

PERBAIKAN MOTOR INDUKSI 2380 kW DI PT.PINDAD (PERSERO)

Nanda Tri Amalia⁽¹⁾, Drs. Teguh Harijono Mulud, M.T.⁽²⁾, Budhi Prasetyo, S.T., M.T.⁽³⁾

^{1,2,3,4}Mahasiswa dan ^{5,6}Dosen Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50275, PO BOX 6199 / SMS

Telp. (024) 7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396

Abstrak

Perbaikan motor induksi 2380 kW di PT.PINDAD (Persero) yaitu dilakukannya uji kinerja motor induksi sebelum dan sesudah proses rewinding dan mencatat hasil pengujian. Proses rewinding bertujuan agar kondisi dan kinerja motor induksi kembali seperti semula. Proses dilanjutkan pada tahap pengujian untuk menentukan kemampuan motor induksi. Langkah Tugas Akhir yaitu melakukan pengamatan dan wawancara dengan pembimbing di PT.PINDAD (Persero). Proses rewinding meliputi proses pembuatan coil, isolasi awal, hot press, forming coil, tes awal (impulse), isolasi akhir, tes tegangan tinggi DC, proses inserting, proses penyambungan, boring field test, proses Vacuum Pressure Impregnating, proses pengeringan, tes tegangan tinggi AC, proses perakitan, dan final test. Pengujian tahap akhir meliputi pengujian keadaan diam, pengujian tanpa beban, pengujian getaran, pengujian ketahanan panas. Setelah dianalisa hasil pengujian pada U-body 2340 M Ω , V-body 6220 M Ω dan W-body 2950 M Ω sedangkan standar nilai tahanan isolasi adalah 100 M Ω , pengujian tanpa beban didapat 68A per-fasa, nilai getaran dibawah 1 mm/s sedangkan standar nilai getaran minimum 2,8 mm/s, dan pada pengujian ketahanan panas tidak terdapat permasalahan suhu. Pengujian dinyatakan telah berhasil karena sudah memenuhi standar.

Kata kunci : Proses rewinding, Pengujian tahap akhir, dan Analisa.

PENDAHULUAN

Mesin-mesin listrik menempati peranan penting dalam sebuah industri atau pabrik, karena dengan mesin-mesin listrik ini dapat memudahkan pelaksanaan produksi dan waktu yang digunakan dalam proses industri menjadi lebih singkat. Adapun mesin listrik itu seperti motor induksi yang prinsip kerjanya dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi gerak (mekanis), yang mana bekerja secara terus menerus di dalam proses di suatu industri tentunya akan mengalami penurunan efisiensi bahkan tidak jarang mengalami kerusakan.

Kerusakan pada motor induksi tersebut umumnya dapat disebabkan oleh tiga faktor yaitu faktor lingkungan (*environmental*), mekanikal, dan elektrikal. Khusus kerusakan dari segi elektrikal sebagian besar terletak pada lilitan (*winding*). Dimana pada lilitan tersebut bila suatu motor yang kelebihan beban (*overload*) dan dioperasikan terus menerus akan menyebabkan lilitan tersebut terbakar,

dengan kondisi demikian maka diharuskan mengganti lilitan yang baru.

Proses *rewinding* dilakukan agar kondisi dan kinerja motor kembali pada kondisi semula. Setelah proses *rewinding* dilanjutkan pada tahap pengujian akhir motor. Dalam tahapan akhir ini, pengujian dilakukan untuk menentukan kemampuan motor tersebut apakah sudah sesuai dengan tujuan yang diinginkan atau belum sesuai. Pengujian akan dilakukan apabila motor telah selesai dirakit dan dipasang seluruh komponennya.

KAJIAN PUSTAKA

Mesin listrik digunakan untuk mengubah suatu energi ke energi yang lain. Misalnya mesin yang mengubah energi mekanis ke energi listrik disebut generator, mesin yang mengubah energi listrik ke energi mekanis disebut motor listrik. (Santoso Setyo Budi, 13:2005)

Sumber daya motor arus bolak – balik (AC) dibedakan menjadi dua jenis yaitu motor

sinkron dan motor induksi. Motor induksi merupakan motor listrik AC yang bekerja berdasarkan induksi medan magnet. Motor induksi dapat dikualifikasikan menjadi dua kelompok utama sebagai berikut :

- Motor induksi satu fasa. Motor tersebut hanya memiliki satu gulungan stator yang beroperasi dengan pasokan daya satu fasa. Memiliki gulungan rotor dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Motor ini biasanya digunakan pada peralatan rumah tangga, seperti halnya mesin cuci, kipas angin dan pengereng pakaian.
- Motor induksi tiga fasa. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, memiliki gulungan rotor dan penyalaan sendiri. Sekitar 70% industri menggunakan motor tersebut. (elektronika-dasar.web.id)

Motor induksi tiga fasa adalah jenis motor yang paling umum dijumpai dan digunakan di industri. Karena motor ini mempunyai konstruksi sederhana, kuat, harganya relatif murah dan mudah pemeliharaannya. (Wildi, 2002).

Motor induksi adalah salah satu jenis dari motor - motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik. Motor induksi memiliki sebuah sumber energi listrik yaitu disisi stator, sedangkan sistem kelistrikan disisi rotornya yang diinduksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnetik. Motor induksi pada umumnya beroperasi di bawah kecepatan motor sinkron, karenanya sering juga disebut motor asinkron atau motor tak serempak. Kecepatannya akan berkurang dengan penambahan beban. Kebanyakan motor

induksi tiga fasa akan memiliki kecepatan kira – kira 2% sampai 7% di bawah kecepatan sinkron. (Abdul Kadir 10-11:1999)

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor listrik terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang berputar). Motor AC dikenal dengan motor induksi karena arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Dilihat dari kesederhanaanya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri.

Inti besi stator terbuat dari lapisan (*email*) baja silikon yang tebalnya 0,35 – 0,5 mm, tersusun rapi, masing-masing terisolasi secara elektrik dan diikat pada ujung-ujungnya. Celah udara antara stator dan rotor pada motor yang kecil adalah 0,25 – 0,75 mm sedangkan pada motor yang besar sampai 10 mm, tergantung pada daya motor bersangkutan. (Hubert, 2005).

Faraday menyatakan karena adanya lilitan pada rotor, maka dapat menyebabkan timbulnya GGL induksi pada percobaan Faraday. Percobaan tersebut dikenal Hukum Faraday, berikut adalah bunyi Hukum Faraday:

1. Jika sebuah penghantar memotong garis – garis gaya dari suatu medan magnetik (*fluks*)

yang konstan, maka pada penghantar tersebut akan timbul tegangan induksi.

2. Perubahan *fluks* medan magnetik di dalam suatu rangkaian bahan penghantar, akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut.

Berikut adalah langkah – langkah percobaan Faraday:

- Ketika magnet digerakkan (keluar – masuk) dalam kumparan, jarum pada galvanometer akan menyimpang. Ketika magnet tidak digerakkan (berhenti) dalam kumparan, jarum pada galvanometer tidak menyimpang (menunjukkan angka nol).
- Penyimpangan jarum galvanometer ini menunjukkan bahwa di dalam kumparan mengalir arus listrik yang biasa disebut arus induksi.
- Arus listrik timbul karena adanya perubahan jumlah garis gaya magnet, yang mengakibatkan pada ujung – ujung kumparan timbul beda potensial. Beda potensial ini disebut gaya gerak listrik induksi (GGL induksi).

Hal tersebut dibuktikan dengan persamaan GGL induksi (ϵ_{ind}) yang memenuhi syarat Hukum Faraday:

$$\epsilon_{ind} = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.1.)}$$

Keterangan :

N :Jumlah lilitan (Buah)

$\Delta\phi/\Delta t$: Laju perubahan *fluks* magnetik (Wb/s)

Tanda negatif pada rumus sesuai dengan Hukum Lenz, yaitu “GGL induksi selalu membangkitkan arus yang medan magnetiknya berlawanan dengan sumber perubahan *fluks* magnetik”. Weber = volt .detik atau (ϕ) = 1 volt.detik = 1 Wb

Persamaan *fluks* magnetik (ϕ) adalah:

$$\phi = B.A \text{ Cos } \theta \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.2.)}$$

Keterangan :

ϕ : *Fluks* magnetik

B : Medan magnetik

A : Luas penampang (Meter persegi)

θ : Sudut antara arah medan magnetik (B) dengan arah normal bidang (n)

Lilitan rotor motor induksi biasanya dihubung singkat untuk rotor sangkar, maka pada rotor tersebut akan mengalir arus yang cukup tinggi yaitu arus *starting*. Putaran rotor selalu mempunyai arus yang sama dengan arah putaran medan magnet stator.

Putaran rotor lebih rendah dari putaran medan statornya. Selisih antara putaran rotor dengan jumlah medan statornya disebut slip (S). Apabila dua belitan pada masing-masing fasa dililitkan dalam arah yang sama sepanjang waktu, medan magnet yang dihasilkan oleh setiap fasa akan tergantung pada arus yang mengalir melalui fasa tersebut. Jika arus listrik yang melalui fasa tersebut nol, maka medan magnet yang dihasilkan akan nol pula. Jika arus listrik yang mengalir dengan harga maksimum, maka medan magnet berada pada harga maksimum pula. Karena arus yang mengalir pada sistem tiga fasa mempunyai perbedaan 120°, maka medan magnet yang dihasilkan juga akan mempunyai perbedaan sudut sebesar 120° pula. Kecepatan medan putar dari suatu SLIP = $\{(n_s - n_r)/n_s\} \times 100\%$..Persamaan (2.3.)

Keterangan :

n_s : Kecepatan sinkron (rpm)

n_r : Kecepatan rotor (rpm)

Atau menggunakan persamaan:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.4.)}$$

Keterangan :

f : Frekuensi motor (Hz)

p : Jumlah kutub (Buah)

Prinsip kerja motor induksi atau terjadinya putaran pada motor, bisa dijelaskan sebagai berikut:

- Bila kumparan stator diberi suplai tegangan tiga fasa, maka akan terjadi medan putar dengan kecepatan $n_s = \frac{120 \cdot f}{p}$
- Medan putar stator tersebut akan mengimbas penghantar yang ada pada rotor, sehingga pada rotor timbul tegangan induksi.
- Tegangan yang terjadi pada rotor menyebabkan timbulnya arus pada penghantar rotor.
- Selanjutnya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
- Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk menanggung kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- Supaya timbul tegangan induksi pada rotor, maka harus ada perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan putar rotor (n_r). Perbedaan kecepatan antara n_r dengan n_s disebut Slip (S), dan dinyatakan Tidak terjadi kopel apabila $n_r = n_s$ tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor. Kopel pada motor akan terjadi bila n_r lebih kecil dari n_s . Medan putar yang terjadi pada stator ini akan memotong penghantar yang ada pada

bagian rotor. Sehingga terinduksi arus dan sesuai dengan Hukum Lentz, sehingga rotor akan berputar mengikuti putaran medan stator. Perbedaan kecepatan medan putar stator dengan putaran rotor biasa disebut slip. Apabila terjadi penambahan beban, maka akan mengakibatkan naiknya kopel motor dan selanjutnya akan memperbesar arus induksi pada bagian rotor. Frekuensi rotor saat motor belum berputar nilainya akan sama dengan frekuensi yang terjadi pada belitan stator, dan apabila sudah beputar frekuensi rotornya akan sebanding dengan perubahan slip yang terjadi pada motor tersebut.

METODE PELAKSANAAN

Proses *rewinding* yaitu dilakukannya penggantian lilitan dan penggantian bantalan (*bearing*), prosesnya dimulai dari *incoming test* lanjut ke tahap pembongkaran dan penggantian belitan motor. Setelah proses *rewinding* dilanjutkan pada tahap pengujian akhir motor sebelum dikembalikan kepada konsumen untuk meyakinkan bahwa motor sudah layak beroperasi. Pengujian akhir ini adalah tahapan terakhir dari proses setelah motor induksi 3 fasa di *rewinding*. Dalam tahapan akhir ini, pengujian dilakukan untuk menentukan kemampuan motor tersebut apakah sudah sesuai dengan tujuan akan dilakukan apabila motor telah selesai dirakit dan dipasang seluruh komponennya.

Tahap pengujian ini, motor yang telah diuji sesuai dengan tahapan pengujian dan telah memenuhi syarat dari seluruh tahapan pengujian maka motor tersebut dinyatakan lulus tes dan motor siap untuk *dipacking* dan segera dikirim kepada konsumen. Akan tetapi apabila motor gagal dalam tes akhir ini, dalam artian terdapat kegagalan atau kerusakan salah

satu fungsi dan tidak memenuhi standar maka akan dianalisa kembali dari kerusakan yang terjadi dan motor akan dikembalikan untuk diperbaiki apabila tidak motor akan di *reject*. Sebelum dilakukan pengujian mekanis dan elektrik, terdapat berbagai macam tahapan dalam melakukan pengujiannya. Saat proses pengujian diperlukan ketelitian dan harus dilakukan secara urut.

Berikut merupakan kriteria yang dilakukan pada perbaikan motor induksi 2380 kW:

- Membongkar bantalan jalan (*journal bearing*).
- Membongkar kerangka (*chasing*).
- Mencuci kerangka menggunakan *steam cleaning*.
- Membongkar lilitan stator yang akan di *rewinding*.
- Melakukan *balancing* pada rotor.
- Melakukan pengecatan pada kerangka (*chasing/body*).
- Kemudian merakit kembali motor induksi apabila semua tahapan sudah selesai.

Proses ini merupakan pengujian kelistrikan pada motor induksi setelah di *rewinding*. Sebelum melakukan pengujian terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Memeriksa kembali kelengkapan motor.
2. Memeriksa *name plate* yang akan ditest.
3. Kondisi dari dudukan motor lengkap.
4. Kondisi sistem sambungan terminal.
5. Tegangan sumber harus sesuai dengan tegangan motor yang akan diuji dan pastikan sumber untuk pengujian benar-benar tiga fasa.
6. Periksa kembali alat ukur agar dapat berfungsi dengan baik ketika melakukan pengujian dan tentunya sudah dikalibrasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil inspeksi dari perbaikan yang telah dilakukan pada motor induksi 2380 kW di PT.PINDAD (Persero), maka didapatkan beberapa permasalahan yang terjadi akibat adanya beberapa faktor. Hal tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen - komponen motor induksi baik jangka pendek maupun jangka panjang, bahkan dapat mengakibatkan kecelakaan kerja apabila tidak segera dilakukan perbaikan.

Kerusakan tersebut umumnya dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu faktor lingkungan (*environmental*), mekanikal, dan elektrik. Maka dari itu perlu untuk dilakukannya perbaikan pada motor induksi agar performa tetap terjaga dan dapat memperbaiki kinerja motor tersebut seperti semula. Berikut merupakan langkah yang dilakukan pada perbaikan motor induksi 2380 kW:

1. Membongkar bantalan jalan (*journal bearing*).
2. Membongkar kerangka (*chasing*).
3. Mencuci kerangka menggunakan *steam cleaning*.
4. Melakukan *balancing* pada rotor.
5. Melakukan pengecatan pada kerangka (*chasing/body*).
6. Kemudian merakit kembali motor induksi apabila semua tahapan sudah selesai.

Hasil dari perbaikan yang telah dilakukan pada motor induksi terdapat beberapa permasalahan, seperti:

- Kerusakan pada *coil winding* stator. Hal tersebut merupakan kerusakan dari segi elektrik yang sebagian besar terletak pada lilitan (*winding*). Karena motor yang kelebihan beban (*over load*) dan dioperasikan secara terus menerus dapat menyebabkan lilitan tersebut terbakar,

dengan kondisi demikian maka diharuskan mengganti lilitan yang baru yaitu dengan dilakukannya proses *rewinding* pada stator motor induksi 2380 kW.

- Terdapat cacat pada bantalan jalan (*journalbearing*). Hal tersebut terjadi karena jika pada awal mesin dihidupkan langsung berputaran tinggi dan poros masih bertumpu pada bantalan, maka poros akan bergesekkan langsung dengan bantalan. Maka solusi dari permasalahan pada bantalantersebut yaitu dengan dilakukannya *rebabbit* pada bantalan. *Rebabbit* merupakan proses pelapisan ulang pada dinding bagian dalam bantalandengan menggunakan paduan timah hitam (*Pb-base*) atau paduan timah putih (*Sn-base*) yang disebut sebagai logam "*babbit*". Logam *babbit* tersebut harus melekat dengan kuat pada rangka bantalan.

Data hasil pengujian tahap akhir motor induksi 3 fasa setelah proses *rewinding* adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Keadaan Diam (*Static Test*)

Dari data yang sudah didapat pada hasil; *static test* yaitu besarnya nilai tahanan isolasi pada fasa U-body 2340 MΩ, V-body 6220 MΩ dan W-body 2950 MΩ pada tegangan uji 2500 VDC. Besarnya *polarization index* (IP) adalah 2,3. Karena berdasarkan ketentuan IEEE 43-2000 nilai tahanan isolasi minimum 100 MΩ begitu pula dengan nilai *polarization index*-nya yang sudah memenuhi standar IEEE 43-2000 minimum sebesar 2,0. Dapat disimpulkan bahwa nilai tahanan isolasinya sudah memenuhi standar.

2. Pengujian Tanpa Beban (*No Load Test*)

Dari data pengujian diatas dapat dilihat besarnya frekuensi sebesar 50 Hz, besarnya tegangan *line to line* 3300 V dan arus per-fasa 68 A menandakan bahwa semua yang tertera pada *name plate* sudah sesuai dengan hasil pengujian.

3. Pengujian Getaran (*Vibration Test*)

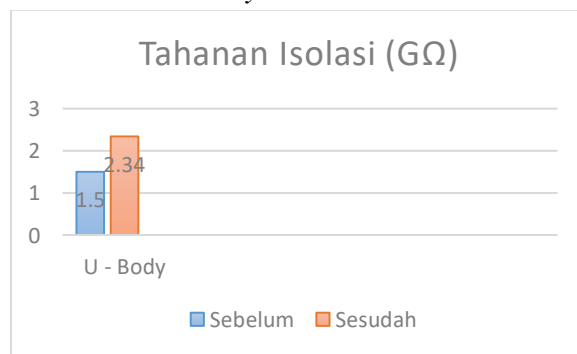
Dari data hasil pengujian diatas besarnya getaran pada kondisi *horizontal*, *vertikal*, dan *axial* berada pada nilai dibawah 1 mm/s, berdasarkan ISO 10861-3-1989 penjelasan terdapat pada sub bab (3.4.2.3) bahwa minimum nilai getaran pada motor dengan *rating* daya 300 kW < p < 50 MW adalah 2,8 mm/s. Maka dengan ini menandakan bahwa uji getaran telah berhasil karena nilai vibrasi pada motor sebesar rata-rata dibawah 1 mm/s.

. Pengujian Ketahanan Panas (*Heat Run Test*)

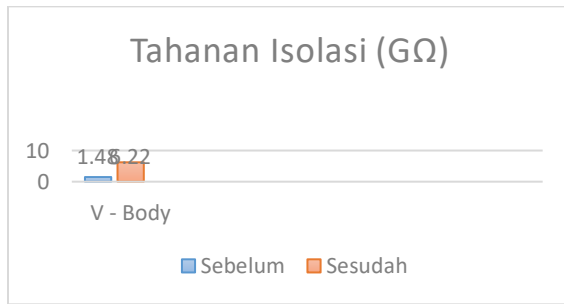
Dari data hasil pengujian ketahanan panas selama 60 menit dapat kita ketahui temperatur bantalan disetiap interval waktu tidak terdapat permasalahan suhu yang sangat ekstrim baik pada sisi bantalan maupun dari temperatur *winding*.

Berikut merupakan grafik perbandingan dari nilai tahanan isolasi (*insulation resistance*) baik sebelum dan setelah dilakukannya proses *rewinding*.

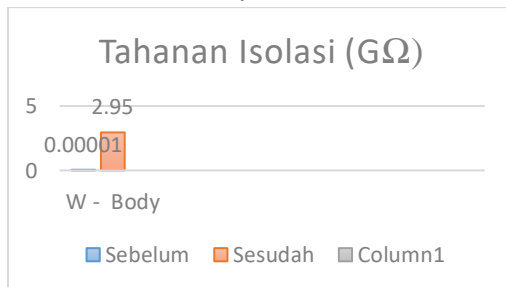
1. Grafik U – Body



2. Grafik V – Body



3. Grafik W – Body



KESIMPULAN

Hasil perbaikan pada motor induksi 2380 kW yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Ada kerusakan pada *coil winding* stator dikarenakan motor mengalami kelebihan beban (*over load*) dan dioperasikan secara terus menerus hingga menyebabkan lilitan tersebut terbakar. Maka solusi dari permasalahan tersebut yaitu dengan melakukan proses *rewinding*.
2. Ada cacat pada bantalan jalan karena poros bergesekan langsung dengan bantalan. Hal tersebut dikarenakan pada saat *starting*, mesin langsung berputaran tinggi dan poros masih bertumpu pada bantalan. Maka solusinya yaitu dengan melakukan *rebabbit*.
3. Kemudian hasil dari pengujian tahap akhir motor induksi sudah sesuai dengan standar yang ditentukan.
 - a. Pengujian Keadaan Diam
Standar tahanan isolasi minimum yaitu 100 MΩ sedangkan hasil tahanan

isolasi pada U-body 2340 MΩ, V-body 6220 MΩ dan W-body 2950MΩ.

b. Pengujian Tanpa Beban

Dari hasil pengukuran didapatkan nilai arus per-fasa 68 A, menandakan bahwa nilai tersebut sudah sesuai pada *name plate*.

c. Pengujian Getaran

Standar untuk nilai getaran pada motor yaitu 2,8 mm/s sedangkan hasil dari nilai getaran pada motor bernilai dibawah 1 mm/s.

d. Pengujian Ketahanan Panas

Pada pengujian ketahanan panas selama 60 menit tidak terdapat permasalahan suhu yang sangat ekstrim.

Hasil dari proses perbaikan tersebut dinyatakan sudah berhasil dan barang siap untuk dikirim kembali pada konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- Achyanto, Ir. Djoko. 1997. *Mesin – mesin Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Charles, Hubert I. 2005. *Electrical Machines, Theory, Operations, Applications, Adjustment and Control*. New Jersey : Uper Saddle River
- IEEE standar 43-2000. 2000. *Recommended minimum insulation resistance values at 40°C*. 05 Juni 2017 (jurnal)
- Kadir, Abdul. 1999. *Mesin Sinkron*. Jakarta : Djambatan.
- Santoso, Setyo Budi. 2005. *Motor Listrik*. Jakarta : Gramedia.
- Tim elektronika dasar. 2012. *Motor Induksi*. <http://elektronikadasar.web.id>. 02 Mei2017 (internet)
- Vonroll. 2014. *Elektrische Hochspannungsantriebe*. www.vonroll.com/de/produkte.