
41. **Zainal Abidin**, *Jasa Pengembangan Instrument On-line Monitoring Vibrasi Turbin Generator Unit 3 PLTP Kamojang*, 2007.
42. **Zainal Abidin**, *TURBINE VIBRATION MONITORING, Turbine-Generator Unit 456, Before and After Overhaul 2006, June-August 2006*, Contract No.: SDS06066, Chevron Geothermal Salak, Ltd. 2006.
43. **Zainal Abidin**, *Pengembangan Filter Gempa untuk mengatasi Trip pada unit Turbin Generator PLTP Gunung Salak (Identifikasi*

Fenomena Getaran Pemicu Trip Pada Turbin-Generator), P.T. Indonesia Power, November 2006.

44. **Zainal Abidin**, *Identification of Root Cause Phenomenon of Recurrence Electric Motor Failure through OL2R Measurement*, SWI-P-001/002/003/004 Echo Water Flood, BP West Java, 2005.

