

**AUDIT INTENSITAS CAHAYA DAN SUHU UDARA KERETA
API PENUMPANG JARAK JAUH LINTAS
TANJUNGPURBAN - KERTAPATI SESUAI STANDAR
PELAYANAN MINIMUM (SPM) ANGKUTAN ORANG DAN
PELUANG PENGHEMATAN BIAYA PEMBANGKITAN
LISTRIK**

(Skripsi)

Oleh
WAHYU CAHYO HIDAYAT



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRACT

AUDIT OF LIGHT INTENSITY AND AIR TEMPERATURE ON AN INTERCITY PASSENGER TRAIN OF TANJUNGPANG - KERTAPATI ACCORDING TO THE MINIMUM SERVICE STANDARD OF PEOPLE TRANSPORTATION AND ELECTRICITY GENERATION COST SAVING OPPORTUNITY

By

WAHYU CAHYO HIDAYAT

Passenger trains has a minimum service standard that must be met by service providers in providing services to train passengers. In the minimum the service standard, has been set of points of light intensity and air temperature relating to the passengers comfort. The purpose of the research is to audit both points to know the condition of the installed lights and air conditioner (AC) in the passenger train, and make the planning of the lights and air conditioners to meet the requirements of a minimum service standard.

The research was done by using a lux meter, thermometer, and clamp meter. The method of light measurement in this study uses the regulation in SNI 16-7062-2004 with the addition of sample point. For measuring the air temperature is done by taking samples at the farthest point of the AC unit each coach to get the average of air temperature.

The results showed that the retrofit of light on the type of LED lights and AC changes to the type of AC inverter can reduce the active power consumption by 21.48% (for the regular Sriwijaya train sets) and 63.28% (for the regular Rajabasa train sets). So it can also improve the level of energy consumption intensity with a decrease of 11.33% (for the regular Sriwijaya train sets) and 66.31% (for the regular Rajabasa train sets). Although there is a change in the electrical load, the power plants in the train sets still have fixed specific fuel consumption (SFC) and heat rate (HR) values, but there is an opportunity to save fuel generation costs.

Keywords : passenger coach, light intensity, air conditioner, intensity of energy consumption, fuel consumption.

ABSTRAK

AUDIT INTENSITAS CAHAYA DAN SUHU UDARA KERETA API PENUMPANG JARAK JAUH LINTAS TANJUNGPINRANG– KERTAPATI SESUAI STANDAR PELAYANAN MINIMUM (SPM) ANGKUTAN ORANG DAN PELUANG PENGHEMATAN BIAYA PEMBANGKITAN LISTRIK

Oleh

WAHYU CAHYO HIDAYAT

Kereta api penumpang memiliki standar pelayanan minimum (SPM) yang harus dipenuhi oleh penyedia layanan dalam memberikan pelayanan kepada penumpang. Dalam SPM diatur poin intensitas cahaya dan suhu udara yang berkaitan dengan kenyamanan penumpang. Tujuan dari penelitian adalah melakukan audit kedua poin tersebut untuk mengetahui kondisi terpasang lampu dan pendingin ruangan (*Air Conditioner/AC*) di kereta api penumpang, serta membuat perencanaan lampu dan AC untuk pemenuhan syarat SPM.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan lux meter, termometer, dan tang ampere. Metode pengukuran cahaya pada penelitian ini menggunakan peraturan pada SNI 16-7062-2004 dengan penambahan titik sampel. Adapun untuk mengukur suhu udara dilakukan dengan mengambil sampel di titik terjauh dari unit AC tiap kereta agar mendapatkan suhu udara rata-rata.

Adapun hasil penelitian menunjukkan bahwa *retrofit* penerangan ke jenis lampu LED dan perubahan AC ke jenis AC *inverter* dapat menurunkan konsumsi daya aktif sebesar 21,48% (KA Sriwijaya reguler) dan 63,28% (KA Rajabasa reguler). Sehingga juga dapat memperbaiki tingkat intensitas konsumsi energi (IKE) dengan penurunan sebesar 11,33% (KA Sriwijaya reguler) dan 66,31% (KA Rajabasa reguler). Walaupun terdapat perubahan beban listrik, pembangkit di rangkaian kereta masih memiliki nilai *specific fuel consumption* (SFC) dan *heat rate* (HR) yang tetap, namun didapatkan peluang penghematan biaya konsumsi bahan bakar pembangkitan.

Kata kunci : kereta penumpang, intensitas cahaya, pendingin udara, intensitas konsumsi energi, konsumsi bahan bakar.

**AUDIT INTENSITAS CAHAYA DAN SUHU UDARA KERETA API
PENUMPANG JARAK JAUH LINTAS TANJUNGPANG -
KERTAPATI SESUAI STANDAR PELAYANAN MINIMUM (SPM)
ANGKUTAN ORANG DAN PELUANG PENGHEMATAN BIAYA
PEMBANGKITAN LISTRIK**

**Oleh:
Wahyu Cahyo Hidayat**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi

: AUDIT INTENSITAS CAHAYA DAN SUHU UDARA KERETA API PENUMPANG JARAK JAUH LINTAS TANJUNGPINANG - KERTAPATI SESUAI STANDAR PELAYANAN MINIMUM (SPM) ANGKUTAN ORANG DAN PELUANG PENGHEMATAN BIAYA PEMBANGKITAN LISTRIK.

Nama Mahasiswa

: Wahyu Cahyo Hidayat

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1315031096

Jurusan

: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing,

Herri Gusmedi, S.T., M.T.
NIP : 19710813 199903 1 003

Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.
NIP : 19631114 199903 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP. 19731128 199903 1 005

Disahkan Tanggal : 8 Agustus 2018

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

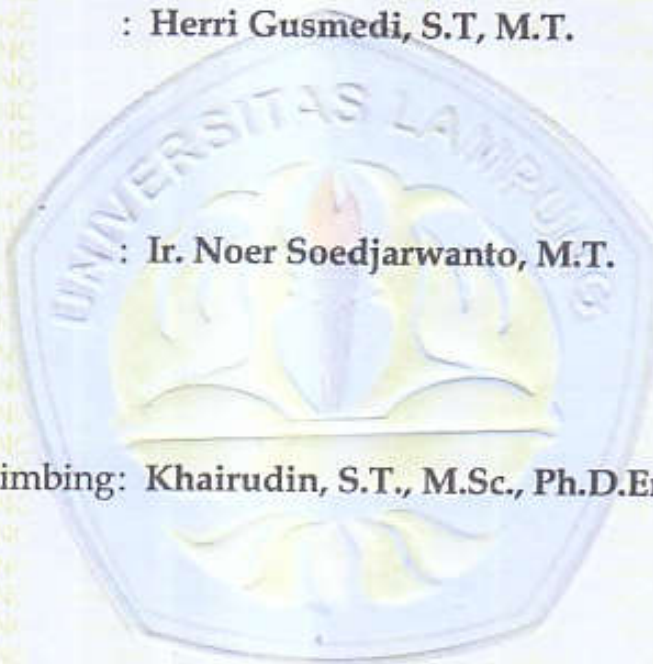
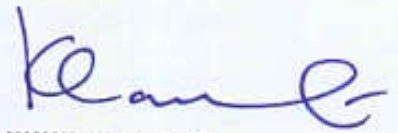
Ketua : Herri Gusmedi, S.T, M.T.



Sekretaris : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.



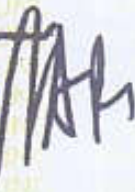
Penguji
Bukan Pembimbing: Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 5 Juni 2018

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandarlampung, 1 Agustus 2018



Wahyu Cahyo Hidayat
NPM. 1315031096

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Wahyu Cahyo Hidayat dilahirkan di Bandarlampung pada tanggal 10 Juni 1996, sebagai anak tunggal dari pasangan Bapak Drs. Hi. Maulan dan Ibu Hj. Supiati, S.Pd.

Penulis mulai menempuh pendidikan formal di Sekolah Dasar Negeri 2 Labuhanratu Bandarlampung diselesaikan pada tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama Negeri 22 Bandarlampung diselesaikan pada tahun 2010, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 5 Bandarlampung diselesaikan pada tahun 2013.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Elektronika Daya dan aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (Himatro Unila) sebagai Anggota Divisi Media Informasi (2014-2015) serta Wakil Sekretaris Umum (2015-2016).

Pada bulan Juli-Agustus 2016 penulis melaksanakan kerja praktik di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Tarahan Unit 3 dan 4, khususnya pada bagian Pemeliharaan Listrik (Har Listrik) untuk mempelajari dan mengaplikasikan ilmu bidang Sistem Tenaga Elektrik.

Pada saat kerja praktik penulis membuat karya tulis berjudul “Pengaturan Kecepatan Motor AC 3 Fasa Untuk Mengatur Mobilitas Pemakaian Batu Bara pada *Coal Silo* PLTU Tarahan dengan *Unit Variable Speed Drive (VSD)* Tosvert VF-A7”.

Adapun untuk organisasi luar fakultas, penulis pernah aktif di Paguyuban Karya Salemba Empat Universitas Lampung sebagai Sekretaris Umum (2015-2017) dan Anggota Divisi Komunikasi dan Informasi (2017-2018). Selain itu penulis juga terpilih sebagai salah satu “BPJS Ketenagakerjaan *Ambassador*” sejak bulan Desember 2015 s.d. Desember 2017 sebagai tindak lanjut pelatihan kepemimpinan BPJS Ketenagakerjaan *Ambassador Camp 1 Batch 1*.

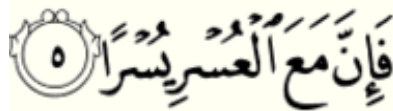
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Sujud syukur kupersembahkan pada Allah SWT Yang Maha Kuasa, berkat dan rahmat-Nya lah detak jantung, denyut nadi, nafas, dan putaran roda kehidupan yang diberikan-Nya hingga saat ini aku dapat mempersembahkan skripsi pada orang-orang tersayang:

Kedua orang tuaku Bapak (Drs. Hi. Maulan) dan Ibuku (Hj. Supiati, S.Pd.) tercinta yang tak pernah lelah membesarkanku dengan penuh kasih sayang, serta memberi dukungan, perjuangan, motivasi dan pengorbanan dalam hidup ini.

Terima kasih buat Bapak dan Ibu.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q. S. Alam Nasyroh: 5)



“Ojo Kuminter Mundak Keblinger.”

“Ojo Cidro Mundak Ciloko.”

“Jangan merasa paling pandai agar tidak salah arah.”

“Jangan suka berbuat curang agar tidak celaka.”

(Filosofi Jawa)



“Orang yang baik dapat membuat orang lain menjadi baik; itu berarti bahwa kebaikan akan mendatangkan kebaikan dalam masyarakat, sehingga orang lain juga akan baik.”

(Raja Thailand 1946-2016 ; H. M. Bhumibol Adulyadej)

SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan kerja praktik dan menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “Audit Intensitas Cahaya dan Suhu Udara Kereta Api Penumpang Jarak Jauh Lintas Tanjungkarang - Kertapati Sesuai Standar Pelayanan Minimum (SPM) Angkutan Orang dan Peluang Penghematan Biaya Pembangkitan Listrik”. Karya tulis ilmiah ini ialah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

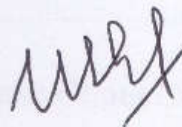
1. Bapak (Drs. Hi. Maulan) dan Ibu (Hj. Supiati, S.Pd) sebagai orang tua penulis yang telah memberikan doa, kasih sayang, motivasi, dan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

4. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T., selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing Akademik (PA), atas bimbingannya selama penulis menempuh masa studi di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediaan, arahan, saran, serta dorongan semangat dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Ibu Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping atas kesediaan, arahan, saran, serta dorongan semangat dalam proses penyelesaian skripsi ini;
7. Bapak Khairudin S.T., M.Sc., Ph.D.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah berkenan memberikan masukan, kritik, dan saran dalam penyelesaian skripsi ini;
8. Mbak Dian Rustiningsih (Ning) atas bantuannya dalam mengurus masalah administrasi selama penulis menjadi mahasiswa;
9. Bapak dan ibu dosen yang telah memberikan ilmu dan wawasan selama penulis menimba ilmu di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
10. Teman-teman serta kakak-kakak di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik dan Laboratorium Teknik Konversi Listrik yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama ini.
11. Teman-teman Teknik Elektro Universitas Lampung angkatan 2013 yang luar biasa.
12. Teman-teman Paguyuban Karya Salemba Empat Universitas Lampung atas motivasinya.

13. Teman-teman Komunitas Barisan Railfans Divre IV (Baradipat) Tanjungkarang yang telah berbagi canda, tawa, dan motivasinya.
14. Nandha Ervina, sebagai seseorang yang telah menemani dan membantu menyemangati penulis dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi.
15. Bapak Franoto Wibowo, Bapak Asparen, Ibu Ira Wizra, dan Mbak Elawati selaku bagian Humas Divre IV Tanjungkarang PT Kereta Api Indonesia (Persero) yang membantu administrasi penelitian penulis.
16. Bapak Dede Iskandar selaku Kepala Ruas Elektrik Dipo Kereta Tanjungkarang beserta sekalian staf yang membantu pengambilan data penelitian di lingkungan PT Kereta Api Indonesia (Persero).
17. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala dukungannya.

Setiap karya yang dibuat oleh manusia, tidak lepas dari kesalahan. Begitupun, dengan tugas akhir ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. *Amin ya robbal alamin.*

Bandarlampung, 1 Agustus 2018
Penulis



Wahyu Cahyo Hidayat

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Hipotesis	5
1.7. Sistematika Penulisan	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Definisi Kereta.....	8
2.2. Penelitian yang Relevan	9
2.3. Standar Pelayanan Minimum Angkutan Orang Dengan KA.....	11
2.4. Iluminasi	13
2.4.1. Hukum-Hukum Iluminasi	13
2.4.2. Pengukuran Iluminasi	15
2.4.3. Standar Metode Pengukuran Intensitas Penerangan Ruangan	17
2.4.4. Perhitungan Tingkat Pencahayaan.....	19

2.4.5.	Rasio Sela Jarak Terhadap Ketinggian	22
2.4.6.	Tata Letak Luminari	23
2.5.	Tata Udara	24
2.5.1.	Refrigerasi.....	24
2.5.2.	Pengondisian Udara (<i>Air Conditioning</i>)	25
2.5.3.	Sistem Tata Udara dan Manajemennya	25
2.6.	Rangkaian Tiga Fasa	27
2.6.1.	Rangkaian Bintang (<i>Wye</i>).....	27
2.6.2.	Rangkaian Delta (Segitiga).....	29
2.7.	Intensitas Konsumsi Energi (IKE).....	30
2.8.	Pembangkit Daya.....	32
2.8.1.	Mesin Diesel	32
2.8.2.	Generator AC.....	33
2.8.3.	Klasifikasi Pembangkit Listrik Bolak-Balik (AC)	35
2.9.	Indikator Kinerja Pembangkit Daya.....	40
2.9.1.	Konsumsi Energi Spesifik/ <i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC).....	40
2.9.2.	Tara Kalor/ <i>Heat Rate</i> (HR)	42
2.9.3.	Hubungan Konsumsi Energi Spesifik/ <i>Specific Fuel</i> <i>Consumption</i> (SFC) dan Beban	44
III.	METODE PENELITIAN	46
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	46
3.2.	Alat Penelitian	46
3.3.	Tahap Pelaksanaan Penelitian	47
3.3.1.	Studi Literatur	47
3.3.2.	Mengidentifikasi Masalah	47
3.3.3.	Observasi	47
3.3.4.	Pengumpulan Data.....	48
3.3.5.	Pengolahan Data	49
3.3.6.	Analisis Hasil.....	50
3.4.	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Penelitian	51

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1. Susunan Rangkaian KA	52
4.1.1. KA Sriwijaya	52
4.1.2. KA Rajabasa	53
4.2. Spesifikasi Ruangan Kereta Penumpang	55
4.2.1. Kelas Eksekutif (K1)	55
4.2.2. Kelas Bisnis (K2)	56
4.2.3. Kelas Ekonomi (K3)	57
4.3. Sistem Instalasi Kelistrikan Rangkaian Kereta Penumpang	58
4.4. Komponen Beban Kereta Penumpang	61
4.4.1. Pendingin Ruangan (<i>Air Conditioner/AC</i>)	61
4.4.2. Lampu Penerangan	62
4.4.3. Layar <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD)	63
4.4.4. Sistem Audio-Video	64
4.4.5. Kipas Pembuangan Udara (<i>Exhaust Fan</i>)	65
4.4.6. Peralatan Restorasi	66
4.4.7. Lampu Semboyan 21	67
4.4.8. Utilitas Lain-Lain	67
4.5. Pembahasan Kondisi Penerangan	68
4.5.1. Metode Pengukuran Cahaya di Kereta	68
4.5.2. Penerangan Kereta Kondisi Terpasang	69
4.5.3. Pengukuran Cahaya Kereta Penumpang	71
4.5.4. Rekomendasi <i>Retrofit</i> Penerangan Kereta	73
4.6. Pembahasan Kondisi Pendingin Udara	80
4.6.1. Pendingin Udara Kereta Penumpang Pada Kondisi Terpasang	80
4.6.2. Hasil Pengukuran Suhu Udara	84
4.6.3. Rekomendasi Perubahan Pendingin Udara di Kereta	85
4.7. Beban Rangkaian Kereta Penumpang	90
4.7.1. Pengukuran Beban Listrik Rangkaian Kereta Penumpang	90
4.7.2. Perhitungan Kebutuhan Beban Maksimum Terpasang	94
4.7.3. Perhitungan Kapasitas Genset Terpasang	95
4.7.4. Hasil Perhitungan Kebutuhan Beban Maksimum Rekomendasi	96
4.7.5. Beban Listrik Pada Rangkaian Kereta	97
4.8. Konsumsi Energi Listrik Kereta Penumpang	103
4.8.1. KA Sriwijaya	103
4.8.2. KA Rajabasa	105

4.9.	Intensitas Konsumsi Energi Kereta Penumpang	107
4.9.1.	Perhitungan Intensitas Konsumsi Energi	107
4.9.2.	Intensitas Konsumsi Energi KA Sriwijaya	109
4.9.3.	Intensitas Konsumsi Energi KA Rajabasa	112
4.10.	Kinerja Pembangkit	115
4.10.1.	Konsumsi Energi Spesifik/ <i>Specific Fuel Consumption (SFC)</i>	115
4.10.2.	Tara Kalor/ <i>Heat Rate (HR)</i>	118
4.10.3.	Efisiensi Termal	120
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	122
5.1.	Kesimpulan	122
5.2.	Saran	123
	DAFTAR PUSTAKA	124
	LAMPIRAN	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Ilustrasi tipikal bentuk sarana kereta	8
2.2. Hukum kebalikan kuadrat iluminasi	13
2.3. Diagram hukum kosinus	14
2.4. Alat ukur iluminasi tipikal (lux meter)	15
2.5. Pengukuran intensitas penerangan setempat	17
2.6. Pengukuran intensitas penerangan umum luas ruangan $< 10 \text{ m}^2$	18
2.7. Pengukuran intensitas penerangan umum luas ruangan $10-100 \text{ m}^2$	18
2.8. Pengukuran intensitas penerangan umum luas ruangan $>100 \text{ m}^2$	19
2.9. Rasio sela jarak luminari dan ketinggian pemasangannya	23
2.10. Prinsip dasar mesin pendingin	24
2.11. Rangkaian tiga fasa berupa rangkaian bintang (a) dengan diagram fasor rangkaiannya bintang (b).....	27
2.12. Diagram fasor pada rangkaian bintang (<i>wye</i>) jika arus dan sudut fasa sama.....	28
2.13. Rangkaian tiga fasa berupa rangkaian delta (a) dengan diagram fasor rangkaiannya delta (b)	29
2.14. Penampang generator AC	34
2.15. Grafik teoritis hubungan waktu dengan persentase daya listrik yang dibangkitkan oleh generator tipe ESP.....	36
2.16. Grafik teoritis hubungan waktu dengan persentase daya listrik yang dibangkitkan oleh generator tipe PRP	37

2.17. Grafik teoritis hubungan waktu dengan persentase daya listrik yang dibangkitkan oleh generator tipe LTP	38
2.18. Grafik teoritis hubungan waktu dengan persentase daya listrik yang dibangkitkan oleh generator tipe COP.....	39
2.19. Hubungan fraksi beban terhadap persentase bahan bakar terhadap beban penuh.....	44
3.1. Diagram alir penelitian skripsi.....	51
4.1. Susunan kereta api Sriwijaya yang berupa rangkaian reguler (1), rangkaian tambahan 1 kereta eksekutif (2), rangkaian tambahan 1 kereta bisnis (3), serta rangkaian tambahan 1 kereta eksekutif dan 1 kereta bisnis (4)	53
4.2. Susunan reguler kereta api Rajabasa yang berupa rangkaian reguler (1) dan rangkaian tambahan 1 kereta ekonomi (2).....	53
4.3. Interior kereta penumpang kelas eksekutif.....	55
4.4. Interior kereta penumpang kelas bisnis	56
4.5. Interior kereta penumpang kelas ekonomi.....	57
4.6. Generator Diesel 150 kVA pada kereta KMP3	58
4.7. <i>Junction box</i> yang menghubungkan instalasi listrik antar kereta	59
4.8. Pendingin ruangan tipe <i>split</i> pada kereta kelas ekonomi dan bisnis.....	61
4.9. Pendingin ruangan tipe <i>package</i> pada kereta kelas eksekutif.....	61
4.10. Layar <i>liquid crystal display</i> (LCD) sebagai fasilitas hiburan di kereta kelas eksekutif.....	63
4.11. Sistem Audio-Video berupa (a) penguat audio dan (b) penguat video ..	64
4.12. Kipas pembuangan (<i>exhaust fan</i>) pada (a) toilet dan (b) ruang genset...	65
4.13. Peralatan pada dapur (restorasi) kereta penumpang, seperti (a) kulkas dan (b) <i>oven microwave</i>	66
4.14. Penerapan lampu semboyan 21 pada malam hari sebagai tanda akhiran rangkaian kereta api.....	67
4.15. Denah pengukuran ruangan dengan luas antara 10 m ² -100 m ²	69
4.16. Panel kendali pendingin ruangan tipe <i>package</i>	82

4.17. Grafik pemakaian daya listrik rangkaian KA Sriwijaya.....	90
4.18. Grafik pemakaian daya listrik rangkaian KA Rajabasa.....	92
4.19. Grafik perbandingan daya aktif beban terpasang dengan daya aktif rekomendasi (KA Sriwijaya)	97
4.20. Grafik perbandingan faktor daya beban terpasang dengan daya aktif rekomendasi (KA Sriwijaya)	97
4.21. Grafik perbandingan daya aktif beban terpasang dengan daya aktif rekomendasi (KA Rajabasa)	100
4.22. Grafik perbandingan faktor daya beban terpasang dengan beban rekomendasi (KA Rajabasa).	100
4.23. Grafik energi terpakai antara beban terpasang dengan rekomendasi pada KA Sriwijaya.	103
4.24. Grafik perbandingan energi terpakai antara beban terpasang dengan rekomendasi pada KA Sriwijaya	105
4.25. Grafik perbandingan nilai IKE beban terpasang dengan rekomendasi tiap kereta pada KA Sriwijaya	109
4.26. Grafik perbandingan nilai IKE beban terpasang dengan rekomendasi pada rangkaian KA Sriwijaya	110
4.27. Grafik perbandingan Nilai IKE beban terpasang dengan rekomendasi tiap kereta pada KA Rajabasa.....	112
4.28. Grafik perbandingan nilai IKE beban terpasang dengan rekomendasi pada rangkaian KA Rajabasa	113
4.29. Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar pada tiap jenis rangkaian KA penumpang.....	117
4.30. Grafik nilai <i>heat rate</i> pada tiap jenis rangkaian KA penumpang	119
4.31. Grafik nilai efisiensi termal (η_{th}) pada tiap jenis rangkaian KA penumpang.....	121

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Indikator Standar Pelayanan Minimum Angkutan KA Penumpang	12
2.2. Beberapa Contoh Tingkat Iluminasi.....	16
2.3. Nilai Standar IKE dari Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2012..	30
2.4. Kriteria Standar Nilai IKE Berdasarkan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Tanpa Penggunaan AC	31
2.5. Kriteria Standar Nilai IKE Berdasarkan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Dengan Penggunaan AC.....	31
2.6. Tabel Rentang Nilai Standar Optimum Nilai SFC Pada PLTD	45
4.1. Tabel Jenis Sarana Kereta.....	54
4.2. Data Kapasitas Kereta Pembangkit Alokasi Wilayah Sumatera Bagian Selatan.....	60
4.3. Rekapitulasi Luas Efektif Ruang Penumpang di Kereta Penumpang	68
4.4. Daftar Standar Iluminasi Untuk Ruangan Kereta Penumpang.....	72
4.5. Ikhtisar Nilai Iluminasi Rerata Ruang Penumpang	72
4.6. Tabel Penggunaan Lampu TL-D 18 W/54-765 15L/25	73
4.7. Tabel Penggunaan Lampu TL-D 36 W/54-765 15L/25	74
4.8. Daftar Luas Ruangan Pada Rangkaian Kereta Penumpang.....	75
4.9. Tabel Penggunaan Lampu LEDVALUX® S	76
4.10. Tabel Penggunaan Lampu Ledtube 600mm 8 W 765 T8.....	77
4.11. Tabel Penggunaan Lampu Ledtube 1200 mm 16 W 765 T8.....	77

4.12. Tabel Penggunaan Lampu ECOPACK® LED.....	78
4.13. Tabel Penggunaan Lampu CoreLine Trunking (LL121X 1xLED45S/865 VWB).....	78
4.14. Perbandingan Kondisi Penerangan Kereta Antara Terpasang Dengan <i>Retrofit</i> / Rekomendasi	80
4.15. Pengaturan Sirkulasi Udara AC Tipe <i>Package</i> di Kereta Eksekutif.....	83
4.16. Rekapitulasi Suhu Terukur Pada Ruangan Penumpang	84
4.17. Tabel Penggunaan AC stoneAire SAK 630.....	85
4.18. Tabel Penggunaan AC Sharp AH-A12SCY.....	86
4.19. Tabel Penggunaan AC Sharp AH-A18SCY.....	86
4.20. Tabel Penggunaan AC LG T06EMV	87
4.21. Tabel Penggunaan AC LG D10RIV3	87
4.22. Ikhtisar Perbandingan Beban Listrik AC Kondisi Terpasang Dengan Rekomendasi.....	89
4.23. Ikhtisar Kebutuhan Beban Maksimum Terpasang	94
4.24. Ikhtisar Kebutuhan Beban Maksimum Rekomendasi	96
4.25. Rekapitulasi Persentase Selisih Nilai Daya Aktif dan Faktor Daya Pada KA Sriwijaya	98
4.26. Rekapitulasi Persentase Selisih Nilai Daya Aktif Pada KA Rajabasa....	101
4.27. Rekapitulasi Persentase Selisih Nilai Energi Pada KA Sriwijaya	104
4.28. Rekapitulasi Persentase Selisih Nilai Energi Pada KA Rajabasa.....	106
4.29. Data Konsumsi Energi Listrik dan IKE Pada Rangkaian Kereta Penumpang	108
4.30..Persentase Penghematan IKE Tiap Kereta di Rangkaian KA Sriwijaya	103
4.31. Persentase Penghematan IKE Pada Rangkaian KA Sriwijaya	111
4.32. Persentase Penghematan IKE Tiap Kereta di Rangkaian KA Rajabasa.	112
4.33. Persentase Penghematan IKE di Rangkaian KA Rajabasa.....	114

4.34. Rekapitulasi Nilai SFC Pada Rangkaian Kereta Penumpang.....	115
4.35. Rekapitulasi Nilai Konsumsi Bahan Bakar Pada Kondisi Rekomendasi di Rangkaian Kereta Penumpang.....	116
4.36. Rekapitulasi Peluang Penghematan Biaya Bahan Bakar.....	117
4.37. Rekapitulasi Nilai HR Pada Rangkaian Kereta Penumpang (Kondisi Terpasang)	118
4.38. Rekapitulasi Nilai HR Pada Rangkaian Kereta Penumpang (Kondisi Rekomendasi)	119
4.39. Rekapitulasi Nilai HR dan η_{th} Pada Rangkaian Kereta Penumpang	120

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini seiring dengan perkembangan populasi dan perekonomian kian pesat, mengakibatkan permintaan akan kebutuhan transportasi yang nyaman makin meningkat. Perkembangan tersebut secara tak langsung menyebabkan tingkat kepuasan pelanggan menjadi salah tolak ukur keberhasilan perusahaan operator transportasi, termasuk operator perkeretaapian yaitu PT Kereta Api Indonesia (PT KAI) yang berstatus perusahaan badan usaha milik negara (BUMN).

Karena transportasi erat kaitannya dengan kepuasan pelanggan, maka pemerintah sebagai regulator, dalam hal ini Kementerian Perhubungan (Kemenhub) membuat Standar Pelayanan Minimum (SPM) yang wajib dipatuhi oleh operator (PT KAI), agar penyelenggaraan transportasi (dalam hal ini kereta api penumpang) memenuhi standar kenyamanan agar penumpang dapat melakukan perjalanan nyaman mungkin.

PT KAI telah melakukan berbagai upaya untuk meningkatkan kepuasan penumpang dengan menyediakan armada yang dilengkapi fasilitas penunjang yang disesuaikan dengan kelasnya, untuk meningkatkan kenyamanan penumpang. Adapun fasilitas penunjang yang dimaksud ialah *air conditioner (AC)*, lampu,

televisi LCD, CCTV, dan peralatan lainnya yang merupakan beban pembangkit listrik rangkaian kereta api penumpang.

Dalam SPM yang telah disusun oleh Kemenhub, terdapat 2 unsur peralatan listrik krusial yang wajib ada dalam rangkaian kereta api penumpang, yaitu *air conditioner (AC)* dan lampu. Sehingga suhu udara dan intensitas cahaya, merupakan indikator kenyamanan yang dapat terukur, serta merupakan beban terbesar dalam rangkaian kereta api penumpang.

Suhu udara dan intensitas cahaya yang telah distandardisasikan dalam SPM wajib terpenuhi, namun konsumsi listrik *air conditioner (AC)* dan lampu juga perlu diperhitungkan, sehingga tidak memberatkan pembangkit listrik diesel yang berakibat pada meningkatnya konsumsi bahan bakar *High Speed Diesel (HSD)* atau solar industri yang mengakibatkan peningkatan biaya pembangkitan yang harus dikeluarkan untuk operasional rutin kereta api penumpang.

Dari latar belakang di atas, maka penulis dalam penyusunan skripsi ini mengambil judul “Audit Intensitas Cahaya dan Suhu Udara Kereta Api Penumpang Jarak Jauh Lintas Tanjungkarang - Kertapati Sesuai Standar Pelayanan Minimum (SPM) Angkutan Orang dan Peluang Penghematan Biaya Pembangkitan Listrik” dengan harapan dari skripsi ini dapat mengetahui tingkat konsumsi energi dan solusi penghematan yang dapat direkomendasikan kepada bagian sarana PT Kereta Api Indonesia (Persero).

Pada akhirnya penulis berharap hasil penelitian ini tidak hanya bermanfaat bagi civitas akademika Universitas Lampung, namun juga dapat bermanfaat bagi regulator, operator, dan pemangku kepentingan (*stakeholder*).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimanakah strategi untuk menghemat energi listrik rangkaian kereta api penumpang dengan tetap mengacu pada Standar Pelayanan Minimum (SPM) Angkutan Orang?
2. Bagaimanakah meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar minyak (BBM) terhadap energi listrik yang dihasilkan pembangkit listrik pada rangkaian kereta api penumpang?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan dan pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengevaluasi kesesuaian penerangan dan suhu udara rangkaian kereta api penumpang dengan Standar Pelayanan Minimum (SPM), khususnya indikator intensitas cahaya dan suhu udara dalam kabin kereta penumpang.
2. Mencari peluang untuk melakukan penghematan energi dan biaya pembangkitan mengacu kepada kondisi terpasang (*existing*).
3. Mencari penghematan yang dapat dilakukan dengan memperhatikan standar SPM, *specific fuel consumption* (SFC), dan *heat rate* (HR).

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang akan dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan kualitas intensitas cahaya dan suhu ruangan yang disesuaikan dengan Standar Pelayanan Minimum (SPM) angkutan orang.
2. Menghemat biaya operasional berupa biaya bahan bakar minyak (BBM).

1.5. Batasan Masalah

Hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian tugas akhir penulis adalah:

1. Rangkaian kereta api penumpang yang diteliti dalam skripsi ini adalah rangkaian kereta api Sriwijaya (campuran kelas eksekutif dan bisnis) dan Rajabasa (kelas ekonomi)
2. Indikator yang dapat disesuaikan dengan SPM ialah intensitas cahaya dan suhu udara.
3. Pengukuran konsumsi daya listrik berbentuk sampel dengan rentang waktu tertentu, dengan ikut mempertimbangkan beban listrik yang tak diindikasikan dalam SPM.

1.6. Hipotesis

Dari penjelasan pada yang sudah dijelaskan pada latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa hipotesis yaitu:

1. Penerapan SPM dalam indikator intensitas cahaya dan suhu udara berpengaruh dengan kenyamanan penumpang.
2. Penyesuaian penggunaan lampu dan *air conditioner (AC)* sesuai SPM mempengaruhi beban listrik bagi pembangkit listrik dalam rangkaian kereta api penumpang.
3. Beban listrik keseluruhan pada rangkaian kereta api penumpang dapat mempengaruhi tingkat *specific fuel consumption* dan *heat rate*.
4. Biaya pembangkitan bahan bakar pembangkit rangkaian kereta api penumpang bergantung pada nilai *specific fuel consumption* dan *heat rate*, karena keduanya merupakan indikator efisiensi mesin kalor.

1.7. Sistematika Penelitian

Penulisan skripsi ini disusun menurut sistematika secara runtut sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, manfaat, hipotesis, dan sistematika penulisan. Uraian di atas dimaksudkan untuk menguraikan hal-hal yang bersifat menjelaskan hal yang akan diteliti.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memaparkan pengantar terhadap pengertian umum atau hal teoritis untuk menjelaskan pokok bahasan pada penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini menguraikan tata cara atau teknik yang digunakan dalam mengumpulkan data parameter objek penelitian, beserta pengumpulan data penelitian untuk menunjang keberlangsungan penelitian.

BAB IV PEMBAHASAN

Dalam bab ini menguraikan hasil dan pembahasan. Adapun hasil pengolahan data data penelitian yang berupa nilai *specific fuel consumption*, *heat rate*, dan efisiensi termal. Lalu hasil akhir penelitian juga merupakan perbandingan kondisi beban saat ini dengan kondisi beban rekomendasi penulis.

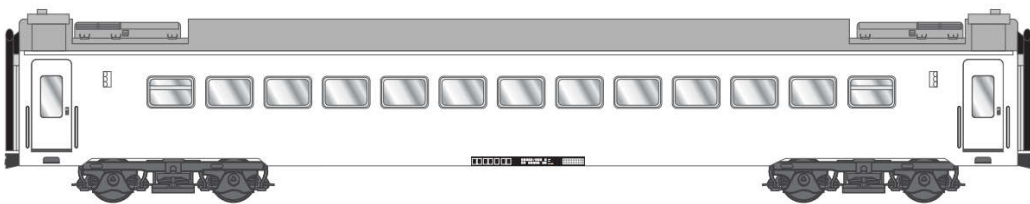
BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang diharapkan dapat bermanfaat bagi regulator, operator, pemangku kepentingan (*stakeholder*), beserta penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Kereta

Sarana pengangkutan orang berbasis rel menurut definisi UU No. 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian pada penjelasan Pasal 96 ayat 1 huruf b disebut dengan “kereta”. Kereta merupakan sarana perkeretaapian yang ditarik lokomotif, dapat juga mempunyai penggerak sendiri yang digunakan untuk mengangkut orang, antara lain kereta rel listrik (KRL) dan kereta rel diesel (KRD). Adapun bagian komplementer dari sarana kereta ialah kereta makan, kereta bagasi, dan kereta pembangkit [1].



Gambar 2.1. Ilustrasi tipikal bentuk sarana kereta.

Sementara menurut Ir. Hartono AS, MM, kereta merupakan sebutan kendaraan rel yang berfungsi untuk mengangkut penumpang lengkap dengan fasilitasnya dan gerbong untuk menyebut kendaraan rel yang berfungsi untuk mengangkut barang [2].

2.2. Penelitian yang Relevan

Pada bagian ini, penulis telah melakukan penelusuran terhadap beberapa penelitian yang pernah dilakukan dahulu. Adapun penelitian yang relevan atau sesuai dengan penelitian yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut:

1. Analisis Konsumsi Daya pada Gerbong Kereta Api Penumpang Kelas Eksekutif, Bisnis, dan Ekonomi (di Depo Gerbong Kereta Api Indonesia). Penelitian ini dilakukan oleh M. Rizal Afrianto, mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro pada tahun 2013. Hasil penelitiannya ialah penulis memberikan saran bahwa penggunaan generator di kereta pembangkit hendaknya disesuaikan kapasitasnya dengan beban pada rangkaian kereta api baik di kelas eksekutif, bisnis, maupun ekonomi.
2. Sistem Distribusi Energi Listrik pada Kereta Api Kelas Ekonomi, Bisnis, dan Eksekutif. Penelitian ini dilakukan oleh Mulyono, mahasiswa Jurusan Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang pada tahun 2013. Hasil penelitiannya ialah berupa analisis sistem distribusi energi listrik agar maksimal dan tidak terjadi lonjakan penumpang, sebab memperhitungkan faktor kapasitas generator terhadap konsumsi daya sesuai dengan jumlah beban yang ditanggung generator pembangkit.
3. Beban Daya Generator di Kereta K3 (Ekonomi) Atas Pemasangan AC *Split*. Penelitian ini dilakukan oleh Imam Samsudin dan Setio Boedi Arianto yang merupakan pegawai Puslitbang Perhubungan Darat dan Perkeretaapian (Kementerian Perhubungan) pada tahun 2015. Hasil

penelitiannya ialah kondisi kereta K3 (ekonomi) yang menggunakan pendingin udara jenis AC *split* kurang dingin dan suhu tak merata. Pengaruh pemasangan AC *split* terhadap kapasitas generator baru tersebut hanya mencapai 35% dari total daya 160 kVA dan sangat tak efektif. Berdasarkan riset, spesifikasi ukuran maupun desain rangka pintu, dimensi tebal kaca dan kegelapan luminasi yang dibuat pada K1 (eksekutif) berbeda dengan K3 (ekonomi), sehingga menambah beban pendingin ruangan K3 (ekonomi) yang hanya berasal AC *split*. Kemudian dari hasil analisis lebih lanjut ditemukan bahwa kapasitas AC lebih kecil daripada beban yang harus diterima oleh AC, sehingga AC harus ekstra bekerja lebih keras dalam mendinginkan ruang kereta.

Dari ketiga hasil penelitian terdahulu seperti pemaparan di atas, secara garis besar terdapat kesamaan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis, yaitu mengukur konsumsi daya listrik di rangkaian KA penumpang. Namun dari ketiga penelitian tersebut tidak ada yang benar-benar sama dengan masalah yang akan diteliti.

Untuk hasil penelitian yang pertama dan kedua, persamaannya terletak pada perhitungan konsumsi daya listrik pada ketiga kelas kereta penumpang. Penelitian yang dilakukan oleh M. Rizal Afrianto adalah hanya ingin mengetahui seberapa besar konsumsi daya listrik serta melakukan optimasi dengan perbaikan faktor daya.

Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh Mulyono, pembahasannya hampir sama, juga menghitung besar konsumsi daya listrik seperti sebelumnya, namun penelitiannya lebih memaksimalkan kapasitas generator yang ada.

Sehingga penelitian yang dilakukan oleh Mulyono tersebut memperhitungkan jumlah kereta yang dapat ditanggung oleh kereta pembangkit dengan 3 buah sampel. Sementara penelitian terakhir, lebih cenderung untuk mengetahui kinerja AC *split* pada rangkaian KA ekonomi serta mengkomparasinya dengan rangkaian KA eksekutif yang menggunakan AC terpusat (*package*), serta mengetahui pengaruh pemasangan AC *split* terhadap kapasitas pembangkit.

Sehingga dari pemaparan di atas telah jelas mengenai perbedaan dan persamaan antara penelitian yang akan dilakukan dengan hasil penelitian-penelitian yang sudah dilakukan. Sehingga penelitian yang berjudul “Audit Intensitas Cahaya dan Suhu Udara Kereta Api Penumpang Jarak Jauh Lintas Tanjungkarang - Kertapati Sesuai Standar Pelayanan Minimum (SPM) Angkutan Orang dan Peluang Penghematan Biaya Pembangkitan Listrik” dapat dilakukan karena masalah yang akan diteliti belum pernah mempertimbangkan Standar Pelayanan Minimum (SPM) Angkutan Orang yang disahkan tahun 2015 lalu oleh Kementerian Perhubungan.

2.3. Standar Pelayanan Minimum Angkutan Orang Dengan Kereta Api

Standar pelayanan minimum yang selanjutnya disebut SPM adalah ukuran minimum pelayanan yang harus dipenuhi oleh penyedia layanan dalam memberikan pelayanan kepada pengguna jasa, yang harus dilengkapi dengan tolok ukur yang digunakan sebagai pedoman penyelenggaraan pelayanan dan acuan penilaian kualitas pelayanan kepada masyarakat dalam rangka pelayanan yang berkualitas, cepat, mudah, terjangkau, dan terstruktur.

Berdasarkan lampiran Peraturan Menteri Perhubungan RI No. 48 Tahun 2015, terdapat 2 (dua) tolok ukur SPM Angkutan Orang dengan KA dalam perjalanan yang dapat diukur dalam konteks ketenagalistrikan, khususnya audit biaya pembangkitan tenaga listrik pada rangkaian kereta api penumpang, yang dapat dirangkum dalam tabel 2.1. sebagai berikut [3]:

Tabel 2.1. Indikator Standar Pelayanan Minimum Angkutan KA Penumpang.

Jenis Pelayanan	Uraian	Indikator	Tolok Ukur	
			KA Antar Kota	KA Perkotaan
Lampu penerangan	Lampu penerangan di kereta berfungsi sebagai sumber cahaya untuk membaca dan berkomunikasi	Intensitas cahaya	1) Pukul 17.00-22.00 : 200 - 300 lux 2) Pukul 22.00-04.00 : 60 - 100 lux	200 – 300 lux
Fasilitas pe-ngatur sirkulasi udara	Fasilitas untuk sirkulasi udara dapat menggunakan AC (<i>Air Conditioner</i>), kipas angin (fan) dari/atau ventilasi udara.	Suhu	Suhu dalam kereta maksimal 27°C.	Suhu dalam kereta maksimal 27°C.

2.4. Iluminasi

Iluminasi merupakan suatu ukuran dari cahaya yang jatuh pada sebuah bidang permukaan. Satuan iluminasi sesuai dengan SI adalah lux (lx) yaitu iluminasi yang dihasilkan oleh satu lumen cahaya pada permukaan seluas 1 m².

2.4.1. Hukum-Hukum Iluminasi

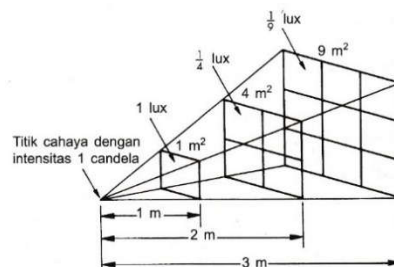
Sinar-sinar cahaya yang jatuh pada suatu permukaan dari titik cahaya berjarak d akan mengiluminasi permukaan itu dengan tingkat iluminasi misalkan 1 lux. Jika kemudian jarak d tersebut menjadi dua kali jarak semula, seperti tampak pada gambar 2.2, maka tingkat iluminasi 1 lux akan jatuh pada permukaan seluas empat persegi satuan luas. Jadi iluminasi dari suatu permukaan akan mengikuti hukum kebalikan kuadrat, yaitu:

$$E = \frac{1}{d^2} (lx) \quad (1)$$

Di mana :

E : Tingkat pencahayaan (lux).

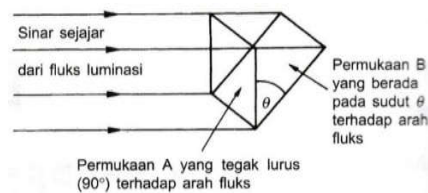
d : Jarak sumber cahaya ke bidang kerja (meter).



Gambar 2.2. Hukum kebalikan kuadrat iluminasi.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, iluminasi permukaan A seperti yang terlihat di gambar 2.2. adalah mengikuti hukum kebalikan kuadrat iluminasi. Jika kemudian permukaan ini ditiadakan, maka fluks luminasi yang sama akan jatuh pada permukaan miring. Karena sinar-sinar cahaya yang sejajar yang jatuh pada permukaan miring ini akan disebar pada luas permukaan yang lebih besar, maka luminasi cahaya akan berkurang dengan faktor Θ yaitu :

$$E = \frac{I \times \cos \theta}{h^2} (lx) \quad (2)$$



Gambar 2.3. Diagram hukum kosinus.

Adapun h dan Θ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.

Di mana :

E : Tingkat pencahayaan (lux).

I : Kuat cahaya/intensitas cahaya pada sudut Θ (candela).

h : Jarak armatur dari bidang kerja (meter).

Juga $h^2 = d^2 + x^2$ (Rumus Phytagoras) dan $\cos \theta = \frac{d}{h} = \frac{d}{\sqrt{d^2 + x^2}}$.

Jika terdapat beberapa armatur, maka tingkat pencahayaan adalah penjumlahan dari masing-masing armatur dan dinyatakan sebagai berikut:

$E_{total} = E_{p1} + E_{p2} + E_{p3} + \dots$ (lux). Oleh karena itu kedua permukaan tersebut dihubungkan melalui aturan kosinus persamaan trigonometri maka persamaan ini dikenal sebagai hukum kosinus [4].

2.4.2. Pengukuran Iluminasi

Untuk melakukan pengukuran besarnya iluminasi, sebelumnya alat ukur iluminasi yang dikalibrasi pada satuan lux ditempatkan pada bagian atas permukaan yang ingin diatur tingkat iluminasinya. Untuk sistem penerangan yang umum dan biasa digunakan, alat ukur diletakkan kira-kira 85 cm di atas permukaan datar horisontal.

Pengukuran harus dilakukan dengan skala yang tepat dan tidak boleh ada yang menghalangi sel-sel foto lux meter, misalnya dengan bayangan pada saat pengukuran dilakukan. Rekomendasi tingkat iluminasi untuk berbagai jenis instalasi diberikan oleh kode-kode IES (*Illumination Engineer Society* atau Masyarakat Teknik Iluminasi) yang tercetak di bagian belakang alat ukur iluminasi. Beberapa contoh ialah seperti yang tercantum pada tabel 2.3. berikut ini.



Gambar 2.4. Alat ukur iluminasi tipikal (lux meter).

Tabel 2.2. Beberapa Contoh Tingkat Iluminasi.

Kegiatan	Lokasi kegiatan dilakukan	Iluminasi (lux)
Melihat	Gudang penyimpanan, tangga, dan ruang cuci.	100
Perakitan kasar	Bengkel kerja dan garasi	300
Membaca, menulis, dan menggambar	Kelas atau kantor.	500
Perakitan halus	Ruang perakitan komponen elektronik.	1000
Perakitan sangat halus	Ruang pembuatan arloji.	3000

Jenis dari kegiatan-kegiatan yang dilakukan di dalam ruangan akan menentukan tingkat iluminasi yang dibutuhkan karena jenis kegiatan yang berbeda akan memerlukan tingkat iluminasi yang berbeda pula. Adapun perhitungan iluminasi dengan hukum kebalikan kuadrat hanya cocok untuk membuat skema rancangan sistem penerangan yang tak terdapat permukaan pantulan dengan iluminasi tambahan lain.

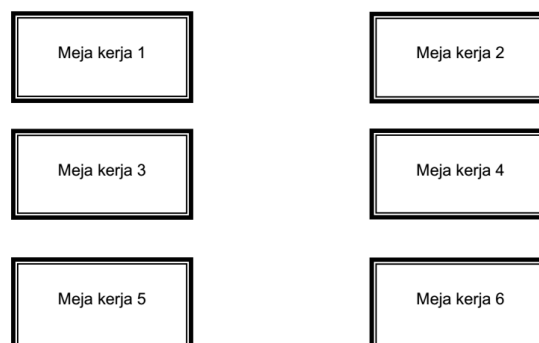
Metode ini dapat digunakan untuk merancang skema penerangan luar untuk bangunan-bangunan publik. Penerangan dalam menghasilkan cahaya ditujukan langsung pada permukaan di mana pekerjaan dilakukan. Terdapat pula sumber iluminasi sekunder yang dihasilkan oleh cahaya-cahaya yang dipantulkan dari dinding ataupun langit-langit gedung. Pada saat merancang skema penerangan dalam, metode perancangan yang digunakan akan bergantung pada besarnya fluks total yang dibutuhkan untuk menghasilkan iluminasi tertentu pada suatu tempat di mana pekerjaan dilaksanakan. Metode ini secara umum dikenal dengan nama metode lumen.

2.4.3. Standar Metode Pengukuran Intensitas Penerangan Ruangan

Dikarenakan belum ada standar tertentu untuk mengukur intensitas cahaya di kabin kereta penumpang untuk keperluan penentuan SPM (Standar Pelayanan Minimum), maka metode pengukuran intensitas cahaya pada penelitian ini dapat mengadopsi peraturan yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) dengan judul “Pengukuran Intensitas Penerangan di Tempat Kerja” dengan nomor SNI 16-7062-2004.

Diadopsinya peraturan SNI tersebut karena di dalamnya sudah mengatur prosedur, penentuan titik pengukuran, dan peralatan pengukuran intensitas penerangan yang digunakan. Serta ada kesamaan tujuan akhir dari peraturan SNI dengan tujuan penelitian ini, yaitu untuk memastikan ketersediaan cahaya yang layak untuk kenyamanan pengguna ruangan [5]. Dalam SNI 16-7062-2004 tersebut dijelaskan bahwa terdapat 2 (dua) jenis penentuan titik pengukuran yaitu :

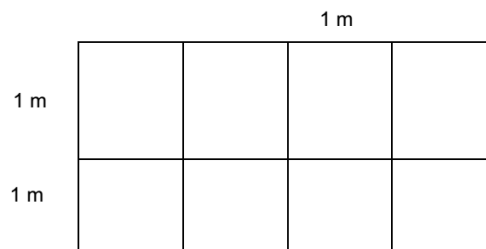
- a) Penerangan setempat: obyek kerja, berupa meja kerja maupun peralatan. Bila merupakan meja kerja, maka pengukuran dapat dilakukan dia atas meja kerja yang ada. Dengan contoh denah sebagai berikut :



Gambar 2.5. Pengukuran intensitas penerangan setempat.

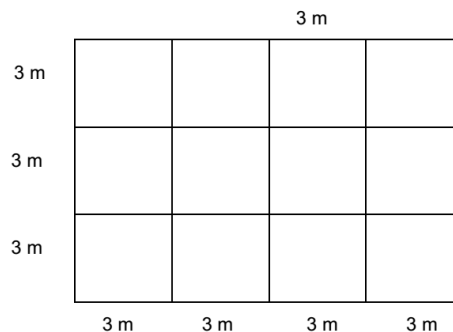
b) Penerangan umum: titik potong garis horizontal panjang dan lebar ruangan pada tiap jarak tertentu setinggi satu meter dari lantai. Jarak tertentu tersebut dibedakan berdasarkan luas ruangan sebagai berikut:

1. Jika luas ruangan kurang dari 10 meter persegi, maka titik potong garis horizontal panjang dan lebar ruangan adalah pada jarak tiap 1 meter, dengan denah sebagai berikut:



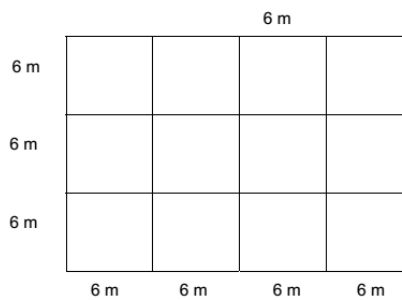
Gambar 2.6. Pengukuran intensitas penerangan umum luas ruangan $< 10 \text{ m}^2$.

2. Jika luas ruangan antara 10 meter persegi sampai 100 meter persegi, maka titik potong garis horizontal panjang dan lebar ruangan adalah pada jarak setiap 3 (tiga) meter, dengan denah sebagai berikut:



Gambar 2.7. Pengukuran intensitas penerangan umum luas ruangan $10 - 100 \text{ m}^2$.

3. Jika luas ruangan lebih dari 100 meter persegi, maka titik potong horizontal panjang dan lebar ruangan adalah pada jarak 6 meter, dengan denah sebagai berikut:



Gambar 2.8. Pengukuran intensitas penerangan umum luas ruangan $>100 \text{ m}^2$.

2.4.4. Perhitungan Tingkat Pencahayaan

a. Tingkat Pencahayaan Rata-Rata ($E_{rata-rata}$)

Adapun menurut SNI 03-6575-2001 dapat dihitung tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja. Bidang kerja yang dimaksud ialah bidang horizontal imajiner yang terletak 0,75 meter di atas lantai pada seluruh ruangan. Tingkat pencahayaan rata-rata $E_{rata-rata}$ (lux) dapat dihitung dengan persamaan [6]:

$$E_{rata-rata} = \frac{F_{total} \times k_p \times k_d}{A} \text{ (lux)} \quad (3)$$

Di mana :

F_{total} = fluks luminus total dari semua lampu yang menerangi bidang kerja (lumen)

A = luas bidang kerja (m^2)

k_p = koefisien penggunaan

k_d = koefisien depresiasi (penyusutan)

b. Koefisien Penggunaan (k_p)

Sebagian dari cahaya yang dipancarkan oleh lampu diserap oleh armatur, sebagian dipancarkan ke arah atas dan sebagai lagi dipancarkan ke arah bawah. Faktor penggunaan didefinisikan sebagai perbandingan antara fluks luminus yang sampai di bidang kerja terhadap keluaran cahaya yang dipancarkan oleh semua lampu. Besarnya koefisien penggunaan dipengaruhi oleh faktor :

- 1) Distribusi intensitas cahaya dari armatur.
- 2) Perbandingan antara keluaran cahaya dari armatur dengan keluaran cahaya dari lampu di dalam armatur.
- 3) Reaktansi cahaya dari langit-langit, dinding, dan lantai.
- 4) Pemasangan armatur apakah menempel atau digantung pada langit-langit.
- 5) Dimensi ruangan.

c. Koefisien Depresiasi/Penyusutan (k_d)

Koefisien depresiasi atau sering disebut juga koefisien rugi-rugi cahaya atau koefisien pemeliharaan, didefinisikan sebagai perbandingan antara tingkat pencahayaan setelah jangka waktu tertentu dari instalasi pencahayaan digunakan terhadap tingkat pencahayaan pada waktu instalasi baru. Besarnya koefisien depresiasi dipengaruhi oleh:

- 1) Kebersihan dari lampu dan armatur.
- 2) Kebersihan dari permukaan-permukaan ruangan.
- 3) Penurunan keluaran cahaya lampu selama waktu penggunaan.
- 4) Penurunan keluaran cahaya lampu karena penurunan tegangan listrik.

Besarnya koefisien depresiasi biasanya ditentukan berdasarkan estimasi. Untuk ruangan dan armatur dengan pemeliharaan yang baik pada umumnya koefisien depresiasi diambil sebesar 0,8.

d. Perhitungan Jumlah Armatur

Untuk menghitung jumlah armatur, terlebih dahulu dihitung fluks luminus total yang diperlukan untuk mendapatkan tingkat pencahayaan yang direncanakan, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{total} = \frac{E \times A}{k_p \times k_d} (\text{lumen}) \quad (4)$$

Kemudian jumlah armatur yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan berikut:

$$N_{total} = \frac{F_{total}}{F_1 \times n} \quad (5)$$

Di mana:

F_1 = fluks luminus pada satu buah lampu. (lumen)

n = jumlah lampu dalam satu armatur.

e. Kebutuhan Daya Penerangan

Daya listrik yang dibutuhkan untuk mendapatkan tingkat pencahayaan rata-rata tertentu pada bidang kerja, dapat dihitung dengan persamaan tingkat pencahayaan rata-rata ($E_{rata-rata}$) seperti pada subbab 2.9.4.a. sebelumnya. Setelah itu dihitung jumlah lampu yang dibutuhkan dengan persamaan:

$$N_{lampu} = N_{armatur} \times n \quad (6)$$

Daya yang dibutuhkan untuk semua armatur dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_{lampu} = N_{lampu} \times W_1 \quad (7)$$

Di mana W_1 merupakan daya setiap lampu termasuk *ballast* dengan satuan watt. Dengan membagi daya total dengan luas bidang kerja, didapatkan kepadatan daya (Watt/m^2) yang dibutuhkan untuk sistem pencahayaan tersebut.

2.4.5. Rasio Sela Jarak Terhadap Ketinggian

Pemasangan luminari dengan ketinggian yang tepat merupakan salah satu hal yang penting untuk diperhatikan, mengingat kilauan cahaya akan dapat dihasilkan jika dudukan lampu diletakkan segaris dengan pandangan mata. Ketinggian yang berlebihan akan berakibat pada pengurangan iluminasi (sesuai dengan hukum berkebalikan kuadrat iluminasi) serta mempersulit usaha untuk penggantian dan pemeliharaan lampu.

Di samping itu tersedianya sela jarak luminari yang tepat juga merupakan hal penting untuk diperhatikan mengingat sela jarak yang terlalu lebar akan berakibat pada jatuhnya nilai luminasi pada permukaan kerja yang berada tepat di bawah titik tengah dari fitting-fitting yang berdekatan. Iluminasi di antara luminari tak boleh lebih rendah dari 70% nilai iluminasi pada permukaan yang berada tepat di bawah fitting. Untuk sebagian besar instalasi, rasio sela jarak terhadap ketinggian pemasangan sebesar 1:1 sampai 2:1 di atas permukaan kerja dianggap telah mencukupi di mana ketinggian permukaan kerja di atas lantai berkisar 0,85 m seperti terlihat pada contoh di gambar 2.11. berikut [4].



Gambar 2.9. Rasio sela jarak luminari dan ketinggian pemasangannya.

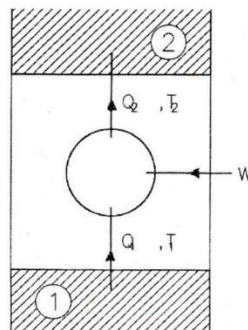
2.4.6. Tata Letak Luminari

Untuk menjaga distribusi iluminasi yang merata, maka luminari-luminari yang letaknya berdekatan dengan dinding ruangan harus dipasang pada jarak setengah dari jarak sela antar luminari. Sebab sebuah titik di tengah ruangan menerima fluks luminasi dari dua buah luminasi yang berdekatan sementara titik dekat dinding hanya memperoleh iluminasi dari sebuah luminari. Pada koridor, luminari pada umumnya dipasang paralel terhadap panjang koridor untuk menghindari terjadinya pancaran sinar tabung yang menyilaukan pada orang-orang yang berjalan di sepanjang koridor [4].

2.5. Tata Udara

2.5.1. Refrigerasi

Sistem refrigerasi adalah suatu sistem yang menjadikan kondisi temperatur suatu ruang berada di bawah temperatur semula. Pada prinsipnya kondisi temperatur rendah yang dihasilkan oleh suatu sistem refrigerasi diakibatkan oleh penyerapan panas pada *reservoir* dingin (*low temperature sources*), lalu panas yang diserap bersama-sama energi disebut *reservoir* panas (*high temperature sink*). Secara skematis proses itu dapat ditunjukkan lewat gambar 2.15. di bawah. Untuk suatu sistem refrigerasi, jumlah panas Q_1 yang diserap pada *reservoir* dingin merupakan kuantitas yang terpenting pada sistem refrigerasi [7].



Gambar 2.10. Prinsip dasar mesin pendingin.

Keterangan :

1. *Reservoir* dingin (*low temperature source*).
2. *Reservoir* panas (*high temperature sink*).
3. Q_1 : panas yang diserap dari *reservoir* dingin.
4. Q_2 : panas yang dibuang *reservoir* panas = $Q_1 + W$.

2.5.2. Pengondisian Udara (*Air Conditioning*)

Pada awalnya pengondisian udara diarahkan untuk keperluan proses dan material daripada untuk kenyamanan manusia. Dalam perkembangannya pengondisian udara untuk manusia berkembang pesat akhir-akhir ini. Prinsip kerja pengondisi udara adalah sama dengan mesin pendingin, yaitu berdasarkan siklus kompresi uap. Hal yang membedakan adalah udara yang didinginkan sebagai beban melewati evaporator memasuki ruangan pada kondisi temperatur yang lebih tinggi daripada mesin pendingin. Peralatan yang digunakan adalah sama [7].

2.5.3. Sistem Tata Udara dan Manajemennya

Berdasarkan definisi pada SNI 6390-2011, Sistem tata udara merupakan keseluruhan sistem yang bekerja mengendalikan kondisi termal udara di dalam bangunan gedung melalui pengendalian besaran termal (seperti temperatur, kelembaban relatif), penyebaran udara serta kualitas udara (kesegaran dan kebersihan), sedemikian rupa sehingga diperoleh suatu kondisi ruang yang nyaman, segar dan bersih [8].

Berdasarkan nilai standar yang ditetapkan oleh BSNI, untuk nilai temperatur dan kelembaban di wilayah dataran rendah, di suatu ruangan dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Ruang kerja memiliki ketetapan untuk nilai temperatur bola kering berkisar antara 24°C hingga 27°C atau $25,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ dengan nilai kelembaban $60\% \pm 5\%$.

- b. Ruang transit seperti lobi dan koridor memiliki ketetapan nilai untuk temperatur bola kering sekitar 27°C sampai 30°C atau $28,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ dengan nilai kelembaban $60\% \pm 5\%$.

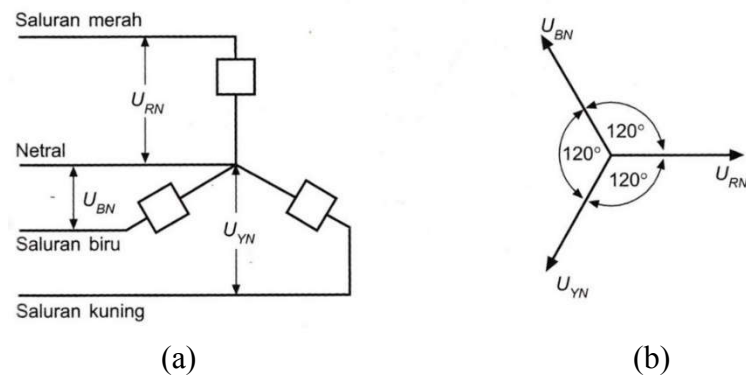
Sistem tata udara yang belum memberikan kenyamanan di setiap ruangan dapat disebabkan oleh kondisi ruangan yang tidak tertutup rapat atau jumlah pendingin yang tidak sesuai dengan luas ruangan.

Pada sistem tata udara dikenal istilah PK = *Paard Kracht* (Daya Kuda) yaitu daya yang dibutuhkan oleh mesin AC untuk memperoleh *British Thermal Unit per hour* (BTU/h). Nilai BTU/h pada suatu AC digunakan untuk menentukan nilai energi yang digunakan pada AC tersebut, 1 kWh sama dengan 3412,14 BTU/h. Nilai BTU/h pada suatu AC dapat ditentukan dengan persamaan:

$$BTU / h = \frac{Panjang(m) \times Lebar(m) \times Tinggi(m)}{3} \times 500 \quad (7)$$

2.6. Rangkaian Tiga Fasa

2.6.1. Rangkaian Bintang (*Wye*)



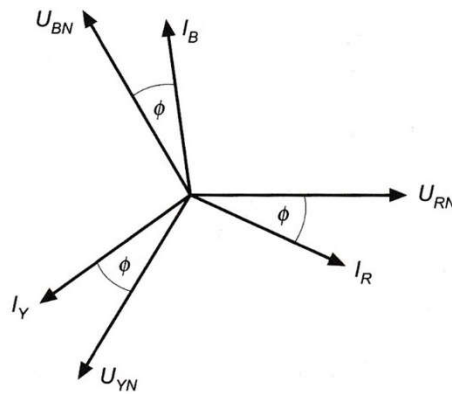
Gambar 2.11. Rangkaian tiga fasa berupa rangkaian bintang (a) dengan diagram fasor rangkaian bintang (b).

Berdasarkan gambar 2.3. (a) diatas, nampak bahwa terdapat 3 beban yang dihubungkan dalam bentuk bintang pada sistem catu empat kawat tiga fasa, dengan gambar 2.3. (b) menunjukkan diagram fasor tegangan saluran merah ke netral U_{RN} diambil sebagai acuan dan urutan fasanya ialah merah, kuning, dan biru sehingga tegangan saluran lain ke netral (atau tegangan fasa) terletak seperti yang ditunjukkan.

Jika $U_{RN} = U_{YN} = U_{BN}$ dan ketiga terpisah sama maka sistem tegangannya akan seimbang. Misalkan U_L merupakan tegangan antara sembarang pasangan saluran (tegangan saluran) dan $U_P = U_{RN} = U_{YN} = U_{BN}$ (tegangan fasa). Maka $U_L = \sqrt{3} U_P$ dan $I_L = I_P$.

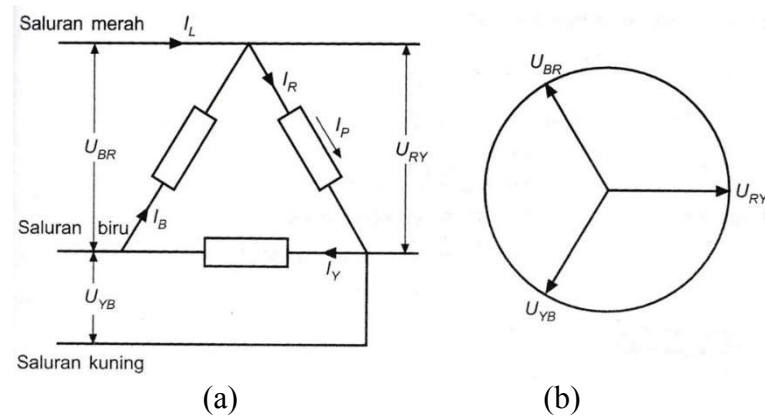
Di mana I_L merupakan arus pada sembarang saluran dan I_P merupakan arus pada sebatang beban atau fasanya. Daya per fasa sama dengan $P = U_P I_P \cos \Theta$ dan daya total merupakan penjumlahan banyaknya daya pada setiap fasa. Jika arus-arusnya sama dan sudut fasanya akan sama, seperti gambar 2.4. dibawah, beban pada sistemnya akan seimbang, arus pada netral akan sama dengan nol dan daya total adalah:

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \Theta \quad (8)$$



Gambar 2.12. Diagram fasor pada rangkaian bintang (*wye*) jika arus dan sudut fasa sama.

2.6.2. Rangkaian *Delta* (Segitiga)



Gambar 2.13. Rangkaian tiga fasa berupa rangkaian *delta* (a) dengan diagram fasor rangkaian *delta* (b).

Berdasarkan gambar 2.5. (a) di halaman sebelumnya, nampak bahwa terdapat 3 beban yang dihubungkan dalam bentuk delta ke sistem catu tiga fasa, dengan gambar 2.5. (b) menunjukkan diagram fasornya tegangan jaringan dengan tegangan merah terhadap kuning yang diambil sebagai acuan. Tegangan yang diberikan pada sembarang beban ialah tegangan jaringan U_L dan arus jaringannya merupakan beda fasor antara arus-arus dalam kedua beban yang dihubungkan pada jaringan. Khususnya jika arus bebannya semua sama dan membuat sudut fasa yang sama dengan tegangan masing-masingnya, sistem ini akan seimbang dan menghasilkan persamaan sebagai berikut [9].

$$I_L = \sqrt{3} I_P \quad (9)$$

Adapun daya total dalam kondisi ini adalah :

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \Theta \quad (10)$$

2.7. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

IKE merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi pada suatu sistem/bangunan. Energi yang dimaksudkan dalam hal ini adalah energi listrik. Pada hakikatnya IKE ini merupakan pembagian antara konsumsi energi total selama periode tertentu (satu tahun) dengan luas bangunan. Satuan IKE adalah kWh/m² per tahun. Menghitung IKE diambil dari data total konsumsi energi dan data luas bangunan [10]. Berikut ini adalah perhitungan IKE:

$$IKE = \frac{kWH\ total(kWH / bulan)}{Luastotal(m^2)} \quad (11)$$

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN-USAID pada tahun 1987, target besarnya IKE listrik untuk Indonesia adalah sebagai berikut :

- IKE untuk perkantoran (komersial): 240 kWh/m² per tahun.
- IKE untuk pusat belanja: 330 kWh/m² per tahun.
- IKE untuk hotel/apartemen: 300 kWh/m² per tahun.
- IKE untuk rumah sakit: 380 kWh/m² per tahun.

Adapun berikut adalah acuan untuk nilai standar IKE berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2012 [11].

Tabel 2.3. Nilai Standar IKE dari Peraturan Menteri ESDM No. 13 Tahun 2012.

Kategori	IKE (kWh/m ² /bulan)			
	AC		Non AC	
Sangat Efisien	< 8,5		< 3,4	
Efisien	= 8,5	< 14	= 3,4	< 5,6
Cukup Efisien	= 14	< 18,5	= 5,6	< 7,4
Boros	≥ 18,5		≥ 7,4	

Besarnya target IKE diatas merupakan nilai IKE listrik per satuan luas bangunan gedung yang dikondisikan. Besarnya IKE hasil perhitungan dibandingkan dengan IKE standar atau target IKE. Apabila hasilnya ternyata sama atau kurang dari target IKE, maka kegiatan audit energi rinci dapat dihentikan atau bila diteruskan dengan harapan dapat diperoleh IKE yang lebih rendah lagi. Namun sebaliknya jika hasilnya lebih besar dari target IKE berarti ada peluang untuk melanjutkan proses audit energi berikutnya guna memperoleh penghematan energi.

Tabel 2.4. Kriteria Standar Nilai IKE Berdasarkan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Tanpa Penggunaan AC.

Kriteria	Keterangan
Efisien (0,84 – 1,67) kWh/m ² /bulan	Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan sistem manajemen energi terpadu.
Cukup Efisien (1,67 – 2,5) kWh/m ² /bulan	Penggunaan energi cukup efisien namun masih memiliki peluang konservasi energi.
Boros (2,5 – 3,34) kWh/m ² /bulan	Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbangkan konservasi energi.
Sangat Boros (3,34 – 4,17) kWh/m ² /bulan	Agar dilakukan peninjauan ulang atas semua instalasi /peralatan energi serta penerapan manajemen energi dalam pengelolaan bangunan.

Tabel 2.5. Kriteria Standar Nilai IKE Berdasarkan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Dengan Penggunaan AC.

Kriteria	Keterangan
Sangat Efisien (4,17 – 7,92) kWh/m ² /bulan	Pengoperasian peralatan energi dilakukan dengan prinsip-prinsip manajemen energi.
Efisien (7,93 – 12,08) kWh/m ² /bulan	Efisiensi penggunaan energi masih mungkin ditingkatkan melalui penerapan sistem manajemen energi terpadu.
Cukup Efisien (12,08 – 14,58) kWh/m ² /bulan	Pengoperasian dan pemeliharaan gedung belum mempertimbang-kan prinsip konservasi energi.
Agak Boros (14,58 – 19,17) kWh/m ² /bulan	Desain bangunan maupun pemeliharaan dan pengoperasian gedung belum mempertimbang-kan konservasi energi

2.8. Pembangkit Daya

2.8.1. Mesin Diesel

Mesin diesel adalah motor bakar yang dapat menghasilkan tenaga mekanik yang dipergunakan untuk memutar rotor generator, sehingga putaran rotor tersebut akan memotong medan magnet yang ada di generator dan menghasilkan GGL (Gaya Gerak Listrik) tegangan. Mesin diesel menggunakan bahan bakar minyak diesel dengan kecepatan tinggi, bekerja dengan prinsip pembakaran kompresi dan menggunakan dua hingga empat langkah putaran dalam operasi. Adapun keuntungan pemakaian mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*) :

1. Desain dan instalasi sederhana.
2. *Auxiliary equipment* (peralatan bantu) sederhana.
3. Waktu pembebanan relatif singkat.

Sementara kerugian pemakaian mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*) adalah sebagai berikut :

1. Berat mesin sangat berat karena harus dapat menahan getaran serta kompresi yang tinggi.
2. *Starting* awal berat, karena kompresinya tinggi yaitu sekitar 200 bar.
3. Semakin besar daya maka mesin diesel tersebut dimensinya makin besar pula, hal tersebut menyebabkan kesulitan jika daya mesinnya sangat besar.
4. Konsumsi bahan bakar menggunakan minyak yang relatif lebih mahal dibandingkan pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar jenis lain seperti gas dan batu bara.

Sistem *starting* adalah proses untuk menghidupkan atau menjalankan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*):

1. Sistem *Start* Manual

Dipakai untuk mesin diesel dengan daya yang relatif kecil yaitu <30 PK.

Start manual ini menggunakan penggerak engkol start pada poros engkol atau poros hubung yang akan digerakkan dengan tenaga manusia.

2. Sistem *Start* Elektrik

Dipakai oleh mesin diesel yang memiliki daya sedang, yaitu <500 PK.

Sistem ini menggunakan motor DC dengan suplai listrik dari baterai/*accu* bertegangan 12 Volt atau 24 Volt untuk menyalakan mesin diesel.

3. Sistem *Start* Kompresi

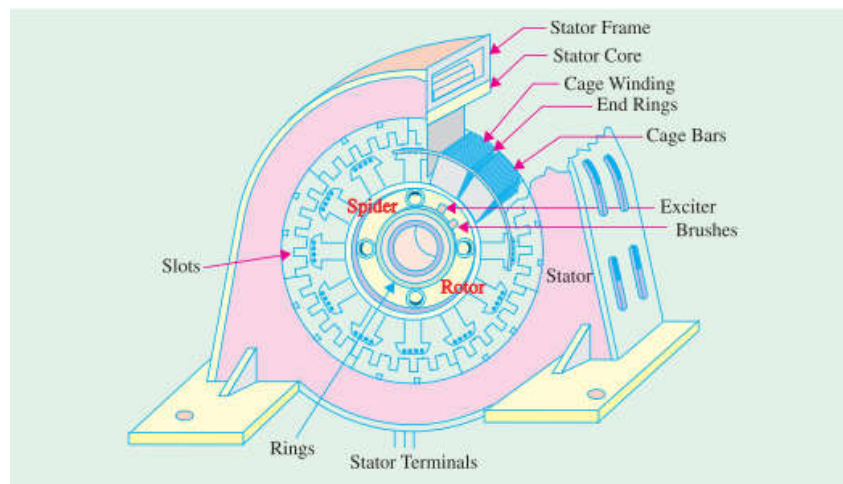
Dipakai oleh diesel yang memiliki daya besar, yaitu >500 PK. Sistem ini memiliki motor dengan udara bertekanan tinggi untuk start dari mesin diesel [12].

2.8.2. Generator AC

Generator adalah mesin yang dapat mengkonversi tenaga mekanik menjadi tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator mempunyai energi mekanik dari penggerak awal (*prime mover*). Generator arus bolak-balik (AC) disebut dengan *alternator*.

Generator AC atau *alternator* beroperasi pada prinsip fundamental berdasarkan induksi elektromagnetik seperti generator DC. Keduanya bahkan juga terdiri dari belitan armatur dan medan magnet. Namun terdapat sebuah perbedaan penting antara keduanya. Sedangkan pada generator DC, putaran armatur dan

sistem medan adalah stationer, sedangkan susunan pada alternator adalah kebalikannya. Dalam hal ini, konstruksi standar terdiri dari lilitan armatur dipasang pada bagian diam yang disebut stator, serta lilitan medan pada bagian yang bergerak disebut dengan rotor. Detail dari konstruksi nampak pada gambar berikut.



Gambar 2.14. Penampang generator AC.

Stator terdiri dari bingkai besi tuang, yang menunjang inti armatur, serta memiliki rongga pada lingkaran dalam untuk blok konduktor armatur. Rotor itu seperti roda gaya yang memiliki kutub Utara (U) dan Selatan (S) yang berselang-seling. Kutub magnetik yang termagnetisasi dari arus searah disuplai dari sumber DC pada rentang 125–600 Volt. Pada kasus tertentu, perlu arus magnetisasi yang diperoleh dari generator shunt DC kecil yang terikat atau terpasang pada poros alternator itu sendiri.

Sebab saat medan magnet berotasi, arus ini disuplai melalui dua cincin geser. Sebagai tegangan penguatan yang relatif kecil, cincin geser dan *brush gear* adalah konstruksi yang ringan. Belakangan ini, sistem eksitasi tanpa sikat

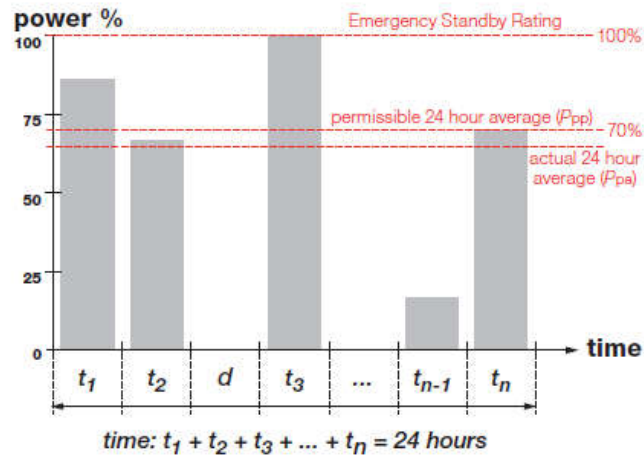
(*brushless*) telah dikembangkan pada penguat AC 3 fasa dan sekumpulan suplai penyearahan DC untuk alternator. Oleh sebab itu, sikat, cincin geser, dan komutator telah ditiadakan.

Saat rotor berotasi, konduktor stator (diam) terpisah oleh fluks magnetik, oleh karena itu saat konduktor stator diinduksi medan elektromagnetik yang terproduksi. Karena kutub magnetik merupakan kutub U dan S yang berselang-seling, maka diinduksikan medan elektromagnetik dan karenanya terdapat arus pada konduktor armatur. Oleh karena itu, medan elektromagnetik berselang-seling dihasilkan pada konduktor stator (i) yang frekuensinya bergantung pada jumlah dari kutub U dan S yang berpindah melewati sebuah konduktor dalam satu detik dan (ii) yang arahnya diberikan oleh aturan tangan kanan Fleming [13].

2.8.3. Klasifikasi Pembangkit Listrik Bolak-Balik (AC)

Standar ISO 8528-1:2013 mendefinisikan berbagai macam klasifikasi untuk penggunaan, tingkatan (*rating*), dan performa pada generator set bolak-balik (generator AC) yang terdiri dari motor pembakaran dalam. Adapun pembuat generator sendiri dapat menetapkan peringkat produk yang melampaui persyaratan yang ditentukan dalam standar. Standar ISO ini mendeskripsikan empat macam tingkatan (*rating*) yang dijelaskan pada halaman berikut.

a. **Emergency Standby Power (ESP)**

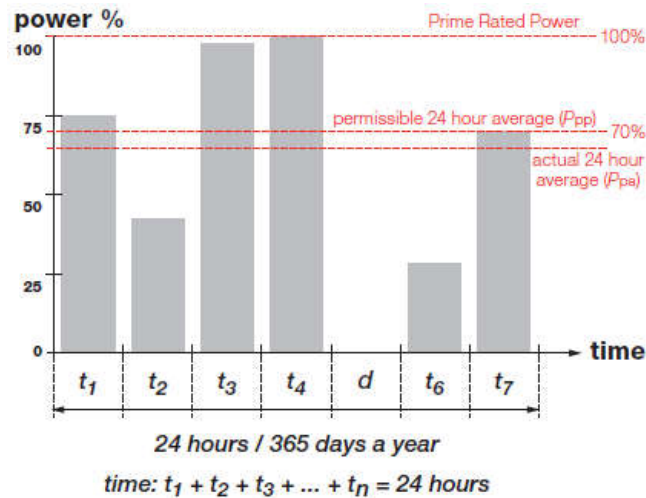


Gambar 2.15. Grafik teoritis hubungan waktu dengan persentase daya listrik yang dibangkitkan oleh generator tipe ESP.

Generator tipe ini dapat digunakan untuk menyuplai tenaga listrik pada saat terjadi pemadaman listrik sebagai sumber daya utama atau pengujian generator. Standar ISO 8528-1 mendefinisikan daya siaga (*standby power*) sebagai daya maksimum yang tersedia dari generator untuk menyalakan beban listrik yang berubah-ubah, di mana telah ditentukan bahwa total waktu operasi tahunan tidak boleh melebihi 200 jam operasi. Sebagai tambahan faktor beban rata-rata melebihi 70% kecuali diizinkan oleh pabrik pembuat generator.

Generator ESP biasanya hanya ditunjukkan untuk penggunaan di mana generator melayani cadangan utilitas normal (sumber daya utama). Contoh penggunaan tipe ESP ini ialah untuk kebutuhan darurat pada beban yang penting/kritis serta unit siaga opsional [14].

b. *Prime Rated Power (PRP)*

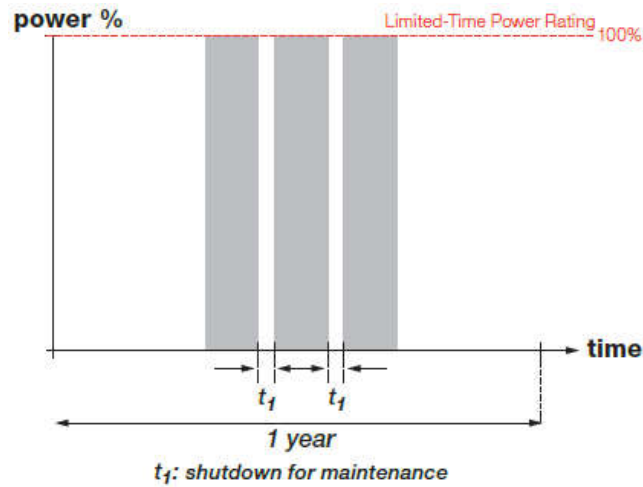


Gambar 2.16. Grafik teoritis hubungan waktu dengan persentase daya listrik yang dibangkitkan oleh generator tipe PRP.

Pada generator tipe *Prime Rated Power (PRP)* ini dapat digunakan untuk menyuplai daya listrik yang menggunakan generator sebagai pengganti atau sebagai tambahan untuk daya listrik yang dibeli secara komersial. ISO 8528-1 mendefinisikan daya utama (*prime power*) sebagai generator yang mampu menyediakan rangkaian beban listrik yang berubah-ubah pada jumlah tak terbatas di tiap jam per tahunnya.

Adapun faktor beban rata-rata maksimum melebihi periode 24 jam tidak boleh melebihi 70% daripada PRP kecuali disetujui oleh pabrik pembuat generator. Generator tipe PRP biasanya digunakan pada pembangkitan di tempat dengan utilitas listrik tak tersedia [14].

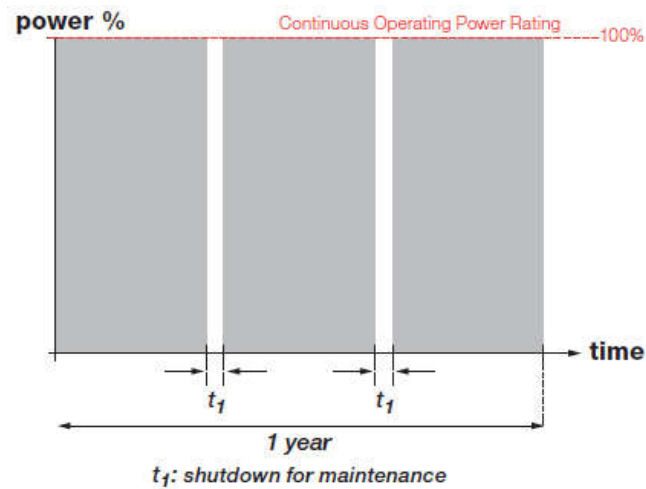
c. *Limited Time Power (LTP)*



Gambar 2.17. Grafik teoritis hubungan waktu dengan persentase daya listrik yang dibangkitkan oleh generator tipe LTP.

Limited Time Power (LTP) merupakan generator yang mampu menyediakan operasi 500 jam per tahun pada kondisi beroperasi dan interval perawatan yang diizinkan oleh pabrik pembuat generator. Generator tipe ini biasanya dipakai pada pemakaian beban listrik konstan yang secara normal melibatkan pengoperasian utilitas paralel, serta di mana secara tahunan generator berjalan pada waktu yang ditentukan tidak melebihi 500 jam. Contoh pemakaian generator tipe LTP ialah *base loading* sebuah pembangkit listrik yang memiliki beban konstan dan berjalan kurang dari 500 jam per tahun [14].

d. *Continuous Operating Power (COP)*



Gambar 2.18. Grafik teoritis hubungan waktu dengan persentase daya listrik yang dibangkitkan oleh generator tipe COP.

Standar ISO ini mendefinisikan *Continuous Operating Power (COP)* sebagai daya maksimum yang dapat disediakan secara konstan untuk waktu yang tak terbatas per tahun pada kondisi operasi dan interval perawatan yang disetujui oleh pabrik pembuat generator. COP sendiri dapat digunakan untuk menyediakan utilitas daya listrik secara konstan dengan beban 100% untuk waktu tak terbatas per tahunnya [14].

2.9. Indikator Kinerja Pembangkit Daya

Indikator kinerja pembangkit daya adalah energi masukan yang diperlukan untuk menghasilkan satuan keluaran daya listrik. Indikator kinerja tersebut dikenal dengan:

- a. *Specific fuel consumption* (SFC) dengan satuan liter / kWh
- b. *Heat rate* (kcal/kWh atau kJ/kWh)
- c. Efisiensi termal (%)

2.9.1. Konsumsi Energi Spesifik/*Specific Fuel Consumption* (SFC)

Specific fuel consumption (SFC) adalah rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar terhadap daya listrik yang dibangkitkan dalam sebuah proses pembangkitan listrik, agar dapat mengetahui efisiensi pembangkit listrik dan prediksi nilai kalor bahan bakar. Berdasarkan SPLN No. 80 tahun 1989, persamaan untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik bruto (SFC_B) dan konsumsi bahan bakar spesifik netto (SFC_N) adalah sebagai berikut:

$$SFC_B = \frac{Q_f}{kWh_B} \quad (12)$$

$$SFC_N = \frac{Q_f}{kWh_B - kWh_{PS}} \quad (13)$$

Di mana:

Q_f : Jumlah bahan bakar yang dipakai (liter).

kWh_B : Jumlah kWh yang dibangkitkan generator (kWh).

kWh_{PS} : Jumlah kWh yang dibutuhkan untuk pemakaian sendiri (kWh).

Secara lebih lanjut, *specific fuel consumption* (SFC) terbagi atas dua jenis, yaitu [15]:

a. SFC berbasis beban

SFC berbasis beban merupakan SFC yang diukur pada beban tetap dengan mengukur laju (*flow*/jam) bahan bakar dibagi dengan daya keluaran generator. Dengan demikian formula SFC dapat ditulis sebagai berikut:

$$SFC = \frac{\text{Laju (flow) bahan bakar (liter / jam)}}{\text{Daya keluaran generator (kW)}} (\text{liter / kWh}) \quad (14)$$

Formula SFC diatas digunakan untuk pengujian unjuk kerja (*comissioning test*) sebelum serah terima dan untuk mengukur efisiensi individu tanpa dipengaruhi oleh perubahan beban maupun untuk mengetahui perbaikan SFC saat sebelum dan sesudah pelaksanaan *overhaul*.

b. SFC berbasis periode

SFC berbasis periode merupakan SFC yang diukur pada periode tertentu, yaitu dengan mengukur laju (*flow*) bahan bakar pada periode waktu dibagi dengan daya keluaran (kWh) yang dihasilkan generator.

$$SFC = \frac{\text{Volume bahan bakar per periode (liter / jam)}}{\text{kWH yang dihasilkan per periode (kW)}} (\text{liter / kWh}) \quad (15)$$

2.9.2. Tara Kalor/*Heat Rate* (HR)

Secara ringkas tara kalor/*heat rate* (HR) adalah rasio antara total kalor yang masuk ke dalam sebuah sistem dan dibagi dengan total daya yang dibangkitkan oleh sistem tersebut. Sedangkan menurut SPLN No. 80 tahun 1989, persamaan untuk menghitung tara kalor (*heat rate*) ialah sebagai berikut [16]:

a. Tara kalor bruto (HR_B)

Tara kalor unit brutto (HR_B) adalah jumlah kalor bahan bakar dihitung berdasarkan nilai kalor bawah (LHV) untuk menghasilkan setiap kWh brutto. Disebut juga sebagai *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) yang merupakan *heat rate* yang dihitung dengan menggunakan keluaran daya berupa kWh yang diukur pada terminal keluaran generator pembangkit.

$$HR_B = \frac{M_f \times LHV}{kWH_B} \quad (16)$$

b. Tara kalor netto (HR_N)

Tara kalor unit netto (HR_N) adalah jumlah kalor bahan bakar yang dihitung berdasarkan nilai kalor bawah (LHV) untuk menghasilkan setiap kWh netto. Disebut juga sebagai *Net Plant Heat Rate* (NPHR) yang merupakan *heat rate* yang dihitung dengan menggunakan keluaran daya berupa kWh netto yang diukur setelah pemakaian sendiri (*own used*) pembangkit.

$$HR_N = \frac{M_f \times LHV}{kWH_B - kWH_N} \quad (17)$$

Di mana:

M_f : Berat bahan bakar selama pengujian (kilogram).

LHV : *Lower Heating Value*, merupakan nilai kalor bawah bahan yang digunakan (dalam kJ/kg atau kcal/kg).

kWh_B : Jumlah kWh yang dibangkitkan generator (kWh).

kWh_{Ps} : Jumlah kWh yang dibutuhkan untuk pemakaian sendiri (kWh).

Untuk mengkonversikan SFC menjadi tara kalor / *heat rate* (HR) dan efisiensi termal (η_{th}), dapat menggunakan formula sebagai berikut

- Tara kalor / *Heat rate*

$$HR = SFC \times HHV \text{ (kcal / kWh)} \quad (18)$$

Di mana HHV (*Higher Heating Value*) merupakan nilai kalor atas bahan bakar dengan satuan kcal/liter.

- Efisiensi termal

$$\eta_{th} = \frac{859,845}{\text{Tara kalor}} \quad (19)$$

Di mana :

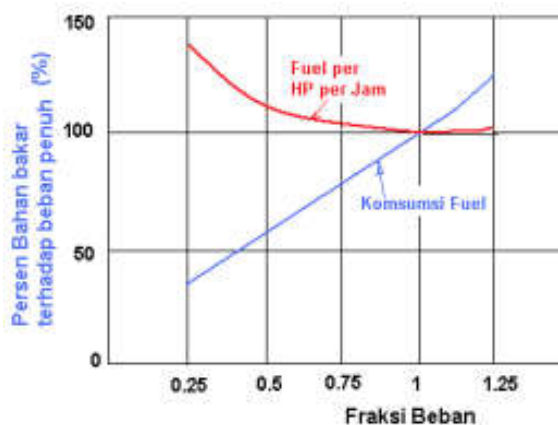
η_{th} : Efisiensi termal (dalam persen, %)

Tara kalor : *Heat Rate* (Kcal/kWh)

Besarnya efisiensi termal tergantung beban, makin tinggi beban makin besar efisiensinya. Efisiensi termal unit (η_{th}) adalah persentase keluaran energi terhadap masukan kalor. Pada rumus efisiensi termal, angka pembilang (*numerator*) senilai 859,845 kcal merupakan konstanta tetap yang setara 1 kWh menurut Standar IEC 46 tahun 1962.

2.9.3. Hubungan Konsumsi Energi Spesifik/*Specific Fuel Consumption* (SFC) dan Beban

Pembangkit daya diesel (generator) tak dapat memberikan performansi optimum dalam tiap beban. Jika pembangkit dioperasikan dengan variasi beban maka SFC (Liter/HP jam atau Liter/kWH) akan berubah-ubah mengikuti perubahan beban.



Gambar 2.19. Hubungan fraksi beban terhadap persentase bahan bakar terhadap beban penuh.

SFC optimum suatu generator terjadi pada kapasitas desain yaitu beban penuh, yaitu antara 80% - 100% kapasitas generator. Jika pengoperasian generator pada beban dikurangi menjadi 50% saja maka akan mengakibatkan konsumsi energi spesifik meningkat sekitar 10% dibandingkan dengan energi spesifik pada beban penuh. insmengakibatkan nilai SFC generator justru meningkat. Pada beban 25% SFC meningkat sekitar 30% - 50% jika dibandingkan dengan kondisi beban penuh [15].

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa SFC merupakan rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar terhadap daya listrik yang dibangkitkan, sehingga SFC merupakan salah satu tolok ukur penting untuk memperhitungkan ukuran efisiensi suatu mesin diesel yang digunakan dalam pembangkitan. Adapun standar optimum nilai SFC dalam hal pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) telah diklasifikasikan oleh PT PLN (Persero) dalam SPLN 79: 1987.

Dalam SPLN tersebut dijabarkan rentang nilai standar optimum nilai SFC untuk berbagai macam kapasitas PLTD, dari kelas 100 kW hingga 12 MW dalam berbagai variasi pembebanan (pembebanan 50%, 75%, dan 100%). Harga SFC dalam SPLN tersebut ditampilkan dalam tabel berikut [17].

Tabel 2.6. Tabel Rentang Nilai Standar Optimum Nilai SFC Pada PLTD.

Kelas Kapasitas PLTD	Kondisi Beban			Satuan
	Beban 100%	Beban 75%	Beban 50%	
A. PLTD Bakal Kelas 100 kW	230 – 260 0,273 – 0,308	230 – 280 0,273 – 0,332	240 – 300 0,284 – 0,355	gr/kWh liter/kWh
B. PLTD Kecil Kelas 250 kW	230 – 250 0,273 – 0,296	230 – 260 0,273 – 0,308	240 – 290 0,284 – 0,344	gr/kWh liter/kWh
Kelas 500 kW	220 – 240 0,261 – 0,284	220 – 250 0,261 – 0,296	230 – 260 0,273 – 0,308	gr/kWh liter/kWh
Kelas 750 kW	210 – 230 0,249 – 0,273	210 – 240 0,249 – 0,284	220 – 250 0,261 – 0,296	gr/kWh liter/kWh
Kelas 1000 kW	220 – 240 0,237 – 0,261	220 – 230 0,237 – 0,273	230 – 260 0,273 – 0,308	gr/kWh liter/kWh
C. PLTD Sedang Kelas 2500 kW	195 – 215 0,231 – 0,255	195 – 210 0,231 – 0,249	200 – 220 0,237 – 0,261	gr/kWh liter/kWh
Kelas 4000 kW	195 – 210 0,231 – 0,249	195 – 205 0,231 – 0,243	200 – 215 0,237 – 0,255	gr/kWh liter/kWh
Kelas 6000 kW	190 – 205 0,225 – 0,243	190 – 200 0,225 – 0,237	195 – 210 0,231 – 0,249	gr/kWh liter/kWh
Kelas 8000 kW	190 – 205 0,225 – 0,243	190 – 200 0,225 – 0,237	195 – 210 0,231 – 0,249	gr/kWh liter/kWh
D. PLTD Besar Kelas 12000 kW	185 – 200 0,219 – 0,237	180 – 200 0,213 – 0,237	190 – 210 0,225 – 0,249	gr/kWh liter/kWh

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dilaksanakan pada tanggal 31 Juli 2017 sampai tanggal 1 September 2017. di Dipo Kereta Tanjungkarang, Kota Bandarlampung.

3.2. Alat Penelitian

Alat penelitian utama yang digunakan pada penelitian ini terdapat 3 (tiga) jenis, antara lain:

1. Luxmeter

Luxmeter merupakan perangkat keras untuk mengukur iluminasi cahaya.

2. Termometer Ruangan

Termometer merupakan perangkat keras untuk mengukur suhu udara ruangan.

3. Tang Ampere

Tang ampere merupakan perangkat keras untuk mengukur arus listrik serta untuk mengukur tegangan listrik.

3.3 Tahap Pelaksanaan Penelitian

3.3.1. Studi Literatur

Tahap pertama ini merupakan tahapan dimana penulis mengumpulkan dan mempelajari tentang Standar Pelayanan Minimum (SPM), iluminasi cahaya, suhu udara, mesin diesel, dan *specific fuel consumption (SFC)/heat rate (HR)* pada mesin diesel. Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari hal-hal terkait dengan cara mencari referensi atau teori, seperti buku, situs *website*, jurnal, dan skripsi yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir. Kemudian dari referensi tersebut dihimpun sebagai penunjang penelitian tugas akhir.

3.3.2. Mengidentifikasi Masalah

Setelah melakukan studi literatur yang berkaitan, maka pada tahapan berikut penulis dapat mengidentifikasi masalah pada parameter yang disyaratkan oleh Standar Pelayanan Minimum (SPM) Angkutan Orang.

3.3.3. Observasi

Pada tahapan ini penulis mengobservasi kondisi terpasang pada rangkaian kereta api penumpang, sehingga penulis dapat mengetahui daya listrik tersedia, beban terpasang pada rangkaian kereta api, dan karakteristik penggunaan.

3.3.4. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data terdiri dari dua langkah, yaitu pengumpulan data parameter objek penelitian dan data penelitian. Pengumpulan data parameter objek penelitian dimaksudkan untuk mengetahui parameter yang akan digunakan untuk menunjang pengolahan data penelitian, dengan rincian sebagai berikut:

- Spesifikasi teknis kereta penumpang.
- Spesifikasi pembangkit listrik pada rangkaian KA penumpang.
- Beban listrik terpasang,
- Harga solar industri/*High Speed Diesel (HSD)* per liter.

Selanjutnya pada poin data penelitian, penulis melakukan pengambilan data di lokasi penelitian untuk keperluan pengolahan data penelitian, dengan rincian sebagai berikut :

- Data intensitas cahaya tiap kereta (persyaratan SPM).
- Data suhu udara tiap kereta (persyaratan SPM).
- Data peralatan listrik pada rangkaian KA penumpang.
- Data total konsumsi daya (beban listrik) pada rangkaian KA penumpang.

3.3.5. Pengolahan Data

Merupakan tahap di mana data yang telah didapat oleh penulis akan diolah sedemikian rupa, dengan rincian sebagai berikut :

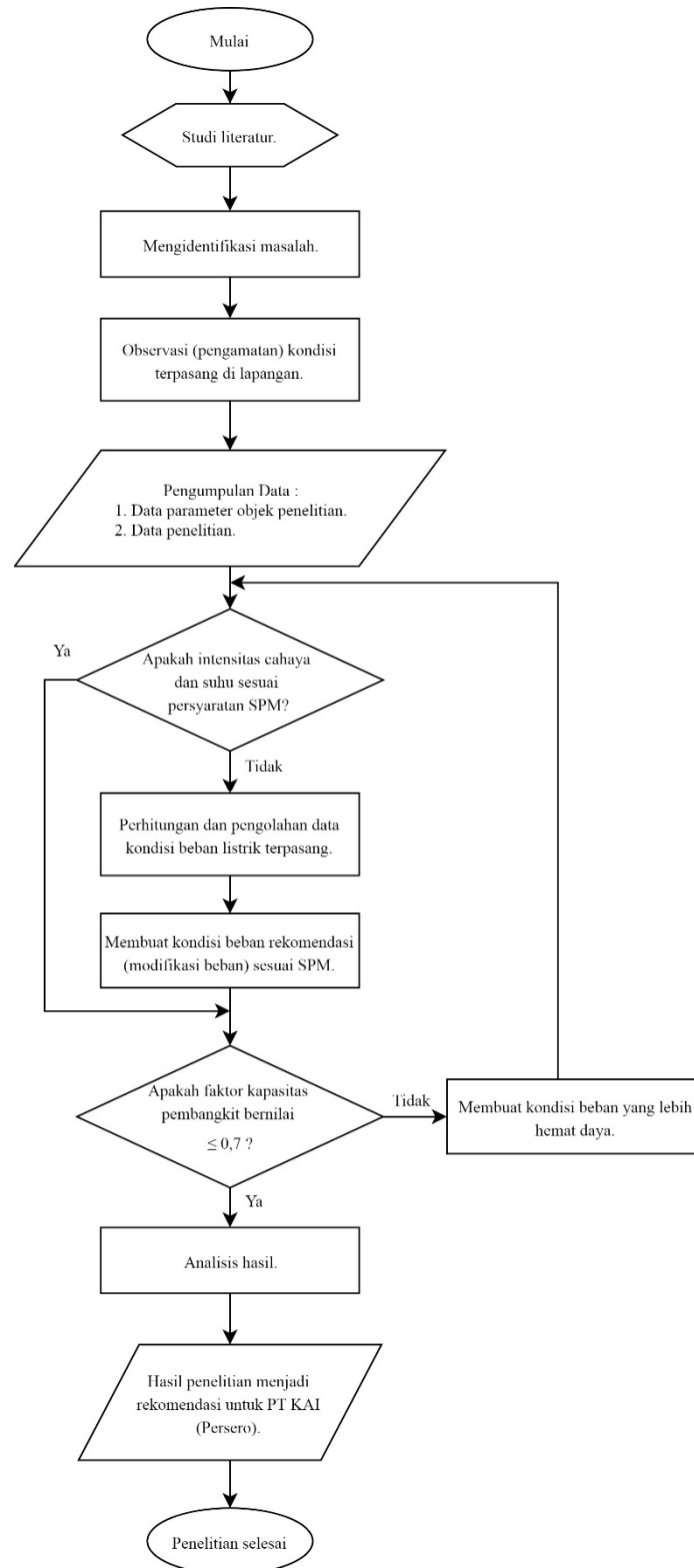
- a. Pada saat pengambilan data intensitas cahaya menggunakan lux meter, maka penulis akan mengambil data sampel nilai iluminasi cahaya pada ketinggian dimana orang beraktivitas berdasarkan ketentuan SNI 16-7062-2004, sehingga tingkat presisi pengukuran data intensitas cahaya per kereta lebih baik.
- b. Berikutnya ialah melakukan pengambilan data suhu udara menggunakan termometer ruangan, penulis mengambil sampel di titik terjauh dari unit AC (*Air Conditioner*) tiap kereta untuk mendapatkan suhu udara rata-rata, agar pengukuran suhu udara kereta lebih akurat.
- c. Data intensitas cahaya dan suhu udara yang telah diperoleh akan dibandingkan dengan nilai intensitas cahaya dan suhu udara yang disyaratkan oleh Standar Pelayanan Minimum (SPM).
- d. Jika hasil perbandingan nilai intensitas cahaya dan suhu udara pada kondisi terpasang dengan persyaratan belum sesuai dengan SPM, maka langkah selanjutnya ialah terlebih dahulu melakukan perhitungan dan pengolahan data kondisi beban listrik terpasang, agar beban penerangan dan pendingin udara dapat disusun sedemikian rupa menyesuaikan dengan standar SPM. Namun jika sudah sesuai SPM, maka penelitian langsung menuju poin e tanpa melakukan modifikasi beban pada kereta.

- e. Jika secara keseluruhan rangkaian KA penumpang telah dimodifikasi sesuai SPM, maka hasil modifikasi beban listrik kemudian diperhitungkan untuk mengetahui faktor kapasitasnya. Faktor kapasitas yang dimaksud ialah perbandingan antara beban listrik terpasang dengan kapasitas pembangkit. Jika faktor kapasitas bernilai dibawah atau sama dengan 0,7 (70%), maka berlanjut ke analisis hasil. Namun jika faktor kapasitas ternyata bernilai diatas 0,7 (70%), maka harus dilakukan modifikasi dan perhitungan kondisi beban yang lebih hemat daya, dan penelitian berulang ke poin d untuk mengetahui kesesuaian dengan SPM.

3.3.6. Analisis Hasil

Tahap ini merupakan tahap terakhir penelitian. Setelah pengolahan data dan perhitungan kondisi beban rekomendasi selesai, maka bisa dihitung nilai *specific fuel consumption* (SFC), nilai *heat rate* (HR), dan efisiensi termal (η_{th}). Setelah mendapatkan nilai SFC, penulis dapat menghitung estimasi perubahan biaya pembangkitan listrik setelah dilakukan perubahan beban listrik dengan tetap mengacu kepada SPM. Adapun analisis hasil perhitungan akan menjadi rekomendasi untuk bagian sarana PT Kereta Api Indonesia (Persero).

3.4. Diagram Alir/Flowchart Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian skripsi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan proses pengukuran, perhitungan, serta analisa data maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pasca *retrofit* penerangan ruangan penumpang, tingkat luminasi sudah memenuhi SPM serta dapat menurunkan konsumsi daya listrik beban penerangan.
2. Konsumsi daya listrik beban pendingin udara (AC) menurun drastis pada kereta bisnis dan ekonomi, sebab kapasitas pendinginan udara disesuaikan dengan luas ruang penumpang.
3. Konsumsi daya listrik pada keseluruhan rangkaian kereta mengalami penurunan setelah diubah menjadi beban kondisi rekomendasi yang berimplikasi pada penurunan intensitas konsumsi energi (IKE) dan energi listrik terpakai.
4. Penurunan energi listrik yang terpakai berdampak pada penurunan konsumsi bahan bakar pembangkit, namun dengan nilai *Specific Fuel Consumption* serta *Heat Rate* yang bernilai tetap.

5.2. Saran

Saran pada skripsi ini terdiri atas saran untuk penelitian selanjutnya dan saran kepada operator KA. Adapun beberapa saran adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lebih lanjut mengenai audit pendingin udara (AC) di kereta api dapat memakai metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD), agar didapatkan sebaran temperatur pada ruangan kereta, sehingga sirkulasi udara lebih efisien.
2. Penelitian lebih lanjut dapat mengukur suhu ruangan dan beban listrik rangkaian KA penumpang secara *real time* agar diketahui nilai yang lebih presisi.
3. Penelitian lebih lanjut dapat mempertimbangkan perhitungan luminasi modus malam di kereta kelas ekonomi, sebab tak menutup kemungkinan adanya kereta kelas ekonomi yang beroperasi menghadap pergantian hari (tengah malam) di daerah Sumatera Bagian Selatan.
4. Sebaiknya bagian sarana PT Kereta Api Indonesia (Persero) untuk memberikan sekat tetap pada kereta jenis MP2 dan KMP3. Sekat ini dimaksudkan untuk memaksimalkan penyebaran pendinginan udara pada ruang makan dan ruang restorasi/dapur pada kedua jenis kereta tersebut.
5. Untuk jangka pendek, sebaiknya bagian sarana PT Kereta Api Indonesia (Persero) memprioritaskan pemasangan lampu tidur pada kereta kelas bisnis (K2) yang saat ini beroperasi menghadap pergantian hari (tengah malam) di wilayah Sumatera Bagian Selatan, demi memenuhi SPM angkutan orang serta kenyamanan penumpang kelas bisnis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, Undang-Undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian, Jakarta: Presiden Republik Indonesia, 2007.
- [2] Hartono. A. S., Lokomotif dan Kereta Rel Diesel di Indonesia, Depok: Ilalang Sakti Komunikasi, 2012.
- [3] Republik Indonesia, Peraturan Menteri Perhubungan No. 48 Tahun 2015 tentang Standar Pelayanan Minimum Angkutan Orang Dengan Kereta Api, Jakarta: Kementerian Perhubungan, 2015.
- [4] T. Linsley, Instalasi Listrik Tingkat Lanjut, Jakarta: Erlangga, 2004.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, SNI 16-7062-2004 : Pengukuran Intensitas Penerangan di Tempat Kerja, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2004.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-6575-2001 : Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2001.
- [7] D. Nursuhud dan A. Pudjanarsa, Mesin Konversi Energi, Yogyakarta: Andi, 2008.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, SNI 6390 : 2011, Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [9] A. J. Watkins, Perhitungan Instalasi Listrik, Jakarta: Erlangga, 2004.
- [10] J. Untoro, et al., "Audit Energi dan Analisis Penghematan Konsumsi Energi pada Sistem Peralatan Listrik di Gedung Pelayanan Unila," ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, vol. VIII, no. 2, Mei 2014.
- [11] R. Indonesia, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 13 Tahun 2012 Tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik, Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012.
- [12] T. Gonen, Electric Power Distribution System, Singapura: Mc Graw-Hill Book Co., 1986.
- [13] B. L. Theraja and Theraja A. K., A Textbook of Electrical Technology Volume II: AC and DC Machines, New Delhi: Rajendra Ravindra Printers (Pvt.) Ltd., 2005.

- [14] M. Kaderbhai, *Understanding ISO 8528-1*, Columbus: Cummins, 2017.
- [15] P. Marpaung, *Dasar Energi, Teknologi Konversi Energi, dan Prinsip Konversi Energi*, Jakarta: Himpunan Ahli Konservasi Energi, 2014.
- [16] Tim Penyusun SPLN Bidang Pembangkitan, *SPLN 80: 1989, Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Gas*, Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara, 1989.
- [17] Tim Penyusun SPLN Bidang Pembangkitan, *SPLN 79: 1987, Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Diesel*, Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara, 1987.