



KINERJA MOTOR INDUKSI PASCA PENGGANTIAN BUSBAR ROTOR ALUMINIUM MENJADI TEMBAGA UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN RATING DAYA AWAL

Ramli Adi Putra & Chairul G. Irianto

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti

Jalan Kiai Tapa 1 Jakarta Barat 11440

E-mail: ramliadiputra07@rocketmail.com & chairul_irianto@trisakti.ac.id

ABSTRACT

Replacement of aluminum busbar into a copper busbar can be a solution to repair a squirrel cage rotor. Due to resistance value of copper is 2/3 smaller than the resistance of aluminum, the current density in copper busbar becomes smaller so that the increase in rotor temperature becomes lower. With the expansion rate of the copper busbar material is smaller then the heat rise in the bearings and rotor shaft becomes smaller so that friction and vibration motor becomes lower. The first step for the replacement of the aluminum to copper busbar rotor, starting with testing the damage busbar using growler tool to find out which busbars are broken and not in the rotor. Once the disconnected busbar is known the aluminum is released from the rotor frame by using sodium hydroxide (NaOH) to dissolve the aluminum material. To replace the aluminum to copper busbar, size and thickness of the copper busbar cross-section should not be the same as the aluminum busbar, it can be 60% for aluminum and 40% for copper. Replacement of aluminum to copper busbar does not change the value of the reactance of the rotor. After the busbar replacement, the megger tests show a good value, Polarization Index (PI) value is greater than 2.0. The no-load test indicates that the current in the winding phases of the R-S, R-Q and S-T does not exceed 5%, the value of the vibration testing does not exceed 2.8 mm / s, and the value of the test results surge chart shows a good standard.

Keywords: *induction motors, rotor busbar, rotor resistance, megger and surges testing, vibration testing.*

ABSTRAK

Penggantian busbar aluminium menjadi tembaga merupakan solusi untuk perbaikan rotor sangkar tupai. Karena nilai resistansi tembaga adalah 2/3 lebih kecil dibandingkan dengan resistansi aluminium maka rapat arus di busbar tembaga menjadi lebih kecil sehingga kenaikan temperatur di rotor menjadi lebih rendah. Dengan tingkat pemuaian bahan busbar tembaga yang lebih kecil maka kenaikan panas di bantalan dan poros rotor menjadi lebih

kecil sehingga gesekan dan getaran motor menjadi lebih rendah. Langkah pertama untuk penggantian busbar rotor aluminium menjadi tembaga, diawali pengujian kerusakan busbar dengan menggunakan alat growler untuk mengetahui busbar mana yang terputus dan busbar yang tidak terputus. Setelah diketahui busbar yang terputus, busbar aluminium dilepaskan dari rangka rotor dengan menggunakan zat kimia natrium hidroksida (NaOH) untuk melarutkan bahan aluminium. Untuk mengganti busbar aluminium menjadi tembaga, ukuran besar dan tebal penampang busbar tembaga tidak harus sama dengan aluminium, dapat berbanding 60% untuk aluminium dan 40% untuk tembaga. Penggantian busbar aluminium menjadi tembaga tidak mengubah nilai reaktansi rotor. Setelah penggantian busbar, hasil pengujian megger menunjukkan nilai standar yang baik, nilai Indeks Polarisasi (IP) lebih besar dari 2,0. Berdasarkan hasil pengujian beban nol untuk arus pada belitan fase-fase dari R-S, R-T dan S-T tidak melebihi 5%, nilai hasil pengujian getaran tidak melebihi 2,8 mm/s, dan nilai hasil pengujian surge menunjukkan grafik standar yang baik.

***Kata kunci:** motor induksi, busbar rotor, resistansi rotor, pengujian megger, surja, pengujian getaran*

1. PENDAHULUAN

Desain rotor sangkar tupai digunakan untuk aplikasi motor induksi yang membutuhkan torsi awal yang tinggi. Bagian luar sangkar rotor rentan terhadap kerusakan karena harus menahan temperatur yang panas atau tekanan mekanik selama menanggung beban awal karena arus *start* yang tinggi dan waktu percepatan yang lama [1, 2]. Pada temperatur tinggi, bahan rotor aluminium tidak cocok untuk mesin kecepatan tinggi sedangkan batas suhu maksimal pada aluminium lebih rendah dari pada tembaga [3]. Kerusakan rotor dapat terjadi selama proses produksi atau karena dari kerusakan mekanis akibat tekanan temperatur [4]. Kerusakan mekanis pada *busbar* disebabkan karena *bearing* yang sudah rusak yang membuat rotor berbenturan dengan stator saat motor sedang berjalan. Oleh karena torsi awal mesin induksi sangat tinggi maka semakin memperburuk kerusakan pada *busbarnya*.

Untuk mengetahui kerusakan *busbar* rotor sangkar tupai dilakukan dengan cara melihat data hasil pengujian beban nol berdasarkan *nameplate* motor dimana data hasil pengujian akan stabil bila masih sesuai dengan besaran *nameplate*. Ketika dilanjutkan pengujian menggunakan beban mekanik berdasarkan pengamatan kopel *output* dari rotor dapat terlihat ketidakstabilan antara rating *nameplate* motor dengan

[weber/m²] tertentu [9, 10]. Jika pada rangkaian rotor nilai resistansinya lebih kecil, maka arus yang mengalir di *busbar* tembaga rotor menjadi lebih besar.

2.1. Resistansi, Resistivitas, dan Pengaruh Temperatur

Karakteristik listrik tembaga adalah resistansi listrik. Resistansi konduktor tembaga dapat ditentukan dengan menerapkan beda potensial V diantara kedua ujung konduktor dan mengukur arus listrik I yang mengalir, dinyatakan dengan Persamaan (1) [7].

$$R = \frac{V}{i} \text{ Ohm} \quad (1)$$

Resistivitas ρ dari material ditentukan dengan Persamaan (2)

$$\rho = \frac{\vec{E}}{\vec{J}} \text{ Ohm.meter} \quad (2)$$

dimana E adalah kuat medan listrik dalam V/m dan J adalah kerapatan arus dalam A/m^2 .

Daftar resistivitas dari material tembaga dan aluminium terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Resistivitas material metal pada temperatur ruang (20 °C)[6]

Material	Resistivitas, ρ ($\Omega \cdot m$)	Koefisien temperatur Resistivitas, $\alpha(K^{-1})$
Tembaga	$1,69 \times 10^{-8}$	$4,3 \times 10^{-3}$
Aluminium	$2,75 \times 10^{-8}$	$4,4 \times 10^{-3}$

Konduktivitas material, σ berbanding terbalik dengan resistivitas seperti pada persamaan (3):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} (\Omega m)^{-1} \quad (3)$$



maka resistansi R adalah

$$R = \rho \frac{l}{A} \Omega \quad (4)$$

dimana A adalah luas penampang kawat dan l adalah panjang kawat konduktor.

Resistivitas material dapat dipengaruhi oleh temperatur atau kenaikan suhu. Rasio besarnya arus yang mengalir di konduktor tembaga dan aluminium ditentukan dari Persamaan (5).

$$\begin{aligned} \text{Rasio}_{\rho_{\text{Cu-Al}}} &= \frac{\rho_{\text{Al}}}{\rho_{\text{Cu}}} \quad (5) \\ &= \frac{2,75 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}}{1,69 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}} \\ &= 1,627 \end{aligned}$$

Berdasarkan Persamaan (5) kemampuan konduktor tembaga mengalirkan arus listrik lebih besar sekitar 63% dibandingkan konduktor aluminium.

2.2. Rugi-rugi daya ΔP di resistansi konduktor

Rugi-rugi daya resistansi konduktor ditentukan dari persamaan (6) [7].

$$\begin{aligned} \Delta P &= I^2 \Delta R \\ &= \frac{V^2}{\Delta R} \text{ W} \quad (6) \end{aligned}$$

Dari persamaan (5), dan (6) bahwa rugi-rugi daya konduktor tembaga lebih kecil (1/1,627) dibandingkan rugi-rugi daya konduktor aluminium.

Kopel yang dibangkitkan rotor berdasarkan hukum Lenz, seperti persamaan (7) [9].

$$T = c I_a \Phi \quad \text{N.m} \quad (7)$$

dimana T adalah kopel rotor dalam Nm, c adalah konstanta kopel, I_a adalah arus rotor dalam A, Φ adalah fluks medan magnet putar stator dalam Wb.

Sehingga meningkatkan daya output dari motor, sesuai *nameplate*:

$$P = T\omega \quad \text{W} \quad (8)$$

dimana P adalah daya output dalam W, T adalah kopel motor dalam Nm, ω : kecepatan sudut dalam rad/detik.

3. HASIL, DAN PEMBAHASAN

Motor induksi 3-fase yang digunakan di PLTU batu bara sektor Ombilin Palembang ini berfungsi sebagai penghasil udara primer (*primary air fan*) untuk menghembuskan serbuk batubara dari *pulverizer* menuju *burner*. Spesifikasi motor induksi 3-fase yang terletak di belakang *pulverizer* dijelaskan di dalam Tabel 2.

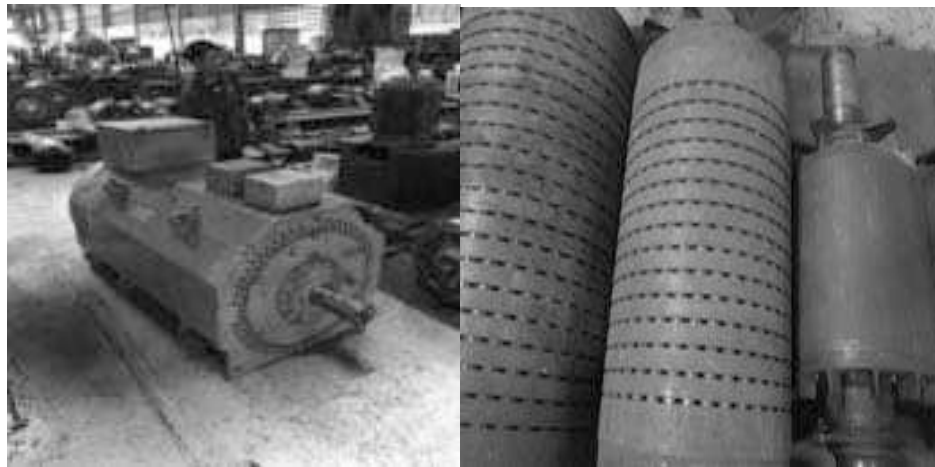
Tabel 2. Detil *nameplate* motor

Type	F3RXA40014G	Ins. Class	F
KW	310	Cos ϕ	0.91
Volt, V	6000	IP	55
Amper, A	34.4	Manufacture	GEC ALSTHOM
Frequency, Hz	50	Poles	4

Perbaikan *busbar* rotor diawali dengan melakukan pengujian dengan menggunakan *growler* dan batang besi yang diletakkan pada *busbar* rotor untuk mengetahui kondisi *busbar* apakah terputus atau masih tersambung dan selanjutnya dimulai perbaikan *busbar*.

3.1. Perbaikan Awal pada Kerusakan *Busbar* Rotor Sangkar Tupai

Gambar 1 memperlihatkan kondisi awal ketika motor induksi datang, dan jenis inti besi pada rotor sangkar.



Gambar 1. Kondisi awal motor masuk bengkel, dan inti besi rotor

Perbaikan *busbar* di rotor diawali dengan melakukan pengujian menggunakan *growler* pada rotor untuk mengetahui kondisi hubungan *busbar* apakah terputus atau masih tersambung, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses pengujian *growler* dengan menggunakan besi

Proses pengujian *busbar* dimulai dengan meletakkan *growler* yang sudah dialiri arus listrik di atas inti besi rotor. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan meletakkan batang besi di atas inti besi secara bergantian seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Jika besi tidak menempel di inti besi maka *busbar* telah rusak atau putus dan jika besi menempel di inti besi maka kondisi *busbar* masih baik.

Pada Tabel 3 diperlihatkan hasil pengujian awal motor induksi menggunakan *growler*.

Tabel 3. Hasil pengujian awal motor induksi menggunakan *growler*

Uji kondisi Nomor busbar	Hasil	Catatan
1 – 10	Diterima	
11 – 20	Ditolak	Diperiksa
21 – 36	Diterima	

Catatan:

Diterima : apabila terjadi getaran pada plat yang diletakkan di atas *busbar* yang diuji yang mengindikasikan adanya medan magnet pada *busbar* tersebut.

Ditolak : apabila tidak terjadi getaran pada plat yang diletakkan di atas *busbar* yang diuji yang mengindikasikan tidak adanya medan magnet pada *busbar* tersebut atau *busbar* terputus.

Untuk mengetahui kondisi *busbar* rotor dilakukan pengujian listrik untuk mengetahui kondisi resistansi stator saat tidak berputar. Pengujian listrik pada belitan stator meliputi pengujian *megger*, pengujian mengukur resistansi belitan stator dengan menggunakan rangkaian jembatan ganda (*double bridge*) dan pengujian ketahanan isolasi stator dengan tegangan surja. Pengujian listrik menggunakan *megger* untuk mengukur resistansi isolasi stator dengan hasil uji seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Data uji *megger*

Fase – Ground (M Ω)	Fase – Fase (M Ω)	Standard	Catatan
Fase-U	0	U - V -	V nominal + Buruk
Fase-V	0	V - W -	Buruk
Fase-W	0	W - U -	Buruk

Pengujian untuk mengetahui kondisi resistansi antar fase-fase belitan stator saat awal motor diterima di bengkel, seperti pada Tabel 5.

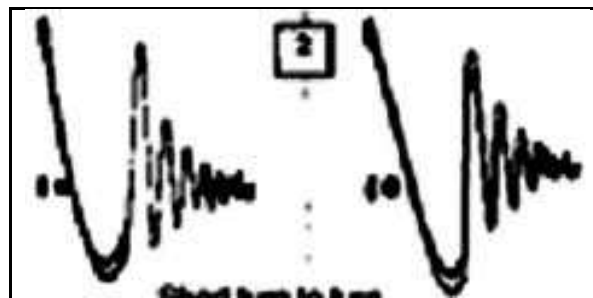
Tabel 5. Hasil pengujian resistansi belitan stator dengan alat ukur HIOKI pada temperatur ruang 30 °C

Resistansi stator (Ω)	Hasil	Standard
U – V	0,856	Tidak seimbang
V – W	1,414	Tidak seimbang
W – U	1,291	Tidak seimbang

Hasil awal pengujian resistansi stator ketika motor tiga-fase diterima bengkel menunjukkan perbedaan nilai resistansi yang besar diantara fase-fase U-V, V-W dan W-U seperti diperlihatkan pada Tabel 5. Sedangkan hasil pengujian tegangan surja yang diterapkan di antara fase-fase belitan stator dan dengan menginduksikan tegangan surja ke rotor dan inti besi dengan hasil uji surja seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji tegangan surja

Titik uji	Hasil (kondisi)	Tegangan uji
U – V	Hubung singkat fase-fase	2 6000 V
V – W	Hubung singkat fase-fase	2 6000 V
W – U	Hubung singkat fase-fase	2 6000 V



Gambar 3. Variasi grafik hasil uji tegangan surja

Pada Gambar 3 diperlihatkan keadaan *short turn to turn* yang menunjukkan hasil pengamatan bentuk kurva surja di osiloskop yang menunjukkan terjadi kebocoran isolasi di antara belitan-belitan fase pada isolasi belitan stator.

3.2. Proses Penggantian Busbar Aluminium Menjadi Busbar Tembaga

Setelah diketahui busbar telah rusak maka dilakukan proses pelepasan busbar seperti yang terdapat pada Gambar 4.

Gambar 4. Proses pelepasan *busbar* rotorGambar 5. Proses pelepasan *busbar* aluminium

Proses berikutnya rotor sangkar dimasukkan ke dalam tangki yang berisi cairan zat kimia natrium hidroksida (NaOH) supaya material yang berbahan aluminium, seperti *busbar*, mencair sehingga dapat terlepas dari rangka rotornya, seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Selanjutnya, proses pemasangan *busbar* tembaga seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Setelah semua *busbar* aluminium terlepas dari rangka rotor, maka *busbar* diganti dengan *busbar* tembaga yang ukuran panjang dan tebalnya sesuai dengan ukuran rotor sebelumnya. Pada proses pemasangan *busbar* tembaga agar tidak mudah terputus maka *busbar* dilas di rotornya agar kuat.

Gambar 6. Proses pemasangan *busbar* tembaga



Gambar 7. Proses pembuatan lubang ring busbar

Proses berikutnya adalah pada rotor yang telah dimasuki busbar tembaga dibuat lubang ring busbar rotor agar dapat menempel di busbar. Proses pembuatan lubang busbar pada ring (cincin) agar bentuk ring sebelumnya bisa sama seperti ring tembaga, diperlihatkan pada Gambar 7. Proses selanjutnya ring busbar rotor yang telah dilubangi dimasukkan ke dalam ujung busbar dan dilas sehingga dapat menyatu dengan busbar tembaga, seperti diperlihatkan pada Gambar 8. Setelah pemasangan ring dan busbar dilakukan proses *balancing* inti besi dan ringnya.



Gambar 8. Proses ring busbar rotor yang telah dilubangi dimasukkan ke dalam ujung busbar, dan di las

Setelah ring dan busbar rotor tersambung maka bagian as atau poros dan pinggiran ring busbar dibubut agar rata, seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses bubut *ring busbar* rotor sangkar tupai, dan inti besi



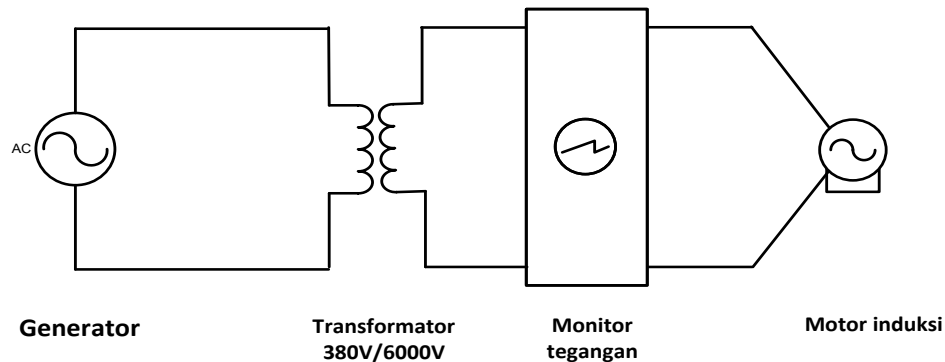
Gambar 10. Proses penyelesaian, dan pengecatan

Setelah pinggiran *ring busbar*, dan poros motor dibubut, dan hasilnya sudah dinyatakan baik maka dapat digunakan. Proses terakhir yaitu pengecatan rotor dengan hasil seperti diperlihatkan pada Gambar 10.

3.3. Pengujian Paska Perbaikan dan Penggantian *Busbar* Tembaga

Setelah perbaikan *busbar* dengan mengganti *busbar* aluminium menjadi tembaga, dilakukan pengujian resistansi isolasi belitan stator dengan pengujian *megger*, pengujian Indeks Polarisasi (PI), pengujian resistansi belitan, pengujian surja, pengujian tegangan, arus dan kecepatan, pengujian getaran dan pengujian temperatur. Semua pengujian motor induksi pasca penggantian *busbar* tembaga rotor dilakukan dengan pengujian beban nol, yaitu motor beroperasi memutar poros rotor tanpa beban mekanik. Dalam pengujian tegangan tinggi untuk pengujian surja pada belitan stator dan pengujian beban nol pada motor digunakan perangkat pengujian

terdiri dari generator, transformator dan monitor tegangan berupa rangkaian pengujian listrik satu garis, seperti diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram rangkaian pengujian listrik motor induksi 3-fase

Generator berfungsi menyediakan daya listrik ke transformator untuk pengujian tegangan tinggi. Transformator dengan tegangan rendah (LV) 380 volt dan ditingkatkan (*step up*) menjadi tegangan tinggi (HV) 6000 volt dengan rasio kumparan LV: HV adalah 1: 17,09.

3.3.1. Pengujian Resistansi Isolasi

Pengujian resistansi isolasi dilakukan pada tegangan masuk 5000 volt, temperatur 30 °C, lamanya pengujian 1 menit, alat untuk pengujian Kyoritsu, seperti diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Data pengujian resistansi isolasi

Volt-meter	5000 volt
Lama pengujian	1 menit
Equipment	KYORITSU
Ambient tempertur	30 °C

Pengujian ketahanan isolasi stator dilakukan dengan menerapkan tegangan 5000 volt selama satu menit dan bila nilai resistansi stator tetap maka kondisi isolator baik. Standard mensyaratkan tegangan pengujian adalah sebesar tegangan nominal motor ditambah 1000 volt untuk menjaga keamanan, misalnya kemampuan isolasi stator untuk mampu menahan tegangan kejut (*inrush voltage, surge test*)

3.3.2. Pengujian dengan Megger

Menggunakan alat ukur isolasi mega ohm-meter yang diterapkan pada masing-masing fase-tanah dan di antara fase-fase dan menggunakan rangkaian pengujian resistansi isolasi belitan fase menghasilkan data seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Data uji megger

Fase – Ground (M Ω)	Fase – Fase (M Ω)	Standard	Catatan
Fase-U	5000 U - V	-	V nominal + Baik
Fase-V	5000 V - W	-	1000 Baik
Fase-W	5000 W - U	-	1000 Baik

3.3.3. Pengujian Indeks Polarisasi (*Polarization Index Test / Test Volt: 5000 V*)

Pengujian Indeks Polarisasi digunakan untuk mengetahui kualitas belitan-belitanmesin listrik akibat pengaruh lingkungan, seperti penyerapan air, pengotoran debu dan lain-lain. Jika nilai PI tidak memenuhi standard, yaitu 1,12 mungkin pemanasan pada belitan stator kurang maksimal. Nilai PI yang dianggap baik seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengujian indeks polarisasi/pengujian penerapan tegangan bolak balik 5000 volt

Lama Uji	U- tanah	V- tanah	W- tanah	Standard (PI)	Catatan
Satu menit	4,37 GΩ	4,37 GΩ	4,37 GΩ	2,0	Baik
Lima menit	4,91 GΩ	4,91 GΩ	4,91 GΩ	2,0	Baik
Sepuluh menit	4,99 GΩ	4,99 GΩ	4,99 GΩ	2,0	Baik
P.I. Value	1,12	1,12	1,12		

Jika motor sudah dipakai lama dan panas belitan bertambah maka kenaikan nilai P.I pasti tercapai dan memenuhi standard.

3.3.4. Pengukuran Resistansi Belitan Stator

Pengetesan selanjutnya pengukuran resistansi belitan dengan pengetesan per fase U-V, V-W, W-U dimana hasil pembacaan uji pengukuran terdapat pada Tabel 10.

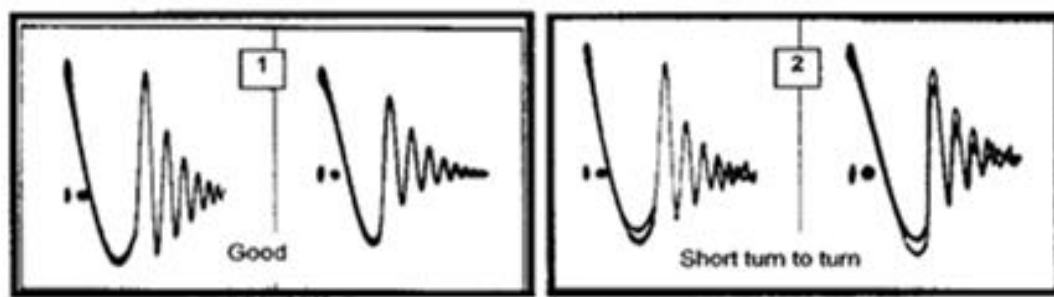
Tabel 10. Hasil pengujian resistansi belitan stator

Resistansi stator (Ω)		Temperatur ruang 30 ⁰ C	
Alat ukur	Hioki	Hasil	Standard
U - V	1,348	Seimbang	Seimbang
V - W	1,347	Seimbang	Seimbang
W - U	1,347	Seimbang	Seimbang

Hasil pengujian resistansi tidak boleh melebihi 5 % dari perbedaan hasil U-V, V-W dan W-U.

3.3.5. Pengujian Tegangan Surja

Pengujian tegangan surja diterapkan di antara fase-fase belitan stator dengan menginduksikan tegangan surja ke busbar tembaga rotor dan inti besi. Hasil uji surja dalam bentuk tegangan gelombang surja menggunakan osiloskop terdapat pada Gambar 12 dan pada Tabel 11.



Gambar 12. Kurva grafik hasil uji tegangan surja kondisi baik [1]

Tabel 11. Pengujian tegangan surja

Titik uji	Hasil (kondisi)		Tegangan uji
U - V	Baik	1	9000 V
V - W	Baik	1	9000 V
W = U	Baik	1	9000

3.3.6. Menjalankan Pengujian Tanpa Beban

Semua pengujian motor induksi tiga-fase pasca penggantian busbar tembaga rotor dilakukan dengan pengujian beban nol, yaitu motor beroperasi memutar poros rotor tanpa beban mekanik. Hasil pengujian pada kondisi motor tanpa beban seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil pengukuran tegangan dan arus pada pengujian tanpa beban

Titik uji	Tegangan suplai Trafo (V)	Arus [A]	Kecepatan [ppm]
R – S	6000	9,6	1511
R – T	6000	9,9	1511
S – T	6000	9,6	1511

3.3.7. Pengujian Getaran Tanpa Menggunakan Beban

Pengujian getaran atau vibrasi untuk mengetahui kondisi getaran di antara bagian rotor yang berputar dengan bagian yang diam, seperti bantalan motor, belitan stator dan inti besi. Pengujian getaran menggunakan peralatan Vibrotip Vb 8,650 dilakukan pada kondisi motor berputar tanpa beban dengan hasil uji getaran seperti pada Tabel 13.

Tabel 13. Pengujian getaran tanpa beban

Posisi	Drive end (mm/s)			Non drive end (mm/s)			Standard Maksimum (mm/s)
	Horizontal	Vertikal	Aksial	Horizontal	Vertikal	Aksial	
Arah ukur vibrasi	1,3	0,6	0,5	1,2	1,1	0,4	2,8

Hasil pengujian getaran menunjukkan bahwa kondisi getaran motor adalah baik, tidak melebihi standard maksimum getaran yang diijinkan 2,8 mm/s.

3.3.8. Pengujian pengukuran temperatur pada *bearing* motor induksi

Hasil pengujian temperatur pada *house.DE*, pada bagian tengah *body* DE serta pada batang as *shaft.DE*. terdapat pada Tabel 14.

Tabel 14. Pengujian pengukuran temperatur ($^{\circ}\text{C}$) pada *bearing* rotor DE

Waktu	House. DE	Body	Shaft. DE	Catatan
10.00	38	36	40	Baik
10.15	39	34	38	Baik
10.30	40	35	39	Baik
10.45	42	35	41	Baik
11.00	43	36	41	Baik
11.15	43	36	42	Baik
11.30	43	35	42	Baik

Catatan: *house.DE* adalah rumah *bearing*, *body* DE adalah bagian tengah, dan *shaft*. DE adalah batang as/poros



Sebelum dikirimkan ke pemilik motor induksi dilakukan pembungkusan dengan plastik agar motor tidak kotor dan selalu bersih dan motor terlihat seperti keadaan baru lagi

4. KESIMPULAN

1. Cara memperbaiki *busbar* yang terputus adalah dengan melakukan pengujian terlebih dahulu dengan *growler* agar *busbar* dapat diketahui terputus atau tidak. Kemudian dilakukan peleburan *busbar* aluminium menggunakan zat kimia natrium hidroksida (NaOH) untuk mengeluarkan bahan aluminium dan kemudian mengelas *busbar* tembaga.
2. Setelah penggantian *busbar* tembaga terbukti ketahanan dari rotor karena temperatur yang lebih tinggi lebih baik, perputaran rotor maksimal dan stabil, serta tidak berubah cara kerjanya karena nilai reaktansi rotor tetap dan resistansi rotor tembaga lebih kecil $\frac{2}{3}$ dari resistansi aluminium dan efisiensi motor sepenuhnya di pengaruhi oleh beban.
3. Setelah penggantian *busbar* tembaga didapatkan hasil pengujian sesuai dengan standar nilai baik untuk pengujian *megger* nilai P.I (Indeks Polarisasi) melebihi 2,0. Nilai hasil pengujian ampere dari R-S, R-T dan S-T tidak melebihi 5%, nilai hasil pengujian getaran tidak melebihi 2,8 mm/s, dan nilai hasil pengujian surge menunjukkan grafik standar yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Velazquez – Gonzales Felipe de Jesús; Aguilar-Justo Marving Omar. (2013). “Characterizing the Squirrel Cage Induction Motor.” *International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering*. [On-line]. Tersedia di: www.ieeexplore.ieee.org.
- [2] A. Paul. (1987, Okt.). “Electrical properties of flying machines”. *Flying Machines*. [On-line]. 38(1), hlm. 778-998. Tersedia di: www.flyingmachjourn/properties/fly.edu [1 Des 2003].

- [3] Jongbin Park, Byunghwan Kim, Jinkyu Yang, Sang Bin Lee, Ernesto J. Wiedenbrug, Mike Teska dan Seungoh Han. (2010). "Evaluation of the Detectability of Broken Rotor Bars for Double Squirrel Cage Ror Induction motors." *2010 IEEE Energy Confersion Congress and Exposition (ECCE)*. [On-line]. Tersedia di: www.ieeexplore.ieee.
- [4] I. Daut, K. Anayet, N. Gomesh, M. Asri, Y.M.Irwan (2009). "Comparison of Copper Rotor Bars with Aluminium Rotor Bars using FEM software – A Performance Evaluation." *Second International Conference on Computer and Electrical Engineering*. [On-line]. Tersedia di: www.ieeexplore.ieee.org.
- [5] Electrical Apparatus Service Association, "Recommended Practice for The Repair of Rotating Electrical Apparatus." Amerika Serikat. EASA AR 100 2006. Tersedia di: www.ieeexplore.ieee.org.
- [6] Ramli Adi Putra. "Analisis Kerja Mesin Induksi 3 Fase Pasca Penggantian Busbar Rotor Sangkar Tupai Dari Batang Aluminium Menjadi Batang Tembaga." Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, 2015.
- [7] Resnick Halliday & Walker, *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [8] Hayri Arabaci, Osman Bilgin. (2010). "Effects of Rotor Faults in Squirrel-Cage Induction Motors on The Torque-Speed Curve." *XIX International Conference on Electrical Machines ICEM, Rome*. [On-line] Tersedia di: www.ieeexplore.ieee.org.
- [9] Abdul Kadir. *Mesin Induksi*. Jakarta: Djambatan, 2003.
- [10] Theraja Arun. *Electrical Technology*. New Delhi, Ram Nagar, 1984.
- [11] Electrical Rotating Machinery's Assesment. [Online]. Tersedia di: (<http://123.125.114.20/view/0b69ea21915f804d2b16c11b0.html>, [28 Oktober 2015:15.00 WIB]).