

ANALISIS PENGGUNAAN BRUSH LIFTING DEVICE (BLD) PADA MOTOR WEG MILL DRIVE 8700 KW RAW MILL INDARUNG VI PT SEMEN PADANG

Zulvawarman¹

¹ Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
¹ email: zulva.w@gmail.com

[submitted: 05-09-2023 | review: 25-04-2024 | published: 30-04-2024]

ABSTRACT: A three-phase induction motor is an electric motor that uses the principle of electromagnetic induction to produce rotating force on the rotor. This type of motor is usually used in industry because of its high level of efficiency and stable operation. This motor is used as a mill drive motor at Raw Mill Indarung 6 PT Semen Padang. One of the important components in an induction motor is a carbon brush or commonly called a brush. In general, the brush always sticks to the slip ring as the motor operates, which results in the condition of the brush getting thinner. One way to save on brush usage is to apply a BLD (Brush Lifting Device) device. The BLD will lower the brush when the motor stops and will raise the brush when the motor starts up until it reaches its nominal or normal speed. This can be proven that during 6 years of motor operation, brush erosion is calculated to be only 0.45 mm/year from the brush thickness when new which was 40 mm.

KEYWORDS: Brush Lifting Device, Induction motor, Raw Mill

ABSTRAK: Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik yang menggunakan prinsip induksi elektromagnetik untuk menghasilkan gaya putar pada rotor. Motor jenis ini biasanya digunakan pada industri karena tingkat efisiensi yang tinggi dan kestabilan operasinya, motor ini digunakan sebagai motor mill drive di Raw Mill Indarung 6 PT Semen Padang. Salah satu komponen penting pada motor induksi adalah carbon brush atau biasa disebut brush. Pada umumnya, brush selalu menempel dengan slip ring seiring dengan pengoperasian motor yang mengakibatkan kondisi brush semakin menipis. Salah satu cara untuk menghemat penggunaan brush adalah dengan mengaplikasikan perangkat BLD (Brush Lifting Device). BLD akan menurunkan brush saat motor stop dan akan mengangkat brush ketika motor saat proses startup hingga mencapai kecepatan nominal atau normalnya. Hal ini dapat dibuktikan bahwa selama 6 tahun motor beroperasi, pengikisan brush dihitung hanya sebesar 0.45 mm/tahun dari ketebalan brush saat baru sebesar 40 mm.

KATA KUNCI: Brush Lifting Device, Motor induksi, Raw Mill

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi yang sangat cepat dan perkembangan di dunia industri juga mengalami perubahan yang sangat dinamis, baik dari sisi fungsi, keterbaruannya maupun dari efisiensi energi serta ramah terhadap lingkungan. Sebagai penerak peralatan atau mesin-mesin di industri secara umum bisa dibagi menjadi dua, yaitu peralatan berkapasitas besar menggunakan motor Medium Voltage dan kapasitas kecil menggunakan motor Low Voltage. Motor Medium Voltage menggunakan energi dan biaya pemeliharaan yang tinggi jika dibanding motor low voltage, karena menggunakan sistem pengasutan rotor belitan dengan carbon brush, yang mana dalam operasinya carbon brush tersebut mengalami pengikisan yang cepat dan mengakibatkan kotoran dari sisa-sisa pengikisan tersebut pada motor itu sendiri, sehingga membutuhkan biaya rutin untuk pengantian dan pekerjaan rutin untuk pembersihannya.

Penggunaan motor-motor medium voltage di semua pabrik PT semen Padang totalnya 36 buah dan 10 buah diantaranya menggunakan motor dengan sistem Brush Lifting Device(BLD), disamping tipe konvensional atau karbon brush tetap. Perencanaan, desain, dan pengoperasian sistem tenaga listrik industri memerlukan penelitian teknik untuk mengevaluasi kinerja yang ada dan sistem yang handal, aman, dan ekonomis.

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam artikel ini adalah sebagai berikut:

1. Prinsip dasar Motor 6R1M03M1 WEG Raw Mill Drive 6,3 kV 8700 kW di Indarung VI PT Semen Padang, dimana motor tersebut menggunakan motor induksi belitan wound
2. Penggunaan Brush Lifting Device (BLD) pada Motor 6R1M03M1 WEG Raw Mill Drive 6,3 kV 8700 kW di Indarung VI PT Semen Padang,.
3. Cara kerja Brush Lifting Device (BLD) pada Motor 6R1M03M1 WEG Raw Mill Drive 6,3

kV 8700 kW di Indarung VI PT Semen Padang, sehingga dapat diketahui bagaimana cara kerja dan fungsi carbon brush pada motor slipring.

- Menghitung besarnya pengikisan oleh motor yang menggunakan sistem Brush Lifting Device (BLD) dan efisiensi yang didapatkan.

Artikel ini akan membahas dan menganalisis penggunaan motor dengan sistem karbon brush yang bisa naik turun di pabrik Indarung VI PT Semen Padang, dimana obyek yang digunakan sebagai bahan penelitian merupakan motor yang terbesar di PT semen Padang. Disini akan diketahui kelebihan tipe tersebut dari beberapa hal, seperti dari biaya pemeliharaan, spare part, kebersihan, tenaga kerja yang dibutuhkan, kehandalan slipring motor dan umur motor itu sendiri.

II. KAJIAN PUSTAKA

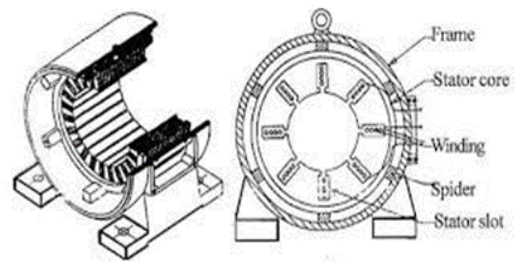
A. MOTOR INDUKSI

Motor induksi adalah salah satu jenis motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik. Motor induksi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi memiliki sebuah sumber energi listrik yaitu di sisi stator, sedangkan sistem kelistrikan di sisi rotornya diinduksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnetik. Tegangan pada rotor merupakan tegangan yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan arus stator. Oleh sebab itu disebut dengan motor induksi. Penggunaan motor induksi umumnya digunakan sebagai penggerak seperti pada blower, kompresor, pompa, penggerak utama proses produksi atau mill, peralatan workshop seperti mesin-mesin bor, gerinda, crane, dan sebagainya. Salah satu contoh motor induksi di Raw Mill adalah motor Raw Mill Drive (6R1M03M1) dengan tegangan yang disuplai ke motor 6,3 kV. Motor Raw Mill Drive (6R1M03M1) digunakan untuk menggerakkan Raw Mill pada area Raw Mill Indarung VI. Pengoperasian motor listrik membutuhkan arus starting yang sangat besar dan dapat menyebabkan kerugian daya dan panas yang berlebihan. Kerugian tersebut harus dihindari karena dapat mengganggu jaringan listrik dan bahkan merusak komponen motor.

B. KONSTRUKSI MOTOR INDUKSI

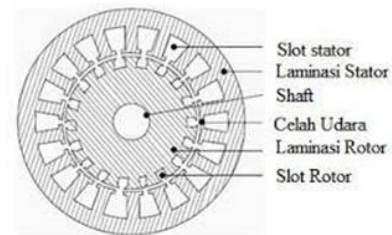
Motor induksi terdiri dari beberapa komponen:

1) Stator



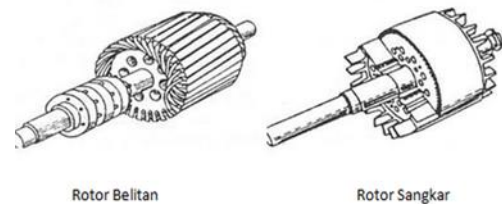
Gbr 1. Bagian stator

2) Celah udara (air gap)



Gbr 2. Celah udara

3) Rotor



Gbr 3. Rotor

Motor induksi rotor belitan sering digunakan pada motor dengan daya berkapasitas besar, karena motor tipe ini bisa diatur arus startnya dengan menambahkan tahanan asut pada belitan rotornya. Dimana pada awal start belitan rotor dihubungkan ke tahanan tambahan di luar motor yang dihubungkan oleh slipring, setelah motor berputar dan mencapai speed nominalnya seiring dengan tahanan asut menuju nol selanjutnya tahanan asut di hubungkan singkat atau diabaikan.

Untuk menghubungkan tegangan input ke rotor melalui slipring tersebut menggunakan karbon brush karena slipring rotor ikut berputar. Ada 2 tipe metode atau sistem karbon brush terhubung ke slipring tersebut:

- Karbon *Brush* posisi tetap (*Fix Position Brush*) tipe konvensional, dimana pada tipe ini carbon brush selalu menempel slipring.
- Karbon *Brush* dengan sistem terangkat (*Brush Lifting Device*), dimana pada tipe ini karbon brush akan terangkat disaat motor sudah mencapai *speed* nominalnya.

C. KONSTRUKSI MOTOR INDUKSI

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa didasarkan pada Hukum Faraday (tegangan induksi akan ditimbulkan oleh perubahan induksi magnetik pada suatu belitan).

$$= B \times l \times v \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- ϵ =Tegangan induksi (V)
- B= Medan magnet (T)
- I = Panjang konduktor (m)
- V =Kecepatan medan magnet menginduksi konduktor (m/s)

Hukum lain yang mendasari prinsip kerja dari motor induksi adalah Hukum Lorentz (Apabila konduktor yang teraliri arus berada pada medan magnet, maka akan timbul gaya yang disebut gaya elektromagnet atau gaya Lorentz).

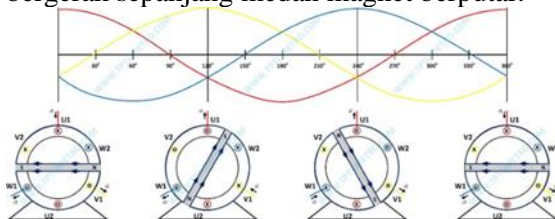
$$F = B \times i \times l \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- F = Gaya Lorentz (N)
- B = Medan magnet (T)
- i =Arus yang mengalir pada konduktor (A)
- l = Panjang konduktor (m)

Motor induksi bekerja bergantung pada medan magnet putar yang ditimbulkan dalam celah udara motor yang disebabkan oleh arus belitan stator. Prinsip dasar dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tegangan induksi akan timbul pada setiap konduktor yang diakibatkan oleh medan magnet yang memotong konduktor (Hukum Faraday).
2. Konduktor dihubungkan menjadi satu atau dihubung singkat pada ujung belitan, maka tegangan induksi akan menyebabkan arus mengalir dari satu konduktor ke konduktor lain.
3. Arus yang mengalir pada suatu medan magnet akan menimbulkan gaya (Hukum Lorentz).
4. Gaya akan selalu menarik konduktor (rotor) untuk bergerak sepanjang medan magnet berputar.



Gbr 4. Prinsip kerja motor induksi tiga fasa

Pada Gbr prinsip kerja motor induksi tiga fasa dapat dilihat bagaimana rotor berpindah dari satu kutub ke kutub lain karena terjadi beda medan magnet yang dialami setiap kutub. Perbandingan kecepatan tergantung pada waktu yang dibutuhkan untuk berpindah dari satu kutub ke kutub lain. Waktu yang dibutuhkan tergantung pada frekuensi dari sumber

tegangan. Jika sumber tegangan memiliki frekuensi 50 Hz, maka setiap putaran dari kutub membutuhkan waktu 0,02 detik, sehingga akan menimbulkan perpindahan kutub ke kutub sebesar 3000 perpindahan per menit ketika jumlah kutub ada dua. Jika frekuensi dikurangi sebanyak 5 Hz, maka rotor akan berpindah sebanyak 2700 langkah dari satu kutub ke kutub lain dalam satu menit. Jika jumlah kutub ada 4, maka setiap putaran dari kutub ke kutub lain membutuhkan waktu 0.04 detik, sehingga akan menimbulkan perpindahan kutub ke kutub sebesar 1500 perpindahan per menit. Kecepatan motor induksi tiga fasa sangat dipengaruhi oleh jumlah kutub pada stator dan frekuensi sumber tegangan yang dihubungkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$n_s = 120 \times f/p \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- F = Frekuensi sumber tegangan (Hz)
- p = Jumlah pasang kutub
- n_s = Kecepatan putar sinkron medan magnet stator

Kecepatan putar dari medan magnetik berputar disebut kecepatan sinkron dari motor. Untuk catu daya dengan frekuensi yang konstan, kecepatan sinkron setiap motor adalah konstan. Dalam motor induksi yang tidak ada hubungan listrik rotor, arus rotor merupakan arus induksi. Konduktor rotor mengalirkan arus dalam medan magnetik sehingga terjadi gaya pada rotor yang bergerak dalam arah tegak lurus medan. Selisih antara kecepatan rotor dan kecepatan sinkron disebut slip. Slip dapat dinyatakan dalam putaran per menit, tetapi lebih umum dinyatakan sebagai persen dari kecepatan sinkron. Slip dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- s = Slip
- n_s = Kecepatan sinkron (rpm)
- n = Kecepatan rotor (rpm)

D. PENGASUTAN MOTOR INDUKSI

Pengasutan motor merupakan proses awal disaat motor beroperasi atau menerima perintah untuk berputar dan tegangan input diterima oleh motor, pada kondisi ini adalah kondisi sangat kritis dimana dibutuhkan energi atau daya yang tinggi untuk memutar motor atau beban yang mana akan berpotensi kenaikan arus motor akan naik 4 kali lipat dari arus nominanya.

E. PENGASUTAN MOTOR INDUKSI

Merupakan sustu sistem yang berfungsi menurunkan karbon brush ke sliping disaat motor akan di operasikan dan menaikan karbon brush setelah



motor beroperasi dengan kecepatan nominalnya tercapai.

Brush Lifting Device ini juga berfungsi menshort belitan rotor secara mekanis dengan menggunakan finger contact yang terpasang dan merupakan bagian dari BLD tersebut. Dengan adanya sistem ini bisa menghemat karbon brush dari pengikisan disaat rotor motor berputar.

F. DAYA MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Pada motor induksi, tidak ada sumber listrik yang langsung terhubung ke rotor sehingga daya yang melewati celah udara dianggap sama dengan daya masukan ke rotor. Daya masukan motor pada stator dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I_L \times \cos[\phi] \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

- P_{in} = Daya masukan (W)
- V_{LL} = Tegangan Line to Line masukan (V)
- I_L = Arus masukan per fasa (A)
- $\cos[\phi]$ = Faktor daya

Daya listrik yang dialirkan pada terminal stator kemudian diubah menjadi daya mekanik pada poros rotor dan menghasilkan torsi. Torsi adalah kemampuan suatu motor untuk dapat memutar suatu beban, dengan rumusnya:

$$\tau = 9,55 \times P_{out}/n = 9,55 \times P_{in}/n \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- τ = Torsi motor (Nm)
- P_{out} = Daya keluaran atau daya mekanik (W)
- P_{in} = Daya masukan atau daya listrik (W)

III. METODE

Metode yang dilakukan adalah dengan pengumpulan data dari seluruh sistem kelistrikan yang akan di analisa sebagai berikut:

- a. Data Desain Motor
- b. Data Arus Pengasutan
- c. Data Torsi Pengasutan
- d. Data kecepatan putar
- e. Data Efisiensi
- f. Data Cosphi
- g. Data Slip
- h. Pengikisan karbon brush oleh slipring selama operasi
- i. Data Temperatur

Pengolahan data nantinya terkait dengan arus starting motor induksi akan didapatkan lebih besar dengan arus operasi normal, dikarenakan rotor masih dalam keadaan diam. Perhitungan kecepatan putar rotor serta torsi motor juga harus dihitung untuk meliat pengaruh start motor dari keadaan diam samaa ke

operasi normal. Pengikisan karbon brush disaat starting juga tetap terjadi dalam nilai yang sangat rendah jika dibanding dengan motor tanpa BLD. Perhitungan data yang dilakukan adalah:

- a. Perhitungan Arus Start
- b. Perhitungan Torsi motor
- c. Perhitungan kecepatan putar motor
- d. Perhitungan Performa motor

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

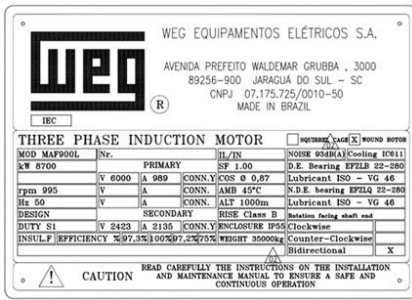
A. MOTOR 6R1M03M1 WEG RAW MILL DRIVE 6,3 KV 8700 KW



Gbr 5. Motor 6R1M03M1 HT WEG mill drive 6.3 kV 8700 kW

Motor mill drive yang digunakan merupakan hasil produksi WEG dengan daya keluaran sebesar 8700 kW dan tegangan 6.3 kV, menjadikan sebagai salah satu motor dengan daya keluaran terbesar di PT Semen Padang. Memiliki dimensi 5514 x 3604 x 4040 mm, motor ini merupakan jenis motor induksi dan wound rotor (rotor belitan). Prinsip motor induksi adalah tegangan yang terinduksi pada rotor merupakan akibat adanya perbedaan antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan rotor. Pengoperasian awal atau startup dilakukan dengan menggunakan tahanan luar, tujuannya adalah untuk mereduksi starting current yang bisa mencapai 5 kali arus nominal. Tahanan luar yang digunakan adalah Liquid Rotor Starter (LRS) yang dihubungkan ke kumparan rotor melalui brush yang menempel pada slip ring. Saat awal starting, besaran tahanan bernilai maksimum (R_{max}), seiring kecepatan putar mencapai normal maka tahanan semakin mengecil hingga mencapai tahanan minimum (R_{min}) atau tanpa hasutan. Brush yang digunakan dapat diangkat dan diturunkan dengan metode Brush Lifting Device (BLD). Pengoperasiannya berkaitan dengan LRS, saat starting maka brush menempel dengan slip ring dan saat putaran mencapai normal maka brush akan naik untuk menghemat pemakaian brush.





Gbr 6. Nameplate Motor WEG 6,3 kV 8700 Kw

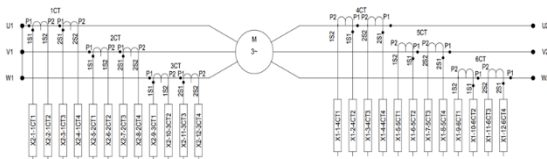
Catatan:

- Rotor voltage tolerance: +/- 10%
- Load data not supplied considered JLOAD = 3 x JMOTOR
- Stray load losses 0.50% of input power
- Heating constant: 67 minutes
- Cooling constant: 333 minutes

B. KONSTRUKSI MOTOR

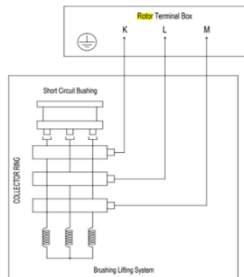
1) **Stator**

Stator adalah bagian stasioner yang terletak pada bagian luar dari motor, terdapat rangkaian listrik yang biasanya terbuat dari tembaga terisolasi atau aluminium yang berfungsi untuk mengantarkan arus.



Gbr 7. Diagram hubungan koneksi stator

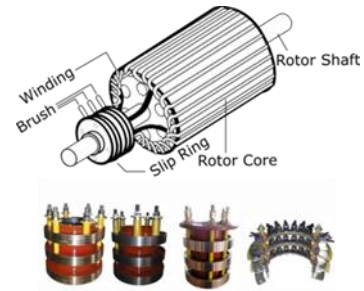
2) **Rotor**



Gbr 8. Rotor wiring diagram

Jenis rotor yang digunakan yaitu wound rotor. Tegangan rotor sebesar 2423 V dengan jenis hubung Y atau bintang. Arus rotor sebesar 2135 A. Motor wound rotor memiliki gulungan rotor dengan jumlah gulungan lebih banyak, tegangan induksi yang lebih tinggi, dan arus yang lebih sedikit dibandingkan dengan rotor squirrel cage. Gulungan di slot dalam rotor diatur pada 120 derajat satu sama lain.

3) **Slip ring**



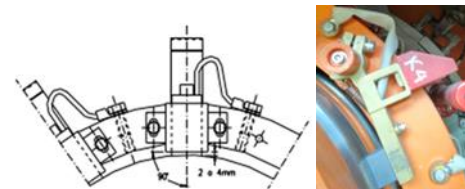
Gbr 9. Struktur motor slip ring dan contoh slip ring



Gbr 10. Slip ring atau collector ring (kotak merah)

Slip ring merupakan bagian rotor yang terhubung dengan brush. Slip ring juga dikenal sebagai collector ring. Slip ring meningkatkan efisiensi dan kinerja motor dengan meningkatkan operasi sistem. Untuk menghasilkan torsi, dibutuhkan slip yaitu perbedaan antara kecepatan fluks dan kecepatan rotor.

4) **Brush-holder**



Gbr 11. Brush holder

Brush holder merupakan bagian BLD yang digunakan sebagai tempat pegangan brush yang digerakkan oleh motor BLD.

5) **Brush-holder**

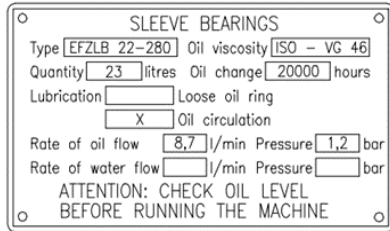


Gbr 12. Silver contact atau pisau-pisau

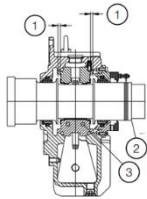
Silver contact atau pisau-pisau merupakan salah satu komponen yang digunakan untuk melakukan short circuit BLD dan motor. Bentuknya seperti lempengan biasa disebut sebagai "pisau-pisau". Silver contact yang digunakan pada motor induksi untuk mengantarkan arus listrik dari stator ke rotor. Silver

contact merupakan bahan yang digunakan untuk membuat kontak elektrik pada slip ring yang digunakan pada motor induksi.

6) *Bearing*



Gbr 13. Nameplate bearing motor



- Keterangan:
 1. Axial clearance
 2. Shaft
 3. Sleeve

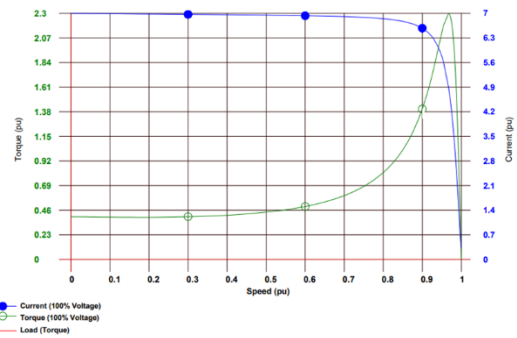
Gbr 14. Sleeve bearing

Bearing adalah bagian yang digunakan untuk mendukung dan menopang rotor yang berputar. Fungsi utama bearing adalah untuk meredam gesekan antara rotor dan stator selama motor beroperasi dan memastikan rotor berputar dengan lancar dan stabil. Bearing yang digunakan bertipe sleeve bearing terdapat di Drive End (DE) dan Non-Drive End (NDE).

C. **PERBANDINGAN ARUS DAN TORSI PENGASUTAN**

Tbl 1. Data motor

Bagian	Deskripsi
Frame	900L
Output	8700 kW
Frequency	50 Hz
Poles	6
Rated speed	995 rpm
Rated current	989 A
LRC (p.u.)	Not applicable
Design	Not applicable
Locked rotor torque	Not applicable
Rate torque	83503 Nm
Breakdown torque	230%
Insulation class	F
Temperature rise	Class B
Service factor	1
Duty	S1
Power factor	0.87
Efficiency	97.30%
Locked rotor time	Not applicable



Gbr 15. Grafik torsi dan arus pengasutan

Berdasarkan data pada kolom identification, terdapat beberapa parameter sebagai berikut.

- Rated current (I_{base}) = 989 A
- Rated voltage (V_{base}) = 6000 V
- Rated speed (n_{base}) = 995 rpm
- Rated torque (T_{base}) = 83503 Nm
- Power = 8700 kW
- Power factor (pf) = 0.87

Sebelum melakukan pengujian beberapa parameter, perlu dilakukan pembuktian arus dasar (I_{base}), sebelumnya perlu menghitung apparent power (S), selanjutnya dapat dihitung sebagai berikut.

$$S_{base} = \frac{P}{pf} \dots\dots\dots(7)$$

$$S_{base} = \frac{8700}{0.87} = 10000 \text{ kVA}$$

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{V_{base}\sqrt{3}} = \frac{10000}{6000\sqrt{3}} = 962 \text{ A}$$

$$I_{selisih} = I_{rated} - I_{base} = 989 - 962 = 27 \text{ A}$$

Terdapat selisih antara arus dasar pada datasheet dengan hasil perhitungan sebesar 27 A. Pengujian dilakukan saat kecepatan 0.6 pu, 0.9 pu, dan 0.95 pu dengan parameter-parameter lain dapat dihitung, dimulai saat kecepatan 0.6 pu.

- Perhitungan kecepatan putar (n) saat 0.6 pu
 $n = n_{pu} \times n_{base} = 0.6 \times 995 = 597 \text{ rpm}$

- Perhitungan arus (I) saat kecepatan 0.6 pu
 $I = I_{pu} \times I_{base} = 6.8 \times 989 = 6725 \text{ A}$

- Perhitungan torsi (T) saat kecepatan 0.6 pu
 $T = T_{pu} \times T_{base} = 0.46 \times 83503 = 38411 \text{ Nm}$

Pada saat kecepatan 0.9 pu, maka parameter-parameter lain dapat dihitung sebagai berikut.

- Perhitungan kecepatan putar (n) saat 0.9 pu
 $n = n_{pu} \times n_{base} = 0.9 \times 995 = 895 \text{ rpm}$

- Perhitungan arus (I) saat kecepatan 0.9 pu
 $I = I_{pu} \times I_{base} = 6.6 \times 989 = 6527 \text{ A}$

- Perhitungan torsi (T) saat kecepatan 0.9 pu
 $T = T_{pu} \times T_{base} = 1.38 \times 83503 = 115234 \text{ Nm}$

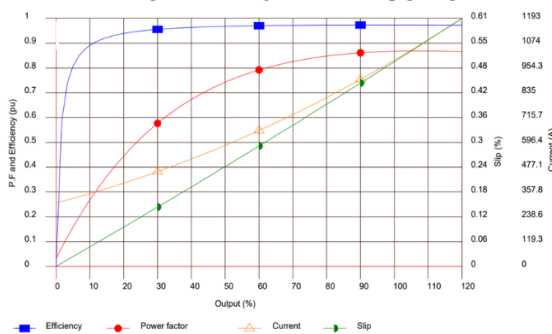
Pada saat kecepatan 0.95 pu, maka parameter-parameter lain dapat dihitung sebagai berikut.



- Perhitungan kecepatan putar (n) saat 0.95 pu
 $n = n_{pu} \times n_{base} = 0.95 \times 995 = 945 \text{ rpm}$
- Perhitungan arus (I) saat kecepatan 0.95 pu
 $I = I_{pu} \times I_{base} = 6 \times 989 = 5934 \text{ A}$
- Perhitungan torsi (T) saat kecepatan 0.95 pu
 $T = T_{pu} \times T_{base} = 1.955 \times 83503 = 163248 \text{ Nm}$

Arus starting motor induksi biasanya lebih besar dibandingkan dengan arus operasi normal karena saat start-up rotor tidak berputar dan tidak memiliki gaya putar yang cukup untuk menimbulkan medan magnet yang diperlukan untuk memulai motor. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada tiga keadaan kecepatan putar dan data yang tertera di grafik, dapat disimpulkan bahwa semakin cepat putaran motor mendekati kecepatan nominalnya, besaran arus berbanding terbalik yang artinya arus semakin mengecil tetapi berbeda dengan torsi yang naik mencapai puncaknya kemudian turun dengan cepat.

D. PERBANDINGAN PERFORMA DAN OUTPUT



Gbr 16. Grafik performa dan output

Berdasarkan grafik di atas yang menyajikan data performa dan output, terdapat beberapa parameter seperti tingkat efisiensi, faktor daya (power factor), arus (current), dan nilai slip. Tingkat efisiensi dapat dicapai dengan baik yang artinya tidak banyak terdapat losses pada pengoperasian motor. Saat output berkisar antara 10 – 20 %, efisiensi telah mencapai 0.9 atau 90 %. Nilai ini terus membaik hingga 97.3% (data spesifikasi motor) seiring dengan peningkatan output. Pada faktor daya juga mengalami kenaikan yang mencapai titik maksimum atau nilai 0.87 saat output 90 %. Arus dan nilai slip juga mengalami kenaikan, saat output 30 % nilai arus sebesar +/- 477.1 A dan nilai slip 0.15. Saat output sudah 90 %, nilai arus naik menjadi +/- 900 A dan slip 0.45. Hingga output 100 %, semua nilai pada grafik sesuai dengan parameter yang ada di data spesifikasi, yaitu arus 989 A, slip 0.5, faktor daya 0.87, dan efisiensi 97.3 %. Dapat disimpulkan bahwa saat motor diam dan saat proses startup, performa motor lebih rendah dibandingkan saat operasi motor pada kecepatan nominal

E. PENGETESAN

1) Breakdown Torque

Breakdown torque atau torsi tembus adalah torsi maksimum yang dihasilkan motor AC dengan tegangan terukur yang diterapkan pada frekuensi yang ditentukan tanpa menyebabkan penurunan kecepatan putar secara tiba-tiba. Torsi tembus maksimum akan dihitung, dengan nilai uji impedansi, uji tanpa beban dan resistansi belitan stator, torsi tembus dihitung sesuai dengan diagram rangkaian ekuivalen. Untuk uji impedansi, rotor mesin harus dikunci dan tegangan stator akan diterapkan untuk mencapai arus pengenal. Nilai tegangan, arus dan daya akan direkam dalam enam titik frekuensi yang berbeda (*rated frequency*, 30 Hz, 25Hz, 20Hz, 15Hz dan 12Hz). Nilai pembacaan tegangan, arus, daya masukan listrik dan temperatur belitan stator akan terekam.

2) Efisiensi dan Faktor Daya

Tingkat efisiensi dan faktor daya yang ditentukan yaitu dengan nilai 50%, 75%, dan 100% dari *rating* daya motor. Kerugian mekanik dan rugi inti (*core losses*) dari pengujian tanpa beban akan digunakan untuk menghitung tingkat efisiensi mesin.

3) Uji Kenaikan Temperature

Pengujian *temperature* dilakukan untuk menentukan kenaikan *temperature* pada bagian utama mesin, yang dipengaruhi oleh *temperature* sekitar, saat mesin beroperasi dalam kondisi tempat yang khusus.

4) Uji Indeks Polarisasi

Pengujian ini dapat diterapkan pada belitan stator tegangan sedang dan tegangan tinggi.

$$PI = \frac{R_{ins-10min}}{R_{ins-1min}} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- PI = Indeks polarisasi
- $R_{ins-10min}$ = Resistansi isolasi menit ke-10 (ohm)
- $R_{ins-1min}$ = Resistansi isolasi menit ke-1 (ohm)

Nilai indeks polarisasi harus lebih besar daripada 2. Jika resistansi isolasi dalam 1 menit lebih dari 500 MΩ, hasilnya tidak akurat. Dalam beberapa kasus, nilai PI akan diabaikan sebagai pengukuran kondisi belitan dan nilai minimum 2 yang diterima tidak berlaku. Indeks polaritas dapat diterapkan ketika tegangan *rated* lebih besar dari 2 kV.

Polarization Index - Stator			
U	V	W	UVW
7.51	6.73	7.24	

Gbr 17. Data hasil pengetesan indeks polarisasi stator



Tbl 2. Data acuan indeks polarisasi antara 10 menit dan 1 menit

Polarization index	Insulation evaluation
1 or less	Bad
< 1.5	Dangerous
1.5 to 2.0	Marginal
2.0 to 3.0	Good
3.0 to 4.0	Very good
> 4.0	Excellent

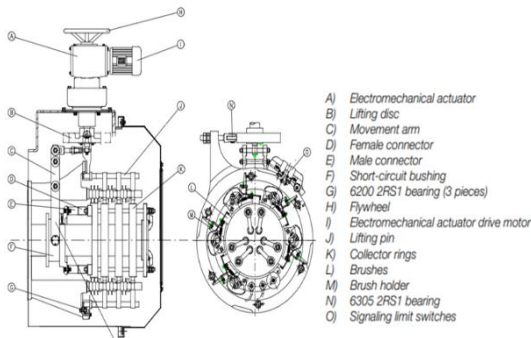
F. BLD (BRUSH LIFTING DEVICE)

Brush Lifting Device adalah perangkat yang berfungsi untuk menaik-turunkan brush saat keadaan motor starting dan mencapai kecepatan nominal. Brush berfungsi sebagai penghantar dan meneruskan arus listrik menuju slip ring sehingga brush bersifat konduktor. Saat starting, brush menempel dengan slip ring. Saat brush terangkat, terjadi short circuit dengan rangkaian sehingga arus tetap mengalir. Kemudian dalam kondisi shutdown, brush akan turun menempel dengan slip ring.

Penggunaan BLD memberikan beberapa keuntungan yaitu mencegah keausan brush dan slip ring yang umumnya menempel secara konstan, mencegah terkumpulnya debu yang dihasilkan oleh brush di bagian dalam kompartemen serta menjaga tingkat insulasi rotor setinggi mungkin, meningkatkan masa pakai brush dan slip ring sehingga masa pakai motor menjadi panjang.

G. BLD (BRUSH LIFTING DEVICE)

1) *Komponen BLD*



Gbr 18. Kontruksi Brush Lifting Device

2) *Prinsip Kerja BLD*

Prinsip kerja BLD berkaitan dengan LRS (Liquid Rotor Starter), penjelasan mengenai cara kerja Brush Lifting Device dijelaskan sebagai berikut.

1. Saat starting, arus mengalir dari sumber ke stator.
2. Untuk menjaga agar arus saat starting tidak tinggi maka diperlukan tahanan luar yaitu Liquid Rotor Starter.
3. Pada BLD, posisi awal brush menempel dengan slip ring dan kontak (silver contact) belum terhubung atau dikenal dengan istilah open. Kondisi ini diikuti dengan rotor yang terhubung

dengan starting rheostat atau rangkaian tahanan luar (LRS).

4. Saat motor sudah beroperasi dan mencapai kecepatan nominal, tahanan (LRS) menjadi kecil yang disebabkan oleh elektroda moving yang bergerak mendekati elektroda statis.
5. Elektroda yang dekat menyebabkan SCC (Short Circuit Contactor) LRS aktif, kontaktor ini men-short circuit kan arus yang awalnya mengalir melalui antar elektroda menjadi mengalir melalui kontaktor.
6. Setelah LRS di-short circuit kan dan kecepatan rotor mencapai nominalnya, posisi brush yang semula menempel dengan slip ring menjadi terangkat, maka arus mengalir melalui silver contact.
7. Jadi, terdapat 2 proses short circuit yaitu pada LRS (Liquid Rotor Starter) berupa SCC (Short Circuit Contactor) dan pada BLD (Brush Lifting Device) berupa silver contact. Prinsip kerja SCC digerakkan oleh coil yang dialiri arus sedangkan silver contact secara mekanis.

3) *Data Pengikisan Brush*

Brush ditahan oleh brush holder dengan urutan masing-masing posisi yaitu K, L, dan M. Posisi K berada pada urutan paling luar (menjauhi DE) dan posisi M pada urutan paling dekat dalam (dekat dengan DE). Dalam keadaan baru, brush memiliki ketebalan 40 mm, brush yang digunakan pada motor mill drive telah ada sejak 2017 dan belum pernah diganti. Ketebelan saat ini bisa dilihat pada Tbl 3 berikut.

Tbl 3. Data pengukuran brush pada 24 September 2023

No	K (mm)	L (mm)	M (mm)
1	36.2	37.3	37.2
2	36.1	37.0	37.3
3	37.2	36.9	38.0
4	37.6	37.2	37.3
5	38.0	37.0	37.5
6	37.2	36.9	37.0
7	38.9	38.3	37.7
8	37.8	38.0	37.0
9	36.9	38.0	37.0
10	37.0	37.2	38.0

Berdasarkan data yang telah didapat maka dapat dihitung jumlah pengikisan brush yaitu dengan menghitung rata-rata ketebalan brush secara umum.

- Posisi K

$$\bar{x}_K = \frac{36.2 + 36.1 + 37.2 + 37.6 + 38.0 + 37.2 + 38.9 + 37.8 + 36.9 + 37.0}{10}$$

$$\bar{x}_K = \frac{372.9}{10} = 37.29 \text{ mm}$$

- Posisi L

$$\bar{x}_L = \frac{37.3 + 37.0 + 36.9 + 37.2 + 37.0 + 36.9 + 38.3 + 38.0 + 38.0 + 37.2}{10}$$

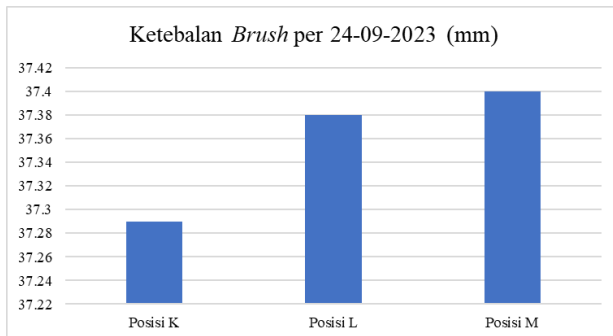
$$\bar{x}_L = \frac{373.8}{10} = 37.38 \text{ mm}$$

- Posisi M

$$\bar{x}_M = \frac{37.2 + 37.3 + 38.0 + 37.3 + 37.5 + 37.0 + 37.7 + 37.0 + 37.0 + 38.0}{10}$$

$$\bar{x}_M = \frac{373.8}{10} = 37.40 \text{ mm}$$

4) Komponen BLD



Gbr 19. Diagram ketebalan brush posisi K, L, M

Kondisi baru, ketebalan *brush* mencapai 45 mm, telah digunakan +/- 6 tahun maka rata-rata pengikisan tiap tahun dapat dihitung sebagai berikut.

- Posisi K, selisih ketebalan *brush* baru dan yang telah terpakai

$$40 - 37.29 = 2.71 \text{ mm}$$

Pengikisan tiap tahun

$$\frac{2.71}{6} = 0.452 \text{ mm}$$

- Posisi L, selisih ketebalan *brush* baru dan yang telah terpakai

$$40 - 37.38 = 2.62 \text{ mm}$$

Pengikisan tiap tahun

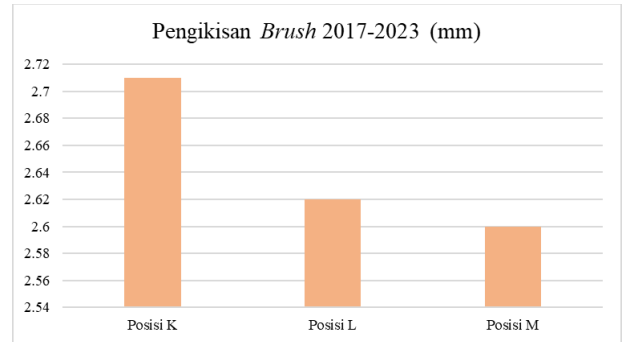
$$\frac{2.62}{6} = 0.436 \text{ mm}$$

- Posisi M, selisih ketebalan *brush* baru dan yang telah terpakai

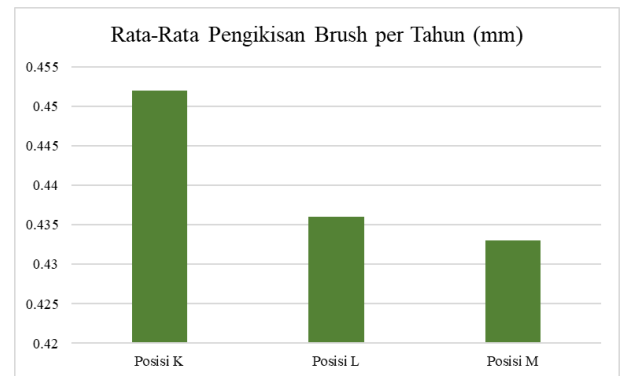
$$40 - 37.40 = 2.60 \text{ mm}$$

Pengikisan tiap tahun

$$\frac{2.60}{6} = 0.433 \text{ mm}$$



Gbr 20. Diagram pengikisan brush tahun 2017 - 2023



Gbr 21. Rata-rata pengikisan *brush* per tahun (selama +/- 6 tahun)

Rata-rata pengikisan *brush* dari tahun 2017 – 2023 sebanyak 2.5 – 2.7 mm atau sekitar 0.45 mm per tahun. Pengikisan ini dinilai sangat sedikit Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, pengikisan brush yang paling besar dialami oleh brush posisi K kemudian brush posisi L, dan brush posisi M. Hal ini bisa dipengaruhi oleh tingkat kerataan slip ring yang berbeda pada masing-masing posisi. Pada posisi terluar yang menjauhi DE yaitu posisi K, posisi ini juga dekat dengan sisi transparan motor yang ditutup dengan bahan akrilik. Asumsi pada posisi slip ring ini (posisi K) terdapat debu yang menempel sedikit lebih tebal daripada posisi lainnya sehingga lebih cepat mengikis brush. Brush akan diganti jika ketebalan sudah mencapai 20 mm dengan prediksi akan diganti sekitar 10 tahun kemudian jika tidak terjadi masalah pada brush seperti brush tidak bisa naik.

V. KESIMPULAN

Motor MV (*Middle Voltage*) atau motor HT (*High Tension*) merupakan motor induksi tiga fasa berjenis motor *wound rotor*. Fokus pembahasan pada laporan ini adalah Motor WEG 8700 kW 6.3 kV *mill drive* di *Raw Mill Indarung 6 PT Semen Padang*.

1. Proses *startup* dibantu oleh resistansi eksternal yang disebut LRS (*Liquid Rotor Starter*). Tujuan penggunaan LRS untuk mereduksi arus lonjakan saat proses *starting*. Prinsip LRS adalah memberi resistansi atau tahanan tambahan saat proses

- startup* agar arus *starting* tidak melonjak. Semakin besar resistansi yang diberikan maka semakin besar arus yang direduksi atau arus *starting* tidak mengalami lonjakan yang signifikan.
2. Pada LRS terdapat elektroda yang direndam di dalam elektrolit. Elektroda dibagi menjadi elektroda bergerak dan elektroda diam. Elektroda bergerak yang berada pada posisi terjauh dari elektroda diam disebut dengan R_{max} . Posisi elektroda bergerak yang menempel dengan elektroda diam disebut dengan R_{max} .
 3. Bagian *slip ring* atau *collector ring* motor dihubungkan dengan *brush* yang naik turun dibantu oleh perangkat BLD (*Brush Lifting Device*). Prinsip BLD adalah menurunkan *brush* saat diam dan *startup*, kemudian mengangkat *brush* saat kecepatan motor mencapai nominal atau normal.
 4. Rata-rata pengikisan *brush* dari tahun 2017 – 2023 sebanyak 2.5 – 2.7 mm atau sekitar 0.45 mm per tahun. Pengikisan ini dinilai sangat sedikit berkat penggunaan *Brush Lifting Device* (BLD) sehingga *brush* tidak menempel secara permanen dengan *slip ring*. Dampaknya adalah peningkatan efisiensi dan meminimalisir waktu *down time* atau pemeliharaan yang disebabkan oleh pergantian *brush*.

REFERENCES

- [1] ENERPAC. 2014. Generator Rotor Removal and Installation System. Video Animation. Enerpac Heavy Lifting Technology. <https://www.youtube.com/watch?v=WAizeXt0Epw> [31 Maret 2020]
- [2] Data Book “Raw Mill Drive 6R1M03M1-321.MD140 (8700 kW). 2015. WEG
- [3] Motor Induksi Slip Ring. <https://lieneticjaya.com/motor-induksi-slip-ring/> Diakses pada tanggal 20 Oktober 2023.
- [4] IPS. Testing for Electric Motors & Generators. Website. Integrated Power Service. <https://www.ips.us/repair-services/electrical-testing/> [30 Maret 2020]
- [5] ISO. 2003. Mechanical Vibration - Balance Quality Requirements for Rotor on A Constant (Rigid) State. Publication 1940-1 Second Edition.
- [6] Juhari. 2013. Instalasi Motor Listrik Semester 6. Buku Ajar SMK Kelas XII. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- [7] Kristianto, A. Tanpa Tahun. Electrical Machines, Transformer, and Power System. Materi Kursus Seminar Operation, Troubleshooting, and Maintenance.
- [8] Margiono. 2015. Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa dan Tiga Fasa. Jakarta P.,
- [9] Jenny D. 1996. Perakitan Generator Sinkron Type (1FC 1633-8HC62-Z) Tiga Fasa Tanpa Sikat di PT. Pindad (Persero) Bandung. Laporan Kerja Praktik. Jurusan Teknik Elektro. Bandung: Sekolah Tinggi Teknologi Mandala
- [10] Putra, A., dkk. 2014. “Perbedaan Motor Sinkron dan Asinkron”. Makalah Sistem Kelistrikan. Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Malang. <https://www.scribd.com/document/378675035/Perbedaan-Motor-SinkronDan-Asinkron> [21 Maret 2020]
- [11] Shahl, S. Ibrahim. Tanpa Tahun. "Electrical Machines II: Induction Generators". E-Learning of Electrical Engineering Department. University of Technology Iraq. https://www.uotechnology.edu.iq/dep-eee/lectures/3rd/Electrical/Machines%202/V_IG.pdf [17 Agustus 2020] Shobiyah,
- [12] Hukman. 2015. Rewinding Motor Induksi 1600kW Divisi Mesin Industri dan Jasa PT. Pindad (Persero). Laporan Kerja Praktik/Penelitian. Jurusan Teknik Tenaga Listrik. Sekolah Teknik Elektro dan Informatika (STEI). Bandung: ITB.
- [13] Siswanto. 2002. “Rotating Machine Maintenance Plant”. KSI-Standard Department. Jakarta: PT. Kartika Sistim Indah.
- [14] SULZER. Tanpa Tahun. Assembling Process Turbogenerators. Website. <https://www.sulzer.com/en/shared/services/turbogenerators> [30 Maret 2020]
- [15] Transcat. Tanpa Tahun. MIT515, MIT525, MIT1025 5-kV and 10-kV Insulation Resistance Testers. Modul Spesifikasi. https://www.transcat.com/media/pdf/MIT515_525_1025.pdf [14 Maret 2020]
- [16] Van Harten, P., Setiawan, E. 1985. Instalasi Listrik Arus Kuat. Bandung: Penerbit Binacipta.
- [17] Zuhail. 1992. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: Penerbit Gramedia Pustaka Utama

BIOGRAFI PENULIS



Zulvawarman, lahir pada tanggal 26 Mei 1977. Saat ini bekerja sebagai *Senior Manager* di bagian *Electrical Maintenance* PT Semen Padang dan terdaftar sebagai mahasiswa di program profesi insinyur pada pascasarjana Universitas Andalas.