

Uji Performance Alat Uji Pengereman Kereta Cepat Untuk Kecepatan 160 km/jam

Mohammad Samsul Bakhri, Rusnaldy*, Paryanto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang - Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: rusnaldy@lecturer.undip.ac.id

Abstract

Indonesia is currently developing an international standard high-speed train industry. One of the important components of the fast train is the braking system. The fast train braking test rig at Diponegoro University has a speed of 160 km/h using a pneumatic braking system accompanied by disk brake and brake pad components for high speed. The performance test of the fast train braking test equipment needs to be done to find out if the test rig is in accordance with PT INKA standards and ensure it is safe to test. The purpose of this research is to test the performance of the braking test equipment, including the deceleration, braking distance, and mechanical vibration criteria. Measurement of deceleration and braking distance is carried out using a tachometer sensor and stopwatch, while mechanical vibration is measured using a vibration meter. The test results of deceleration and braking distance obtained were then compared with PT INKA standards, and the results of vibration signals obtained were then compared with ISO 10816 vibration level standards. The results showed that in normal braking conditions with a pressure of 3.8 bar, the average value of deceleration was 1.44 m/s^2 , and the braking distance was 684 m. In emergency braking conditions with a pressure of 5 bar, the average value of deceleration was 2.70 m/s^2 , and the braking distance was 365 m. The resulting mechanical vibration shows on bearing 1 the average Vrms value on the horizontal accelerometer of 0.03 in/s, the vertical accelerometer of 0.01 in/s, and the axial accelerometer of 0.01 in/s, and on bearing 2 the average Vrms value on the horizontal accelerometer of 0.02 in/s, the vertical accelerometer of 0.01 in/s, and the axial accelerometer of 0.01 in/s. From these vibration results, it can be concluded that the vibration conditions in accordance with ISO 10816 are safe to operate.

Keywords: brake test rig, performance test, deceleration, distance, vibration.

Abstrak

Saat ini Indonesia tengah mengembangkan industri kereta cepat yang berstandar internasional. Salah satu komponen penting pada kereta cepat adalah pada sistem pengereman. Alat uji pengereman kereta cepat yang terdapat di Universitas Diponegoro memiliki kecepatan 160 km/jam dengan menggunakan pengereman sistem pneumatik disertai dengan komponen *disk brake* dan *brake pad* untuk kecepatan tinggi. Uji *performance* dari alat uji pengereman kereta cepat tersebut perlu dilakukan untuk mengetahui *test rig* tersebut sesuai dengan standar PT. INKA dan memastikan aman untuk dilakukan pengujian. Tujuan dari penelitian ini adalah uji *performance* dari alat uji pengereman diantaranya mengetahui perlambatan, jarak pengereman dan kriteria getaran mekanis. Pengukuran perlambatan dan jarak pengereman dilakukan dengan menggunakan sensor tachometer dan *stopwatch* sedangkan getaran mekanis menggunakan *vibration* meter. Hasil pengujian perlambatan dan jarak pengereman yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar PT. INKA dan hasil sinyal getaran yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar level getaran ISO 10816. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi pengereman normal dengan tekanan sebesar 3,8 bar nilai rata – rata perlambatan sebesar $1,44 \text{ m/s}^2$ dan jarak pengereman sebesar 684 m, pada kondisi pengereman *emergency* dengan tekanan sebesar 5 bar nilai rata – rata perlambatan sebesar $2,70 \text{ m/s}^2$ dan jarak pengereman sebesar 365 m. Getaran mekanis yang dihasilkan menunjukkan pada bearing 1 rata-rata nilai Vrms pada *Accelerometer Horizontal* sebesar 0.03 in/s, *Accelerometer Vertical* sebesar 0,01 in/s dan *Accelerometer Axial* sebesar 0,01 in/s, dan pada bearing 2 menunjukkan rata-rata nilai Vrms pada *Accelerometer Horizontal* sebesar 0.02 in/s, *Accelerometer Vertical* sebesar 0,01 in/s dan *Accelerometer Axial* sebesar 0,01 in/s, dari hasil getaran tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi getaran sesuai dengan ISO 10816 aman untuk dioperasikan

Kata kunci: alat uji rem, uji *performance*, perlambatan, jarak, getaran.

1. Pendahuluan

Saat ini Indonesia tengah mengembangkan industri kereta cepat yang berstandar internasional. Salah satu komponen penting pada kereta cepat adalah sistem pengereman. Dimana sistem pengereman pada kereta cepat melibatkan beberapa komponen penting. Sistem pengereman yang diadopsi di sebagian besar kereta berkecepatan tinggi adalah elektro-pneumatik, yang mengintegrasikan pengereman udara dan pengereman listrik, pengereman ini diterapkan pada saat melakukan pengereman *routine braking* dan *emergency braking* [1].

Alat uji pengereman kereta cepat yang terdapat di Universitas Diponegoro memiliki kecepatan sebesar 160 km/jam dengan menggunakan sistem pneumatik disertai dengan komponen *disk brake* dan *brake pad* untuk kecepatan tinggi, alat uji pengereman tersebut perlu diuji *performance* untuk mengetahui *test rig* tersebut sesuai dengan standar PT. INKA dan memastikan aman untuk dilakukan pengujian. Standar *performance* alat uji pengereman meliputi : 1. Kecepatan rotasi motor dan roda terhadap waktu pengereman, 2. Kecepatan angular motor and flywheel terhadap waktu, 3. Torsi motor terhadap waktu, 4. Variasi tekanan udara terhadap waktu pengereman, 5. Kecepatan motor dan frekuensi motor, 6. Voltasi motor dan frekuensi motor, 7. Arus listik motor dan frekuensi motor, 8. Daya motor terhadap kecepatan operasi, 9. Efisiensi motor terhadap kecepatan operasi, 10. Energi kinetik terhadap kecepatan operasi [2].

Selain standar performance tersebut perlu juga dilakukan analisa kriteria getaran untuk menunjukan bahwa alat tersebut aman untuk digunakan pengujian selanjutnya. Analisa getaran adalah metode tertua yang digunakan untuk memonitor kondisi dari suatu mesin. Sejauh ini diketahui bahwa pengukuran getaran merupakan metode yang paling efektif untuk menentukan kesehatan mesin saat mesin beroperasi [3]. Mesin dioperasikan secara terus menerus pada putaran/kecepatan tinggi. Pendeteksian dengan cara mendengarkan suara mesin yang sedang beroperasi tidak lagi efektif untuk diterapkan, karena frekuensi yang dihasilkan masing - masing elemen mesin sangat tinggi dan bervariasi, sehingga alat indra pun sulit untuk membedakannya. Pemantauan kondisi mesin yang berputar sering kali melibatkan penggunaan pemrosesan sinyal algoritma pada getaran terukur. Karena sebagian besar sistem beroperasi di industri yang bising lingkungan, beberapa bentuk rata - rata statistik biasanya diperlukan untuk mengekstrak fitur yang dapat diandalkan [4]. Jika dilakukan pembongkaran akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang cukup besar. Oleh karena itu telah dikembangkan berbagai metode untuk mendeteksi kerusakan yang terjadi pada elemen mesin sedini mungkin, tanpa harus menghentikan pengoperasian mesin [5]. Ada banyak teknik yang biasa digunakan untuk mendiagnosis permasalahan apa pun cacat yang terjadi selama pengoperasian mesin: pemantauan getaran, termografi, analisis ultrasonik, dan banyak lainnya [6] [7]. Analisa vibrasi sangat penting karena salah satu indikator yang baik untuk mendeteksi masalah mekanis untuk peralatan berputar (*Rotating Equipment*), karena getaran suatu mesin yang disebabkan oleh gaya berulang seperti ketidakseimbangan, misalgnment, poros bengkok, kerusakan bantalan, kelonggaran mekanik, gear aus, kavitasi dan resonansi [8] Analisis getaran menganalisa pola getaran berdasarkan parameter-parameter getaran seperti frekuensi, amplitudo, dan fasa. Perubahan terhadap parameter tersebut menunjukkan adanya kelainan pada mesin yang dapat diidentifikasi sebagai kerusakan mesin [9].

Tujuan dari penelitian ini adalah uji *performance* dari alat uji pengereman diantaranya untuk mengetahui perlambatan, jarak pengereman dan kriteria getaran mekanis. Pengukuran perlambatan dan jarak pengereman dilakukan dengan menggunakan sensor tachometer dan *stopwatch* sedangkan getaran mekanis menggunakan *vibration meter*. Hasil pengujian perlambatan dan jarak pengereman yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar PT. INKA dan hasil sinyal getaran yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar level getaran ISO 10816. Nilai efektif kecepatan getaran digunakan untuk menilai kondisi mesin. Standar Vibrasi ISO 10816-3 digunakan sebagai referensi untuk menentukan level vibrasi mesin [10].

2. Material dan metode penelitian

Pada penelitian ini uji *performance* dilakukan berfokus pada pengukuran kecepatan rotasi dan waktu pengereman untuk mendapatkan nilai perlambatan dan jarak pengereman. Kemudian pengujian getaran mekanis juga dilakukan pada penelitian ini. Alat *test rig* pengereman dan instalasi pengujian kecepatan dan waktu pengereman ditampilkan pada Gambar 1.



Keterangan :

1. Pressure Gauge
2. Digital Tachometer
3. Inverter
4. Sensor Tachometer

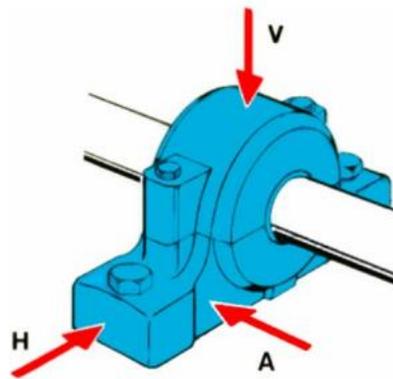
Gambar 1. Eksperimental set-up pengukuran kecepatan dan waktu pengereman

Pengujian dilakukan 2 paramet yaitu pada pengereman normal dengan tekanan 3.8 Bar dan pengereman emergency dengan tekanan 5 Bar [11] pada kecepatan 160 km/jam. Masing – masing dilakukan 3 kali pengujian untuk mengetahui waktu pengeremannya. Sensor tachometer digunakan untuk mengetahui kecepatan roda, dan stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pengereman.

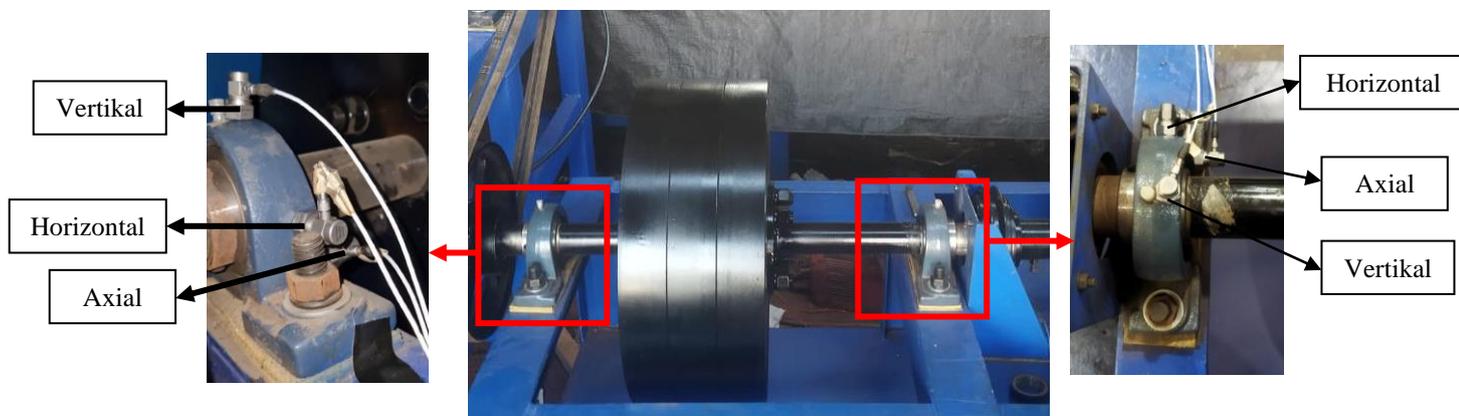
Data akuisisi sinyal getaran dilakukan pada test-rig pengereman dengan putaran 4400 rpm. Agar kondisi mesin dalam keadaan steady setiap parameter dilakukan pengulangan dalam durasi waktu 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, dan 200 detik. Sinyal getaran yang diterima oleh sensor *accelerometer* dalam bentuk velocity (kecepatan) selanjutnya diolah dengan software VibraQuest. Alat *test rig* pengereman dan instalasi pengujian getaran ditampilkan pada Gambar 2. Pada penelitian ini, sensor yang digunakan adalah akselerometer (tiga buah) dan sebuah tachometer yang berfungsi untuk merekam kecepatan putar roda. Skema pengukuran vibrasi pada Mounting Bearing Tending Side dapat dilihat pada Gambar 3 [12]. Sensor akselerometer ini dipasang pada posisi bearing yang berbeda yaitu pada bearing kanan dan kiri dengan 3 posisi sensor akselerometer yang berbeda, yaitu 2 sensor pada arah radial yaitu horizontal dan vertikal yang tegak lurus poros masukan dan 1 sensor pada arah aksial yang sejajar dengan poros masukan (Gambar 4).



Gambar 2. Eksperimental set-up pengukuran getaran mekanis



Gambar 3. Skema pengukuran sensor akselerometer pada bearing [12]

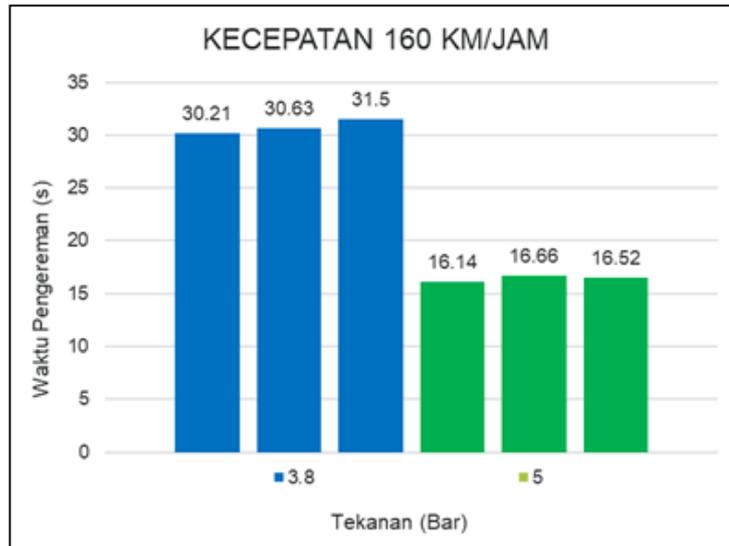


Gambar 4. Posisi sensor akselerometer pada test-rig

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil pengukuran waktu pengereman dengan kecepatan 160 km/jam

Hasil pengukuran waktu pengereman dengan kecepatan 160 km/jam dilakukan dengan 2 variabel yaitu pada kondisi pengereman normal dengan tekanan sebesar 3,8 bar dan pengereman emergency dengan tekanan sebesar 5 bar, masing – masing variable dilakukan pengujian sebanyak 3 kali pengulangan. Hasil pengukuran waktu pengereman dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Grafik pengukuran waktu pengereman pada kecepatan 160 km/jam

Berdasarkan hasil data yang diperoleh menunjukkan bahwa *test rig* pengereman pada kecepatan 160 km/jam dengan kondisi pengereman normal yaitu pada tekanan 3,8 bar menghasilkan waktu pengereman pada pengujian 1 sebesar 30,21 detik, pengujian 2 sebesar 30,63 detik dan pengujian 3 sebesar 31,5 detik. Sedangkan dengan kondisi pengereman *emergency* yaitu pada tekanan 5 bar menghasilkan waktu pengereman pada pengujian 1 sebesar 16,14 detik, pengujian 2 sebesar 16,66 detik dan pengujian 3 sebesar 16,52 detik. Hal ini dapat dilihat pada semakin besar tekanan yang diperoleh maka waktu pengereman semakin singkat. . Kemudian dari hasil data tersebut diolah kembali untuk mendapatkan nilai jarak pengeremanan dan perlambatan yang kemudian dibandingkan dengan standar PT. INKA, untuk menghitung jarak pengereman dapat digunakan persamaan dibawah ini [13].

$$\alpha = \frac{Vt - V_0}{t} \tag{1}$$

Keterangan :

- α = perlambatan (m/s²)
- V_t = Kecepatan akhir (m/s)
- V_0 = Kecepatan awal (m/s)
- t = Waktu pengereman (s)

dari nilai perlambatan yang diperoleh maka dapat dihitung jarak pengereman dengan persamaan dibawah ini :

$$s = V_0 \cdot t + \frac{\alpha t^2}{2} \tag{2}$$

Keterangan :

- s = Jarak pengereman (m)
- V_0 = Kecepatan awal (m/s)
- t = Waktu pengereman (s)
- α = perlambatan (m/s²)

nilai perlambatan dan jarak pengereman dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Data pengukuran dan perhitungan perlambatan dan jarak pengereman.

Tekanan (bar)	Waktu Pengereman (s)	Rata-rata Waktu Pengereman (s)	Perlambatan (m/s ²)	Perlambatan Standar (PT. INKA) (m/s ²)	Jarak Pengereman (m)	Jarak Standar (PT. INKA) (m)
3.8	30.21	30.78	1.44	MAX = 0.77	684	MAX = 1564
	30.63			RATA - RATA = 0.69		RATA - RATA = 1428
	31.5			MIN = 0.63		MIN = 1284
5	16.14	16.44	2.70	MAX = 1.03	365	MAX = 1167
	16.66			RATA - RATA = 0.93		RATA - RATA = 1066
	16.52			MIN = 0.85		MIN = 958

Berdasarkan tabel 1 diatas menunjukkan bahwa pada kecepatan 160 km/jam pada kondisi pengereman normal dengan tekanan sebesar 3,8 bar nilai rata – rata perlambatan sebesar 1,44 m/s² dan jarak pengeremannya sebesar 684 m, pada kondisi pengereman *emergency* dengan tekanan sebesar 5 bar nilai rata – rata perlambatan sebesar 2,70 m/s² dan jarak pengereman sebesar 365 m, jika dibandingkan dengan standar PT. INKA [11] yaitu dengan kondisi pengereman normal rata – rata perlambatan standar sebesar 0,69 m/s² dan rata – rata jarak pengereman sebesar 1428 m, sedangkan pada kondisi pengereman *emergency* rata – rata perlambatan sebesar 0,93 m/s² dan rata – rata jarak pengereman sebesar 1066 m.

3.2 Hasil Pengukuran Getaran

Alat uji pengereman dengan kecepatan 160 km/jam memiliki daya motor sebesar 15 hp atau 11 kW, jika disesuaikan dengan standar ISO 10816 termasuk dalam kategori kelas 1 yaitu dengan daya output 0 – 15 kW. Pengukuran getaran mekanis dilakukan untuk mengetahui kriteria getaran sesuai dengan ISO 10816. Standar getaran mekanis dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
	Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71			good	
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		satisfactory		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		unsatisfactory		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		unacceptable		
1.10	45.0					

Gambar 6. Standar kriteria getaran ISO 10816 [3]

Keterangan :

Class I small machines : daya luaran 0 – 5 kW

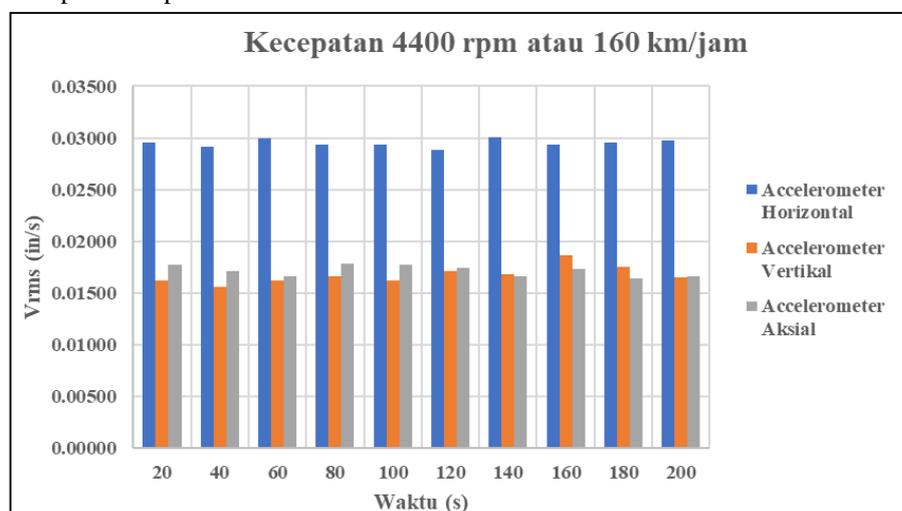
Class II medium machines : daya luaran 15 – 75 kW

Class III large rigid foundation : daya luaran 75 kW– 10 MW

Class IV large soft foundation : daya luaran >10 MW

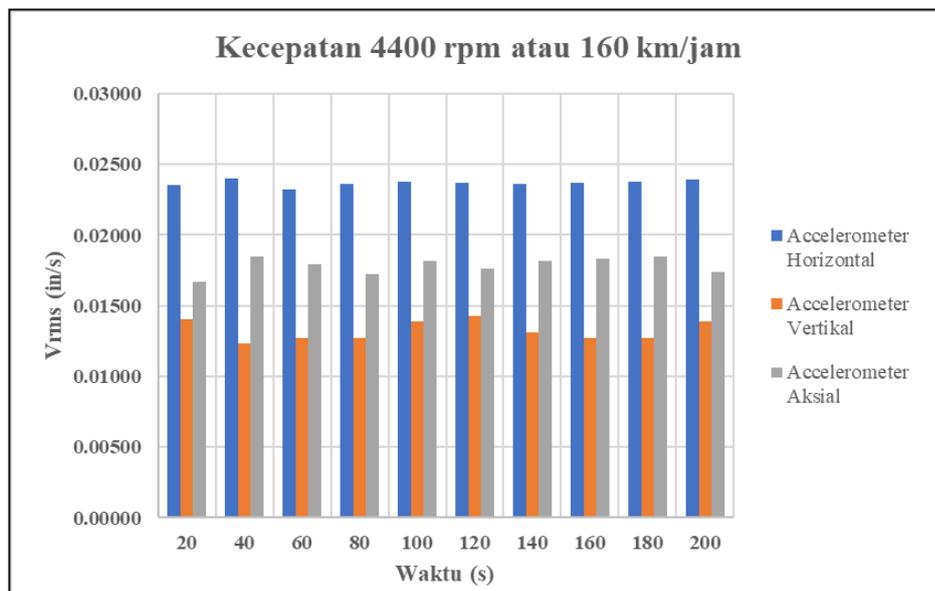
	Kondisi normal atau baik untuk beroperasi
	Normal yang masih dapat diterima
	Berfungsi tidak optimal
	Rusak

Pengukuran getaran dilakukan pada saat kecepatan maksimum yaitu sebesar 4400 rpm atau 160 km/jam dalam kondisi *steady*. Hasil pengukuran getaran secara langsung berupa velocity (kecepatan) kemudian diolah dengan menggunakan software matlab 2015 untuk mendapatkan nilai Vrms (in/s). Hasil nilai Vrms (in/s) pada bearing sisi kanan dapat dilihat pada Gambar 7 dan pada bearing sisi kiri dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 7. Grafik nilai Vrms pada bearing kanan.

Berdasarkan hasil olah data grafik diatas dengan menggunakan software matlab diperoleh bahwa nilai rata – rata Vrms (in/s) pada pengukuran horizontal sebesar 0.03 in/s, nilai rata - rata Vrms (in/s) pada pengukuran vertikal sebesar 0.01 in/s dan nilai rata - rata Vrms (in/s) pada pengukuran aksial sebesar 0.01 in/s. Nilai tersebut jika dikorelasikan dengan standar ISO 10816 masih tergolong baik untuk beroperasi



Gambar 8. Grafik nilai Vrms pada bearing kanan.

Berdasarkan hasil data grafik diatas diperoleh bahwa nilai rata – rata Vrms (in/s) pada pengukuran horizontal sebesar 0.02 in/s, nilai rata - rata Vrms (in/s) pada pengukuran vertikal sebesar 0.01 in/s dan nilai rata - rata Vrms (in/s) pada pengukuran aksial sebesar 0.01 in/s. Nilai tersebut jika dikorelasikan dengan standar ISO 10816 masih tergolong baik untuk beroperasi.

4. Kesimpulan

Pengujian kecepatan 160 km/jam pada kondisi pengereman normal dengan tekanan sebesar 3,8 bar nilai rata – rata perlambatan sebesar 1,44 m/s² dan jarak pengereman sebesar 684 m, pada kondisi pengereman *emergency* dengan tekanan sebesar 5 bar nilai rata – rata perlambatan sebesar 2,70 m/s² dan jarak pengereman sebesar 365 m. Jika dibandingkan dengan standar PT. INKA yaitu dengan kondisi pengereman normal rata – rata perlambatan standar sebesar 0,69 m/s² dan rata – rata jarak pengereman sebesar 1428 m, sedangkan pada kondisi pengereman *emergency* rata – rata perlambatan sebesar 0,93 m/s² dan rata – rata jarak pengereman sebesar 1066 m. Nilai pengujian yang sudah dilakukan masih belum memenuhi standar dikarenakan ada beberapa faktor diantaranya luas permukaan brake pad yang belum memenuhi ukuran skala 1:4, belum teridentifikasi gaya penekanan rem, belum teridentifikasi gaya gesek rem pada brake pad.

Pengujian getaran mekanis yang telah disesuaikan dengan standar ISO 10816 bahwa kondisi alat uji pengereman kereta cepat untuk kecepatan 160 km/jam termasuk pada golongan baik atau aman untuk beroperasi.

Daftar Pustaka

- [1] Wang, C. and Liu, J. (2021) ‘An Efficient Anomaly Detection for High-Speed Train Braking System Using Broad Learning System’, *IEEE Access*, 63825–63832.
- [2] R. Afify a, M. M. (2022). Modeling, simulation, and experiments on waste kinetic energy utilization. *Energy Reports*, 231-249.
- [3] Menacer, A., Said, M. (2004). Stator Current Analysis of Incipient Fault Into Aynchronous Motor Rotor Bar Using Fourier Fast Transform, *Journal Of Electrical Engineering*, 122-130.
- [4] McCormick, A. C., & Nandi, A. K. (1998). Cyclostationarity in rotating machine vibrations. *Mechanical systems and signal processing*, 225-242.
- [5] McInerny, S. A., & Dai, Y. (2003). Basic vibration signal processing for bearing fault detection. *IEEE Transactions on education*, 46(1), 149-156
- [6] R.L. Eshleman, J.N. Eshleman 1999, Basic Machinery Vibrations: An Introduction to Machine Testing, Analysis, and Monitoring. *VIPress*.
- [7] A.K.S. Jardine, D. Lin, D. Banjevic,.(2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance, *Mech. Syst Signal Process.* 1483–1510

- [8] Suhardjono,. (2004). Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing), *Jurnal Teknik Mesin*, 39-48.
- [9] Arista, E.Y., Arifianto, D., Suyanto,. (2012). Pengukuran Getaran dengan Vibrometer dan Akustik pada Mesin Pendorong Pokok (MPK) KRI Pulau Rupa-712 di Komando Armada RI Kawasan Timur Surabaya, *Jurnal Teknik Pomits*,1-6.
- [10] ISO. (1995). ISO 10816-1 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1 : General Guidelines. *ISO*.
- [11] Ken Wong,. (2016). Brake Calculation. *Knoor-Bremse*.
- [12] Crawford, A.R., Crawford S., (1992). The Simplified Handbook of Vibration Analysis, Volume 1, *SCI, Knoxville*.
- [13] Pratama, A.d., dkk. (2022). Analisis Jarak Pengereman Laju Kereta Api untuk Mencapai Kecepatan Minimum Pada Saat Emergency on Track. *Jurnal Unitek* Vol.15 No.2