
MODEL PROGNOISIS UNTUK BANTALAN GELINDING

Moh. Arozi, Achmad Widodo dan Joga Dharma Setiawan

Laboratorium Kontrol dan Getaran, Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

e-mail: arosiboy@yahoo.com

Abstrak

Maintenance memiliki peran penting dalam dunia industri saat ini. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa kontribusi biaya maintenance memiliki porsi yang cukup besar atas biaya total produksi pada semua bidang industri. Salah satu teknik perawatan yang digunakan saat ini dan berkontribusi besar atas peningkatan efektifitas dan efisiensi perawatan adalah perawatan berbasis kondisi (condition based maintenance - CBM). CBM memiliki dua faktor penting yaitu diagnosa kerusakan mesin dan prognosis mesin. Pendekatan untuk CBM ini terbagi pada tiga kategori utama: pendekatan statistik, pendekatan kecerdasan tiruan, pendekatan berdasarkan model. Salah satu implementasi nyata dari CBM memberikan manfaat besar bagi kehidupan manusia dan dapat digunakan sebagai acuan dalam implementasinya di seluruh perlengkapan industri adalah pada bantalan gelinding (rolling element bearing). Fokus penelitian ini pada pengembangan sebuah model matematika dan model program simulink yang mampu menampilkan efek geometri dan posisi cacat pada outer race terhadap getaran pada bantalan gelinding.

Makalah ini membahas pemodelan matematik dan pemodelan simulink atas bantalan gelinding dengan menggunakan variabel geometri cacat dan posisi cacat pada outer race bantalan gelinding, serta menganalisis getaran yang diperoleh dari running model simulink yang telah dibuat.

Kata kunci: *perawatan, bantalan gelinding, defect, model matematik, model simulink, analisis getaran.*

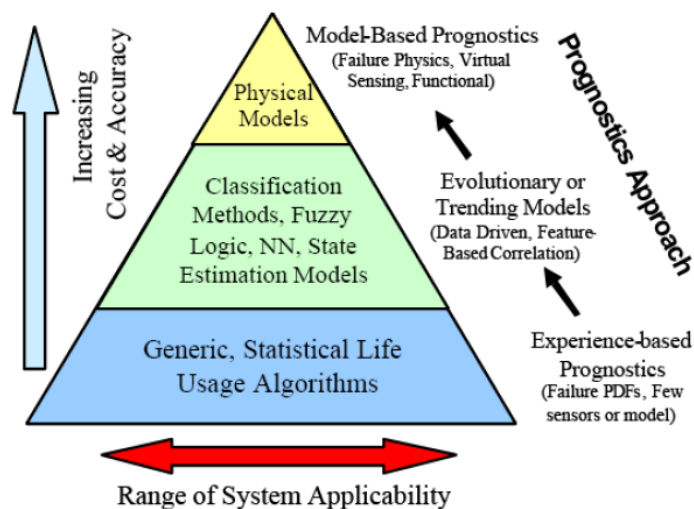
PENDAHULUAN

Saat ini daya saing menjadi suatu hal yang sangat penting bagi suatu industri atau perusahaan, dimana tingkat daya saing yang dimiliki akan meningkatkan peluang untuk bertahan dan berkembang industri tersebut. Daya saing atau kemampuan berkompetisi ini dipengaruhi secara langsung oleh keamanan operasional, ketersediaan aset dan tingkat efektifitas biaya *maintenance*. Pemenuhan atas ketiga aspek ini sangat tergantung pada implementasi *maintenance* di industri itu sendiri.

Untuk itu mengatur *maintenance* secara lebih efektif menjadi hal penting dan telah memperoleh perhatian khusus dari para ahli dan praktisi *maintenance*. Fakta di lapangan juga menunjukkan bahwa kontribusi biaya *maintenance* memiliki porsi yang cukup besar atas biaya total produksi pada semua bidang industri. Selain itu, *trend* yang terjadi adalah adanya peningkatan biaya *maintenance* di masa depan seiring perkembangan teknologi di dunia industri.

Teknik *maintenance* (pemeliharaan) yang tepat diperlukan untuk menyelesaikan persoalan tersebut. Tujuan utama dari teknik pemeliharaan adalah menjaga mesin dan perlengkapan pabrik dalam kondisi operasi yang bagus untuk mencegah kerusakan dan kerugian produksi. Fase perkembangan dari teknik pemeliharaan (*maintenance*) dimulai dari *corrective maintenance* atau *breakdown maintenance*. *Corrective maintenance* adalah sebuah strategi dimana *maintenance* dalam bentuk kerja perbaikan atau penggantian hanya dilakukan ketika mesin mengalami kerusakan. Fase berikutnya adalah *schedule maintenance* (atau disebut pemeliharaan yang direncanakan atau pemeliharaan pencegahan), yang mana diaplikasikan untuk memperoleh sebuah pemeliharaan dengan interval berkala yang didasarkan pada kondisi sehat dari sebuah komponen atau system. Fase *maintenance* yang ketiga adalah *condition based maintenance* (CBM). CBM juga dikenal sebagai *predictive and proactive maintenance* yaitu sebuah teknik untuk mengakses kondisi actual mesin. CBM biasanya digunakan untuk mengoptimalkan *schedule maintenance*. CBM terdiri dari evaluasi secara kontinyu terhadap kondisi mesin yang dimonitor dan mengidentifikasi kesalahan-kesalahan sebelum gangguan fatal terjadi. Dengan mengorganisasikan CBM, keuntungan biaya dapat dicapai. Ada faktor penting untuk mendukung CBM, yaitu diagnosa kesalahan mesin dan prognosis mesin.

Untuk memenuhi tujuan prognosis ada dua langkah krusial dibutuhkan (1) Prediksi kegagalan (2) Estimasi sisa umur bearing. Prediksi kegagalan memiliki makna, bagaimana untuk mendeteksi kegagalan awal terjadi dan perkembangan kegagalan tersebut. Sisa umur memiliki arti waktu yang tersisa sebelum kegagalan akhir terjadi. Pendekatan untuk prognosis ini jatuh pada tiga kategori utama: pendekatan statistic, pendekatan kecerdasan tiruan, pendekatan berdasarkan model. Gambar 1 dibawah merupakan rangkuman atas cakupan pendekatan prognosis yang mungkin sebagai sebuah fungsi untuk pengaplikasian pada bermacam-macam system dan implementasi relatifnya.



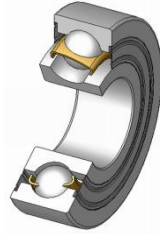
Gambar 1. Klasifikasi prognosis

Salah satu implementasi nyata dari CBM dan prognosis yang memberikan manfaat besar bagi kehidupan manusia dan dapat digunakan sebagai acuan dalam implementasinya di seluruh perlengkapan industri adalah pada *roller element bearing*. *Roller element bearing* adalah komponen penting untuk mesin yang berputar (*rotating machinery*). Sebuah mesin dapat menjadi sangat berbahaya jika kesalahan terjadi pada bearing ketika beroperasi. Deteksi awal atas cacat pada bearing, oleh karena itu, adalah penting untuk mencegah terjadinya kerusakan pada komponen lain pada sebuah mesin. Cacat pada bearing dapat dikategorikan sebagai cacat yang terlokalisir dan cacat yang terdistribusi. Cacat yang terlokalisir meliputi *cracks* (retak), *pits* (lubang) dan *spalls* (serpih) yangmana disebabkan oleh *fatigue* (kelelahan) pada permukaan putar. Kategori lain adalah cacat yang terdistribusi, meliputi kekasaran permukaan (*surface roughness*), gelombang (*waviness*) pada permukaan dan lintasan yang sudah tidak benar (*misaligned races*) serta elemen putar yang sudah aus (*off size rolling elements*). Cacat ini dapat dikarenakan oleh kesalahan pada pembuatan dan dapat disebabkan oleh kondisi pengoperasian. Oleh karena itu, monitoring atas kondisi bearing telah dipertimbangkan menjadi sesuatu yang penting dan bagian integral pada banyak fasilitas pabrik modern. Monitoring yang cukup memungkinkan memprediksi kerusakan akan terjadi sebelum kerusakan itu benar-benar terjadi. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memprediksi dan mendiagnosa cacat pada bearing. Mereka dapat diklasifikasikan dalam pengukuran getaran, pengukuran akustik, pengukuran temperature dan pengukuran keausan. Monitoring kondisi yang berdasarkan getaran menjadi teknik paling banyak digunakan. Baik metode yang mengacu pada waktu (*time domain*) maupun yang mengacu pada frekuensi (*frequency domain*) digunakan untuk memonitor kesehatan dari bearing.

Makalah ini difokuskan kearah pengembangan sebuah model matematika yang mampu menampilkan efek geometri cacat pada getaran bearing. Sebagai ganti untuk menggunakan fungsi impuls yang diulang secara periodic untuk impuls yang disebabkan cacat, cacat ini sendiri dimodelkan sebagai bagian gelombang sinusoidal. Model membuatnya mungkin untuk mendeteksi spectrum frekuensi yang memiliki puncak pada frekuensi cacat bearing. Amplitudo pada frekuensi ini juga diprediksikan.

Bantalan Gelinding

Untuk mempelajari karakteristik struktur getaran dari bearing elemen gelinding, pertemuan antara elemen gelinding dengan jalur lintasan dapat dipertimbangkan sebagai sebuah sistem massa dan pegas, yang mana lintasan luar ditopang oleh dudukan yang rigid dan lintasan dalam dipasang dengan rigid dengan poros motor. Deformasi elastic antara jalur lintasan dan elemen gelinding menghasilkan sebuah fenomena non linear antara gaya dan deformasi yang mana diperoleh dengan teori Hertzian.



Gambar 2. Elemen gelinding

Gaya Kontak

Berdasarkan teori deformasi kontak Hertzian, hubungan non linear antara beban dan deformasi diperoleh dari,

$$F = K \cdot \delta_r^n \quad (1)$$

dimana K adalah factor defleksi beban atau konstan untuk deformasi elastis kontak Hertzian, δ_r adalah defleksi radial dan deformasi kontak dan n adalah eksponen deformasi kontak.

Defleksi radial dengan mempertimbangkan pergerakan bola pada lintasan cage, clearance bantalan (C_r) dan geometri defect yang terjadi, diperoleh persamaan defleksi radial berikut,

$$[(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i) (C_r + HD \cdot \sin(\pi/\varphi(\theta_i - \theta_1)))] \quad (2)$$

Sehingga persamaan gaya kotak adalah,

$$F_{xD} = \sum_{i=1}^z K \cdot [(x \cdot \cos \theta_i + y \cdot \sin \theta_i) (C_r + HD \cdot \sin(\pi/\varphi(\theta_i - \theta_1)))]^{3/2} \cdot \cos \theta_i \quad (3)$$

$$F_{yD} = \sum_{i=1}^z K \cdot [(x \cdot \cos \theta_i + y \cdot \sin \theta_i) (C_r + HD \cdot \sin(\pi/\varphi(\theta_i - \theta_1)))]^{3/2} \cdot \sin \theta_i \quad (4)$$

dengan,

$$\varphi = \frac{\text{Ukuran cacat}}{\text{radius raceway}} \quad (5)$$

Jika cacat pada lintasan luar,

$$\theta_t = \omega_c \cdot t + 2 \cdot \pi / Z (Z - i) \quad (6)$$

dimana $i = Z$ sampai 1

Untuk cacat pada lintasan dalam,

$$\theta_{t-} = (\omega - \omega_c) \cdot t + 2 \cdot \pi / Z (Z - i) \quad (7)$$

Persamaan Gerak

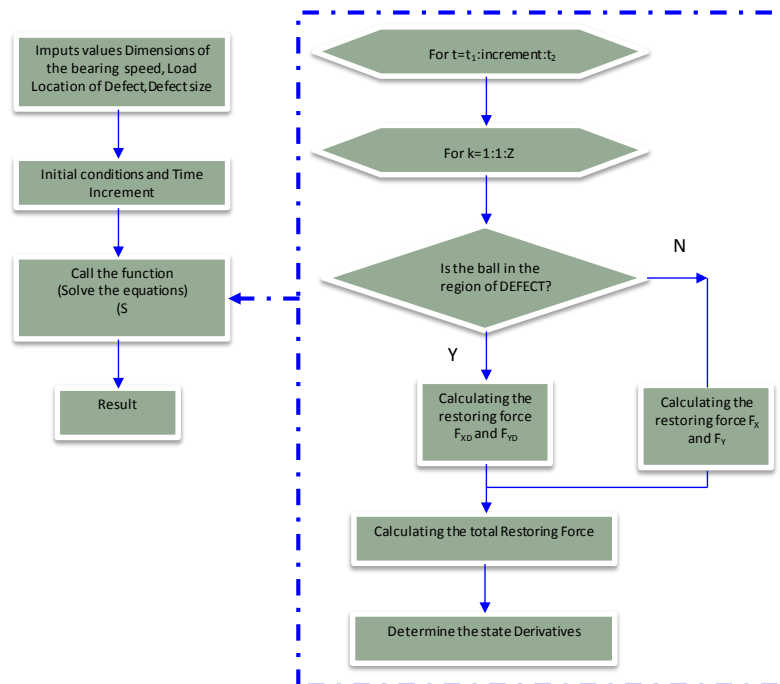
Persamaan gerak untuk system dengan dua derajat kebebasan dapat ditulis seperti berikut,

$$M \ddot{x} + c\dot{x} + F_{xD} = W \quad (8)$$

$$M \ddot{y} + c\dot{y} + F_{yD} = 0 \quad (9)$$

Diagram alir model program

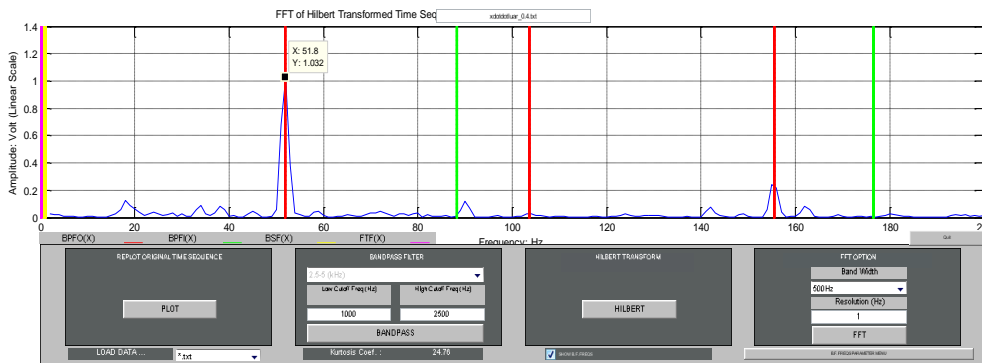
Program terdiri dari sebuah fungsi dan program utama. Fungsi digunakan untuk menghitung *state derivatives*.



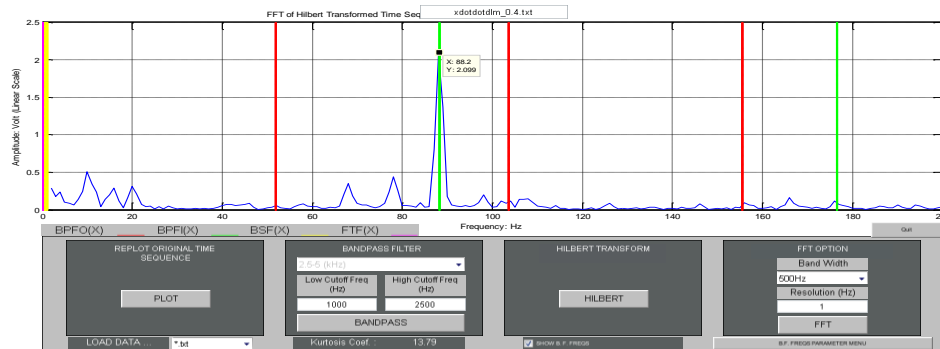
Gambar 3. Diagram alir dari program

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bantalan gelinding yang disimulasi dalam studi ini adalah SKF tipe 6305. Simulasi dilakukan untuk tinggi cacat 0.2 mm dan posisi cacat pada 0 derajat, baik untuk cacat luar maupun cacat dalam. Variasi lebar cacat 0.1,0.2, 0.4, dan 0.8.



Gambar 3. Hasil simulasi model dan validasi hasil untuk cacat luar 0.4 mm



Gambar 4. Hasil simulasi model dan validasi hasil untuk cacat dalam 0.4 mm

Hasil simulasi untuk cacat luar maupun dalam dengan variasi lebar cacat adalah sebagai berikut,

Tabel 1. Hasil simulasi

VARIASI CACAT	CACAT LUAR		CACAT DALAM	
	X (Hz)	Y (volt)	X (Hz)	Y (volt)
0.1	51.8	0.3177	88.2	0.477
0.2	51.8	0.5527	88	1.034
0.4	51.8	1.032	88.2	2.099
0.8	51.8	1.359	88	2.497

Data simulasi menunjukkan bahwa peningkatan lebar cacat menyebabkan peningkatan amplitudo getaran yang terjadi.. Data simulasi juga menunjukkan bahwa frekuensi getaran cacat dalam lebih tinggi dibandingkan frekuensi getaran cacat dalam.

KESIMPULAN

Pemodelan matematik dan pemodelan matlab atas bantalan gelinding untuk tujuan proses prognosis dapat dilakukan. Hasil simulasi model MATLAB menunjukkan bahwa lebar cacat yang terjadi pada bantalan gelinding menyebabkan peningkatan amplitudo getaran yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gupta PK. Dynamics of rolling element bearings Part II: *ball bearing analysis*. Journal of Lubrication Technology —Transactions of the ASME 1979;101:305–11.
- [2] McFadden PD, Smith JD. *Model for the vibration produced by a single point defect in a rolling element bearing*. Journal of Sound and Vibration 1984;96(1):69–82.
- [3] McFadden PD, Smith JD. *Model for the vibration produced by multiple point defects in a rolling element bearing*. Journal of Sound and Vibration 1985;98(2):263–73.
- [4] Meyer LD, Ahlgren FF, Weichbrodt B. *An analytic model for ball bearing vibrations to predict vibration response to distributed defects*. Journal of Mechanical Design—Transactions of the ASME 1980;102: 205–10.
- [5] Tandon N, Choudhury A. *An analytical model for the prediction of the vibration response of rolling element bearings due to a localized defect*. Journal of Sound and Vibration 1997;205(3):275–92.
- [6] Tandon N, Choudhury A. *A theoretical model to predict vibration response of rolling bearings to distributed defects under radial load*. Journal of Vibrations and Acoustics 1998;120:214–20.
- [7] Kiral Z, Karagulle H. *Simulation and analysis of vibration signals generated by rolling element bearing with defects*. Tribology International 2003;36: 667–78.
- [8] Su YT, Lin MH, Lee MS. *The effect of surface irregularities on roller bearing vibrations*. Journal of Sound and Vibration 1993;163(3): 455–66.
- [9] Akturk N. *The effect of waviness on vibrations associated with ball bearings*. Journal of Tribology 1999;121:667–77.
- [10] Harris Tedric A, Kotzalas Micheal N. *Rolling bearing analysis - essential concepts of bearing technology*, 5th ed. Taylor and Francis; 2007.
- [11] M.S. Patil, Jose Mathew, P.K. Rajendrakumar, Sandeep Desai, *A theoretical model to predict the effect of localized defect on vibrations associated with ball bearing*, International Journal of Mechanical Sciences 52 (2010) 1193–1201
- [12] N.Z. Gebraeel, M.A. Lawley, R. Li, J.K. Ryan, *Residual-life distribution from component degradation signals: A Bayesian approach*, IEE Transaction 37(2005) 543-557.