



**PERBANDINGAN EFFISIENSI GENERATOR SET MENGGUNAKAN  
BAHAN BAKAR MINYAK PREMIUM, PERTAMAX DAN  
BAHAN BAKAR MINYAK DARI HASIL  
PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK**

**Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Pembangunan Pancabudi  
Medan**

**SKRIPSI**

**Oleh :**

**Nama : MARISA CHOIRIYAH  
NPM : 1724210326  
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO  
Peminatan : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCABUDI  
MEDAN  
2019**

Ace jwid  
30/9-2019  
Hus  
sally kmpa

31/09/19  
Ace jwid  
30/9



**PERBANDINGAN EFFISIENSI GENERATOR SET MENGGUNAKAN  
BAHAN BAKAR MINYAK PREMIUM, PERTAMAX DAN  
BAHAN BAKAR MINYAK DARI HASIL  
PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK**

Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Pembangunan Pancabudi  
Medan

ace jwid  
1/8-2019

**SKRIPSI**

Ace jwid  
31/9  
Hennyanto

Oleh :  
Nama : MARISA CHOIRIYAH  
NPM : 1724210326  
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCABUDI  
MEDAN  
2019**

**PERBANDINGAN EFFISIENSI GENERATOR SET MENGGUNAKAN  
BAHAN BAKAR MINYAK PREMIUM, PERTAMAX DAN  
BAHAN BAKAR MINYAK DARI HASIL  
PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK**

**Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Pembangunan Pancabudi  
Medan**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Nama : MARISA CHOIRIYAH  
NPM : 1724210326  
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO  
Peminatan : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Dosen Pembimbing I**



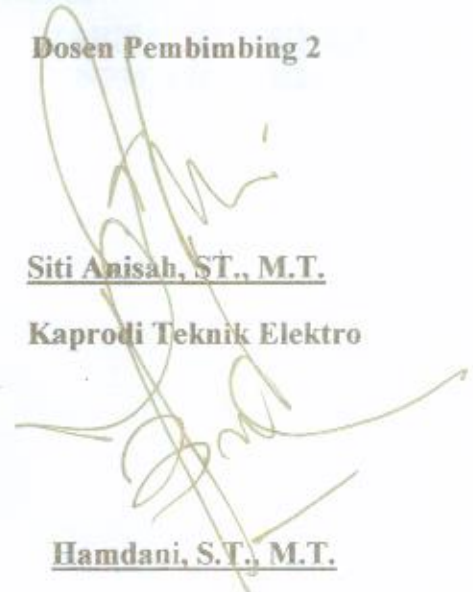
**Hamdani, S.T., M.T.**

**Dekan Fakultas Sains & Teknologi**



**Sri Shindi Indira, S.T., M.Sc.**

**Dosen Pembimbing 2**



**Siti Anisah, S.T., M.T.**

**Kaprodi Teknik Elektro**

**Hamdani, S.T., M.T.**

## PERNYATAAN ORISINALITAS JUDUL PENELITIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiat, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Medan, 25 Juni 2019

METERAI  
TEMPEL  
siswa  
7E568AFF9096B0853  
6000  
ENAM RIBU RUPIAH  
  
**MARISA CHOIRIYAH**  
NPM. 1724210326

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Pembangunan Pancabudi Medan yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **MARISA CHOIRIYAH**  
NPM : **1724210326**  
Program Studi : **Teknik Elektro**  
Fakultas : **Sains dan Teknologi**  
Jenis Karya : **Skripsi**

Demi pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Pancabudi Medan **Hak Bebas Royalti Non-Exklusif** (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya saya yang berjudul:

**“Perbandingan Efisiensi Generator Set Menggunakan Bahan Bakar Minyak Premium, Pertamina dan Bahan Bakar Minyak dari Hasil Pengolahan Limbah Plastik”**

beserta perangkat yang ada jika diperlukan. Dengan hak royalti ini Universitas Pembangunan Pancabudi Medan berhak menyimpan, mengalih-media / alih-formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan, sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 25 Juni 2019



**MARISA CHOIRIYAH**

**NPM. 1724210326**

**TANPA BEBAS PUSTAKA**  
 No. 2306 / Perp / Bp / 2019  
 Dinyatakan tidak ada sangkut  
 paut dengan UPT. Perpustakaan  
 1 JUN 2019  
 Perpustakaan  
 No. 58-MP

FM BPAA-2012-041

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 11 Juni 2019  
 Kepada YD : Bapak/Ibu Dekan  
 Fakultas SAINS & TEKNOLOGI  
 UNPAB Medan  
 Di  
 Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MARISA ECHORRYAH  
 Tempat/Tgl. Lahir : MEDAN / 6 Oktober 1990  
 Nama Orang Tua : ADWALIF  
 N. P. M : 1724210326  
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI  
 Program Studi : Teknik Elektro  
 No. HP : 081311254227  
 Alamat : Jln. K.H. Wahid Hasyim no. 105-A, Medan, Kode Pos: 20119

Tidak diterima  
 Ditandatangani oleh  
 11 JUN 2019  
 Teguh Mardiono, SE., MM.

Datang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul Perbandingan Efisiensi Generator Set Menggunakan Bahan Bakar Minyak Premium, Pertamina dan Bahan Bakar Minyak dari Hasil Pengolahan Limbah Plastik. Selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan memuntut ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan nilai prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercap ketetapan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijilid lux 2 exemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 exemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangan dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKIKOL (pada saat pengambilan ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya yang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan rincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	Rp. 000.000
2. [170] Administrasi Wisuda	Rp. 1500.000
3. [202] Bebas Pustaka	Rp. 100.000
4. [221] Bebas LAB	Rp. 5.000
<b>Total Biaya</b>	<b>Rp. 2405.000</b>

UK Termin berjalan Rp 3750.000

Ukuran Toga : L

Rp 6155.000  
 14/6/19

Diketahui dan disetujui oleh:  
 Sri Mardiana, S.T., M.Sc.  
 Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI

Hormat saya  
 MARISA ECHORRYAH  
 1724210326

Catatan :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila :
  - a. Telah dicap Bukti Pelunasan dari UPT Perpustakaan UNPAB Medan.
  - b. Melampirkan Bukti Pembayaran Uang Kuliah aktif semester berjalan
- 2. Dibuat Rangkap 3 (tiga), untuk - Fakultas - untuk BPAA (asli) - Mhs.yhs.

Telah Diperiksa oleh I PMH  
 54 %  
 Medan, 12 JUNI 2019  
 UNPAB  
 TEGUH MARDIONO, SE., MM.



# UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

## PERMOHONAN MENGAJUKAN JUDUL SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : MARISSA CHOIRYAH  
 Tempat/Tgl. Lahir : MEDAN / 06 Oktober 1990  
 Nomor Pokok Mahasiswa : 1724210326  
 Program Studi : Teknik Elektro  
 Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
 Jumlah Kredit yang telah dicapai : 125 SKS, IPK 3.30

Dengan ini mengajukan judul skripsi sesuai dengan bidang ilmu, dengan judul:

No.	Judul SKRIPSI	Persetujuan
1.	Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Analisa Perbandingan Kinerja Generator Diesel Menggunakan Bahan Bakar Minyak Fosil dan Bahan Bakar Minyak dari Hasil Pengolahan Limbah Plastik.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Analisa Termodinamika Efisiensi Siklus PLTGU pada Berbagai Jenis Konfigurasi Untuk Memperoleh Konfigurasi Optimal	<input type="checkbox"/>
3.	Studi Kelayakan Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid "Solar-Wind" dengan Menggunakan Turbin Angin Sumbu Vertikal pada Berbagai Ketinggian Wilayah dan Kecepatan Angin	<input type="checkbox"/>

NB. Judul yang disetujui oleh Kepala Program Studi diberikan tanda

( Ir. Bhakti Alamnyah, M.T., Ph.D. )

Medan, 31 Agustus 2018  
 Permohonan,  
  
 ( Marissa Choiryah )

Nomor : .....  
 Tanggal : .....  
 Disahkan oleh:  
  
 ( Sri Shinta Indira, S.T., M.Sc. )

Tanggal : 19-09-2018  
 Disetujui oleh:  
 Dosen Pembimbing I :  
  
 ( Mahgrani, S.T., M.T. )

Tanggal : 25/9/18  
 Disetujui oleh:  
 Ka. Prodi Teknik Elektro  
  
 ( Hamdani, S.T., M.T. )

Tanggal : 15-09-18  
 Disetujui oleh:  
 Dosen Pembimbing II:  
  
 ( Siti Anisah, S.T., M.T. )

No. Dokumen: FM-LPPM-08-01      Revisi: 02      Tgl. Eff: 20 Des 2015



**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Jend. GatotSubroto Km 4,5 ☎ 061-50200508 Medan - 20122  
Email : [fastek@pancabudi.ac.id](mailto:fastek@pancabudi.ac.id) / <http://www.pancabudi.ac.id>

**BERITA ACARA PERUBAHAN JUDUL SKRIPSI / TUGAS AKHIR**

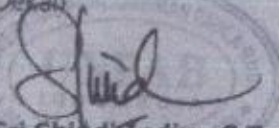
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

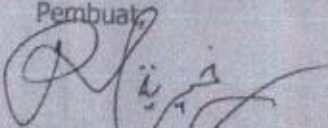
Nama : Marisa Choiriyah  
N P M : 1724210326  
Prodi : Teknik Elektro  
Stambuk : 2017

Mengalami perubahan judul skripsi / tugas akhir sebagai berikut:

Judul Awal : Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Analisa Perbandingan Kinerja Generator Diesel Menggunakan Bahan Bakar Minyak Fossil dan Bahan Bakar Minyak dari Hasil Pengolahan Limbah Plastik  
Judul Perubahan : Perbandingan Efisiensi Generator Set Menggunakan Bahan Bakar Minyak Premium, Pertamina dan Bahan Bakar Minyak dari Hasil Pengolahan Limbah Plastik  
Alasan Perubahan : Diubah Berdasarkan Arahan Dosen Pembimbing

Demikian berita acara perubahan judul/tugas akhir ini saya perbuat dengan sebenarnya.

Diketahui oleh,  
Dekan  
  
Sri Shindhi Indira, S.T., M.Sc

Medan, 20 Mei 2019  
Pembuat,  
  
Marisa Choiriyah





**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**  
**FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI**  
 Jl. Jend. Gatot Subroto Km. 4,5 Telp: (061) 8455571  
 website : www.pancabudi.ac.id email: unpab@pancabudi.ac.id  
 Medan - Indonesia

Universitas : Universitas Pembangunan Panca Budi  
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI  
 Dosen Pembimbing I : Hamdani, S.T., M.T.  
 Dosen Pembimbing II : Siti Anisah S.T., M.T.  
 Nama Mahasiswa : MARISA CHOIRIYAH  
 Jurusan/Program Studi : Teknik Elektro  
 Nomor Pokok Mahasiswa : 1724210326  
 Jenjang Pendidikan : S-1

Judul Tugas Akhir/Skripsi : Analisa Perbandingan Efisiensi Generator Set Menggunakan Bahan Bakar Minyak Premium, Pertamax, dan Bahan Bakar Minyak dari Hasil Pengolahan Limbah Plastik.

TANGGAL	PEMBAHASAN MATERI	PARAF	KETERANGAN
13 Oktober 2018	- Seminar proposal - pertanam latar belakang penelitian.	<i>[Signature]</i>	
6 Desember 2018	- Perbaiki rumusan, turvan dan ketakan masalah - Acc bab I lanjutkan bab II.	<i>[Signature]</i>	
18 Desember 2018	tambahkan teori yg berkaitan dengan penelitian - ikuti panduan penulisan tugas akhir	<i>[Signature]</i>	
17 Januari 2019	Acc bab II lanjutkan bab III	<i>[Signature]</i>	
6 Maret 2019	Penulisan alur penelitian harus sesuai dengan makna dan keadaan penulisan flow chart	<i>[Signature]</i>	
3 April 2019	Acc bab III lanjutkan bab IV	<i>[Signature]</i>	
16 April 2019	Perbaiki hasil penulisan bab bab IV	<i>[Signature]</i>	
17 Mei 2019	ACC Seminar hasil.		

28/05/19 - Seminar hasil.  
 - sempurnakan penulisan dari bab I -  
 31/05/19 - Acc perbaikan seminar hasil.  
 - Acc sedang

Medan, 28 Januari 2019  
 Diketahui/Disetujui oleh :  
 Dekan.  
  
 Sri Shindi Indira, S.T., M.Sc.

\*) Coret yang tidak perlu



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI  
**FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI**  
 Jl. Jend. Gatot Subroto Km. 4,5 Telp (061) 8455571  
 website : www.pancabudi.ac.id email: unpub@pancabudi.ac.id  
 Medan - Indonesia

Universitas : Universitas Pembangunan Panca Budi  
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI  
 Dosen Pembimbing I : Hardani S.T., M.T.  
 Dosen Pembimbing II : Siti Anisah S.T., M.T.  
 Nama Mahasiswa : MARISA CHOIRIYAH  
 Jurusan/Program Studi : Teknik Elektro  
 Nomor Pokok Mahasiswa : 1724210326  
 Jenjang Pendidikan : S-1  
 Judul Tugas Akhir/Skripsi : Analisa Perbandingan Efisiensi Generator Set Menggunakan Bahan Bakar Minyak Incendium, Pertamina, dan Bahan Bakar Minyak dari Hasil Pengolahan Limbah Plastik.

TANGGAL	PEMBAHASAN MATERI	PARAF	KETERANGAN
6 Oktober 2018	Pengajuan judul		
10 Oktober 2018	Pembinaan dan Seminar proposal		
12 Oktober 2018	Seminar proposal		
17 Januari 2019	Pembinaan MAs II, agar tercapai diumumkan ke Kantor dan Ulu, jurnal Ilmiah		
6 Maret 2019	Metodologi penelitian kendala menggunakan bahan kondisi yg sebenarnya		
3 April 2019	Hasil pengujian agar dinyatakan dalam bentuk tabel data dan gambar		
16 April 2019	Kesimpulan berdasarkan hasil pengujian		
17/5 19-	Acc Seminar hasil		
11/6 19-	- Acc Sidang		

Medan, 28 Januari 2019

Diketahui/Ditetujui oleh :

Dekan



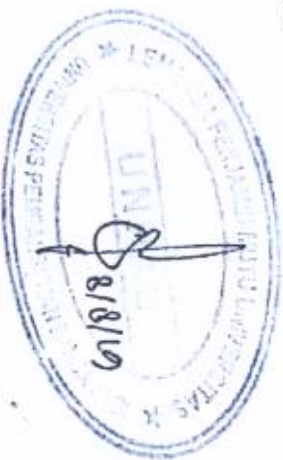
Sri Shind Nadra, S.T., M.Sc.

Plagiarism Detector v. 1092 - Originality Report:

Analyzed document: 27/05/2019 13:13:47

"MARISA CHOIRIYAH\_1724210326\_TEKNIK ELEKTRO.docx"

Licensed to: Universitas Pembangunan Panca Budi\_License4



Relation chart:



Distribution graph



Comparison Preset: Rewrite. Detected language: Indonesian



**KARTU BEBAS PRAKTIKUM**

Yang bertanda tangan di bawah ini Ka. Laboratorium Komputer dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : MARISA CHOIRIYAH  
N.P.M. : 1724210326  
Tingkat/Semester : Akhir  
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Benar dan telah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Komputer Universitas Pembangunan Panca Budi Medan

Medan, 14 Juni 2019  
Ka Laboratorium



No Dokumen : FM-LAKO/6601	Revisi : 01	Tgl Efektif : 14 Juni 2015
---------------------------	-------------	----------------------------

## **ABSTRAK**

Premium dan Pertamina merupakan bahan bakar konvensional yang sudah terbukti efisien di khalayak umum, sementara RDF merupakan bahan bakar alternatif dari sampah plastik yang sangat bermanfaat dalam manajemen lingkungan, namun kualitasnya sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik masih perlu diuji dan diteliti lebih lanjut. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian efisiensi Pertamina, Premium dan RDF dalam penggunaannya pada sebuah generator set. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bahan bakar Pertamina merupakan bahan bakar yang nilai konsumsi bahan bakar spesifiknya paling kecil atau paling hemat yakni 0.0026 liter/jam.watt untuk beban 200 watt dan 0.00088 liter/jam.watt untuk beban 900 watt, lalu Premium menempati peringkat kedua dengan konsumsi bahan bakar spesifik 0.00264 liter/jam.watt untuk beban 200 watt dan 0.00091 liter/jam.watt untuk beban 900 watt, sementara RDF adalah bahan bakar yang nilai konsumsi bahan bakar spesifiknya paling besar atau paling boros yakni 0.0039 liter/jam.watt untuk beban 200 watt dan 0.00126 liter/jam.watt untuk beban 900 watt.

***Kata kunci: Premium, Pertamina, RDF, Generator Set, Energi Listrik***

# COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF GENERATOR SET USING PREMIUM, PERTAMAX, AND THE FUEL FROM PLASTIC WASTE PROCESSING

Marisa Choiriyah<sup>[1]</sup>

Hamdani<sup>[2]</sup>

Siti Anisah<sup>[3]</sup>

Universitas Pembangunan Pancabudi Medan

## ABSTRACT

*Premium and Pertamina are conventional fuels which have been wellknown as efficient fuels in the general public, while RDF is an alternative fuel from plastic waste which is very useful in environmental management, but its quality as an energy source to produce electrical energy still needs to be tested and examined further. In this research, efficiency testing of Pertamina, Premium and RDF was carried out in its use in a generator set. The results of this research indicate that Pertamina is a the most efficient fuel with the smallest specific fuel consumption value, it was 0.0026 liters / hour which used for 200 watts-load and 0.00088 liters / hour for 900 watts-load, Premium occupies the second rank with specific fuel consumption value 0.00264 liters / hour.watt for 200 watts-load and 0.00091 liters / hour.watt for 900 watts-load, while RDF has the highest specific fuel consumption value, it was 0.0039 liters / hour.watt for 200 watts-load and 0.00126 liters / hour .watt for 900 watts-load.*

**Keywords:** *Premium, Pertamina, RDF, Generator Set, Electrical Energy*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala yang telah memberikan nikmat-Nya sehingga penyusunan skripsi yang berjudul: **“PERBANDINGAN EFFISIENSI GENERATOR SET DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR MINYAK PREMIUM, PERTAMAX, DAN BAHAN BAKAR MINYAK DARI HASIL PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK”** dapat terselesaikan. Selama penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Sri Shindi Indira, S.T., M.Sc. selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Pancabudi Medan.
2. Bapak Hamdani, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Pancabudi Medan dan sekaligus sebagai dosen pembimbing yang telah banyak membantu penulis.
3. Ibu Siti Anisah, S.T., M.T. dan Ibu Maharani Putri, S.T., M.T. yang dengan sabar meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan hingga skripsi ini selesai.
4. Bapak-Ibu Dosen Pengajar Program Studi Teknik Elektro UNPAB Medan.
5. Seluruh staf Program Studi Teknik Elektro UNPAB Medan, terutama Kak Mia.
6. Orang tua, keluarga, dan sahabat-sahabat penulis: (Shantinah Annisa dan Nimas Luluk) yang selalu memberikan dukungan dan nasehat, serta rekan-rekan mahasiswa UNPAB dan semua pihak yang ikut andil menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Penulis sangat mengharapkan skripsi ini bisa dikembangkan dan disempurnakan lebih jauh lagi di kemudian hari. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi kita semua dan memberikan inspirasi bagi yang mengembangkannya.

Medan, 25 Juni 2019

Marisa Choiriyah

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR TABEL.....	ii
DAFTAR GAMBAR .....	4
DAFTAR RUMUS .....	5
DAFTAR ISI.....	ii
BAB 1 .....	6
PENDAHULUAN .....	6
1.1    Latar Belakang Masalah.....	6
1.2    Rumusan Masalah.....	6
1.3    Tujuan .....	6
1.4    Batasan Masalah .....	7
1.5    Manfaat Penelitian .....	7
BAB 2 .....	8
TINJAUAN PUSTAKA .....	8
2.1 <i>Refuse Derived Fuel</i> (RDF) .....	8
2.1.1    Plastik.....	9
2.1.2    Pirolisis .....	14
2.1.3    Alat Pirolisis.....	14
2.1.4    Minyak Hasil Pirolisis.....	15
2.2    Bahan Bakar Minyak Bumi.....	16
2.3    Generator Set (Genset).....	19
2.3.1    Itilah-Istilah dan Proses – Proses Termodinamika .....	20
2.3.2    Kuantitas-Kuantitas Listrik Fundamental .....	26
2.3.2.1    Muatan .....	27
2.3.2.2    Beda Potensial atau Tegangan .....	29
2.3.2.3    Arus.....	30
2.3.2.4    Daya Listrik Dan Tenaga .....	34



2.3.2.5 Resistansi .....	35
2.3.3. Elektromagnetisme.....	37
2.3.4 Cara Kerja Genset .....	42
2.3.5 Proses Pembakaran Pada Mesin Genset.....	45
2.3.6 Neraca Energi Termal .....	50
2.3.7 Kontrol Volume .....	51
2.3.8 <i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC).....	51
2.4 Penelitian-penelitian Sebelumnya.....	53
<b>BAB 3 .....</b>	<b>54</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>54</b>
3.1 Metode Penelitian .....	54
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	54
3.3 Fasilitas Penelitian .....	54
3.4 Tahap-Tahap dan Teknik Penelitian .....	55
3.5 Langkah Pengukuran .....	56
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	58
<b>BAB 4 .....</b>	<b>59</b>
<b>PEMBAHASAN DAN HASIL.....</b>	<b>59</b>
4.1 Pengujian Bahan Bakar Premium .....	59
4.2 Pengujian Bahan Bakar Pertamina.....	63
4.3 Pengujian Bahan Bakar RDF dari Sampah Plastik .....	67
4.4 Perbandingan Efisiensi Bahan Bakar Premium, Pertamina, dan RDF .....	71
<b>BAB 5 .....</b>	<b>75</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran .....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>80</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Nomor Kode Plastik .....	12
Gambar 2.2 Nilai Kalor dalam Plastik dan Sumber Lain.....	13
Gambar 2.3 Diagram P-V untuk proses Isotermik .....	23
Gambar 2.4 Diagram P-V untuk proses isobarik .....	25
Gambar 2.5 Diagram P-V untuk proses adiabatik.....	25
Gambar 2.6 Grafik Arus Searah oleh Generator Arus Searah .....	32
Gambar 2.7 Grafik Arus Bolak-Balik oleh Generator Arus Bolak-Balik.....	33
Gambar 2.8 Hubungan Tegangan, Arus, dan Resistansi.....	36
Gambar 2.9 Diagram Generator AC dan EMF yang Dihasilkan .....	43
Gambar 2.10 Sistem Bahan Bakar .....	46
Gambar 2.11 Tahap Pembakaran Pada Mesin Diesel .....	48
Gambar 2.12 <i>Sankey Diagram</i> .....	50
Gambar 2.13 Volume Kontrol pada Genset .....	51
Gambar 4.1 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pertamina-Premium-RDF .....	72
Gambar 4.2 Grafik Waktu Pengujian 0.025 liter Pertamina-Premium-RDF .....	73
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tegangan Generator Set Menggunakan Pertamina-Premium-RDF .....	74
Gambar 4.4 Grafik Pengujian RPM Generator Set Menggunakan Pertamina-Premium-RDF .....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis dan Karakteristik Sifat Plastik.....	10
Tabel 2. 2 Kuantitas-Kuantitas Listrik Utama .....	26
Tabel 2. 3 Awalan-Awalan Kuantitas Listrik.....	27
Tabel 4. 1 Data pengukuran generator set tanpa beban dengan menggunakan bahan bakar premium.....	59
Tabel 4. 2 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban Nol Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium.....	60
Tabel 4. 3 Data Pengukuran Generator pada Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium .....	60
Tabel 4. 4 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium.....	61
Tabel 4. 5 Data Pengukuran Generator pada Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium. ....	61
Tabel 4. 6 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium.....	61
Tabel 4. 7 Data Pengukuran Generator pada Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium. ....	62
Tabel 4. 8 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium.....	62
Tabel 4. 9 Data Pengukuran Generator pada Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium .....	62
Tabel 4. 10 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium.....	63
Tabel 4. 11 Data pengukuran generator set tanpa beban dengan menggunakan bahan bakar Pertamina.....	63
Tabel 4. 12 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban Nol Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina .....	64

Tabel 4. 13 Data Pengukuran Generator pada Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina.	65
Tabel 4. 14 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina	65
Tabel 4. 15 Data Pengukuran Generator pada Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina.	65
Tabel 4. 16 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina	66
Tabel 4. 17 Data Pengukuran Generator pada Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina.	66
Tabel 4. 18 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina	66
Tabel 4. 19 Data Pengukuran Generator pada Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina.	67
Tabel 4. 20 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina	67
Tabel 4. 21 Data pengukuran generator set tanpa beban dengan menggunakan bahan bakar RDF	68
Tabel 4. 22 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban Nol Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF	68
Tabel 4. 23 Data Pengukuran Generator pada Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF.	69
Tabel 4. 24 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF	69
Tabel 4. 25 Data Pengukuran Generator pada Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF.	69
Tabel 4. 26 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF	70
Tabel 4. 27 Data Pengukuran Generator pada Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF.	70

Tabel 4. 28 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF .....	70
Tabel 4. 29 Data Pengukuran Generator pada Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF. ....	71
Tabel 4. 30 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF .....	71

## DAFTAR RUMUS

Rumus kalor pada proses isotermik (2.1).....	23
Rumus kalor pada proses isokhorik (2.2).....	24
Rumus kalor pada proses isobarik (2.3).....	24
Rumus kalor pada proses isobarik (2.4).....	24
Rumus usaha pada proses adiabatik (2.5).....	25
Rumus Hukum Coulomb (2.6).....	28
Rumus Tegangan terhadap muatan dan kerja (2.7).....	29
Rumus Tegangan terhadap muatan dan gaya (2.8).....	30
Rumus arus terhadap muatan dan waktu (2.9).....	31
Rumus arus terhadap muatan dan waktu (2.10).....	32
Rumus daya terhadap muatan, tegangan, dan waktu (2.11).....	34
Rumus daya terhadap tegangan dan arus (2.12).....	34
Rumus daya sesaat (2.13).....	34
Rumus dimensi perkalian tegangan dan arus (2.14).....	35
Definisi matematik tegangan dan arus (2.15).....	35
Daya yang dikeluarkan atau daya yang diserap (2.16).....	35
Rumus tegangan terhadap resistansi dan arus (2.17).....	35
Rumus Hukum Faraday (2.18).....	41
Rumus kecepatan putaran generator (2.19).....	44
Rumus Fluksi Elektromagnetik (2.20).....	44
Korelasi antara torsi pemutar rotor dengan besaran arus (2.21).....	44
Rumus <i>Specific fuel consumption</i> .....	51
Rumus <i>Specific fuel consumption</i> .....	52
Rumus laju konsumsi bahan bakar spesifik (bsfc) (2.24).....	52

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Salah satu permasalahan di negara Indonesia adalah masalah pengolahan sampah. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup, volume sampah yang dihasilkan di Indonesia meningkat secara tajam selama periode 2010-2012, yaitu 200.000 ton per hari pada tahun 2010 dan meningkat lebih dari dua kali lipat menjadi 490.000 ton per hari pada tahun 2012. Secara umum, komposisi sampah di Indonesia terdiri dari: 55-70% sampah organik (*biodegradable* /mudah terurai); 30-45% sampah nonorganik (*non-biodegradable* /tidak mudah terurai); dan kurang dari 1% sampah beracun/berbahaya (B3). Berdasarkan data statistik sampah tahun 2011 dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), volume sampah plastik adalah yang tertinggi kedua, mencapai sekitar 5,4 juta ton per tahun atau setara dengan 14% dari total sampah. Sebagian besar sampah di Indonesia berasal dari sektor rumah tangga (48%), pasar tradisional (24%) dan area perdagangan (9%), sementara sisanya berasal dari fasilitas publik (sekolah, kantor, jalan, dll.). (Kementerian ESDM, 2015)

Sejak ditemukan pertama kali pada tahun 1907, penggunaan plastik dan barang barang berbahan dasar plastik semakin meningkat. Peningkatan penggunaan plastik ini merupakan konsekuensi dari berkembangnya teknologi, industri dan juga jumlah populasi penduduk. (Iswadi dkk, 2017). Hal ini di karenakan oleh keunggulan plastik di bandingkan dengan bahan material lain,

di antaranya seperti kuat, ringan, tidak korosi, mudah diwarnai, dan murah. (Syamsiro dkk, 2016).

Berdasarkan hasil penelitian Pamungkas Febrina, 2014 menyatakan bahwa komposisi jenis plastik yang dominan adalah jenis Polypropylene (PP) sebanyak 30,19% yang sering digunakan sebagai kemasan makanan, minuman, plastik makanan, dan kantong plastik seperti terlihat pada Gambar 2. Plastik masih banyak dipakai karena memiliki keunggulan-keunggulan tadi antara lain ringan, tidak mudah pecah, dan murah. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyebutkan bahwa total jumlah sampah di Indonesia pada tahun 2019 akan mencapai 68 juta ton, dan sampah plastik diperkirakan akan mencapai 9,52 juta ton atau 14 persen dari total sampah yang ada. Sementara itu KLHK menargetkan pengurangan sampah plastik lebih dari 1,9 juta ton hingga tahun 2019. (Purwaningrum & Pramiati, 2016)

Sampah plastik sudah menjadi permasalahan penting pada saat ini karena menimbulkan permasalahan lingkungan antara lain adalah tercemarnya tanah, air tanah, dan makhluk bawah tanah; racun-racun dari partikel plastik yang masuk kedalam tanah akan membunuh hewan-hewan pengurai di dalam tanah seperti cacing; PCB yang tidak dapat terurai meskipun termakan oleh binatang maupun tanaman akan menjadi racun berantai sesuai urutan rantai makanan; kantong plastik akan mengganggu jalur air yang meresap ke dalam tanah; menurunkan kesuburan tanah karena plastik juga menghalangi sirkulasi udara didalam tanah dan ruang gerak makhluk bawah tanah yang mampu menyuburkan tanah; kantong plastik yang sukar diurai, mempunyai umur panjang, dan ringan akan mudah diterbangkan angin hingga



ke laut sekalipun; hewan-hewan dapat terjatuh dalam tumpukan plastik; hewan-hewan laut seperti lumba-lumba, penyu laut, dan anjing laut menganggap kantong-kantong plastik tersebut makanan dan akhirnya mati karena tidak dapat mencernanya; ketika hewan mati, kantong plastik yang berada di dalam tubuhnya tetap tidak akan hancur menjadi bangkai dan dapat meracuni hewan lainnya; pembuangan sampah plastik sembarangan di sungai-sungai akan mengakibatkan pendangkalan sungai dan penyumbatan aliran sungai sehingga menyebabkan banjir. Konsumsi berlebih terhadap plastik, mengakibatkan jumlah sampah plastik yang besar. Plastik bukan berasal dari senyawa biologis, sehingga memiliki sifat sulit terdegradasi (*nonbiodegradable*). Plastik diperkirakan membutuhkan waktu 100 hingga 500 tahun dapat terdekomposisi (terurai) dengan sempurna. (Purwaningrum dan Pramati, 2016)

Masyarakat pada umumnya membakar atau membuang sampah ke TPA dan ada sebagian sampah plastik yang diambil untuk didaur ulang. Walaupun begitu, penanganan sampah tersebut seperti dibakar tidak terlalu efektif karena dapat menghasilkan emisi gas yang berbahaya (A.O.Priyatna dkk, 2014). Asap hasil pembakaran bahan plastik sangat berbahaya karena mengandung gas-gas beracun seperti hidrogen sianida (HCN) dan karbon monoksida (CO). Hidrogen sianida berasal dari polimer berbahan dasar akrilonitril, sedangkan karbon monoksida sebagai hasil pembakaran tidak sempurna. Hal inilah yang menyebabkan sampah plastik sebagai salah satu penyebab pencemaran udara dan mengakibatkan efek jangka panjang berupa pemanasan secara global pada atmosfer bumi. (Purwaningrum dan Pramati, 2016)

Undang-Undang Pengelolaan Sampah No. 18 Tahun 2008 yang berlaku di Indonesia juga telah mengatur pengurangan sampah melalui gerakan 3R (*Reduce*, *Reuse* dan *Recycle*). (Kementerian ESDM, 2015). *Reuse* adalah memakai berulang kali barang-barang yang terbuat dari plastik. *Reduce* adalah mengurangi pembelian atau penggunaan barang-barang dari plastik, terutama barang-barang yang sekali pakai. *Recycle* adalah mendaur ulang barang-barang yang terbuat dari plastik. Masing-masing penanganan sampah tersebut di atas mempunyai kelemahan. Kelemahan dari *reuse* adalah barang-barang tertentu yang terbuat dari plastik, seperti kantong plastik, kalau dipakai berkali-kali akan tidak layak pakai. Selain itu beberapa jenis plastik tidak baik bagi kesehatan tubuh apabila dipakai berkali-kali. Kelemahan dari *reduce* adalah harus tersedianya barang pengganti plastik yang lebih murah dan lebih praktis. Sedangkan kelemahan dari *recycle* adalah bahwa plastik yang sudah didaur ulang akan semakin menurun kualitasnya. (Iswadi dkk, 2017)

Selain masalah sampah, menurut Prof. Ir. Abdul Kadir, masalah energi juga menjadi masalah utama yang terjadi di Indonesia. Sejak tahun 1973 sudah terjadi kemelut energi di dunia yang membuat usaha konservasi energi terus dilakukan. Landasan pemikiran pada konservasi energi adalah pemanfaatan sumber daya energi dengan daya guna yang lebih tinggi dengan menggunakan cara-cara yang mempunyai kelayakan teknis, tidak merusak lingkungan, dan dapat diterima oleh masyarakat. (Kadir, 2005).

Energi listrik merupakan bentuk energi yang paling penting dalam kehidupan manusia. Kebutuhan akan energi listrik inipun terus bertambah besar seiring dengan perkembangan zaman dan kemajuan teknologi. Hal ini dapat dilihat dari besarnya

jumlah konsumsi listrik baik oleh konsumen rumah tangga maupun industri dalam setiap negara setiap tahunnya. Salah satu pendukung dalam penyediaan energi listrik tersebut adalah ketersediaan energi dan teknologi yang dapat mengubah sumber energi tersebut menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Sumber energi fosil merupakan energi yang paling dominan digunakan. (Dewan Energi Nasional, 2014). Bahkan sampai dengan tahun 2050, pembaharuan energi masih didominasi oleh energi fosil, sehingga perlu segera menetapkan cadangan strategis, membangun cadangan penyangga energi, dan meningkatkan cadangan operasional untuk menjamin ketersediaan energi. (Dewan Energi Nasional, 2014).

Oleh karena itu, untuk menangani masalah besar di Indonesia, yakni masalah sampah dan masalah energi, perlu adanya perubahan strategi dalam pengolahan sampah agar potensi ini bisa benar-benar dimanfaatkan. Di beberapa negara maju, sampah kota sudah dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik walaupun masih merupakan produk sampingan. Untuk upaya penerapan perubahan sampah menjadi energi, maka diperlukan kajian yang lebih mendalam. Kajian tersebut sebaiknya berupa pilot plant skala kecil yang dengan demikian perubahan yang terjadi merupakan dampak dari kondisi alam yang sebenarnya. (Martono, 2009)

Mengkonversi sampah plastik menjadi bahan BBM menggunakan teknologi pirolisis merupakan pilihan yang sangat prospektif untuk mendaur ulang plastik yang tidak dapat didaur ulang secara mekanis karena pertimbangan keekonomian. (R.Rafli dkk, 2017).

Penelitian tentang pengolahan sampah plastik menjadi energi ini membantah pendapat yang dikeluarkan oleh peneliti era 1980-1990an bahwa “Jika lingkungan

yang diutamakan, energi yang diperlukan tidak diperoleh. Jika energi yang diperlukan yang diutamakan, maka lingkungan akan rusak.” (Kadir, 2005). Oleh karena itu, dalam Skripsi ini, akan dilakukan penelitian tentang mengelola sampah plastik menjadi bahan bakar minyak yang biasa disebut RDF (*Refused Derived Fuel*) yang sangat membantu menyelamatkan lingkungan, dan bagaimana kinerja RDF tersebut untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan generator diesel. Penelitian ini membandingkan pula hasil penelitian peneliti sebelumnya bahwa ekuivalensi antara BBM dan tenaga listrik adalah satu liter BBM dapat menghasilkan tiga sampai tiga setengah kWh listrik. (Kadir, 2005)

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas pada skripsi ini adalah terbatas pada pokok sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja generator set ditinjau dari tegangan, daya dan bebannya jika bahan bakarnya menggunakan bahan bakar pertamax, premium, dan bahan bakar dari sampah plastik.
2. Bagaimana perbandingan konsumsi bahan bakar Pertamax, Premium dan bahan bakar dari sampah plastik untuk mengoperasikan sebuah generator set.

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan skripsi ini adalah: untuk membandingkan kinerja generator set ditinjau dari tegangan, daya dan bebannya jika bahan bakarnya menggunakan bahan bakar pertamax, premium, dan bahan bakar dari sampah plastic dan membandingkan

konsumsi bahan bakar Pertamina, Premium dan bahan bakar dari sampah plastik untuk mengoperasikan sebuah generator set.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Supaya pembahasan terhadap permasalahan yang ada dapat dilakukan secara terarah dan sistematis, maka perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Genset yang digunakan dalam penelitian adalah generator bensin yang telah dipakai dalam waktu lama yang dalam penelitian ini tidak dilakukan perhitungan efisiensi berdasarkan waktu pakai dan pemeliharaannya.
2. BBM yang diujikan dalam penelitian ini adalah premium, pertamax, dan RDF.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penulisan skripsi ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dari segi Aplikasi:  
Dapat dijadikan pedoman bagi masyarakat luas untuk memanfaatkan bahan bakar minyak dari sampah plastik menjadi energi yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.
2. Dari segi akademis:  
Dapat dijadikan sebagai sumber referensi untuk teknik pengolahan lingkungan dan teknologi energi terbarukan, dan diharapkan dapat dikembangkan lebih jauh lagi dalam mata kuliah Perencanaan Pembangkit Tenaga Listrik Terbarukan untuk menjadi suatu teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Refuse Derived Fuel (RDF)***

*Refuse Derived Fuel (RDF)* merupakan bahan bakar atau ‘bahan baku’ yang diciptakan dari hasil pemrosesan/pengolahan sampah untuk menghasilkan bahan bakar/bahan baku yang memiliki kualitas yang konsisten. Biasanya, sampah dipilah-pilah untuk mendapatkan sampah yang mudah terbakar (NCV tinggi) seperti plastik, sampah mudah terurai dll, yang kemudian dikeringkan dan dicacah untuk meningkatkan NCV-nya. RDF dapat dimanfaatkan dalam salah satu instalasi pengolahan termal yang dibahas di atas, sehingga tidak menjadi metode WtE yang berdiri sendiri, melainkan berupa metode persiapan sampah, yang bertujuan untuk mengoptimalkan pemulihan WtE. Pabrik produksi RDF cenderung dibangun di dekat sumber sampah dengan volume tinggi dan dapat dihubungkan dengan pengolahan WtE yang berdekatan atau dapat langsung diangkut untuk dijual ke pabrik pembakaran lokal/regional atau bahkan internasional, termasuk pabrik pengolahan WtE, pabrik semen dan pembangkit listrik tenaga batubara. (Kementerian ESDM, 2015).

Tiga metode pengolahan sampah secara termal (pembakaran, gasifikasi dan pirolisis), serta refuse-derived fuel (RDF), yang merupakan metode pengolahan sampah menjadi energi (Kementerian ESDM, 2015)

Berdasarkan analisa yang pernah dilakukan Lembaga Minyak dan Gas Bumi (Lemigas), minyak dari plastik bekas ini memiliki sifat tidak jenuh. Artinya,

perbandingan antara karbon dan hidrogen tidak seimbang sehingga ada mata rantai yang tidak terisi. Minyak berwarna kuning kecokelatan, tetapi sudah biasa untuk bahan bakar kompor atau obor. Minyak hasil pirolisis ini mudah terbakar, mengeluarkan jelaga, dan baunya merangsang. Minyak pirolisis ini dapat diolah lagi supaya mempunyai sifat jenuh dan stabil. (Iswadi dkk, 2017).

### **2.1.1 Plastik**

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya maupun kebutuhan energi prosesnya. (Untoro & Ismanto, 2016)




Pada dasarnya polimer secara umum digolongkan ke dalam 3 (tiga) macam, yakni : (Stevens, 2001)

1. Bahan Thermoplastik (Thermoplastik), yaitu akan melunak bila dipanaskan dan setelah didinginkan akan dapat mengeras. Thermoplastik disebut juga plastik komoditi dan sering dipakai dalam bentuk barang yang bersifat pakai – buang (disposable) seperti lapisan pengemas





(Stevens, 2001, hal 33). Contoh bahan thermoplastik adalah : polistiren, polietilen, polipropilen, nilon, plastik fleksiglass dan teflon.

2. Bahan Thermoseting (Thermosetting), yaitu plastik dalam bentuk cair dan dapat dicetak sesuai yang diinginkan serta akan mengeras jika dipanaskan dan tetap tidak dapat dibuat menjadi plastik lagi. Thermosetting disebut juga plastik teknik, memiliki sifat mekanik yang unggul, dan daya tahan yang lebih baik (Stevens, 2001). Contoh bahan thermosetting adalah : bakelit, silikon dan epoksi.
3. Karet (Elastomer) yaitu polimer yang memperlihatkan resiliensi (daya pegas) atau kemampuan meregang dan kembali ke keadaan semula dengan cepat (Stevens, 2001). Contoh elastomer, yaitu : karet sintetis.

**Tabel 2. 1 Jenis dan Karakteristik Sifat Plastik**

Simbol	Karakteristik dan Contoh
	<p><b><i>POLYETHENE TEREPHTHALATE (PET, PETE)</i></b>            PET bening, jernih, dan kuat. Biasanya digunakan sebagai botol minuman, namun tidak digunakan untuk air hangat ataupun minuman yang panas. Serpihan PET yang telah didaur ulang dapat digunakan untuk membuat serat benang karpet, <i>fiberfill</i>, <i>geotextile</i>. Jenis ini biasa disebut <i>polyester</i>.</p>
	<p><b><i>HIGH-DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)</i></b>            Bahan HDPE biasanya dipakai untuk membuat galon air minum, botol susu, deterjen, botol minyak, dan Tupperware. Hal ini dikarenakan HDPE mampu mencegah reaksi kimia dengan makanan/minuman yang dikemasnya.</p>
	<p><b><i>POLYVINYL CHLORIDE (PVC)</i></b>            Merupakan plastik yang mudah untuk dibentuk. Bahan ini biasa digunakan untuk membuat mainan anak-anak dan box penampung makanan. Selain itu, PVC juga digunakan untuk membuat bingkai jendela dan pintu, selang, dan teralis plastik karena PVC memiliki sifat relatif tahan terhadap sinar matahari dan cuaca.</p>



 <p>4 LDPE</p>	<p><b>LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)</b> Plastik ini banyak digunakan pada kantong kresek, botol-botol yang lembek, dan jenis plastik kantong belanja lainnya. Plastik berbahan LDPE relatif aman untuk digunakan. Daya proteksinya terhadap uap air tergolong baik, namun kurang bagus bagi gas-gas lain seperti oksigen.</p>
 <p>5 PP</p>	<p><b>POLYPROPYLENE (PP)</b> Memiliki sifat yang tangguh, ringan dan memiliki kualitas tahan panas yang sangat baik. Bahan ini bisa jadi penghalang bagi kelembaban, minyak dan bahan kimia. Penggunaannya banyak ditemui dalam pembuatan ember, botol plastik, margarine dan kontainer yogurt, sedotan, pita, dan tali. Baiknya sifat <i>Polypropylene</i> menunjukkan baiknya juga bahan ini terhadap kesehatan. Plastik berbahan <i>Polypropylene</i> bisa digunakan berulang dan merupakan jenis plastik terbaik untuk kebutuhan dapur.</p>
 <p>6 PS</p>	<p><b>POLYSTYRENE (PS)</b> PS ini memiliki ciri kaku, getas, buram, mudah dibentuk dan melunak pada suhu 95°C. Salah satu penggunaan bahan ini adalah untuk pembuatan sterofoam. Jika terkena suhu panas, bahan kimianya sangat mudah berpindah ke dalam makanan. Efek buruk dari bahan ini adalah dapat merusak kesehatan otak, mengganggu hormon estrogen pada wanita dan bisa mengganggu pertumbuhan dan sistem saraf.</p>
 <p>7 OTHER</p>	<p><b>OTHER</b> Dalam kategori ini, plastik dibedakan menjadi 4 jenis, yakni PC (<i>Polycarbonate</i>), SAN (<i>Styrene Acrylonitrile</i>), ABS (<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>), dan <i>Nylon</i>. Bahan-bahan ini bisa ditemukan di tempat makanan dan minuman, suku cadang mobil, peralatan rumah tangga, dan kemasan plastik lainnya. Plastik jenis PC tidak dianjurkan terhadap apapun. Lebih baik gunakan plastik yang berbahan SAN atau ABS yang masih tergolong baik untuk kemasan makanan dan minuman.</p>

Sumber: H.P.Putra & Y.Yuriananda, 2010

Pengelompokan dan pengkodean seperti Tabel 1 dikembangkan oleh *The Society of the Plastic Industry (SPI)*, sebuah organisasi perdagangan di Washington D.C yang mewakili industri plastik di Amerika. Tujuan dari pengelompokan dan pengkodean ini adalah menyediakan sistem nasional yang konsisten untuk memudahkan pengelompokan plastik bekas bagi pendaur ulang plastik. Meskipun

tidak wajib dilakukan, pengkodean ini telah menjadi prosedur standar untuk produk plastik yang dijual di Amerika dan Kanada. Di Indonesia sendiri pengkodean ini sudah lazim digunakan. (H.P.Putra & Y.Yuriananda, 2010)

Berdasarkan sifat termalnya, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu thermoplastik dan termosetting. Thermoplastik adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (UNEP, 2009). Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis-jenis plastik yang paling sering diolah adalah polyethylena (PE), polypropylene (PP), polistirena (PS), polyethylene terephthalate (PET) dan polyvinyl chloride (PVC). Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi. Nomor kode plastik akan tercantum pada produk-produk berbahan plastik seperti gambar berikut ini. (Untoro & Ismanto, 2016)

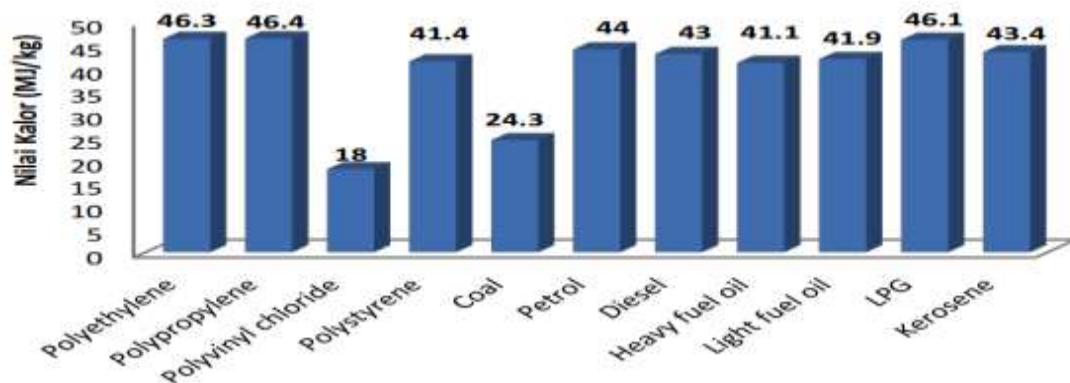


**Gambar 2.1 Nomor Kode Plastik**  
Sumber: (Untoro & Ismanto, 2016)

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi.

1. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perengganan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya.
2. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair.
3. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Untoro & Ismanto, 2016)

Sampah plastik menyimpan potensi sebagai energi alternatif. Berdasarkan hasil penelitian Das dan Pande, 2007 diperoleh nilai kalor yang terkandung dalam plastik dengan sumber-sumber energi lainnya dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 2.2 Nilai Kalor dalam Plastik dan Sumber Lain**

Sumber: (Purwaningrum & Pramiati, 2016)

### 2.1.2 Pirolisis

Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Pirolisis adalah proses *dekomposisi* suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses *dekomposisi* pada pirolisis ini juga sering disebut dengan *devolatilisasi*. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah arang (*char*), minyak, dan gas. Arang yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar. Sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung. (Iswadi dkk, 2017)

### 2.1.3 Alat Pirolisis

Menurut Iswadi dkk, ada beberapa komponen yang dimiliki alat pirolisis ini. Adapun komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut :

a. **Reaktor** Reaktor berfungsi sebagai tempat plastik yang akan dimanfaatkan dengan cara dipanaskan untuk menjadi bahan bakar minyak.

b. **Kondensor**

Kondensor berfungsi untuk mengubah gas/uap hasil pirolisis menjadi cairan (bahan bakar minyak). Pada tahap kondensasi, uap hasil dari rektor pirolisis dialirkan ke rangkaian kondensor. Kondensor ini memiliki dua sistem pendinginan yaitu kondensor pertama menggunakan media udara sekitar lingkungan untuk mendinginkan uap sedangkan kondensor kedua dengan air yang dialirkan di dalam kondensor tersebut sebagai media pendinginnya.

c. **Burner**

Burner merupakan pemasok energi panas untuk memanaskan mesin pirolisis dengan suhu mencapai 400°C - 800°C sehingga plastik dapat mencair dan menjadi uap, lalu uap tersebut akan didinginkan dengan kondensator sehingga dapat menghasilkan bahan bakar minyak. (Iswadi dkk, 2017)

#### **2.1.4 Minyak Hasil Pirolisis**

Pranata meneliti tentang minyak pirolisis dari plastik polietilena, hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak pirolisis dari plastik polietilena mempunyai densitas 939 kg/m<sup>3</sup> atau lebih berat dari minyak tanah. Minyak bakar ini mempunyai *ignition point* 30,4°C sehingga sangat mudah dinyalakan. Komponen utama minyak pirolisis dari plastik polietilena adalah styrene monomer yang kadarnya hampir 64%. Sedangkan lebih dari 80% minyak pirolisis ini terdiri dari *styrene*. Telah melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur dan waktu terhadap hasil *char* pada proses pirolisis, dimana semakin tinggi temperatur setelah melewati temperatur puncak, reaktifitas dari *char* akan menurun. Sedangkan komponen waktu berpengaruh terhadap reaktifitas dari *char*. Proses pirolisis dimulai pada temperature sekitar 230°C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatile matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan polyaromatic hydrocarbon. Produk pirolisis umumnya terdiri dari gas (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>), tar (*pyrolitic oil*), dan arang. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan

empiris yang berbeda. Selain itu, plastik merupakan polimer yang berat molekulnya tidak bisa ditentukan, ataupun dihitung. Karena itu, kecepatan reaksi dekomposisi didasarkan pada perubahan massa atau fraksi massa per satuan waktu. Produk pirolisis selain dipengaruhi oleh suhu dan waktu, juga oleh laju pemanasan. Melakukan perengkahan sampah plastik jenis polipropilena dari kemasan air mineral dalam reaktor pirolisis terbuat dari stainless steel, dilakukan pada temperature 475oC dengan dialiri gas nitrogen (100 mL/menit). (Iswadi dkk, 2017)

## **2.2 Bahan Bakar Minyak Bumi**

Bahan bakar singkatnya adalah zat yang mudah terbakar. (M.J.Moran & H.N.Shapiro, 2004). Pada umumnya bahan bakar merupakan suatu senyawa yang mengandung unsur hidrokarbon. Hampir semua jenis bahan bakar yang beredar di pasaran berasal dari minyak bumi beserta turunannya yang kemudian diolah menjadi berbagai macam dan jenis bahan bakar (G.P.Tumilar dkk, 2015).

Minyak bumi merupakan sumber daya alam yang berasal dari dalam bumi berbentuk cair yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri maupun sebagai bahan bakar (DESDM 2009). Minyak bumi secara kimiawi terdiri dari senyawa kompleks dengan unsur utama atom Hidrogen (H) dan Carbon (C), sehingga disebut juga senyawa hidrokarbon (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>). Berat jenis minyak dinyatakan dalam satuan derajat °API. Semakin besar °API maka minyak akan semakin ringan. Dari nilai °API akan diketahui kategorinya, yaitu minyak ringan, minyak berat atau kondensat (gas) (M.J.Moran & H.N.Shapiro, 2004).

Minyak bumi berasal dari organisme tumbuhan dan hewan berukuran sangat kecil (plankton) yang mati dan terkubur di lautan purba jutaan tahun lalu. Kemudian, tertimbun pasir dan lumpur di dasar laut sehingga membentuk lapisan yang kaya zat organik dan akhirnya membentuk batuan endapan (sedimentary rock). Proses ini akan terus berulang, satu lapisan akan menutupi lapisan sebelumnya selama jutaan tahun. Endapan plankton tersebut menjadi zat organik yang kaya akan hidrokarbon (migas) karena tekanan dan temperatur yang tinggi. Untuk mengambil minyak bumi dari dalam bumi perlu melakukan pengeboran. (Sa'adah, 2016)

Setelah pengeboran sumur eksplorasi menemukan minyak bumi, maka selanjutnya dibuat sumur di beberapa tempat di sekitarnya untuk memastikan apakah minyak bumi yang ada ekonomis untuk dikembangkan. Jika menguntungkan untuk dikembangkan maka dibor sumur pengembangan (development well) untuk mengambil minyak bumi sebanyak mungkin. Minyak mentah merupakan campuran yang tersusun dari berbagai senyawa hidrokarbon. (Sa'adah, 2016)

Di dalam kilang minyak, minyak mentah akan mengalami sejumlah proses yang akan memisahkan komponen hidrokarbon dan mengubah struktur dan komposisinya sehingga diperoleh produk yang bermanfaat untuk bahan bakar minyak, bahan baku industri dan macam-macam produk lainnya. Kilang minyak merupakan fasilitas industri dengan berbagai jenis peralatan proses dan fasilitas pendukungnya. (Sa'adah, 2016)

Tahapan paling umum untuk memisahkan minyak bumi menjadi bermacam-macam komponen atau fraksi menurut Sa'adah (2016), dilakukan dengan pemanasan dalam tangki tinggi bertingkat, lalu di setiap tingkat “uap” minyak itu mengembun

dan menjadi “produk minyak” sesuai dengan tingkatannya. Pemisahan ini didasarkan pada perbedaan titik didih masing-masing komponen. Setelah keluar minyak dari masing-masing tingkatan, proses selanjutnya adalah mencampur dengan bahan aditif sesuai dengan yang diinginkan. Minyak mentah dapat digunakan sebagai bahan bakar setelah melalui proses penyulingan dan pengolahan yang disebut refinery, yaitu proses rekayasa kimia yang sangat kompleks. Proses dasar pengilangan minyak adalah distilasi (penyulingan) dan cracking (pemecahan). Produk-produk yang dapat dihasilkan dari kilang minyak bumi antara lain:

- a. Petroleum Gas (LPG), digunakan untuk pemanasan dan memasak,
- b. Naphtha, sebagai bahan intermedit lanjut untuk pembuatan bensin,
- c. Bensin (gasoline), digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Nilai mutu jenis BBM bensin ini dihitung berdasarkan nilai RON (Randon Octane Number). Berdasarkan RON tersebut maka BBM bensin dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

- 1) Premium (RON 88): Premium adalah bahan bakar minyak jenis distilat berwarna kekuningan yang jernih. Warna kuning tersebut akibat adanya zat pewarna tambahan (dye). Bahan bakar ini sering juga disebut motor gasoline atau petrol.
- 2) Pertamina (RON 92): ditujukan untuk kendaraan yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbal (unleaded).
- 3) Pertamina Plus (RON 95): Jenis BBM ini telah memenuhi standar performance International World Wide Fuel Charter (WWFC).



Ditujukan untuk kendaraan yang berteknologi mutakhir yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan ramah lingkungan.

- d. Avgas, digunakan untuk bahan bakar pesawat terbang mesin propeller,
  - e. Avtur, digunakan untuk bahan bakar pesawat terbang mesin turbin,
  - f. Minyak tanah (kerosene), digunakan untuk membuat avtur bahan bakar pesawat terbang (jet), bahan bakar traktor dan memasak,
  - g. Minyak diesel (gas oil), digunakan untuk bahan bakar mesin diesel dan pemanas,
  - h. Minyak bakar (fuel oil), digunakan untuk bahan bakar pada industri,
  - i. Minyak pelumas, digunakan untuk minyak pelumas mesin, gemuk dan minyak pelumas lainnya,
  - j. Residu dari minyak dapat digunakan untuk aspal, tar, coke, dan lilin.
- (Sa'adah, 2016)

### **2.3 Generator Set (Genset)**

Sebelum Generator dikenal luas, generator awalnya ditemukan oleh dua orang, yang pertama adalah Michael Faraday dan juga Rudolph Diesel. Pada tahun 1831 Faraday menemukan induksi elektromagnetik yang kemudian berkembang menjadi Generator Modern, Michael Faraday sendiri saat ini merupakan sosok fisikawan yang sangat terkenal. Sedangkan kelanjutannya, Rudolph Diesel merupakan sosok penemu Generator Diesel itu sendiri, dimana ia mulai mengeluarkan hak paten mesin mesinnya pada tahun 1892. Mengingat besarnya

manfaat dari Generator itu sendiri, maka Mesin Penghasil Listrik ini kemudian dikembangkan dan diproduksi Massal sehingga saat ini dapat dengan mudah ditemui. (Nawir, 2018)

Generator set atau Genset adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik. Disebut sebagai generator set dengan pengertian adalah satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu engine dan generator atau alternator. Engine sebagai perangkat pemutar sedangkan generator atau alternator sebagai perangkat pembangkit listrik. Engine dapat berupa perangkat mesin diesel berbahan bakar solar atau bensin, sedangkan generator atau alternator merupakan kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis) dan rotor (kumparan berputar). (G.P.Tumilar dkk, 2015).

Genset dilihat dari bahan bakar yang digunakannya pada umumnya terbagi dari dua jenis, yakni generator diesel dan generator bensin. Mesin diesel bekerja dengan menghisap udara luar murni, kemudian dikompresikan sehingga mencapai tekanan dan temperatur yang tinggi. Sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan yang sangat tinggi dalam bentuk butiran-butiran halus dan lembut. Kemudian butiran-butiran lembut bahan bakar tersebut bercampur dengan udara bertemperatur tinggi dalam ruang bakar dan menghasilkan pembakaran (A.Rizkal & B.Sudarmanta, 2016).

### **2.3.1 Itilah-Istilah dan Proses – Proses Termodinamika.**

Termodinamika adalah suatu bidang ilmu yang mempelajari penyimpanan, transformasi (perubahan) dan transfer (perpindahan) energi. Dalam termodinamika

akan dikembangkan persamaan-persamaan matematis yang menghubungkan transformasi dan transfer energi dengan properti-properti dan keadaan (*state*) dari suatu sistem. (M.Abbot & C.Van Ness, 1972)

Properti adalah suatu kuantitas yang dipakai untuk mendeskripsikan suatu sistem, misalnya massa suatu zat, tekanan, suhu, atau besaran lainnya yang mempunyai nilai. Keadaan (*state*) dari suatu sistem adalah kondisinya yang dideskripsikan dengan cara memberikan nilai-nilai tertentu untuk propertinya pada suatu waktu tertentu. Sedangkan sistem termodinamika sendiri adalah sejumlah tertentu dari materi yang terkandung dalam suatu permukaan tertutup. Properti-properti termodinamika dibagi menjadi dua, yakni intensif dan ekstensif. Properti intensif adalah properti yang tidak bergantung pada massa dari sistemnya, contohnya temperatur, tekanan, dan kecepatan. Properti ekstensif adalah properti yang bergantung pada massa dari sistemnya, contohnya volume, momentum, dan energi kinetik. Jika kita membagi suatu properti ekstensif dengan massanya, yang dihasilkan adalah properti spesifik, seperti volume spesifik, enthalpi spesifik, dan lain-lain. Semua materi dan ruang yang berada di ruang sistem disebut sebagai lingkungan (*surrounding*). (M.C.Potter & C.W.Sommerton, 2015)

Termodinamika berurusan dengan interaksi suatu sistem dengan lingkungannya, atau antara suatu sistem dengan sistem lainnya. Suatu sistem berinteraksi dengan lingkungannya melalui transfer energi melewati pembatasnya. Tidak ada materi yang melintasi pembatas dari suatu sistem. Jika sistem tersebut tidak berinteraksi dengan lingkungannya, maka disebut sistem terisolasi. Dalam banyak kasus, analisis disederhanakan jika fokus perhatiannya dalam ruang ke mana

atau dari mana suatu zat (*substance*) mengalir. Suatu volume demikian disebut volume kontrol. Boiler dan turbin adalah contoh-contoh dari volume kontrol. Permukaan yang secara penuh mengelilingi volume kontrol disebut permukaan kontrol (*control surface*). (Somerton & Potter, 2015)

Jika suatu sistem mempunyai properti-properti yang diasumsikan konstan dari satu titik ke titik lainnya dan jika tidak terdapat kecenderungan berubah dengan waktu, maka terjadi kondisi kesetimbangan termodinamika. Jika suatu sistem mengalami perubahan yang besar dalam properti-propertinya ketika dihadapkan pada gangguan-gangguan kecil, maka sistem tersebut dikatakan pada kondisi kesetimbangan metastabil (*metastable equilibrium*). Jika suatu sistem berubah dari suatu kondisi kesetimbangan ke kondisi kesetimbangan lainnya, maka sistem tersebut dikatakan sebagai suatu proses. Jika pada saat beralih dari suatu keadaan ke keadaan lainnya, deviasi keseimbangannya sangat kecil, maka prosesnya disebut sebagai kuasi kesetimbangan (*quasiequilibrium*), dan setiap keadaan dalam proses tersebut dianggap sebagai keadaan kesetimbangan. Jika suatu sistem dalam suatu keadaan awal mengalami serentetan proses kuasi kesetimbangan dan kembali ke keadaan awalnya, sistem tersebut mengalami suatu siklus. (M.C.Potter & C.W.Sommerton, 2015)

Jika suatu sistem termodinamika berubah dari suatu kondisi kesetimbangan ke kondisi kesetimbangan lainnya, maka sistem tersebut dikatakan sebagai suatu proses. Jika ditinjau dari kemampubalikannya, proses termodinamika dibagi menjadi dua, yakni proses *reversible* dan proses *irreversible*. Proses *reversible* adalah suatu proses yang setelah berlangsung, arahnya dapat dibalik kembali ke kondisi semula tanpa

meninggalkan bekas pada sistem dan lingkungan, atau suatu proses yang jika arahnya dibalik akan tetap melalui lintasan yang sama (berimpit), begitu pula sebaliknya dengan proses *irreversible*. (M.C.Potter & C.W.Sommerton, 2015)

Dalam buku Termodinamika Teknik Schaum Series, (M.C.Potter & C.W.Sommerton, 2015) menjelaskan proses-proses termodinamika sebagai berikut:

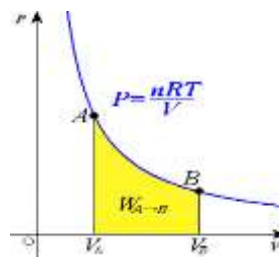
#### a. Proses Isotermik

Suatu sistem dapat mengalami proses termodinamika dimana terjadi perubahan-perubahan di dalam sistem tersebut. Jika proses yang terjadi berlangsung dalam suhu konstan, proses ini dinamakan proses isotermik. Karena berlangsung dalam suhu konstan, tidak terjadi perubahan energi dalam ( $\Delta U = 0$ ) dan berdasarkan hukum I termodinamika kalor yang diberikan sama dengan usaha yang dilakukan sistem ( $Q = W$ ).

Proses isotermik dapat digambarkan dalam grafik  $p - V$  di bawah ini. Usaha yang dilakukan sistem dan kalor dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Q = W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2.1)$$

Dimana  $V_2$  dan  $V_1$  adalah volume akhir dan awal gas.



**Gambar 2.3 Diagram P-V untuk proses Isotermik**  
Sumber: Termodinamika Teknik (Somerton & Potter, 2015)

#### b. Proses Isokhorik

Jika suatu zat melakukan proses termodinamika dalam volume yang konstan, zat tersebut dikatakan melakukan proses isokhorik. Karena zat berada dalam volume konstan ( $\Delta V = 0$ ), zat tidak melakukan usaha ( $W = 0$ ) dan kalor yang diberikan sama dengan perubahan energi dalamnya. Kalor di sini dapat dinyatakan sebagai kalor gas pada volume konstan  $Q_V$ .

$$Q_V = \Delta U \quad (2.2)$$

### c. Proses Isobarik

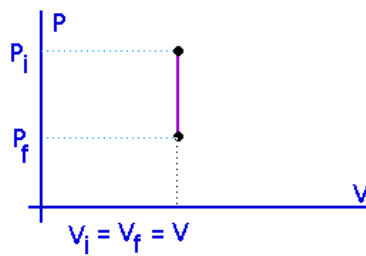
Jika suatu zat melakukan proses termodinamika dengan menjaga tekanan tetap konstan, zat tersebut dikatakan melakukan proses isobarik. Karena zat berada dalam tekanan konstan, zat melakukan usaha ( $W = p\Delta V$ ). Kalor di sini dapat dinyatakan sebagai kalor zat pada tekanan konstan  $Q_p$ . Berdasarkan hukum I termodinamika, pada proses isobarik berlaku:

$$Q_p = W + \Delta U \quad (2.3)$$

Sebelumnya telah dituliskan bahwa perubahan energi dalam sama dengan kalor yang diserap zat pada volume konstan

$$Q_V = \Delta U \quad (2.4)$$

Jadi, usaha yang dilakukan oleh suatu zat ( $W$ ) dapat dinyatakan sebagai selisih energi (kalor) yang diserap gas pada tekanan konstan ( $Q_p$ ) dengan energi (kalor) yang diserap gas pada volume konstan ( $Q_V$ ).



**Gambar 2.4 Diagram P-V untuk proses isobarik**

Sumber: Termodinamika Teknik (Somerton & Potter, 2015)

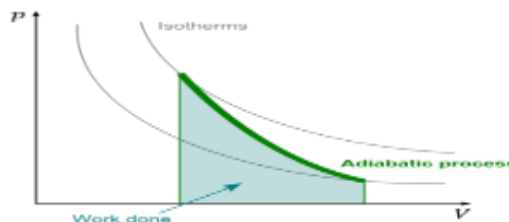
#### d. Proses Adiabatik

Dalam proses adiabatik tidak ada kalor yang masuk (diserap) ataupun keluar (dilepaskan) oleh sistem ( $Q = 0$ ). Dengan demikian, usaha yang dilakukan zat sama dengan perubahan energi dalamnya ( $W = \Delta U$ ).

Misalnya, jika suatu sistem berisi gas yang mula-mula mempunyai tekanan dan volume masing-masing  $p_1$  dan  $V_1$  mengalami proses adiabatik sehingga tekanan dan volume gas berubah menjadi  $p_2$  dan  $V_2$ , usaha yang dilakukan gas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$w = \frac{1}{\gamma - 1} (p_1 V_1 - p_2 V_2) \quad (2.5)$$

Dimana  $\gamma$  adalah konstanta yang diperoleh perbandingan kapasitas kalor molar gas pada tekanan dan volume konstan dan mempunyai nilai yang lebih besar dari 1 ( $\gamma > 1$ ).



**Gambar 2.5 Diagram P-V untuk proses adiabatik**

Sumber: Termodinamika Teknik (Somerton & Potter, 2015)

Proses adiabatik dapat digambarkan dalam grafik  $p - V$  dengan bentuk kurva yang mirip dengan grafik  $p - V$  pada proses isotermik namun dengan kelengkungan yang lebih curam.

### 2.3.2. Kuantitas-Kuantitas Listrik Fundamental

Pada tahap ini kita akan memperkenalkan kuantitas-kuantitas listrik utama yang akan kita gunakan bersama-sama dengan satuan pengukurannya yang lebih biasa dan singkatnya. Tabel berikut merupakan ikhtisar kuantitas-kuantitas listrik utama:

**Tabel 2. 2 Kuantitas-Kuantitas Listrik Utama**

Kuantitas Listrik	Simbol	Satuan (SI)	Persamaan yang dihubungkan	Analogi mekanis	Analogi hidrolis
Muatan	q, Q	Coulomb		Kedudukan	Volume
Arus	I, I	Ampere	$i = dq/dt$	Kecepatan	Aliran
Beda potensial/tegangan	e, E, V, v	Volt	$v = dw/dq$	Gaya	Head atau tekanan
Daya / Tenaga / kerja	p, P, w, W	Watt, joule, atau watt detik	$w = \int v dq$ atau $w = \int vi dt$	Daya, tenaga, atau kerja	Daya, tenaga, atau kerja

Sumber: (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Untuk menyatakan satuan yang lebih besar atau satuan yang lebih kecil, maka digunakan sederet awalan kepada satuan dasar, yang dengan demikian akan dapat digunakan untuk mengabaikan kumpulan bilangan nol sebelum atau sesudah titik desimal. Awalan-awalan ini digunakan dalam rangkaian industri daya berat atau rangkaian untuk kegunaan khalayak ramai. Berikut adalah table awalan-awalan yang digunakan dengan satuan-satuan untuk konstanta-konstanta listrik:



**Tabel 2. 3 Awalan-Awalan Kuantitas Listrik**

Untuk Kuantitas yang lebih besar			Untuk kuantitas yang lebih kecil		
Kilo (k)	$10^3$	Satuan	Milli (m)	$10^{-3}$	Satuan
Mega (M)	$10^6$	Satuan	Mikro ( $\mu$ )	$10^{-6}$	Satuan
Giga (G)	$10^9$	Satuan	Nano (n)	$10^{-9}$	Satuan
Terra (T)	$10^{12}$	Satuan	Piko (p)	$10^{-12}$	Satuan

Sumber: (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

### 2.3.2.1 Muatan

Pemindahan tenaga listrik terjadi karena aksi antara muatan listrik. Salah satu di antara fenomena yang pertama diamati dalam pengkajian muatan listrik adalah bahwa ada dua macam muatan, yakni muatan positif (proton) dan muatan negatif (elektron). (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Sebuah efek yang paling penting dari sebuah muatan listrik (A.E. Fitzgerald dkk, 2002) adalah bahwa muatan listrik tersebut dapat menghasilkan gaya. Secara spesifik, maka sebuah muatan akan menolak muatan-muatan lain yang tandanya sama ; muatan tersebut akan menarik muatan-muatan lain yang tandanya berlawanan. Karena muatan pada sebuah elektron adalah negatif, maka setiap muatan yang menarik ( atau ditarik oleh ) sebuah elektron dengan demikian adalah sebuah muatan positif ; salah satu contohnya adalah muatan pada sebuah proton. Perhatikan bahwa gaya tarikan atau tolakan dirasakan sama besarnya oleh masing-masing muatan atau partikel-partikel bermuatan. Besarnya gaya di antara dua benda bermuatan sebanding dengan hasil kali muatan-muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak di antara muatan-muatan tersebut. Yakni, gaya ( $F$ ) di antara dua benda yang

bermuatan yakni  $Q_1$  dan  $Q_2$  yang diberi dinyatakan oleh hukum *Coulomb* sebagai berikut:

$$F = \frac{k \times q_1 \times q_2}{r^2} \quad (2.6)$$

Situasi ini dapat di jelaskan dengan mengatakan bahwa terdapat sebuah daerah pengaruh di sekitar sebuah muatan listrik yang di dalamnya akan dikerahkan sebuah gaya bila muatan baru ditempatkan dalam kedudukan yang lebih jauh. Daerah pengaruh seperti itu dinamakan sebuah *medan (field)*, medan yang ditimbulkan oleh kehadiran muatan-muatan listrik adalah sebuah *medan listrik (electric field)*. Karena kita sekarang membicarakan muatan yang diam, maka medan tersebut dapat dinamakan sebuah *medanelektrostatik (electrostatic field)*. Perhatikanlah sekali lagi keserupaannya yang umum dengan gaya gravitasi dan gravitasi. Bila kita misalnya mengatakan, bahwa sebuah kendaraan ruang angkasa telah meninggalkan medan gravitasi bumi, maka kita mengartikan bahwa gaya gravitasi yang beraksi pada kendaraan tersebut telah menjadi sangat kecil. Jelaslah bahwa pernyataan yang serupa dapat dibuat mengenai sebuah partikel bermuatan terhadap sebuah medan listrik. (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Medan listrik didefinisikan di sebuah titik sebagai gaya per satuan muatan positif. Yakni, medan listrik di suatu titik adalah gaya, yang ditanyakan oleh besar dan arahnya, yang akan beraksi pada satu satuan muatan positif di titik tersebut. Kontribusi kepada medan seluruhnya di suatu titik dibuat oleh semua muatan yang cukup dekat untuk mempengaruhi besar dan arah medan tersebut. (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Kita sekarang sudah siap untuk memikirkan mengenai kerja dan perpindahan tenaga yang ada sangkut-pautnya dengan gaya listrik. Misalkan kita memindahkan sebuah muatan positif di dalam sebuah medan listrik dalam arah yang berlawanan dengan arah medan, yakni yang melawan gaya yang beraksi pada muatan tersebut yang ditimbulkan oleh muatan-muatan listrik yang lain. Misalnya, jika medan tersebut ditimbulkan oleh sebuah muatan negatif yang berada di dekatnya, maka kita akan menggerakkan muatan positif tersebut semakin jauh dari muatan negatif tersebut. Nah kerja akan dilakukan di dalam menggerakkan muatan untuk melawan gaya-gaya yang beraksi pada muatan tersebut, sama halnya seperti kerja yang dilakukan di dalam mengangkat sebuah berat dalam medan gravitasi bumi. Lagi pula, dalam hal ini berlaku hukum kekekalan tenaga ; yakni, partikel tersebut sekarang akan berada dalam sebuah kedudukan yang tenaga potensialnya lebih tinggi, sama halnya seperti berat yang diangkat akan memiliki tenaga potensial yang lebih besar. Akibatnya, kita dapat memikirkan penyimpanan tenaga dengan menggunakan medan tersebut dan seterusnya kita dapat memikirkan pemindahan tenaga ini untuk melakukan kerja. (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

### **2.3.2.2 Beda Potensial atau Tegangan**

Suatu kuantitas listrik yang penting lainnya adalah beda potensial atau tegangan listrik. Beda potensial dinyatakan sebagai kerja per satuan muatan positif di dalam menggerakkan sebuah muatan di antara dua titik dalam suatu medan. Secara sistematis, maka definisi ini dinyatakan sebagai berikut:

$$V = \frac{W}{Q} \quad (2.7)$$

dimana  $V$  adalah selisih potensial dalam Volt,  $W$  adalah kerja yang dilakukan dalam mengangkut sebuah muatan  $Q$  di antara dua titik  $a$  dan  $b$ . Huruf  $E$  juga digunakan untuk menyatakan tegangan atau beda potensial. Karena kerja adalah gaya  $F$  dikali jarak  $l$  di antara  $a$  dan  $b$  dan karena kekuatan medan listrik  $\xi$  adalah gaya per satuan muatan, maka persamaan ini seringkali di berikan sebagai :

$$V = \frac{F_1}{Q} = \xi_1 \quad (2.8)$$

Dalam persamaan di atas dianggap bahwa gaya ( medan ) beraksi dalam arah yang didefinisikan oleh  $a$  dan  $b$ . Jika tenaga semakin besar sewaktu bergerak dari  $a$  ke  $b$  , maka terdapat suatu kenaikan tegangan dalam arah  $a$  ke  $b$ . Sebaliknya, akan terdapat suatu penurunan tegangan bila muatan positif yang sama kehilangan tenaga sewaktu bergerak dari  $b$  ke  $a$ . Jelaslah bahwa penurunan tegangan dari  $b$  ke  $a$  mempunyai nilai yang sama seperti kenaikan  $a$  ke  $b$ . Akan tetapi, kita perhatikan bahwa penurunan tegangan di antara  $b$  dan  $a$  adalah negatif dari kenaikan tegangan dari  $b$  ke  $a$ . (A.E. Fitzgerald dkk, 2002).

### 2.3.2.3 Arus

Kita mengenal alat-alat untuk mendapatkan kerja yang berguna dari berat yang bergerak ke kedudukan yang potensialnya lebih rendah dalam medan bumi. Barangkali yang paling berguna untuk dipikirkan adalah sebuah kincir air untuk mendapatkan kerja dari arus air yang terjun. Dalam cara yang kurang lebih analog dengan itu maka kita dapat memperoleh kerja dari arus muatan yang bergerak di bawah pengaruh gaya-gaya ke sebuah kedudukan yang potensialnya lebih rendah. (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Pemikiran paragraf sebelumnya akan menyampaikan kita ke kesimpulan bahwa untuk tujuan teknik, maka kita terutama berminat untuk mempelajari muatan yang bergerak dan pemindahan tenaga resultan. Secara khas ( walaupun tidak secara eksklusif ) kita berminat mempelajari situasi di mana gerak tersebut dibatasi ke sebuah jalan tertentu yang dibentuk oleh bahan-bahan seperti tembaga dan aluminium, seperti yang telah diperlihatkan oleh pengalaman, adalah penghantar (*conductor*) listrik yang baik. Bertentangan dengan itu, maka bahan-bahan lain, seperti Bakelite, mirka, gelas, dan polietilen, dikenal sebagai penghantar yang sangat buruk dinamakan isolator (*insulato*) dan digunakan untuk membatasi listrik ke jalan penghantar spesifik dengan membentuk rintangan kepada penyimpangan dari jalan-jalan ini, yang dinamakan *rangkai*an (*circuit*). (A.E. Fitzgerald dkk, 2002).

Definisi arus (*current*) (A.E. Fitzgerald dkk, 2002): Banyaknya muatan yang bergerak per satuan waktu. Bayangkanlah bahwa kita berdiri di sebuah titik dalam sebuah rangkaian dan mengamati muatan tersebut lewat. Misalkan kita melihat banyaknya muatan yang lewat persatuan waktu adalah uniform sebesar  $Q$  coulomb tiap-tiap  $t$  detik. Maka banyaknya muatan yang lewat per satuan waktu mempunyai nilai tetap sebesar :

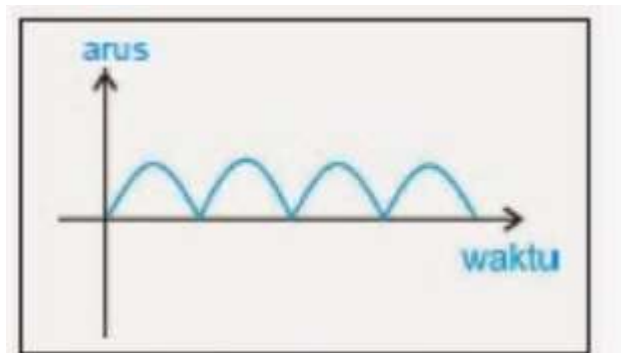
$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.9)$$

Seringkali banyaknya muatan yang mengalir per satuan waktu berubah dengan waktu, sehingga nilai arus tersebut pun berubah. Jadi, arus sesaat  $i$  di dalam sebuah rangkaian dapat di tuliskan sebagai :

$$I = \frac{dq}{dt} \text{ atau } q = \int i dt \quad (2.10)$$

Satuan arus adalah ampere ( disingkat A ). Satu ampere terdapat bila arus mengalir sebanyak satu coulomb per detik. Kita harus menentukan arah dan ukuran arus tersebut. Secara historis, sebagai hasil percobaan Benyamin Franklin dengan kilat, maka sebuah arus positif disusun dari arus muata positif. Kita sekarang mengetahui bahwa arus dalam penghantar biasa terdiri dari pergeseran elektron, tetapi konvensi tersebut belum berubah. Arus positif berdasarkan definisi adalah arah aliran muatan positif, yang bertentangan dengan arah aliran elektron. (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

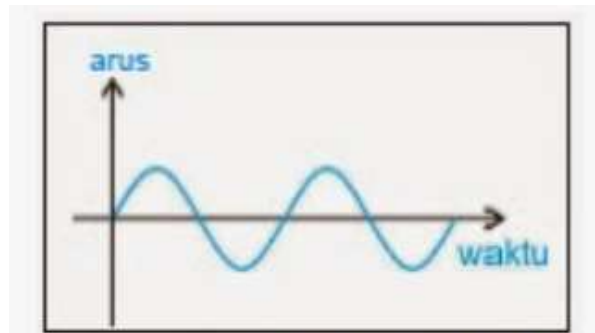
Dalam sebuah arus searah ( *direct current* ) ( *dc* ), aliran muatan semuanya adalah dalam satu arah untuk perioda waktu yang ditinjau. Contoh gambar sebagai berikut :



**Gambar 2.6 Grafik Arus Searah oleh Generator Arus Searah**  
(A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

memperlihatkan sebuah grafik arus searah sebagai fungsi waktu; secara lebih spesifik, maka grafik tersebut memperlihatkan sebuah arus searah yang tetap( *steady* ), karena besarnya adalah konstan sebesar nilai I. (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Dalam sebuah arus bolak balik ( *alternating current* ) ( *ac* ), maka mula-mula muatan mengalir dalam satu arah dan kemudian dalam arah lain, dan mengulangi siklus ini dengan frekuensi tertentu. Variasi arus dengan waktu seringkali adalah seperti yang diperlihatkan gambar di bawah ini :



**Gambar 2.7 Grafik Arus Bolak-Balik oleh Generator Arus Bolak-Balik**  
Sumber: (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

dimana gelombang tebal memperlihatkan satu siklus nilai yang lengkap dan perpanjangan yang digambarkan dengan titik-titik menyatakan arus yang terus mengikuti pola siklus ini. Arus listrik yang biasa digunakan di rumah di Amerika Serikat misalnya, biasanya mempunyai bentuk gelombang seperti ini dan berubah-ubah pada frekuensi sebesar 60 siklus per detik. Satuan frekuensi adalah *Hertz* ( disingkat *Hz* dan menyamai satu siklus per detik ). (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Jenis medan kedua yang sangat penting dalam perpindahan tenaga adalah medan magnet ( *magnetic field* ) yang terdapat di sekitar elemen yang mengangkut arus. Medan magnet menyebabkan gaya akan dikerahkan pada elemen lain yang mengangkut arus dan pada bahan magnet. Karena medan tersebut dapat mengerahkan sebuah gaya maka sebagai konsekuensinya medan tersebut dapat menghasilkan kerja, yang berarti bahwa tenaga dapat disimpan di dalam medan magnet tersebut. Medan listrik dan medan magnet kedua-duanya terdapat secara

bersamaan; medan listrik disebabkan oleh kehadiran muatan, dan medan magnet disebabkan oleh gerak muatan. Situasi yang serupa didapatkan dalam sistem mekanis. Sebuah massa akan mampu menyimpan tenaga karena kedudukannya ( tenaga potensial ) atau karena geraknya ( tenaga kinetik ). (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

#### 2.3.2.4 Daya Listrik Dan Tenaga

Dalam buku Dasar-Dasar Elektroteknik (A.E. Fitzgerald dkk, 2002) menjelaskan: Kerja yang dilakukan atau tenaga yang dipindahkan dalam sebuah rangkaian listrik atau dalam bagian sebuah rangkaian dinyatakan sebagai hasil perkalian tegangan dan muatan. Jika kerja yang dilakukan per satuan waktu adalah konstan dan muatan seluruhnya  $Q$  digerakkan melalui sebuah tegangan sebesar  $V$  volt dalam  $t$  detik, maka daya atau kerja persatuan waktu, adalah :

$$P = \frac{vQ}{t} \quad \text{Watt atau Joule/second} \quad (2.11)$$

dari segi pandangan praktis, kita berminat mempelajari arus daripada mempelajari muatan. Sebuah bentuk yang lebih berguna dari Persamaan ini didapatkan dengan penggunaan persamaan berikut:

$$P = VI \quad \text{Watt} \quad (2.12)$$

Dalam kasus khas, daya adalah yang dikeluarkan atau diserap oleh bagian rangkaian melalui mana diukur  $V$ ; elemen rangkaian ini harus juga mengangkut  $I$  ampere. Jika tegangan  $v$  dan arus  $i$  kedua-duanya berubah dengan waktu, maka daya  $p$  akan berubah juga saat demi saat. Maka daya sesaat adalah :

$$p = vi \quad \text{Watt} \quad (2.13)$$



Persamaan rumus ke 2 dan ke 3 di atas secara alami kedua-duanya menuruti definisi tegangan dan arus, karena hasil perkalian  $e i$  mempunyai dimensi :

$$\frac{\text{Tenaga}}{\text{muatan}} \times \frac{\text{muatan}}{\text{waktu}} = \frac{\text{Tenaga}}{\text{waktu}} \quad (2.14)$$

yang menyatakan arti daya. Dengan menyatakannya dalam definisi matematik dasar maka persamaan Rumus ke 2.11 di atas menjadi :

$$\frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = \frac{dw}{dt} \quad (2.15)$$

Dalam hal mana  $V$  dan  $I$  kedua-duanya tetap konstan selama waktu  $t$  detik, maka tenaga seluruhnya yang diberikan keluar atau diserap adalah :

$$W = VIt \quad (2.16)$$

### 2.3.2.5 Resistansi

Elemen rangkaian yang digunakan untuk menyatakan disipasi tenaga paling lazim dijelaskan dengan mengharuskan tegangan yang melalui elemen tersebut adalah berbanding langsung dengan arus yang melalui elemen tersebut. Secara matematis, tegangan tersebut adalah :

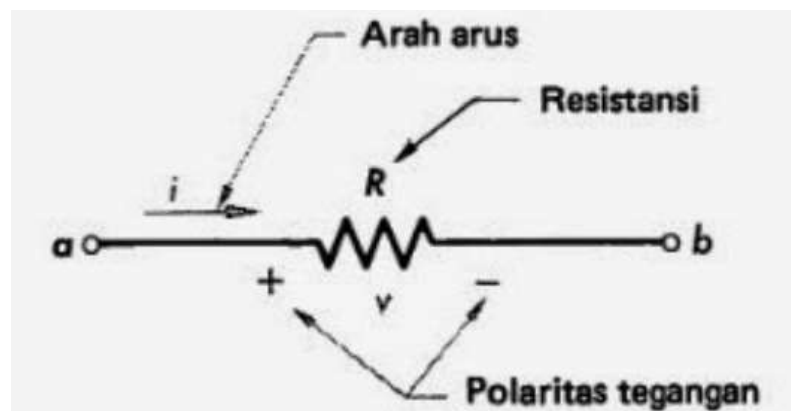
$$v = R \times i \text{ Volt} \quad (2.17)$$

di mana  $i$  adalah arus yang dinyatakan dalam ampere. Konstanta kesebandingan  $R$  adalah resistansi elemen tersebut dan diukur dalam ohm ( disingkat  $\Omega$  ). Hubungan tegangan arus di atas dikenal sebagai hukum Ohm, sebuah alat fisis yang ciri listrik utamanya adalah resistansi dinamakan sebuah hambatan ( resistor ).

(A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Resistansi listrik dapat dibandingkan dengan gesekan pipa dalam analogi hidrolik dan juga dengan gesekan dalam sebuah sistem mekanis. Resistansi atau

gesekan secara langsung akan melawan arus atau gerak, dan tenaga yang didisipasikan untuk mengatasi perlawanan ini akan muncul sebagai kalor. Karena sebuah muatan listrik menyerahkan tenaga bila lewat melalui sebuah resistansi, maka tegangan  $v$  adalah sebuah penurunan tegangan dalam arah arus. Secara alternatif, maka  $v$  adalah sebuah kenaikan tegangan dalam arah yang berlawanan dengan arah arus. (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)



**Gambar 2.8 Hubungan Tegangan, Arus, dan Resistansi**  
 Sumber: (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

Gambar di atas adalah representasi diagram konvensional dari sebuah resistansi, bersama-sama dengan penentuan arah arus polaritas tegangan. Tanda tambah ( plus ) dan tanda kurang ( minus ) menyatakan pengurangan potensial, yang berarti penurunan tegangan, dari kiri ke kanan ( atau dari tambah ke kurang ). Perhatikan bahwa dalam Gambar 1-3, resistansi terdapat di antara dua terminal  $a$  dan  $b$ , sebuah *terminal* adalah sebuah titik di mana sebuah sambungan listrik dapat dibuat ke elemen lain atau ke alat lain. (A.E. Fitzgerald dkk, 2002)

### 2.3.3. Elektromagnetisme

Hal yang ingin diketahui oleh para ilmuwan zaman dulu adalah bagaimana efek listrik dan magnetik dapat memberi dampak dengan jelas dalam jarak yang jauh, sedangkan jenis-jenis gaya lain membutuhkan kontak material. Penjelasan koheren pertama diberikan dalam sebuah buku karya William Gilbert (1540-1603) yang diterbitkan pada tahun 1600. Gilbert adalah dokter untuk Ratu Elizabeth I dari Inggris. Pemikiran medisnya telah mengajarkan kepadanya pentingnya pengamatan yang cermat dan ia menyerang "imajinasi sia-sia para metafisika yang berkepala dingin" yang tidak menguji kesimpulan mereka dengan eksperimen. Dia menjelaskan daya tarik elektrostatik dengan mengatakan bahwa zat tertentu memiliki sifat yang beberapa partikelnya dapat dilepaskan dengan cara digosok. Partikel-partikel ini kemudian mengelilingi tubuh yang telah dialiri listrik. Mereka berusaha untuk kembali dan dengan itu menarik tubuh-tubuh terang lainnya bersama mereka. Penjelasannya tentang gaya magnet bahkan lebih menarik, karena ia tidak mendalilkan partikel apa pun. Sebaliknya ia menyatakan bahwa setiap magnet dikelilingi oleh wilayah atau medan yang bekerja pada benda magnetik lain. Dia menjelajahi bidang ini dengan jarum magnet kecil dan menemukan garis gaya magnet. Dia juga menarik kutub magnet sebagai pusat kekuatan. Dari penyelidikan ini ia menyimpulkan bahwa bumi itu sendiri adalah magnet dan ia memanfaatkan pengetahuan ini dengan baik dengan meningkatkan kompas pelaut. Gagasan medan magnet telah menjadi salah satu ide dasar subjek. (Hammond, 1986)

Eksperimen listrik Gilbert terhambat oleh kelemahan gaya yang diperoleh dengan gesekan. Penggantinya meningkatkan peralatan dengan membangun mesin

gesekan besar, yang dapat digunakan untuk memberi kejutan listrik dan bahkan dapat menghasilkan percikan api. Juga menjadi jelas bahwa efek listrik dapat disampaikan antara dua buah benda oleh sebuah konduktor. Ini memberi petunjuk pada gagasan bahwa listrik adalah sejenis fluida di dalam material benda daripada sejenis gas yang mengelilingi zat listrik. Salah satu kepala protagonis dari teori fluida adalah negarawan Amerika Benjamin Franklin yang menerbitkan ide-idenya sekitar tahun 1750. Franklin mungkin terkenal karena eksperimennya menerbangkan layang-layang ke dalam petir untuk menarik sebagian fluida listriknya ke bumi. Dia kemudian menunjukkan bahwa badai petir adalah fenomena listrik dan menggunakan pengetahuan ini untuk segera digunakan oleh penemuan konduktor petir, yang sangat meningkatkan keamanan bangunan tinggi. Teori fluida listrik Franklin jauh lebih mudah dipahami daripada medan Gilbert. Kemudian teori itu segera diikuti oleh teori fluida magnetik di dalam magnet dan teori medan jatuh ke dalam tidak digunakan. Tetapi teori fluida tidak memberikan jawaban yang memadai untuk masalah tindakan pada jarak tanpa kontak. (Hammond, 1986)

Sejauh ini listrik dan magnetisme telah diperlakukan sebagai fenomena yang terpisah, meskipun ada dugaan terdapat beberapa hubungan antara keduanya. Eksperimen sulit dilakukan sampai ditemukannya sel volta yang menyediakan sumber arus bagi para peneliti. Hubungan antara kemagnetan dengan listrik baru ditemukan oleh Hans William Oersted pada tahun 1819 ketika sedang melakukan demonstrasi perkuliahan (J.W. Jewett & R.A. Serway, 2010). Oersted pada tahun 1820 menemukan efek magnetik dari arus dan Ampere menjelaskan efek ini dengan menggunakan teori aksi pada jarak antara elemen-elemen saat ini. Namun penjelasan

yang lebih umum diberikan oleh Faraday, yang kembali ke ide bidang di sekitar konduktor (Hammond, 1986). Pada tahun 1920 hubungan lebih jauh antara listrik dengan kemagnetan didemonstrasikan oleh Faraday dan Joseph Henry (1797-1878) secara independen (J.W. Jewwet & R.A. Serway, 2010). Karya Faraday pada induksi elektromagnetik diterbitkan pada tahun 1831 dan dengan cepat mengarah pada pengembangan generator, motor dan transformer. Awal dari teknik elektro dapat ditanggalkan sekitar 1850 ketika perangkat-perangkat ini (generator, motor, dan transformator) mulai digunakan secara umum. Jadi sekitar 250 tahun telah berlalu antara gagasan pertama tentang sifat listrik dan perwujudan gagasan ini dalam aplikasi yang bermanfaat. (Hammond, 1986)

Kurang lebihnya lebih tepat tentang pengembangan dan perpaduan utama dari dua model bidang dan fluida untuk menggambarkan interaksi listrik dan magnetik. Teori medan Faraday sangat diperkuat oleh Maxwell, yang menggunakannya untuk memprediksi propagasi gelombang elektromagnetik melalui ruang. Dia menerbitkan ide-idenya pada tahun 1861 dan itu dikonfirmasi oleh Hertz secara eksperimental pada tahun 1888. Faraday dan Maxwell lebih fokus meneliti aksi di dalam ruang daripada di objek material. Lebih tepatnya mereka tidak membedakan antara materi dan ruang, tetapi berpikir bahwa semua ruang dipenuhi dengan zat yang mentransmisikan gaya listrik dan magnetik. Selain itu mereka menunjukkan bahwa efek listrik dan magnetik saling berhubungan erat sehingga mereka harus dianggap sebagai aspek dari fenomena tunggal, yang diberi nama hibrida elektromagnetisme. (Hammond, 1986)

Kontribusi Maxwell untuk subjek ini sangat penting dan dia mengungkapkannya dalam persamaan matematika yang begitu ringkas dan elegan sehingga seluruh elektromagnetisme sering disebut sebagai teori Maxwell. Namun, teori fluida atau partikel muncul kembali dengan penemuan elektron oleh J. J. Thomson pada tahun 1897. Ini mengalihkan perhatian pada materi dan menjauh dari ruang. Namun, sementara Franklin berpikir bahwa medan listrik menembus materi biasa, sekarang menjadi disadari bahwa materi biasa terdiri dari partikel-partikel listrik, memang bahwa semua benda fisik terdiri dari partikel-partikel listrik dan dikendalikan oleh interaksi listrik. (Hammond, 1986)

Seringkali kita harus menggabungkan dua pandangan mengenai partikel sebagai sumber medan dan medan sebagai perluasan partikel. Ketika kita menutup sakelar atau menghubungkan kabel, adalah wajar untuk berpikir terlebih dahulu tentang aliran listrik. Ketika kita membahas perilaku gelombang radio, kita akan berpikir terlebih dahulu tentang medan yang merambat di ruang angkasa. Namun demikian aliran arus listrik disertai dengan medan dan perambatan medan dikaitkan dengan aliran arus dalam pemancar. Kedua ide ini diperlukan untuk menjawab pertanyaan tentang apa itu listrik. (Hammond, 1986)

Michael Faraday mengambil sebuah magnet dan sebuah kumparan yang terhubung ke galvanometer. Pada awalnya, magnet diletakkan agak berjauhan dengan kumparan sehingga tidak ada defleksi dari galvanometer. Jarum pada galvanometer tetap menunjukkan angka 0. Ketika magnet bergerak masuk ke dalam kumparan, jarum pada galvanometer juga bergerak menyimpang ke satu arah tertentu (ke kanan). Pada saat magnet didiamkan pada posisi tersebut, jarum pada galvanometer

bergerak kembali ke posisi 0. Namun ketika magnet digerakan atau ditarik menjauhi kumparan, terjadi defleksi pada galvometer, jarum pada galvometer bergerak menyimpang berlawanan dengan arah sebelumnya (ke kiri). Pada saat magnet didiamkan lagi, jarum pada galvometer kembali ke posisi 0. Demikian juga apabila yang bergerak adalah Kumparan, tetapi Magnet pada posisi tetap, galvometer akan menunjukkan defleksi dengan cara yang sama. Dari percobaan Faraday tersebut juga ditemukan bahwa semakin cepat perubahan medan magnet semakin besar pula gaya gerak listrik yang diinduksi oleh kumparan tersebut. (J.W. Jewwet & R.A. Serway, 2010)

Bunyi dari hukum Faraday adalah:

- 1) Setiap perubahan medan magnet pada kumparan akan menyebabkan gaya gerak listrik (GGL) yang diinduksi oleh kumparan tersebut.
- 2) Tegangan GGL induksi di dalam rangkaian tertutup adalah sebanding dengan kecepatan perubahan fluks terhadap waktu.
- 3) Setiap perubahan medan magnet pada kumparan akan menyebabkan gaya gerak listrik (GGL) Induksi yang sebanding dengan laju perubahan fluks.

(J.W. Jewwet & R.A. Serway, 2010)

Hukum Faraday tersebut dapat dinyatakan dengan rumus dibawah ini :

$$\varepsilon = -N (\Delta\Phi/\Delta t) \quad (2.18)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = GGL induksi (volt)

N = Jumlah lilitan kumparan

$\Delta\Phi$  = Perubahan fluks magnetik (weber)

$\Delta t$  = selang waktu (s)

Tanda negatif menandakan arah gaya gerak listrik (ggl) induksi. (J.W. Jewwet & R.A. Serway, 2010)

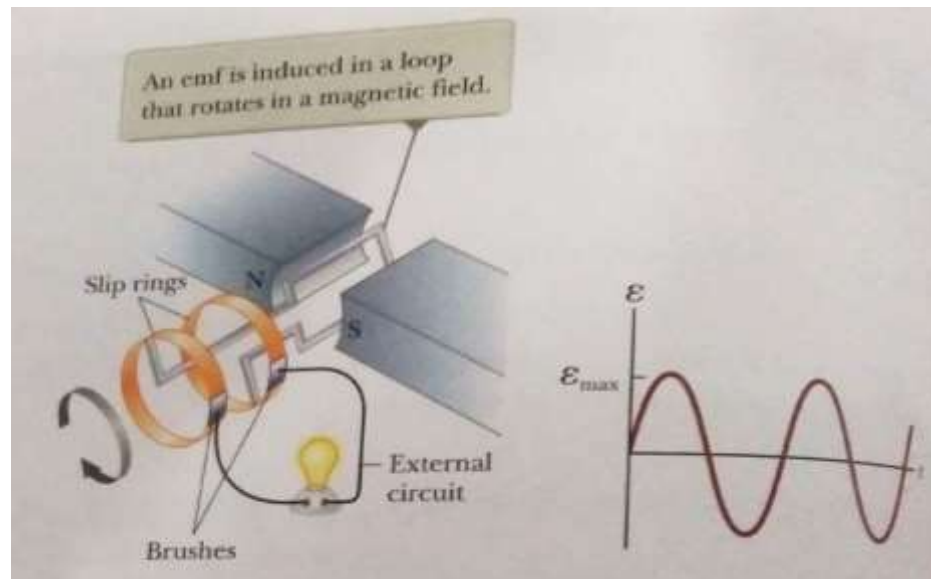
Berikut adalah beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besar kecilnya Gaya Gerak Listrik (GGL).

- 1) Jumlah lilitan pada kumparan, semakin banyak lilitan pada kumparan semakin besar tegangan yang diinduksikan.
- 2) Kecepatan gerak medan magnet, semakin cepat garis gaya medan magnet atau fluks yang mengenai konduktornya semakin besar pula tegangan induksinya.
- 3) Jumlah garis gaya medan magnet atau fluks, semakin besar jumlah garis gaya medan magnet atau fluks yang mengenai konduktor, semakin besar juga tegangan induksinya. (J.W. Jewwet & R.A. Serway, 2010)

#### **2.3.4 Cara Kerja Genset**

Generator dan Motor mengambil energi dengan kerja dan mentransfernya dengan transmisi listrik. Untuk memahami bagaimana mereka beroperasi, mari kita perhatikan generator arus bolak-balik (AC). Dalam bentuk yang paling sederhana, generator terdiri dari loop kawat yang diputar oleh beberapa generator yang diputar oleh beberapa medan magnetik eksternal. (J.W. Jewwet & R.A. Serway, 2010)





**Gambar 2.9 Diagram Generator AC dan EMF yang Dihasilkan**

Sumber: (J.W. Jewwet & R.A. Serway, 2010)

Ditinjau dari segi termodinamika, ada dua langkah kerja pendek yang masing – masing mempunyai dua proses kerja. Yang pertama adalah proses pertama langkah pertama, yaitu langkah pemasukan dan penghisapan. Disini udara dan bahan bakar masuk sedangkan poros engkol berputar ke bawah. Langkah kedua merupakan langkah kompresi, poros engkol terus berputar menyebabkan piston naik dan menekan bahan bakar sehingga terjadi pembakaran. Proses 1 dan 2 termasuk proses pembakaran. Proses kedua : Langkah 3 merupakan langkah ekspansi, disini katup isap dan buang tertutup sedangkan proses engkol terus berputar dan menarik kembali piston ke bawah. Langkah keempat merupakan langkah pembuangan, disini katub buang terbuka menyebabkan gas sisa pembakaran terbang keluar. Gas keluar karena pada langkah keempat ini piston kembali bergerak naik dan membuka katub pembuangan yang berada di atas tabung silinder piston. Setelah proses tersebut, maka proses berikutnya akan mengulang kembali proses pertama yaitu proses pembakaran,

dilanjutkan dengan proses pembuangan. (G.P.Tumilar dkk, 2015) Setelah engine menyala, poros dari engine terhubung langsung dengan poros rotor pada generator set sehingga poros engine dan poros rotor berputar secara bersamaan. Ketika terjadi putaran di poros rotor, maka akan terjadi induksi medan magnet dan akan membangkitkan gaya gerak listrik (GGL) seperti halnya hukum Faraday. Generator set ini berputar pada kecepatan sinkron, yang diberikan oleh persamaan berikut :

$$NS = \frac{120 \times f}{P} \quad (2.19)$$

Dimana  $N_s$  adalah Kecepatan putaran,  $f$  adalah frekuensi, dan  $p$  adalah jumlah kutub per lilitan fasa. (G.P.Tumilar dkk, 2015)

Kita telah mengetahui bagaimana terjadinya arus listrik yang dihasilkan oleh interaksi antara kerapatan garis gaya magnet  $B$  dan arah gerak melintang dari sebarang lilitan konduktor dengan kecepatan  $v$ , dan kita mengetahui pula bahwa:

$$\begin{aligned} i(\delta) &= N \cdot \Phi(\delta) / (\omega L) \\ \Phi(\delta) &= (\omega L / N) \cdot i(\delta) \end{aligned} \quad (2.20)$$

yang menunjukkan bahwa fluks magnet tergantung pada besarnya arus yang melalui sebarang lilitan, kita telah mengetahui pula korelasi antara torsi pemutar rotor dengan besaran arus yang muncul:

$$i(\delta) = (N / \omega L)^{0.5} \cdot [T(\delta)]^{0.5} \quad (2.21)$$

sehingga kita mengetahui bahwa besarnya arus yang dihasilkan oleh sebuah generator tergantung juga oleh besarnya torsi yang dihasilkan, secara kerekayasa elektro mekanis besarnya torsi tergantung pada besarnya gaya yang digunakan untuk

memutar rotor dan radius/jari-jari dari roda penggerak. (J.W. Jewwet & R.A. Serway, 2010)

### 2.3.5 Proses Pembakaran Pada Mesin Genset

Reaksi pembakaran adalah reaksi kimia bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara yang akan menghasilkan panas dan gas sisa pembakaran yang berlangsung dalam waktu yang sangat cepat. Reaksi pembakaran tersebut akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi. Proses yang terjadi dalam pembakaran adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut :

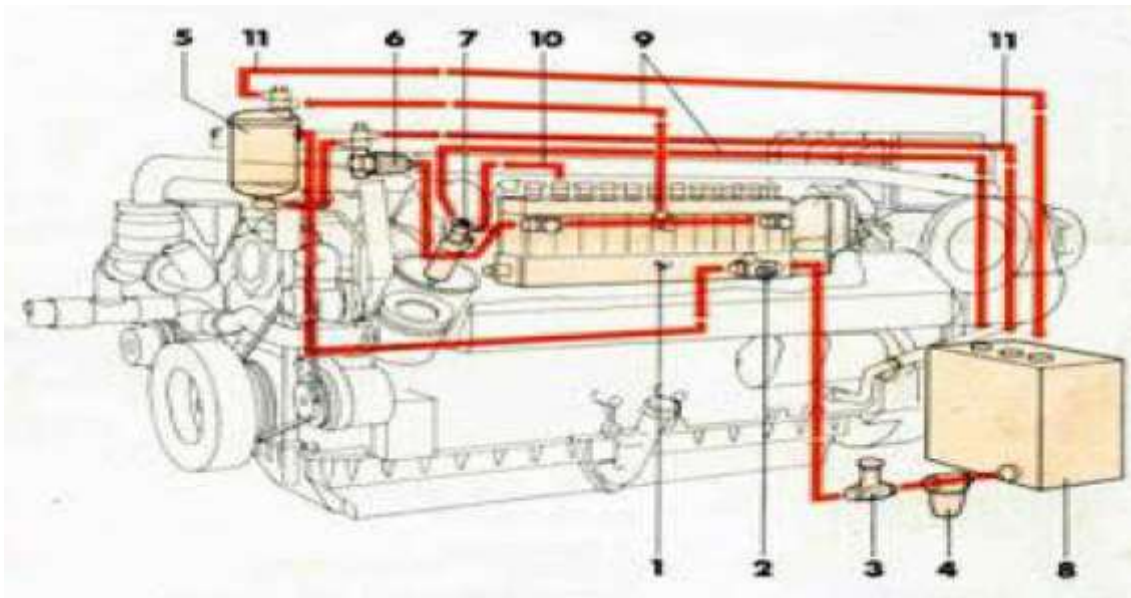
**Karbon + Oksigen → Koarbon dioksida + panas**

**Hidrogen + Oksigen → uap air + panas**

(G.P.Tumilar dkk, 2015)

Komponen utama dalam sistem bahan bakar terdiri dari:

- a) Tangki bahan bakar.
- b) Saluran bahan bakar.
- c) Penyaring bahan bakar.
- d) Pompa bahan bakar.
- e) Karburator atau sistem injeksi bahan bakar
- f) Nozzle. (Soekardi, 2015)



**Gambar 2.10 Sistem Bahan Bakar**  
 Sumber: Quality Power (Nawir, 2018)

Keterangan Gambar:

1. Pompa penyemperot bahan bakar
2. Pompa bahan bakar
3. Pompa tangan untuk bahan bakar
4. Saringan bahar/bakar penyarinnan pendahuluan
5. Saringan bahan bakar/penyaringan akhir
6. Penutup bahan bakar otomatis
7. Injektor
8. Tanki
9. Pipa pengembalian bahan bakar
10. Pipa bahan bakar tekanan tinggi
11. Pipa peluap.

Proses pembakaran pada mesin diesel memiliki beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram P- $\theta$  seperti pada gambar 1. Tahapan pembakarannya, Kawano [1] yaitu:

1) Tahap Pertama

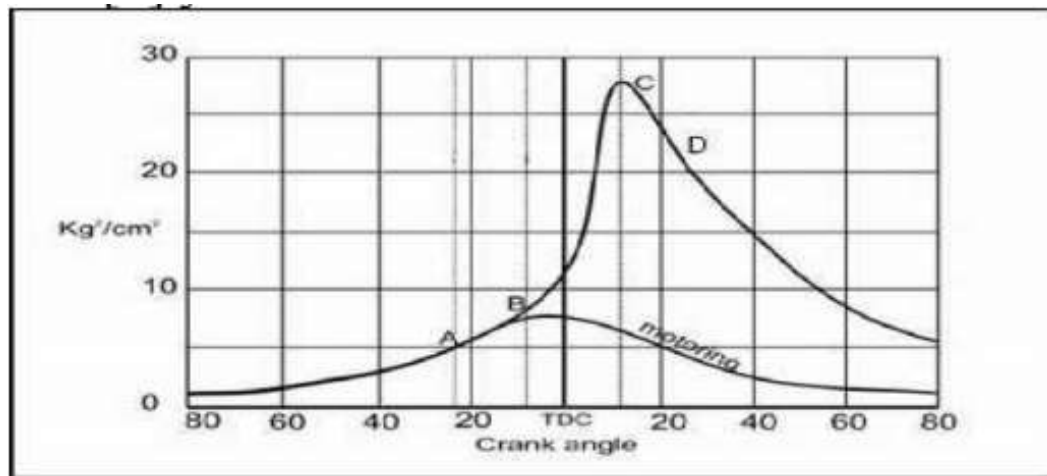
*Ignition delay period* yakni waktu dimana bahan bakar siap terbakar namun belum dinyalakan. *Ignition delay* dihitung dari awal injeksi sampai titik dimana pada kurva p- $\theta$  berpisah dengan kurva tekanan udara saja. *Delay period* ditunjukkan oleh titik A-B.

2) Tahap kedua *Rapid* atau *uncontrolled combustion* (dapat digolongkan sebagai *pre-mixed flame*) terjadi setelah pengapian. Dalam tahap kedua ini kenaikan tekanan cepat karena selama dalam periode tunda butiran lembut bahan bakar telah mempunyai waktu untuk menyebarkan dirinya sendiri pada daerah yang luas dan mereka telah mendapatkan udara segar disekelilingnya. Periode rapid atau *uncontrolled combustion* dihitung mulai dari akhir dari periode tunda sampai dengan tekanan tertinggi pada diagram indikator. Kira-kira sepertiga dari panas terlibat sampai tahap ini.

3) Tahap Ketiga *Controlled combustion*, periode kedua dari rapid atau *uncontrolled combustion* diikuti oleh tahap ketiga yakni *controlled combustion*. Pada akhir tahap kedua temperatur dan tekanan membuat butiran lembut bahan bakar yang terinjeksikan pada tahap akhir injeksi terbakar seketika, dan kenaikan tekanan dapat dikontrol dengan cara mekanisme murni yakni pengaturan laju injeksi. Periode *controlled combustion* diasumsi sampai akhir pada temperatur maksimum siklus. Panas yang terlibat sampai

akhir controlled combustion sekitar 70 %- 80 % dari total panas dari bahan bakar yang disuplai selama siklus.

- 4) Tahap Kempat Tahap keempat ini tidak terjadi pada semua kasus pembakaran pada motor CI, After burning. Secara teoritis diharapkan proses pembakaran berakhir setelah selesainya tahap ketiga. Namun karena distribusi partikel bahan bakar kurang baik, pembakaran berlanjut pada sisa langkah ekspansi. Dari itulah nama after burning atau tahap keempat dikembangkan. Panas total yang terlibat sampai akhir pembakaran adalah 95%-97% sedangkan sisa panas, 3%-5% keluar ke sistem ekshause sebagai unbrunt fuel. (A.Rizkal & B.Sudarmanta, 2016)



**Gambar 2.11 Tahap Pembakaran Pada Mesin Diesel**  
Sumber: (A.O.Priyatna, DKK, 2014)

Pembakaran akan dikatakan sempurna apabila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat (*stoichiometric*), hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran kurus dan hasil pembakarannya menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu

banyak atau tidak cukup oksigen, dikatakan campuran kaya sehingga pembakaran ini menghasilkan api reduksi. Pada motor bensin, campuran udara dan bahan bakar tersebut dinyalakan dalam silinder oleh percik listrik dari busi pada akhir langkah kompresi dengan suhu pembakaran berkisar antara 2100 K sampai 2500 K. Waktu pembakaran yang teratur lamanya kira-kira 3 mili detik. Oleh karena reaksi pembakaran yang sangat cepat akan mengakibatkan terjadinya gangguan dalam sistem pembakaran, antara lain terjadi pembakaran sendiri (*self ignition*) oleh karena adanya sisa bahan bakar yang tidak terbakar. Hal ini disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut :

1. angka oktan yang terlalu rendah,
2. penyetelan sudut pengapian yang tidak tepat,
3. busi (*spark plug*) terlalu panas, pendinginan terlalu miskin, terbakarnya sisa pembakaran sebelumnya, bentuk ruang bakar yang tidak sesuai.

Gangguan-gangguan pada pembakaran ini akan sangat merugikan efektivitas mesin maka untuk mendapatkan pembakaran yang baik diperlukan syarat-syarat sebagai berikut : jumlah udara yang sesuai, temperatur yang sesuai dengan penyalaan bahan bakar, waktu pembakaran yang cukup, kerapatan yang cukup untuk merambatkan api dalam silinder. Reaksi pembakaran baik bahan bakar bensin maupun bahan bakar gas merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen sehingga dihasilkan produk berupa karbon dioksida, uap air, oksida nitrogen atau produk lainnya tergantung pada kualitas pembakaran. (G.P.Tumilar dkk, 2015).

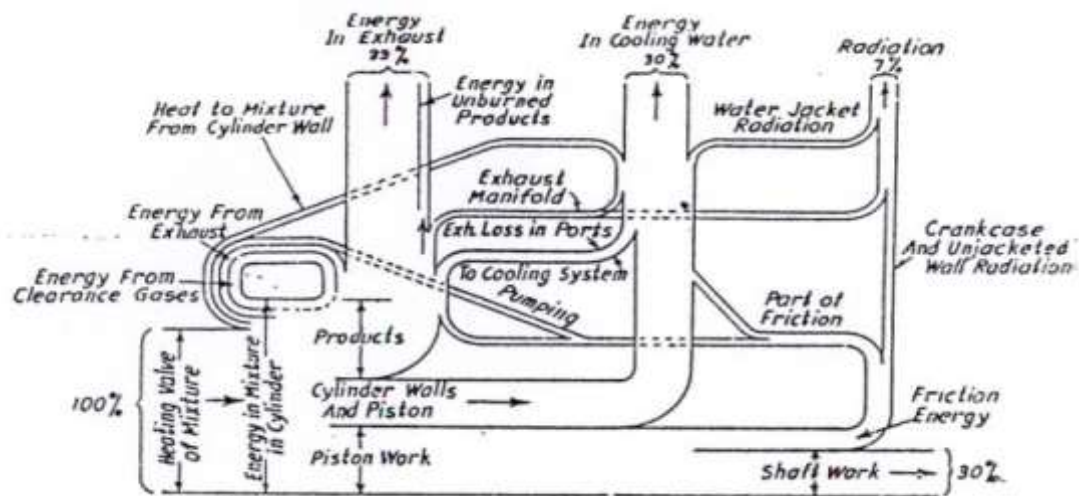
### 2.3.6 Neraca Energi Termal

Menurut (Ballaney, 1980), Energi kimia yang dikandung bahan bakar minyak diubah menjadi energi termal dalam suatu proses pembakaran di suatu motor bakar torak.

Secara umum, energi termal hasil pembakaran terdistribusi di suatu motor bakar dengan proporsi sebagai berikut:

- (1) dikonversi ke energi mekanik atau kerja efektif dari motor  $\approx 15\%$ .
- (2) diserap pendinginan motor,  $\approx 35\%$ .
- (3) terbawa gas buang motor,  $\approx 37\%$ .
- (4) lainnya  $\approx 13\%$ .

Proporsi serta distribusi dapat dilihat dalam Sankey Diagram sebagai berikut:



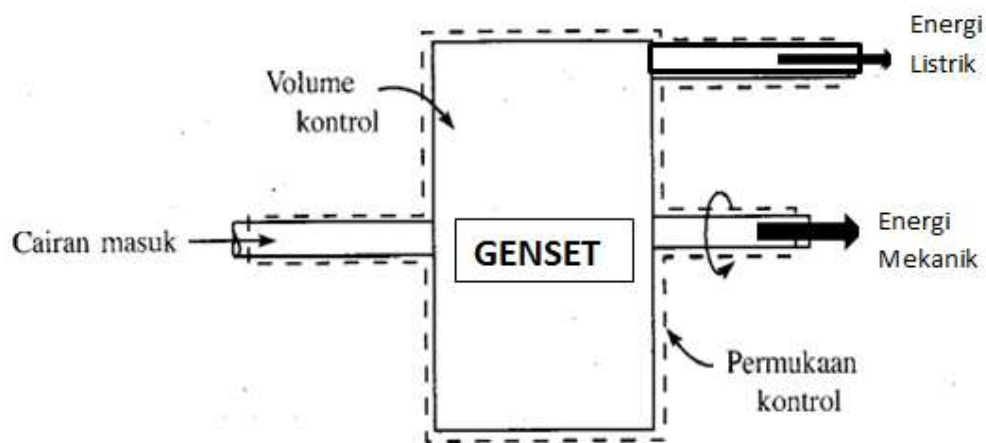
**Gambar 2.12 Sankey Diagram**

Sumber: (Ballaney, 1980)



### 2.3.7 Kontrol Volume

Merle C. Potter, Ph.D, dalam bukunya “Termodinamika Teknik 2 Schaum Series” menyatakan: “Dalam banyak kasus, analisis disederhanakan jika fokus perhatiannya adalah suatu volume dalam ruang ke mana, atau dari mana, suatu zat mengalir. Suatu volume demikian disebut volume kontrol (control volume).” *Volume control* dalam penelitian ini diperlihatkan dalam gambar berikut:



**Gambar 2.13 Volume Kontrol pada Genset**

Dalam penelitian ini, Substansi yang akan diteliti adalah bahan bakar cair berupa premium, pertamax, dan RDF. Kontrol volume dengan menggunakan instrumen tangki bahan bakar genset, waktu, dan seberapa besar energi yang dihasilkan.

### 2.3.8 *Specific Fuel Consumption (SFC)*

Banyaknya bahan bakar minyak yang dipakai diukur dari volumenya. Massa bahan bakar yang dikonsumsi dapat dihitung dengan) :

$$mf = vf \times \rho_f \quad (2.22)$$

dimana,

$mf$  = massa bahan bakar terpakai (kg)

$v_f$  = volume bahan bakar terpakai (liter)

$\rho_f$  = massa jenis bahan bakar (kg/liter)

*Specific fuel consumption* adalah rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar terhadap daya listrik yang dibangkitkan dalam sebuah industri pembangkitan listrik, biasanya digunakan sebagai salah satu cara untuk mengetahui seberapa efisien sebuah pembangkit listrik dan untuk memprediksi nilai kalor bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran. Pengukuran *SFC* sebaiknya dilakukan pada beban yang tetap selama minimum dua jam, kemudian diukur seberapa banyak jumlah pemakaian bahan bakar selama periode dua jam tersebut. Jika periode waktu ini dirasa terlalu lama, maka dapat dipersingkat dengan pengambilan data minimum selama satu jam. (Heywood, 1992)

Pengukuran *SFC* dilakukan dengan menggunakan formula berikut :

$$SFC = FF / P \quad (2.23)$$

Dengan,

FF = Fuel Flow

P = Daya Listrik yang dibangkitkan (*kWh*)

Satuan pengukuran *SFC* terutama pada *fuel flow* berbeda-beda tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan pada sebuah pembangkit listrik. (Heywood, 1992)

Banyak bahan bakar terpakai ( $m_f$ , kg) per satuan waktu ( $t$ , jam) per satuan daya dihasilkan ( $P$ , kW), didefinisikan sebagai laju konsumsi bahan bakar spesifik ( $bsfc$ ). Dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$bsfc = m_f / (t * P) \quad (2.24)$$

## 2.4 Penelitian-penelitian Sebelumnya

Irhamto, Seorang innovator asal Banjarnegara, berhasil membuat sebuah alat pengubah sampah plastik menjadi BBM. Dia menggunakan sampah plastic apa saja dalam penelitiannya dan menemukan bahwa alatnya mampu mengubah 5 kg sampah plastic menjadi 2,5 liter BBBM premium. (detik.com,2018). Sementara hasil uji Laboratorium UGM menemukan bahwa 1 kg sampah plastic dapat menghasilkan 0,8-0,9 liter bensin. Dan Industri Aneka Mesin menemukan bahwa setiap berat plastic dapat menghasilkan:

- 70% bbm (tergantung jenis plastik)
- 16% gas
- 6% karbon solid
- 8% air (H.P.Putra & Y.Yuriananda, 2010)

Pada penelitian yang lebih spesifik, Munawar Ali menemukan bahwa setiap 500 gram plastic jenis kresek (PP) dapat menghasilkan 484 mili liter bahan bakar, setiap 500 gram plastic jenis HDPE dapat menghasilkan 403 mili liter bahan bakar, dan setiap 500 gram plastic jenis PET dapat menghasilkan 447 mili liter bahan bakar. Sementara Nelson Manurung dari Politeknik Negeri Medan membuat bahan bakar minyak dari sampah plastic dengan menggunakan dua kondensor dan memperkirakan bahwa alatnya dapat mengubah 1 kg BBM menjadi 0,625 liter bensin, namun penelitiannya belum sesuai perkiraannya dikarenakan temperature pembakaran belum mencapai 400° C. (Manurung, 2017)

## **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif. . Metode penelitian kuantitatif merupakan cara yang digunakan untuk menjawab masalah penelitian yang berkaitan dengan data dan statistik. (Wahidmurni, 2017, p. 1) , dalam hal ini akan dilakukan pengujian kinerja genset dengan menggunakan bahan bakar minyak dari sampah plastik dan bahan bakar pertamax dan bensin.

### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Pada penulisan penelitian ini, tempat pengambilan data akan dilakukan di proyek CV. Ashri Jaya, Kecamatan Smadam, Aceh Tamiang, Nangroe Aceh Darussalam, pada bulan Januari 2019.

### **3.3 Fasilitas Penelitian**

Fasilitas yang digunakan dalam pengumpulan data antara lain :

1. Alat tulis untuk mencatat segala hal yang berkaitan dengan objek yang diteliti
2. Seperangkat komputer dan beberapa *software* untuk mengelola data.
3. Generator set dengan spesifikasi sebagai berikut:

<b>Nama</b>	Genset 2.5KVA (Generator Set)
<b>Merk</b>	Tekiro Ryu
<b>Tipe</b>	RG3800
<b>UNSPSC</b>	26111600

<b>Daya Output Maksimum</b>	2.8 KVA (at 50 Hz)
<b>Daya Output Rata-rata</b>	2.5 KVA (at 50 Hz)
<b>Frekuensi Rata-rata</b>	50 Hz
<b>Voltase Rata-rata</b>	220 V/ 1 Phase
<b>Model Mesin</b>	Ryu - 6.5 HP
<b>Tipe Mesin</b>	4 Stroke, Air-Cooled, Side Valve, 1 Cylinder OHV
<b>Sistem Starter</b>	Recoil / Electric
<b>Kapastias Tangki</b>	15L
<b>Kapasitas Oli</b>	0.6 liter
<b>Dimensi</b>	717 x 480 x 458 mm
<b>Lama Operasi</b>	14 jam
<b>Tingkat Kebisingan</b>	65 dB (A)

4. Beberapa instrumen dan alat ukur yang diperlukan dijelaskan dalam sub-bab 3.5.

Sementara bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Masing-masing satu liter premium, pertamax, dan RDF untuk pengujian.

### **3.4 Tahap-Tahap dan Teknik Penelitian**

Dalam melakukan penelitian untuk mendapatkan solusi dari permasalahan yang sedang dikaji, ada tahapan-tahapan yang harus dilalui agar penelitian berjalan secara sistematis. Tahap-tahap tersebut meliputi :

#### **1. Identifikasi masalah**

Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap masalah-masalah yang ditemukan pada survei awal. Langkah ini berguna untuk mengetahui

masalah-masalah yang terjadi di lapangan sehingga memudahkan dalam pencarian solusi terhadap masalah agar dapat diselesaikan dengan metode yang tepat.

## 2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur baik melalui jurnal maupun *text book* yang berhubungan dengan RDF, bahan bakar minyak konvensional, maupun generator diesel. Studi literatur ini meliputi pengetahuan umum mengenai pengolahan sampah menjadi energi, alat-alat apa saja yang diperlukan untuk mengubah sampah menjadi energi, dan bagaimana keterkaitan bahan bakar dengan efisiensi genset. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan landasan teori yang dapat direalisasikan pada saat proses penelitian serta menjadi narasumber dalam menyelesaikan masalah yang ada.

## 3. Teknik Pengumpulan data

Cara pengumpulan data dalam penelitian ini adalah :

- a. *Observasi*, merupakan cara pengumpulan data yang dilakukan dengan jalan mencari tahu bagaimana hasil penelitian para peneliti lain mengenai sampah plastik.
- b. *Pengukuran*, merupakan cara pengumpulan data dengan melakukan pengukuran dengan instrumen-instrumen tertentu.

### 3.5 Langkah Pengukuran

Pengukuran yang dibahas dalam penelitian ini adalah untuk menghitung efisiensi termal dan efisiensi listrik, untuk menentukan efisiensi keseluruhan genset.

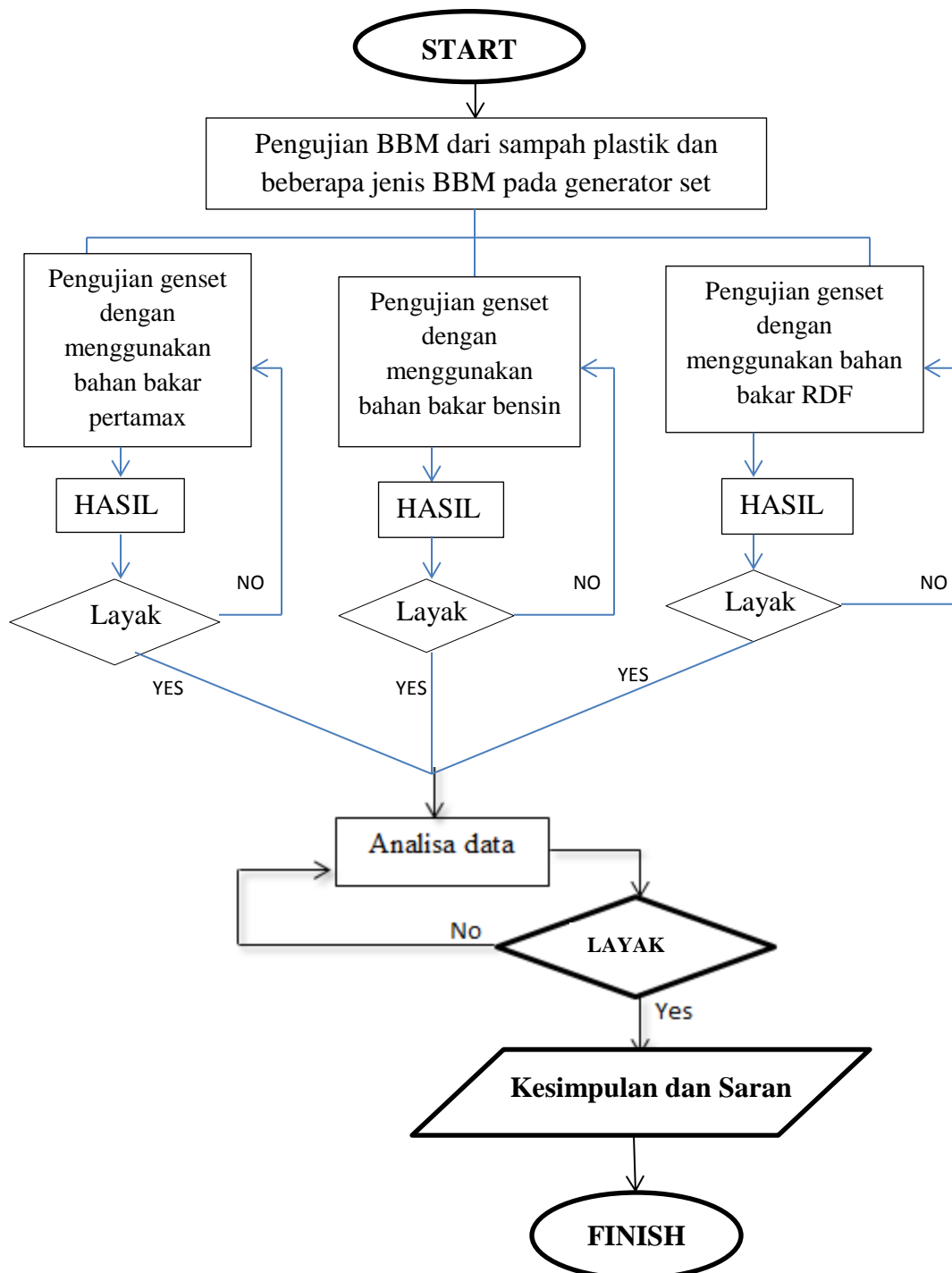
Alat-alat yang diperlukan dalam pengukuran ini adalah:

- 1) Generator set dengan spesifikasi dijelaskan dalam sub-bab 3.3
- 2) Rangkaian lampu untuk mengatur pembebanan
- 3) Voltmeter untuk mengukur tegangan
- 4) Gelas ukur untuk mengukur debit bahan bakar
- 5) Stop watch
- 6) Tachometer

Untuk setiap varian bahan bakar dilakukan langkah-langkah pengukuran sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan peralatan dan varian bahan bakar yang diperlukan. Catat volume dari bahan bakar yang dimasukkan ke tangki dengan metode *control volume*.
- 2) Memeriksa kondisi motor dan rangkaian lampu yang dipakai.
- 3) Menghidupkan genset.
- 4) Mengatur pembebanan mulai berurutan mulai dari tanpa beban, 200 Watt, 400 Watt, 600 Watt, 800 Watt, dan 900 Watt.
- 5) Mencatat waktu konsumsi 0.025 liter bahan bakar, kuat arus dan tegangan.
- 6) Melakukan pengulangan langkah 1) sampai dengan 5) untuk setiap pembebanan.
- 7) Selanjutnya melakukan pengukuran langkah 1) sampai 6) untuk setiap varian bahan bakar lainnya.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian





## BAB 4 PEMBAHASAN DAN HASIL

### 4.1 Pengujian Bahan Bakar Premium

Untuk pengukuran bahan bakar premium ini setiap pengujian menggunakan bahan bakar premium sebanyak 2500 mm<sup>3</sup> atau 0,025 liter bensin jenis premium yang dibaca pada indikator *control volume*. Pengujian menggunakan 5 varian beban, yakni pengujian dengan beban nol atau tanpa beban, pengujian dengan menggunakan beban 100 watt, 200 watt, 300 watt, 600 watt, dan 900 watt, dan setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali. Berikut adalah tabel hasil pengujian premium pada generator set merk Tekiro Ryu: Tabel 1

**Tabel 4. 1 Data pengukuran generator set tanpa beban dengan menggunakan bahan bakar premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
0	173	171	175	173
Tegangan (Volt)	214.5	214.9	217.7	215.7
Putaran (RPM)	3249	3251	3247	3249

Dari data tersebut dapat dihitung berapa konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik yang digunakan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar} = \frac{\text{Jumlah bahan bakar (Liter)}}{\text{Waktu (Jam)}}$$

dan

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar Spesifik} = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar} \left(\frac{\text{Liter}}{\text{Jam}}\right)}{\text{Beban yang digunakan}}$$

Maka selanjutnya diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban nol sebagai berikut:

**Tabel 4. 2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban Nol Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
0	173	171	175	173
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.52023121	0.52631579	0.5142857	0.520231214
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik	Tidak dapat ditentukan	Tidak dapat ditentukan	Tidak dapat ditentukan	Tidak dapat ditentukan

Karena menggunakan beban nol, maka konsumsi bahan bakar spesifik masih belum dapat ditentukan.

Selanjutnya pengukuran dilakukan dengan menggunakan beban lampu sebesar 200 watt. Dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 3 Data Pengukuran Generator pada Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	I	II	III	
200	169	170	173	170.6666667
Tegangan (Volt)	214	214.7	216	214.9
Putaran (RPM)	3149	3147	3198	3164.666667

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 200 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
200	169	170	173	170.6667
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.532544379	0.529411765	0.520231214	0.5274
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.002662722	0.002647059	0.002601156	0.0026

Pada saat beban 400 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 5 Data Pengukuran Generator pada Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
400	160	165	164	163
Tegangan (Volt)	235.7	258.4	237.4	243.833333
Putaran (RPM)	3287	3295	3287	3289.66667

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 400 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 6 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
400	160	165	164	163
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.5625	0.54545	0.54878	0.55224501
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00141	0.00136	0.00137	0.00138061

Pada saat beban 600 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 7 Data Pengukuran Generator pada Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
600	135	142	137	138
Tegangan (Volt)	219.7	221.9	228.8	223.466667
Putaran (RPM)	3310	3313	3317	3313.33333

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 600 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 8 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
600	135	142	137	138
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.66667	0.6338	0.65693	0.65246793
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00111	0.00106	0.00109	0.00108745

Pada saat beban 900 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 9 Data Pengukuran Generator pada Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pngujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
900	109	117	103	109.666667
Tegangan (Volt)	228.1	220.5	219.8	222.8
Putaran (RPM)	3359	3361	3357	3359

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 600 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 10 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
900	109	117	103	109.666667
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.82569	0.76923	0.87379	0.82290175
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00092	0.00085	0.00097	0.00091434

#### 4.2 Pengujian Bahan Bakar Pertamax

Untuk pengukuran bahan bakar premium ini setiap pengujian menggunakan bahan bakar pertamax sebanyak 2500 mm<sup>3</sup> atau 0,025 liter pertamax yang dibaca pada indikator *control volume*. Pengujian menggunakan 5 varian beban, yakni pengujian dengan beban nol atau tanpa beban, pengujian dengan menggunakan beban 100 watt, 200 watt, 300 watt, 600 watt, dan 900 watt, dan setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali. Berikut adalah tabel hasil pengujian pertamax pada generator set merk Tekiro Ryu:

**Tabel 4. 11 Data pengukuran generator set tanpa beban dengan menggunakan bahan bakar Pertamax**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
0	187	184	190	187
Tegangan (Volt)	217	217.8	216.4	217.0667
Putaran (RPM)	3107	3087	3065	3086.333

Dari data tersebut dapat dihitung berapa konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik yang digunakan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar} = \frac{\text{Jumlah bahan bakar (Liter)}}{\text{Waktu (Jam)}}$$

dan

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar Spesifik} = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar} \left(\frac{\text{Liter}}{\text{Jam}}\right)}{\text{Beban yang digunakan}}$$

Maka selanjutnya diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban nol sebagai berikut:

**Tabel 4. 12 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban Nol Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
0	187	184	190	187
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.481283	0.48913	0.473684	0.481366
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	-	-	-	-

Karena menggunakan beban nol, maka konsumsi bahan bakar spesifik masih belum dapat ditentukan.

Selanjutnya pengukuran dilakukan dengan menggunakan beban lampu sebesar 200 watt. Dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 13 Data Pengukuran Generator pada Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
200	175	171	173	173
Tegangan (Volt)	215	214.6	218	215.8667
Putaran (RPM)	3164	3172	3169	3168.333

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 200 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 14 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
200	175	171	173	173
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.514286	0.526316	0.520231	0.520278
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00257	0.00263	0.0026	0.0026

Pada saat beban 400 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 15 Data Pengukuran Generator pada Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	I	II	III	
400	169	167	171	169
Tegangan (Volt)	235.7	230.1	235.3	233.7
Putaran (RPM)	3299	3298	3301	3299.33

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 400 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 16 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	I	II	III	
400	169	167	171	169
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.53254438	0.53892216	0.52632	0.53259
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00133136	0.00134731	0.00132	0.00133

Pada saat beban 600 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 17 Data Pengukuran Generator pada Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
600	149	143	147	146.333
Tegangan (Volt)	235.1	236.2	230.3	233.867
Putaran (RPM)	3317	3324	3329	3323.33

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 600 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 18 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
600	149	143	147	146.333
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.60402685	0.62937063	0.61224	0.61521
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00100671	0.00104895	0.00102	0.00103



Pada saat beban 900 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 19 Data Pengukuran Generator pada Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
900	115	117	108	113.333
Tegangan (Volt)	230.7	230.9	228.4	230
Putaran (RPM)	3341	3342	3343	3342

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 900 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 20 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar Pertamina**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
900	115	117	108	113.333
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.7826087	0.76923077	0.83333	0.79506
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00086957	0.0008547	0.00093	0.00088

### 4.3 Pengujian Bahan Bakar RDF dari Sampah Plastik

Untuk pengukuran bahan bakar RDF ini setiap pengujian menggunakan bahan bakar RDF sebanyak 2500 mm<sup>3</sup> atau 0,025 liter RDF yang dibaca pada indikator *control volume*. Pengujian menggunakan 5 varian beban, yakni pengujian dengan beban nol atau tanpa beban, pengujian dengan menggunakan beban 100 watt, 200 watt, 300 watt, 600 watt, dan 900 watt, dan setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali. Berikut adalah tabel hasil pengujian RDF pada generator set merk Tekiro Ryu:

**Tabel 4. 21 Data pengukuran generator set tanpa beban dengan menggunakan bahan bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
0	127	129	128	128
Tegangan (Volt)	230.7	230.9	228.4	230
Putaran (RPM)	3341	3342	3343	3342

Dari data tersebut dapat dihitung berapa konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik yang digunakan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar} = \frac{\text{Jumlah bahan bakar (Liter)}}{\text{Waktu (Jam)}}$$

dan

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar Spesifik} = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar} \left(\frac{\text{Liter}}{\text{Jam}}\right)}{\text{Beban yang digunakan}}$$

Maka selanjutnya diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban nol sebagai berikut:

**Tabel 4. 22 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban Nol Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
0	127	129	128	128
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.70866	0.69767	0.70313	0.70315
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	-	-	-	-

Karena menggunakan beban nol, maka konsumsi bahan bakar spesifik masih belum dapat ditentukan.

Selanjutnya pada beban 200 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 23 Data Pengukuran Generator pada Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
200	119	115	112	115.333
Tegangan (Volt)	230.7	230.9	228.4	230
Putaran (RPM)	3341	3342	3343	3342

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 200 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 24 Konsumsi Bahan Bakar Spesisfik pada Saat Beban 200 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
200	119	115	112	115.333
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.7563	0.78261	0.80357	0.78083
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00378	0.00391	0.00402	0.0039

Pada saat beban 400 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 25 Data Pengukuran Generator pada Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
400	97	99	103	99.6667
Tegangan (Volt)	147.8	149.5	148.7	148.667
Putaran (RPM)	2417	2419	2415	2417

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 400 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 26 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 400 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
400	97	99	103	99.6667
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	0.92784	0.90909	0.87379	0.90357
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00232	0.00227	0.00218	0.00226

Pada saat beban 600 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 27 Data Pengukuran Generator pada Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
600	88	87	84	86.3333
Tegangan (Volt)	169.8	169.1	173.3	170.733
Putaran (RPM)	2257	2381	2387	2341.67

Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 600 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 28 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 600 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
600	88	87	84	86.3333
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	1.02273	1.03448	1.07143	1.04288
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.0017	0.00172	0.00179	0.00174

Pada saat beban 900 watt, dari alat instrumentasi ditunjukkan hasil pengukuran sebagai berikut:

**Tabel 4. 29 Data Pengukuran Generator pada Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
900	79	78	81	79.3333
Tegangan (Volt)	187.1	181.5	183.3	183.967
Putaran (RPM)	2571	2569	2581	2573.67

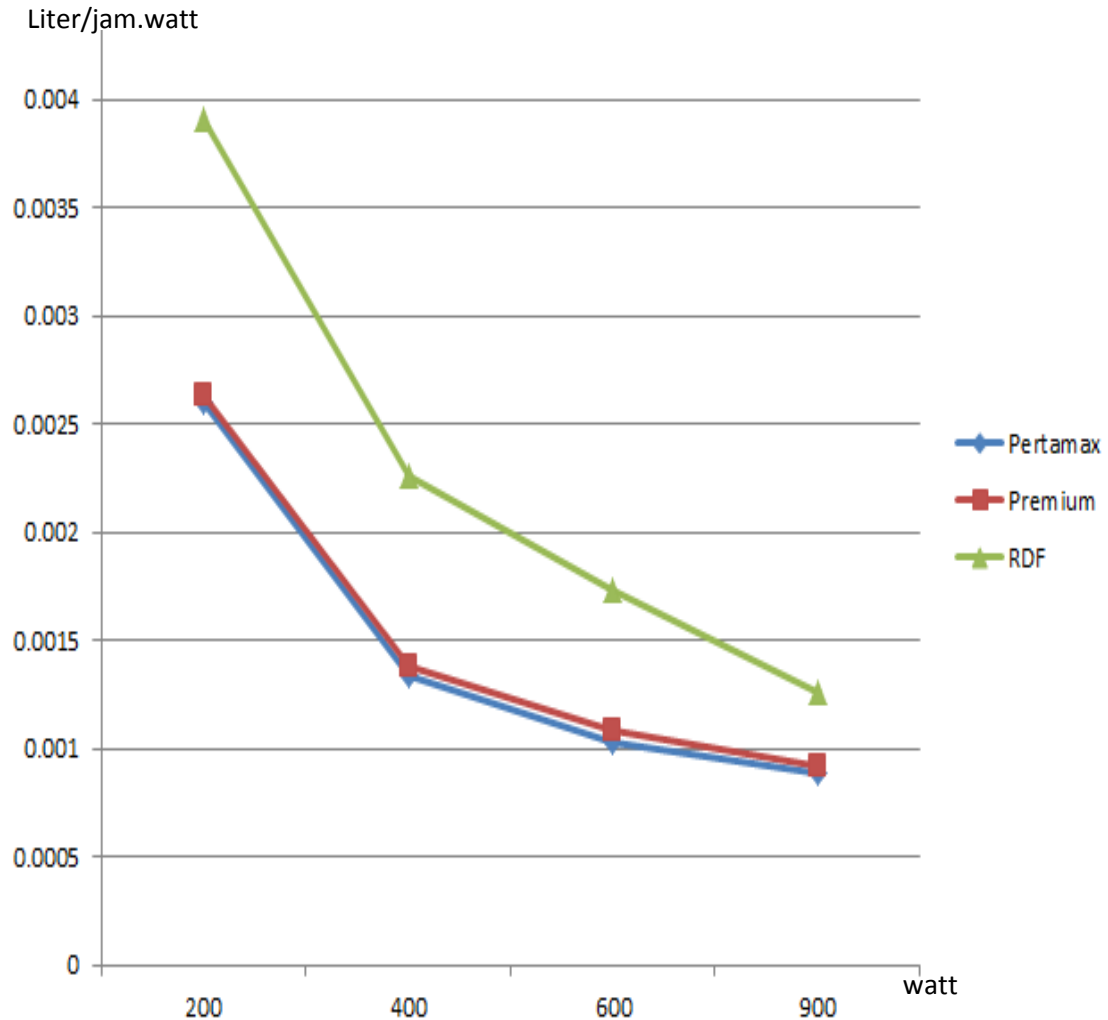
Lalu diperoleh perhitungan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik pada beban 900 Watt sebagai berikut:

**Tabel 4. 30 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Saat Beban 900 Watt Dengan Menggunakan Bahan Bakar RDF**

Beban (Watt)	Lama Pengujian ( Detik)			Rata-Rata
	Pengujian ke-I	Pengujian ke-II	Pengujian ke-III	
900	79	78	81	79.3333
Konsumsi Bahan Bakar (Liter / Jam)	1.13924	1.15385	1.11111	1.13473
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)	0.00127	0.00128	0.00123	0.00126

#### 4.4 Perbandingan Effisiensi Bahan Bakar Premium, Pertamina, dan RDF

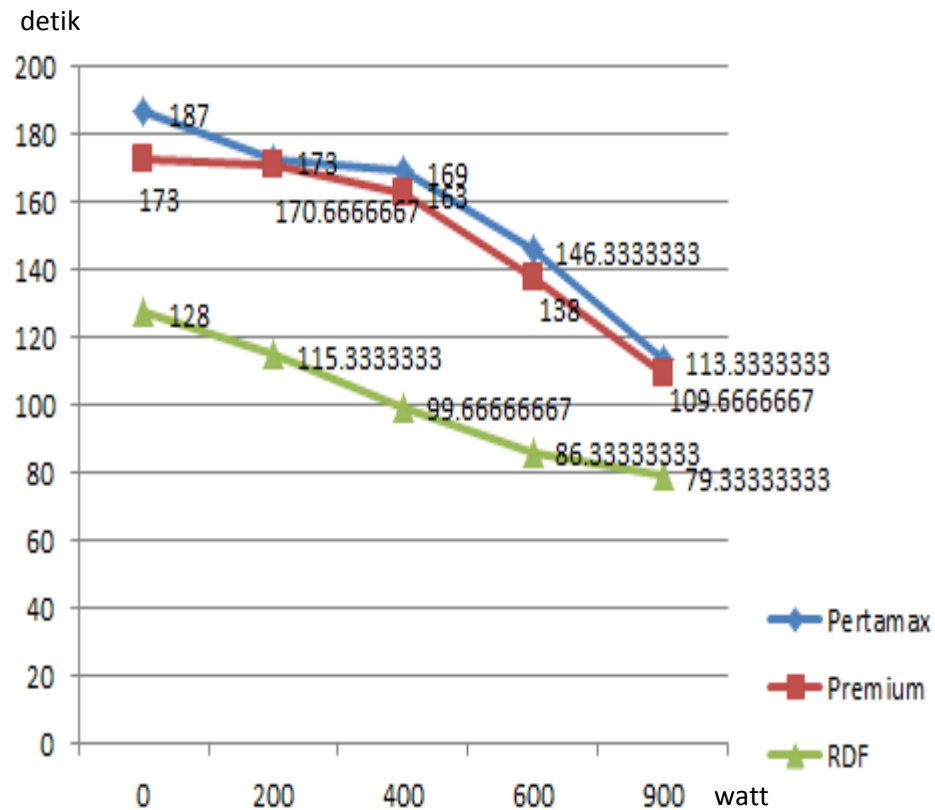
Effisiensi Bahan Bakar terhadap daya listrik yang dihasilkan dapat dilihat dari nilai konsumsi bahan bakar spesifiknya. Dalam penelitian ini, Bahan Bakar Pertamina merupakan bahan bakar yang nilai konsumsi bahan bakar spesifiknya paling kecil atau paling hemat, sementara RDF adalah bahan bakar yang nilai konsumsi bahan bakarnya paling besar atau paling boros.



**Gambar 4.1 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pertamina-Premium-RDF**

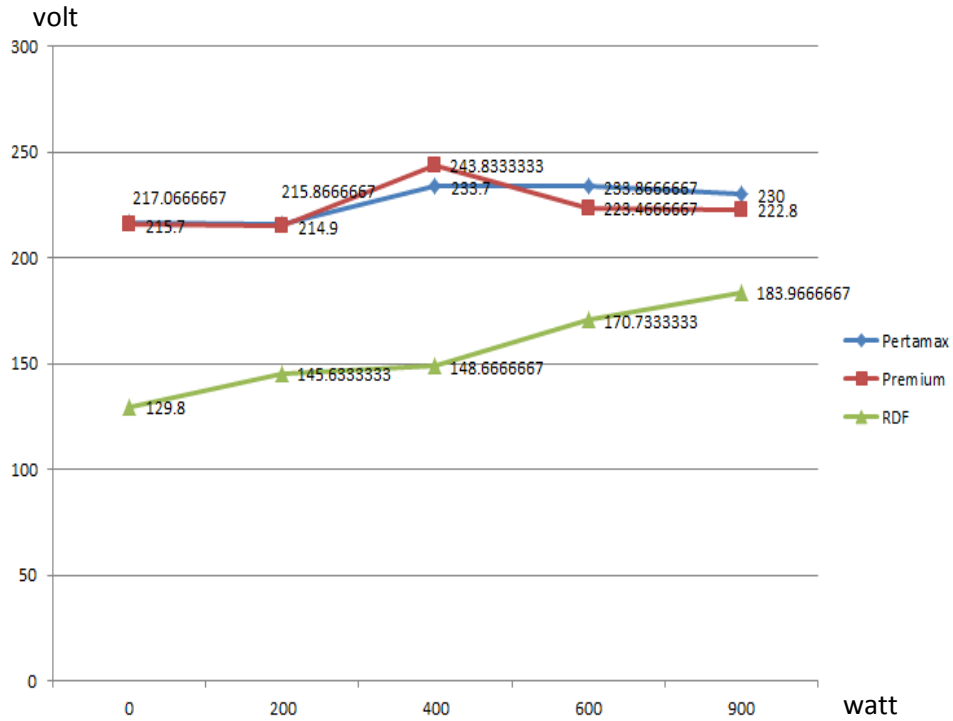
Dari gambar diagram di atas juga bisa dilihat bahwa semakin besar beban yang digunakan, semakin kecil nilai konsumsi bahan bakar spesifik pada setiap varian bahan bakar. Dapat dilihat dari diagram tersebut bahwa konsumsi bahan bakar spesifik semakin besar atau boros jika menggunakan beban yang kecil, dan semakin hemat jika beban dinaikkan sampai ke 900 watt.

Hal ini sangat berpengaruh dalam waktu penggunaan genset menggunakan varian bahan bakar dengan jumlah tertentu. Hal ini dapat dilihat dari pengujian menggunakan 0.025 liter masing-masing varian bahan bakar dalam grafik berikut:

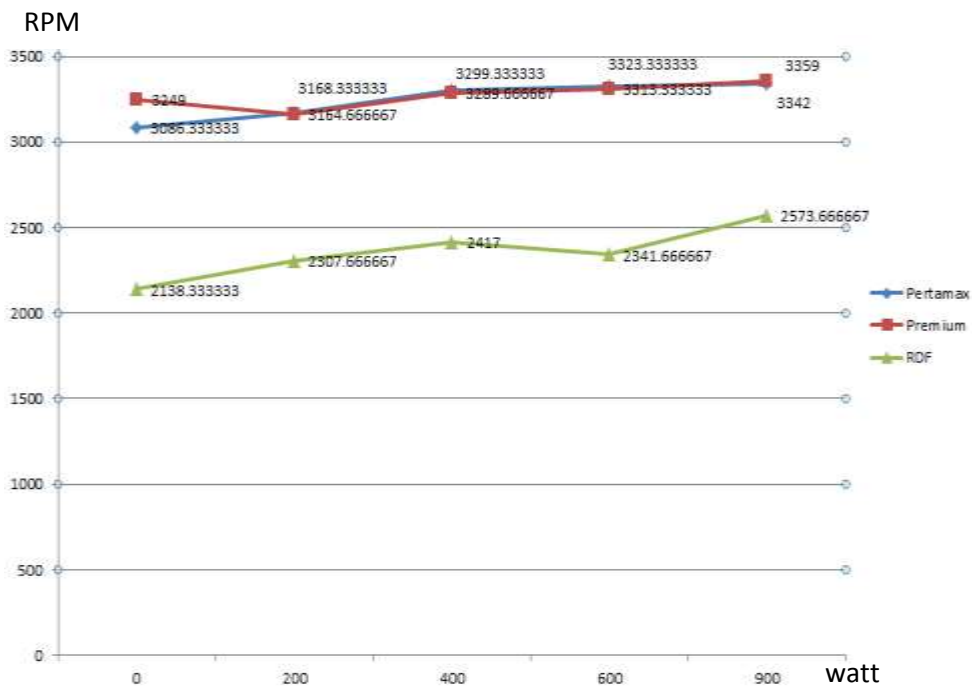


**Gambar 4.2 Grafik Waktu Pengujian 0.025 liter Pertamax-Premium-RDF**

Sementara untuk tegangan yang dihasilkan, penggunaan bahan bakar premium dan pertamax menghasilkan tegangan dan RPM yang lebih stabil dibandingkan penggunaan bahan bakar RDF. Ini menunjukkan bahwa penggunaan RDF sebagai bahan bakar generator set masih kurang efisien karena tegangan dan RPM yang dihasilkan masih rendah. Hal ini dapat dilihat dalam grafik berikut:



**Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tegangan Generator Set Menggunakan Pertamina-Premium-RDF**



**Gambar 4.4 Grafik Pengujian RPM Generator Set Menggunakan Pertamina-Premium-RDF**



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil studi literatur, pengujian, pengukuran, analisa data, dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- 1) Bahan Bakar Pertamina merupakan bahan bakar yang nilai konsumsi bahan bakar spesifiknya paling kecil atau paling hemat yakni 0.0026 liter/jam.watt untuk beban 200 watt dan 0.00088 liter/jam.watt untuk beban 900 watt, lalu Premium menempati peringkat kedua dengan konsumsi bahan bakar spesifik 0.00264 liter/jam.watt untuk beban 200 watt dan 0.00091 liter/jam.watt untuk beban 900 watt, sementara RDF adalah bahan bakar yang nilai konsumsi bahan bakar spesifiknya paling besar atau paling boros yakni 0.0039 liter/jam.watt untuk beban 200 watt dan 0.00126 liter/jam.watt untuk beban 900 watt.
- 2) Semakin besar beban yang digunakan, semakin kecil nilai konsumsi bahan bakar spesifik pada setiap varian bahan bakar. Ini berarti secara efisiensi listrik dan efisiensi termal, generator set lebih baik digunakan untuk menghidupkan beban yang besar dibandingkan beban yang kecil.
- 3) Penggunaan bahan bakar premium dan pertamax menghasilkan tegangan dan RPM yang lebih stabil dibandingkan penggunaan bahan bakar RDF. Ini menunjukkan bahwa penggunaan RDF sebagai bahan bakar generator set masih kurang efisien karena tegangan dan RPM yang dihasilkan masih rendah.

## 5.2 Saran

Dari hasil studi literatur, pengujian, pengukuran, analisa data, dan pembahasan yang telah dilakukan, penulis menyampaikan beberapa saran, antara lain:

- 1) Pemakaian generator set Merk Teikiro Ryu sebaiknya tidak digunakan untuk beban-beban yang kecil karena tidak efisien.
- 2) Penggunaan Bahan Bakar RDF dari sampah palstik sangat bermanfaat untuk pengelolaan sampah dan manajemen lingkungan, namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar RDF ini memiliki efisiensi yang setara atau paling tidak mendekati dengan bahan bakar premium dan pertamax yang sudah biasa digunakan dan terbukti secara termal dan secara elektrikal lebih efektif.
- 3) Untuk penelitian serupa selanjutnya sebaiknya dilakukan pengujian efisiensi generator set dengan menggunakan varian daya yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.E. Fitzgerald dkk. (2002). *Dasar-Dasar Elektroteknik*. Jakarta: Erlangga.
- A.O.Priyatna, DKK. (2014). Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Jenis Polypropylene (Pp) Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Katalis Zeolit A. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 14(1), 11-17.
- A.Rizkal & B.Sudarmanta. (2016). Karakterisasi Unjuk Kerja Diesel Engine Generator Set Sistem Dual Fuel Solar-Syngas Hasil Gasifikasi Briket Municipal Solid Waste (MSW) Secara Langsung. *JURNAL TEKNIK ITS*, V(2), B563-B569.
- Ballaney, P. (1980). *Thermal Engineering*. Delhi. India: Khana Publisher.
- Dewan Energi Nasional. (2014). Outlook Energi Indonesia. *Kementerian ESDM*.
- G.P.Tumilar dkk. (2015). Optimalisasi Penggunaan Bahan Bakar Pada Generator Set Dengan Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurusan Teknik Elektro FT UNSRAT, I(E-Journal Teknik Elektro dan Komputer)*, 77-89.
- H.P.Putra & Y.Yuriananda. (2010). Studi Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Produk dan Jasa Kreatif. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 2(1), 21-31.
- Hammond, P. (1986). *Electromagnetism For Engineers*. Oxford: Pergamon.
- Heywood, J. (1992). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: Mc Graw Hill.
- Iswadi dkk. (2017). Pemanfaatan Sampah Plastik Ldpe Dan Pet Menjadi Bahan Bakar. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM ISSN 2549 - 0699*, 1(2), 1-9.
- J.W. Jewwet & R.A. Serway. (2010). *Physics for Scientist and Engineers with Modern Science*. Canada: Cengange Learning.
- Jazi Eko Istiyanto dan Aris Puji Widodo. (2009). Karakteristik Metodologi Penelitian Bidang Ilmu Komputer. *Jurnal Sains dan Matematika (JSM)*, 17(2), 115-120.
- Kadir, A. (2005). *ENERGI*. Jakarta: UI-PRESS.

- Kementerian ESDM. (2015). *Buku Panduan Megelola Sampah Menjadi Energi* (Bahasa Indonesia ed.). Jakarta: Indonesia-Uni Eropa Trade Cooperate Centre.
- M.Abbot & C.Van Ness. (1972). *Thermodynamics*.
- M.C.Potter & C.W.Sommerton. (2015). *Termodinamika Teknik* (3 ed.). Michigan: Erlangga.
- M.J.Moran & H.N.Shapiro. (2004). *Termodinamika Teknik Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Manurung, N. (2017). Pembuatan Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik dengan Menggunakan Dua Kondensor. *JITEKH Vol.6*, 11-16.
- Martono, D. H. (2009). *Pengolahan Sampah Menjadi Energi*. Jakarta: Divisi Litbang Indonesian Solid Waste Association (InSWA).
- Nawir. (2018). *Kegagalan Menghidupkan Mesin Generator*. Samarinda: Politeknik Negeri Samarinda.
- Purwaningrum & Pramati. (2016). Upaya Mengurangi Timbunan Sampah Plastik. *JTL, VIII(2)*, 141-147.
- R.Rafli dkk. (2017). Penerapan Teknologi Pirolisis Untuk Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak di Kabupaten Bantul. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal, 2(1)*, 1-5.
- Rachmawati, D. H. (2011). *Pengembangan Algoritma Untuk Penjadwalan Distribusi Bbm Di Pt.X*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sa'adah, A. F. (2016). *Analisis Penyediaan Dan Konsumsi Bahan Bakar*. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Soekardi, C. (2015). *Termodinamika Dasar Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Andi.
- Somerton & Potter. (2015). *Termodinamika Teknik* (Schaum ed.). Erlangga.
- Stevens, M. P. (2001). *Polymer Chemistry : An Introduction* (3rd Edition ed.). New York: Oxford University Press.
- Syamsiro dkk. (2016). Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Sebagai Bahan Baku Mesin Pirolisis Skala Komunal. *Mek. Sist. Termal, 1(2)*, 43-48.

- Untoro & Ismanto. (2016). Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi BBM. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)*, 1(1), 32-37.
- Wahidmurni. (2017). *Pemaparan Metode Penelitian Kualitatif*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Badawi, A. (2018). Evaluasi Pengaruh Modifikasi Three Pass Protocol Terhadap Transmisi Kunci Enkripsi.
- Batubara, Supina. "Analisis perbandingan metode fuzzy mamdani dan fuzzy sugeno untuk penentuan kualitas cor beton instan." *IT Journal Research and Development* 2.1 (2017): 1-11.
- Bahri, S. (2018). *Metodologi Penelitian Bisnis Lengkap Dengan Teknik Pengolahan Data SPSS*. Penerbit Andi (Anggota Ikapi). Percetakan Andi Offset. Yogyakarta.
- Erika, Winda, Heni Rachmawati, and Ibnu Surya. "Enkripsi Teks Surat Elektronik (E-Mail) Berbasis Algoritma Rivest Shamir Adleman (RSA)." *Jurnal Aksara Komputer Terapan* 1.2 (2012).
- Fitriani, W., Rahim, R., Oktaviana, B., & Siahaan, A. P. U. (2017). Vernam Encrypted Text in End of File Hiding Steganography Technique. *Int. J. Recent Trends Eng. Res*, 3(7), 214-219.
- Hardinata, R. S. (2019). Audit Tata Kelola Teknologi Informasi menggunakan Cobit 5 (Studi Kasus: Universitas Pembangunan Panca Budi Medan). *Jurnal Teknik dan Informatika*, 6(1), 42-45.
- Hariyanto, E., Lubis, S. A., & Sitorus, Z. (2017). Perancangan prototipe helm pengukur kualitas udara. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer)*, 1(1).
- Hariyanto, E., & Rahim, R. (2016). Arnold's cat map algorithm in digital image encryption. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(10), 1363-1365.
- Harumy, T. H. F., & Sulistianingsih, I. (2016). Sistem penunjang keputusan penentuan jabatan manager menggunakan metode mfep pada cv. Sapo durin. In *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia* (pp. 6-7).
- Iqbal, M., Siahaan, A. P. U., Purba, N. E., & Purwanto, D. (2017). Prim's Algorithm for Optimizing Fiber Optic Trajectory Planning. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol*, 3(6), 504-509.

- Marlina, L., Muslim, M., Siahaan, A. U., & Utama, P. (2016). Data Mining Classification Comparison (Naïve Bayes and C4. 5 Algorithms). *Int. J. Eng. Trends Technol*, 38(7), 380-383.
- Muttaqin, Muhammad. "ANALISA PEMANFAATAN SISTEM INFORMASI E-OFFICE PADA UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI MEDAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE UTAUT." *Jurnal Teknik dan Informatika* 5.1 (2018): 40-43.
- Ramadhan, Z., Zarlis, M., Efendi, S., & Siahaan, A. P. U. (2018). Perbandingan Algoritma Prim dengan Algoritma Floyd-Warshall dalam Menentukan Rute Terpendek (Shortest Path Problem). *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 5(2), 135-139.
- Rahim, R., Aryza, S., Wibowo, P., Harahap, A. K. Z., Suleman, A. R., Sihombing, E. E., ... & Agustina, I. (2018). Prototype file transfer protocol application for LAN and Wi-Fi communication. *Int. J. Eng. Technol.*, 7(2.13), 345-347.
- Wahyuni, Sri. "Implementasi Rapidminer Dalam Menganalisa Data Mahasiswa Drop Out." *Jurnal Abdi Ilmu* 10.2 (2018): 1899-1902.

## LAMPIRAN

### Data Pengujian Pertamax

Jumlah BBM (liter)	Beban (Watt)	Lama Pengujian (Detik)			Lama Rata-rata	Konsumsi Bahan Bakar			Rata- Rata	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik			Rata-rata Konsumsi	Tegangan (Volt)			Rata- Rata	Putaran Mesin (RPM)			Rata- Rata
		pengujian ke	ngujian ke	ngujian ke		I	II	III		I	II	III		I	II	II		I	II	II	
0.025	0	187	184	190	187	0.48128	0.48913	0.47368	0.48137	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	217	217.8	216.4	217.067	3107	3087	3065	3086.33
0.025	200	175	171	173	173	0.51429	0.52632	0.52023	0.52028	0.00257143	0.00263158	0.0026	0.0026	215	214.6	218	215.867	3164	3172	3169	3168.33
0.025	400	169	167	171	169	0.53254	0.53892	0.52632	0.53259	0.00133136	0.00134731	0.00132	0.00133	235.7	230.1	235.3	233.7	3299	3298	3301	3299.33
0.025	600	149	143	147	146.333	0.60403	0.62937	0.61224	0.61521	0.00100671	0.00104895	0.00102	0.00103	235.1	236.2	230.3	233.867	3317	3324	3329	3323.33
0.025	900	115	117	108	113.333	0.78261	0.76923	0.83333	0.79506	0.00086957	0.0008547	0.00093	0.00088	230.7	230.9	228.4	230	3341	3342	3343	3342

### Data Pengujian Bensin

Beban (Watt)	Jumlah BBM (liter)	Lama Pengujian (Detik)			Lama Rata- rata (detik)	Konsumsi Bahan Bakar (Liter/jam)			Rata-Rata Konsumsi Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Liter/Jam.Watt)			Rata-rata Konsumsi Bahan Bakar Spesifik	Tegangan (Volt)			Rata-Rata Tegangan	Putaran Mesin (RPM)			Rata- Rata Putaran
		I	II	III		I	II	III		I	II	III		I	II	II		I	II	II	
0	0.025	173	171	175	173	0.520231214	0.52631579	0.51428571	0.52027757	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	214.5	214.9	217.7	215.7	3249	3251	3247	3249
200	0.025	169	170	173	170.666667	0.532544379	0.52941176	0.52023121	0.52739579	0.00266272	0.00264706	0.00260116	0.002636979	214	214.7	216	214.9	3149	3147	3198	3164.67
400	0.025	160	165	164	163	0.5625	0.54545455	0.54878049	0.55224501	0.00140625	0.00136364	0.00137195	0.001380613	235.7	258.4	237.4	243.8333	3287	3295	3287	3289.67
600	0.025	135	142	137	138	0.666666667	0.63380282	0.65693431	0.65246793	0.00111111	0.00105634	0.00109489	0.001087447	219.7	221.9	228.8	223.4667	3310	3313	3317	3313.33
900	0.025	109	117	103	109.666667	0.825688073	0.76923077	0.87378641	0.82290175	0.00091743	0.0008547	0.00097087	0.000914335	228.1	220.5	219.8	222.8	3359	3361	3357	3359

### Data Pengujian RDF

Beban (Watt)	Jumlah BBM	Lama Pengujian (Detik)			Lama Rata-rata	Konsumsi Bahan Bakar			Rata-Rata Konsums	Konsumsi Bahan Bakar			Rata-rata Konsums	Tegangan (Volt)			Rata-Rata Tegangan	Putaran Mesin (RPM)			Rata-Rata Putaran
		I	II	III		I	II	III		I	II	III		I	II	III		I	II	III	
0	0.025	127	129	128	128	0.708661	0.697674	0.703125	0.703154	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	127.9	128	133.5	129.8	2108	2106	2201	2138.333
200	0.025	119	115	112	115.3333	0.756303	0.782609	0.803571	0.780828	0.003782	0.003913	0.004018	0.003904	146.4	149.2	141.3	145.6333	2307	2306	2310	2307.667
400	0.025	97	99	103	99.66667	0.927835	0.909091	0.873786	0.903571	0.00232	0.002273	0.002184	0.002259	147.8	149.5	148.7	148.6667	2417	2419	2415	2417
600	0.025	88	87	84	86.33333	1.022727	1.034483	1.071429	1.04288	0.001705	0.001724	0.001786	0.001738	169.8	169.1	173.3	170.7333	2257	2381	2387	2341.667
900	0.025	79	78	81	79.33333	1.139241	1.153846	1.111111	1.134733	0.001266	0.001282	0.001235	0.001261	187.1	181.5	183.3	183.9667	2571	2569	2581	2573.667