https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i3.330

IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)

Vol. 4, No. 3, 2025, pp. 98-107, e-ISSN: 2962-4290

Available online http://e-journals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/

Scientific Articles

Analisis Kondisi Spherical Roller Bearing terhadap Efisiensi Kinerja *Mill Fan*

Analysis of Spherical Roller Bearing Condition on Mill Fan Performance Efficiency

Revaldo Nur Hidayat[1]*

[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang 25131, Indonesia

**Corresponding author*: hidayat061004@gmail.com

Diterima: 28-09-2025 **Disetujui: 14-11-2025** **Dipublikasikan: 28-12-2025**

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstrak

Penelitian ini membahas kondisi Bantalan pada *Mill Fan* pabrik semen di Unit Finish Mill. Bantalan rol sferis merupakan komponen penting yang memengaruhi kelancaran dan efisiensi kinerja *Mill Fan*. Tujuan studi ini adalah menganalisis hubungan antara kondisi Bantalan rol sferis dan efisiensi *Mill Fan*, menghitung umur teoritisnya, dan membandingkannya dengan umur aktual di lapangan. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data operasional dari ruang kendali pusat, seperti tekanan, putaran poros, kapasitas aliran, dan daya motor, kemudian menghitung efisiensi dan memperkirakan umur Bantalan rol sferis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa umur Bantalan rol sferis teoritis adalah 16,3 tahun, sedangkan umur aktualnya hanya 8,5 tahun, atau 51,5% dari desain. Efisiensi *Mill Fan* sebelum penggantian Bantalan rol sferis adalah 68,92%, menurun setelah penggantian, dan terus meningkat menjadi 76,95% pada periode berikutnya. Kesimpulan studi ini adalah perbedaan antara umur Bantalan rol sferis teoritis dan aktual dipengaruhi oleh kualitas pelumasan, beban operasi, suhu operasi, dan kontaminasi debu semen. Pemantauan kondisi berkala dan perawatan preventif diperlukan untuk meningkatkan keandalan dan memperpanjang umur Bantalan rol sferis. Penelitian ini membantu memberikan dasar evaluasi untuk strategi pemeliharaan yang lebih baik dan efisiensi operasi *Mill Fan* dalam industri semen.

Kata Kunci: Bantalan rol sferis, Efisiensi kinerja, *Mill Fan*, Umur pakai teoritis.

Abstract

This study analyzes the condition of the spherical roller bearings of the Mill Fan at a cement plant in the Finishing Mill Unit. Spherical roller bearings are important components that affect the smoothness and efficiency of Mill Fan operation. The objective of this study is to analyze the relationship between the condition of spherical roller bearings and Mill Fan efficiency, calculate their theoretical life, and compare it with their actual field service life. The method employed involves collecting operational data from the central control room, such as pressure, shaft rotation, flow capacity, and motor power, and then calculating the efficiency and estimating the service life of the spherical roller bearings. The results show that the theoretical service life of the spherical roller bearings is 16.3 years, while the actual service life is only 8.5 years, or 51.5% of the design life. The Mill Fan efficiency before spherical roller bearing replacement was 68.92%; it decreased after replacement and then increased to 76.95% in the subsequent period. The conclusion of this study is that the difference between the theoretical and actual service life of spherical roller bearings is affected by lubrication quality, operating load, operating temperature, and cement dust contamination. Periodic condition monitoring and preventive maintenance are necessary to improve reliability and extend the service life of spherical roller bearings. This research provides a basis for evaluating more effective maintenance strategies and operational efficiency of Mill Fans in the cement industry.

Keywords: *Spherical roller bearing, Performance efficiency, Mill Fan, Theoretical service life.*

1. Pendahuluan

Tahap penggilingan akhir (finish mill) dalam proses produksi semen sangat penting untuk menentukan kualitas dan produktivitas hasil. Kipas penggiling, salah satu komponen terpenting pada tahap ini, menciptakan aliran udara untuk membantu penggilingan semen vertikal menggiling, mengeringkan, dan memisahkan material. Secara teori, impeller *Mill Fan* mengubah aliran udara yang ditarik secara aksial menjadi aliran sentrifugal (Hidayat dan Anugrah 2022). Di outlet, energi kinetik udara yang dipercepat kemudian diubah menjadi energi tekanan. Kapasitas hisap udara disesuaikan berdasarkan kondisi beban penggilingan dengan mengatur kecepatan impeller (rpm). Kecepatan putaran impeller ditingkatkan untuk meningkatkan daya hisap seiring dengan peningkatan beban penggilingan vertikal, dan bukaan damper ditingkatkan untuk mengurangi aliran udara panas seiring dengan penurunan beban.

Gambar 1. Alat *Mill Fan* pada sebuah Pabrik Semen

Kondisi *Bearing* (Bantalan), terutama bantalan rol sferis, yang sering digunakan dalam aplikasi industri berat, memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja *Mill Fan*. Bantalan ini memiliki kemampuan menahan beban radial dan aksial secara bersamaan, serta dapat mengompensasi ketidaksejajaran poros dengan housing (Legowo Jati et al. 2019). Meskipun demikian, kerusakan seperti keausan, retakan, maupun pelumasan yang tidak optimal dapat menurunkan performa bantalan. Kondisi tersebut berdampak pada meningkatnya temperatur, vibrasi, hingga konsumsi energi fan, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi produksi (Iradiratu DPK dan Belly Yan Dewantara., 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya telah meneliti pengaruh kondisi bantalan terhadap performa peralatan industri. Misalnya, penelitian oleh Ikhram Lutfi et al. (2024) kerusakan bantalan yang teridentifikasi pada *winch* menunjukkan bahwa sebagian besar disebabkan oleh pelumasan yang tidak memadai dan beban berlebih. *Pitting* dan *Spalling* yang ditemukan menunjukkan bahwa bantalan mengalami kelelahan material dan tekanan berlebih. *Wear* dan *Fretting Corrosion* menunjukkan bahwa pelumasan dan kebersihan bantalan kurang diperhatikan, Penelitian oleh Irin Mayrini et al. (2025). Temuan studi ini mendukung gagasan bahwa kondisi bantalan memiliki dampak besar terhadap kinerja mesin berputar , seperti *Mill Fan* di pabrik semen. Namun, hingga saat ini, unit *Finish Mill* pada sebuah Pabrik Semen relatif sedikit melakukan penelitian yang secara tepat mengkaji hubungan antara kualitas bantalandan efisiensi *Mill Fan*, terutama yang berkaitan dengan kipas dengan kode 6Z1P48.

Untuk membandingkan umur bantalan yang diprediksi dan yang sebenarnya, studi ini dilakukan untuk mengkaji dampak kondisi bantalan terhadap kinerja dan efisiensi *Mill Fan*. Hasil

penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perawatan prediktif (*predictive maintenance*) dan peningkatan efisiensi sistem penggilingan semen di lingkungan industri berat.

2. Metode

Penelitian ini dilakasanakan di sebuah Pabrik Semen di Padang, selama periode 7 Juli – 29 Agustus 2025. Untuk memahami sistem kerja *Mill Fan* dan kondisi bantalan yang digunakan, desain penelitian ini dimulai dengan pengamatan awal. Selanjutnya, ditemukan masalah terkait kondisi Bantalan dan bagaimana hal tersebut mempengaruhi efisiensi *Mill Fan*. Kemudian, sebagai dasar analisis, data operasional dikumpulkan dari divisi mekanik dan dari *Central Control Room* (CCR).

2.1. Bahan dan Alat Utama

Objek penelitian dalam studi ini adalah bantalan rol *sferis* tipe 22238EJW33C3 yang digunakan pada *Mill Fan* 6Z1P48 di Unit Finish Mill pada Pabrik Semen. Alat ukur yang digunakan meliputi *vibration meter* (Fluke 805), *infrared thermometer* (Benetech GM320), dan *tachometer digital* (UNI-T UT372). Ketiga alat ini digunakan untuk mengukur getaran, suhu permukaan Bantalan (Bearing), dan kecepatan putaran fan.

Gambar 2. Vibration meter

Gambar 3. Infrared thermometer

Gambar 4. Tachometer digital

2.5. Objek Penelitian

Analisis kondisi bantalan pada *Mill Fan* 6Z1P48 di Unit *Finish Mill* pada sebuah pabrik Semen merupakan satu-satunya topik yang dibahas dalam laporan magang ini. Tujuan utama studi ini adalah untuk menentukan sejauh mana kondisi bantalan mempengaruhi efisiensi kinerja *Mill Fan*. Prosedur pemeliharaan yang diperlukan untuk menjaga kinerja peralatan juga dibahas dalam laporan ini, terutama yang secara langsung terkait dengan kondisi bantalan. Adapun faktor-faktor lain di luar kondisi bantalan, seperti gangguan kelistrikan, kondisi impeller, maupun getaran dari komponen lain, tidak dibahas secara mendalam.

2.6. Teknik Pengumpulan Data

2.6.1. Proses pengambilan data

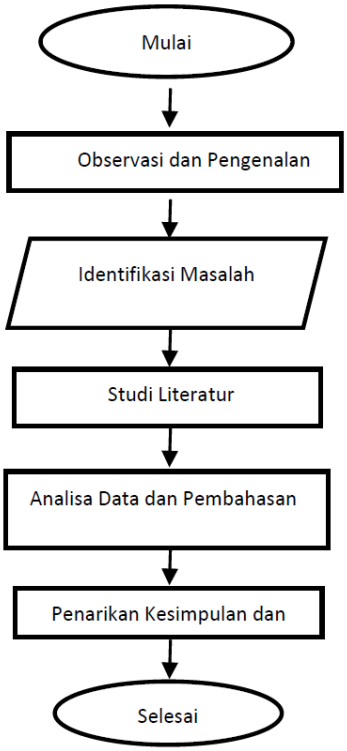
Data efisiensi *Mill Fan* diperoleh dari perhitungan berdasarkan data operasional CCR dengan interval pencatatan per jam selama hampir 2 bulan. Data tersebut kemudian dikelompokkan menjadi 4 periode, yaitu sebelum pergantian bantalan (10–17 Mei 2025) dan sesudah pergantian bantalan (20–27 Mei 2025) dan tanggal (1-7 Juni) dan tanggal (8-31 Juni) meliputi tekanan, kecepatan poros (RPM), kapasitas aliran (Flow, m^3/min), dan daya *Fan* (Power, kW).

Tabel 1. Data rata-rata parameter per periode

Tanggal	ΔP $(pascal)$	Power fan (kW)	Flow at Fan (m^3/s)
10–17 Mei 2025	6.124,54 Pa	1.803 kW	202,91272 m^3/s
20–27 Mei 2025	6.139,57 Pa	1.779,15 kW	176,5175 m^3/s
01-07 Juni 2025	6.152,40 Pa	1.779,15 kW	166,95595 m^3/s
08-31 Juni 2025	6.185,49 Pa	1.806 kW	224,6877 m^3/s

2.6.2. Diagram alir penelitian

Bagian alir penelitian yang di lakukan seperti pada Gambar.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

2.6.3. Metode Analisis dan Perhitungan

Analisis efisiensi *Mill Fan* dapat dilakukan dengan membandingkan daya fluida yang dihasilkan dengan daya motor yang digunakan. Efisiensi dihitung menggunakan persamaan dasar (M. Taufik Hidayat et al. 2022):

$$\eta = \frac{(\Delta P \times V_{at} fan \times 0.001)}{Power\ motor} \times 100\% \quad (1)$$

dengan η adalah efisiensi fan (%), ΔP tekanan fan (Pa), V debit udara (m^3/s), dan Power motor (kW).

Selain efisiensi energi, performa bantalan juga dinilai dari *life time* atau umur keandalan (L_{10}), yang menunjukkan jumlah putaran hingga 90% populasi bantalan masih berfungsi. Perhitungan ini menggunakan standar internasional ISO 281:2007 *Rolling Bearings Dynamic Load Ratings and Rating Life serta standar* (*American Bearing Manufacturers Association*).

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \frac{10^6}{60\ (n)} \tag{2}$$

dengan C adalah dynamic load rating (N), P adalah dynamic equivalent load (N), dan p adalah eksponen (p = 3 untuk ball bantalan; p = 10/3 untuk roller bantalan.

Sedangkan untuk kondisi kombinasi beban radial F_r dan aksial F_a, beban ekuivalen P_0 dapat dihitung sebagai:

$$P_0 = F_r + Y_0\, F_a \tag{3}$$

dengan F_r adalah beban radial (N), F_a adalah beban aksial (N), dan Y_0 adalah faktor beban aksial yang nilainya ditentukan berdasarkan jenis bantalan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Efisiensi Kinerja *Mill Fan*

Periode pengambilan data: 10–17 Mei 2025 (sebelum pergantian bantalan). Data diambil dari CCR pada saat *Mill Fan* beroperasi dalam kondisi stabil.

Flow Rate Fan = 12.174,76356 $\frac{m^3}{min} \rightarrow\ v_1 = \frac{12.174,7635}{60} = 202,91272\ m^3/s$

Power Motor = 1.803 kW

ΔP = 6124,54 Ketetapan = 0,001.

Maka, Efisiensi alat *Mill Fan* secara desain sebesar:

$$\eta\ = \frac{(\Delta P\ \times\ V_{at} fan\ \times\ 0.001)}{Power\ motor} \times\ 100\%$$

$$\eta\ = \frac{(6.124,54\ Pa\ \times\ 202,912726\ m^3/s\ \times\ 10^{-3})}{1803\ kW} \times\ 100\%$$

$$\eta\ = \frac{(12.42747.107\ m^3/s\ \times\ 10^{-3})}{18.03\ kW} \times\ 100\%$$

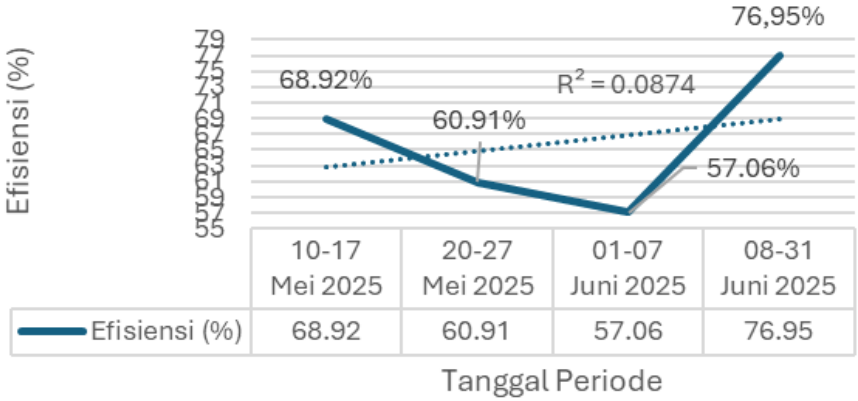
$$\eta\ = 68,92\%.$$

Setelah dilakukan perhitungan secara actual maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan efisiensi

Tanggal	Efisiensi (%)
10–17 Mei 2025	68,92% (sebelum pergantian bantalan)
20–27 Mei 2025	60,91 % (setelah pergantian bantalan)
01-07 Juni 2025	57,06 % (satu minggu setelah pergantian bantalan)
08-31 Juni 2025	76,95 % (dua minggu setelah pergantian bantalan)
Rata-rata	**65,96 %**

3.2. Analisis Perbandingan Efisiensi Sebelum dan Sesudah Pergantian Bantalan



Gambar 6. Grafik Efisiensi pada masing-masing periode

Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi *Mill Fan* pada periode 10–17 Mei 2025 (sebelum penggantian bantalan) adalah 68,92%. Efisiensi turun menjadi 60,91% pada periode 20–27 Mei 2025, setelah penggantian bantalan. Penurunan awal ini disebabkan oleh periode penyesuaian bantalan baru (running-in), yang meningkatkan getaran dan gesekan serta membuat kinerja *Mill Fan* menjadi tidak stabil. Kinerja *Mill Fan* secara signifikan membaik seiring waktu selama periode operasi yang lebih lama. Efisiensi *Mill Fan* meningkat dan stabil pada 76,95% antara 8–31 Juni 2025, melebihi tingkat efisiensi sebelum penggantian.

3.3. Analisa Statistik Hasil Pengukuran Efisiensi

Analisis statistik terhadap data efisiensi *Mill Fan* selama dua bulan menunjukkan rata-rata efisiensi sebesar 70,29% dengan simpangan baku 1,62%, yang menandakan bahwa variasi efisiensi operasi fan relatif kecil dan stabil. Rentang nilai efisiensi berada antara 54,48% hingga 79,56%, dengan mayoritas data terkonsentrasi di sekitar nilai tengah. Berdasarkan perhitungan *confidence interval* 95%, diperoleh rentang 70,18% – 70,41%, yang menunjukkan tingkat keandalan hasil pengukuran yang sangat tinggi. Nilai *standard error* sebesar 0,0585% memperkuat bahwa data memiliki penyebaran yang sempit terhadap nilai rata-rata.

Tabel 3. Hasil Statistik Xlminer Toolpak

Parameter	Nilai	Keterangan
Jumlah Data (n)	762	Data efisiensi selama 2 bulan
Rata-rata (Mean)	70,29%	Efisiensi rata-rata operasi fan
Simpangan Baku (Std. Deviation)	1,62%	Tingkat variasi efisiensi harian
Rentang (Range)	54,48 – 79,56%	Batas bawah & atas efisiensi
Confidence Interval (95%)	±0,11%	Rentang kepercayaan 95%
Efisiensi 95% CI	70,18% – 70,41%	Interval nilai efisiensi yang dapat dipercaya
Jumlah Data (Count)	762	Menunjukkan reliabilitas tinggi

3.3. Analisa Umur pakai Bantalan

Umur pakai atau umur pakai bantalan umumnya didefinisikan sebagai jumlah jam operasi hingga 90% populasi bantalan serupa masih berfungsi tanpa mengalami kerusakan signifikan (L10 life) (Ardi Kusuma & Yasa Utama, 2019). Perhitungan ini menggunakan standar internasional ISO 281:2007 *Rolling Bearings - Dynamic Load Ratings and Rating Life* serta standar ABMA (*American Bearing Manufacturers Association*).

Perhitungan teoritis:

Kapasitas beban dinamis (C) = 1.550.000 N

Beban radial (Fr) = 77.500 N

Beban aksial (Fa) = 93.840 N

Putaran (n) = 2540 rpm

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^{p} \frac{10^6}{60\ (n)}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{1.550.000}{77.500}\right)^{\frac{10}{3}} \frac{10^6}{60\ (2.540\ rpm)}$$

$$L_{10h} = (21.715{,}34093\ juta\ putaran) \frac{10^6}{60\ (2.540\ rpm)}$$

$$L_{10h} = 142.489{,}11\ jam\ operasional$$

$$L_{10h} = 16{,}27\ tahun \quad (16{,}3\ tahun)$$

Tabel 4. Perbandingan umur pakai bantalan teoritis dan aktual

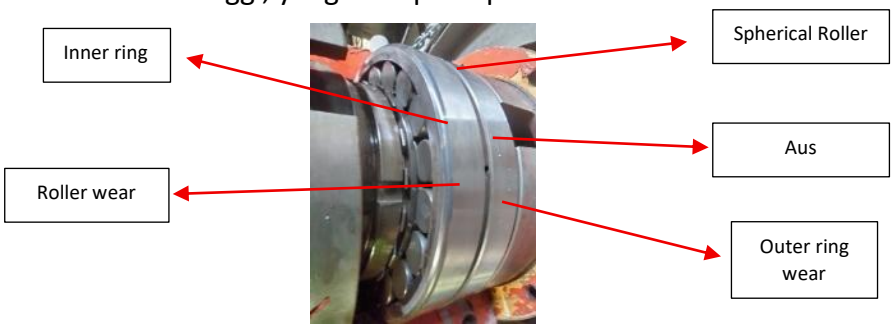
Jenis Umur	Umur pakai (Jam)	Umur pakai (Tahun)	% dari Teoretis
Teoretis	142.489	16,3	100%
Aktual	73.440	8,5	51,50%

Menurut hasil perhitungan, umur pakai bantalan yang sebenarnya di lapangan hanya 73.440 jam (8,5 tahun), atau sekitar 51,5% dari umur desainnya, tetapi umur pakai bantalan secara teoritis melebihi 142.489 jam (16,3 tahun). Di lapangan, bantalan menghadapi kondisi yang lebih kompleks, termasuk beban aktual yang lebih tinggi, beban kejutan, kualitas pelumasan dan interval yang tidak selalu optimal, suhu operasi yang tinggi, kontaminasi, dan potensi ketidaksejajaran selama pemasangan. Perbedaan ini masuk akal karena perhitungan teoretis hanya menggambarkan kondisi ideal dengan beban dan kecepatan yang konstan.

3.4. Analisa Kerusakan Bantalan

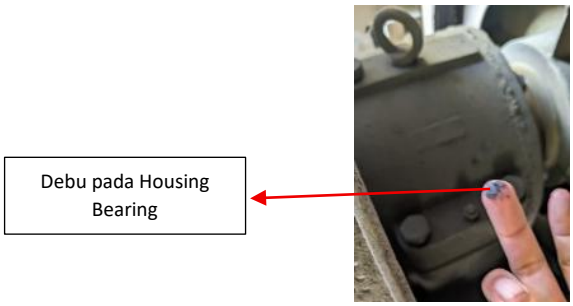
Berdasarkan hasil inspeksi lapangan, pengukuran temperatur, vibrasi, dan perbandingan dengan data standar, kerusakan bantalan dapat dianalisis melalui beberapa mekanisme berikut:

a) Keausan akibat beban berlebih dan umur operasi
Setelah diperiksa, *outer ring* dan *roller* ditemukan aus. Kondisi ini terjadi akibat *fatigue spalling* akibat kelelahan yang disebabkan oleh operasi bantalan yang berkepanjangan di bawah beban radial tinggi, yang mempercepat keausan.



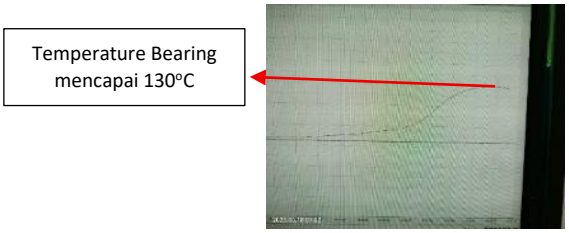
Gambar 7. Keausan pada bantalan *Mill Fan*

b) Area di mana *Mill Fan* beroperasi cukup berdebu. Berdasarkan temuan inspeksi, debu menumpuk pada housing bantalan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem sealing tidak berfungsi dengan baik, yang dapat menyebabkan kontaminasi, penurunan viskositas, dan pelumasan yang kurang optimal.



Gambar 8. Kondisi debu pada rumah bantalan hasil pengecekan lingkungan sekitar operasi *Mill Fan*

c) Temperatur operasi yang tinggi
Pada grafik trend, terlihat kenaikan temperatur hingga 130°C. Kenaikan cepat seperti ini mengindikasikan degradasi pelumas atau gesekan berlebih. Jika dibiarkan, pelumasan jadi tidak memadai dan bantalan cepat rusak.



Gambar 9. Grafik trend perubahan temperatur *Mill Fan* di CCR

d) Vibrasi operasi yang tinggi
Hasil pengukuran menunjukkan vibrasi aksial pada bantalan B1 mencapai 0,94 mm/s, lebih tinggi dari batas normal (Ardi Kusuma & Yasa Utama, 2019). Hal ini menandakan adanya keausan pada elemen gelinding dan meningkatkan beban dinamis *Mill Fan*.

3.5. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Literatur Lain

Hasil penelitian ini dibandingkan dengan beberapa studi relevan untuk melihat kesesuaian dan perbedaan temuan terkait analisis kinerja bearing dan efisiensi *Mill Fan*. Perbandingan hasil disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan hasil penelitian ini dengan literatur lain

Aspek Perbandingan	Hasil Penelitian Ini (Revaldo, 2025)	Hasil Penelitian Ricka Puspita Sari dkk. (2022)	Hasil Penelitian Wilarso Arso (2021)
Hasil Utama	Efisiensi meningkat dari 68,9% menjadi 76,9% setelah pergantian bearing; umur aktual 8,5 tahun (51,5% dari teoritis 16,3 tahun)	Fan optimal pada kapasitas 125–140 ton/jam; efisiensi menurun di atas batas desain	Kerusakan bearing disebabkan misalignment dan kegagalan pelumasan
Perbandingan Umum	Penelitian ini menambahkan bahwa kondisi bearing menjadi faktor utama penentu efisiensi mekanis fan	Fokus pada aspek efisiensi fan tanpa membahas kondisi bearing	Fokus pada kegagalan mekanis bearing, tidak menilai pengaruh efisiensi sistem

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian saya mengenai kondisi bantalan terhadap efisiensi *Mill Fan* dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi bantalan secara umum memengaruhi efisiensi *Mill Fan*, Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi *Mill Fan* meningkat dari 68,92% sebelum pergantian bantalan menjadi 76,95% setelah periode operasi stabil, atau terjadi peningkatan sebesar sekitar 8%.
2. Umur pakai aktual bantalan rol sferis hanya mencapai 8,5 tahun, yaitu 51,5% dari umur teoritisnya (16,3 tahun).
3. Rekomendasi teknis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keandalan sistem meliputi pelaksanaan perawatan berkala dan peningkatan sistem pelumasan, serta penerapan *predictive maintenance* berbasis pemantauan temperatur dan getaran (*condition monitoring*) agar potensi kerusakan dapat dideteksi lebih dini.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada sumber data yang hanya diambil dari sistem CCR tanpa pengukuran langsung terhadap parameter lingkungan (kelembapan dan partikel debu). Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan sensor khusus berbasis *condition monitoring system* yang mampu merekam data getaran dan temperatur langsung pada titik bantalan *housing* untuk analisis degradasi yang lebih akurat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Semen Padang yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas sehingga kegiatan penelitian dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Arief Rahman Dasril, S.T., M.M. selaku Kepala Seksi Pemeliharaan Mesin Finish Mill IV-VI, Bapak Apri Kurniawan selaku pembimbing lapangan, serta seluruh staf dan karyawan di Unit Finish Mill Indarung VI PT Semen Padang yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan bantuan selama pelaksanaan penelitian.

Daftar Pustaka

Anonim. 1998. *Memperkenalkan Produk-Produk PT Semen Padang*. Padang: PT Semen Padang.

Ardi Kusuma, J., dan F. Yasa Utama. 2019. "Analisis Bearing pada Pompa Sentrifugal di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT SIER Menggunakan Program Preventive Maintenance yang Terencana." *Jurnal Teknik Mesin* 8: 1–7.

Biro Humas PT Semen Padang. 2010. *Company Profile PT Semen Padang*. Padang: PT Semen Padang.

Biro Produksi PT Semen Padang. 2024. *Holderbank Cement Mill Plant PT Semen Padang*. Padang: PT Semen Padang.

Central Control Room PT Semen Padang. 2024. *Spesifikasi Peralatan dan Data PT Semen Padang*. Padang: PT Semen Padang.

Dahlan, H., R. Safitri, M. Rusli, dan M. Bur. 2023. "Pengaruh Clearance dan Pembebanan Radial terhadap Perpindahan, Distribusi Beban Kontak, dan Kekakuan Elemen Rol pada Spherical Roller Bearing." *Jurnal Rekayasa Mesin* 14 (1): 63–74. https://doi.org/10.21776/jrm.v14i1.1065.

Diana, L., A. Setiyawan, A. B. Ulum, A. G. Safitra, dan M. N. Ariansyah. 2021. "Studi Numerik Centrifugal Fan Tipe Impeller Backward dengan Variasi Putaran Fan." *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy* 5 (2): 168–178.

Edi Ismanto, Jatira, dan Yadi Heryadi. 2024. "Analisis Kekuatan Bearing Tipe NU 314, QJ 314, dan 22316 pada Mesin Screw Conveyor." *Jurnal Teknologika* 14 (1): 1–11. https://doi.org/10.51132/teknologika.v14i1.365.

Hidayat, M. Taufik, Rendotian Anugrah, dan Safaruddin. 2022. "Perhitungan Efisiensi Mill Fan pada Proses Cement Mill di Pabrik Baturaja II PT Semen Baturaja (Persero) Tbk Ditinjau dari Pemakaian Arus Listrik." *Jurnal Teknik Mesin* 10 (2): 45–53.

Ikhram Lutfi, Fuad Zainuri, dan Tia Rahmiati. 2024. "Analisa Kerusakan Bearing pada Winch." Dalam *Prosiding Politeknik Negeri Jakarta*. http://prosiding.pnj.ac.id.

Iradiratu, D. P. K., B. Y. Dewantara, dan A. M. Janudin. 2019. "Deteksi Kerusakan Inner Race Bearing Menggunakan Motor Current Signature Analysis Berbasis Fast Fourier Transform." *TRIACS Journal*. http://journal.trunojoyo.ac.id/triacs.

Irin Mayrini, Tomi Abdilah, dan Supriadi. 2025. "Analisa Kerusakan Thrust Bearing Turbin terhadap Kinerja Pelumas di PLTU PT PLN NP UP Belawan." *Jurnal Teknik Energi* 7 (1): 55–63.

MonotaRO Indonesia. 2025. "TIMKEN Spherical Roller Bearing EJW33 C3 Series 22238EJW33 C3." Diakses 18 September 2025. https://www.monotaro.id/s044670924.html.

Prayoga Setyawan, H., dan D. Suryadi. 2023. "Analisis Karakteristik Vibrasi pada Paper Dryer Machine untuk Deteksi Dini Kerusakan Spherical Roller Bearing." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia* 20 (2): 45–53.

Senthilnathan, N., T. N. Babu, K. S. D. Varma, S. Rushmith, J. A. Reddy, K. V. N. Kavitha, dan D. R. Prabha. 2024. "Recent Advancements in Fault Diagnosis of Spherical Roller Bearing: A Short Review." *Journal of Vibration Engineering & Technologies* 12 (4): 6963–6977. https://doi.org/10.1007/s42417-024-01293-4.

Someya, T., ed. 2015. *Journal-Bearing Databook*. Cham: Springer.

Snyder, D. R. 2007. "The Meaning of Bearing Life." *Machine Design*, April 12. Diakses 18 September 2025. https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/bearings/article/21831664/the-meaning-of-bearing-life.

Syafri, Syafri, dan Raihan R. Firdaus. 2025. "Deteksi Kerusakan Bearing SKF-3213 pada Centrifugal Feed Pump dengan Metode Analisis Getaran di PT Pertamina Sungai Pakning." Dalam *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XXII*, Ternate, Januari 2025, 143–148. https://doi.org/10.71452/590645.

Titis Mudi Legowo Jati, Anis Mustaghfirin M., dan Wiro Karuniawan B. 2019. "Analisis Kegagalan Spherical Roller Bearing pada Roll Table Continuous Casting Machine." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia* 10 (1): 22–29.

Yadav, E., dan V. K. Chawla. 2021. "An Explicit Literature Review on Bearing Materials and Their Defect Detection Techniques." *Materials Today: Proceedings* 50: 1637–1643. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.132