

Penggunaan *JerK* untuk Deteksi Dini Kerusakan Bantalan Gelinding dan Pemantauan Kondisi Pelumasan

Zainal Abidin dan Budi Heryadi

Laboratorium Dinamika PPAU-IR, Institut Teknologi Bandung, Bandung

Email: za@dynamic.pauir.itb.ac.id

ABSTRAK

Makalah ini mengungkapkan penggunaan sinyal *jerK*, yaitu sinyal turunan terhadap waktu dari sinyal percepatan, untuk mendeteksi kerusakan dini bantalan gelinding dan memantau kondisi pelumasannya. Penggunaan sinyal *jerK* diharapkan lebih sensitif dibandingkan sinyal percepatan getaran dalam mendeteksi kerusakan dini bantalan gelinding. Untuk membuktikan hipotesa ini, dalam makalah ini diketengahkan hasil pengukuran percepatan dan *jerK* pada bantalan gelinding jarum dan kerucut dengan variasi besar beban, jenis cacat, dan kondisi pelumasan. Perbandingan sinyal percepatan getaran dan *jerK* dilakukan dalam domain waktu maupun domain frekuensi. Hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa sinyal *jerK* lebih sensitif untuk mendeteksi kerusakan bantalan gelinding dibandingkan sinyal percepatan getaran. Selain itu, sinyal *jerK* juga lebih baik digunakan dalam mendeteksi kondisi pelumas yang buruk dibandingkan dengan nilai CF (Crest Factor).

Kata kunci: *JerK*, percepatan, bantalan gelinding, kondisi pelumasan.

ABSTRACT

This paper describes the use of jerk signal, a signal obtained from differentiation of the acceleration signal with respect to time, for detecting the early damage of a bearing and bad lubrication conditions. The use of jerk signal is expected to result more sensitive detection than that obtain using acceleration signal. To prove this hypothesis, this paper shows the results of vibration measurement for needle bearings and taper roller bearings with variation of load level, types of bearing damage, and lubrication condition. Comparisons of acceleration and jerk signals are performed in both time domain, by comparing their RMS values, as well as in frequency domain, by comparing their spectrums. The results of the experiment show that the use of jerk signal can give a more sensitive result in detecting bearing damage than that produced using acceleration signal. Moreover, the use of jerk signal can lead to better results in detecting bad lubrication of rolling bearing than that obtain using Crest Factor (CF) value.

Keywords: *Jerk, acceleration, bearing, lubrication conditions.*

PENDAHULUAN

Bantalan gelinding memiliki peran yang sangat penting pada mesin rotasi. Kerusakan bantalan gelinding dapat menyebabkan terhentinya proses produksi dan menimbulkan kerugian yang besar; terutama bila kerusakan yang timbul terjadi secara mendadak. Untuk menghindari hal ini, sinyal getaran, baik simpangan maupun kecepatan, sering digunakan untuk mendeteksi kerusakan bantalan namun tidak cukup baik untuk mendeteksi kerusakan dini. Untuk mendeteksi kerusakan dini, sinyal percepatan dan nilai CF (*Crest Factor*) sebaiknya digunakan. Bahkan, nilai *PeakVue*, *Spike Energy*, dan *Shock Pulse* dikembangkan orang untuk dapat mendeteksi kerusakan bantalan gelinding pada

tahap yang lebih dini. Tidak seperti nilai percepatan maupun CF yang bersifat umum, nilai *PeakVue*, *Spike Energy* dan *Shock Pulse* bersifat unik karena sangat berorientasi ke pabrik pembuat. Akibatnya, nilai hasil pengukuran yang satu sulit untuk dibandingkan dengan hasil pengukuran yang lain.

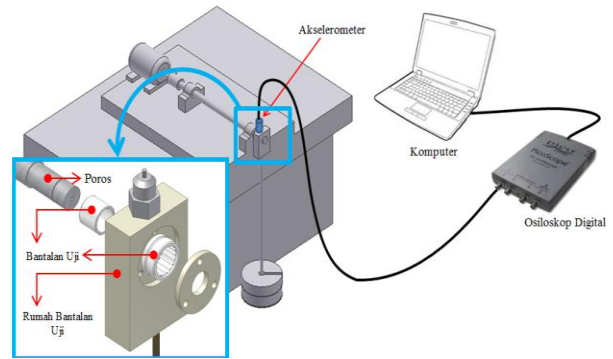
Oleh karena itu, dalam makalah ini diketengahkan tentang sinyal *jerK*. Sinyal ini diperoleh dari diferensiasi (turunan) pertama terhadap waktu dari sinyal percepatan getaran. Sinyal *jerK* bersifat umum sehingga dapat diperoleh oleh siapa saja. Sinyal *jerK* diharapkan mampu mendeteksi kerusakan bantalan gelinding dan memantau kondisi pelumasannya lebih baik dibandingkan sinyal percepatan getaran maupun nilai CF.

Penelitian mengenai identifikasi kerusakan bantalan gelinding berdasarkan sinyal hasil diferensiasi numerik telah dilakukan oleh Lahdelma [1]. Lahdelma membuktikan bahwa sinyal hasil diferensiasi numerik dengan orde tinggi lebih sensitif terhadap kerusakan bantalan gelinding daripada sinyal hasil diferensiasi numerik dengan orde rendah. Di Laboratorium Dinamika PRI (PAU) ITB juga telah dilakukan beberapa penelitian mengenai pendeteksian kondisi bantalan gelinding dan pemantauan kondisi pelumasannya. Dalam penelitian-penelitian ini digunakan metode *Peak Vue*, *Shock Pulse*, dan getaran. Sebagai contoh, Somali [2] telah mengimplementasikan metode *Peak Vue* berbasis mikrokontroler *ATMEGA32*. Sulaeman [3] melakukan identifikasi terhadap kerusakan bantalan rol dan bola dengan metode *Shock Pulse*, *PeakVue*, dan getaran. Noviyantha [4] melakukan identifikasi kerusakan bantalan gelinding jarum dengan metode *enveloping* berbasis *MATLAB*. Vendy [5] melakukan penelitian tentang pengaruh besar beban, viskositas oli pelumas, dan kecepatan putar terhadap nilai *shock pulse* dan getaran pada bantalan gelinding kerucut.

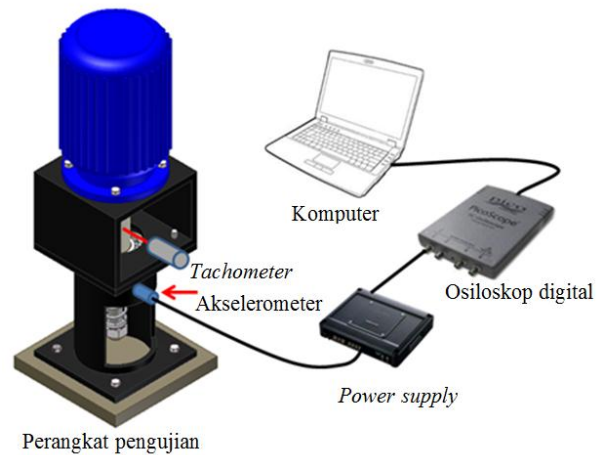
METODE PENELITIAN

Mengingat sensor *jerk* saat ini belum tersedia, sinyal *jerk* harus didapatkan dari pengukuran sinyal percepatan getaran. Jadi, sinyal *jerk* diperoleh dengan cara mendiferensiasikan sinyal percepatan secara numerik. Metode diferensiasi numerik yang digunakan adalah metode yang telah dikembangkan oleh Abidin [6], yaitu metode diferensiasi numerik metode Tustin dengan frekuensi batas. Berdasarkan hasil analisis ini, agar kesalahan puncak *jerk* hasil diferensiasi numerik yang diperoleh tidak lebih besar dari 5 % untuk span frekuensi pengukuran dari 0 s.d. 50 kHz, maka parameter-parameter pengukuran harus dipilih sebagai berikut: rasio frekuensi batas 0,45 dan frekuensi cuplik 125 kHz.

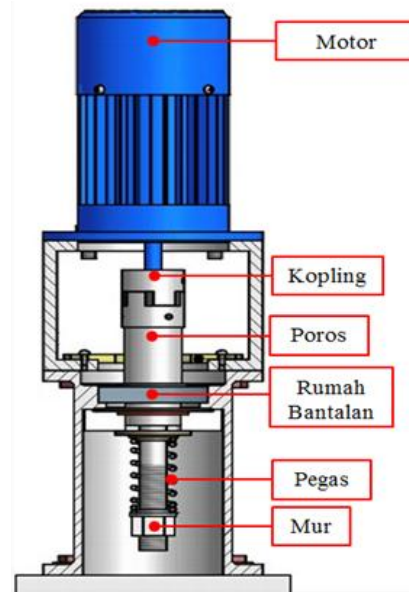
Ada dua perangkat uji yang digunakan untuk mengevaluasi nilai *jerk* yaitu perangkat uji bantalan gelinding jarum dan perangkat uji bantalan gelinding kerucut. Skema pengukuran percepatan untuk menghasilkan sinyal *jerk* pada bantalan gelinding jarum diperlihatkan pada Gambar 1. Pada gambar ini tampak bahwa rumah bantalan uji diberi beban gantung sehingga bantalan gelinding jarum mendapat beban dalam arah radial. Sementara itu, skema pengukuran percepatan dan *jerk* pada bantalan gelinding kerucut dapat dilihat pada Gambar 2. Besar beban pada bantalan gelinding kerucut diatur dengan cara mengatur panjang pegas pada perangkat uji. Agar lebih jelas, gambar potongan perangkat uji bantalan gelinding kerucut diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Skema Pengukuran Percepatan pada Bantalan Gelinding Jarum



Gambar 2. Skema Pengukuran Percepatan pada Bantalan Gelinding Kerucut



Gambar 3. Perangkat Uji Bantalan Gelinding Kerucut

Pada pengujian kedua jenis bantalan gelinding ini, sinyal percepatan getaran diukur dengan menggunakan akselerometer dengan sensitivitas 100 mV/g. Dalam pengujian ini, akselerometer dihubung-

kan dengan *power supply* yang sekaligus berfungsi sebagai *signal conditioning*. Sinyal keluaran dari akselerometer selanjutnya dicuplik dengan menggunakan osiloskop digital. Sinyal yang telah dicuplik kemudian disimpan dan diolah dengan menggunakan komputer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Percepatan dan Jerk pada Bantalan Gelinding Jarum

Hasil pengukuran percepatan dan *jerk* pada bantalan gelinding jarum dengan jenis cacat yang divariasikan diperlihatkan pada Tabel 1. Pada tabel ini tampak bahwa nilai percepatan dan *jerk* bantalan cacat lintasan dalam selalu lebih besar daripada nilai percepatan dan *jerk* bantalan tanpa cacat. Sementara itu, nilai percepatan dan *jerk* bantalan dengan cacat pada lintasan luar lebih besar daripada nilai percepatan dan *jerk* bantalan dengan cacat pada lintasan dalam. Selain itu, nilai CF bantalan dengan cacat pada lintasan dalam lebih kecil daripada nilai CF bantalan dengan cacat pada lintasan luar.

Dari pengukuran ini juga diperoleh spektrum percepatan dan *jerk*. Spektrum percepatan untuk ketiga kondisi bantalan tersebut diperlihatkan pada Gambar 4. Pada gambar dapat dilihat bahwa bantalan dengan cacat pada lintasan dalam dan bantalan tanpa cacat memiliki spektrum percepatan yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa ciri kerusakan lintasan dalam bantalan gelinding jarum tidak dapat diamati pada spektrum percepatan getaran. Sementara itu, kerusakan lintasan luar bantalan gelinding jarum ditandai dengan peningkatan amplitudo sinyal percepatan pada rentang frekuensi 25-50 kHz.

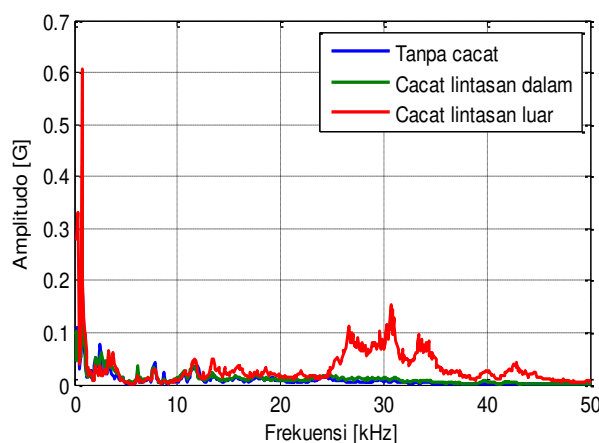
Pada Gambar 5 diperlihatkan spektrum *jerk* untuk ketiga kondisi bantalan. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa spektrum *jerk* bantalan dengan cacat pada lintasan dalam sedikit mengalami kenaikan pada rentang frekuensi 20 s.d. 45 kHz dibandingkan dengan spektrum *jerk* bantalan baru. Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan lintasan dalam pada bantalan gelinding jarum harus diamati pada rentang frekuensi 20 s.d. 45 kHz pada spektrum *jerk*. Sementara itu, kerusakan lintasan luar bantalan gelinding jarum ditandai dengan peningkatan amplitudo sinyal *jerk* pada rentang frekuensi 25-50 kHz.

Nilai percepatan dan *jerk* dengan kondisi pelumasan yang divariasikan diperlihatkan pada Tabel 2. Pada tabel ini dapat dilihat bahwa nilai RMS percepatan dan *jerk* mengalami kenaikan akibat kondisi pelumasan bantalan yang buruk. Namun, nilai CF justru mengalami penurunan akibat kondisi pelumasan yang buruk. Jadi CF tidak

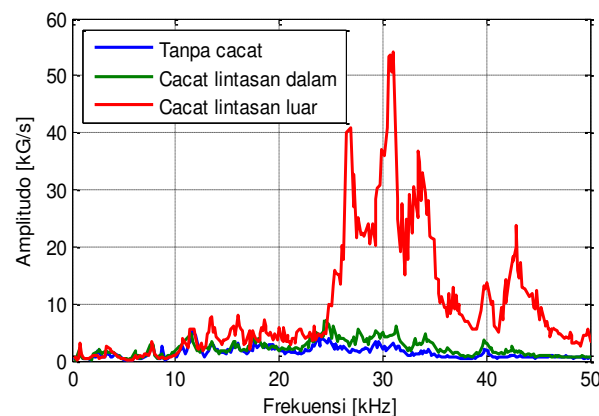
cocok untuk mendeteksi kondisi pelumas yang tidak baik. Padahal kondisi ini sering memicu terjadinya kerusakan dini pada bantalan gelinding.

Tabel 1. Nilai Percepatan dan Jerk Sebagai Fungsi dari Jenis Cacat Bantalan

Nilai Getaran		Kondisi Bantalan		
		Tanpa Cacat	Cacat Lintasan Dalam	Cacat Lintasan Luar
Percepatan	GRMS	0,90	1,14	2,89
	CF	4,29	11,79	13,34
Jerk	kG/SRMS	76,51	109,39	653,71



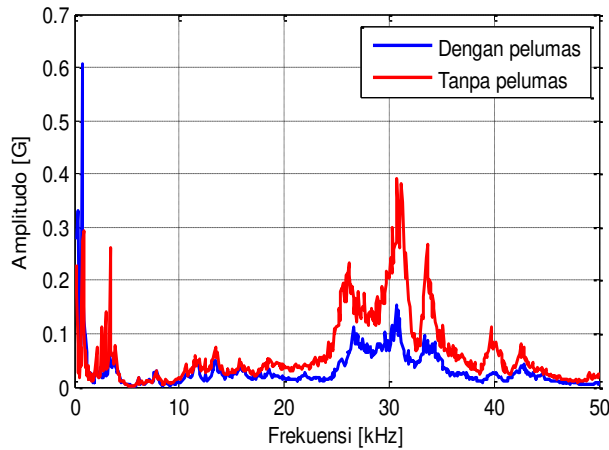
Gambar 4. Spektrum Percepatan Tiga Kondisi Bantalan Gelinding Jarum



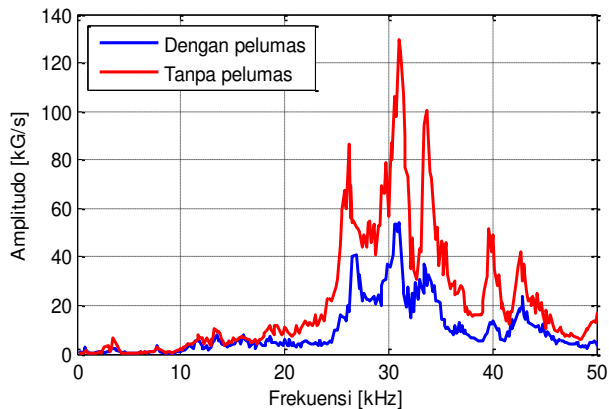
Gambar 5. Spektrum Jerk Tiga Bantalan Gelinding Jarum

Tabel 2. Nilai Percepatan dan Jerk Sebagai Fungsi dari Kondisi Pelumasan

Nilai Getaran		Kondisi Pelumasan	
		Dengan Pelumas	Tanpa Pelumas
Percepatan	GRMS	2,86	6,48
	CF	12,49	10,82
Jerk	kG/S RMS	0,65	1,51



Gambar 6. Spektrum Percepatan Bantalan dengan dan Tanpa Pelumas



Gambar 7. Spektrum Jerk Bantalan Dengan dan Tanpa Pelumas

Hasil pengukuran yang lain adalah spektrum percepatan dan *jerk*. Spektrum percepatan bantalan dengan dan tanpa pelumas diperlihatkan pada Gambar 6. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa kondisi pelumasan yang buruk ditandai dengan peningkatan amplitudo sinyal percepatan pada rentang frekuensi 2-4 kHz dan 10-50 kHz. Sementara itu, spektrum *jerk* bantalan dengan dan tanpa pelumas diperlihatkan pada Gambar 7. Pada Gambar 7 ini dapat dilihat bahwa kondisi pelumasan yang buruk ditandai dengan peningkatan amplitudo sinyal *jerk* pada rentang frekuensi 10-50 kHz.

Hasil Pengukuran Percepatan dan Jerk pada Bantalan Gelinding Kerucut

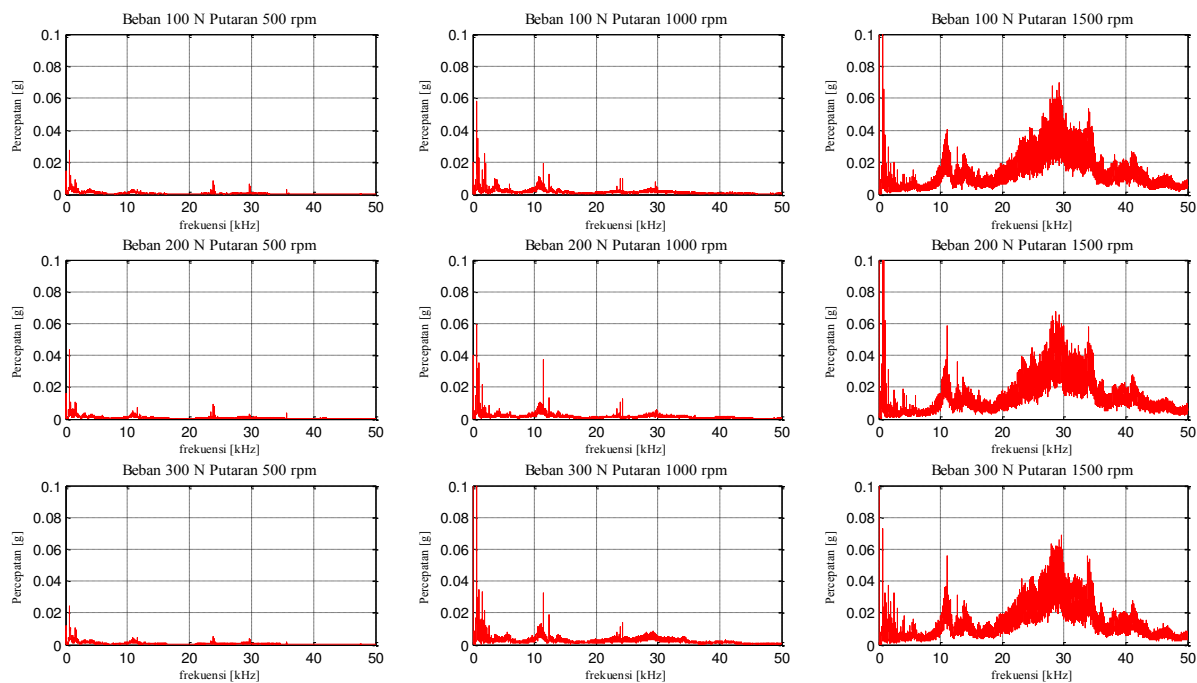
Hasil pengukuran percepatan dan *jerk* pada bantalan gelinding kerucut diperlihatkan pada Tabel 3.

Pada tabel ini dapat dilihat bahwa nilai percepatan dan *jerk* pada bantalan gelinding kerucut tidak banyak dipengaruhi oleh besar beban. Namun, nilai percepatan dan *jerk* banyak dipengaruhi oleh tingkat kerusakan bantalan dan kecepatan putar bantalan. Kenaikan tingkat kerusakan bantalan gelinding atau kenaikan kecepatan putar menyebabkan kenaikan nilai percepatan dan *jerk*. Pada tabel ini juga diperlihatkan nilai percepatan dan *jerk* yang dinormalisasi. Berdasarkan nilai percepatan dan *jerk* yang dinormalisasi ini dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai *jerk* lebih besar daripada perubahan nilai percepatan untuk kenaikan tingkat kerusakan tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa sinyal *jerk* lebih sensitif untuk mendeteksi kerusakan bantalan dibandingkan sinyal percepatan.

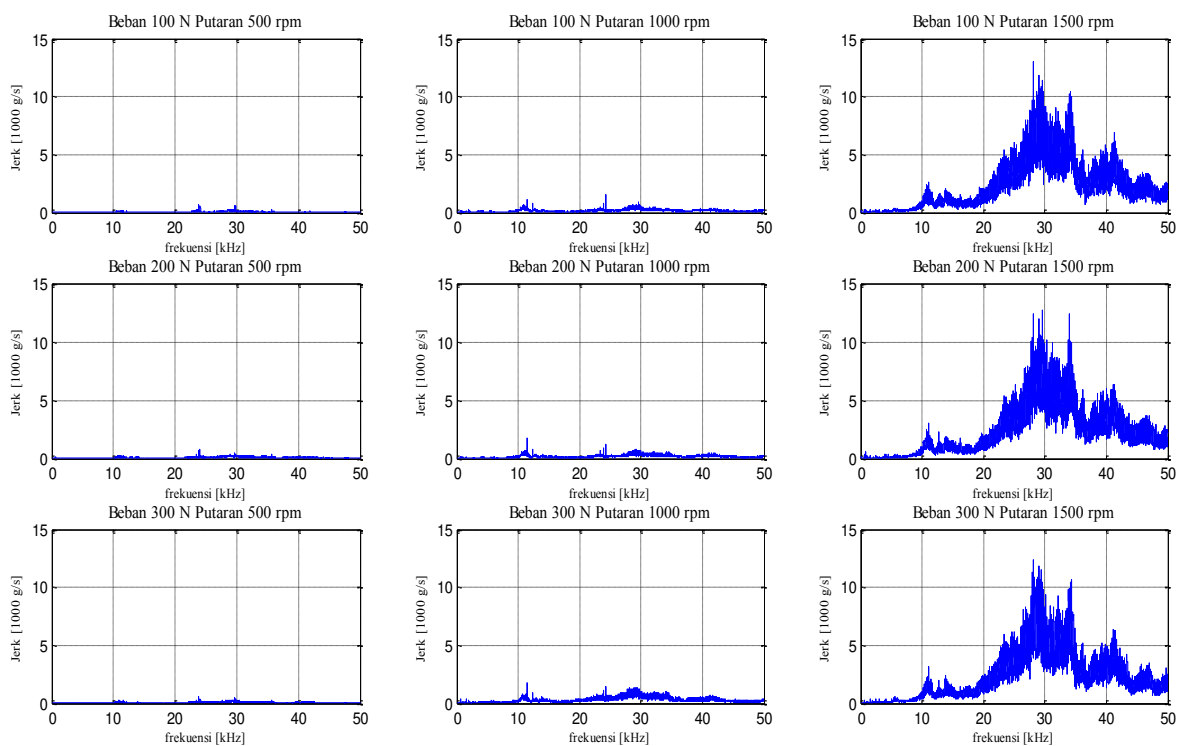
Pada Gambar 8 dan Gambar 9 diperlihatkan spektrum percepatan bantalan aus untuk berbagai kecepatan putar dan besar beban pada kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa spektrum percepatan dan *jerk* pada rentang frekuensi 0-50 kHz tidak banyak dipengaruhi oleh perubahan besar beban. Akan tetapi, spektrum percepatan dan *jerk* ini banyak dipengaruhi oleh kecepatan putar. Kenaikan kecepatan putar menyebabkan kenaikan amplitudo sinyal percepatan dan *jerk*.

Tabel 3. Nilai Percepatan dan Jerk pada Bantalan Gelinding Kerucut Sebagai Fungsi dari Tingkat Kerusakan Bantalan, Kecepatan Putar, dan Besar Beban

Kondisi Bantalan	Kecepatan (RPM)	Beban (N)	Percepatan (G)	Jerk (MG/s)	Percepatan (normalisasi)	Jerk (normalisasi)
Baru	500	100	0,14	5,22	1,00	1,00
		200	0,16	5,68	1,14	1,09
		300	0,14	5,31	1,00	1,02
	1000	100	0,35	12,86	2,50	2,46
		200	0,43	16,15	3,07	3,09
		300	0,38	14,19	2,71	2,72
	1500	100	0,69	28,11	4,93	5,39
		200	0,79	32,55	5,64	6,24
		300	0,71	29,32	5,07	5,62
Aus	500	100	0,19	5,45	1,36	1,04
		200	0,20	7,99	1,43	1,53
		300	0,20	6,67	1,43	1,28
	1000	100	0,37	15,47	2,64	2,96
		200	0,37	17,47	2,64	3,35
		300	0,55	30,64	3,93	5,87
	1500	100	2,77	252,81	19,79	48,44
		200	2,81	256,58	20,07	49,16
		300	2,75	250,91	19,64	48,08
Cacat	500	100	0,73	43,98	5,21	8,43
		200	0,79	49,74	5,64	9,53
		300	0,78	51,81	5,57	9,93
	1000	100	1,74	135,76	12,43	26,01
		200	2,09	162,12	14,93	31,06
		300	2,26	193,27	16,14	37,03
	1500	100	4,60	494,60	32,86	94,77
		200	4,91	507,86	35,07	97,31
		300	5,35	566,33	38,21	108,51



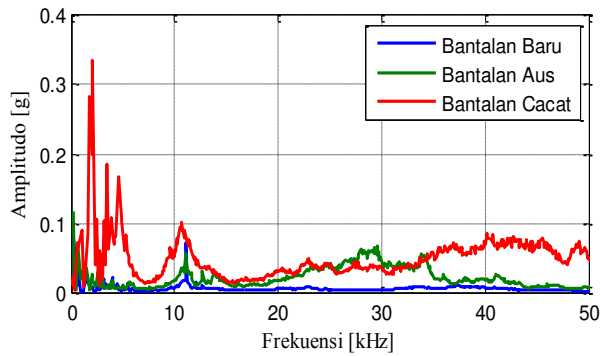
Gambar 8. Spektrum Percepatan Bantalan Aus



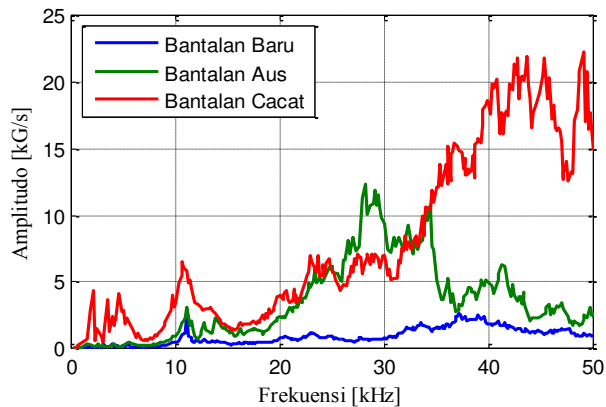
Gambar 9. Spektrum Jerk Bantalan Aus

Untuk melihat pengaruh tingkat kerusakan bantalan terhadap spektrum percepatan, pada Gambar 10 diperlihatkan spektrum percepatan pada berbagai tingkat kerusakan bantalan. Gambar ini memperlihatkan spektrum-spektrum percepatan bantalan gelinding kerucut pada berbagai tingkat kerusakan, beban, dan kecepatan putar.

Pada gambar ini dapat dilihat bahwa kerusakan bantalan aus ditandai dengan meningkatnya amplitudo percepatan pada rentang frekuensi 20-35 kHz. Sementara itu, kerusakan bantalan cacat ditandai dengan kenaikan amplitudo percepatan pada rentang frekuensi 0-50 kHz.



Gambar 10. Spektrum Percepatan pada Berbagai Tingkat Kerusakan Bantalan



Gambar 11. Spektrum Jerk pada Berbagai Tingkat Kerusakan Bantalan

Untuk melihat pengaruh tingkat kerusakan bantalan terhadap spektrum *jerk*, pada Gambar 11 diperlihatkan spektrum *jerk* pada berbagai tingkat kerusakan bantalan. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa keausan bantalan ditandai dengan kenaikan amplitudo *jerk* pada rentang frekuensi 20-50 kHz. Sementara itu, kerusakan bantalan ditandai dengan kenaikan amplitudo *jerk* pada rentang frekuensi 0-50 kHz.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengukuran percepatan dan *jerk* pada bantalan gelinding jarum dan kerucut dapat

disimpulkan beberapa hal berikut: Sinyal *jerk* lebih sensitif dalam mendeteksi kerusakan bantalan dibandingkan dengan sinyal percepatan maupun nilai CF. Sinyal percepatan dan *jerk* lebih baik dalam mendeteksi kondisi pelumasan yang buruk dibandingkan nilai CF. Spektrum sinyal percepatan dan *jerk* hanya sedikit dipengaruhi oleh besar beban. Spektrum sinyal percepatan dan *jerk* cukup banyak dipengaruhi oleh besar kecepatan putar. Oleh karena itu, nilai RMS sinyal percepatan maupun *jerk* sebaiknya dinormalisasi terhadap kecepatan putar. Agar hasil evaluasi sinyal *jerk* lebih baik dalam mendeteksi kerusakan maupun kondisi pelumas yang buruk, sebaiknya perhitungan nilai RMS dan analisis spectrum dari sinyal ini dilakukan pada rentang frekuensi 20 s.d. 50 kHz.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lahdelma, S., Strackeljan J., dan Behr D., *Nutzung von hoheren Ableitungen als Datenverarbeitungs-technik*, University of Oulu.
2. Somali, Y., *Implementasi Metode PeakVue dalam Mikrokontroler ATmega 32*, Program Studi Teknik Mesin ITB, 2008.
3. Sulaeman, D.C. *Identifikasi Kerusakan Bantalan Bola dan Bantalan Rol dengan Metode Shock Pulse, Metode Peakvue, Dan Metode Getaran*. Program Studi Teknik Mesin ITB. 2009.
4. Noviyantha, I W., *Identifikasi Kerusakan Bantalan Gelinding dengan Metode Enveloping Berbasis Matlab*, Program Studi Teknik Mesin ITB. 2003.
5. Vendy, V., *Karakteristik Getaran Bantalan Gelinding Kerucut Akibat Perubahan Besar Beban, Kondisi Pelumasan, dan Kecepatan Putar*. Program Studi Teknik Mesin ITB. 2008.
6. Abidin, Z. dan Purnama, F., *Kesalahan Akibat Deferensiasi Numerik pada Sinyal Pengukuran Getaran dengan Metoda Beda Maju, Mundur, dan Tengah*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra, Vol. 11, No.2, 2009.