

DESAIN DAN IMPLEMENTASI ALAT PENGUJI KUALITAS INTI STATOR BERBASIS KOMPUTER UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PERKULIAHAN, HASIL PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN MEMBELIT MOTOR LISTRIK

Joko, Supari Muslim

Fakultas Teknik Unesa, unesa.joko@yahoo.com

Abstrak

Belum tersedianya alat pengujian inti stator di pasaran menyebabkan tidak dilakukannya pengujian kualitas inti stator, baik pada perkuliahan maupun pada industri atau jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik. Akibatnya kualitas inti stator tidak diketahui, sehingga kualitas hasil perkuliahan dan kinerja produknya tidak maksimum. Pendekatan yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan (*riset and development*). Hasil penelitian menunjukkan: (1) alat pengujian inti stator mesin listrik berbasis komputer yang dihasilkan dapat membedakan inti stator rusak atau baik dan keputusannya ditampilkan di monitor komputer; (2) implementasi alat yang dihasilkan pada perkuliahan perencanaan-perbaikan mesin listrik, tingkat kelulusan mahasiswa 87,50% dengan nilai rerata 79,68 melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan. Kinerja produk hasil mahasiswa memiliki efisiensi minimum 75,97%, suhu maksimum 55,75°C, dan slip maksimum 6,38%, juga melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan; dan (3) implementasi alat pengujian inti stator di industri perencanaan-perbaikan mesin listrik, kinerja hasil produknya memiliki efisiensi 76,81%, suhu maksimum 58,00°C, slip maksimum 5,30%, dan garansi 12 bulan, juga melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan dan hanya *life-time* sama dengan masa garansi. Pihak industri juga bersedia mengimplementasikan alat pengujian inti stator pada proses produksi selanjutnya. Kesimpulan, alat pengujian inti stator berbasis komputer yang dihasilkan dapat membedakan kualitas inti stator dan keputusan rusak atau baik ditunjukkan di monitor komputer; dapat meningkatkan kualitas hasil perkuliahan; dan dapat meningkatkan kinerja produk yang dihasilkan mahasiswa dan pihak industri perencanaan-perbaikan mesin listrik.

Kata kunci: Desain dan implementasi, alat pengujian inti stator, berbasis komputer, peningkatan, hasil kuliah, dan kinerja produk.

Abstract

Lack of stator core testers on the market did not cause the stator core quality testing, both in lectures and in the industrial or service-improvement planning electric machine. As a result the quality of the stator core is unknown, so the quality of the lectures and the performance of their products is not the maximum. The approach used is a research and development (research and development). The results showed: (1) prober-based electrical machine stator core computer generated to distinguish the damaged stator core or both and the decision is displayed on a computer monitor; (2) implementation tools produced at the lecture plan-repair electrical machinery, 87.50% student graduation rate, with a mean value of 79.68% exceeds the specified indicators of success. Product performance results of students have a minimum efficiency of 75.97%, the maximum temperature of 55.75°C, and maximum slip is 6.38%, well beyond the specified indicator of success; and (3) implementation of the stator core testers in planning industrial-electrical machinery repair, performance of the product has an efficiency of 76.81%, 58.00°C maximum temperature, maximum slip is 5.30%, and the warranty of 12 months, well beyond the specified indicators of success and life-time just the same as the warranty period. The industry is also willing to implement the stator core testers in the production process further. Conclusion, prober-based stator core computer generated to distinguish the quality of the stator core and a decision either damaged or shown on a computer monitor; to improve the quality of the lectures, and to improve the performance of the products of students and party-planning industry repair electrical machines.

Keywords: Design and implementation, stator core testers, computer-based, improvement, results of college, and product performance.

1. Pendahuluan

Mata kuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik merupakan mata kuliah wajib tempuh di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unesa (JTE FT Unesa) khususnya dan perguruan tinggi lainnya. Kompetensi mengetahui, memahami

dan terampil dalam perencanaan-perbaikan mesin listrik dibutuhkan di lapangan kerja, baik di bidang pendidikan teknik, pelatihan, dan industri atau jasa, maupun bekal berwirausaha.

Pelaksanaan kuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik sudah memiliki standar operasional

dan prosedur, tetapi masih memerlukan alat pengujian inti stator, karena kualitas inti stator berkorelasi dengan kinerja hasil produk perencanaan-perbaikan mesin listrik yang dihasilkan mahasiswa, termasuk kinerja hasil produk perencanaan-perbaikan mesin listrik di industri. Hasil penelitian Joko dan Indrati A. (2005) menunjukkan bahwa, dari 72 industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik di Jawa Timur, belum ada yang menggunakan alat pengujian inti stator dalam proses pekerjaannya. Penelitian sejenis juga dilakukan M. Syarifudin dan Indrati Agustinah (2007). Dari 121 industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik di Jawa Timur, juga masih belum ada yang menggunakan alat pengujian inti stator dalam menyelesaikan pekerjaan.

Hasil perencanaan-perbaikan mesin listrik yang dikerjakan 126 mahasiswa JTE FT Unesa tahun 2002-2005 memiliki efisiensi rerata 61,76%, suhu di atas 66,00°C, slip di atas 10,00%, kelulusan 72,40% dengan nilai rerata 2,58 (Joko, Indrati A., 2005). Sedangkan kinerja produk industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik memiliki efisiensi 72,31%, suhu di atas 60,50°C, slip 7,50%, *life time* 1 tahun, dan garansi 6 bulan (M. Syarifudin, 2007). Padahal dengan efisiensi rendah kerugian listrik besar, dengan suhu tinggi mesin listrik cepat terbakar, dan dengan slip besar kopel mula motor listrik rendah, sehingga tidak mampu mengangkat beban mekanis pada saat *start*. Dari dua hasil penelitian menunjukkan pentingnya pengujian kualitas inti stator sebelum dilakukan perencanaan-perbaikan mesin listrik. Faktor penyebab tidak dilakukannya pengujian inti stator karena alat tersebut belum tersedia di pasaran.

Penelitian yang dilakukan Joko dan Indrati A. (2005) tentang desain dan implementasi alat pengujian inti stator motor listrik 3 fasa, menghasilkan alat pengujian inti stator yang dapat membedakan inti stator rusak atau baik, tetapi sensor suhunya analog sehingga hasilnya tidak presisi. Kelemahan hasil penelitian tersebut diperbaiki melalui penelitian yang dilakukan M. Syaifudin dan Indrati A. (2007), dengan mengganti sensor analog dengan sensor digital yang diimplementasikan untuk menguji inti stator motor induksi 1 fasa. Hasilnya lebih presisi, tetapi belum dapat secara tepat dan cepat menentukan bagian inti stator yang rusak. Kelemahan lainnya dari kedua hasil penelitian tersebut adalah keputusan inti stator rusak

atau baik tidak ditampilkan secara langsung pada monitor komputer tetapi harus dihitung dahulu.

Berdasarkan beberapa uraian di atas, perlu upaya perbaikan alat pengujian inti stator, pada sistem sensor suhu dan keputusan rusak atau baik dan lokasi kerusakan inti stator dengan cepat dapat diketahui dan ditampilkan pada monitor komputer. Penelitian ini ingin menjawab masalah: bagaimana langkah mendesain dan mengimplementasikan alat pengujian inti stator berbasis komputer yang dapat membedakan kualitas inti stator rusak atau baik?; apakah alat pengujian inti stator dapat diimplementasikan pada mata kuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik dalam meningkatkan persentase kelulusan dan nilai rerata, dapat meningkatkan kinerja hasil produk pekerjaan mahasiswa dilihat dari besar efisiensi, suhu, dan slip motor listrik; dan apakah alat yang dihasilkan layak diimplementasikan di industri atau usaha perencanaan-perbaikan mesin listrik.

Tujuan penelitian ini adalah mendesain dan mengimplementasikan alat pengujian inti stator mesin listrik berbasis komputer yang dapat membedakan inti stator rusak atau baik, dapat diimplementasikan pada perkuliahan dan di industri atau jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik. Sedangkan relevansi atau signifikansi penelitian adalah menghasilkan alat pengujian inti stator berbasis komputer yang dapat menambah peralatan yang dapat digunakan pada mata kuliah, lembaga pelatihan dan industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik. Sedangkan luaran penelitian adalah menghasilkan teknologi tepat guna berupa alat pengujian kualitas inti stator mesin listrik berbasis komputer yang dapat bermanfaat dalam meningkatkan kualitas perkuliahan, pelatihan dan kinerja hasil produk perencanaan-perbaikan mesin listrik.

2. Tinjauan Pustaka

Kerusakan inti stator

Kerusakan motor listrik secara umum ada 2 bagian, yaitu: kerusakan mekanis dan kerusakan sistem kelistrikan. Kerusakan mekanis, misalnya as retak, poros aus, *bearing* pecah, dan lainnya, yang memiliki tingkat kesulitan dalam perbaikannya rendah dengan melapisi dan atau mengganti. Kerusakan sistem kelistrikan, misalnya kerusakan inti stator, sistem sambungan dan lainnya. Kerusakan inti stator tingkat kesulitan dalam perbaikannya relatif lebih sulit karena sering tidak tampak. Menurut

Suparno (2002), kerusakan sistem kelistrikan pada motor listrik 3 phasa antara lain kerusakan pada sistem sambungan, lilitan terbakar dan kerusakan pada inti stator. Kerusakan inti stator dapat disebabkan karena inti stator berkarat, sehingga lapisan isolasi antar laminasi tidak berfungsi, motor listrik terbakar dalam waktu lama dan inti stator leleh akibat hubung singkat.

Inti stator dibentuk dari beberapa lembaran inti atau laminasi dan antara lapisan satu dengan lainnya diberi isolasi. Lembaran intimenurut Wilkinson K. (1996) memiliki ketebalan 0,014-0,019 inch. Sebelum melakukan pemasangan lembaran inti menjadi inti stator, lembaran-lembaran diberi isolasi dari campuran *varnish* dan *xylene* dengan perbandingan 10%-30% *xylene* untuk setiap 200 liter *varnish*. Isolasi dapat rusak karena suhu berlebihan sehingga inti stator rusak. Untuk dapat mengetahui kerusakan inti stator harus dilakukan pengujian inti stator.

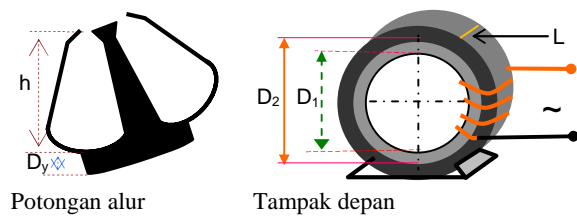
Pengujian inti stator merupakan proses pengujian suhu pada inti stator akibat arus pusing. Pengujian dilaksanakan ±30 menit untuk mengetahui rusak atau tidaknya inti stator. Menurut Joko dan Indrati A. (2005), inti stator dinyatakan baik, jika pada saat pengujian suhu pada setiap permukaannya merata. Rentang perbedaan suhu antar permukaan inti stator yang baik 10^0C dan jika >math>10^0\text{C}</math> inti stator rusak. Rentang suhu pada pengujian 28⁰C-55⁰C, dan jika >math>55^0\text{C}</math> walaupun selisih suhu >math>10^0\text{C}</math> inti stator juga dinyatakan rusak. Setelah diputuskan inti stator rusak, selanjutnya dilakukan proses perbaikan (*restacking*) inti stator.

Perbaikan (*restacking*) Inti Stator

Perbaikan atau *restacking* adalah proses perbaikan inti stator dengan tujuan menghilangkan *short* pada inti stator. Langkah melakukan *restacking* menurut R. Hakim (2006) adalah: *cleaning* inti stator, melepas inti stator dari rumah stator, pemisahan lembaran inti stator, *cleaning* lembaran inti stator, pemberian *varnish*, penyusunan kembali laminasi inti stator, pengepresan inti stator, pengujian inti stator, dan pemasangan inti stator pada rumah stator.

Desain dan Pembuatan Alat Penguji Inti Stator

Dalam mendesain alat penguji inti stator, diperlukan data inti stator untuk menghitung jumlah kumparan dan besar arus yang dialirkan ke inti stator. Data inti stator yang diperlukan ditunjukkan pada Gambar 1 dan datanya ditunjukkan Tabel 1.



Gambar 1. Data stator

Keterangan

- D_1 = diameter dalam inti stator (mm)
- D_2 = diameter luar inti stator (mm)
- L = panjang inti stator (mm)
- h = kedalaman alur (mm)
- N = jumlah kumparan stator
- D_y = tebal gandar inti stator (mm)
- f = frekuensi (Hz)
- V = tegangan input variabel (V)

Tabel 1. Data inti stator motor listrik

No	Bagian	Simbol	Ukuran (mm)
1	Panjang inti stator	L	66,20
2	Diameter luar inti stator	D_2	144,30
3	Diameter dalam inti stator	D_1	85,25
4	Dalam slot (alur)	h	17,20
5	Tebal gandar inti stator	B	11,20

Sumber: Joko, Indrati A. (2005)

Rumus pendekatan untuk membuat alat penguji inti stator sebagai berikut: Diameter luar inti stator dapat ditentukan menggunakan rumus:

$$D_2 = D_1 + 2(h + D_y) \quad (1)$$

Berat inti stator (C_w) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C_w = \frac{D_1 \cdot L \cdot D_y}{43.281} \text{ kg} \quad (2)$$

Jumlah lilitan kabel yang dipasang pada inti stator dihitung menggunakan rumus:

$$N = \frac{180.000 \times V_s}{f \cdot L \cdot D_y} \quad (3)$$

V_s adalah tegangan listrik pada saat pengujian inti stator. Besar penampang kabel bergantung besar arus listrik, dihitung menggunakan rumus:

$$I = 1,1 \times \frac{D_2}{N} \text{ Amper} \quad (4)$$

Pada saat pengujian inti stator menggunakan daya listrik 1 phasa, sehingga besar daya listrik yang digunakan ditentukan dengan rumus:

$$P = V_s \cdot I \cdot \cos \phi \quad (5)$$

Dari beberapa perhitungan, maka untuk memperoleh besarnya daya pada saat pengujian inti stator dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Watt/kg} = \frac{V_s \times I_x \cos \phi}{C_w} \quad (6)$$

Agar hasilnya maksimum, perbandingan besar daya dan berat inti stator antara 7-11 dan jika >11, maka pada saat pengujian inti stator cepat panas dan jika <7 tidak efisien karena lama panasnya.

Penampang kabel berisolasi (NGA) yang digunakan sesuai besar arus yang dialirkan dan jumlah lilitannya bergantung besar tegangannya. Penampang kabel untuk menguji inti stator sesuai Gambar 1, adalah 1,5mm² karena sudah mampu dilewati arus maksimum yang diijinkan. Data stator, tegangan input, frekuensi, jumlah lilitan dan besar arus yang dialirkan ke inti stator pada saat pengujian ditunjukkan Tabel 2. Sedangkan jumlah alat dan spesifikasi alat penguji inti stator manual ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Data dan besaran saat pengujian

Sumber: Joko, Indrati A. (2005)

Tabel 3. Jumlah alat dan spesifikasi

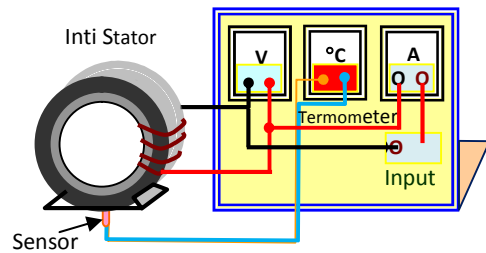
No	Jenis Bahan	Spesifikasi	Satuan	Jumlah
1	Voltmeter AC	0-50 V	buah	1
2	Amperemeter AC	0-15 A	buah	1
3	Sensor suhu	0-200°C	buah	1

Sumber: Joko, Indrati A. (2005)

Berdasar Tabel 3, alasan pengembangan, dan yang ada di pasaran, dipilih batas ukur amperemeter 0-15A, voltmeter 0-50VAC dan sensor suhu 0-200°C dengan alasan kemungkinan terjadi suhu tidak normal pada saat pengujian.

Langkah Pengujian Inti Stator

Langkah pengujian inti stator: (1) menyiapkan inti stator dan datanya; (2) menyiapkan alat dan bahan; (3) melakukan pengujian 15-30 menit. Jika inti stator baik, suhu merata dan selisih suhu antar permukaan <10°C. Jika sebelum 30 menit suhu permukaan ada yang >55°C inti stator rusak. Jika *short lamination*, suhu permukaan tertinggi dibanding permukaan lain; (4) mengubah jumlah kumparan jika suhu terlalu rendah; (5) selama pengujian dilakukan observasi; dan (6) tidak boleh ada logam menyentuh inti stator. Gambar 2 menunjukkan implementasi alat penguji inti stator analog untuk menguji inti stator.



Gambar 2. Implementasi alat penguji inti stator manual

(Sumber: Joko dan Indrati A. 2005)

3. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan menghasilkan alat penguji inti stator motor listrik berbasis komputer dan merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya. Jenis penelitian termasuk penelitian dan pengembangan (*Riset and Development-R&D*).

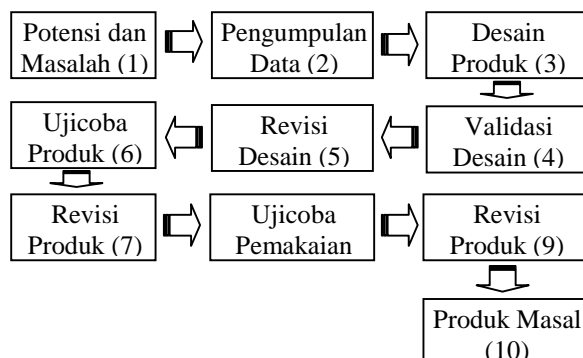
Penelitian dilakukan Maret-November 2010 di bengkel listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik (JTE FT) Unesa Surabaya. Subyek penelitian 16 mahasiswa JTE FT Unesa yang memprogram matakuliah

No	Data Stator			Tegangan Input (V)	Frek. (Hz)	Jumlah Kumparan (N)	Besar Arus (A)
	Panjang Stator (mm)	Diameter Luar (mm)	Tebal Gandar (mm)				
1	66,2	144,3	11,2	12	50	58	2,72
2	66,2	144,3	11,2	10	50	49	3,27
3	66,2	144,3	11,2	8	50	39	4,09
4	66,2	144,3	11,2	6	50	29	5,45

perencanaan-perbaikan mesin listrik.

Langkah-Langkah Penelitian

Langkah penelitian mengadopsi langkah penelitian R&D. Menurut Sugiono (2008), secara bagan langkah-langkahnya ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Langkah-langkah penelitian

1. Potensi dan masalah

Potensinya adalah pentingnya alat pengujian inti stator berbasis komputer yang dapat digunakan di bidang pendidikan, pelatihan dan industri perencanaan-perbaikan mesin listrik dalam meningkatkan kinerja produknya. Permasalahannya, alat pengujian inti stator hasil penelitian sebelumnya kinerjanya belum optimal dan alat tersebut belum tersedia di pasaran.

2. Pengumpulan data

Peneliti mengumpulkan sumber informasi untuk perencanaan desain dan produk. Sumber informasi berupa buku, hasil penelitian relevan, jurnal relevan, *datasheet* bahan dan alat yang ada di pasaran.

3. Desain dan produk

Pada tahap ini membuat desain dan produk alat pengujian inti stator berbasis komputer. Desain dan produk dilengkapi data inti stator yang diuji, spesifikasi alat dan bahan, spesifikasi program dan prinsip kerja alat.

4. Validasi desain dan produk

Dilakukan pihak berkompeten dalam pembuatan program, mikrokontrol, mesin listrik, praktisi lembaga pelatihan, praktisi industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik, dan praktisi desain produk. Validator mengisi lembar validasi dan saran perbaikan di kolom yang disediakan.

5. Perbaikan desain dan produk

Dilakukan berdasarkan masukan dari hasil validasi desain dan produk untuk menyempurnakan hasil desain dan produk yang dibuat.

6. Ujicoba produk

Ujicoba produk dilakukan untuk mengetahui kinerja alat. Apakah dapat membedakan kondisi inti stator rusak atau baik dan mengetahui kinerjanya. Instrumen yang digunakan pedoman pengamatan dan lembar kinerja alat.

7. Revisi produk

Dilakukan berdasarkan masukan pada saat ujicoba produk dan kelemahan-kelemahan alat pada saat ujicoba produk.

8. Ujicoba pemakaian pada pengguna

Dilakukan pada 16 mahasiswa yang memprogram matakuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik. Pada ujicoba disediakan 5 inti stator rusak dan 3 baik. Mahasiswa diberi tugas menguji inti stator untuk mengetahui kinerja alat hasil penelitian. Selanjutnya

mahasiswa memperbaiki stator yang kondisinya rusak, melakukan perencanaan-perbaikan dan membeli ulang mesin listrik untuk mengetahui kinerjanya dan produknya. Ujicoba pemakaian juga dilakukan di industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik atau dinamo. Instrumennya pedoman pengamatan, tanggapan lembar kinerja produk.

9. Revisi produk

Dilakukan berdasarkan hasil ujicoba pemakaian, baik data dari subyek penelitian maupun hasil pengamatan peneliti selama ujicoba pemakaian,

10. Pembuatan produk massal

Dilakukan jika hasil ujicoba pemakaian sudah efektif dan efisien untuk diproduksi massal dan sudah dilakukan revisi produk.

Indikator Keberhasilan

Indikator keberhasilan kinerja alat pengujian inti stator berbasis komputer yang dibuat adalah: (1) alat pengujian inti stator dapat membedakan inti stator rusak atau baik dan keputusan inti stator rusak atau baik ditampilkan di monitor komputer; (2) jika diimplementasikan pada matakuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik, kinerja hasil produk mahasiswa memiliki efisiensi minimum 74,90%, suhu maksimum 57,52°C, slip maksimum 6,50%, dan tingkat kelulusan mahasiswa minimum 84,80% dengan nilai rerata minimum 2,93; (3) pihak industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik bersedia mengimplementasikan alat pengujian inti stator dan kinerja produknya memiliki efisiensi minimum 76,42%, suhu maksimum 58,50°C, slip maksimum 5,50%, *life time* 1,2 tahun, dan garansi minimum 9 bulan.

4. Hasil dan Pembahasan

Dalam membuat desain dan mengimplementasikan alat pengujian inti stator berbasis komputer, langkah-langkah yang dilakukan ada 10, yaitu:

1. Mengidentifikasi potensi dan masalah

Pentingnya alat pengujian inti stator berbasis komputer yang dapat digunakan di bidang pendidikan dan industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik dalam meningkatkan kinerja produknya. Masalahnya, alat pengujian inti stator hasil penelitian sebelumnya sensornya masih analog dan digital, sensor suhu harus dipindah-

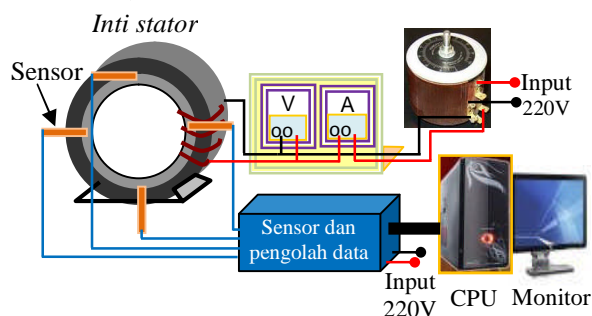
pindah, kinerjanya kurang optimal dan di pasaran belum ada.

2. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data-data untuk menetapkan formula, berupa buku, penelitian relevan, jurnal relevan, data *sheet* bahan dan alat.

3. Membuat desain dan produk

Desain dan produk yang dibuat adalah alat pengujian inti stator berbasis komputer dengan spesifikasi: (a) Inti stator yang diuji memiliki daya 1-5 PK; (b) Kabel untuk kumparan jenis kabel NGA penampang 1,5mm²; (c) Sensor suhu memiliki kemampuan 0-200°C; (d) Spesifikasi program yang digunakan: *This program was produced by the, Code Wizard AVR V2039 Standard, Automatic Program Generator, © Copyright 1998-2008 Pavel Haiduc, HP InfoTech srl*; (e) Prinsip kerja rangkaian sensor suhu, sinyal keluaran dari sensor suhu LM35 masuk ke dalam mikroprosesor ATMEGA 16 bersama-sama dengan sinyal acuan dari kristal 110592 MHz. Selanjutnya dengan menggunakan software, sinyal diolah dalam mikroprosesor ATMEGA 16 dan hasilnya kemudian dikonversi ke dalam sinyal digital oleh rangkaian ADC MAX232 dan akhirnya didisplaykan ke layar komputer melalui port DB 9; (f) Skema alat pengujian inti stator ditunjukkan Gambar 4;



Gambar 4. Skema alat pengujian inti stator berbasis komputer

dan (f) Spesifikasi dan jumlah bahan untuk sensor suhu ditunjukkan Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi dan jumlah bahan untuk sensor suhu

No	Komponen	Jumlah
1	Atmega 16	1
2	Max 232	1
3	Crystal 110592 MHz	1
4	PCB	1
5	LM35	4
6	Socket 40 Pin	1
7	Socket 16 Pin	1
8	Kabel LAN	1
9	DB 9 Female	1

10	Adaptor 5 Volt	1
11	LED	1
12	Kapasitor 100nF	1
13	Kapasitor 10uF	5
14	Resistor 10K Ohm	1
15	Resistor 330 Ohm	1
16	Kabel data	3
17	Flashdisk	3
18	Monitor	3
19	CPU	3

4. Validasi desain dan produk

Terkait kebenaran desain dan produk, spesifikasi dan kemasan. Validasi dilakukan oleh ahli yang terkait desain dan produk, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Bidang keahlian dan pekerjaan validator

No	Bidang Keahlian	Pekerjaan
1	Mesin listrik dan kontrol	Dosen JTE FT Unesa
2	Perencanaan-perbaikan mesin listrik	Praktisi bengkel perbaikan dinamo
3	Pelatihan dinamo	Praktisi lembaga pelatihan dinamo
4	Desain pengemasan	Teknisi JTE FT Unesa
5	Program dan mikrokontrol	Mahasiswa JTE FT Unesa

Tabel 6. Hasil validasi desain dan produk alat pengujian inti stator

No	Indikator	SV	V	TV	STV	Saran
1	Kebenaran desain	1	3	1		Ada keputusan rusak/baik
2	Kebenaran produk	1	4			
3	Spesifikasi produk	3	1	1		Kapasitas sensor diperbesar
4	Pengemasan		3	2		Komponen sensor dikemas
Jumlah		5	11	4		

SV: sangat valid, V: Valid, TV: tidak valid, STV: sangat tidak valid

Berdasarkan Tabel 6, persentase valid dan sangat valid 80,00% dan persentase tidak valid 20,00%. Hal ini menunjukkan desain dan produk perlu perbaikan. Perbaikan dilakukan pada sensor suhu, program, dan pengemasan komponen sensor suhu. Tabel 7 menunjukkan data inti stator dan jumlah kumparan pada saat pelaksanaan validasi desain dan produk.

Tabel 7. Data inti stator dan jumlah kumparan

No	P.Stator(m m)	Tebal Gandar(mm)	Ø Luar(mm)	Jumlah kumparan (N)
1	66,20	11,20	144,30	42
2	66,20	11,20	144,30	49
3	66,20	11,20	144,30	39
4	66,20	11,20	144,30	29

5. Perbaikan desain dan produk

Perbaikan desain dan produk dilakukan dengan mengganti sensor suhu, penyempurnaan program, dan pengemasan komponen sensor suhu.

6. Ujicoba produk

Dilakukan pada inti stator (M1) kondisi baik dan inti stator (M2) rusak. Hasil ujicoba produk alat penguji inti stator ditunjukkan Tabel 8.

Tabel 8. Hasil ujicoba produk atau alat penguji inti stator pada inti stator

Waktu (Menit)	Tegangan Inpu t(V)	Jumlah Kumparan(N)	Arus (A)	Posisi Sensor (°Ruang)			
				Suhu Inti Stator (°C)			
				0°	90°	180°	270°
M1 (Kondisi inti stator baik)							
30	12	44	28	42	41	42	43
30	10	42	26	41	40	41	41
30	8	40	25	40	39	40	40
30	6	38	24	40	39	40	39
M2 (Kondisi inti stator rusak)							
30	12	44	32	43	44	44	56
30	10	42	29	42	42	42	53
30	8	40	28	41	40	41	52
30	6	38	27	40	40	39	51

Berdasarkan Tabel 8, tampak bahwa hasil pengujian pada inti stator kondisi baik, perbedaan suhu 1°C-2°C, berarti kondisinya inti stator memang baik. Sedangkan hasil pengujian pada inti stator rusak, perbedaan suhu 11°C-12°C, berarti kondisi inti stator memang rusak.

Dapat disimpulkan alat yang dibuat dapat membedakan inti stator rusak atau baik. Jika dibandingkan batas suhu pengujian 28°C-56°C, maka alat tersebut juga terbukti mampu membedakan kondisi inti stator.

7. Revisi produk

Dilakukan berdasarkan atas masukan atau kelemahan saat ujicoba produk. Dari hasil ujicoba produk, tidak ditemukan kelemahan yang berarti, hanya kabel penghubung dan sumber listrik perlu diperbaiki. Kabel penghubung sudah diganti dan sumber listrik sudah diperbaiki dengan mengganti sekering

sesuai kapasitas alat pengatur tegangan dan dapat dilakukan ujicoba pemakaian.

8. Ujicoba pemakaian

Dilakukan pada saat perkuliahan perencanaan-perbaikan mesin listrik dan di industri atau usaha jasa perencanaan-

perbaikan mesin listrik. Ujicoba pemakaian pada perkuliahan dilakukan terhadap 16 mahasiswa yang memprogram mata kuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik. Pada ujicoba ini diberikan 5 buah inti stator rusak dan buah 3 stator baik. Setiap 2 mahasiswa (1 kelompok) diberi tugas untuk melakukan pengujian kondisi stator menggunakan alat hasil penelitian. Tabel 9 menunjukkan kinerja hasil produk mahasiswa, tingkat kelulusan dan nilai rerata mahasiswa. Hasil pengujian inti stator, menunjukkan bahwa inti stator rusak atau baik dapat dideteksi rusak oleh alat penguji inti stator.

Pada saat pengujian inti stator rusak, alat penguji inti stator memutuskan rusak, demikian juga pada saat menguji inti stator baik, alat penguji memutuskan baik. Setelah diketahui kondisi inti stator rusak, mahasiswa diberi tugas memperbaiki. Setelah semua kondisi inti stator baik, mahasiswa melakukan perencanaan-perbaikan dilanjutkan membeli ulang motor listrik untuk mengetahui kinerjanya dan kinerja hasil produknya.

Tabel 9. Kinerja produk, nilai rerata dan kelulusan mahasiswa

No	Kelompok	Efisiensi (%)	Suhu (°C)	Slip (%)	Nilai Rerata (*)
1	I	75,15	56,00	6,50	78,00
					79,00
2	II	76,30	55,00	6,30	82,00
					81,00
3	III	74,89	57,00	6,80	48,00 (TL)**
					49,00 (TL)**
					91,00
4	IV	75,54	56,00	6,50	91,00
					94,00
5	V	77,80	55,00	5,50	93,00
					78,00
6	VI	74,20	57,00	6,40	77,00
					79,00
7	VII	74,91	56,00	6,60	79,00
					93,00
8	VIII	78,95	54,00	6,50	83,00
					79,68
Rerata		75,97	55,75	6,38	79,68
Indikator keberhasilan		Min. 74,90	Maks. 57,52	Maks. 6,50	Nilai rerata

				79,30
--	--	--	--	-------

Catatan:

*)Nilai rerata =((Nilai partisipasi x1)+(Nilai UTSx1)

+(Nilai Tugasx 3)+Nilai kinerja

produk x 5))/10

**) Tidak lulus

Berdasarkan Tabel 9, tampak bahwa implementasi alat pengujian inti stator pada mata kuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik, tingkat kelulusan mahasiswa 87,50% dengan nilai rerata 79,68 melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan, yaitu tingkat kelulusan minimum 84,80% dengan nilai rerata 2,93. Selain itu kinerja hasil produk mahasiswa memiliki efisiensi rerata 75,97%, suhu rerata 55,75°C, slip rerata 6,38%, juga melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan, yaitu efisiensi minimum 74,90%, suhu maksimum 57,52°C, slip maksimum 6,50%. Semua indikator keberhasilan yang ditetapkan terlampaui. Alat pengujian inti stator juga dapat membedakan inti stator rusak atau baik, keputusan rusak atau baik ditampilkan di monitor komputer.

Berdasarkan beberapa uraian di atas dapat disimpulkan bahwa, alat pengujian inti stator dapat diimplementasikan pada perkuliahan perencanaan-perbaikan mesin listrik karena dapat membedakan stator rusak atau baik, dapat meningkatkan persentase kelulusan, nilai rerata, dan kinerja hasil produk mahasiswa.

Tabel 10 menunjukkan kinerja hasil produk perencanaan-perbaikan mesin listrik di industri atau usaha jasa Eldo Service. Kinerja hasil produknya setelah mengimplementasikan alat pengujian inti stator memiliki efisiensi 76,81%, suhu 58,00°C, slip 5,30%, dan garansi 12 bulan.

Tabel 10. Kinerja hasil produk di Eldo Service

No	Efisiensi (%)	Suhu (°C)	Slip (%)	Garansi (bulan)	Life Time (Tahun)
1	76,81	58,00	5,30	12,00	1,00
2*)	Min. 76,42	Maks. 58,50	Maks. 5,50	Min. 9,00	Min. 1,20

Catatan: *) indikator keberhasilan yang ditetapkan

Kinerja tersebut juga melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan, yaitu efisiensi minimum 76,42%, suhu maksimum 58,50°C, slip maksimum 5,50%, dan garansi minimum 9 bulan. Hanya *life-time* masih sama dengan garansi, belum melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan. Tampak, bahwa alat pengujian inti stator dapat membedakan inti stator rusak atau baik.

Dari beberapa uraian di atas dapat disimpulkan bahwa, implementasi alat pengujian inti stator berbasis komputer di industri perencanaan-perbaikan mesin listrik dapat meningkatkan kinerja hasil produksinya dan pihak industri selanjutnya bersedia mengimplementasikannya.

9. Revisi produk

Dilakukan berdasarkan hasil uji coba pemakaian. Pada uji coba pemakaian tidak ada masukan berarti, hanya untuk tahun depan alat pengujian inti stator ditambah jumlahnya, baik masukan dari mahasiswa maupun industri.

10. Pembuatan produk masal

Dilakukan jika hasil dari uji coba pemakaian sudah efektif dan efisien. Berdasarkan hasil uji coba pemakaian, hasilnya sudah efektif dan efisien, maka dapat dilakukan pembuatan produksi yang lebih banyak.

Langkah-langkah dalam mendesain dan mengimplementasikan alat pengujian inti stator berbasis komputer sesuai prosedur penelitian dan pengembangan, yaitu: (1) mengidentifikasi potensi dan permasalahan; (2) mengumpulkan data untuk membuat desain dan produk; (3) membuat desain dan produk disertai spesifikasi; (4) melakukan validasi desain dan produk; (5) melakukan perbaikan desain dan produk; (6) melakukan uji coba produk; (7) melakukan perbaikan desain dan produk; (8) melakukan uji coba pemakaian produk kepada pengguna; (9) melakukan revisi produk, dan (10) pembuatan produk masal secara masal.

Alat pengujian inti stator dapat diimplementasikan pada perkuliahan perencanaan-perbaikan mesin listrik, karena dapat membedakan inti stator rusak atau baik dan keputusannya juga sudah ditampilkan di monitor komputer. Selain itu dapat meningkatkan persentase kelulusan dan nilai rerata, serta hasil produk mahasiswa kinerjanya lebih baik, yaitu memiliki efisiensi lebih besar, suhu lebih dingin, dan slip lebih rendah. Selain itu juga melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan.

Untuk implementasi di industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik atau dinamo, alat pengujian inti stator dapat diimplementasikan. Karena alat tersebut dapat membedakan inti stator rusak atau baik. Selain itu kinerja hasil produknya dapat meningkat, yaitu produk yang dihasilkan oleh industri memiliki efisiensi yang lebih besar, suhu lebih dingin, slip

lebih rendah dan garansi lebih lama. Hanya faktor *life time*, pihak industri belum berani melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan 1,2 tahun. Alasannya inti stator pernah rusak, sehingga struktur kimianya berubah. *Life time* masih sama dengan garansi, yaitu 1 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa, alat yang dihasilkan dari penelitian dapat diimplementasikan di industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik.

Hasil penelitian perlu disosialisasikan dan dipasarkan ke industri atau usaha jasa di bidang perencanaan-perbaikan mesin listrik, program studi pada perguruan tinggi yang menyediakan mata kuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik, dan lembaga pelatihan dan industri di bidang perencanaan-perbaikan mesin listrik.

Perlu dilakukan pembuatan produk masal karena setelah dilakukan ujicoba pemakaian pada pengguna hasilnya menunjukkan efektif dan efisien, walaupun untuk sementara diproduksi berdasarkan pesanan.

Selain itu, alat yang dihasilkan dapat diusulkan untuk memperoleh HaKI, karena belum ada di pasaran, belum ada industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik yang mengimplementasikan alat pengujian inti stator. Yang sering dilakukan jika ada inti stator meleleh baru dibongkar dan diperbaiki sesuai kondisi aslinya.

5. Simpulan dan Saran

Dalam mendesain dan membuat alat pengujian inti stator berbasis komputer dilakukan dengan langkah: (1) mengidentifikasi potensi dan permasalahan; (2) mengumpulkan data terkait dengan pembuatan desain dan produk; (3) membuat desain produk; (4) validasi desain dan produk; (5) perbaikan desain dan produk; (6) ujicoba produk; (7) perbaikan produk; (8) ujicoba pemakaian produk pada pengguna; (9) revisi produk; dan (10) pembuatan produk secara masal, untuk saat ini berdasarkan pesanan.

Alat pengujian inti stator dapat membedakan kualitas inti stator rusak atau baik, dapat menentukan letak permukaan inti stator yang rusak, dan keputusan rusak atau baik kondisi inti stator ditunjukkan langsung dimonitor komputer.

Selain itu alat pengujian inti stator mesin berbasis komputer yang dihasilkan layak diusulkan memperoleh HaKI karena bersifat pengembangan dari hasil penelitian yang

dilakukan peneliti sendiri dan di pasaran belum tersedia.

Alat pengujian inti stator mesin listrik berbasis komputer yang dihasilkan dapat diimplementasikan pada mata kuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik, karena dapat meningkatkan persentase kelulusan dan nilai rerata mahasiswa. Kinerja produk mahasiswa juga lebih baik, efisiensi lebih besar, suhu lebih dingin, dan slip lebih rendah.

Alat pengujian inti stator yang dihasilkan juga dapat diimplementasikan di industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik karena dapat meningkatkan kinerja produknya, efisiensi lebih besar, suhu lebih dingin, slip lebih rendah. Garansi lebih lama dan *life time 1 tahun*. Pihak industri bersedia mengimplementasikan alat pengujian inti stator berbasis komputer pada proses produksinya.

Sebaiknya program studi pada perguruan tinggi yang menyediakan mata kuliah perencanaan-perbaikan mesin listrik, lembaga pelatihan, dan industri atau usaha jasa perencanaan-perbaikan mesin listrik mengimplementasikan alat pengujian inti stator motor listrik berbasis komputer hasil penelitian ini agar kualitas hasil pendidikan, pelatihan dan kinerja hasil produknya meningkat.

Penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk penambahan jumlah sensor yang lebih banyak dengan nilai tegangan input yang variasinya lebih banyak. Penelitian lanjutan juga dapat dilakukan dengan meningkatkan kualitas buku pedoman penggunaan alat pengujian inti stator, dari kemasan bentuk buku menjadi kemasan bentuk CD multimedia interaktif.

Dalam aplikasinya, agar lebih praktis CPU dan monitor dapat diganti Laptop, khususnya implementasi di bidang pendidikan dan pelatihan perencanaan-perbaikan mesin listrik. Untuk penggunaan Laptop di industri atau bengkel tidak disarankan karena kurang aman dari gangguan mekanis peralatan di sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Copyright 2003. *Japan AE power systems corporation. All Rights Reserved, Japan.*
- Hakim R. R., 2006. Prosedur umum perbaikan motor 3 fasa di PT ABB Sakti Industri. Surabaya. Laporan PI tidak dipublikasikan. Teknik Elektro Fakultas Teknik Unesa, Surabaya.

<http://www.firstelectricmotor.com>. Diakses tanggal 12 Desember 2009 pukul 11.30.

<http://www.whpinfotech.com>. Diakses tanggal 14 Desember 2009 pukul 13.50.

IEC 156/1963. *Method for the determination of electric strength of insulating oils.*

IEC 76/1976. *Power transformer.*

Joko, 2004. *Pemeliharaan dan perbaikan mesin-mesin listrik.* Teknik Elektro Fakultas Teknik Unesa, Surabaya.

Joko, Agustinah Indrati, 2005. *Desain dan implementasi core stator test.* Lembaga Penelitian Unesa, Surabaya.

Sugiono, 2008. *Metode penelitian kualitatif, kuantitatif dan R&D.* Alfabeta, Bandung.

Suparno, 2002. *Perencanaan mesin listrik.* Teknik Elektro Fakultas Teknik Unesa, Surabaya.

Syaiffudin M., Indrati A., (2007). *Pembuatan pengujian inti stator motor listrik 1 phasa dengan sensor suhu digital.* Skripsi tidak dipublikasikan. Fakultas Teknik Unesa, Surabaya.

Wilkinson K., 1996. *Menggulung dinamo.* Andi Offset, Bandung.