

Teknik Pengukuran Kenaikan Temperature Belitan Motor Induksi Menggunakan Metode Resistansi

(Measurement Method of Winding Temperature Rise of Induction Motor Using Resistance Method)

Zaenal Panutup Aji^{#1}, Surijadi^{#2}

[#]Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480

[1panutup.aji@gmail.com](mailto:panutup.aji@gmail.com)

[2baristandsurabaya@kemenperin.go.id](mailto:baristandsurabaya@kemenperin.go.id)

Diterima Juli 2014; Revisi Oktober 2014; Ditetujui terbit November 2014

Abstrak— Kenaikan suhu belitan motor pada produk-produk rumah tangga yang menggunakan motor induksi sangat perlu diperhitungkan guna memastikan tingkat keselamatan yang tinggi bagi pengguna. Selama ini, metode yang digunakan didalam pengukuran ini adalah menggunakan metode termokopel. Banyak sekali kendala yang dijumpai ketika penggunaan metode ini. Salah satunya adalah kesulitan didalam meletakkan termokopel didalam belitan motor, sehingga kenaikan suhu yang terukur adalah kenaikan suhu pada bagian luar dari belitan motor. Disamping itu Standar Nasional Indonesia (SNI) menetapkan bahwa setiap pengukuran belitan harus menggunakan metode resistansi [1]. Pada makalah ini, dijelaskan tentang rekayasa alat ukur kenaikan suhu belitan motor induksi dengan metode resistansi supaya mampu mengukur kenaikan suhu dengan hasil yang akurat dan memudahkan didalam melakukan pengukuran. Metode ini adalah dengan mengukur nilai resistansi dari belitan motor dari suhu awal dan suhu akhir, nilai dari resistansi ini kemudian dikonversi menjadi kenaikan suhu belitan motor. Dari hasil pengujian ini didapatkan bahwa semakin besar daya input maka diikuti dengan kenaikan suhu belitan. Namun, kenaikan suhu juga tergantung dari tipe produk. Dengan daya input yang hampir sama kenaikan suhu belitan pada kipas angin *box fan* lebih kecil dibanding kenaikan suhu belitan pada kipas angin *desk fan*, dengan selisih sebesar 15,97 K untuk belitan utama motor dan sebesar 20,19 K untuk belitan *auxiliary* motor. Nilai pengukuran kenaikan suhu belitan motor menggunakan metode resistansi lebih tinggi sebesar 10 K dibandingkan dengan pengukuran menggunakan metode termokopel.

Kata kunci : motor induksi, kenaikan suhu, kipas angin, pompa air

Abstract— *Motor winding temperature rise in household products that use induction motors need to be taken into account to ensure a very high level of safety for users. All this time, the method used in this measurement is the thermocouple method. There are several obstacles encountered when using this method. One of them is the difficulty in putting the thermocouple inside the motor winding so that the temperature rise measured is that on the outer side. Moreover, the SNI determine that the measurement shall use resistance method [1]. On this paper, it is described about the engineering of temperature rise measuring instrument of induction motor winding using resistance method to measure accurately and easily. The method is by measuring the resistance value of the motor windings at the initial and final temperature, then converted into motor winding temperature rise. From the test results, it is found that the bigger the input power the higher the temperature rise. However, it also depends on the type of product. With the input power is almost the same, temperature rise of winding on the box fan model is smaller than the temperature rise of windings in the fan desk fan model, with the difference of 15.97 K for the primary windings and 20.19 K for auxiliary windings. The measurement value of winding temperture rise using resistance method is 10 K higher than uisng thermocouple method.*

Keywords: *induction motor, temparature rise, fan, water pump*

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan motor induksi sebagai alat penggerak sangat banyak ditemukan pada produk-produk elektronika rumah tangga, hampir setiap rumah di Indonesia bisa ditemukan produk-produk elektronika seperti pada kipas angin, pompa air, pendingin ruangan dan lain lain. Ketika motor induksi difungsikan sebagai penggerak maka akan timbul panas pada belitan motor karena energi yang diberikan pada motor tidak hanya dirubah menjadi energi gerak tetapi juga ada sebagian energi yaitu sekitar 10-20% di disipasi menjadi panas yang dikenal dengan rugi-rugi motor [2]. Timbulnya panas yang terjadi pada peralatan-peralatan rumah tangga yang memakai motor induksi berpengaruh pada keselamatan pengguna produk tersebut. Maka perlu adanya pemastian tingkat panas yang ditimbulkan oleh belitan motor sehingga panas yang ditimbulkan oleh motor tidak menimbulkan bahaya pada saat penggunaan produk tersebut. Pemastian ini dengan melakukan pengukuran panas pada belitan motor kemudian dibandingkan dengan batas panas yang masih diperbolehkan pada standar yang ada (SNI IEC 6335-1 : 2009) Pengukuran suhu yang akurat dan presisi sangat dibutuhkan dalam pemastian tingkat panas yang terpercaya. Keakuratan dan kepresisian dalam pengukuran suhu dipengaruhi oleh peralatan yang digunakan, metode uji dan kemampuan dari personil. Banyak sekali metode yang dikembangkan didalam pengukuran suhu. Umumnya metode termokopel banyak digunakan dalam aplikasi sehari-hari dibidang industri dan laboratorium pengujian, namun ketika pengukuran suhu pada belitan motor induksi banyak sekali kendala yang dihadapi dan hal itu sangat mempengaruhi hasil dari pengukuran antara lain:

1. Kesulitan penempatan termokopel dalam belitan motor induksi.
2. Kemungkinan besar saat pengukuran termokopel lepas dari belitan sehingga suhu yang diukur kurang mencerminkan dari obyek yang diukur
3. Pemasangan termokopel pada belitan motor harus membuka bodi motor, sehingga ketika bodi motor dipasang kembali ada kemungkinan posisi poros pada bearing agak bergeser sehingga menimbulkan gesekan mekanis.
4. Dibutuhkan waktu lebih untuk melakukan pengukuran.

Dengan adanya kendala-kendala saat melakukan pengukuran suhu belitan motor induksi dengan metode termokopel, maka perlu dikembangkan penggunaan metode lain yang lebih praktis namun tetap akurat didalam melakukan pengukuran suhu pada belitan motor induksi. Sehingga kegiatan didalam pemastian dapat berjalan dengan baik.

Maksud dan tujuan dari perancangan ini adalah dihasilkannya peralatan ukur kenaikan suhu belitan motor dengan metode pengukuran resistansi yang mudah digunakan, mempermudah dalam pengujian produk-produk elektronika rumah tangga dengan hasil yang presisi dan akurat.

II. BAHAN DAN METODA

A. Bahan

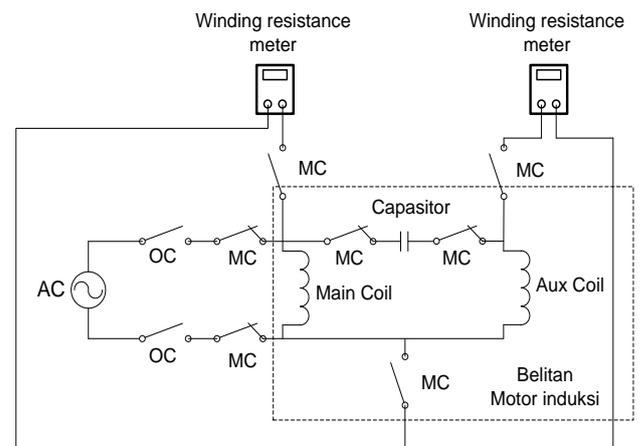
Bahan uji yang diperlukan dalam penelitian ini adalah 3 (tiga) kipas angin listrik yang terdiri dari tiga model yaitu *desk fan*, *box fan*, dan berdiri (*stand fan*). Kipas angin ini dipilih dari berbagai merk yang mempunyai tingkat kelas yang berbeda, yaitu mulai dari yang murah sampai yang mahal. Dan 2 (dua) pompa air dengan model yang berbeda. Tabel 1 memperlihatkan spesifikasi tiap-tiap bahan uji.

TABEL 1. SPESIFIKASI BAHAN UJI

Jenis / Merk	Spesifikasi
Produk B (<i>Box fan</i>)	Tegangan : 220 V~
	Frekuensi : 50 Hz
	Daya : 50 W
	Jenis belitan : tembaga
	Kecepatan : 3 kecepatan
Produk D (<i>Desk fan</i>)	Tegangan : 220 V~
	Frekuensi : 50 Hz
	Daya : 50 W
	Jenis belitan : tembaga
	Kecepatan : 3 kecepatan
Produk S (<i>Stand fan</i>)	Tegangan : 220 V~
	Frekuensi : 50 Hz
	Daya : 50 W
	Jenis belitan : tembaga
	Kecepatan : 3 kecepatan
Produk P1 (<i>Pompa 1</i>)	Tegangan : 180-220 V~
	Frekuensi : 50 Hz
	Daya : 125 W
	Jenis belitan : tembaga
	Total head : 40 meter
Produk P2 (<i>Pompa 2</i>)	Tegangan : 180-220 V~
	Frekuensi : 50 Hz
	Daya : 200 W
	Jenis belitan : tembaga
	Total head : 40 meter

B. Metoda

a) Rekayasa alat ukur

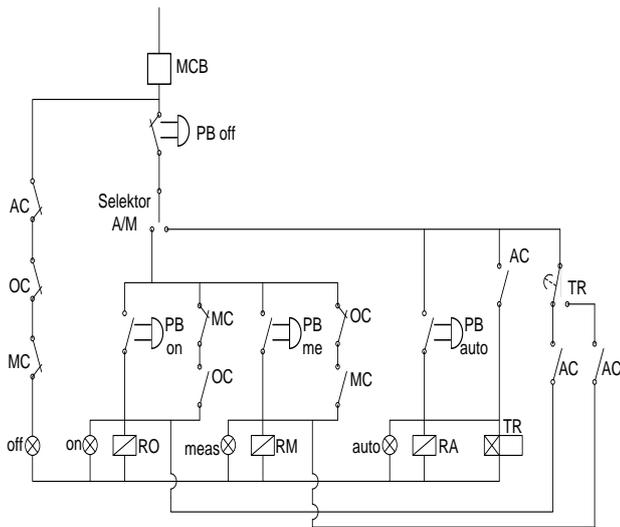


Gambar 1. Skema pengukuran temperatur belitan motor induksi dengan metoda resistansi

Desain perancangan alat ukur kenaikan suhu belitan motor induksi dengan metode pengukuran resistansi ditunjukkan seperti gambar 1 kontaktor relay OC dan MC dijalankan oleh alat bantu switching. Ketika motor induksi dijalankan maka kontaktor relay OC akan menutup dan kontaktor relay MC bersifat *normally close* sehingga motor induksi (misal : kipas angin) akan mendapatkan suplai daya kemudian motor akan berputar. Ketika suhu dalam belitan motor induksi sudah stabil maka dilakukan pengukuran resistansi belitan, kontaktor relay MC akan terbuka (MC yang bersifat *normally close*) sedang relay MC yang *normally open* akan tertutup, sehingga akan menghubungkan belitan motor induksi main coil maupun auxiliary coil ke winding resistance meter. Diperlukan beberapa detik untuk mendapatkan nilai pengukuran yang stabil.

b) Rangkaian Switching

Rangkaian *switching* merupakan suatu alat bantu untuk menghubungkan dan memutus. Dalam alat ukur kenaikan suhu belitan motor induksi dengan metode pengukuran resistansi berfungsi sebagai menghubungkan belitan motor induksi ke alat ukur *winding resistance meter* ketika motor tersebut dilepas dari suplai tegangan dan berfungsi untuk memutuskan hubungan dari belitan motor ke *winding resistance meter* ketika produk tersebut di suplai tegangan. Adapun rangkaian dari switching ditunjukkan pada gambar 2 Untuk rancangan rangkaian switching untuk rekayasa ini memanfaatkan beberapa kontaktor relay dengan tegangan kontak 240 VAC.



Gambar 2. Rangkaian switching

Terlihat pada gambar 2 rangkaian switching tersebut terdiri dari satu miniatur circuit breaker (mcb) empat push botton (PB), satu selektor, satu timer (TR) dan 4 kontaktor relay (R) dan beberapa lampu indikator.

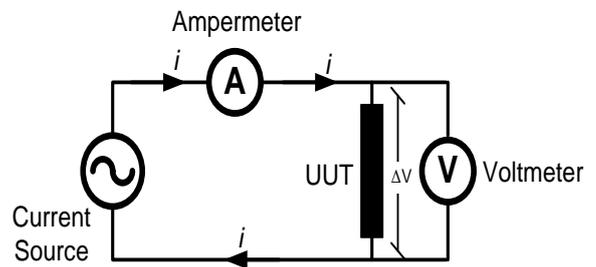
c) Winding Resistance Meter

Winding resistance meter berfungsi untuk mengukur besarnya resistansi dari belitan motor. Ketika suhu pada

belitan motor berubah maka akan mempengaruhi besarnya resistansi dari belitan motor, Kenaikan suhu pada belitan motor akan diikuti dengan kenaikan nilai resistansi belitan motor induksi dan sebaliknya oleh karena itu dibutuhkan *Winding resistance meter* yang memiliki sensitifitas dan keakuratan yang tinggi. Dalam perckayasa ini kita menggunakan resistance meter dengan metode 4 wire. Gambar 3 memperlihatkan prinsip kerja resistance 4 wire, dari gambar tersebut terlihat bahwa arus konstan *i* dilewatkan ke produk yang diuji (belitan motor), pada UUT akan terdapat drop tegangan sebesar ΔV , besarnya nilai resistansi pembumian *R* diukur menurut hukum *Ohm*.

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

Pengukuran arus dan tegangan menggunakan probe yang terpisah sehingga nilai resistansi dari kabel probe dapat tereliminasi



Gambar 3. Pengukuran resistansi dengan 4 wire

d) Pengukuran Suhu Belitan Motor

Ada dua tahapan yang dilakukan ketika melakukan pengukuran suhu dengan metoda resistansi :

1. Pengukuran nilai resistansi

Pengukuran kenaikan suhu belitan motor pada produk kipas angin dan pompa air diawali dengan identifikasi jenis motor induksi yang dipakai dan tipe kumparan yang ddi pakai. Pada penelitian ini, produk kipas angin sebagai bahan uji memiliki rangkaian seperti pada gambar 1, motor memiliki 2 belitan yaitu satu belitan utama dan 1 belitan bantu yang dihubungkan dengan kapasitor *running*. Pengukuran resistansi dengan *winding resistance meter* tidak bisa dilakukan seketika atau pada detik ke 0 karena adanya proses sampling awal, inisialisasi dari alat ukur dan lama berhentinya dari rotor yang membutuhkan waktu sekitar 5-17 detik tergantung dari produknya. Nilai resistansi diukur pada detik 5-20 setelah belitan dihubungkan ke *winding resistance meter* kemudian pada setiap 10 detik dicatat nilai resistansi yang terukur, sehingga kita akan mendapatkan data waktu dan nilai resistansi untuk tiap waktu tersebut. Untuk mendapatkan nilai resistansi pada detik ke-0 digunakan regresi eksponensial [3] dengan sumbu X adalah waktu (detik) dan sumbu Y adalah nilai resistansi.

2. Penghitungan Suhu Belitan

Setelah mendapatkan nilai resistansi dari motor induksi maka kita bisa mendapatkan nilai kenaikan suhu belitan motor dengan menggunakan persamaan berikut

$$\Delta t = \frac{R_1 - R_2}{R_1} (k + t_1) - (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Dengan :

- Δt : Kenaikan temperatur belitan
- R_1 : nilai resistansi belitan saat awal tes
- R_2 : nilai resistansi belitan saat akhir tes
- k : konstanta k
- t_1 : temperatur ruangan atau sekitar saat awal tes
- t_2 : temperatur ruangan atau sekitar saat akhir tes

Pada perancangan ini, diasumsikan bahwa jenis belitan adalah tembaga dengan nilai $k = 234,5$. t_2 di ukur ketika suhu sudah dalam keadaan stabil, pada penelitian ini di ukur ketika motor sudah berjalan sekitar satu jam.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan terhadap bahan uji kipas angin sebanyak 3 buah dan 2 buah pompa air dalam kondisi suhu dan kelembaban udara tidak dikontrol dan besarnya tegangan yang digunakan dalam pengujian adalah 220 Volt AC. Adapun variabel atau besaran yang kita ukur yaitu meliputi :

- Daya
- Resistansi belitan motor.
- Temperatur ruangan atau sekitar kipas angin.

TABEL 2. HASIL PENGUKURAN DAYA

No	Bahan uji	Daya Pengenal (Watt)	Speed 1	Speed 2	Speed 3
			Daya Terukur (Watt)	Daya Terukur (Watt)	Daya Terukur (Watt)
Produk Kipas Angin					
1.	B	50	36,96	44,24	52,02
2.	D	50	32,5	40,24	51,69
3.	S	50	34,25	37,6	43,43
Produk Pompa					
No	Bahan uji	Daya Pengenal (Watt)	Daya Terukur (Watt)		
4.	P1	125	359,0		
5.	P2	200	564,9		

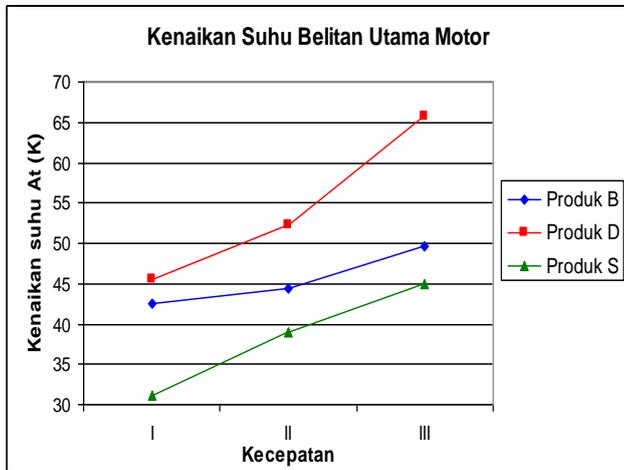
Terlihat pada tabel diatas, untuk produk kipas angin daya input yang paling kecil untuk terjadi pada kecepatan 1 sedangkan daya input terbesar terjadi pada kecepatan 3. Produk B memiliki daya input maksimal lebih besar dibanding daya pengenal sebesar 4%, produk D memiliki

daya input maksimal lebih besar dibanding daya pengenal sebesar 3,4%, dan produk S memiliki daya input maksimal lebih kecil dibanding daya pengenal sebesar 13,1%. Terlihat jelas pada gambar 4.1 produk S memiliki daya input yang paling kecil sebesar 43,43 watt, dan produk B memiliki daya input yang paling besar senilai 52,02 watt. Produk B merupakan kipas angin tipe *box fan*, memiliki konstruksi yang menyebabkan angin agak sukar atau menghalangi angin untuk keluar, sehingga dimungkinkan motor kipas angin bekerja lebih berat, maka daya inputnya pun ikut menjadi besar. Sedangkan pada produk pompa air konsumsi daya tertinggi terjadi pada produk P2 dengan selisih perbedaan antara daya pengenal sebesar 364,9 watt.

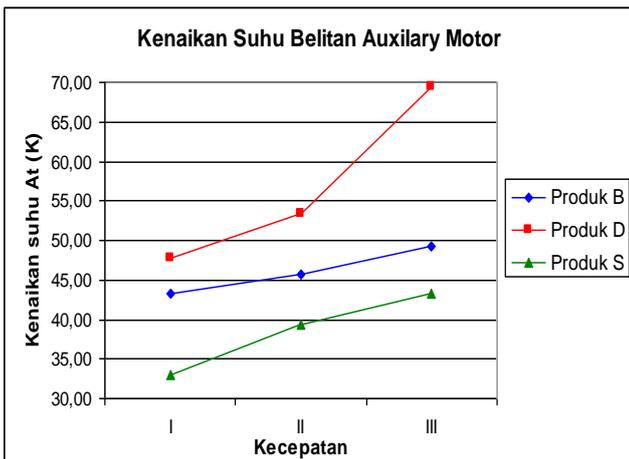
Kenaikan suhu belitan motor pada produk kipas angin ditunjukkan pada tabel 3. Untuk produk B, resistansi belitan utama motor (RM) pada kecepatan I memiliki nilai yang paling besar yaitu 940,7 Ω dan resistansi belitan utama motor (RM) pada kecepatan III memiliki nilai yang paling kecil yaitu 651,68 Ω . Resistansi belitan *auxiliary* motor (RA) pada kecepatan I memiliki nilai paling kecil yaitu 453,8 Ω , sedangkan resistansi belitan *auxiliary* motor (RA) pada kecepatan III memiliki nilai paling besar yaitu 789,6 Ω . Nilai dari resistansi belitan utama motor (RM) dan resistansi belitan *auxiliary* motor (RA) mengalami kenaikan setelah produk dijalankan selama kurang lebih satu jam, sedangkan besarnya kenaikan suhu dihitung dengan persamaan 2. Kenaikan tersebut berbanding lurus dengan kenaikan suhu pada belitan motor (Δt). Semakin besar daya input maka kenaikan suhu (Δt) semakin besar. Pada tabel tersebut juga terlihat bahwa ketika pada kecepatan I dan II nilai kenaikan suhu pada belitan *auxiliary* (Δt_A) lebih tinggi dibanding kenaikan suhu pada belitan utama (Δt_M), namun pada kecepatan III, kenaikan suhu pada belitan utama (Δt_M) sebesar 49,7 K lebih tinggi dibanding kenaikan suhu yang terjadi pada belitan *auxiliary* (RA) yang hanya senilai 49,27 K. Fenomena ini terjadi karena ketika pada kecepatan I dan II nilai resistansi dari belitan *auxiliary* (RA) lebih kecil dibandingkan dengan belitan utama (RM), sehingga arus listrik yang melewati belitan *auxiliary* (RA) lebih besar dibandingkan dengan arus listrik yang melewati belitan utama (RM), sedangkan panas yang timbul itu berbanding lurus dengan kuadrat dari arus listrik. Maka semakin besar arus listrik yang melewati sebuah resistans maka panas yang ditimbulkan akan semakin besar. Begitu juga yang terjadi pada produk kipas angin lainnya (Produk D dan S). Pada gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan kenaikan suhu belitan utama dan belitan *auxiliary* motor antara produk B, D, S. Terlihat pada gambar tersebut, Produk D memiliki kenaikan suhu yang paling besar. Dengan nilai daya input yang hampir sama dengan produk B, kenaikan suhu belitan utama motor dari produk D jauh lebih tinggi, dengan perbedaan sebesar 15,97 K. Dan ini pun terjadi pada kenaikan suhu belitan *auxiliary* motor, dengan daya input yang sama kenaikan suhu pada produk D lebih tinggi dibanding produk B sebesar 20,19 K.

TABEL 3. PENGUKURAN KENAIKAN SUHU BELITAN MOTOR PADA PRODUK KIPAS ANGIN

No.	Kecepatan	Daya input (W)	RM ₁ (Ω)	RA ₁ (Ω)	RM ₂ (Ω)	RA ₂ (Ω)	TM ₁ (°C)	TA ₁ (°C)	TM ₂ (°C)	TA ₂ (°C)	Δt _M (K)	Δt _A (K)
Produk B												
1.	I	36,96	940,7	453,8	1100,1	532,5	27	27	28,8	29	42,51	43,35
2.	II	44,24	805,07	612,76	949,21	727,17	26,4	25,6	28,8	28,4	44,31	45,76
3.	III	52,02	651,68	789,6	795,51	941,18	21,5	27,9	28,3	29	49,70	49,27
Produk D												
1.	I	32,5	775,4	231,47	925,22	276,9	24,5	22,3	29	24,9	45,54	47,80
2.	II	40,24	673,68	331,9	818,77	403,55	21,5	25,6	24,3	28,4	52,33	53,35
3.	III	51,69	544,5	464,03	692,33	596,66	24,7	25,3	29,4	30,1	65,67	69,46
Produk S												
1.	I	34,25	629,02	326,8	705,49	366,65	24,8	25,9	25,2	24,7	31,12	32,95
2.	II	37,6	548,1	368,75	630,09	428,76	21,2	21,2	20,4	23,4	39,05	39,41
3.	III	43,43	448,53	484,01	526,1	564,26	25,9	25,2	25,9	25	45,03	43,26



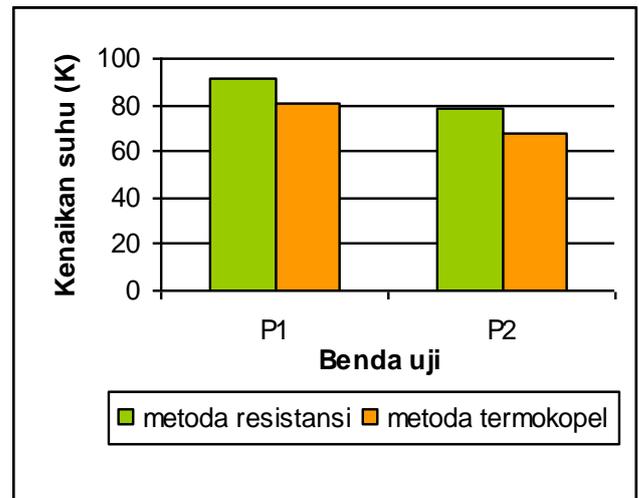
Gambar 4. Grafik kenaikan suhu belitan utama motor pada kipas angin



Gambar 5. Grafik kenaikan suhu belitan auxillary motor pada kipas angin

Sedangkan kenaikan suhu pada produk pompa air ditunjukkan pada tabel 4. Setelah dijalankan selama 2 jam,

dengan menggunakan metode resistansi didapatkan kenaikan suhu belitan motor (Δt) pada produk P1 sebesar 91,60 K dan 78,48 K untuk produk P2, sedangkan dengan menggunakan metode termokopel didapatkan Δt pada produk P1 sebesar 80,90 K dan 68,15 K untuk produk P2. Sehingga selisih pengukuran (*error*) kenaikan suhu antara metode resistansi dengan termokopel sebesar ± 10 K, seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan kenaikan suhu belitan motor metode resistansi dengan termokopel

Hal ini terjadi dimungkinkan perbedaan titik pengukuran, ketika menggunakan metode termokopel suhu belitan motor yang diukur adalah bagian luar dari belitan motor sedangkan ketika menggunakan metode resistansi maka kenaikan suhu belitan di seluruh bagian dari belitan motor terukur. Perbedaan 10 K antara pengukuran kenaikan suhu belitan metode termokopel dengan pengukuran kenaikan suhu belitan metode resistansi ditetapkan dalam SNI IEC 60335-1 : 2009 klausul 11.

TABEL 4. PENGUKURAN KENAIKAN SUHU BELITAN MOTOR PADA PRODUK POMPA AIR

Benda uji	Daya Input (W)	Metode Resistansi (R)				Metode Termokopel (T)			Selisih R-T	
		R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)	T _{amb1} (°C)	T _{amb2} (°C)	Δt (K)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	Δt (K)	K
P1		26,4	35,58	28,9	28,9	91,60	27,0	107,9	80,90	10,70
P2		7,6	9,86	30,0	30,0	78,48	28,4	96,55	68,15	10,33

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran kenaikan suhu belitan motor induksi dengan metode resistansi dalam penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Kenaikan daya input motor akan diikuti dengan kenaikan suhu pada belitan motor induksi hal ini memenuhi ketentuan jaminan mutu hasil pengujian klausul 5.9 dari ISO/IEC 17025.
2. Dengan daya input yang hampir sama, kenaikan suhu belitan motor pada produk kipas angin model *box fan* lebih rendah dibanding kenaikan suhu pada kipas angin *stand fan*, dengan selisih sebesar 15,97 K untuk belitan utama motor dan sebesar 20,19 K untuk belitan *auxiliary* motor.
3. Kenaikan suhu belitan motor pada belitan utama dan belitan *auxiliary* memiliki nilai yang tidak sama, tergantung dari nilai resistansi dari masing-masing belitan.
4. Pengukuran kenaikan temperature menggunakan metode resistansi memiliki selisih (*error*) sebesar ±10 K dibandingkan dengan menggunakan metode termokopel.

5. Nilai pengukuran kenaikan suhu belitan motor menggunakan metode resistansi lebih tinggi sebesar 10 K dibandingkan dengan pengukuran menggunakan metode termokopel. Hal ini telah sejalan dengan apa yang tertuang didalam SNI IEC 60335-1:2009 klausul 11 tabel 3.
6. Penggunaan metode resistansi pada pengukuran kenaikan suhu belitan lebih mudah diaplikasikan dan tidak terlalu merubah kondisi awal dari produk.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Anonim, "Peranti listrik rumah tangga dan sejenisnya – Keselamatan – Bagian 1 : Persyaratan umum", Standar Nasional Indonesia SNI IEC 60335-1 : 2009, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta – Indonesia, 2009.
- [2]. Peralatan Energi Listrik : Motor Listrik, Available: http://www.energyefficiencyasia.org/docs/ee_modules/indo/Chapter%20-20Electric%20motors%20%28Bahasa%20Indonesia%29.pdf
- [3]. Pengukuran Kenaikan Temperatur Lilitan (Metode Resistansi), Available::<http://cahtambakdalam.blogspot.com/2014/01/pengukuran-kenaikan-temperatur-pada.html>
- [4]. Instrumentasi Pengukuran Suhu, Available: <http://baskarapunya.blogspot.com/2011/04/instrumentasi-bab-4-temperature.html>