

IDENTIFIKASI KELAS ISOLASI MOTOR TRAKSI PADA LOKOMOTIF DIESEL ELEKTRIK BERDASARKAN AKUISISI DATA SUHU

Mohammad Magna Mensani^{*)}, Tedjo Sukmadi, and Bambang Winardi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : magnamensani@gmail.com

Abstrak

Panas dan suhu adalah dua hal yang berbeda. Panas adalah energi total dari gerak molekular di dalam zat, energy panas bergantung pada kecepatan partikel, jumlah partikel (ukuran atau massa), dan jenis partikel di dalam sebuah benda. Sedangkan suhu adalah ukuran energi rata-rata dari gerak molekular di dalam zat. Banyak kasus yang terjadi pada lokomotif diesel elektrik milik PT. Kereta Api Indonesia yaitu mengalami kerusakan pada motor traksi yang disebabkan oleh banyak faktor. Penggunaan LM35 sebagai sensor suhu pada objek, untuk perjalanan Semarang-Surabaya (PP) dengan hasil pengukuran berupa akuisisi data suhu pada ke-enam motor traksi lokomotif CC 201 04 01. Dipakai metode resistansi untuk menghitung kenaikan temperatur dan penentuan kelas isolasi motor traksi, diperoleh kenaikan suhu tertinggi 45,37 °C pada nilai resistansi 0,007661Ω yang bersesuaian dengan kelas isolasi A dan validasi hasil pengukuran alat dilakukan terhadap sensor thermobimetal milik PT. Kereta Api Indonesia. Dalam pengukuran secara kontinyu dalam perjalanan dinas Semarang-Surabaya-Semarang, terdapat selisih kesalahan dalam pengukuran suhu pada alat. Kesalahan tersebut kemungkinan disebabkan oleh kemampuan sensor LM35 yang masih kurang sensitif mengukur suhu objek dengan berbagai gangguan seperti adanya guncangan dan getaran saat lokomotif berjalan.

Kata Kunci : Motor Traksi, Sensor LM35, Lokomotif CC 201

Abstract

Heat and Temperature are different objects. Heat is a total energy from a molecule movement inside a substance, so heat depends on the velocity of a particle, the number of particle (size and mass), and the particle type of an object. Meanwhile temperature is an average size of the molecule movement inside a substance, so it is possible to be defined as the degree of object in hot or cold condition. PT. Kereta Api Indonesia face many cases of the malfunction of the electric diesel locomotive problem due to the broken traction that are caused by many factors. The usage LM35 as the temperature sensor for an object, in the use gives the during the trip gives result in the form of acquisition temperature data for all six traction motors of electric diesel locomotive CC 201 04 01. The method resistance is use to count in rising temperature and to classifying the insulation of motor traction level gives the temperature rising data at 46,129°C on 0,00768233Ω resistance value that fit with the a classified insulation and the validation from PT. Kereta Api Indonesia's thermo bimetal device. In a continuous measurement during the trip Semarang-Surabaya and vice-versa, there is an error difference in measurement the temperature on device. The error difference when could be causally the ability of the LM35 sensor which is less sensitive to measure the object when it faces many obstacles such as the tremor and vibration during the trip.

Key words: Traction Motor, LM35 sensor, Locomotive CC 201.

1. Pendahuluan

Kereta api merupakan salah satu transportasi penting di Indonesia, dimana kereta api dapat mengangkut beban yang banyak dalam sekali pengangkutan dengan jarak tempuh yang jauh, sehingga peran kereta api sangat dibutuhkan oleh masyarakat atau kalangan sektor industri untuk dapat mendistribusikan barang dengan mudah.

Dalam perjalanan mengangkut muatan barang atau penumpang tenaga mesin lokomotif mengalami penurunan yang disebabkan oleh faktor tingkat ketahanan mesin diesel dan motor traksi pada suhu cuaca yang panas sehingga lokomotif mengalami overheating dan bisa menyebabkan terjadinya flash over dan kebanyakan kasus traksi motor. mengalami gangguan ini akibat panas dan hujan.^[6]

Menurut NEMA (National Electrical Manufacturers Association) tingkat kekuatan insulasi suatu motor dapat diketahui dengan melakukan pengukuran suhu secara kontinu sehingga terdapat tingkat penggolongan kelas motor, yang berdampak pada tingkat kekuatan motor terhadap resistansinya.

Kendala yang dijumpai dilapangan adalah belum ada sistem monitoring temperatur ketika kereta api sedang beroperasi atau berjalan, dan yang digunakan adalah dengan cara manual mengecek temperatur motor traksi ketika kereta api berhenti.

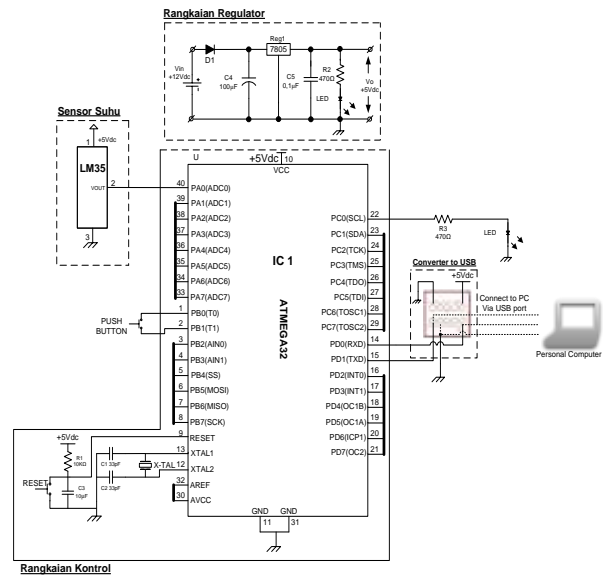
Begitu banyak kendala yang ada dilapangan, maka penulis mencoba mencari solusi dari permasalahan yang ada yaitu dengan mendesain alat untuk memonitor temperatur panas pada motor traksi lokomotif, dan menganalisisnya berdasarkan standar klasifikasi motor traksi lokomotif, setelah data suhu dari motor traksi didapatkan, maka penulis membuat laporan penulisan ke Dipo Lokomotif DAOP 4 SMC (Semarang Poncol) dan hasilnya dikirimkan ke UPT. Balai yasa DAOP VI YK (Yogyakarta) devisi motor traksi lokomotif untuk ditinjau ulang.

2. Metode

Metode penelitian yang dilakukan yaitu dengan Pembuatan Alat untuk Pengukuran Suhu Motor Traksi, Menghitung Kenaikan Temperatur dengan Metode Resistansi, dan Penentuan Kelas Isolasi Motor Traksi berdasarkan Akuisisi Data Suhu.

2.1 Pembuatan Alat untuk Pengukuran Suhu Motor Traksi Lokomotif.

Sistem alat ini mendapatkan input dari sensor suhu yaitu sensor suhu LM35 yang akan mendeteksi suhu motor traksi pada saat lokomotif berjalan. Mikrokontroler ATmega32 di setting untuk menyimpan data suhu motor traksi yaitu per lima menit pada saat lokomotif berjalan, sehingga dapat diketahui pergerakan suhu yang terjadi didalam traksi motor dalam perjalanan lokomotif menarik rangkaian kereta penumpang atau kereta gerbong barang. Berikut ini merupakan gambar rangkaian alat secara keseluruhan.

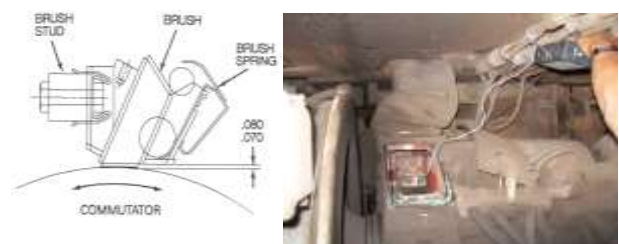


Gambar 1. Skematik alat pengukur suhu motor traksi.

Pada port A itu terdapat konektor yang dapat dihubungkan melalui komputer atau laptop, dari port itulah yang akan menampilkan output suhu dari sensor yang berupa tampilan angka yang menunjukkan waktu dan angka yang menunjukkan suhu dari traksi motor lokomotif yang tersimpan pada mikro kontroler AVR ATMEGA 32, dari data yang sudah tersimpan akan di baca melalui laptop.

2.2 Menghitung Kenaikan Temperatur dengan Metode Resistansi.

Pengujian alat dilakukan pertama kali menggunakan lokomotif yang bertugas sebagai lokomotif langsir yaitu lokomotif penarik rangkaian kereta dan gerbong dari dipo kereta menuju stasiun poncol dan stasiun tawang atau sebaliknya.

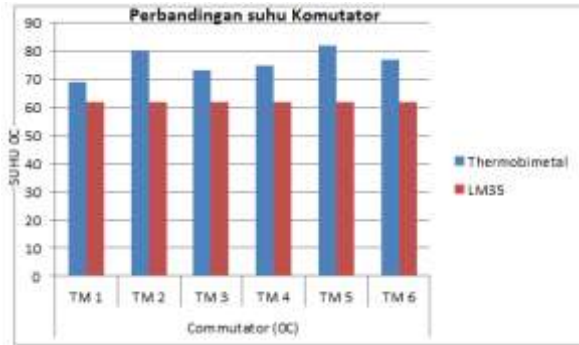


Gambar 2. Pengujian Alat pada Lokomotif CC 201 04 01

Pengukuran secara manual dengan menggunakan sensor thermo bimetal milik PT. KAI yaitu saat lokomotif berhenti di stasiun/dipo kereta api, hal ini bertujuan untuk mendapatkan data pembandingan alat yang didesain menggunakan sensor LM35 dan sensor thermo bimetal.

Tabel 1. Perbandingan Pengukuran Suhu Motor Traksi

Perbandingan Pengukuran	Commutator (⁰ C)					
	TM1	TM2	TM3	TM 4	TM 5	TM6
Thermobimetal	69	80	73	75	82	77
LM35	62	62	62	62	62	62



Gambar 3. Grafik perbandingan suhu pada sensor LM35 dan sensor Thermobimetal.

Pada alat yang dibuat oleh penulis terdapat perbedaan data suhu antara sensor *Thermobimetal* dengan sensor LM35, data yang didapatkan oleh sensor LM35 yaitu cenderung kecil yaitu mencapai suhu 62 ⁰C. Hal ini disebabkan karena faktor tingkat kualitas komponen yang digunakan sangat terjangkau, dan juga faktor kemampuan kinerja alat yang ditempatkan diatas motor traksi pada bagian bawah *chassis/boggy* lokomotif yang mempunyai tingkat resiko kerusakan yang tinggi akibat getaran secara kontinyu dalam perjalanan dari kota Semarang-Surabaya-Semarang.

Rumus yang digunakan untuk menganalisis kenaikan suhu dan resistansi motor traksi lokomotif adalah : ^[17]

$$T2 = \frac{R2}{R1} (234 + T1) - 234 \quad (1)$$

$$\frac{(T2 + 234)}{(234 + T1)} \times R1 = R2 \quad (2)$$

Dimana :

- 234 = Konstanta (1/α). Tembaga (Cu) 1/4, 27.10⁻³ ⁰C.
- R1 = Resistansi Motor Traksi saat Dingin.
- R2 = Resistansi Motor Traksi saat Panas.
- T1 = Temperatur lilitan ketika Dingin.
- T2 = Rata-rata Temperatur Motor Traksi.

2.3 Penentuan Kelas Isolasi Motor Traksi Lokomotif berdasarkan Akuisisi Data Suhu.

Penggolongan kelas motor berdasarkan suhu sesuai dengan tingkat kelas insulasi motor dan menurut standarisasi NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*).^[21]

Tabel 2. Kelas Insulasi Motor.^[12]

Class	AC Motor DC, Motor W/1.00 S.F. Max. Total Temperature Range (Including Ambient and Temperature 110 ⁰ Hot Spot) Range	DC Motor Total Temperature Range
A	105 ⁰ C	A 110 ⁰ C
B	130 ⁰ C	B 140 ⁰ C
F	155 ⁰ C	F 170 ⁰ C
H	180 ⁰ C	H 195 ⁰ C

Kelas insulasi jenis tipe motor, (kelas A, B, F, H, N, R, S, dan C) bahwa kekuatan umur motor dapat diketahui jika penggunaan motor berjalan pada jumlah jam operasional dan suhu yang terdeteksi secara kontinyu pada motor tersebut.^[17]

Contoh : Motor kelas A (100 ⁰C – 30 ⁰C) = 70 ⁰C. (3)
 Motor kelas B (120 ⁰C – 30 ⁰C) = 90 ⁰C (4)

Maka motor bertipe kelas A dapat beroperasi dengan batas kemampuan maksimum yang diijinkan yaitu pada suhu 70 ⁰C, ketetapan ini tidak berlaku untuk semua daerah, karena tingkat suhu yang diijinkan maksimum yaitu pada suhu 40⁰C, hal ini dianalisis karena terdapat perbedaan cuaca di setiap daerah dan tujuan lainnya yaitu untuk menjaga kekuatan mesin dalam waktu jangka panjang.^[12]

3. Hasil dan Analisis

3.1 Pembuatan Alat untuk Pengukuran Suhu Motor Traksi Lokomotif.

Sistem pengujian pertama yaitu pengkalibrasian alat yang diterapkan oleh penulis yaitu dengan cara membandingkan sensor dari alat dan dibandingkan dengan alat sensor suhu *thermobimetal*.



Gambar 4. Kalibrasi Sensor

Sistem getar/goncangan yang digunakan saat menguji coba dengan metode sederhana yaitu dengan memasang alat didalam jok (Tempat Duduk) kendaraan sepeda motor dengan jarak yang cukup jauh yaitu dimulai dari kota Semarang-Surakarta-Semarang dan dari kota Semarang-Purbalingga-Semarang. Selain menguji coba getar pada alat, penulis juga menguji coba kinerja alat sensor suhu panas pada kendaraan sepeda motor saat perjalanan.

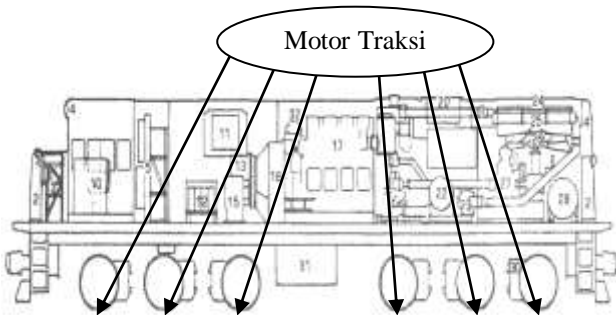
Pembuatan alat untuk pengukuran suhu motor traksi sudah berhasil terlaksana dan sudah diuji cobakan pada lokomotif diesel elektrik CC 201 04 01 yang telah dilakukan *service* berkala P1 oleh PT. Kereta Api Indonesia DAOP IV Dipo Induk SMC.



Gambar 5. Dokumentasi Alat

3.2 Menghitung Kenaikan Temperatur dengan Metode Resistansi.

Motor Traksi pada lokomotif CC 201 berjenis motor DC memiliki empat pasang kutub magnet dan jenis belitan seri dengan belitan *commutating* yang diberi pendinginan udara yang dihasilkan dari *Blower* traksi motor. Sistem kerja traksi motor yaitu mengubah energi listrik yang berasal dari Main Generator untuk dirubah menjadi energi mekanik putaran untuk diteruskan ke roda lokomotif.^[14]



Gambar 6. Lokomotif CC 201

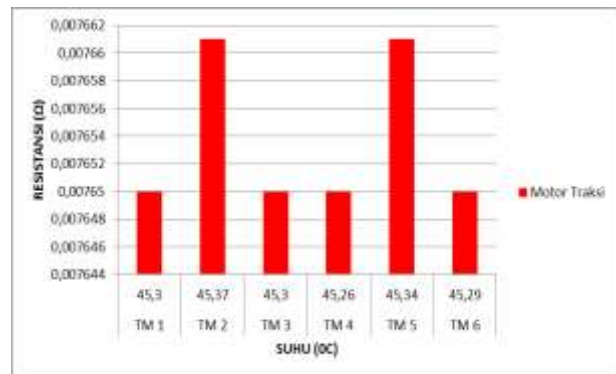
Pada penelitian ini data yang diperoleh adalah data lapangan berupa angka hasil pengukuran. Selanjutnya data diolah, maka didapatkan suhu dan nilai resistansinya sehingga mampu menampilkan suatu data yang mudah untuk dipahami dalam bentuk tabel dan grafik untuk dilakukan analisis.

Tabel 3. Pengukuran Suhu Terhadap Resistansi Motor Traksi

SMG-SBY-SMG	Suhu (°C)	Resistansi (Ω)
TM 1	45,3	0,00765
TM 2	45,37	0,007661

TM 3	45,3	0,00765
TM 4	45,26	0,00765
TM 5	45,34	0,007661
TM 6	45,29	0,00765

Setelah data perhitungan analisa didapatkan, maka jika dilihat pergerakan suhu dan resistansinya selama dalam perjalanan dapat dibuat dalam grafik 7.



Gambar 7. Grafik resistansi dan suhu motor traksi

Pada gambar grafik bahwa pergerakan suhu di semua motor traksi mulai dari TM 1-TM 6 mengalami peningkatan, dimana TM 2 dan TM 5 mengalami kenaikan suhu yang signifikan, hal ini disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adanya perbedaan desain dalam *bogie* lokomotif yang tidak terdapat adanya suspensi.

Faktor lain penyebab meningkatnya suhu dan nilai resistansi pada motor traksi disebabkan oleh adanya gaya tarik motor traksi untuk mendapatkan aksi menarik beban muatan kereta gerbong yang mengacu pada rumus :

$$F = M \times A \quad (5)$$

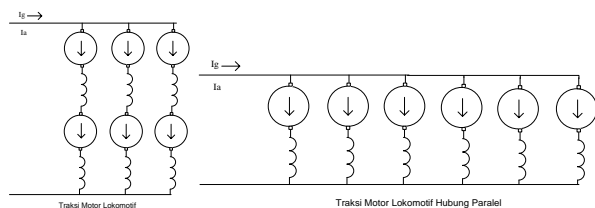
Dimana :

F = Gaya (Newton)

M = Massa (Kg)

A = Percepatan Gravitasi (m/s)

Pada saat lokomotif akan berjalan menarik muatan rangkaian gerbong, maka lokomotif membutuhkan peningkatan tenaga ekstra, dimana pada ke-enam motor traksi mendapatkan eksitasi dengan cara diseri-paralel.



Gambar 8. Motor Traksi Lokomotif Hubung Seri dan Paralel^[9]

Secara otomatis tenaga yang digerakan oleh lokomotif menjadi lebih besar sehingga dapat menimbulkan efek panas mekanis dan elektris, yang berdampak pada :

$$T = \frac{9,55 \cdot P}{n} \quad (6)$$

Dimana :

- T = Torsi (N/m)
- 9,55 = Konstanta
- P = Daya
- n = Putaran Motor (Rpm)

$$\phi = \frac{6,28 \times T}{Z \cdot I} \quad (7)$$

Dimana :

- ϕ = Efektif Fluk per Pole (W/b)
- 6,28 = Konstanta (2π)
- T = Torsi (N/m)
- Z = Jumlah Lilitan Kumparan
- I = Armature Current (A)

$$n = \frac{60 \times ES}{Z \cdot \phi} \quad (8)$$

Dimana :

- n = Putaran Motor (Rpm)
- 60 = Konstanta (m/s)
- ES = Tegangan Input TM
- Z = Jumlah Lilitan Kumparan
- ϕ = Efektif Fluk per Pole (W/b)

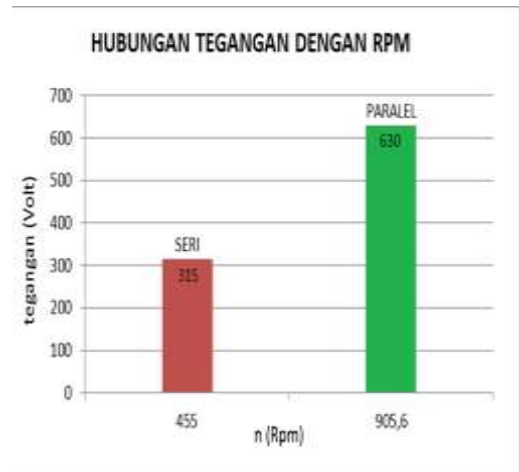
Hasil analisis dan perhitungannya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Eksitasi Traksi Motor Hubung Seri- Paralel

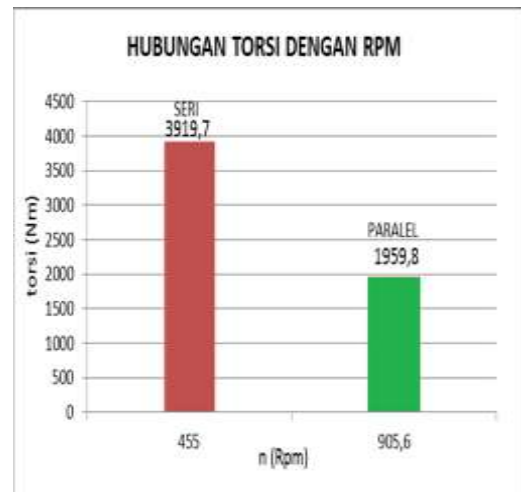
Eksitasi	Seri	Paralel
ES (V)	315	630
I (A)	590	295
T (Nm)	3900	1959,8
N (Rpm)	455	905,6



(a)



(b)



(c)

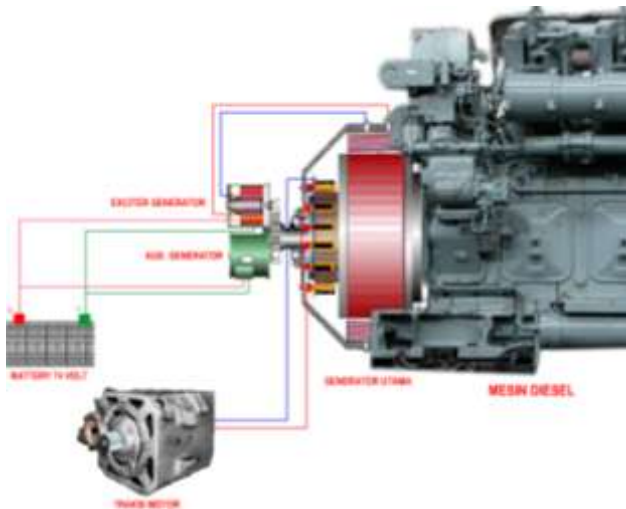


(d)

Gambar 9. (a)(b)(c)(d) Grafik Eksitasi Traksi Motor Hubung Seri - Paralel

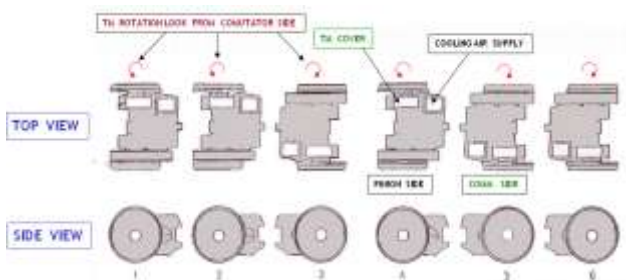
Hubungan antara torsi dengan RPM yaitu ketika pada posisi seri, torsi yang dihasilkan besar dan RPM nya rendah, berbeda dengan sistem saat traksi motor di posisi paralel yaitu berbanding terbalik dengan sistem posisi di seri.

Pada lokomotif diesel elektrik terdapat didalam lemari kontrol salah satunya adalah *power* kontaktor yang berfungsi untuk membatasi atau mengatur tegangan arus listrik yang masuk ke traksi motor dari *main* generator.



Gambar 10. Sistem Kerja lokomotif CC 201 ^[9]

Selain pada sistem eksitasi, pergerakan pada roda lokomotif pun juga terdapat sistem perbedaan gerak roda pada ke enam traksi motor. Hal ini bertujuan untuk meringankan pergerakan roda dan mencegah terjadinya *slip* roda saat lokomotif berjalan di jalan rel. Berikut ini akan dijelaskan sistem pergerakan roda pada Lokomotif Diesel Elektrik CC 201.



Gambar 11. Pergerakan Roda Lokomotif ^[9]

Faktor beban muatan pada lokomotif, kereta penumpang, dan kereta gerbong barang juga mempunyai berat dan spesifikasi yang berbeda berdasarkan jenis lokomotif (D, BB, CC, KRDI, dan KRDE), kereta penumpang (K3,K5) dan kereta gerbong (K9). Berikut ini akan dijelaskan diantaranya :

- Beban Lokomotif ^[10].
Lokomotif CC 201 yang masing-masing *bogie* terdiri atas 3 gandar. Beban lokomotif 84 ton, maka :
Gaya pada *bogie* (P_b) = $84/2$ ton = 42 ton. (9)
Gaya gandar (P_g) = $42/3$ ton = 14 ton. (10)
Gaya roda statis (P_s) = $14/2$ ton = 7 ton. (11)
- Beban Kereta Penumpang (*Car*) ^[10].
Kereta digunakan untuk angkutan penumpang. Kereta mempunyai karakteristik kenyamanan penumpang dan kecepatan yang tinggi, sehingga bentuk *bogie* dan suspensi didesain khusus. Berat kereta (berisi penumpang) ialah sekitar 40 ton, Kereta ditumpu oleh 2 *bogie* (20 ton), masing-masing *bogie* terdiri atas 2 gandar (10 ton).
- Beban Gerbong Barang (*Wagon*) ^[10].
Gerbong digunakan untuk angkutan barang. Prinsip beban ialah sama dengan lokomotif dan kereta, yang membedakan hanya pada tipe/jenis *bogie* yang digunakan. Satu gerbong dapat terdiri atas 2 gandar (tanpa *bogie*) atau 4 gandar (dengan *bogie*).

Dari perhitungan analisis maka dapat ditarik kesimpulan bahwa selama perjalanan lokomotif dari kota SMG-SBY-SMG, motor traksi lokomotif mempunyai nilai selisih persentase kesalahan suhu antara alat yang dibuat oleh penulis dan alat sensor *thermobimetal* milik PT. Kerta Api Indonesia, sehingga dapat dihitung nilai persentasenya adalah sebagai berikut :

$$\% = \frac{T2 \text{ terukur} - T2 \text{ terhitung}}{T2 \text{ terukur}} \times 100\% \quad (12)$$

Dimana :

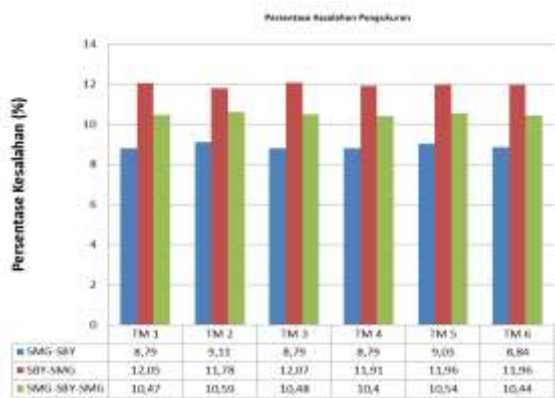
% = Persentase Kesalahan

T2 terhitung = Suhu rata-rata Motor Traksi ^[17]

T2 terukur = Suhu rata-rata Motor Traksi (Pembacaan LM35)

Tabel 5. Perbandingan Nilai Persentase Kesalahan Pengukuran Motor Traksi

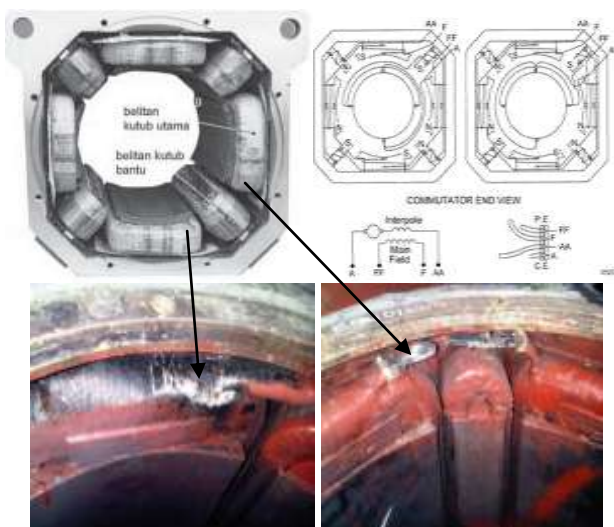
Pengukuran Motor Traksi Lokomotif	Persentase Kesalahan (%)		
	SMG-SBY	SBY-SMG	SMG-SBY-SMG
TM 1	8,79	12,05	10,47
TM 2	9,11	11,78	10,59
TM 3	8,79	12,07	10,48
TM 4	8,79	11,91	10,4
TM 5	9,03	11,96	10,54
TM 6	8,84	11,96	10,44



Gambar 12. Persentase Kesalahan Pengukuran Suhu

Berdasarkan perhitungan nilai kesalahan alat dalam pengukuran suhu motor traksi terdapat nilai persentase yang tinggi, hal ini disebabkan oleh faktor penempatan alat yang berada dibawah *chassis* lokomotif bagian *bogie* motor traksi yang banyak terjadi getaran dan guncangan saat dalam perjalanan.

Sistem penyimpanan data *record* suhu pada alat dengan waktu per lima menit, untuk mendapatkan satu data suhu motor traksi lokomotif diesel elektrik. Pada suhu 44,469 °C motor traksi memiliki nilai resistansi sebesar 0,0076368Ω dan pada suhu operasional maksimum sebesar 46,129°C terjadi peningkatan nilai resistansi sebesar 0,00768233Ω, sedangkan nilai resistansi motor traksi yang diijinkan maksimum adalah 0,00754 Ω. Jika diteruskan dalam beroperasi, maka motor traksi akan mengalami banyak gangguan diantaranya *bearing as* roda macet dan gangguan *flash over* pada lilitan *main pole* dan *inter pole* yang diakibatkan oleh faktor meningkatnya suhu, nilai resistansi dan menurunnya tingkat kekuatan isolasi motor traksi lokomotif diesel elektrik CC 201 04 01.

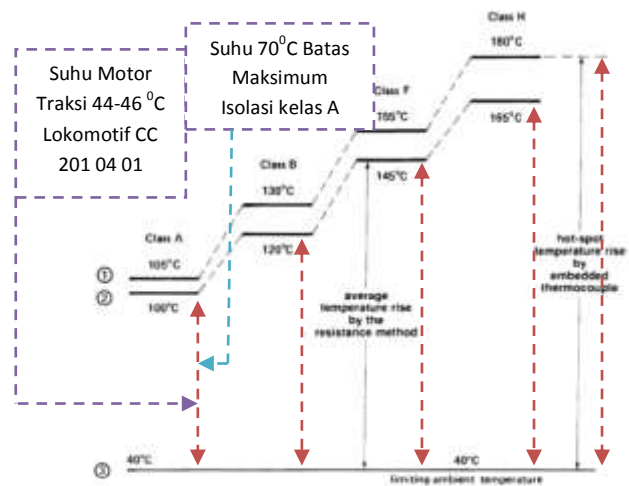


Gambar 13. Skematik dan Kerusakan Motor Traksi

Pada gambar dijelaskan pada kabel input (A), dan outputnya (AA), serta kabel input (F) dan output (FF) mempunyai kinerja yang sama yaitu bisa bekerja menggerakkan maju-mundur roda motor traksi lokomotif.

3.3 Penentuan Kelas Isolasi Motor Traksi Lokomotif berdasarkan Akuisisi Data Suhu.

Penentuan kelas isolasi motor traksi yang dilakukan dengan cara pengukuran suhu secara *linear* didalam motor traksi lokomotif diesel elektrik CC 201 04 01 selama 13 jam perjalanan Semarang-Surabaya-Semarang, tercatat pada data suhu terendah antara 44,469 °C hingga pada suhu maksimum yaitu sebesar 46,08 °C pada keenam motor traksi lokomotif yang mengacu pada *class insulation level*, dengan grafik *hot spot temperature rise* yaitu masuk pada *class A insulation*, dimana batas suhu operasional motor traksi yang diijinkan maksimum yaitu sebesar 70 °C, sesuai dengan ketentuan tingkat kekuatan umur motor traksi yang mengacu pada standarisasi *NEMA (National Electrical Manufacturers Association)*.



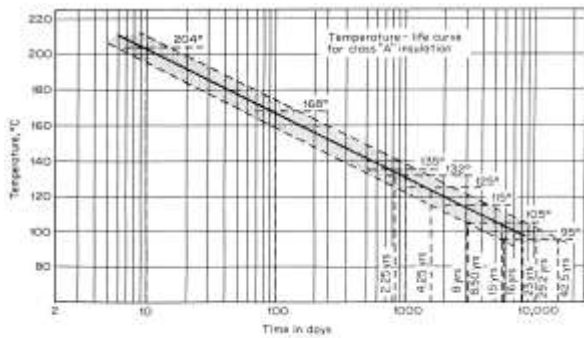
Typical limits of some dc and ac industrial machines, according to the insulation class:
 (1) Shows the maximum permissible temperature of the insulation to obtain a reasonable service life
 (2) Shows the maximum permissible temperature using the resistance method
 (3) Shows the limiting ambient temperature

Gambar 14. Grafik Hot Spot Temperature Rise Motor.

Kasus motor traksi pada lokomotif ini tidak dapat diprediksi tingkat kerusakannya, hal ini disebabkan oleh perjalanan tiap lokomotif yang melebihi batas dan faktor lainnya seperti beban muatan lokomotif yang berlebihan, stuktur jalan rel yang bergelombang tidak rata dan faktor cuaca.

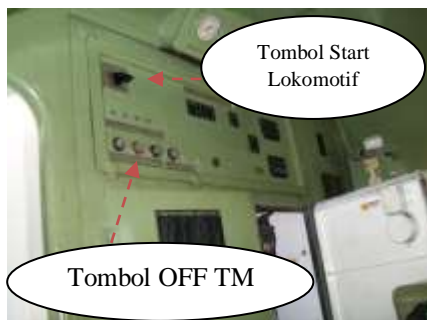
Tingkat kebutuhan transportasi yang meningkat dan terbatasnya jumlah armada lokomotif membuat PT. Kereta Api Indonesia berfikir keras untuk tetap memenuhi kebutuhan sektor transportasi yang dibutuhkan oleh masyarakat.

Semakin banyak jam operasional dan beban muatan lokomotif, maka akan semakin cepat terjadi gangguan kerusakan pada traksi motor, hal ini disebabkan oleh faktor usia pemakaian dari lokomotif, untuk mengurangi tingkat kerusakan yaitu dengan melihat batas kemampuan operasional mesin lokomotif dan motor traksi tersebut. Penjelasan tingkat kekuatan motor traksi dapat dilihat pada gambar



Gambar 15. Grafik suhu kekuatan isolasi dalam pengoperasian

Ketika salah satu traksi motor lokomotif terjadi kerusakan, maka dibagian ruang kendali masinis berbunyi bel berdering yang menandakan adanya kerusakan, maka masinis segera menekan tombol untuk memutuskan traksi motor tersebut agar tidak bekerja, sehingga yang bekerja merupakan traksi motor yang masih normal. Dalam menentukan titik kerusakan traksi motor yang berjumlah enam unit itu dengan cara menekan tombol sebanyak enam kali. Jika kerusakan pada traksi motor nomor tiga maka menekan tombol sebanyak tiga kali hingga suara bel berhenti berdering, maka masinis harus membuat laporan kerusakan yang akan ditindak lanjuti pada dipo lokomotif berikutnya.



Gambar 16. Kontrol Panel Lokomotif CC 201

Banyaknya kasus kerusakan yang terjadi salah satunya terjadinya *flashover* pada traksi motor membuat PT.KAI terus berupaya untuk meningkatkan kualitas dalam perbaikan dengan cara melakukan *service* lokomotif secara berkala, sesuai dengan prosedur operasional dan menjaga kualitas bahan *spare part* (suku cadang) yang

digunakan. Keterbatasan bahan dan waktu proses pengiriman *spare part* dari *General Electric* Amerika membuat PT. Kereta Api Indonesia bekerja ekstra dalam menangani dan menganalisa setiap kerusakan lokomotif.



Gambar 17. Akibat Flashover pada Motor Traksi.^[14]

4. Kesimpulan

Pembuatan alat untuk pengukuran suhu motor traksi sudah berhasil terlaksana dan sudah diuji cobakan pada lokomotif diesel elektrik CC 201 04 01 yang telah dilakukan *service* berkala P1 oleh PT. Kereta Api Indonesia DAOP IV Dipo Induk SMC.

Sistem penyimpanan data *record* suhu pada alat dengan waktu per lima menit, untuk mendapatkan satu data suhu motor traksi lokomotif diesel elektrik. Pada suhu 44,469 °C motor traksi memiliki nilai resistansi sebesar 0,0076368Ω dan pada suhu operasional maksimum sebesar 46,129°C terjadi peningkatan nilai resistansi sebesar 0,00768233Ω, sedangkan nilai resistansi motor traksi yang diijinkan maksimum adalah 0,00754 Ω. Jika diteruskan dalam beroperasi, maka motor traksi akan mengalami banyak gangguan diantaranya *bearing as* roda macet dan gangguan *flash over* pada lilitan *main pole* dan *inter pole* yang diakibatkan oleh faktor meningkatnya suhu, nilai resistansi dan menurunnya tingkat kekuatan isolasi motor traksi lokomotif diesel elektrik CC 201 04 01.

Penentuan kelas isolasi motor traksi yang dilakukan dengan cara pengukuran suhu secara *linear* didalam motor traksi lokomotif diesel elektrik CC 201 04 01 selama 13 jam perjalanan Semarang-Surabaya-Semarang, tercatat pada data suhu terendah antara 44,469 °C hingga pada suhu maksimum yaitu sebesar 46,08 °C pada keenam motor traksi lokomotif yang mengacu pada *class insulation level*, dengan grafik *hot spot temperature rise* yaitu masuk pada *class A insulation*, dimana batas suhu operasional motor traksi yang diijinkan maksimum yaitu sebesar 70 °C, sesuai dengan ketentuan tingkat kekuatan umur motor traksi yang mengacu pada standarisasi *NEMA* (*National Electrical Manufacturers Association*).

Daftar Pustaka

- [1]. Andreas Steimel, *Electric Traction Motive Power and Energy Supply*, oldenbourg Industrieverlag Munchen, German. 2008.
- [2]. F. W. Carter, 1922, *RAILWAY ELECTRIC TRACTION*, Edward Arnold & Co. London.
- [3]. H. Partab, Nai Sarak, *Modern Electric Traction*, Delhi 1682.
- [4]. Kompas, 3-8-2011.
- [5]. Kontak, No. 2 Thn. XXXIX Februari 2012.
- [6]. Kontak, No. 4 Thn. XXXIX April 2012.
- [7]. Kontak, No. 6 Thn. XXXIX Juni 2012.
- [8]. Petruzella, Frank D, *ELEKTRONIK INDUSTRI*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 1996.
- [9]. Prijono dan Tim Pengajar BPLT. Diktat Transmisi Lokomotif Diesel Elektrik, Perusahaan Umum Kereta Api.
- [10]. Sumanto, MA., *Mesin Arus Searah*, Andi Offset, Yogyakarta, 1984.
- [11]. Suryo Hapsoro Tri Utomo, *JALAN REL*, Penerbit Beta Offset, 2009.
- [12]. ---, *Insulation and Temperature Ratings of Machine*. Februari 2013.
- [13]. ---, *Traksi dan Sistem Transportasi Listrik*, 2013.
- [14]. Tim Implementasi Pemeliharaan Lokomotif, *Pedoman Pemeliharaan Motor Traksi Type GE 761*. PT. Kereta Api (PERSERO) Proyek Efisiensi Perkeretaapian. September, 2000.
- [15]. Tom Bishop, P.E, *Understanding Motor Temperature Rise Limits*, November 2003, www.easa.com.
- [16]. Wardhana, Lingga, *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware dan Aplikasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- [17]. Wildi Theodore, 2002 *Electrical Machine, Drives and Power Systems*, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio
- [18]. http://atmel.com/dyn/resource/prod_documents/doc2502.pdf, Datasheet mikrokontroler ATmega8535, September 2012.
- [19]. ---, *Datasheet LM35*, <http://alldatasheet.com/img/d/LM35z.pdf>, Agustus 2012.
- [20]. http://www.engineeringtoolbox.com/nema-insulation-classes-d_734.html
- [21]. *NEMA (National Electrical Manufacturers Association)*, Februari 2013.
- [22]. <http://www.migas-indonesia.com/2012/10/high-temperature-windingmotor.html>