

**PREDIKSI POTENSI SAMPAH UNTUK PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSa) BERBASIS  
METODE REGRESI LINIER BERGANDA**

**Tesis S-2**

Untuk memenuhi persyaratan  
Mencapai derajat sarjana S-2

Program Magister Teknik Elektro



Diajukan Oleh :

**Innieke Ulya Rahmawati**  
**NIM: 20601800004**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**TESIS**  
**PREDIKSI POTENSI SAMPAH UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK**  
**TENAGA SAMPAH (PLTSa) BERBASIS METODE REGRESI LINIER**  
**BERGANDA**

yang dipersiapkan dan disusun oleh  
Innieke Ulya Rahmawati  
NIM : 20601800004

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Pada tanggal .....

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama



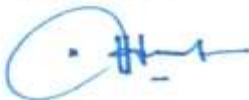
Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.  
NIDN : 0618066301

Ketua Penguji



Dr. Hj. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si  
NIDN : 0620026501

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Suhartono, M.Eng  
NIDK : 8887233420

Penguji 1



Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT  
NIDN : 0628086501

Penguji 2



Dr. Eka Nuryanto Budisusila, ST, MT  
NIDN : 0619107301

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Magister Teknik

Tanggal 13 3 2023  
Ketua Program Studi Magister teknik Elektro  
  
Dr. Hj. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si  
NIDN : 0620026501

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, dengan sebenarnya menyatakan bahwa tesis ini Saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Jika dikemudian hari ternyata Saya melakukan tindakan plagiarisme, Saya bertanggung jawab sepenuhnya dan bersedia menerima sanksi yang dijatuhkan oleh Universitas Islam Sultan Agung Semarang kepada Saya.



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun Tesis dengan judul “**PREDIKSI POTENSI SAMPAH UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSA) BERBASIS METODE REGRESI LINIER BERGANDA**”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana S-2 pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Terwujudnya tulisan ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, S.T, M.T, Dekan program Magister Teknik Elektro FTI Unissula;
2. Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si, Ka. Program studi Magister Tetnik Elektro FTI Unissula;
3. Para dosen FTI Unissula yang senantiasa mencurahkan ilmunya pada perkuliahan;
4. Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan di setiap perkuliahan;
5. Para sahabat di Unissula yang memotivasi agar tugas dan perkuliahan dapat dilaksanakan dengan baik.

Harapan penulis, semoga tulisan ini dapat memberikan sumbangan pemikiran bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan dapat bermanfaat bagi masyarakat.

Akhir kata, penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran guna penyempurnaan bidang ilmu yang penulis dalami.

Semarang,

Innieke Ulya Rahmawati

## MOTTO

“Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman dan orang-orang yang berilmu diantara kamu sekalian” (QS. Al-Mujadilah: 1-1)

“Barang siapa yang keluar rumah untuk mencari ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang” (HR. Tirmidzi)

“Bukanlah ilmu yang semestinya mendatangimu, tetapi kamulah yang seharusnya mendatangi ilmu itu” (Imam Malik)



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>I</b>
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	<b>II</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>III</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>IV</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>V</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>VII</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>VIII</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>IX</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>X</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Keaslian Penelitian .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	<b>7</b>
2.1 Kajian Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori.....	9
2.2.1 <i>Sampah</i> .....	9
2.2.2 <i>Tempat Pembuangan Akhir (TPA)</i> .....	14
2.2.3 <i>PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah)</i> .....	16
2.2.4 <i>Insenerasi</i> .....	18
2.2.5 <i>Insinerator</i> .....	21
2.2.6 <i>Jenis Insinerator</i> .....	22
2.2.6.1 <i>Incinerator Rotary Kiln</i> .....	22
2.2.6.2 <i>Multiple Heart Incinerator</i> .....	23
2.2.7 <i>Proses Pembakaran</i> .....	24
2.2.8 <i>Gas Hasil Pembakaran</i> .....	26
2.2.9 <i>Perhitungan Kapasitas Insinerator</i> .....	27

2.2.10	<i>Potensi sampah menjadi Listrik</i> .....	27
2.2.11	<i>Daya Listrik yang dihasilkan PLTSa</i> .....	28
2.2.12	<i>Objek Penelitian</i> .....	30
2.2.13	<i>Analisis Regresi Linier Berganda</i> .....	33
2.2.14	<i>Analisa Regresi Linier</i> .....	37
2.2.15	<i>Teknik Evaluasi Kesesuaian Model</i> .....	38
2.2.16	<i>Potensi Energi Listrik dari Sampah</i> .....	39
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>42</b>
3.1	Rancangan Penelitian .....	42
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	43
3.3	Diagram Alur Penelitian .....	44
3.4	Kabupaten Jepara.....	47
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>52</b>
4.1	Hasil Penelitian.....	52
4.1.1	<i>Pemodelan Regresi Linier Berganda</i> .....	52
4.1.2	<i>Forecasting Jumlah Penduduk</i> .....	56
4.1.3	<i>Forecasting Jumlah Konsumsi Listrik</i> .....	60
4.1.4	<i>Forecasting Volume Sampah</i> .....	65
4.1.5	<i>Analisa Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan</i> .....	69
4.1.6	<i>Analisa Akhir</i> .....	72
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN</b> .....	<b>74</b>
5.1	Kesimpulan.....	74
5.2	Saran .....	74
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>75</b>
	<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>80</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema teknik operasional pengelolaan persampahan .....	11
Gambar 2.2 Pola layanan persampahan .....	13
Gambar 2.3 Representasi input dan output TPA penyebab dampak lingkungan..	16
Gambar 2.4 Susunan komponen PLTSa secara umum .....	17
Gambar 2.5 Proses PLTSa Secara Insinerasi .....	19
Gambar 2.6 Flow proses Insinerasi .....	21
Gambar 2.7 Incinerator Rotary Kiln .....	23
Gambar 2.8 Multiple Hearth Incinerator.....	24
Gambar 2.9 Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah.....	31
Gambar 3.1 Model Penelitian .....	43
Gambar 3.2 Flowchart Penelitian.....	44
Gambar 3.3 Blok Diagram PLTSa (Insenerasi).....	45
Gambar 3.4 Diagram Keterkaitan Masalah.....	46
Gambar 3.5 Lokasi Kabupapten Jepara pada Peta Indonesia .....	47
Gambar 4.1 Grafik Uji Forecasting Konsumsi Listrik.....	56
Gambar 4.2 Grafik Uji forecasting Jumlah Penduduk .....	59
Gambar 4.3 Grafik forecasting Jumlah penduduk 2022-2048.....	60
Gambar 4.4 Grafik Uji forecasting konsumsi listrik.....	63
Gambar 4.5 Grafik forecasting konsumsi listrik 2022-2048.....	64
Gambar 4.6 Grafik Uji forecasting Volume Sampah.....	67
Gambar 4.7 Grafik forecasting Volume Sampah 2022-2048.....	68
Gambar 4.8 Perbandingan konsumsi listrik dan Energi yang dihasilkan.....	72



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jumlah Penduduk dan Volume sampah .....	30
Tabel 2.2 Komposisi sampah dari tahun 2019-2021.....	31
Tabel 2.3 TPA dan jumlah sampah yang dihasilkan.....	32
Tabel 2.4 Banyaknya Bank Sampah dan Volume Sampah.....	32
Tabel 2.5 Range Nilai MAPE .....	39
Tabel 3.1 Jumlah Penduduk Kabupaten Jepara Tahun 2012-2021 .....	47
Tabel 3.2 Jumlah Volume Sampah di Kabupaten Jepara.....	48
Tabel 3.3 Sarana yang dimiliki Kabupaten Jepara.....	49
Tabel 3.4 TPA di Kabupaten Jepara .....	49
Tabel 3.5 Jumlah Pelanggan Listrik per Kecamatan.....	50
Tabel 3. 6 Konsumsi Listrik di Kabupaten Jepara .....	51
Tabel 4.1 Data Masukan .....	52
Tabel 4. 2 Data Masukan X1,X2 dan Y.....	53
Tabel 4.3 Hasil Statistik .....	54
Tabel 4.4 Nilai MAPE (rata-rata eror) .....	55
Tabel 4.5 Data Regresi Penduduk terhadap Tahun.....	56
Tabel 4.6 Regresi Penduduk terhadap Tahun .....	57
Tabel 4.7 MAPE (rata-rata eror) Jumlah Penduduk.....	58
Tabel 4.8 Hasil forecasting Jumlah penduduk 2022-2048.....	59
Tabel 4.9 Data Regresi Konsumsi Listrik terhadap Jumlah Penduduk.....	61
Tabel 4. 10 Regresi konsumsi listrik terhadap Jumlah Penduduk .....	61
Tabel 4.11 MAPE (rata-rata eror) Konsumsi Listrik .....	62
Tabel 4.12 Hasil forecasting konsumsi listrik 2022-2048 .....	64
Tabel 4.13 Data Regresi Volume Sampah terhadap Jumlah Penduduk.....	65
Tabel 4.14 Regresi Volume Sampah terhadap Jumlah Penduduk .....	65
Tabel 4.15 MAPE (rata-rata eror) Volume Sampah .....	67
Tabel 4.16 Hasil forecasting Volume Sampah 2022-2048 .....	68
Tabel 4.17 Potensi Energi Listrik 2012-2048 .....	71
Tabel 4.18 Perbandingan konsumsi listrik dan Energi yang dihasilkan .....	73

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Penduduk menurut Kecamatan (Jiwa).....	80
Lampiran 1.2 Komposisi sampah dari tahun 2019-2021 .....	80
Lampiran 1.3 Banyaknya Bank Sampah dan Volume Sampah /Kecamatan .....	81
Lampiran 1.4 Perbandingan konsumsi listrik dan Energi yang dihasilkan.....	82



## INTISARI

Pertumbuhan penduduk di Kabupaten Jepara yang terus meningkat berbanding lurus dengan peningkatan volume sampah serta peningkatan kebutuhan listrik. Dengan peningkatan populasi manusia atau penduduk akan berdampak sampah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia juga akan meningkat dari hari ke hari. Solusi yang ditawarkan adalah pemanfaatan sampah untuk Pembangkitan Tenaga Listrik. Persiapan penambahan pasokan tenaga listrik dikaitkan dengan semakin meningkatnya kebutuhan tenaga listrik di masa datang sehingga harus diantisipasi. Merujuk pada RUKN 2019-2038 pasokan tenaga listrik berfokus pada pembangkit yang memanfaatkan sumber EBT. Salah satu hal yang perlu di pertimbangkan oleh pemerintah dalam penanganan sampah untuk pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa).

Penelitian ini membahas tentang prediksi potensi kemungkinan pengembangan pembangkit listrik tenaga sampah di Kabupaten Jepara. Model peramalan kebutuhan ditetapkan berdasarkan masukan data penduduk, volume sampah dan kebutuhan listrik di Kabupaten Jepara tahun 2012-2021. Menentukan analisis model yang paling sesuai untuk pasangan data dan menyelidiki hubungan antara dua variabel atau lebih menggunakan analisis regresi.

Penelitian menunjukkan bahwa Regresi Linier Berganda mampu melakukan analisa potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). Berdasarkan nilai signifikansinya variabel Jumlah penduduk mempengaruhi konsumsi listrik, tetapi variabel volume sampah tidak signifikan mempengaruhi konsumsi listrik. MAPE peramalan jumlah penduduk sebesar 0,15 %. Peramalan volume sampah sebesar 15,37 %, dan konsumsi listrik 0%. Di Kabupaten Jepara pemanfaatan sampah organik dengan menggunakan teknologi pembakaran langsung atau insinerasi mampu menghasilkan daya keluaran dari generator dalam 25 tahun (2022-2048) maksimal hanya dapat mensupport rata-rata 35,72% dari konsumsi listrik.

Kata kunci : pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa), regresi linier berganda, regresi linier, kabupaten jepara

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Undang-undang Nomor 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan, kenaikan kebutuhan tenaga listrik di masa mendatang tentunya harus diantisipasi sedini mungkin agar penyediaan tenaga listrik dapat tersedia dalam jumlah yang cukup dan mutu yang baik dan dengan harga wajar. Kebutuhan energi listrik nasional dengan asumsi pada tahun 2025 ditargetkan Energi Baru Terbarukan (EBT) minimum 23%, BBM sekitar 0,4%, batu bara sekitar 55%, dan gas sekitar 22%. Rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi listrik sekitar 6,9% per tahun. Kebutuhan tenaga listrik Nasional tahun 2019-2038 diperkirakan akan didominasi oleh sektor industri, rumah tangga, bisnis, publik, dan transportasi. Total kebutuhan peningkatan kapasitas pembangkit sekitar 170 GW [1].

Energi merupakan salah satu faktor penting pencapaian pembangunan berkelanjutan [2]. Sumber energi dunia sudah mengalami beberapa kali perubahan, yang awalnya mayoritas menggunakan biomassa seperti kayu bakar, berubah menjadi fosil seperti batu bara, gas bumi dan minyak. Energi fosil masih mendominasi penyediaan energi primer Indonesia hingga tahun 2050 [3]. Energi fosil tidak lama lagi akan habis apabila tidak digantikan EBT. EBT dapat berupa energi surya, energi nuklir energi arus laut, bio energi, energi angin, energi air, dan energi panas bumi [4]. Pembangkit Listrik berbasis *hidro* (air) dan angin merupakan salah satu Energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dalam sistem pembangkit listrik [5]. Potensi bio etanol dan biodiesel [6]. Saat ini Indonesia masih bertumpu pada sumber energi tidak terbarukan. Hal tersebut dapat mengancam ketahanan energi nasional [7] [8]. Visi pengelolaan energi global ke depannya diarahkan pada koridor pengurangan emisi seperti peningkatan kapasitas dan utilitas pembangkit EBT, pengurangan penggunaan sumber energi fosil di semua sektor dan penggunaan kendaraan listrik [9]. Perubahan mendasar dari dominasi energi fosil menjadi energi terbarukan akan berdampak signifikan pada berbagai aspek kehidupan seperti ekonomi, sosial dan kondisi lingkungan [10] [11].

Masalah kebutuhan sumber daya alam semakin tinggi, salah satu penyebab adalah adanya pertumbuhan jumlah penduduk bertambah dengan begitu cepat dan pesatnya [12]. Dengan peningkatan populasi manusia atau penduduk akan berdampak sampah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia juga akan meningkat dari hari ke hari. Salah satu hal yang perlu di pertimbangkan oleh pemerintah dalam penanganan sampah adalah memilih tempat untuk pembangkit listrik tenaga sampah. PLTS juga mendukung ketahanan energi Nasional [13] [14].

Akibatnya dengan pertumbuhan penduduk sebagai dampak dari kebutuhan energi listrik menjadi tidak tercukupi. Dibutuhkan strategi pembangunan dan investasi untuk mendorong perekonomian terutama pembangkit listrik.

Menyiapkan penambahan pasokan tenaga listrik melalui pemanfaatan sampah pada sektor Pembangkitan Tenaga Listrik dikarenakan terjadinya kebutuhan tenaga listrik di masa datang. Merujuk pada RUKN 2019-2038 pasokan tenaga listrik berfokus pada pembangkit yang memanfaatkan sumber EBT [1]. Solusinya adalah diperlukan beberapa Tempat Pembuangan Akhir (TPA) mengambil langkah kebijakan untuk membangun sistem pengolahan sampah dan sekaligus menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) merupakan salah satu teknologi *Waste to Energi* yang membakar langsung sampah dan memanfaatkan energi yang dihasilkan untuk menghasilkan uap/energi listrik. Dengan demikian PLTSa dapat didefinisikan sebagai "pemusnah" sampah (*incinerator*) modern dan menghasilkan energi listrik [15]. PLTSa merupakan seiring dengan RUKN EBT.

Salah satu strategi pengelolaan lingkungan dalam membantu kota-kota dalam mengembangkan perencanaan yang baik dalam hal pengelolaan lingkungan merupakan bagian dari pengelolaan lingkungan [16]. Beberapa penelitian pengolahan sampah menjadi PLTSa seperti di lokasi berikut:

1. Perhitungan potensi Pembangkit Tenaga Listrik di Kepulauan seribu [15]

;

2. Penerapan metode *Hybrid* Jaringan Syaraf Tiruan dan Regresi Linier untuk melihat Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Berbasis Penduduk [17];
3. Penerapan algoritma jaringan syaraf tiruan untuk peramalan potensi PLTB dan PLTS di Jawa Tengah [18];
4. perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Kota Pekanbaru [19];
5. Studi Pengolahan Sampah untuk Bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Mini di Kawasan Medan Sunggal [20].

Jejara merupakan salah satu Kabupaten yang berada di sebelah timur Ibu Kota Jawa Tengah. Bagian barat dan utara dibatasi oleh laut. Bagian Timur merupakan daerah pegunungan. Luas wilayah daratan 1.004,132 km<sup>2</sup> atau sekitar 100.413,189 Ha dengan panjang garis pantai sejauh 72 Km. Wilayah Kabupaten Jejara juga meliputi dua pulau terbesar yaitu pulau Kemujan dan pulau Karimunjawa. Jumlah penduduk di Kabupaten Jejara dari tahun 2012 sampai 2021 mengalami peningkatan. Pada tahun 2012 sejumlah 1.135.628 sampai tahun 2021 sejumlah 1.188.510. Rata-rata persentase kenaikan jumlah penduduk 1,46%. Dampak dari pertumbuhan penduduk adalah bertambahnya volume sampah. Pada tahun 2012 volume sampah yang dihasilkan per harinya sebesar 394,25 Ton/hari sampai tahun 2021 jumlah sampah 687,87 Ton/hari. Rata-rata peningkatan volume sampah berdasarkan pertumbuhan penduduk 10,58%. Persentase jumlah penduduk akan meningkatkan volume sampah. Hal ini akan menjadi permasalahan.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini mengambil judul "Prediksi Potensi Sampah untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) dengan Metode Regresi Linier Berganda". Metode regresi linier berganda merupakan persamaan matematika yang tidak hanya digunakan sebagai metode prediksi saja, namun juga dapat menggambarkan hubungan antara variabel-variabel yang digunakan serta gambaran bagaimana variabel independen mempengaruhi variabel dependen. Prediksi potensi listrik merupakan bentuk pembuatan keputusan yang dijadikan landasan di banyak industri pelayanan dan industri manufaktur.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan permasalahan penelitian yaitu:

1. Bagaimana menghitung potensi jumlah penduduk Kabupaten Jepara.
2. Bagaimana menghitung volume sampah yang dihasilkan dari jumlah penduduk di Kabupaten Jepara menggunakan Regresi Linier Berganda.
3. Bagaimana menghitung potensi energi listrik dari sampah yang dihasilkan di wilayah Kabupaten Jepara.
4. Bagaimana menganalisa konsumsi listrik dengan potensi energi listrik yang dihasilkan dari sampah di Kabupaten Jepara.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, terfokus, dan menghindari pembahasan menjadi terlalu luas, maka perlu pembatasan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini menggunakan parameter-parameter yang mempengaruhi potensi PLTSA seperti jumlah penduduk, volume sampah dan konsumsi listrik.
2. Peramalan menggunakan metode Regresi Linier Berganda.
3. Data jumlah penduduk, volume sampah dan konsumsi listrik di Jepara tahun 2012-2021.
4. Peramalan dilakukan selama 25 tahun ke depan (2022-2047).

## 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Diketuainya pertumbuhan penduduk di Kabupaten Jepara.
2. Diketuainya pertumbuhan volume sampah di Kabupaten Jepara.
3. Diketuainya potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA).
4. Diketuainya hasil energi listrik 25 tahun ke depan dari volume sampah yang dihasilkan di Kabupaten Jepara.

## 1.5 Keaslian Penelitian

Sesuai dengan peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk penyediaan Tenaga Listrik salah satu jenis pembangkit adalah Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA). Ditargetkan tahun 2025 bauran EBT minimum 23% [1]. Untuk menunjang program Pemerintah, dalam penelitian ini akan melakukan peramalan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Jepara. Adapun penelitian terkait pengelolaan sampah yang telah dilakukan seperti:

- a. Prediksi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Berbasis Penduduk menggunakan *Hybrid* Jaringan Syaraf Tiruan dan Regresi Linier [17] membahas tentang prakiraan limbah dan populasi menggunakan algoritma *Backpropagation Artificial Neural Network* (JST) pada tahun 2020-2022 di Semarang. Prediksi yang cukup sempurna untuk menghitung potensi PLTSA yang menghasilkan 13,26 MW pada tahun 2020, 14,13 MW pada tahun 2021 dan 9,5 MW pada tahun 2022.
- b. Penerapan algoritma jaringan syaraf tiruan untuk peramalan potensi PLTB dan PLTS di Jawa Tengah [18]. *Learning rate* sebesar 0,01 dengan *hidden-layer* 15-10-1. Peramalan PLTS dengan MSE 0,000000037984 dan PLTB nilai MSE 0,00000020889.
- c. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Kota Pekanbaru [19], peningkatan penduduk sebesar 9,96% setiap tahunnya. Dengan komposisi sampah anorganik sebesar 44% dan jumlah sampah mencapai nilai sebesar 378,07 ton/hari. Menggunakan konversi termokimia gasifikasi menghasilkan 11 unit *gasifier* dengan masing-masing unit dapat menghasilkan energi listrik sebesar 4584,58 kW atau 39,06 MWh/tahun listrik.
- d. Studi Pengolahan Sampah untuk Bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Mini di Kawasan Medan Sunggal [20]. Volume harian sampah lebih besar dari 132 m<sup>3</sup>. Berpotensi menghasilkan daya *output* listrik sebesar 451,46 KW. Berdasar analisa ekonomi dan SWOT kelayakan penerapan PLTSA sebagai solusi masalah sampah layak dijadikan alternatif sehingga layak dijadikan solusi.



- e. *Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations* [21] mengkomparasi beberapa metode yaitu *weighted linear combination (WLC)*, *ordered weighted averaging (OWA)*, *analytic hierarchy process (AHP)*, *analytic hierarchy process (F-AHP)*, *TODIM*, *TODIM*, *analytic network process (ANP)*, *fuzzy-analytic network process (F-ANP)*, dan teori *grey system*.
- f. *A decision model based on decision tree and particle swarm optimization algorithms to identify optimal locations for solar power plants construction in Iran* [22] bertujuan untuk menilai dan membandingkan kinerja algoritma *decision tree* dan *particle swarm optimization (PSO)*. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat prediksi untuk kelas potensi sangat tinggi, masing-masing dimiliki oleh *decision tree* (0,29) dan *PSO* (0,13).

Berdasarkan penelusuran pada penelitian yang telah dilakukan mengenai peramalan potensi PLTSA menggunakan metode konversi termokimia gasifikasi [19], metode SWOT [20], metode *Least Cost* [23], dan metode Jaringan Syaraf Tiruan [17]. Tren solusi yang dilakukan sesuai dengan RUKN [1] jenis pembangkit yang diatur adalah PLTA Laut, PLTP, PLTBg, PLTBm, PLTA, PLTB, PLTS fotovoltaik dan PLTSA. Produksi listrik masih didominasi oleh batu bara dan akan menurun sejak 2018 hingga 2050 [24].

Penelitian ini memfokuskan pada keterkaitan atau pengaruh dari variabel-variabel bebas terhadap variabel tak bebas untuk mengetahui pengaruh secara serempak baik kualitas maupun kuantitasnya. Model yang dipilih adalah regresi linier berganda. Hasil model regresi dimanfaatkan sebagai pedoman untuk memprediksi hubungan antar variabel. Perhitungan energi listrik yang dihasilkan untuk melihat prediksi 25 tahun ke depan.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Sejumlah penelitian mengenai peramalan potensi energi Pembangkit Listrik dari sampah sebagai berikut :

- a. TPA Piyungan Provinsi DIY membahas kajian Tekno Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) [25] setiap hari 85% dari 344 ton sampah setiap harinya dengan nilai kalor sebesar 1788,465 kkal/kg yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik. Menggunakan teknologi pembakaran langsung dan 8,8 MW dengan proses gasifikasi termal, TPA Piyungan dapat mengolah 350 ton per hari dan berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 12 MW.
- b. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah pada TPA Sambutan Kota Samarinda [26] merupakan kota padat penduduk dengan jumlah sampah 7.519,494 ton/tahun pada 2017. Gas *landfill* akan dikonversi menjadi energi listrik menggunakan teknologi gas engine dengan merk jenbacher J320 GS yang dapat menghasilkan listrik sebesar 1.063kW. Gas *landfill* yang dihasilkan pada TPA Sambutan Kota Samarinda mencapai nilai 684.693,866 *m*<sup>3</sup> pada tahun 2019 dan akan meningkat setiap tahunnya sampai dengan tahun 2034 dengan energi listrik yang dihasilkan 2.822.107,61 kWh.
- c. Perancangan dan Analisis Ekonomi Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Offgrid* Menggunakan Perangkat Lunak Homer di Kawasan Wisata Pantai Pulau Cemara [27]. Perhitungan perancangan PLTS, didapat jumlah kapasitas panel surya sebesar 8x150Wp, solar *charge controller* sebesar 40A, baterai 4x100Ah, dan *inverter* 2000Watt. Dengan menggunakan Homer, dapat diketahui jumlah daya yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 1746kWh/tahun.
- d. *Modeling and design of the new combined double-flash and binary geothermal power plant for multigeneration purposes; thermodynamic analysis* [28]. Simulasi menghasilkan termodinamika menunjukkan bahwa

pembangkit terintegrasi yang disarankan menghasilkan daya listrik 4431 kW. Juga, jumlah kapasitas pembangkitan hidrogen adalah 0,006809 kg<sup>-1</sup>. Performa energik dan eksergetik sub-pabrik tCO<sub>2</sub>-RC ditentukan masing-masing sebesar 6,18% dan 27,14%. Selanjutnya performansi energetik dan eksergetik dari pabrik terpadu yang disarankan adalah 26,20% dan 37,49%.

- e. *Estimation of the sustainable production of gaseous biofuels, generation of electricity, and reduction of greenhouse gas emissions using food waste in anaerobic digesters* [29] menggunakan teknologi *Anaerobic Digestion* sampah sisa makanan di Australia diolah. Biogas yang dihasilkan dapat menggantikan pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil hingga 52,36 GW dan panas 554,4 TJ per tahun. Dapat menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) hingga 5.07.434 ton/tahun dan memperoleh pendapatan dari listrik \$52,38 M.
- f. *Municipal solid waste management and economic feasibility for electricity generation from landfill gas and anaerobic reactors in a Brazilian state* [30] pengelolaan sampah kota konsorsium untuk pembangkit listrik dari *Landfill Gas* (LFG) dan dari reaktor anaerobik untuk limbah organik untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas. Energi Listrik yang diperoleh untuk negara Minas Gerais akan menjadi sekitar 3.900.000 MWh/tahun, dan total daya terpasang kapasitas akan menjadi sekitar 4500 kW. Nilai-nilai ini hampir 15.400 MWh/tahun dan 3200 kW untuk biogas energi yang berasal dari *Organic Fraction of Municipal Solid Waste* (OFMSW).

Penelitian ini memfokuskan tentang prediksi potensi PLTSa di Kabupaten Jepara untuk 25 tahun ke depan dengan masukan pertumbuhan jumlah penduduk dan jumlah volume sampah yang dihasilkan, serta kebutuhan listrik menerapkan metode Regresi Linier Berganda.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sampah

Sampah merupakan hasil dari sisa-sisa bahan yang tidak dipergunakan kembali, terjadi pengolahan, dan sudah tidak bermanfaat kembali, dari segi ekonomi sudah tidak ada nilainya serta dari segi lingkungan dapat menyebabkan pencemaran udara atau gangguan kelestarian alam. Materi yang tidak dikehendaki lagi oleh manusia [31]. Definisi sampah adalah limbah yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan bersifat padat terdiri dari bahan organik dan bahan anorganik [32].

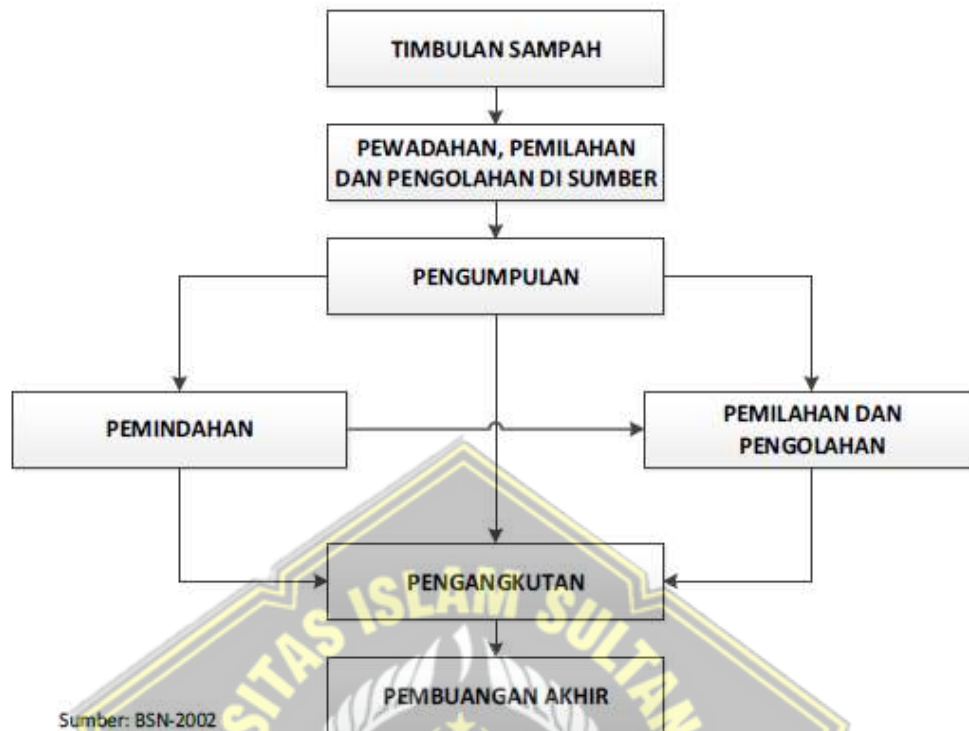
Limbah sering dianggap tidak berguna, namun kadang masih dapat dimanfaatkan kembali dan dijadikan bahan baku. Limbah merupakan hal yang tidak dibutuhkan lagi. Biasanya semua buangan yang dihasilkan oleh aktivitas hewan dan manusia berbentuk gas, cair, padat dan lumpur [33].

Pengelompokan sampah ada sampah anorganik dan sampah organik. Sampah padat yang cukup kering dan sulit terurai oleh mikroorganisme seperti kaca, besi, plastik, dan lain-lain termasuk dalam kelompok sampah anorganik. Sedangkan limbah padat semi basah berupa bahan-bahan organik yang umumnya berasal dari limbah hasil pertanian termasuk dalam kelompok sampah organik. Memiliki sifat mudah membusuk karena memiliki rantai karbon relatif pendek dan mudah terurai oleh mikroorganisme [34]. Jenis-jenis sampah terdiri dari [35] :

1. Sampah jalan raya, sampah hasil aktivitas pembangunan, sampah perdagangan, sampah pertanian, sampah industri/ pabrik, sampah rumah tangga masuk golongan sampah berdasarkan asalnya.
2. Berdasar komposisi terdapat 2 kelompok. Sampah yang berasal dari tempat rekreasi, pasar, dan tempat-tempat umum lainnya termasuk dalam kelompok sampah tak seragam. Sampah yang berasal dari kantor atau industri termasuk dalam kelompok sampah seragam.
3. Pengelompokan sampah dari bentuk terdiri dari:
  - a) Sampah dedaunan, kertas, karton, kaleng, besi, plastik dan lain-lain termasuk sampah padat;

- b) Sampah bekas air pencuci, bekas air pendingin pabrik dan bahan cairan yang tumpah dari suatu pabrik termasuk limbah atau sampah cair;
  - c) Gas amonia, gas karbon dioksida, belerang dan gas-gas lainnya dari suatu pabrik termasuk dalam sampah gas;
  - d) Sampah non alami dan dedaunan yang terbentuk karena aktivitas manusia terdiri dari sampah alami dan termasuk dalam sampah dari proses terjadinya;
4. Berdasarkan sifatnya terdiri dari:
- a) Sampah dari bangkai binatang, buah busuk, kertas, sisa makanan ternak, kayu dan dedaunan merupakan jenis sampah yang mengandung hidrogen yang biasanya mudah degradasi, mengandung jenis senyawa organik tersusun oleh unsur karbon dan oksigen termasuk jenis sampah organik;
  - b) Sampah mika, kaca, gelas, logam, besi, plastik, kaleng atau bahan yang tersusun oleh senyawa anorganik lainnya yang sulit didegradasi oleh bakteri dan mikroba termasuk dalam sampah anorganik;
5. Sampah berupa abu atau debu, keramik, kaca, sampah gelas, besi, logam, kayu, kain, kulit, karet, plastik, kertas, sampah kebun, dan sampah makanan merupakan jenis sampah berdasar jenisnya.

Dalam ilmu kesehatan lingkungan, suatu pengolahan sampah dianggap baik jika sampah yang diolah tidak menjadi tempat berkembang biaknya bibit penyakit serta tidak menjadi perantara penyebarluasan suatu penyakit. Pengolahan sampah adalah perlakuan terhadap sampah untuk tujuan memperkecil atau menghilangkan masalah-masalah yang berkaitan dengan lingkungan. Ketentuan lain adalah tidak mencemari udara, air, atau tanah, tidak menimbulkan bau, dan tidak menimbulkan kebakaran [36] seperti ditunjuk pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema pengelolaan hasil sampah [36]

Pengelolaan sampah sejak hulu sampai hilir harus dilakukan secara komprehensif. Melalui program 3R pada tingkat rumah tangga dan kelurahan, perlu dilakukan kegiatan pengurangan sampah. Pengelolaan sampah terdapat 2 (dua) kelompok utama, yaitu:

1. Mengurangi sampah (*waste minimization*), yang terdiri dari pembatasan terjadinya sampah, guna ulang dan daur-ulang
2. Penanganan sampah (*waste handling*), yang terdiri dari:
  - a) Pemilihan: Pemisahan dan pengelompokan sampah sesuai dengan sifat sampah, jumlah, dan/atau jenis.
  - b) Pengumpulan: pemindahan dan pengambilan sampah dari sumber sampah ke tempat pengolahan sampah terpadu atau penampungan sementara,
  - c) Pengangkutan: membawa sampah dari sumber dan/atau dari tempat penampungan sampah sementara atau dari tempat pengolahan sampah terpadu menuju ke tempat pemrosesan akhir,

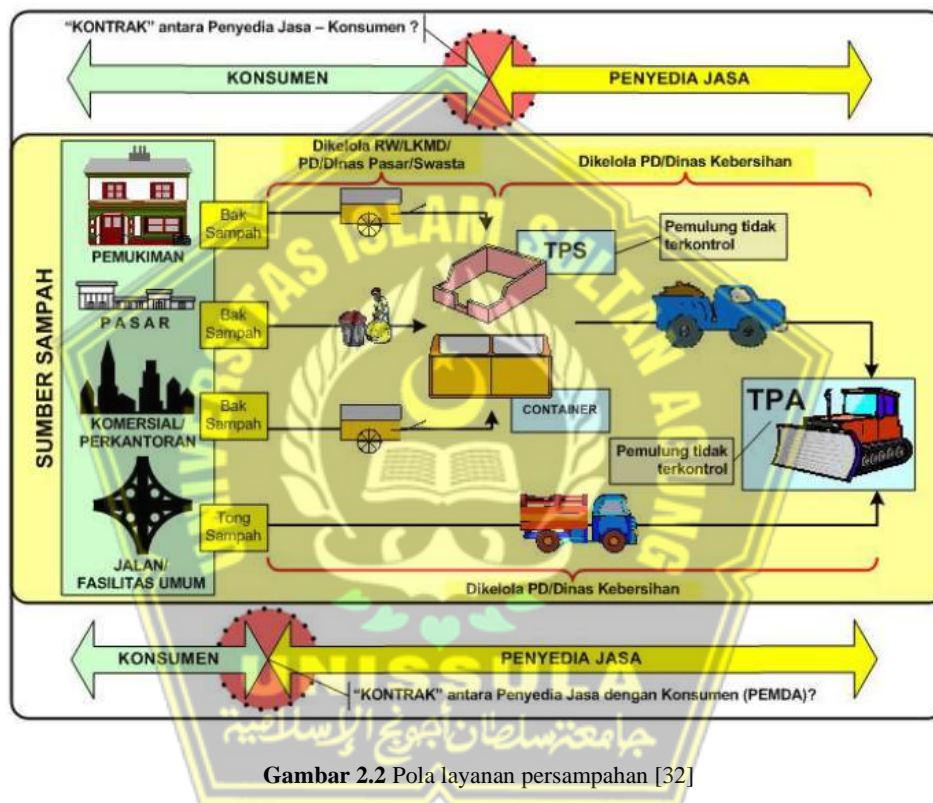
- d) Pengolahan: mengubah komposisi, karakteristik, dan jumlah sampah,
- e) Pemrosesan akhir sampah: pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman.

Melakukan pemilahan sejak dari sumbernya merupakan teknis operasional pengelolaan sampah perkotaan yang terdiri dari kegiatan penampungan sampai dengan pembuangan akhir sampah harus bersifat terpadu. Sub sistem teknis operasional pengelolaan sampah perkotaan meliputi dasar-dasar perencanaan untuk kegiatan penerimaan sampah, pengumpulan sampah, pemindahan sampah, pengolahan sampah dan pembuangan akhir sampah [32].

Aspek teknis operasional seperti timbunan sampah biasanya akan berbeda dari hari ke hari, antara satu negara dengan negara lain, antara satu daerah dengan daerah lainnya. Adapun faktor yang berimbas dari timbunan sampah antara lain : aktivitas masyarakat, pola hidup, tingkat hidup dan, kepadatan dan jumlah penduduk, musim dan iklim. Letak geografis dan topografi serta pola penyediaan kebutuhan hidup dan penanganan makanan. Hal itu disebabkan di antaranya pertambahan penduduk dan arus urbanisasi yang pesat telah menyebabkan timbunan sampah semakin tinggi, kendaraan pengangkutan yang jumlah maupun kondisinya kurang memadai, sistem pengelolaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang kurang tepat dan tidak ramah lingkungan, dan belum menerapkan *reduce, reuse* dan *recycle* (3R) [32].

Mewadahi sampah merupakan aktivitas dalam suatu wadah individual atau komunal di tempat sumber sampah untuk menampung sampah sementara. mewadahi ini dilakukan pada sampah yang telah dipilah yakni sampah berbahaya beracun, sampah organik, dan anorganik. Pola mewadahi terdiri dari pola individual dan pola komunal. Pola komunal adalah aktivitas penanganan penampungan sampah sementara dalam suatu wadah bersama baik dari berbagai sumber maupun sumber umum. Sedangkan pola mewadahi individual adalah aktivitas penanganan penampungan sampah sementara dalam suatu wadah khusus untuk dan dari sampah individu.

Proses pengambilan sampah mulai dari tempat penampung sampah sampai dari timbunan sampah ke tempat penampungan sementara atau stasiun pemindahan atau sekaligus diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) termasuk kategori pengumpulan sampah. Periodisasi berarti pengumpulan sampah dilakukan maksimal setiap 3 hari sekali dan ditentukan berdasarkan waktu pembusukan yaitu kurang lebih setelah berumur 2-3 hari. Pola pelayanan sampah pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pola layanan persampahan [32]

Gambar 2.2 menunjukkan layanan persampahan, khususnya pola pengumpulan sampah yang termuat dalam [37]. Fokus pada konsumen sektor rumah tangga mengikuti pola pengumpulan sampah tidak langsung, dengan pola layanan ini perlu dibangun organisasi pengelola yang merupakan bentukan dari RT atau RW. Sampah dari timbunan biasanya dengan menggunakan gerobak sampah dikumpulkan ke TPS, untuk selanjutnya diangkut ke TPA. Peran masyarakat yang tinggi akan menuju sukses kendali pengelolaan sampah dengan pola layanan seperti ini akan didapatkan hanya jika persyaratan terpenuhi.



### 2.2.2 Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

TPA merupakan istilah yang digunakan untuk merujuk pada pembuangan sampah ke dalam tanah, atau tempat di mana sampah tersebut disimpan (TPA). Rancangan dan pengoperasian TPA bervariasi di berbagai tempat, secara umum masukan dan keluaran yang berkaitan dengan penimbunan sampah ditunjukkan pada Gambar 2.3 [38].

Perlakuan terhadap sampah memperkecil atau menghilangkan masalah-masalah yang berkaitan dengan lingkungan merupakan tujuan dari pengolahan sampah. Pengolahan sampah dianggap baik jika sampah yang diolah tidak menjadi perantara penyebaran suatu penyakit itu ilmu dalam kesehatan lingkungan. Selain itu syarat yang harus terpenuhi adalah tidak mencemari udara, air, dan tanah, serta tidak menimbulkan kebakaran dan bau [36].

Sistem operasional manajemen sampah mencakup juga sub-sistem pemrosesan dan pengolahan sampah. Perlu dikembangkan secara bertahap pemrosesan yang bertumpu pada pemanfaatan kembali sebagai sumber energi atau bahan baku, mempertimbangkan kondisi alam. Daur ulang bahan atau energi yang terkandung di dalamnya sangat dianjurkan bertujuan untuk mereduksi sampah dengan teknologi pengolahan sampah yang saat ini berkembang. Pemanfaatan energi merupakan salah satu teknologi yang paling banyak dikembangkan dan diterapkan, khususnya dalam bentuk teknologi *waste-to-energy*, yang menghasilkan energi panas atau gas-bio yang berhasil dikeluarkan untuk kebutuhan energi terbarukan. Sampah yang terbuang, sebetulnya menyimpan energi yang dapat dimanfaatkan. Penggunaan energi sampah dapat dilakukan dengan cara [33].

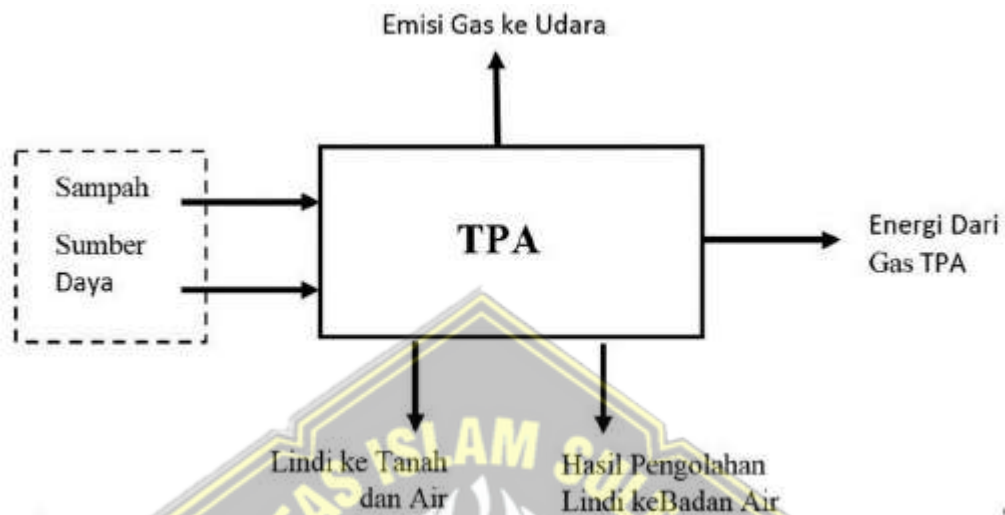
- a. Mengambil gas bio hasil proses degradasi secara anaerobik pada sebuah reaktor (*digester*).
- b. Mengambil gas bio yang terbentuk dari sebuah *landfill*.
- c. Mengambil panas yang keluar akibat pembakaran, misalnya melalui insinerasi.

Beberapa metode pengolahan sampah di (TPA) harus memikirkan dan sesuai dengan keamanan, teknologi, pembiayaan, lokasi dan kondisi. Cara Pengolahan sampah di TPA yaitu *open dumping*, *controlled landfill* dan *sanitary landfill* [33].

- *Open Dumping* (tidak direkomendasikan). Metode open dumping dapat menimbulkan keresahan terhadap masyarakat yang ada di sekitarnya, juga mengganggu keindahan kota. Open dumping menggunakan pola menghamparkan sampah di lahan terbuka tanpa dilakukan penutupan lagi dengan tanah. Sampah hanya di buang atau ditimbun di suatu tempat tanpa dilakukan penutupan dengan tanah sehingga dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan seperti perkembangan vektor penyakit, bau, pencemaran air permukaan dan air tanah serta rentan terhadap bahaya kebakaran dan longsor.
- *Controlled Landfill* Teknologi peralihan antara open dumping dengan *sanitary landfill*. Penimbunan terkendali, penutupan sampah dengan lapisan tanah secara berkala.
- *Sanitary Landfill* Sampah dibuang ke TPA. Lahan urug saniter, metode pengolahan sampah terkontrol dengan sistem sanitasi yang baik. Selanjutnya sampah dipadatkan dengan traktor dan dilanjutkan dengan penutupan menggunakan tanah. Tanah ditutup dengan lapisan tanah untuk setiap hari sehingga pengaruh sampah terhadap lingkungan akan sangat kecil. Cara ini akan menghilangkan polusi udara. Pada bagian dasar tempat tersebut dilengkapi sistem saluran *leachate* yang berfungsi sebagai saluran limbah cair sampah yang harus diolah terlebih dulu sebelum dibuang ke sungai atau ke lingkungan. Di *sanitary landfill* tersebut juga dipasang pipa gas untuk mengalirkan gas hasil aktivitas penguraian sampah.

Pemrosesan di TPA memerlukan sampah dan sumber daya tambahan terdiri dari sumber daya terbarukan dan sumber daya tidak terbarukan seperti bahan pembantu, bahan bakar fosil, dan tanah. Di TPA di mana lindi dikumpulkan,

bahan tambahan digunakan untuk mengolah lindi sebelum resirkulasi ke instalasi pengolahan limbah untuk pengolahan tersier atau langsung ke air permukaan. Representasi masukan dan keluaran TPA terdapat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Representasi input dan output TPA penyebab dampak lingkungan [38]

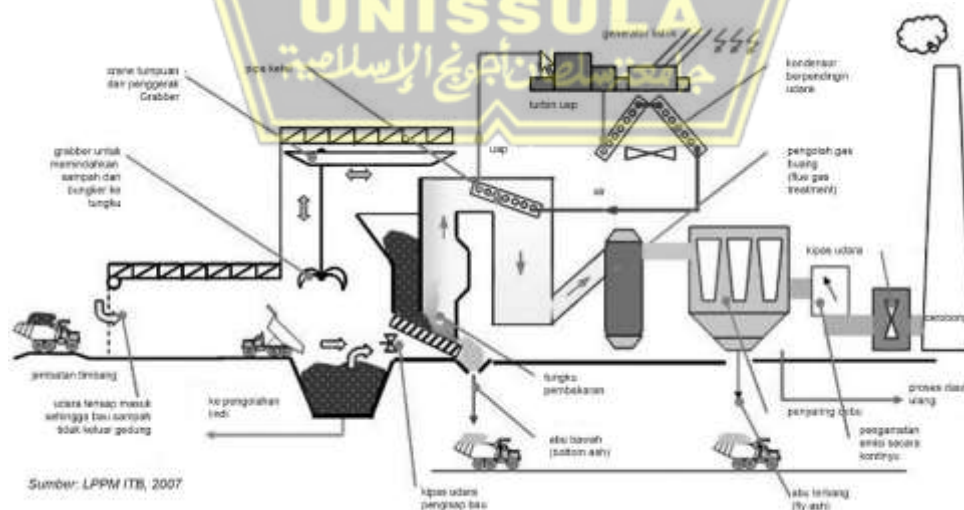
Pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa selama proses penimbunan sampah, bahan bakar fosil yang dikonsumsi oleh kendaraan yang beroperasi di TPA dan listrik yang dibutuhkan misalnya untuk mengoperasikan stasiun timbangan. Untuk kegiatan monitor TPA ditutup, energi tetap dibutuhkan selama fase aktif. Di tempat pembuangan sampah modern, energi juga dikeluarkan untuk mengumpulkan dan mengolah lindi, untuk mengumpulkan dan memanfaatkan gas TPA. Keluaran hasil dari TPA mencakup emisi udara, air dan tanah, serta energi yang didapatkan dari gas TPA. Gambaran dari emisi ke udara, air dan tanah dari pembuangan TPA dan mengakibatkan kerusakan [39].

### 2.2.3 PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah)

PLTSa merupakan pemanfaatan sampah baik sampah organik atau sampah anorganik sebagai bahan bakar pembangkit yang memproduksi tenaga listrik. Proses pertama sampah dibakar, uap hasil pembakaran akan diproses untuk memanaskan air dalam *boiler*. Kedua, uap hasil produksi *boiler* dengan temperatur dan tekanan tertentu untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan

daya mekanik menjadi sebuah putaran. Ketiga, generator yang sudah dikopel dengan turbin akan berputar menghasilkan energi listrik dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga menghasilkan energi *output* generator. Tiga mekanisme kerja pada jenis teknologi PLTSa dalam pengolahan sampah menjadi listrik yaitu memanfaatkan mekanisme secara *thermal*, mekanisme secara biologi, dan mekanisme secara fisika [40].

Konfigurasi komponen PLTSa secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.4. Sampah yang telah terkumpul dibawa ke PLTSa dari TPA diangkut menggunakan truk. Sampah yang diangkut ke tungku pembakaran sudah melalui pengeringan di Grabber. Grabber dapat dikendalikan dari ruang kendali yang terpasang pada *overhead traveling crane*. Sampah dijatuhkan sedikit demi sedikit de dalam hopper dari grabber. Agar sampah dapat terbakar pada temperatur tinggi tungku sudah dirancang secara khusus. Diperlukan mekanisme pembakaran dengan waktu tinggal yang cukup agar seluruh sampah dapat terbakar sesempurna mungkin, dan mampu menghilangkan gas-gas beracun yang terbentuk seperti dioksin dan furan. Diperlukan bahan bakar pembantu seperti minyak bakar, gas atau batu bara agar mendapat suhu pembakaran yang tinggi pada awal pembakaran. Sampah diharapkan dapat terbakar dengan sendirinya saat mencapai suhu yang diinginkan [41]. Konfigurasi PLTSa dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konfigurasi komponen PLTSa secara umum [41]

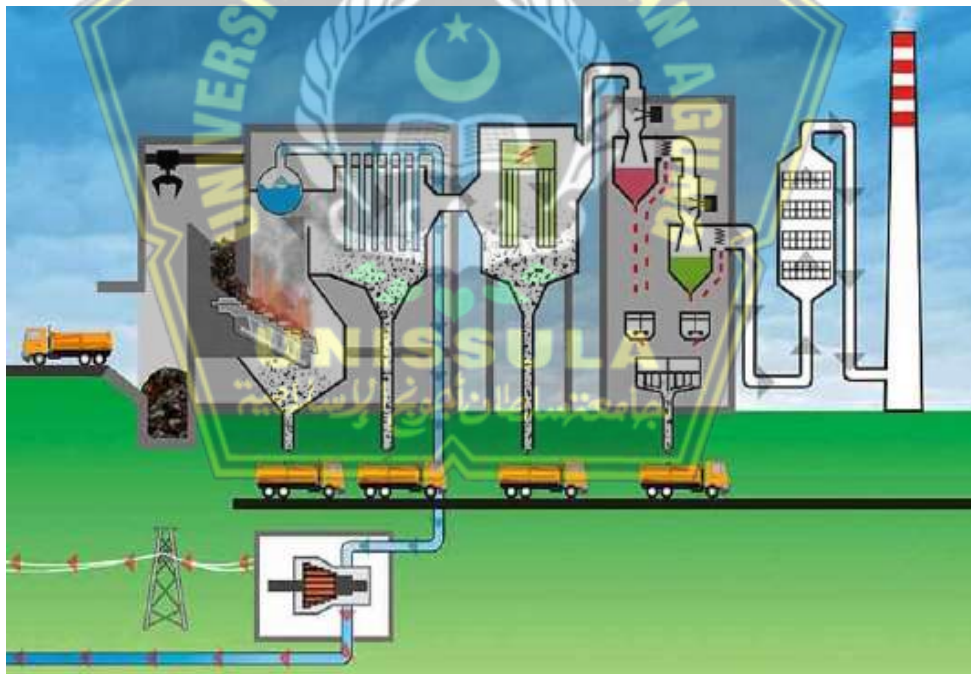
Pada Gambar 2.4 memanfaatkan gas panas hasil pembakaran untuk penguapan air yang berupa pas pipa-pipa ketel (*boiler*). Mengatur saluran gas panas dari tungku agar temperatur ketika mengenai boiler tidak terlalu tinggi. Perbedaan temperatur antara gas panas dan uap air tidak menyebabkan pengembunan gas di pipa-pipa *boiler* yang dapat menyebabkan korosi harus di atur pada tekanan dan temperatur uap di dalam pipa. Untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator pembangkit listrik dibutuhkan uap bertemperatur dan bertekanan tinggi yang dihasilkan oleh boiler. Karakteristik turbin yang digunakan mempengaruhi jumlah air yang diperlukan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik. Di kondensor terjadi pengembunan dari uap yang dihasilkan, sehingga uap tidak langsung dibuang dan dialirkan ke ketel. Biasanya tetap diperlukan penambahan air ketel meskipun air disirkulasikan kembali. Keperluan kompensasi kebocoran uap terjadi penambahan biasanya sekitar 10-15% [41].

Penghilangan gas117 gas asam seperti SO<sub>x</sub>, HCl, NO<sub>x</sub>, logam berat, dioksin dan partikular, untuk keperluan tersebut menggunakan wet *scrubber* yang dikombinasi dengan tambahan batu kapur, dan partikel karbon aktif, penyaring debu setelah panas, gas hasil pembakaran selesai dimanfaatkan untuk membangkitkan uap, maka selanjutnya gas tersebut dialirkan ke sistem pengolahan gas buang [41].

#### 2.2.4 Insenerasi

Pengolahan sampah dengan cara membakar sampah pada suatu tungku pembakaran disebut dengan metode insenerasi. Teknologi yang mengonversi materi padat (dalam hal ini sampah) menjadi materi gas (gas buang), serta materi padatan yang sulit terbakar, yaitu abu (*bottom ash*) dan debu (*fly ash*) merupakan Teknologi insinerasi. Hasil proses insinerasi dapat dimanfaatkan untuk mengonversi suatu materi menjadi materi lain seperti pembangkit listrik dan air panas. pemanfaatan energi, sehingga nama insinerator cenderung berubah seperti *waste-to-energy*, *thermal converter* merupakan salah satu kelebihan yang dikembangkan terus dalam teknologi terbaru dari insinerator ini [40].

Teknologi ini mampu melakukan reduksi volume sampah hingga 70%. Proses teknologi insenerasi membutuhkan biaya investasi, operasi, dan pemeliharaan yang cukup tinggi [40]. Fasilitas pembakaran sampah dianjurkan hanya digunakan untuk mereduksi sampah yang tidak bisa didaur ulang, ataupun tidak layak untuk di urug. Alat ini harus dilengkapi dengan sistem pengendalian dan kontrol untuk memenuhi batas-batas emisi partikel dan gas-buang. Dipastikan asap yang keluar dari tempat pembakaran sampah merupakan asap/gas yang sudah netral. Abu yang dihasilkan dari proses pembakaran bisa digunakan untuk bahan bangunan, dibuang ke *landfill*, atau dibuat bahan campuran kompos. Sedangkan residu dari sampah yang tidak bisa dibakar seperti sisa logam bisa didaur ulang. Meskipun urutan dari unit proses berbeda di antara instalasi insinerator, namun masukan dan keluaran secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.5 [42].



Gambar 2.5 Proses PLTSa Secara Insinerasi [40]

Insinerasi teknologi pengolahan limbah padat dengan cara membakar limbah pada temperatur tinggi dengan kisaran suhu  $850^{\circ}\text{C}$ -  $1.400^{\circ}\text{C}$  dengan tujuan untuk mereduksi sampah mudah terbakar (*combustible*) yang sudah tidak dapat

didaur ulang, membunuh virus, kimia toksik dan bakteri [43]. Pada hakikatnya, insinerasi barang-barang sisa atau sampah mengonversi limbah menjadi panas yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi seperti listrik. Alat yang digunakan biasa disebut dengan insinerator. Berdasarkan data penelitian EPA (*Environmental Protection Agency*) dan pengalaman operasional industri mengindikasikan bahwa insinerator salah satu teknologi terbaik untuk berbagai limbah. Menurut sejarah insinerator dapat mereduksi volume limbah sebesar 90%. Insinerator merupakan tungku atau alat untuk proses pembakaran sampah. Alat ini berfungsi untuk mengubah bentuk sampah menjadi lebih kecil dan praktis serta menghasilkan sisa pembakaran yang steril sehingga dapat dibuang langsung ke tanah. Energi panas hasil pembakaran dalam insinerator dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif bagi proses lain seperti pemanasan atau pengeringan [44].

Teknologi insinerasi berfungsi sebagai alternatif untuk metode-metode pengolahan limbah *landfill* dan proses biologis seperti pengomposan dan biogas. Teknologi insinerasi populer di negara-negara seperti Jepang yang mana lahan merupakan suatu sumber daya langka. Swedia telah menjadi contoh dalam menggunakan energi yang dihasilkan dari teknologi ini selama 20 tahun silam. Tahapan Proses Insinerasi melalui 3 tahap, yaitu [45].

1. Pengeringan

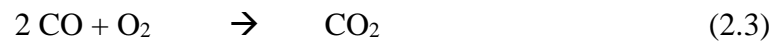
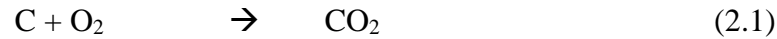
Tahap ini membutuhkan energi (panas) untuk menjaga temperatur tetap berada pada  $> 100^{\circ}\text{C}$ . Penguapan air mulai terjadi pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$ . Merupakan penguapan air yang terkandung di dalam sampah, terutama pada sampah organik yang mengandung kadar air  $> 70\%$ .

2. “*Volatile matters*” atau pembakaran

Untuk mencapai temperatur reaksi oksidasinya maka dibutuhkan panas, meskipun pada akhirnya reaksinya akan dihasilkan panas. Secara kumulatif reaksi oksidasi ini akan menghasilkan panas (kalor). Reaksi oksigen dengan unsur-unsur kimia yang terkandung di dalam sampah terutama unsur N, S, P, Alkali dan lainnya sehingga tersisa unsur karbon yang kita kenal dengan arang.

3. (Karbon) atau pembakaran sempurna

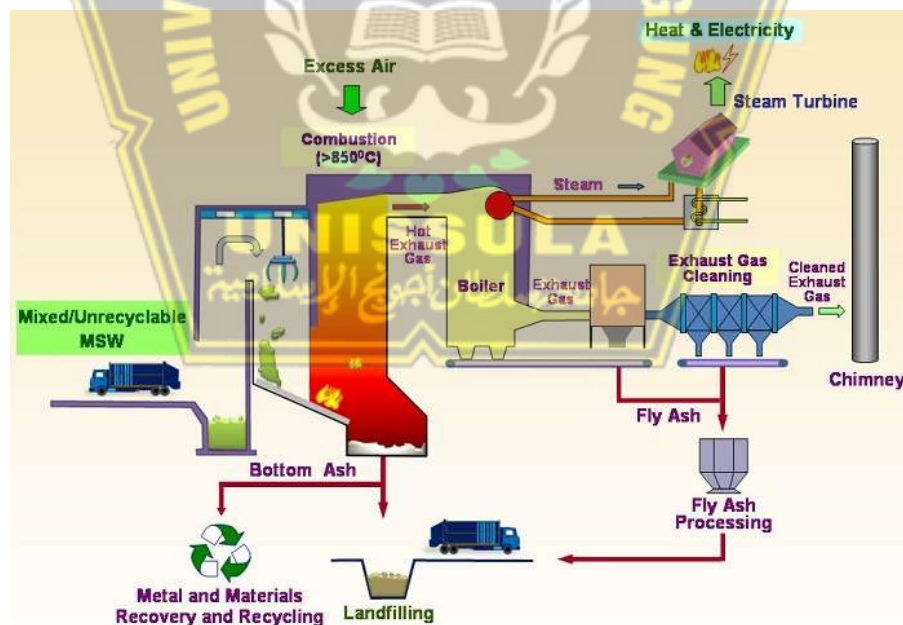
Reaksi oksigen dengan karbon (arang) pada temperatur  $400^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$  dengan urutan reaksi sebagai berikut :



Secara kumulatif reaksi ini menghasilkan eksotermik (panas). Reaksi inilah yang menjelaskan mengapa selalu terbentuk gas karbon monoksida (CO) pada pembakaran arang.

### 2.2.5 Insinerator

Insinerator merupakan salah satu cara teknologi pengolahan limbah adalah dengan teknologi insinerasi, dan alat yang digunakan biasa. *Flow* proses insinerasi tertera pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Flow proses Insinerasi [46]

Gambar 2.6 Insinerator dirancang secara umum untuk pembakaran oksidatif penuh, suhu di mana proses kalsinasi dan mencair. Aktivitas pada instalasi



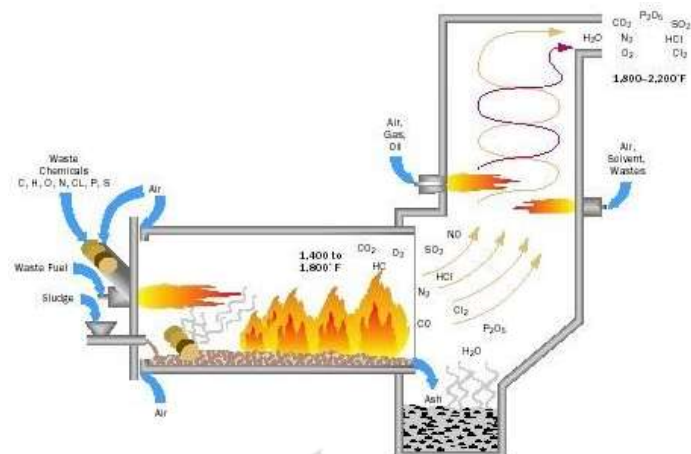
insinerator limbah seperti pengiriman limbah, penyimpanan, *pretreatment*, pemulihan insinerasi / energi, pengendalian emisi gas buang, residu padat manajemen, dan pengolahan air limbah. Sifat limbah masukan akan memiliki dampak terhadap bagaimana setiap komponen dirancang dan dioperasikan. Gasifikasi dan pirolisis merupakan perlakuan termal alternatif yang membatasi jumlah udara pembakaran utama untuk mengubah sampah menjadi proses yang dapat digunakan sebagai bahan baku kimia atau dibakar untuk pemulihan energi. Alat pembakaran sampah tipe Bach dan tipe kontinu merupakan alat pembakaran sampah yang merupakan dua jenis berdasarkan metode pembakaran yang berlangsung pada alat tersebut [44]. Sampah dimasukkan sampai mencapai batas maksimum kemudian dibakar bersamaan pada alat pembakaran sampah termasuk tipe Bach. Sedangkan sampah dimasukkan secara terus-menerus dengan debit tetap termasuk tipe kontinu.

### **2.2.6 Jenis Insinerator**

Semua jenis insinerator rotary kiln mempunyai kelebihan karena alat tersebut dapat mengolah limbah padat, gas, cair dan gas secara simultan. Jenis Insinerator paling umum diterapkan untuk pembakaran limbah padat seperti *aqueous waste injection*, *rotary kiln*, *open pit*, *multiple hearth*, *fluidized bed*, *singel chamber*, *multiple chamber*, dan *starved air unit*.

#### **2.2.6.1 Incinerator Rotary Kiln**

Insinerasi limbah yang mempunyai kandungan air yang cukup tinggi dan volume cukup besar cocok menggunakan *Incinerator Rotary Kiln*. Tujuan untuk mendapatkan pembakaran limbah yang merata ke seluruh bagian adalah *System incinerator* berputar pada bagian *Primary Chamber*. *Incinerator Rotary Kiln* terdapat pada Gambar 2.7.

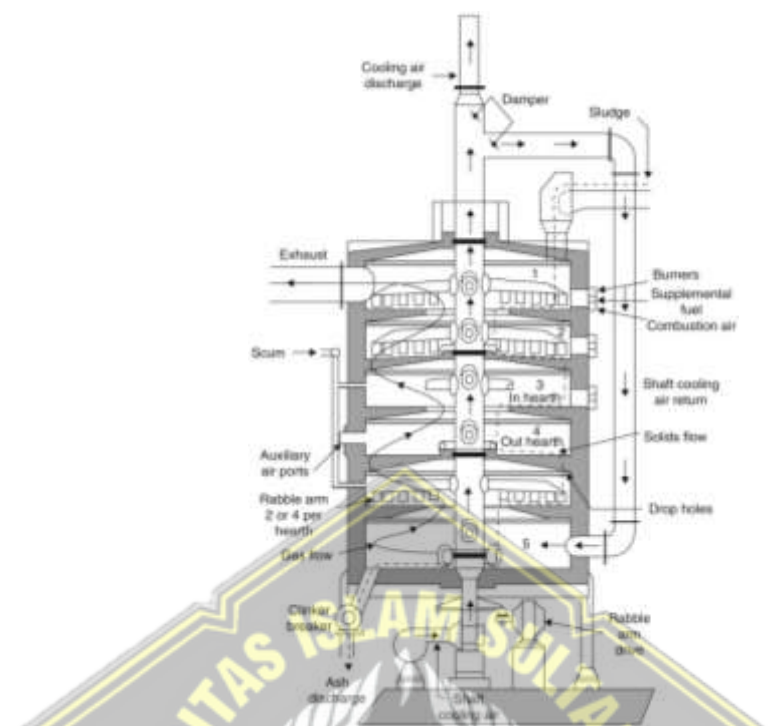


Gambar 2.7 Incinerator Rotary Kiln [47]

Gambar 2.7 terjadi 2 kali pembakaran untuk limbah dalam Ruang Bakar 1 (*Primary Chamber*) dan untuk sisa-sisa gas yang belum sempurna terbakar dalam *Primary Chamber* pada ruang bakar 2 merupakan proses pembakarannya sama dengan tipe ststic, [48].

#### 2.2.6.2 *Multiple Heart Incinerator*

*Multiple Hearth Incinerator* yang telah digunakan sejak pertengahan tahun 1900-an, terdiri dari suatu kerangka lapisan baja tahan api dengan serangkaian tungku (*hearth*) yang tersusun secara vertikal, satu di atas yang lainnya dan biasanya berjumlah 5-8 buah tungku, *shaft rabble arms* beserta *rabble teeth*-nya dengan kecepatan putaran  $\frac{3}{4}$  - 2 rpm. Abu hasil proses pembakaran sampah yang dimasukkan dari atas tungku secara terus menerus dikeluarkan melalui silo. *Burner* dipasang pada sisi dinding tungku pembakaran di mana pembakaran terjadi. Udara diumpun masuk dari bawah, dan sampah diumpun masuk dari atas. *Multiple Hearth Incinerator* seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Multiple Hearth Incinerator [49]

Gambar 2.8 menunjukkan limbah yang dapat diproses dalam *multiple hearth incinerator* memiliki kandungan padatan minimum antara 15 - 50% berat. Limbah dengan kandungan padatannya di bawah 15% berat padatan mempunyai sifat seperti cairan daripada padatan. Jika kandungan padatan di atas 50% berat, maka lumpur bersifat sangat *viscous* dan cenderung untuk menutup *rabble teeth*. Limbah semacam ini cenderung untuk mengalir di dalam tungku dan manfaat *rabble* tidak akan efektif. Udara dipasok dari bagian bawah *furnace* dan naik melalui tungku dengan membawa partikel abu dan produk pembakaran [49].

### 2.2.7 Proses Pembakaran

Reaksi pembakaran secara umum terjadi melalui 2 cara, yaitu pembakaran tidak sempurna dan pembakaran habis. Proses pembakaran yang tidak semuanya menjadi  $\text{CO}_2$  disebut pembakaran tidak sempurna. Proses pembakaran yang terjadi jika semua karbon bereaksi dengan oksigen menghasilkan  $\text{CO}_2$  disebut

pembakaran sempurna. Proses pembakaran aktual dipengaruhi oleh 5 faktor [44]

:

- Penggabungan udara dan bahan dengan baik
- Suhu pembakaran
- Berat jenis bahan yang dibakar
- Proses pembakaran yang membutuhkan udara
- Lamanya waktu pembakaran yang berkaitan dengan laju pembakaran

Penggabungan udara dan bahan bakar yang baik dalam pembakaran aktual biasanya tidak dapat dicapai tetapi didekati melalui penambahan *excess* udara. Penambahan *excess* udara harus baik dengan nilai minimum karena apabila terlalu banyak dapat meningkatkan kehilangan energi dalam meningkatkan emisi NO<sub>x</sub> dan pembakaran. Proses pembakaran sampah pada rumah tangga berlangsung secara bertahap. Menggunakan energi panas tambahan dari luar atau menggunakan energi panas yang ditimbulkan dari bahan terbakar di sekelilingnya merupakan tahap awal dilakukan penguapan kandungan air sampah yang belum terbakar. Pelepasan karbon atau bahan volatil yang terkonversi menjadi gas yang mudah terbakar pada saat pemanasan sampah disebut gasifikasi. Gas ini selanjutnya bercampur dengan oksigen yang dapat mengalami reaksi oksidasi. Apabila menghasilkan temperatur cukup tinggi dan berlangsung lama dapat terkonversi secara sempurna menghasilkan uap air dan CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke udara. Sebaliknya pembakaran tidak sempurna jika temperatur pembakaran rendah dan waktu tinggal pada ruang bakar cepat yang dapat menghasilkan uap. Terbentuknya polutan lain yang semula tidak terdapat dalam sampah karena terjadi reaksi sintesa yang disebut *denovo* menghasilkan *dioksidan* dan *furan* dampak dari pembakaran yang tidak sempurna. Tingkat pembakaran yang sempurna dipengaruhi oleh beberapa variabel sebagai berikut :

- a. Komposisi sampah
- b. Turbulensi
- c. Waktu tinggal
- d. Temperatur

Tahapan proses pembakaran sebagai berikut :

a. Pembakaran keadaan udara kurang

Terdapat hasil pembakaran seperti CO, CO<sub>2</sub>, uap air, dan N<sub>2</sub>. Proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas akan hilang karena bahan bakar berlebih serta ada bahan bakar yang tidak terbakar.

b. Pembakaran keadaan udara berlebih

Hasil pembakaran seperti CO, CO<sub>2</sub>, uap air, dan N<sub>2</sub>. Proses ini terjadi perpindahan panas berkurang dan panas hilang karena udara berlebih.

c. Pembakaran keadaan udara optimum

Hasil pembakaran seperti CO, CO<sub>2</sub>, uap air, dan N<sub>2</sub>. Proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dan panas yang hilang minimum, serta terdapat.

### 2.2.8 Gas Hasil Pembakaran

Pembakaran merupakan proses oksidasi untuk memperoleh reaksi pembakaran yang komplit di mana oksigen diberikan dengan mengikuti rasio udara berlebih terhadap massa bahan bakar. Proses pembakaran antara karbon dengan oksigen dibentuk dari karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Produk pembakaran yang memiliki temperatur rendah disebut Karbon dioksida. Jika memiliki sejumlah oksigen yang seimbang maka dapat terbentuk oksidasi karbon monoksida ke karbon dioksida. Proses pembakaran tidak sempurna terindikasi dari kandungan CO yang tinggi dan ini harus dihindari karena dapat menyebabkan gangguan bau (*odour*) dan efisiensi pembakaran yang rendah dihasilkan dari kandungan CO yang tinggi.

Produk yang akan dihasilkan adalah CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan N<sub>2</sub>, sementara O<sub>2</sub> akan terbentuk jika terjadi kelebihan suplai udara dari bahan bakar hidrokarbon. Jumlah masing-masing produk dapat ditentukan dengan menerapkan prinsip konservasi massa pada persamaan kimia, pembakaran diharapkan terjadi secara sempurna. Jika pembakaran terjadi secara sempurna dan bahan bakar telah ditentukan. Faktor penentu dalam reaksi yang terjadi setelah pencampuran bahan bakar dan udara

semua jenis alat pembakaran derajat pencampuran antara bahan bakar dan udara. Bila konsentrasi gas CO sangat tinggi mempunyai risiko yang tinggi bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitarnya. Reaktan akan terbakar dengan oksigen, menghasilkan sejumlah produk yang terbatas terjadi pada pembakaran sempurna. Gas karbon dioksida dan uap air akan dihasilkan ketika hidrokarbon terbakar dengan oksigen. Namun terkadang di dalam udara akan dihasilkan senyawa nitrogen dioksida yang merupakan hasil teroksidasinya senyawa nitrogen.

### 2.2.9 Perhitungan Kapasitas Insinerator

Pemanfaatan sampah di Jepara berpotensi untuk bahan bakar PLTSa. Dengan teknologi Insinerasi bisa menjadi salah satu cara pembangkit tenaga listrik dari sampah. Maka dibutuhkan kapasitas insinerator per jam. Agar Insinerator dapat terus beroperasi. Akan dihitung rata-rata jumlah volume sampah per tahunnya dengan persamaan (2.4).

$$Q = \frac{V}{t}$$

(2.4)

Dengan :

Q : Kapasitas (ton/jam)

V : Volume sampah

T : Waktu (Jam/menit/detik)

Menggunakan rumus (2.4) kapasitas insinerator di PLTSa di suatu wilayah diharapkan dapat di prediksi dan diketahui besarnya.

### 2.2.10 Potensi sampah menjadi Listrik

Untuk menghindari penyimpangan dari nilai yang sesungguhnya potensi pembangkit energi dari sumber sampah harus dilakukan dengan cermat. Potensi energi yang dapat dibangkitkan harus selalu disertai dengan beberapa asumsi yang wajar dan rasional seperti pengambilan nilai rerata nilai kalor yang wajar dan mewakili seluruh sampel sampah. Besaran HHV mungkin didapatkan dari prediksi berdasarkan komposisi yang terkandung pada sampah, ataupun pengukuran langsung menggunakan alat bom kalorimeter agar lebih pasti.

Komposisi sampah sejenis melebihi 15% pada suatu pasokan sampah melebihi 50% ada total pasokan sampah maka akan mempengaruhi karakteristik pembakaran sampah tersebut. Pembakaran ideal harus waktu tinggal melebihi 2 detik dan di atas temperatur 800°C [46]. Jumlah sampah yang masuk akan diketahui asumsi nilai kalorinya, sehingga dapat dihasilkan daya keluaran dari generator. Nilai energi listrik PLTSa bisa didapatkan. Asumsi nilai kalori sampai di Indonesia sebesar 1000-2000 kkal [50]. Kita dapat mengambil nilai tengah dari kalori tersebut dalam perhitungan sebesar 1500kkal. Jumlah energi per hari yaitu perkalian antara jumlah kalori dikalikan dengan jumlah kalori rata-rata yaitu sebesar 0,00116 kWh/kkal [51]. Mencari jumlah kalori yang akan masuk pada boiler menerapkan persamaan (2.5).

$$\frac{\text{Kkal}}{\text{hari}} = \text{Volume sampah} \times \text{nilai kalori sampah} \quad (2.5)$$

Setelah mendapat hasil kalori, dilanjutkan dengan menghitung jumlah energi (kWh/hari), yang mana dikalikan dengan nilai kalori yang sudah ditentukan, dengan persamaan (2.6).

$$\text{Perhari} = \text{Jumlah kalori} \left( \frac{\text{kkal}}{\text{hari}} \right) \times 0,00116 \text{ (kwh/kkal)} \quad (2.6)$$

Menghitung jumlah termal sampah yang masuk boiler, agar PLTSa beroperasi secara berkelanjutan selama 24 jam ditunjukkan pada persamaan (2.4).

$$\text{Jumlah Thermal} = \frac{\text{Jumlah energi (kwh/hari)}}{\text{Jumlah jam/hari}} \quad (2.7)$$

### 2.2.11 Daya Listrik yang dihasilkan PLTSa

Perlunya analisis sampah secara periodik untuk menentukan dan memprediksi daya listrik yang dihasilkan. Daya yang dibangkitkan oleh PLTSa sangat bergantung pada karakteristik timbunan sampah yang akan diolah. Energi yang masuk boiler dan efisiensi sistem PLTSa maka untuk menentukan kapasitas

PLTSA perlu dilakukan perhitungan terhadap jumlah volume sampah, perhitungan energi yang masuk boiler yang sudah direncanakan. Secara umum daya yang dihasilkan oleh PLTSA tertera pada persamaan (2.8).

$$P=W \times \eta_{\text{boiler}} \times \eta_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}} \quad (2.8)$$

Setelah mendapat jumlah termal sampah yang masuk ke boiler bisa dilanjutkan dengan mencari daya keluaran pada boiler dengan efisiensi boiler yang sudah diasumsikan dan menggunakan persamaan (2.9).

$$P_b=W \times \eta_{\text{boiler}} \quad (2.9)$$

Setelah mendapat nilai daya dari keluaran boiler bisa dilanjutkan dengan mencari daya keluaran pada turbin dengan efisiensi turbin yang diasumsikan. Dijelaskan dengan persamaan (2.10).

$$P_{\text{turbin}}=P_{\text{boiler}} \times \eta_{\text{turbin}} \quad (2.10)$$

Daya keluaran pada turbin didapatkan dengan persamaan diatas. Selanjutnya mencari daya keluaran pada generator dengan efisiensi generator yang diasumsikan. Dapat dilihat pada persamaan (2.11).

$$P_{\text{generator}}=P_{\text{turbin}} \times \eta_{\text{generator}} \quad (2.11)$$

dengan :

- W : Energi Listrik (J)
- P generator : Daya *Output* Pembangkit (W)
- P boiler : Daya *output* Boiler (kW)
- P turbin : Daya *output* Turbin (kW)
- $\eta_{\text{boiler}}$  : Efisiensi Boiler
- $\eta_{\text{turbin}}$  : Efisiensi Turbin



$\eta_{\text{generator}}$  : Efisiensi Generator

Perhitungan daya keluaran generator (kW) bisa didapatkan, maka energi listrik dapat dihitung menggunakan persamaan (2.12).

$$W = P \times t \quad (2.12)$$

dengan :

W : Energi Listrik (kWh)

P : Daya keluaran pada generator (kW)

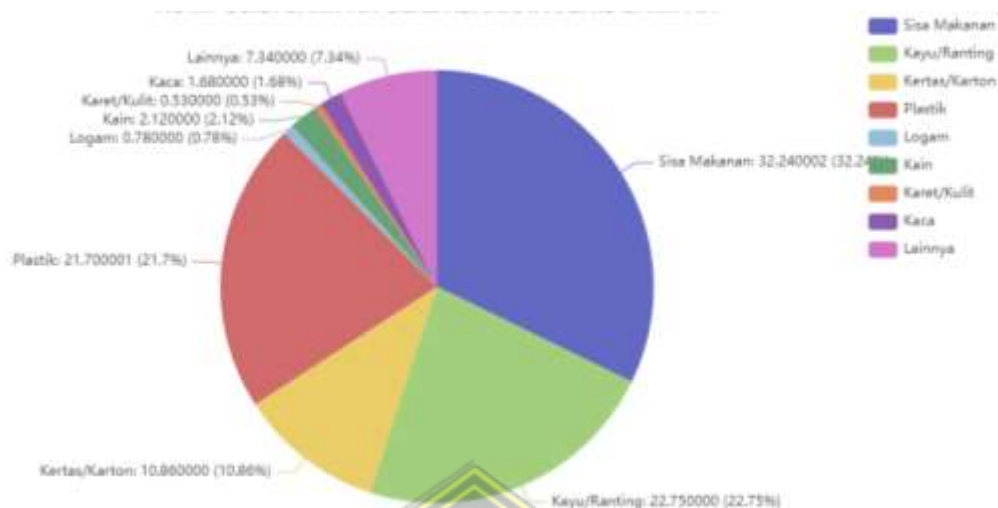
t : waktu 24 jam

### 2.2.12 Objek Penelitian

Jepara merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Jumlah penduduk di Jepara dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Data penduduk di Jepara pada tahun 2012 1.135.628 jiwa, dan pada tahun 2021 1.188.510 jiwa. Peningkatan jumlah penduduk juga akan mempengaruhi volume sampah yang dihasilkan di Jepara. Pada tahun 2012 Volume sampah yang dihasilkan sebanyak 394,25 Ton/ Hari. Tahun 2021 volume sampah yang dihasilkan sebanyak 687,87 Ton/Hari. Seperti pada Tabel 2. 1.

**Tabel 2. 1** Jumlah Penduduk dan Volume sampah

Tahun	Jumlah Penduduk / Jiwa	Volume Sampah Ton/hari
2012	1.135.628	394,25
2021	1.188.510	687,8



**Gambar 2.9** Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah

Gambar 2.9 menunjukkan komposisi sampah yang dihasilkan di Jepara didominasi oleh sisa makanan yang mencapai 32.24%. Terbanyak ke dua yaitu kayu / ranting sebesar 22.75%. Diikuti plastik, kertas / karton, kain, kaca, karet / kulit serta logam. Detail dari komposisi sampah dari tahun 2019-2021 bisa dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Komposisi sampah dari tahun 2019-2021

Tahun	Sisa Makanan (%)	Kayu-Ranting (%)	Kertas-Karton (%)	Plastik (%)	Logam (%)	Kain (%)	Karet-Kulit (%)	Kaca (%)	Lainnya (%)
2021	32,24	22,75	10,86	21,70	0,78	2,12	0,53	1,68	7,34
2020	55,08	5,29	11,48	19,63	1,26	2,12	1,02	1,20	2,92
2019	55,08	5,29	11,48	19,63	1,26	2,12	1,02	1,20	2,92

Tabel 2.2 menunjukkan persentase komposisi sampah di Jepara dari tahun 2019-2021. Persentase terbanyak sampah dihasilkan dari sisa makanan. Paling sedikit dari sampah karet atau kulit. Ranting atau kayu cukup tinggi dihasilkan karena Jepara merupakan kota ukir yang banyak membuat kerajinan dari bahan kayu. Menurut Kabid Pengelolaan Persampahan pada Dinas Lingkungan Hidup Jepara, Lulut Andi Ariyanto jumlah sampah organik sebesar 25% [53]. Jepara banyak mempunyai bank sampah untuk menampung sampah dari masyarakat. Di

setiap kecamatan memiliki beberapa bank sampah untuk memudahkan masyarakat untuk membuang sampah. Nama dan jumlah sampah yang dihasilkan setiap TPA di Jepara pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** TPA dan jumlah sampah yang dihasilkan

Nama TPA	Jumlah Sampah (Ton/Hari)
TPA Bandengan	42,75 - 50 Ton/hari
TPA Gemulung	6,0 - 7,5 Ton/hari
TPA Krasak	7,5-10,5 Ton/hari

Tabel 2.3 menunjukkan ada 3 TPA di Jepara. Yaitu TPA Bandengan yang berlokasi di Jl. Syaikh Khidhir Al-Limboriy, Bandengan, Rw. III, Bandengan, Kec. Jepara, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah 59431. TPA Gemulung berlokasi di Desa Gemulung, Kabupaten Jepara. TPA Krasak berlokasi di Krasak di kecamatan Pecangaan, Jepara, Jawa Tengah. Berikut jumlah bank sampah dari setiap kecamatan di Jepara pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Banyaknya Bank Sampah dan Volume Sampah

Jumlah Bank Sampah	Volume Sampah (kg)	
	2019	2020
182	60020,8	61069

Tabel 2.4 menunjukkan jumlah bank sampah di Kabupaten Jepara sebanyak 182. Bank sampah terbanyak terdapat pada kecamatan Keling, yang disusul Kec. Jepara, Kedung, Tahunan, Mayong, Kembang, Bangsri, Mlonggo, Batealit, Donorojo, Pakis Aji, Pecangaan, Kalinyamat, Welahan, Nalumsari, dan Karimunjawa. Di Karimunjawa hanya ada 1 karena memang letaknya di pulau kecil. Semakin luas wilayah kecamatan dan semakin banyak jumlah penduduk per kecamatan maka jumlah sampah yang dihasilkan juga akan semakin banyak.

### 2.2.13 Analisis Regresi Linier Berganda

Regresi Linier berganda merupakan model persamaan yang menjelaskan hubungan satu variabel tak bebas (Y) dengan dua atau lebih variabel bebas ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ). Tujuan dari uji regresi linier berganda adalah untuk memprediksi nilai variabel tak bebas yaitu (Y) apabila nilai-nilai variabel bebasnya ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) diketahui. Disamping itu juga untuk dapat mengetahui bagaimanakah arah hubungan variabel tak bebas dengan variabel-variabel bebasnya. Persamaan regresi linier berganda seperti berikut [54].

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.13)$$

dengan :

Y = Variabel tak bebas (nilai variabel yang akan diprediksi)

a = konstanta

$b_1, b_2, \dots, b_n$  = koefisien regresi

$X_1, X_2, \dots, X_n$  = Variabel predictor atau variabel faktor penyebab

Bila terdapat 2 variabel bebas, yaitu  $X_1$  dan  $X_2$ , maka bentuk persamaan regresinya adalah :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (2.14)$$

Keadaan bila koefisien-koefisien regresi, yaitu  $b_1$  dan  $b_2$  mempunyai nilai:

- Nilai = 0. Dalam hal ini variabel Y tidak dipengaruhi oleh  $X_1$  dan  $X_2$
- Nilainya negative. Disini terjadi hubungan dengan arah terbalik antara variabel tan bebas Y dengan variabel-variabel  $X_1$  dan  $X_2$
- Nilainya positif. Disini terjadi hubungan yang searah antara variabel tak bebas Y dengan variabel bebas  $X_1$  dan  $X_2$

Koefisien-koefisien regresi  $b_1$  dan  $b_2$  serta konstanta a dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$a = \frac{(\sum Y) - (b_1 \times \sum X_1) - (b_2 \times \sum X_2)}{n} \quad (2.15)$$

$$b_1 = \frac{[(\sum x_2^2 \times \sum x_1 y) - (\sum x_2 y \times \sum x_1 x_2)]}{[(\sum x_1^2 \times \sum x_2^2) - (\sum x_1 \times x_2)^2]} \quad (2.16)$$

$$b_2 = \frac{[(\sum x_1^2 \times \sum x_2 y) - (\sum x_1 y \times \sum x_1 x_2)]}{[(\sum x_1^2 \times \sum x_2^2) - (\sum x_1 \times x_2)^2]} \quad (2.17)$$

Metode alternatif, yaitu metode matriks (metode kuadrat terkecil) dapat digunakan untuk menentukan nilai  $a$ ,  $b_1$  dan  $b_2$ . Metode ini dilakukan dengan cara membuat dan menyusun suatu persamaan sebagai berikut:

$$an + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 = \sum Y \quad (2.18)$$

$$a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2 = \sum X_1 Y \quad (2.19)$$

$$a \sum X_2 + b_1 \sum X_2 X_1 + b_2 \sum X_2^2 = \sum X_2 Y \quad (2.20)$$

### Koefisien Determinasi ( $r^2$ )

Untuk mengetahui persentase pengaruh variabel-variabel  $X_1$  dan  $X_2$  terhadap variabel  $Y$  digunakan koefisien determinasi [54]. Besarnya  $r^2$  dihitung dengan rumus :

$$r^2 = \frac{(b_1 \sum x_1 y) + (b_2 \sum x_2 y)}{\sum y^2} \quad (2.21)$$

Variasi variabel tak bebas  $Y$  tidak sedikit pun dapat dijelaskan oleh variasi variabel-variabel bebas  $X_1$  dan  $X_2$  jika  $r^2$  bernilai 0, maka dalam model persamaan regresi yang terbentuk. Dalam model persamaan regresi yang terbentuk, variabel tak bebas  $Y$  secara sempurna dapat dijelaskan oleh variasi variabel-variabel bebas  $X_1$  dan  $X_2$  apabila  $r^2$  bernilai 1.

### Koefisien Korelasi Ganda (r)

Mengetahui seberapa besar korelasi secara serentak / simultan antara variabel-variabel  $X_1, X_2, \dots, X_n$  dengan variabel Y dapat digunakan dengan cara koefisien korelasi ganda [54]. Besarnya nilai koefisien korelasi ganda dengan rumus :

$$r = \sqrt{r^r} = \sqrt{\frac{(b_1 \sum x_1 y) + (b_2 \sum x_2 y)}{\sum y^2}} \quad (2.22)$$

Nilai  $r$  :  $-1 \leq r \leq +1$ . Dapat dikatakan bahwa semakin kuatnya hubungan / korelasi yang terjadi apabila nilai  $r$  mendekati nilai  $+1$  atau  $-1$ . Sebaliknya, semakin lemahnya hubungan / korelasi yang terjadi apabila nilai  $r$  mendekati  $0$ .

### Korelasi Parsial

Korelasi parsial adalah suatu korelasi yang menjelaskan hubungan antara 1 variabel dengan 1 variabel dan variabel lainnya dianggap konstan [54]. Ada 3 macam bentuk korelasi parsial, yaitu:

- 1) Yang mana Y dianggap konstan  $r_{12.Y}$  korelasi antara  $X_1$  dengan  $X_2$ .

$$r_{12.Y} = \frac{r_{12} - (r_{Y1} r_{Y2})}{\sqrt{(1 - r_{Y1}^2)(1 - r_{Y2}^2)}} \quad (2.23)$$

- 2) Yang mana  $X_2$  dianggap konstan  $r_{Y1.2}$  korelasi antara Y dengan  $X_1$ .

$$r_{Y1.2} = \frac{r_{Y1} - (r_{Y2} r_{12})}{\sqrt{(1 - r_{Y2}^2)(1 - r_{12}^2)}} \quad (2.24)$$

- 3) Yang mana  $X_1$  dianggap konstan  $r_{Y2.1}$  korelasi antara Y dengan  $X_2$

$$r_{Y2.1} = \frac{r_{Y2} - (r_{Y1} r_{12})}{\sqrt{(1 - r_{Y1}^2)(1 - r_{12}^2)}} \quad (2.25)$$

### Pengujian Hipotesis

Melihat apakah suatu hipotesis yang diajukan dapat diterima atau ditolak dilakukan dengan cara pengujian hipotesis. Asumsi atau pernyataan yang mungkin benar atau salah mengenai suatu populasi merupakan hipotesis. Pengujian hipotesis terdapat asumsi / pernyataan istilah hipotesis nol. Hipotesis yang akan di uji, dinyatakan oleh  $H_0$  dan penolakan  $H_0$  dimaknai dengan penerimaan hipotesis lainnya/ hipotesis alternatif yang dinyatakan oleh  $H_1$ .

Ditentukan Koefisien Determinasi ( $r^2$ ), maka selanjutnya dilakukan uji signifikan hipotesis yang diajukan. Uji ini dapat menggunakan Uji Chi Kuadrat, Uji-F; Uji-t; atau Uji-z. Uji Signifikan ini dapat diketahui apakah variabel bebas (X) berpengaruh secara signifikan terhadap variabel tak bebas (Y). Pengaruh antar variabel berlaku bagi seluruh populasi merupakan arti dari signifikan [54].

### Uji - F

Penggunaan Uji-F bertujuan untuk mengetahui apakah variabel bebas ( $X_1$  dan  $X_2$ ) secara signifikan berpengaruh terhadap variabel tak bebas Y [54]. Tahapan yang dilakukan dalam Uji – F adalah:

1. Menentukan Hipotesis

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2$$

= 0; (variabel  $X_1$  dan  $X_2$  tidak berpengaruh terhadap Y)

$$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq 0; \text{ (variabel } X_1 \text{ dan } X_2 \text{ berpengaruh terhadap Y)}$$

2. Menentukan tingkat Signifikan ( $\alpha$ )

Nilai yang biasa digunakan adalah  $\alpha = 5\%$

3. Menentukan F Hitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$F_{hit} = \frac{r^2/k}{(1-r^2)/(n-k-1)} = \frac{r^2(n-k-1)}{k(1-r^2)} \quad (2.26)$$

4. Menentukan F tabel (menggunakan tabel Uji - F)  
Tabel Uji – F untuk  $\alpha = 5\%$  dengan derajat kebebasan pembilang (Numerator, df) =  $k - 1$ ; dan untuk penyebut (Denominator, df) =  $n - k$ . Nilai  $n$  = jumlah sample / pengukuran,  $k$  = jumlah variabel bebas dan terikat.
5. Kriteria Pengujian nilai  $F_{hit}$  dan  $t_{tab}$   
Apabila nilai  $F_{hit} < t_{tab}$ , maka proses  $H_1$  ditolak dan  $H_0$  diterima.  
Apabila nilai  $F_{hit} > t_{tab}$ , maka hipotesis  $H_1$  diterima dan  $H_0$  ditolak.
6. Kesimpulan : dapat disimpulkan apakah ada atau tidak pengaruh variabel-variabel bebas  $X_1$  dan  $X_2$  terhadap variabel tak bebas Y.

#### Uji Koefisien Regresi Parsial (Uji - t)

Uji t dikenal dengan uji parsial, yaitu untuk menguji bagaimana pengaruh masing-masing variabel bebasnya secara sendiri-sendiri (parsial) terhadap variabel terikatnya. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan  $t_{hitung}$  dengan  $t_{tabel}$  [54]. Statistik uji adalah:

$$t_{hitung} = \frac{b_i}{Sb_i} \quad (2.27)$$

Dengan :

$b_i$  = koefisien regresi variabel bebas ke-i ( $i=1, 2$ )

$Sb_i$  = kesalahan baku / standart eror penduga  $b_i$  ( $i=1, 2$ )

#### 2.2.14 Analisa Regresi Linier

Regresi Linier adalah metode statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara Variabel Faktor Penyebab (x) terhadap variabel akibatnya. Predictor adalah faktor penyebab pada umumnya dilambangkan dengan X, sedangkan response adalah variabel akibat dilambangkan dengan Y. Regresi linier merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk melakukan peramalan ataupun



prediksi tentang karakteristik kualitas maupun kuantitas [54]. Model persamaan regresi linier sebagai berikut.

$$Y = a + bX \quad (2.28)$$

dengan :

Y = Variabel response atau variabel akibat

X = Variabel predictor atau variabel faktor penyebab

a = konstanta

b = koefisien regresi; besaran respon yang ditimbulkan oleh predictor

Nilai-nilai a dan b dapat dihitung dengan persamaan :

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.29)$$

$$b = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.30)$$

Bentuk persamaan regresi tersebut sering dibaca regresi X atas Y. Koefisien arah regresi linier dinyatakan dengan huruf b yang juga menyatakan perubahan rata-rata variabel Y untuk setiap variabel X sebesar satu agian. Bila harga b positif, maka variabel Y akan mengalami kenaikan atau pertambahan. Sebaliknya jika b negatif maka variabel Y akan mengalami penurunan.

### 2.2.15 Teknik Evaluasi Kesesuaian Model

Persentase kesalahan rata-rata secara mutlak atau *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) adalah pengukuran statistik tentang akurasi perkiraan (prediksi) pada metode peramalan. MAPE memberikan informasi seberapa besar kesalahan peramalan dibandingkan dengan nilai sebenarnya dari series tersebut [55]. Terdapat analisa tentang nilai MAPE sebagaimana tertulis pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Range Nilai MAPE

Range MAPE	Arti Nilai
< 10%	Kemampuan model peramalan sangat baik
10-20%	Kemampuan model peramalan baik
20-50%	Kemampuan model peramalan layak
> 50%	Kemampuan model peramalan buruk

Tabel 2.5 tersebut menunjukkan nilai yang menunjukkan arti nilai persentase eror pada MAPE, di mana nilai MAPE masih bisa digunakan apabila tidak melebihi 50%, jika melebihi 50% maka model peramalan tersebut tidak bisa digunakan. Cara menghitung MAPE adalah dengan melakukan penjumlahan secara keseluruhan dengan terlebih dahulu melakukan pengurangan nilai data aktual dengan data peramalan kemudian membaginya dengan data aktual dan dikalikan dengan 100 kemudian dibagi dengan banyaknya data yang ada. Absolut artinya jika nilainya negatif tetap bernilai positif seperti pada persamaan [55]:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| 100}{n} \quad (2.31)$$

dengan :

$A_t$  = Aktual permintaan ke t

$F_t$  = Hasil peramalan le t

n = Besarnya data peramalan

### 2.2.16 Potensi Energi Listrik dari Sampah

Potensi energi listrik yang dapat diambil dari sampah adalah melalui proses pengolahan sampah pada suhu tinggi untuk menghasilkan panas dan gas buang yang biasa disebut insenerasi. Tidak semua jenis sampah bisa diolah dengan cara insenerasi. Hanya sampai organik yang akan diolah dalam proses insenerasi. Sampah yang di hasilkan di Jepara

hanya 25% saja untuk jenis organik. Perhitungan potensi energi listrik dari sampah ini hanya menggunakan sampah [56]:

- Menghitung panas pembakaran di ruang bakar

Total nilai kalor sampah organik menurut [57] adalah 674,57 Kkal/kg. Sehingga untuk mengetahui panas di ruang pembakaran insenerator adalah:

$$Q_f = M \text{ sampah} \times CV \text{ sampah} \quad (2.32)$$

Dengan :

$Q_f$  : Panas pembakaran di ruang bakar (KJ/jam)

$M$  sampah: Masa sampah (kg/jam)

$CV$  sampah : Calori Value sampah (KJ/kg)

- Menghitung laju panas yang keluar dari incinerator

Menghitung laju panas yang keluar dari incinerator menggunakan persamaan [56]:

$$\eta = \frac{Q}{Q_f} \quad (2.33)$$

Dengan:

$\eta$  : Efisiensi ketel (%)

$Q$  : Laju panas yang keluar dari insenerator (KJ/jam)

$Q_f$  : Panas pembakaran di ruang bakar (KJ/jam)

Sehingga untuk menghitung jumlah kalor yang keluar dari insenerator adalah:

$$Q = \eta \times Q_f \quad (2.34)$$

Dengan:

$\eta$  : 80% = 0,8

- Menghitung laju aliran masa uap

Menghitung laju aliran masa uap menggunakan persamaan [56] :

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1} \quad (2.35)$$

Dengan:

$M$  : Laju aliran masa uap keluar dari ketel (kg/jam)

$Q$  : Laju panas yang keluar dari insenerator (KJ/jam)

H1: Etalphy air masuk ketel (KJ/jam) = 125,8KJ/kg - dari tabel

H2: Etalphy uap keluar ketel (KJ/jam) = 2637,6 KJ/Kg – dari tabel

Sebagaimana diketahui :

Temperatur masuk = 30°C

Tekanan pada ketel = 14 Mpa

- Menghitung daya yang dihasilkan generator

Menghitung daya yang dihasilkan generator menggunakan persamaan [56]:

$$N_{efektif} = W_t \times M \quad (2.36)$$

Dengan :

$N_{efektif}$  : Daya yang keluar dari turbin (KW)

$W_t$  : Keluaran kerja yang diukur dari suatu turbin adiabatik yang sebenarnya (KJ/kg)

$M$  : Laju aliran masa uap keluar dari ketel (kg.jam)

Selanjutnya adalah menghitung daya yang telah dibangkitkan oleh generator untuk efisiensi generator adalah 90%.

$$P_{generator} = N_{efektif} \times \eta_{generator} \quad (2.37)$$

Dengan:

$P_{generator}$  : Daya yang dihasilkan generator (KW)

$N_{efektif}$  : Daya yang keluar dari turbin (KW)

$\eta_{generator}$  : Efisiensi generator (%)

## **BAB III**

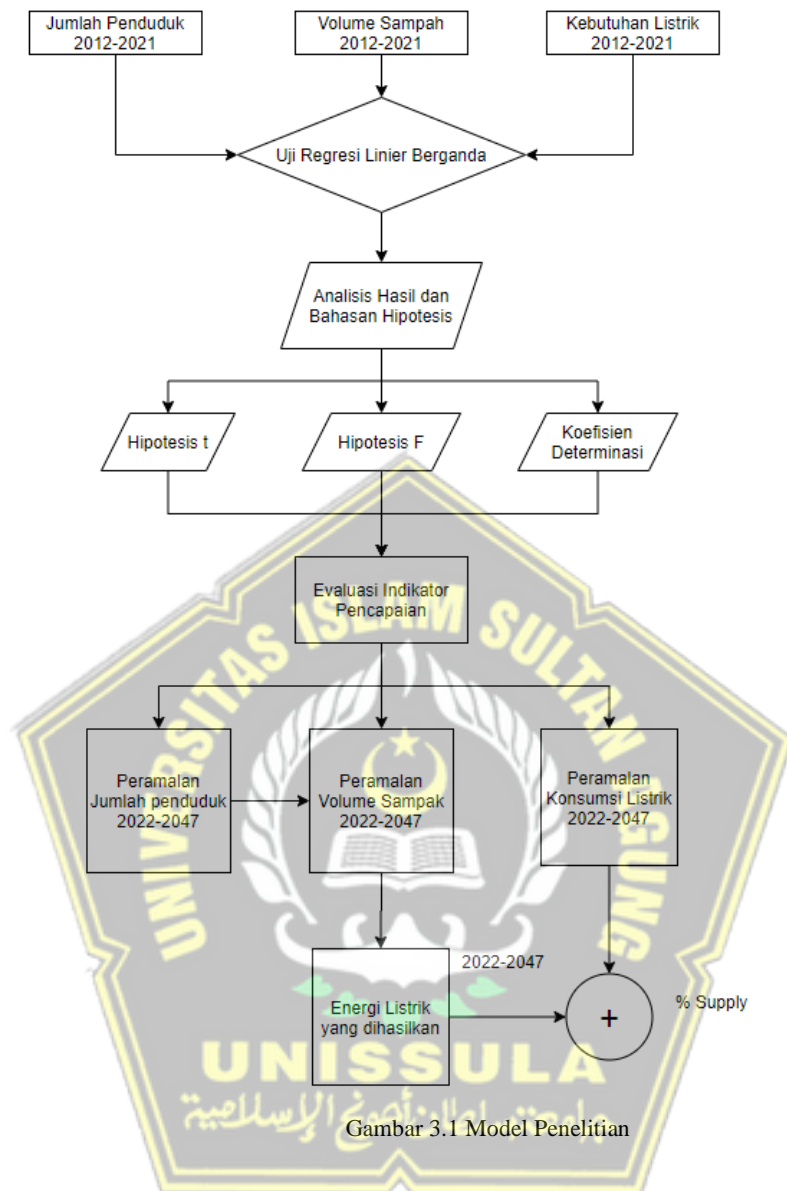
### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Metode penelitian merupakan prosedur atau cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan tertentu. Penelitian ini metode kuantitatif deskriptif digunakan untuk menggambarkan suatu kondisi tertentu. Pendekatan menggunakan pendekatan kuantitatif karena menggunakan parameter-parameter angka, dimulai dari pengumpulan data, serta penampilan dari hasil pendekatan tersebut. Gambaran tersebut dideskripsikan secara deduktif dari beberapa variabel dan teori-teori umum dan hasilnya akan diarahkan untuk membuat sebuah model penelitian. Penelitian ini menggunakan metode peramalan untuk menghasilkan nilai prediksi untuk 25 tahun ke depan seperti Gambar 3.1.

Gambar 3.1 menunjukkan model yang akan menjadi penelitian ini. Ada tiga parameter yang dipakai dalam penelitian ini. Data jumlah penduduk, data volume sampah yang dihasilkan, serta kebutuhan listrik yang dihasilkan di wilayah Kabupaten Jepara dari tahun 2012-2021 menjadi data awal untuk melakukan prediksi menggunakan regresi linier sebagai model, masukan dan target jumlah penduduk diramalkan ke Regresi Linier Berganda dengan variabel 10 tahun ke belakang. Sehingga untuk mendapatkan hasil peramalan tahun 2022 sampai 2048 diambil dari nilai keluaran dari Regresi Linier Berganda 10 tahun ke belakang. Dari hasil tersebut akan dihitung kembali menggunakan variabel regresi linier yang sudah dibuat untuk menghitung peramalan tahun 2022-2048, hasil prediksi ini yang akan menentukan potensi PLTSa dalam 25 tahun ke depan.

Data konsumsi listrik yang akan diprediksi menggunakan Regresi Linier Berganda untuk 25 tahun ke depan, sehingga dapat diketahui besar daya listrik yang dikonsumsi serta produksi untuk melayani beban listrik masyarakat. Masukan untuk peramalan diambil dari data 10 tahun ke belakang. Untuk mendapatkan hasil peramalan tahun 2022-2048, diambil nilai keluaran *Regresi Linier Berganda* 10 tahun sebelumnya.



### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer dan perangkat lunak dengan spesifikasi :

- a) Layar: 14 inci, 1920 x 1080 piksel.
- b) Prosesor: Intel Core i3-1125G4.
- c) Grafis: Intel UHD Graphics.
- d) RAM: 8 GB DDR4.
- e) Storage: 512 GB SSD.

- f) Sistem Operasi: Windows 10 Home 64.
- g) Kamera: HP Wide Vision 720p HD camera.
- h) Baterai: 3-cell, 43 WHr.
- i) Software : Microsoft Excel

Bahan-bahan yang dibutuhkan adalah data-data dari (TPA) di Kabupaten Jepara. Ada 3 TPA yaitu TPA Gemulung dan TPA Bandengan, dan TPA Krasak.

### 3.3 Diagram Alur Penelitian

Diagram alir penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.2 dengan keterangan sebagai berikut.



**Gambar 3.2** Flowchart Penelitian

Menentukan model penelitian yang akan dilakukan seperti pada Gambar 3.1. Langkah pertama yang dilakukan adalah masukan data berupa data jumlah penduduk, volume sampah sebagai variabel (X) dan data konsumsi listrik sebagai variabel terikat (Y). Setelah data variabel X dan Y dimasukkan, maka dilakukan

proses perhitungan regresi linier berganda untuk memperoleh persamaan regresi linier yang dihasilkan saling berkaitan atau dapat diterima untuk langkah selanjutnya. Ketika hasil uji regresi linier tidak sesuai atau tidak diterima, maka proses akan kembali ke langkah perhitungan regresi linier berganda. Ketika hasil uji regresi linier diterima, maka telah dihasilkan keluaran berupa persamaan regresi linier berganda yang nantinya digunakan dalam proses prediksi potensi pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) di Jepara. Blok digaram dapat dilihat pada Gambar 3.3.

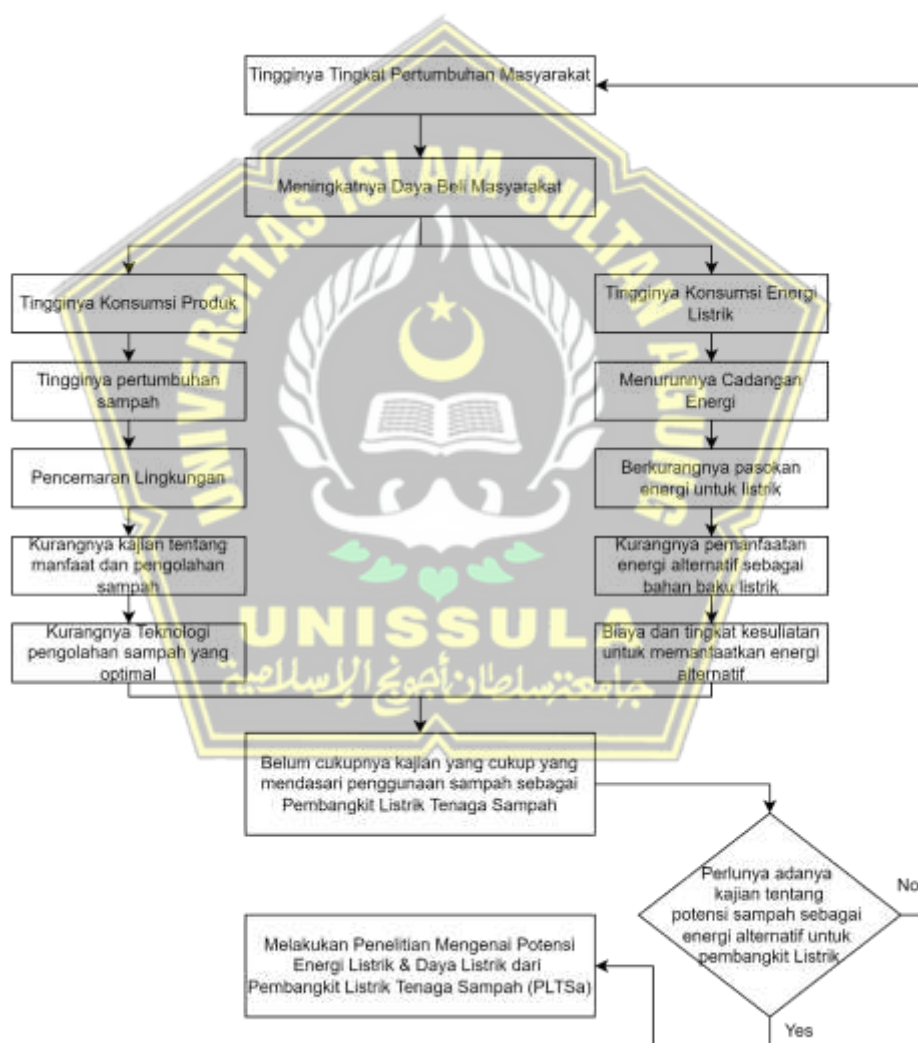


**Gambar 3.3** Blok Diagram PLTSa (Insenerasi)

Gambar 3.3 menunjukkan blok diagram yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini. Dari jumlah penduduk bisa mendapatkan hasil jumlah sampah. Sampah yang diolah hanya sampah organik, karena untuk sampah plastic dan ertas sudah diambil pemulung atau di daur ulang. Sampah organik akan dikelola dengan teknik Insinerasi untuk menghasilkan potensi daya listrik. Diagram keterkaitan masalah adalah dasar pemikiran dari penelitian yang akan dilakukan seperti pada Gambar 3.4. Menunjukkan bahwa yang menjadi gagasan pokok dari penelitian ini



adalah pengolahan sampah dan isu energi. Masalah yang didasari dari pertumbuhan jumlah penduduk dan kebutuhan sehari-hari. Sehingga sampah semakin meningkat dan konsumsi energi pun makin bertambah seiring dengan bertambahnya penduduk. Sehingga untuk mengantisipasi permasalahan tersebut peneliti berpendapat bahwa terdapat suatu energi terbarukan dari sampah, sehingga berharap dapat memberikan solusi dari permasalahan tersebut. Dengan adanya energi terbarukan dari sampah, kemudian dilakukan analisa seberapa besar energi listrik yang dihasilkan dengan konsumsi listrik yang digunakan.



**Gambar 3.4** Diagram Keterkaitan Masalah

### 3.4 Kabupaten Jepara

Salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah Indonesia merupakan Jepara,. Julukan untuk Kabupaten Jepara seperti Kota Ukir dan Bumi Kartini. Kabupaten Jepara terletak pada posisi 110°9'48,02" sampai 110°58'37,40" Bujur Timur dan 5°43'20,67" sampai 6°47'25,83" Lintang Selatan merupakan daerah paling ujung sebelah utara dari Provinsi Jawa Tengah secara geografis. Bagian barat dan utara dibatasi oleh laut. Bagian Timur merupakan daerah pegunungan. Luas wilayah daratan 100.413,189 Ha atau 1.004,132 km<sup>2</sup> sekitar dengan panjang garis pantai sejauh 72 km. Kecamatan Keling dengan luas 231,758 km<sup>2</sup> adalah wilayah terluas. Sedangkan wilayah laut seluas 2.112,836 km<sup>2</sup>. Pemukiman dan industri seluas 29.692,264 Ha, 29,57% dari luas keseluruhan Kabupaten Jepara. Peta Jepara dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Lokasi Kabupapten Jepara pada Peta Indonesia

Gambar 3.5 Wilayah Kabupaten Jepara juga meliputi dua pulau terbesar yaitu pulau Kemujan dan pulau Karimunjawa. Kabupaten Jepara ada 16 Kecamatan, 184 Desa dan 11 Kelurahan. Nama kecamatan tersebut seperti Karimunjawa, Donorojo, Keling, Kedung, Kembang, Pecangaan, Bangsri, Kalinyamatan, Welahan, Mayong, Nalumsari, Batealit, Tahunan, Jepara, Mlonggo, Pakis Aji. Jumlah penduduk Kabupaten Jepara dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Jumlah Penduduk Kabupaten Jepara Tahun 2012-2021

Tahun	Jumlah Penduduk
2012	1.135.628
2013	1.153.321
2014	1.170.785
2015	1.188.289
2016	1.205.800
2017	1.223.198
2018	1.240.600
2019	1.257.912
2020	1.275.182
2021	1.188.510

Tabel 3.1 menunjukkan jumlah penduduk di Kabupaten Jepara dari tahun 2012 sampai 2021 mengalami peningkatan. Pada tahun 2012 sejumlah 1.135.628, tahun 2013 sejumlah 1.153.321 penduduk, tahun 2014 sejumlah 1.170.785, tahun 2015 sejumlah 1.188.289, tahun 2016 sejumlah 1.205.800, tahun 2017 sejumlah 1.223.198, tahun 2018 sejumlah 1.240.600, tahun 2019 sejumlah 1.257.912, tahun 2020 sejumlah 1.275.182, tahun 2021 sejumlah 1.188.510. Jumlah volume sampah yang dihasilkan di Kabupaten Jepara bisa dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Jumlah Volume Sampah di Kabupaten Jepara

Tahun	Volume Sampah
	Ton/ Hari
2012	394,25
2013	397,70
2014	403,75
2015	411,82
2016	411,72
2017	411,72
2018	547,65
2019	400,08
2020	697,04
2021	687,87

Tabel 3.2 menunjukkan jumlah volume sampah yang dihasilkan di Kabupaten Jepara pada tahun 2012 – 2021. Pada tahun 2012 sampah yang dihasilkan per harinya sebesar 394,25 Ton/hari. Tahun 2013 jumlah sampah 397,70 Ton/hari.

Tahun 2014 jumlah sampah 403,75 Ton/hari. Tahun 2015 jumlah sampah 411,82 Ton/hari. Tahun 2016 jumlah sampah 411,72 Ton/hari. Tahun 2017 jumlah sampah 411,72 Ton/hari. Tahun 2018 jumlah sampah 547,65 Ton/hari. Tahun 2019 jumlah sampah 400,08 Ton/hari. Tahun 2020 jumlah sampah 697,04 Ton/hari. Tahun 2021 jumlah sampah 687,87 Ton/hari. Prasarana yang dimiliki Dinas Lingkungan hidup di Kabupaten Jepara seperti pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Sarana yang dimiliki Kabupaten Jepara

Sarana	Jumlah
Truk Arm Roll Sampah	10
Truk Dump Sampah	10
Pick Up	6
Container	78
Kendaraan R3	34
ATV Sampah	6
TPA	3
TPS	71

Tabel 3.3 Dinas Lingkungan Hidup kota Jepara merupakan instansi utama yang bertanggung jawab atas kebersihan di seluruh kota Jepara. Prasarana yang dimiliki seperti Truk Arm Roll sampah memiliki 10, Truk Dump sampah memiliki 10, Pick up 6, Container 78, Kendaraan R3 34, ATV sampah 6, TPA 3, dan TPS 71. Dinas Lingkungan Hidup melayani pengambilan sampah di 72 TPS sekitar Jepara dan 3 TPA. Terdapat 3 TPA di Jepara seperti pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** TPA di Kabupaten Jepara

Nama TPA	Lokasi Kecamatan	Jumlah Sampah (Ton/Hari)
TPA Bandengan	Jepara	171-200 m <sup>3</sup> /hari 42,75 - 50 Ton/hari
	Tahunan	
	Batealit	
	Pakis Aji	
TPA Gemulung	Kedung	24-30 m <sup>3</sup> /hari 6,0 - 7,5 Ton/hari
	Pecangaan	
	Kalinyamatan	

TPA Krasak	Mayong	
	Nalumsari	
	Welahan	
	Donorojo	
	Keling	
	Kembang	30-42 m <sup>3</sup> /hari 7,5-10,5 Ton/hari
	Bangsri	
	Mlonggo	

Tabel 3.4 menunjukkan 3 TPA yang berada di kabupaten Jepara. Yaitu TPA Bandengan yang menampung sampah dari 5 kecamatan dengan rata-rata jumlah sampah sebanyak 42,75-50 Ton/Hari. TPA Gemulung yang menampung sampah dari 5 kecamatan dengan rata-rata jumlah sampah sebanyak 6,0-7,5 Ton/Hari. TPA Krasak yang menampung sampah dari 5 kecamatan dengan rata-rata jumlah sampah sebanyak 7,5-10,5 Ton/Hari. Jumlah pelanggan listrik per Kecamatan dapat di lihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Jumlah Pelanggan Listrik per Kecamatan

Kecamatan	Jumlah Pelanggan Listrik menurut Kecamatan	
	2021	
Kedung		22 076
Pecangaan		23 759
Kalinyamatan		17 502
Welahan		21 767
Mayong		26 012
Nalumsari		21 413
Batealit		24 279
Tahunan		31 219
Jepara		23 448
Mlonggo		23 990
Pakis Aji		17 232
Bangsri		28 641
Kembang		20 208
Keling		18 367
Donorojo		16 784
Karimunjava		2 806
<b>KAB. JEPARA</b>		<b>339 503</b>

Tabel 3.5 menunjukkan jumlah data pelanggan listrik di Jepara dilihat dari kecamatan. Jumlah pelanggan tertinggi di kecamatan Tahunan dan terendah di Kecamatan Karimunjawa. Jumlah konsumsi listrik di kabupaten Jepara dapat dilihat pada Tabel 3. 6.

**Tabel 3. 6** Konsumsi Listrik di Kabupaten Jepara

Tahun	MWH
2012	1237834,52
2013	1257119,89
2014	1276155,65
2015	1295235,01
2016	1314322
2017	1333285,82
2018	1352254
2019	1371124,08
2020	1389948,38
2021	1295475,9

Tabel 3. 6 menunjukkan jumlah konsumsi listrik di Kabupaten Jepara dari tahun 2012-2021. Semakin meningkatnya penduduk di Kabupaten Jepara akan semakin tinggi pula konsumsi listrik.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Merujuk pada model penelitian sesuai dengan Gambar 3.1 dan data jumlah penduduk pada Tabel 3.1, volume sampah pada Tabel 3.2, dan konsumsi listrik pada Tabel 3.6 sebagai data *training* untuk peramalan. Data yang digunakan untuk penelitian ini berjumlah 3 data parameter indikator di Kabupaten Jepara. Data *training* dalam penelitian ini diambil dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2021. Data masukan bisa dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Masukan

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Volume Sampah (Ton/Tahun)	Konsumsi Listrik MWH
2012	1135628	143900	1237834.52
2013	1153321	145162	1257119.89
2014	1170785	147368	1276155.65
2015	1188289	150316	1295235.01
2016	1205800	150277.8	1314322
2017	1223198	151188	1333285.82
2018	1240600	199892.25	1352254
2019	1257912	146029.2	1371124.08
2020	1275182	254419.6	1389948.38
2021	1188510	251072.55	1295475.9

Tabel 4.1 menunjukkan data masukan dari tahun 2012 – 2021 dengan jumlah penduduk, volume sampah, dan konsumsi listrik.

#### 4.1.1 Pemodelan Regresi Linier Berganda

Metode regresi linier berganda menggunakan pengembangan hubungan matematis antara variabel merupakan sebuah metode statistik untuk melakukan prediksi. Metode ini digunakan untuk menentukan fungsi linier (garis lurus) yang paling sesuai dengan kumpulan titik data yang telah diketahui sebelumnya. Penelitian ini menggunakan salah satu metode yang dipergunakan dalam melakukan prediksi yaitu metode regresi linier berganda.

➤ Perhitungan Matriks

Regresi Linier Berganda merupakan model persamaan yang menjelaskan hubungan satu variabel tak bebas yaitu konsumsi listrik (Y) dengan dua atau lebih variabel bebas yaitu jumlah penduduk (X1) dan volume sampah (X2) yang dapat dilihat pada Tabel 4. 2.

**Tabel 4. 2** Data Masukan X1,X2 dan Y

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa) X1	Volume Sampah (Ton/Tahun) X2	Konsumsi Listrik (MWH) Y
2012	1135628	143900.000	1237834.520
2013	1153321	145162.000	1257119.890
2014	1170785	147368.000	1276155.650
2015	1188289	150316.000	1295235.010
2016	1205800	150277.800	1314322.000
2017	1223198	151188.000	1333285.820
2018	1240600	199892.250	1352254.000
2019	1257912	146029.200	1371124.080
2020	1275182	254419.600	1389948.380
2021	1188510	251072.550	1295475.900

dengan :

Y : Konsumsi Listrik (KWH)

X1: Jumlah Penduduk (Jiwa)

X2: Volume Sampah (Ton/Tahun)

➤ Perhitungan Statistik

Uji statistik dilakukan menggunakan software SPSS untuk melihat apakah sama dengan hasil perhitungan rumus dengan variabel yang sama yaitu jumlah penduduk (X1) dan volume sampah (X2) dan konsumsi listrik (Y).



Tabel 4.3 Hasil Statistik

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	6.25281E-11
Observations	9

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	21687397068	10843698534	2.77349E+30	1.26556E-90
Residual	6	2.34586E-20	3.90976E-21		
Total	8	21687397068			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1.61392E-10	6.68832E-10	0.24130437	0.817354066	-1.4752E-09	1.79796E-09	-1.4752E-09	1.79796E-09
x1	1.09	6.2054E-16	1.75654E+15	2.29806E-90	1.09	1.09	1.09	1.09
x2	4.31928E-16	7.8714E-16	0.548730796	0.602994638	-1.4941E-15	2.35799E-15	-1.4941E-15	2.35799E-15

Hasil Tabel 4.3 hasil perhitungan dengan perumusan hipotesis :

- ✓ Menunjukkan nilai Multiple R = 1. Nilai korelasi antara Jumlah Penduduk (X1), Volume Sampah (X2) dan Konsumsi Listrik (Y) adalah 1 termasuk dalam katagori Sangat Kuat.
- ✓ Nilai Adjusted R Square = 1. Nilai koefisien determinasi 1 atau 100%. Berarti bahwa X1 dan X2 dapat menjelaskan Y sebesar 100% dan bermakna tidak dipengaruhi oleh faktor lain.
- ✓ Tabel ANOVA Nilai F-hitung adalah 2.77349383946006E+30 dengan taraf signifikan 1.26555827396492E-90. Nilai sigifikan < 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh yang signifikan antara variable X1, X2 dan Y. Tingkat kepercayaan 95%,  $\alpha = 0,05$ .
- ✓ Nilai t Stat = nilai t hitung. Nilai P-value X1 nilai Siginifikansinya 2.29806359376619E-90, < 0,05. Variabel X1 mempengaruhi Y.
- ✓ Nilai P-value X2 nilai Siginifikansinya 0.602994637683216 > 0,05. Variabel X2 tidak signifikan mempengaruhi Y.
- ✓ Uji-t parsial pada tabel ke-3 digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel tak bebasnya secara parsial. Menunjukkan nilai Coefficients pada Intercept 1.61391994129048E-10, nilai X1 = 1.09 dan nilai X2 = 4.31928127861497E-16. Berdasarkan hasil yang terdapat dalam tabel di atas, maka dapat dibentuk suatu persamaan regresi linier berganda, yaitu:

$$Y = 1.61391994129048E-10 + 1.09X1 + 4.31928127861497E-16X2$$

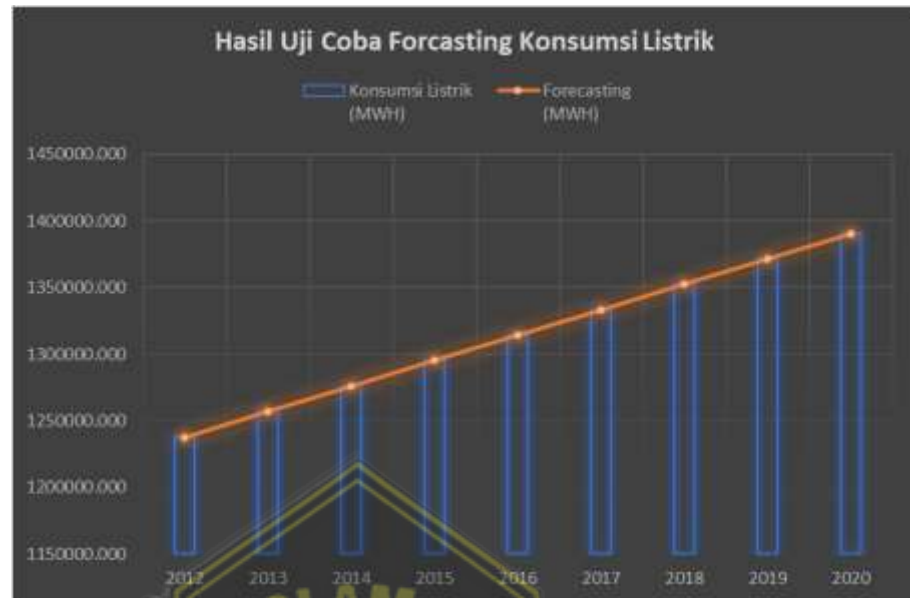
➤ **Uji Coba Forecasting Regresi Linier Berganda**

Uji coba forecasting Jumlah Penduduk (X1), Volume Sampah (X2) dan Konsumsi Listrik (Y) yang diramalkan dilakukan untuk melihat peramalan pada tahun tersebut menggunakan regresi linier berganda seberapa besar error yang terjadi dengan persamaan  $Y = 1.61391994129048E-10 + 1.09X1 + 4.31928127861497E-16X2$ . Uji dilakukan untuk data tahun 2012-2020 karena tahun 2021 terjadi kejadian luar biasa yang menyebabkan penurunan yang signifikan pada jumlah penduduk. Hasil perhitungan seperti pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Nilai MAPE (rata-rata error)

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Volume Sampah (Ton/Tahun)	Konsumsi Listrik (MWH)	Forecasting (MWH)	MAPE
	x1	x2	y	y'	%
2012	1135628	143900	1237834.52	1237834.52	0
2013	1153321	145162	1257119.89	1257120.98	0
2014	1170785	147368	1276155.65	1276155.65	0
2015	1188289	150316	1295235.01	1295235.01	0
2016	1205800	150277.8	1314322	1314322	0
2017	1223198	151188	1333285.82	1333285.82	0
2018	1240600	199892.25	1352254	1352254	0
2019	1257912	146029.2	1371124.08	1371124.08	0
2020	1275182	254419.6	1389948.38	1389948.38	0
rata-rata error :					0

Tabel menunjukkan uji *forecasting* dengan nilai rata-rata error / MAPE sebesar 0%. Artinya antara peramalan dan konsumsi listrik tahun 2012-2020 sama atau sesuai. Dapat dilihat grafiknya di Gambar 4.1:



**Gambar 4.1** Grafik Uji Forecasting Konsumsi Listrik

Grafik pada Gambar 4.1 yang dihasilkan berbanding lurus antara konsumsi listrik dan *forecasting*.

#### 4.1.2 Forecasting Jumlah Penduduk

Uji coba *forecasting* jumlah penduduk (Y) terhadap tahun (X) menggunakan regresi sederhana karena hanya ada satu variabel seperti pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Data Regresi Penduduk terhadap Tahun

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
x	y
2012	1135628
2013	1153321
2014	1170785
2015	1188289
2016	1205800
2017	1223198
2018	1240600
2019	1257912
2020	1275182

Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan nilai persamaan Y dan eror yang dihasilkan. Uji statistik dapat dilihat pada Tabel:

**Tabel 4.6** Regresi Penduduk terhadap Tahun

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.999995417
R Square	0.999990835
Adjusted R Squar	0.999989525
Standard Error	154.5985277
Observations	9

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	18253680913	18253680913	763729.8186	6.78381E-19
Residual	7	167304,9333	23900.70476		
Total	8	18253848218			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-33957705.8	40236.53855	-843.9519656	8.6604E-19	-34052850.09	-33862561.51	-34052850.09	-33862561.51
x	17442.13333	19.9585841	873.9163682	6.78381E-19	17394.93878	17489.32789	17394.93878	17489.32789

Hasil Tabel 4.6 menunjukkan nilai:

- ✓ Menunjukkan nilai Multiple R = 0.9999. Nilai korelasi antara Jumlah Penduduk (X1), Volume Sampah (X2) dan Konsumsi Listrik (Y) adalah 0.9 termasuk dalam katagori Sangat Kuat.
- ✓ Nilai Adjusted R Square = 0.99. Nilai koefisien determinasi 0.99 atau 99%. Berarti bahwa X1 dan X2 dapat menjelaskan Y sebesar 99,99% dan 0.01% dipengaruhi oleh faktor lain.
- ✓ Tabel ANOVA Nilai F-hitung adalah 763729.81 dengan taraf signifikan 6.78381040948239E-19. Nilai sigifikan < 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh yang signifikan antara variable X dan Y. Tingkat kepercayaan 95%,  $\alpha = 0,05$ .
- ✓ Nilai t Stat = nilai t hitung. Nilai P-value X nilai Siginfikansinya 6.78381040948239E-19, < 0,05. Variabel X mempengaruhi Y.
- ✓ Uji-t parsial pada tabel ke-3 digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel tak bebasnya secara parsial. Menunjukkan nilai Coefficients pada Intercept -33957705.8, nilai X = 17442.133. Berdasarkan hasil yang terdapat dalam tabel di

atas, maka dapat dibentuk suatu persamaan regresi linier berganda, yaitu:

$$Y = -33957705.8 + 17442.133X$$

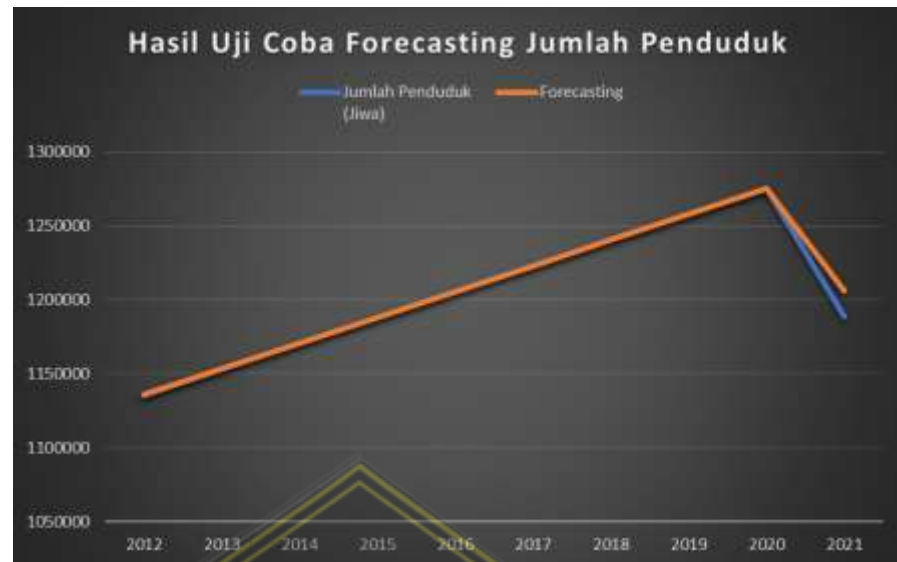
➤ Uji Coba Forecasting Jumlah Penduduk 2012-2021

Uji coba forecasting Tahun (X), Jumlah Penduduk (Y) yang diramalkan dilakukan untuk melihat peramalan pada tahun tersebut menggunakan persamaan  $Y = -33957705.8 + 17442.133333333333X$ . Uji dilakukan untuk data tahun 2012-2021. Sehingga dapat dilakukan perhitungan error dari jumlah penduduk dengan peramalan. Hasil perhitungan seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 MAPE (rata-rata error) Jumlah Penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Forecasting		
x	y	y'	error	error(%)
2012	1135628	1135866	238	0.0209576
2013	1153321	1153309	12	0.0010405
2014	1170785	1170751	34	0.002904
2015	1188289	1188193	96	0.0080788
2016	1205800	1205635	165	0.0136839
2017	1223198	1223077	121	0.0098921
2018	1240600	1240519	81	0.0065291
2019	1257912	1257961	49	0.0038953
2020	1275182	1275404	222	0.0174093
2021	1188510	1206174	17664	1.4862307
Rata-rata error				0.1570621

Tabel 4.7 menunjukkan pada jumlah penduduk terhadap tahun dengan perbandingan hasil peramalan memiliki MAPE atau rata-rata error sebesar 0.157%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.2.



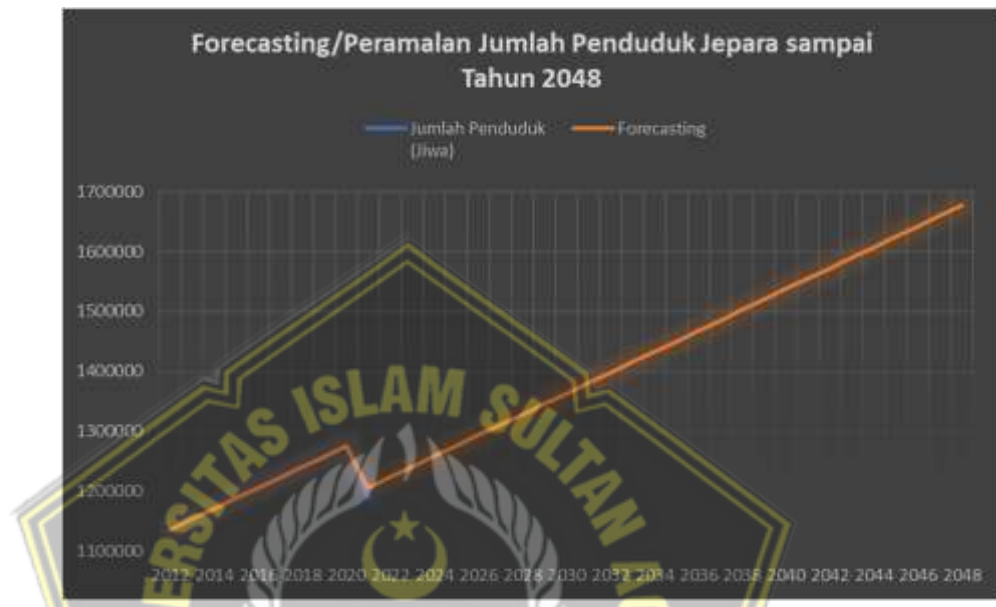
**Gambar 4.2** Grafik Uji *forecasting* Jumlah Penduduk

Gambar 4.2 hasil uji coba *forecasting* jumlah penduduk tahun 2012-2021 menarik garis lurus. Hanya ada sedikit perbedaan pada tahun 2020 dan 2021. Perhitungan eror yang kecil maka bisa dilakukan *forecasting* untuk 25 tahun ke depan. Hasil bisa dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil *forecasting* Jumlah penduduk 2022-2048

Tahun	Forecasting Jumlah Penduduk	Tahun	Forecasting Jumlah Penduduk
2022	1223616	2035	1450364
2023	1241058	2036	1467806
2024	1258500	2037	1485248
2025	1275942	2038	1502690
2026	1293384	2039	1520132
2027	1310826	2040	1537574
2028	1328269	2041	1555016
2029	1345711	2042	1572458
2030	1363153	2043	1589901
2031	1380595	2044	1607343
2032	1398037	2045	1624785
2033	1415479	2046	1642227
2034	1432921	2047	1659669
		2048	1677111

Tabel 4.8 menunjukkan terjadi peningkatan jumlah penduduk dari tahun 2022-2048. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik forecasting Jumlah penduduk 2022-2048

Gambar 4.3 menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dari tahun ke tahun untuk jumlah penduduk di Kabupaten Jepara.

#### 4.1.3 Forecasting Jumlah Konsumsi Listrik

Uji statistik Jumlah penduduk (X) terhadap konsumsi listrik (Y) menggunakan regresi sederhana karena hanya ada satu variabel seperti pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Data Regresi Konsumsi Listrik terhadap Jumlah Penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Konsumsi Listrik (MWH)
	x	y
2012	1135628	1237834,520
2013	1153321	1257119,890
2014	1170785	1276155,650
2015	1188289	1295235,010
2016	1205800	1314322,000
2017	1223198	1333285,820
2018	1240600	1352254,000
2019	1257912	1371124,080
2020	1275182	1389948,380
2021	1188510	1295475,900

Perhitungan Tabel 4.9 analisa regresi linier konsumsi listrik terhadap jumlah penduduk dapat dilihat pada Tabel 4. 10.

**Tabel 4. 10** Regresi konsumsi listrik terhadap Jumlah Penduduk

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	1							
R Square	1							
Adjusted R Squar	1							
Standard Error	6.29792E-11							
Observations	10							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	1	22000983068	22000983068	5.54686E+30	1.1831E-120			
Residual	8	3.17311E-20	3.96638E-21					
Total	9	22000983068						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	0	5.57543E-10	0	1	-1.2857E-09	1.2857E-09	-1.2857E-09	1.2857E-09
x	1.09	4.6281E-16	2.35518E+15	1.1831E-120	1.09	1.09	1.09	1.09

Hasil Tabel 4. 10 menunjukkan nilai :

- ✓ Menunjukkan nilai Multiple R = 1. Nilai korelasi antara Jumlah Penduduk (X), dan Konsumsi Listrik (Y) adalah 1 termasuk dalam kategori Sangat Kuat.
- ✓ Nilai Adjusted R Square = 1. Nilai koefisien determinasi 1 atau 100%. Berarti bahwa X dapat menjelaskan Y sebesar 100% dan bermakna tidak dipengaruhi oleh faktor lain.



- ✓ Tabel ANOVA Nilai F-hitung adalah 5.54686110015261E+30 dengan taraf signifikan 1.18312017334394E-120. Nilai signifikan < 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh yang signifikan antara variable X dan Y. Tingkat kepercayaan 95%,  $\alpha = 0,05$ .
- ✓ Nilai t Stat = nilai t hitung. Nilai P-value X1 nilai Signifikansinya 1.18312017334394E-120, < 0,05. Variabel X mempengaruhi Y.
- ✓ Uji-t parsial pada tabel ke-3 digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel tak bebasnya secara parsial. Menunjukkan nilai Coefficients pada Intercept 0, nilai X = 1.09. Berdasarkan hasil yang terdapat dalam tabel di atas, maka dapat dibentuk suatu persamaan regresi linier berganda, yaitu:

$$Y = 0 + 1.09X$$

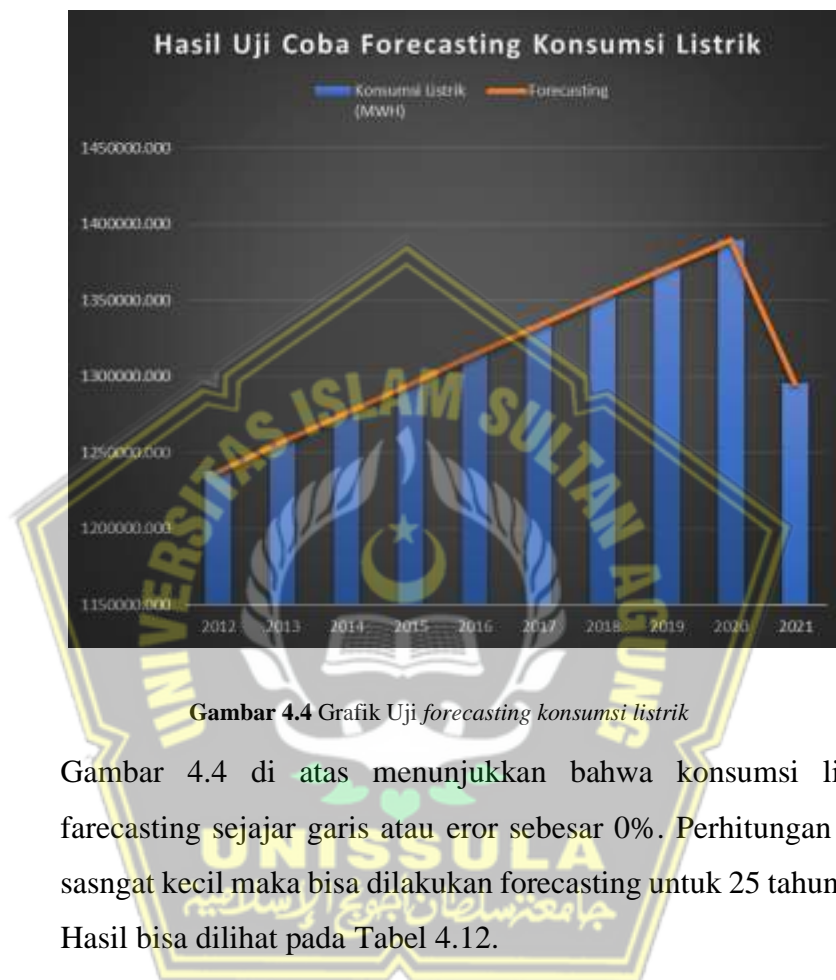
➤ Uji Coba *Forecasting* Konsumsi Listrik

Nilai statistik pada perhitungan sebelumnya dengan nilai  $Y = 0 + 1.09X$  dapat dihitung peramalan untuk tahun 2012-2021, sehingga dapat diketahui eror atau selisih antara konsumsi listrik (Y) dan hasil peramalan (Y'). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 MAPE (rata-rata eror) Konsumsi Listrik

Tahun	Jumlah Penduduk	Konsumsi Listrik	Forecasting		
	(Jiwa)	(MWH)		error	error(%)
	x	y	y'		
2012	1135628	1237834,520	1237834,520	0	0
2013	1153321	1257119,890	1257119,890	0	0
2014	1170785	1276155,650	1276155,650	0	0
2015	1188289	1295235,010	1295235,010	0	0
2016	1205800	1314322,000	1314322,000	0	0
2017	1223198	1333285,820	1333285,820	0	0
2018	1240600	1352254,000	1352254,000	0	0
2019	1257912	1371124,080	1371124,080	0	0
2020	1275182	1389948,380	1389948,380	0	0
2021	1188510	1295475,900	1295475,900	0	0

Tabel 4.11 menunjukkan perhitungan antara data konsumsi listrik dan hasil peramalan tahun 2012-2021 dengan eror sebesar 0%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.4.



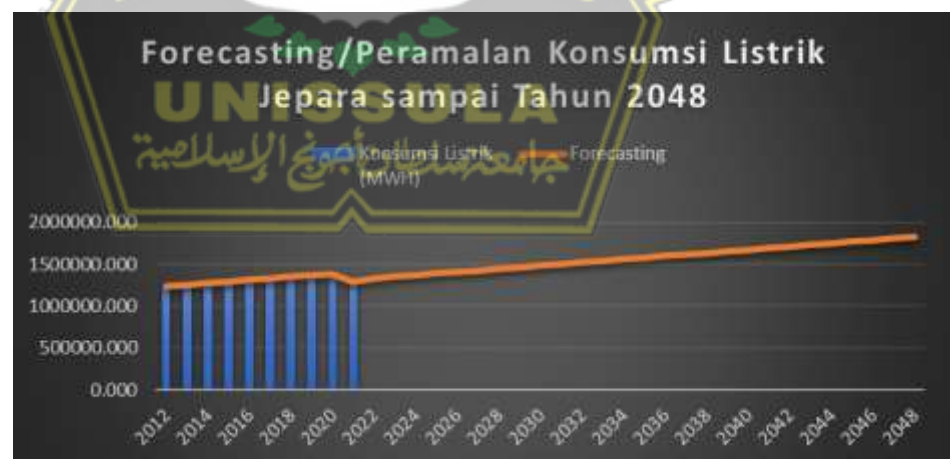
**Gambar 4.4** Grafik Uji forecasting konsumsi listrik

Gambar 4.4 di atas menunjukkan bahwa konsumsi listrik dan forecasting sejajar garis atau eror sebesar 0%. Perhitungan eror yang sangat kecil maka bisa dilakukan forecasting untuk 25 tahun ke depan. Hasil bisa dilihat pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Hasil *forecasting* konsumsi listrik 2022-2048

Tahun	Forecasting Konsumsi Listrik	Tahun	Forecasting Konsumsi Listrik
2022	1333741.44	2035	1580896.76
2023	1352753.22	2036	1599908.54
2024	1371765	2037	1618920.32
2025	1390776.78	2038	1637932.1
2026	1409788.56	2039	1656943.88
2027	1428800.34	2040	1675955.66
2028	1447813.21	2041	1694967.44
2029	1466824.99	2042	1713979.22
2030	1485836.77	2043	1732992.09
2031	1504848.55	2044	1752003.87
2032	1523860.33	2045	1771015.65
2033	1542872.11	2046	1790027.43
2034	1561883.89	2047	1809039.21
		2048	1828050.99

Tabel 4.12 menunjukkan terjadi peningkatan jumlah penduduk dari tahun 2022-2048. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.5.

**Gambar 4.5** Grafik *forecasting* konsumsi listrik 2022-2048

Gambar 4.5 menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dari tahun ke tahun untuk konsumsi listrik di Kabupaten Jepara seimbang dengan pertumbuhan jumlah penduduk.

#### 4.1.4 Forecasting Volume Sampah

Uji statistik Jumlah penduduk (X) terhadap Volume sampah (Y) menggunakan regresi linier seperti pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Data Regresi Volume Sampah terhadap Jumlah Penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Volume Sampah (Ton/Tahun)
	x	y
2012	1135628	143900,000
2013	1153321	145162,000
2014	1170785	147368,000
2015	1188289	150316,000
2016	1205800	150277,800
2017	1223198	151188,000
2018	1240600	199892,250
2019	1257912	146029,200
2020	1275182	254419,600
2021	1188510	251072,550

Perhitungan Tabel 4.13 analisa regresi linier jumlah penduduk terhadap volume sampah dapat dilihat pada Tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Regresi Volume Sampah terhadap Jumlah Penduduk

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.45335772							
R Square	0.205533222							
Adjusted R Square	0.106224875							
Standard Error	42222.09825							
Observations	10							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	1	3689571251	3689571251	2.069646996	0.388205012			
Residual	8	14261644648	1782705581					
Total	9	17951215899						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-363430.375	373784.2916	-0.972299755	0.35937806	-1225378.497	498517.747	-1225378.497	498517.747
x	0.446368363	0.310273916	1.438626774	0.188205012	-0.26912457	1.161861295	-0.26912457	1.161861295

Hasil Tabel 4.14 menunjukkan nilai :

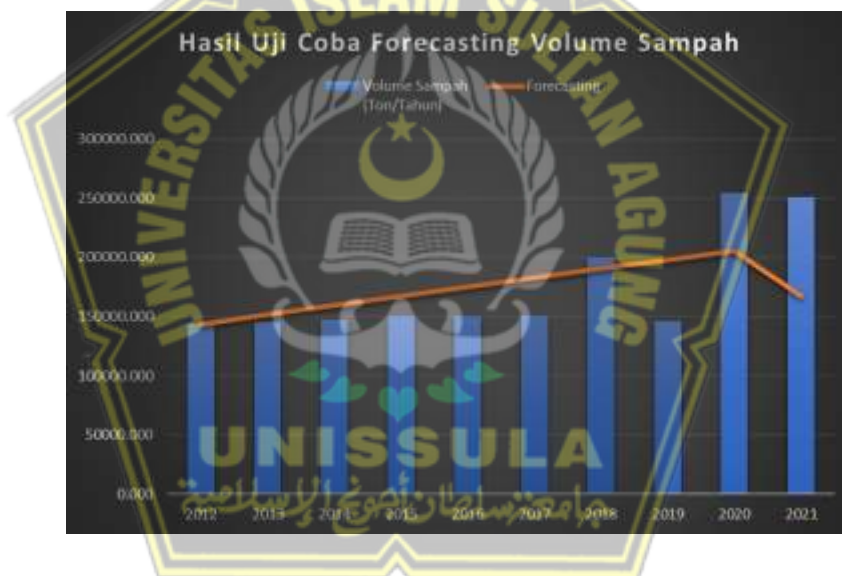
- ✓ Menunjukkan nilai Multiple R = 0.453. Nilai korelasi antara Jumlah Penduduk (X) dan Konsumsi Listrik (Y) adalah 0.453 termasuk dalam katagori Sedang.
- ✓ Nilai Adjusted R Square = 0.106. Nilai koefisien determinasi 0.106 atau 10,6%. Berarti bahwa X dapat menjelaskan Y sebesar 10,6% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.
- ✓ Tabel ANOVA Nilai F-hitung adalah 2.069 dengan taraf signifikan 0.188. Nilai sigifikan > 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak adanya pengaruh yang signifikan antara variable X dan Y. Tingkat kepercayaan 95%,  $\alpha = 0,05$ .
- ✓ Nilai t Stat = nilai t hitung. Nilai P-value X nilai Sigifikansinya 0.188, > 0,05. Variabel X tidak mempengaruhi Y.
- ✓ Uji-t parsial pada tabel ke-3 digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel bebas terhadap variabel tak bebasnya secara parsial. Menunjukkan nilai Coefficients pada Intercept -363430.374972114, nilai X = 0.446368362558316. Berdasarkan hasil yang terdapat dalam tabel di atas, maka dapat dibentuk suatu persamaan regresi linier berganda, yaitu:  

$$Y = -363430.374972114 + 0.446368362558316X$$
- Uji Coba Forecasting Konsumsi Listrik  
 Nilai statistik pada perhitungan sebelumnya dengan nilai  $Y = -363430.374972114 + 0.446368362558316X$  dapat dihitung peramalan untuk tahun 2012-2021, sehingga dapat diketahui eror atau selisih antara volume sampah (Y) dan hasil peramalan (Y'). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.15.

**Tabel 4.15** MAPE (rata-rata error) Volume Sampah

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Volume Sampah (Ton/Tahun)	Forecasting		
	x	y	y'	error	error(%)
2012	1135628	143900,000	143478,036	421,964	0,29
2013	1153321	145162,000	151375,631	6213,631	4,28
2014	1170785	147368,000	159171,008	11803,008	8,01
2015	1188289	150316,000	166984,24	16668,240	11,09
2016	1205800	150277,800	174800,597	24522,797	16,32
2017	1223198	151188,000	182566,513	31378,513	20,75
2018	1240600	199892,250	190334,216	9558,034	4,78
2019	1257912	146029,200	198061,745	52032,545	35,63
2020	1275182	254419,600	205770,526	48649,074	19,12
2021	1188510	251072,550	167082,888	83989,662	33,45
				error rata-rata :	15,37

Tabel 4.15 menunjukkan perhitungan antara data konsumsi listrik dan hasil peramalan tahun 2012-2021 dengan error sebesar 15,37%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.6.

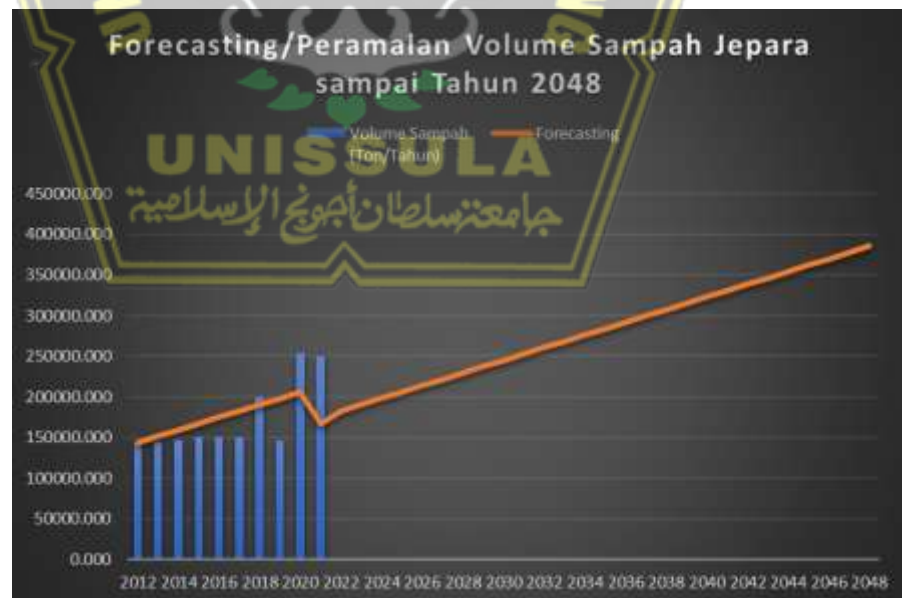
**Gambar 4.6** Grafik Uji *forecasting* Volume Sampah

Gambar 4.6 di atas menunjukkan bahwa konsumsi listrik dan *forecasting* sejajar garis atau error sebesar 15,37%. Perhitungan error yang kecil maka bisa dilakukan *forecasting* untuk 25 tahun ke depan. Hasil bisa dilihat pada Tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Hasil *forecasting* Volume Sampah 2022-2048

Tahun	Forecasting Volume Sampah	Tahun	Forecasting Volume Sampah
2022	182753.0953	2035	283966.2288
2023	190538.6523	2036	291751.7858
2024	198324.2093	2037	299537.3428
2025	206109.7663	2038	307322.8998
2026	213895.3233	2039	315108.4567
2027	221680.8802	2040	322894.0137
2028	229466.8836	2041	330679.5707
2029	237252.4406	2042	338465.1277
2030	245037.9976	2043	346251.131
2031	252823.5545	2044	354036.688
2032	260609.1115	2045	361822.245
2033	268394.6685	2046	369607.802
2034	276180.2255	2047	377393.3589
		2048	385178.9159

Tabel 4.16 menunjukkan terjadi peningkatan jumlah penduduk dari tahun 2022-2048. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.7.

**Gambar 4.7** Grafik *forecasting* Volume Sampah 2022-2048

Gambar 4.7 menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dari tahun ke tahun untuk volume sampah di Kabupaten Jepara.

#### 4.1.5 Analisa Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan

Perhitungan dilakukan untuk melihat berapa potensi energi listrik yang dihasilkan dari sampah di Kabupaten Jepara. Tidak semua jenis sampah bisa diolah dengan cara insenerasi. Hanya sampai organik yang akan diolah. Sampah yang di hasilkan di Jepara hanya 25% saja untuk jenis organik.

Tahun 2012 volume sampah 143,900 Ton/tahun = 394,247 kg/hari. Sampah organik saja (25% dari volume sampah) = 98,562 kg/hari = 4,107 kg/jam.

- Menghitung panas pembakaran di ruang bakar dengan persamaan (2.32). Total nilai kalor sampah organik adalah 674,57 Kkal/kg = 161,1 KJ/kg.

$$Q_f = M \text{ sampah} \times CV \text{ sampah}$$

$$Q_f = 4,107 \text{ kg/jam} \times 161,1 \text{ KJ/kg}$$

$$= 661,595 \text{ KJ/jam}$$

- Menghitung laju panas keluaran dari incinerator dengan persamaan (2.34):

$$Q = \eta \times Q_f$$

$$Q = 0,8 \times 661,595 \text{ KJ/jam}$$

$$= 529,276 \text{ KJ/jam}$$

- Menghitung laju aliran masa uap dengan persamaan (2.35)

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1}$$

$$M = \frac{529,276 \text{ KJ/jam}}{2637,6 - 125,8}$$

$$= 210,72 \text{ Kg/Jam}$$

- Menghitung daya yang dihasilkan generator sesuai persamaan (2.36)



$$\begin{aligned}
 N_{\text{efektif}} &= W_t \times M \\
 &= 210,72 \text{ Kg/Jam} \times 673.82 \\
 &= 141984,54 \text{ KJ/Jam} \times 0,27777777778 \text{ Watt} \\
 &= 39.440,15 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Menghitung daya yang telah dibangkitkan generator untuk efisiensi generator adalah 90% dengan persamaan (2.37).

$$\begin{aligned}
 P_{\text{generator}} &= N_{\text{efektif}} \times \eta_{\text{generator}} \\
 &= 39.440,15 \text{ Watt} \times 90\% \\
 &= 35.496,14 \text{ Watt/ Jam} \\
 &= 35.496,14 \text{ Watt/ Jam} \times 24 \text{ (jam)} \times 365 \text{ (hari)} \times 1000 \text{ (MW)} \\
 &= 310.946,15 \text{ MW/tahun}
 \end{aligned}$$

Dapat disimpulkan pada tahun 2012 dengan jumlah sampah organik 98,562 kg/hari dapat menghasilkan energi listrik sebesar 310.946,15 MW/tahun.

Perhitungan potensi energi listrik dari tahun 2013-2048 dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Potensi Energi Listrik 2012-2048

Tahun	Volume sampah ton/tahun	Volume sampah kg/hari	Jenis Sampah organik / hari 25.00%	Jenis Sampah organik /jam 25.00%	Potensi energi listrik MW/tahun
2012	143,900	394,247	98,562	4,107	310946.1471
2013	145,162	397,704	99,426	4,143	313673.1384
2014	147,368	403,748	100,937	4,206	318439.9709
2015	150,316	411,825	102,956	4,290	324810.1533
2016	150,278	411,720	102,930	4,289	324727.6088
2017	151,188	414,214	103,553	4,315	326694.4134
2018	199,892	547,650	136,913	5,705	431936.9352
2019	146,029	400,080	100,020	4,168	315547.0265
2020	254,420	697,040	174,260	7,261	549762.2959
2021	251,073	687,870	171,968	7,165	542529.8268
2022	182,753	500,693	125,173	5,216	394901.8129
2023	190,539	522,024	130,506	5,438	411725.2246
2024	198,324	543,354	135,838	5,660	428548.6363
2025	206,110	564,684	141,171	5,882	445372.0481
2026	213,895	586,015	146,504	6,104	462195.4598
2027	221,681	607,345	151,836	6,327	479018.8715
2028	229,467	628,676	157,169	6,549	495843.2477
2029	237,252	650,007	162,502	6,771	512666.6595
2030	245,038	671,337	167,834	6,993	529490.0712
2031	252,824	692,667	173,167	7,215	546313.4829
2032	260,609	713,998	178,499	7,437	563136.8946
2033	268,395	735,328	183,832	7,660	579960.3063
2034	276,180	756,658	189,165	7,882	596783.7181
2035	283,966	777,990	194,497	8,104	613608.0943
2036	291,752	799,320	199,830	8,326	630431.506
2037	299,537	820,650	205,163	8,548	647254.9177
2038	307,323	841,981	210,495	8,771	664078.3295
2039	315,108	863,311	215,828	8,993	680901.7412
2040	322,894	884,641	221,160	9,215	697725.1529
2041	330,680	905,971	226,493	9,437	714548.5646
2042	338,465	927,302	231,825	9,659	731371.9763
2043	346,251	948,633	237,158	9,882	748196.3526
2044	354,037	969,964	242,491	10,104	765019.7643
2045	361,822	991,294	247,823	10,326	781843.176
2046	369,608	1,012,624	253,156	10,548	798666.5877
2047	377,393	1,033,954	258,489	10,770	815489.9995
2048	385,179	1,055,285	263,821	10,993	832313.4112

Tabel 4.17 menunjukkan jumlah sampah yang dihasilkan dari tahun 2012-2048 dan diambil untuk sampah organiknya saja untuk di proses secara insenerasi. Detail tabel perhitungan ada di lampiran.

#### 4.1.6 Analisa Akhir

Analisa akhir dilakukan untuk melihat berapa % potensi energi listrik yang dihasilkan dari sampah organik di Kabupaten Jepara dari tahun 2012-2048. Data dapat dilihat pada Tabel 4.18. Menurut table tersebut sampai akhir tahun 2048 potensi energi listrik yang dihasilkan hanya dapat mensupport 45% saja dari kebutuhan atau konsumsi listrik di Kabupaten Jepara. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Perbandingan konsumsi listrik dan Energi yang dihasilkan

**Tabel 4.18** Perbandingan konsumsi listrik dan Energi yang dihasilkan

Tahun	Konsumsi Listrik KWH/tahun	Prediksi Konsumsi Listrik	Prediksi Listrik yang dihasilkan oleh sampah	%
2012	1,237,835		310,946.15	25.12%
2013	1,257,120		313,673.14	24.95%
2014	1,276,156		318,439.97	24.95%
2015	1,295,235		324,810.15	25.08%
2016	1,314,322		324,727.61	24.71%
2017	1,333,286		326,694.41	24.50%
2018	1,352,254		431,936.94	31.94%
2019	1,371,124		315,547.03	23.01%
2020	1,389,948		549,762.30	39.55%
2021	1,295,476	1,295,476	542,529.83	41.88%
2022		1,333,741	394,901.81	29.61%
2023		1,352,753	411,725.22	30.44%
2024		1,371,765	428,548.64	31.24%
2025		1,390,777	445,372.05	32.02%
2026		1,409,789	462,195.46	32.78%
2027		1,428,800	479,018.87	33.53%
2028		1,447,813	495,843.25	34.25%
2029		1,466,825	512,666.66	34.95%
2030		1,485,837	529,490.07	35.64%
2031		1,504,849	546,313.48	36.30%
2032		1,523,860	563,136.89	36.95%
2033		1,542,872	579,960.31	37.59%
2034		1,561,884	596,783.72	38.21%
2035		1,580,897	613,608.09	38.81%
2036		1,599,909	630,431.51	39.40%
2037		1,618,920	647,254.92	39.98%
2038		1,637,932	664,078.33	40.54%
2039		1,656,944	680,901.74	41.09%
2040		1,675,956	697,725.15	41.63%
2041		1,694,967	714,548.56	42.16%
2042		1,713,979	731,371.98	42.67%
2043		1,732,992	748,196.35	43.17%
2044		1,752,004	765,019.76	43.67%
2045		1,771,016	781,843.18	44.15%
2046		1,790,027	798,666.59	44.62%
2047		1,809,039	815,490.00	45.08%
2048		1,828,051	832,313.41	45.53%

Min	23.01%
Max	45.53%
Average	35.72%

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Hasil analisa dan pembahasan dalam penelitian menggunakan metode *Regresi Linier Berganda* pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Regresi Linier Berganda* dapat melakukan proses peramalan terhadap potensi PLTSA di Kabupaten Jepara dengan tiga variabel Jumlah Penduduk (X1), Volume sampah (X2) dan konsumsi Listrik (Y) memiliki MAPE sebesar 0%
2. Berdasarkan nilai Signifikansinya variabel X1 mempengaruhi Y, tetapi variabel X2 tidak signifikan mempengaruhi Y.
3. Peramalan jumlah penduduk memiliki tingkat eror cukup kecil sebesar 0,15% yang artinya kemampuan model peramalan cukup baik.
4. Peramalan volume sampah menggunakan memiliki tingkat eror sebesar 15,37% yang artinya kemampuan model peramalan baik.
5. Peramalan konsumsi listrik memiliki tingkat eror sebesar 0% yang artinya kemampuan model sangat baik.
6. Pemanfaatan sampah organik dengan menggunakan teknologi pembakaran langsung atau insinerasi mampu menghasilkan daya keluaran dari generator dalam 25 tahun (2022-2048) maksimal hanya dapat mensupport rata-rata 35,72% dari konsumsi listrik di Kabupaten Jepara .

#### 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah disampaikan, maka saran peneliti adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan masukan data variabel yang lebih banyak untuk mendapatkan akurasi lebih tinggi.
2. Pemilihan model khusus prediksi untuk mendapatkan eror yang lebih kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Safruddin *et al.*, *RUKN Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019-2038*. Jakarta Selatan: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019.
- [2] H. Khan, I. Khan, and T. T. Binh, "The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 859–867, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.04.002.
- [3] "Pertamina Energy Outlook 2020," in *Pertamina Energy Institute*, Jakarta: Pertamina Energy Institute, 2020.
- [4] E. Di *et al.*, "ANDASIH Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan," 2020.
- [5] D. G. Cendrawati *et al.*, "POTENSI ENERGI ANGIN DI KABUPATEN SERDANG BEDAGAI, PROVINSI SUMATERA UTARA THE WIND ENERGY POTENCY IN SERDANG BEDAGAI, NORTH SUMATERA," *Juni*, vol. 14, no. 1, pp. 15–28, 2015.
- [6] A. Leopold *et al.*, "INTENSITAS ENERGI DAN CO 2 SERTA ENERGY PAYBACK TIME PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO DAN MIKROHIDRO ENERGY AND CO 2 INTENSITY AND ENERGY PAYBACK TIME ON MICRO AND MINI-HYDRO POWER PLANT," 2016.
- [7] A. N. Persia, "STUDI TENTANG CADANGAN PENYANGGA MINYAK (CPM) UNTUK MEWUJUDKAN KETAHANAN ENERGI INDONESIA," 2018.
- [8] J. A. Silitonga, P. Widodo, and I. Ahmad, "ANALISIS KEBIJAKAN BIODIESEL B-20 SEBAGAI BAHAN BAKAR NABATI DALAM MENDUKUNG KETAHANAN ENERGI DI INDONESIA BIODIESEL B20's POLICY ANALYZES AS A PART OF THE INDONESIA BIOFUEL IN SUPPORTING OF THE INDONESIA GOVERNMENT ENERGY SECURITY PROGRAM IN INDONESIA," 2020.
- [9] "World Energy Outlook 2020. Retrieved from Internasional Energi Agency (IEA)," *Internasional Energi Agency (IEA)*, May 04, 2021.
- [10] D. Yang, D. Liu, A. Huang, J. Lin, and L. Xu, "Critical transformation pathways and socio-environmental benefits of energy substitution using a LEAP scenario modeling," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, p. 110116, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110116.
- [11] T. Azirudin, B. Penelitian, P. Daerah, K. Pelalawan, K. Perkantoran, and B. Praja, "POTENSI ENERGI ANGIN DI ATAS BANGUNAN BERTINGKAT DI PANGKALAN KERINCI, KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU," 2019.

- [12] Suparmoko, *Ekonomika Lingkungan*. Yogyakarta: BPFE Yogyakarta, 2000.
- [13] M. F. Rozi, N. Adi Sasongko, and Y. Dwi Kuntjoro, "UTILIZING THE POTENTIAL OF SOLAR POWER GENERATION IN SOEKARNO-HATTA INTERNATIONAL AIRPORT TO SUPPORT ENERGY SECURITY," 2020.
- [14] A. Biaya Manfaat, E. Razak Kurniawan, I. Supriyadi, and N. Adi Sasongko, "BENEFIT COST ANALYSIS OF SOLAR ENERGY FOR SUPPORTING ENERGY SUPPLY ON INTEGRATED COLD STORAGE IN SABANG CITY OF SKPT," 2018. [Online]. Available: <http://rrisabang.blogspot.co.id/2014/09/tak->
- [15] R. Suhada and D. Al-Mahdy, "ANALISIS POTENSI SAMPAH SEBAGAI SUMBER ENERGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH DAN PRODUK KREATIF UNTUK Mendukung PARIWISATA (STUDI KASUS DI KEPULAUAN SERIBU)," Yogyakarta.
- [16] Kementerian Negara Lingkungan Hidup, *Panduan Valuasi Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. Jakarta: Kantor Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2007.
- [17] Safira Fegi Nisrina, "Prediksi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Berbasis Penduduk menggunakan Hybrid Jaringan Syaraf Tiruan dan Regresi Linier," Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, 2020.
- [18] M. Haddin and A. Marwanto, "Potential Solar and Wind Energy Forecasting for Capital City Using Neural network," 2022. [Online]. Available: [www.ijiset.com](http://www.ijiset.com)
- [19] N. P. Miefthawati, S. Afriani, and G. Saputra, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Kota Pekanbaru," *SENTER*, pp. 452–461, Mar. 2020.
- [20] Andri S. Firdaus Sihite, "STUDI PENGOLAHAN SAMPAH UNTUK BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH MINI DI KAWASAN MEDAN SUNGGAL," Universitas Sumatera Utara Medan, Medan, 2018.
- [21] Y. Rezaeisabzevar, A. Bazargan, and B. Zohourian, "Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 93, pp. 170–184, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.jes.2020.02.030.
- [22] S. N. Shorabeh, N. N. Samany, F. Minaei, H. K. Firozjaei, M. Homaei, and A. D. Bolorani, "A decision model based on decision tree and particle swarm optimization algorithms to identify optimal locations for solar power plants construction in Iran," *Renew Energy*, vol. 187, pp. 56–67, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.renene.2022.01.011.
- [23] R. Ikhsan and Syukriyadin, "Studi kelayakan pembangunan PLTSa di Banda Aceh," *Seminar Nasioanl dan Expo Teknik Elektro*, Aug. 2014.

- [24] Suharyati, S. Hesti Pambudi, J. Lastiko Wibowo, and N. Indah Pratiwi, *Outlook Energi Indonesia 2019*. Jakarta: Dewan Energi Nasional, 2019.
- [25] KHOLLIS DINANA, M. Sc. , Ph. D. Ir. Mohammad Fahrurrozi, and M. Eng. Sc. , Ph. D. Ir. Agus Prasetya, “KAJIAN TEKNO EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH TPA PIYUNGAN PROVINSI DIY,” Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [26] T. Huda, A. Preccilia Amor, Y. Tonce, and K. Priyanto, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Pada TPA Sambutan Kota Samarinda,” 2019.
- [27] Bimo Bagaskoro, Jaka Windarta, and Denis, “PERANCANGAN DAN ANALISIS EKONOMI TEKNIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM OFFGRID MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK HOMER DI KAWASAN WISATA PANTAI PULAU CEMARA,” *TRANSIENT*, vol. 8, no. 2, Jun. 2019.
- [28] F. Yilmaz, M. Ozturk, and R. Selbas, “Modeling and design of the new combined double-flash and binary geothermal power plant for multigeneration purposes; thermodynamic analysis,” *Int J Hydrogen Energy*, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.09.180.
- [29] H. M. Mahmudul, D. Akbar, M. G. Rasul, R. Narayanan, and M. Mofijur, “Estimation of the sustainable production of gaseous biofuels, generation of electricity, and reduction of greenhouse gas emissions using food waste in anaerobic digesters,” *Fuel*, vol. 310, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2021.122346.
- [30] R. C. de Brito, R. M. Barros, I. F. S. dos Santos, G. L. Tiago Filho, and S. P. G. da Silva, “Municipal solid waste management and economic feasibility for electricity generation from landfill gas and anaerobic reactors in a Brazilian state,” *Environ Technol Innov*, vol. 22, May 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101453.
- [31] S. Hadiwijoto, “Penanganan dan Pemanfaatan Sampah. Penerbit Yayasan Idayu.” Jakarta, 1983.
- [32] B. S. Nasional, “Standar Nasional Indonesia (SNI) S.” p. 04 – 1991 – 03, 1991.
- [33] Damanhuri, *Diktat Kuliah TL-3104 Pengelolaan Sampah*. Institut Teknologi Bandung, 2010.
- [34] D. dan S. Murtadho and E.G., *Penanganan Pemanfaatan Limbah Padat*. Jakarta: Sarana, 1988.
- [35] S. Hadiwijoto, “Penanganan dan Pemanfaatan Sampah. Penerbit Yayasan Idayu.” Jakarta, 1983.
- [36] A. Azwar, *Pengantar Ilmu Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Yayasan Mutiara, 1990.
- [37] " Hak, C. Badan, and S. Nasional, “Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Tata cara teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan,” 2002.
- [38] “Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste.” 2000.



- [39] T. H. Christensen and P. Kjeldsen, "Landfill emissions and environmental impact: An Introduction," *SEMANTIC SCHOLAR*. 1995.
- [40] Enri Damanhuri and Tri Padmi, "Pengangkutan Sampah," in *Diktat Kuliah Pengolahan Sampah TL-3104*, in *Diktat Kuliah Pengolahan Sampah TL-3104*, vol. 3104, 2010, pp. 1–7.
- [41] S. Prasajo, "Analisis Biaya Manfaat Sosial pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Gede Bage dengan Menggunakan berbagai Skenario Efisiensi Air Pollution Control," Surakarta, 2019.
- [42] D. G. E. European Commission, "A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste." 2000.
- [43] A. S. , LATief, "Manfaat Dan Dampak Penggunaan Insinerator Terhadap Lingkungan," *Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang*,. *Jurnal Teknis*, vol. 5, pp. 20–22, 2012.
- [44] A. Budiman, "Modifikasi Desain dan Uji Unjuk Kerja Alat Pembakar Sampah (Incinerator) Tipe Batch," *Bogor Agricultural university (IPB)*, 2001.
- [45] M. Yuliani, "INSINERASI UNTUK PENGOLAHAN SAMPAH KOTA," *JRL*, vol. 9, no. 2, Dec. 2016.
- [46] "Modul Pelatihan Teknologi Wte Termal Insinerasi," *Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan*, vol. 9, 2018.
- [47] "Incineration," <http://www.pollutionissues.com/>, 2009. <http://www.pollutionissues.com/> (accessed Mar. 02, 2023).
- [48] P. Gunadis, "Rasionalitas Reformasi Administrasi Perpajakan," *Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia . Bisnis Indonesia* , Jakarta, Mar. 13, 2004.
- [49] D. A. Vallero, "Hazardous Wastes," in *Waste*, Elsevier, 2019, pp. 585–630. doi: 10.1016/B978-0-12-815060-3.00031-1.
- [50] E. Damanhuri, "Pengangkutan Sampah," in *Diktat Kuliah Pengolahan Sampah TL-3104*, *Diktat Kuliah*, vol. 3104. pp. 1–7, 2010.
- [51] F. Faridha, B. Pirngadie, and N. Konitat Supriatna, "POTENSI PEMANFAATAN SAMPAH MENJADI LISTRIK DI TPA CILOWONG KOTA SERANG PROVINSI BANTEN THE, POTENCY OF USING WASTE TO GENERATE ELECTRICITY IN TPA CILOWONG, SERANG BANTEN," vol. 14. pp. 103–116, 2015.
- [52] "BADan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah," *jateng.bps.go.id*, Jun. 2022.
- [53] S. Anwar, "Timbunan Sampah di Jepara Didominasi Plastik," <https://radarkudus.jawapos.com/>, Dec. 31, 2021. <https://radarkudus.jawapos.com/jepara/31/12/2021/timbunan-sampah-di-jepara-didominasi-plastik/> (accessed Mar. 05, 2023).
- [54] M. S. Prof. Dr. Suyono, *Analisis Regresi untuk Penelitian*, 1st ed., vol. 1. Yogyakarta: Deepublish, 2015.

- [55] “MEAN ABSOLUTE PERCENTAGE ERROR (MAPE),” in *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*, Boston, MA: Springer US, 2000, pp. 462–462. doi: 10.1007/1-4020-0612-8\_580.
- [56] R. Samsinar and K. Anwar, “STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH KAPASITAS 115 KW (STUDI KASUS KOTA TEGAL),” *Jurnal Elektum*, vol. 15, no. 2, 2018.
- [57] A. Fernando, “Pemilihan teknologi pengolahan sampah, pembiayaan, dan institusi TPA regional: (studi kasus: Kota Jakarta Barat, Kabupaten dan Kota Tangerang serta Kabupaten Serang),” Universitas Indonesia, Jakarta, 2007.

