



**TUGAS AKHIR TF141581**

**OPTIMISASI DAYA BERDASARKAN LAJU ALIRAN  
BAHAN BAKAR DAN UDARA PADA *GENERATOR SET*  
BIOGAS DENGAN METODE *PARTICLE SWARM*  
*OPTIMIZATION***

SANTIKO LUHUR ANDANA  
NRP. 02311645000038

Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.  
Arief Abdurrakhman, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



**FINAL PROJECT TF141581**

**POWER OPTIMIZATION BASED ON FLOWRATE OF  
FUEL AND AIR ON BIOGAS GENERATOR SET USING  
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD**

SANTIKO LUHUR ANDANA  
NRP. 02311645000038

*Supervisor*

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.  
Arief Abdurrahman, S.T., M.T.

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018*

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Santiko Luhur Andana  
NRP : 02311645000038  
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “OPTIMISASI DAYA BERDASARKAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR DAN UDARA PADA *GENERATOR SET* BIOGAS DENGAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2018  
Yang membuat pernyataan,

Santiko Luhur Andana

**LEMBAR PENGESAHAN**

**OPTIMISASI DAYA BERDASARKAN  
LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR DAN UDARA  
PADA *GENERATOR SET* BIOGAS DENGAN METODE  
*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**SANTIKO LUHUR ANDANA**  
**NRP. 02311645000038**

**Surabaya, 24 Juli 2018**  
**Mengetahui / Menyetujui**

**Pembimbing I**

  
**Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.**  
**NIP. 19690507 199512 1 001**

**Pembimbing II**

  
**Arief Abdurrakhman, S.T., M.T.**  
**NIP. 19870712 201404 1 002**



**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D.**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**

**OPTIMISASI DAYA BERDASARKAN  
LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR DAN UDARA  
PADA *GENERATOR SET* BIOGAS DENGAN METODE  
*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SANTIKO LUHUR ANDANA**

NRP. 02311645000038

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T. ....(Pembimbing I)
2. Arief Abdurrahman, S.T., M.T. ....(Pembimbing II)
3. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. ....(Ketua Penguji)
4. Ir. Ya'umar, M.T. ....(Penguji I)
5. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. ....(Penguji II)

**SURABAYA  
JULI 2018**

**OPTIMISASI DAYA BERDASARKAN  
LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR DAN UDARA  
PADA *GENERATOR SET* BIOGAS DENGAN METODE  
*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

**Nama Mahasiswa** : Santiko Luhur Andana  
**NRP** : 0231165000038  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT  
Arief Abdurrahman, S.T., M.T.

**Abstrak**

*Generator – set* merupakan salah satu alat yang dibutuhkan saat ini ketika sumber listrik konvensional (PLN) sedang terjadi gangguan. Untuk menghasilkan daya listrik yang sesuai dengan keinginan maka harus dilakukan suatu campuran yang sesuai antara bahan bakar dan udara. Daya yang dihasilkan oleh generator set berubah – ubah sesuai *supply* bahan bakar dan udara yang masuk. Dalam tugas akhir ini dilakukan optimisasi daya menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO). PSO merupakan sebuah teknik optimisasi yang berbasis populasi untuk mencari solusi optimal menggunakan populasi dari partikel itu sendiri. Dalam pengukuran *real plant* selama 60 menit dengan rentang pengambilan data 5 menit, laju aliran biogas berada pada rentang 0.029 l/min sampai 0.031 l/min dan laju aliran udara pada rentang 1.136 l/min hingga 1.172 l/min dengan diketahui daya yang mampu dibangkitkan oleh genset adalah 0.6994 kW hingga 0.8998 kW. Untuk hasil optimisasi didapatkan besaran optimum untuk laju aliran biogas adalah 0.031 l/min dan udara sebesar 1.136 l/min dengan daya terbaik yang dihasilkan adalah 1.0287 kW. Untuk hasil perbandingan antara hasil fungsi objektif PSO dengan hasil *real plant* diperoleh rata – rata error sebesar - 0.0461. Error rata-rata yang terjadi pada hasil perbandingan ini masih tergolong kecil dan masih dalam batas kewajaran.

**Kata kunci** : Biogas, *generator - set*, optimisasi, *particle swarm optimization* (PSO)

# **POWER OPTIMIZATION BASED ON FLOW RATE OF FUEL AND AIR ON BIOGAS GENERATOR SET USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD**

**Name** : Santiko Luhur Andana  
**NRP** : 02311645000038  
**Department** : Engineering Physics, FTI – ITS  
**Supervisor 1** : Dr. Bambang L Widjiantoro, ST., MT.  
**Supervisor 2** : Arief Abdurrakhman, ST., MT.

## **Abstract**

*Generator - set is one of the tools needed today when the conventional power source (PLN) is interference. To produce an electric power in accordance with the desire it must be made an appropriate mixture between fuel and air. The power produced by the generator set changes according to the fuel and the air supplied into it. In this final project, power optimization was carried out using the particle swarm optimization (PSO) method. PSO is a population-based optimization technique to find optimal solutions using the population of the particles themselves. In the real plant measurement for 60 minutes with a data collection range of 5 minutes, the biogas flow rate was in the range of 0.029 l / min to 0.031 l / min and the air flow rate in the range of 1.136 l / min to 1.172 l / min with known power that could be generated by genset is 0.6994 kW up to 0.8998 kW. The optimization results obtained optimum results for the biogas flow rate is 0.031 l/min and air is 1.136 l/min with the best power obtained is 1.0287 kW. As for the result of comparison between result of PSO objective function with real plant result obtained average error equal to -0.0461. The average errors that occur in the results of this comparison are still relatively small and still within reasonable limits.*

**Keywords:** *Biogas, generator-set, optimization, particle swarm optimization*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“OPTIMISASI DAYA BERDASARKAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR DAN UDARA PADA *GENERATOR SET* BIOGAS DENGAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*”** dengan tepat waktu. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan dan motivasi kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T. dan Bapak Arief Abdurrahman, S.T., M.T. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dan memberikan banyak ilmu serta pengalaman.
3. Ibu Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Ya'umar, M.T. selaku penguji tugas akhir yang telah memberikan masukan mulai dari seminar proposal hingga sidang tugas akhir
4. Ibu Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. selaku Dosen Wali penulis, terima kasih atas bantuan, arahan, dan nasehat yang telah diberikan.
5. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang telah memfasilitasi mahasiswa tugas akhir khususnya pada bidang minat instrumentasi dan kontrol.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah dan bermanfaat bagi penyelesaian tugas akhir ini dan semoga dapat bermanfaat bagi kehidupan selanjutnya.
7. Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol, serta Laboratorium Fisika Rekayasa yang telah memberikan tempat berdiskusi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

8. Kedua orang tua serta seluruh keluarga penulis yang senantiasa mendukung dan memberikan doa untuk keberlangsungan tugas akhir ini.
9. Rekan – rekan tim biogas yang telah bekerja dan berjuang bersama – sama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
10. Rekan – rekan lintas jalur teknik fisika ITS angkatan 2016 yang telah berjuang bersama selama dua tahun perkuliahan hingga mencapai tahap tugas akhir ini.
11. Rekan - rekan dan pihak – pihak lain yang namanya tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih belum sempurna, untuk itu saran serta kritik yang membangun sangat diharapkan. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi pembacanya.

Demikian laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan harapan dapat bermanfaat dalam akademik baik bagi penulis maupun bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITTLE PAGE</b> .....	ii
<b>PERNYATAN BEBAS PLAGIARISME</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat .....	5
<b>BAB II TEORI PENUNJANG</b>	
2.1 Biogas .....	7
2.2 Pemanfaatan Biogas .....	9
2.3 Generator Set .....	11
2.4 Teori Mesin Pembakaran Dalam .....	12
2.5 Teori Keseimbangan Energi .....	17
2.6 <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	18
2.7 Implementasi PSO .....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	25
3.2 Plant Tugas Akhir .....	26
3.3 Pemodelan Matematis .....	28
3.4 Validasi Fungsi Objektif .....	33
3.5 Perancangan Optimisasi Menggunakan PSO.....	34

3.6 Validasi .....	37
3.7 Analisis Hasil Optimisasi Proses.....	37

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pemilihan Data Training Laju Aliran Biogas dan Laju Aliran Udara pada Plant Generator Set .....	39
4.2 Optimisasi Daya Berdasarkan Laju Aliran Bahan Bakar Biogas dan Udara .....	41
4.3 Pembahasan.....	44

#### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran.....	47

#### **DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN A**

**LAMPIRAN B**

**LAMPIRAN C**

**LAMPIRAN D**

**LAMPIRAN E**

**LAMPIRAN F**

**LAMPIRAN G**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Plant biogas .....	7
Gambar 2.2	<i>Generator – set biogas</i> .....	11
Gambar 2.3	Proses kerja motor otto empat langkah .....	14
Gambar 2.4	Diagram P-V dan T-S ideal motor otto empat langkah .....	15
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> penelitian .....	25
Gambar 3.2	Plant tugas akhir .....	27
Gambar 3.3	PFD plant tugas akhir.....	28
Gambar 3.4	Perbandingan nilai daya hasil optimisasi dengan hasil pengukuran .....	34
Gambar 3.5	<i>Flowchart</i> algoritma PSO.....	35
Gambar 4.1	Grafik laju aliran biogas.....	39
Gambar 4.2	Grafik laju aliran udara .....	40
Gambar 4.3	Grafik daya generator set .....	41
Gambar 4.4	Grafik penunjukan variabel optimisasi untuk fungsi objektif .....	42
Gambar 4.5	Perbandingan nilai fungsi objektif pada PSO dengan hasil pengukuran.....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan Pada Biogas.....	8
Tabel 2.2	Perbandingan Nilai Kalor Biogas .....	9
Tabel 4.1	Perhitungan Error Hasil Validasi .....	44

## DAFTAR NOTASI

$E_{in}$	= Energi yang masuk ke sistem
$E_{out}$	= Energi yang keluar dari sistem
$E_{st}$	= Energi yang terakumulasi dalam system
$Q_{fuel}$	= Kalor yang masuk ke sistem (daya input)
$W_e$	= Daya output
$Q_{exh}$	= Kalor yang keluar melalui cerobong
$Q_{rad}$	= Kalor yang keluar melalui proses radiasi
$\dot{m}_f$	= <i>Mass flow rate</i> bahan bakar (kg/s)
LHV	= <i>Lower Heating Value</i>
$\dot{m}_a$	= <i>Mass flow rate</i> udara (kg/s)
$C_g$	= <i>Average specific heat</i>
$T_g$	= Temperatur cerobong (K)
$T_a$	= Temperatur udara (K)
$T_w$	= Temperatur dinding genset (K)
$\sigma$	= Konstanta Stefan Boltzman ( $J/m^2.K$ )
$\varepsilon$	= Emisitas Bahan
$A_s$	= Luas Penampang ( $m^2$ )
$X$	= posisi partikel
$V$	= kecepatan partikel
$i$	= indeks partikel
$t$	= iterasi ke-t
$N$	= ukuran dimensi ruang
$X_i^L$	= $X_{i1}^L, X_{i2}^L, \dots, X_{iN}^L$ mempresentasikan local best dari partikel ke-i
$X^G$	= $X_{i1}^G, X_{i2}^G, \dots, X_{iN}^G$ mempresentasikan global best dari seluruh kawanan
$c_1$	= <i>learning factor</i>
$c_2$	= <i>learning factor</i>
$r_1$	= bilangan random yang bernilai antara 0 sampai 1
$r_2$	= bilangan random yang bernilai antara 0 sampai 1
$f(x)$	= fungsi objektif
$X^{(B)}$	= batas bawah dari $X$
$X^{(A)}$	= batas atas dari $X$

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi alternatif sangatlah dibutuhkan dalam era globalisasi seperti ini karena energi dari dalam bumi yang ada saat ini jumlahnya sangat terbatas dan semakin lama energi tersebut jumlahnya pasti akan berkurang. Untuk mewujudkan energi alternatif, diperlukan penelitian-penelitian untuk mencari bahan-bahan cocok yang ramah lingkungan dan lebih murah. Sekarang ini ilmuwan-ilmuwan berlomba-lomba untuk mewujudkan energi alternatif sebagai pengganti energi dari dalam bumi yang mulai menurun jumlahnya dan tidak ramah lingkungan. Energi alternatif dapat dimanfaatkan dari berbagai macam aspek dan bahan. Sudah banyak ditemukan energi alternatif dengan harga murah yang memanfaatkan sampah dan kotoran. Selain itu ada juga energi alternatif yang dapat ditemukan dari bahan dari alam yang jumlahnya melimpah. Contoh energi alternatif tersebut adalah biogas.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik seperti kotoran manusia, kotoran ternak, serta daun-daun atau sayuran dalam kondisi anaerob. Komposisi biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik biasanya sekitar 60 - 70 % CH<sub>4</sub>, sekitar 30 – 40 % CO<sub>2</sub>, kurang dari 1 % N<sub>2</sub>, dan sekitar 10 - 2000 ppm H<sub>2</sub>S[1]. Gas metana menjadi unsur primer dan menjadi parameter utama dalam menentukan kualitas sebuah produk biogas. Sehingga biogas yang dihasilkan kurang maksimal bahkan masih mengandung gas H<sub>2</sub>S dan gas CO<sub>2</sub> yang bersifat racun dan korosif yang dapat menyebabkan kerusakan pada generator.

Biogas yang dihasilkan oleh para peternak sapi memiliki potensi yang besar di Indonesia. Pada skala nasional, wilayah Jawa Timur menempati peringkat pertama untuk jumlah populasi sapi perah, sehingga secara linier dapat disimpulkan juga bahwa Jawa Timur menjadi lokasi peternakan sapi yang lebih banyak daripada provinsi yang lain [2]. Dari ribuan peternak sapi di Jawa

Timur, sampai pada bulan Mei 2014 terdapat 6.312 jumlah reaktor biogas atau setara dengan 52.90 % total persentase biogas di seluruh Indonesia [3].

Wilayah Nongkojajar Pasuruan merupakan salah satu penyumbang reaktor terbesar di Jawa Timur. Di daerah ini, komposisi biogasnya masih mengandung gas polutan berupa CO<sub>2</sub> sebesar 26,93% dan H<sub>2</sub>S sebesar 41,76 ppm [4]. Sekarang ini, di daerah tersebut telah dirancang alat yang memiliki efisiensi reduksi kadar H<sub>2</sub>S dalam biogas mencapai 98,24%, yang kandungan awal H<sub>2</sub>S rata-rata sebesar 40,99 ppm tereduksi hingga 0,7 ppm dan efisiensi reduksi CO<sub>2</sub> mencapai 20,68% [5]. Dari jumlah sapi perah yang ada, wilayah ini memiliki potensi energi listrik yang besar, yaitu 17.155 kWh per hari melalui sebuah instalasi biogas yang dilengkapi dengan sebuah generator biogas. Namun pemanfaatan biogas sebagai pembangkit listrik di wilayah ini belum dapat dilakukan secara optimal. Kondisi ini akibat dari tidak adanya sistem purifikasi yang ada pada biogas, disisi lain pengetahuan terhadap kebutuhan *supply* bahan bakar pada *generator set* yang masih rendah serta dari sektor kelistrikan *output generator set* yang masih belum stabil akibat adanya perubahan aliran biogas yang masuk ke dalam genset, sehingga pemanfaatan biogas sebagai pembangkit listrik belum dapat dilakukan secara optimal. Dengan adanya proses purifikasi yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya [6], maka pengimplementasian bahan bakar biogas pada *generator set* sudah dapat dilakukan, sebab kadar H<sub>2</sub>S serta CO<sub>2</sub> sudah tereduksi. Penelitian mengenai purifikasi biogas ini memiliki perbedaan dengan penelitian – penelitian purifikasi biogas pada umumnya. Jika pada umumnya pemurnian biogas menggunakan bahan kimia atau cairan kimia, pada penelitian tersebut hanya digunakan air sebagai media pemecah antara gas metana dengan gas polutan yaitu H<sub>2</sub>S. Walaupun hanya dengan air yang bertekanan, hasil dari purifikasi ini mencapai kadar metana sebesar 65,32%. Namun pada penerapannya purifikasi ini masih harus dikembangkan lebih lanjut, salah satunya yaitu sebuah penelitian

mengenai generator set biogas sebagai lanjutan dari proses purifikasi ini.

Untuk *generator*-set dari biogas ini sendiri juga masih dikembangkan karena pada umumnya bahan bakar biogas bisanya digunakan untuk pengganti minyak tanah untuk memasak. Akan tetapi saat ini tidak sedikit yang sudah menerapkan bahan bakar biogas ke dalam *generator set*. Seperti penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [7]. Dalam penelitian ini didapatkan data berupa model pembuatan konverter dengan variasi laju aliran massa terbaik 0.800 kg/jam dengan ukuran diameter saluran penampang udara masuk pada konverter sebesar 0.3 cm yang dapat menghemat pemakaian bahan bakar biogas mencapai 31% dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar premium. Dalam penelitian tersebut dapat diketahui juga perhitungan untuk performansi *engine* yaitu dari bahan bakar yang dibutuhkan (*fuel consumption*), daya keluaran dari genset, dan SFC (*specific fuel consumption*) yang merupakan jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit daya untuk menghasilkan daya listrik setiap jamnya.

Selain dari penelitian dalam negeri, penelitian mengenai genset biogas ini juga telah diterapkan di luar negeri. Seperti pada penelitian yang dilakukan sebelumnya [8]. Dalam penelitian ini dilakukan analisa mengenai genset berbahan bakar biogas dengan variasi biogas yang belum dipurifikasi dengan biogas yang sudah dipurifikasi. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui pada biogas sebelum dipurifikasi didapatkan laju aliran dengan rata-rata 6.0 m<sup>3</sup>/h dengan konsentrasi metana sebesar 66% dan menghasilkan output generator sebesar 16.9 kW. Sedangkan untuk biogas yang telah dipurifikasi didapatkan laju aliran dengan rata-rata 4.9 m<sup>3</sup>/h dengan konsentrasi metana sebesar 84% dan menghasilkan output generator sebesar 17.12 kW. Dengan adanya data ini dapat diketahui bahwa setelah biogas dipurifikasi dan dijadikan sebagai bahan bakar pada genset dapat menghasilkan power output generator yang lebih tinggi dibandingkan biogas tanpa purifikasi.

Sedangkan untuk metode optimisasi biogas telah banyak dilakukan, diantaranya optimisasi untuk mengurangi kadar  $H_2S$  dalam biogas, optimisasi dalam produksi biogas dan masih banyak lagi. Seperti pada jurnal penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [9]. Dalam penelitian ini dilakukan prediksi model dari produksi biogas yang berasal dari sampah makanan. Penelitian ini menggunakan dua metode dalam perlakuan optimisasinya. Metode yang digunakan adalah LM-BP *Neural Network* dan LM-BP *Particle Swarm Optimization*. Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa setelah pengkombinasian dua metode optimisasi ini didapatkan hasil berupa data prediksi yang menjelaskan bahwa model prediksi yang telah menerapkan LM BP PSO menunjukkan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan LM BP NN. Dalam penelitian ini diketahui hasil kesalahan pengujiannya berkurang 17% setelah penerapan metode LM BP PSO. Penelitian – penelitian inilah nantinya yang akan menjadi acuan untuk pengerjaan tugas akhir ini.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, akan dilakukan pengoptimisasian daya dengan laju aliran bahan bakar pada *generator set* biogas. Kegiatan optimisasi ini dirasa perlu untuk dilakukan karena sebagai langkah untuk mengatur keseimbangan bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang pembakaran dari genset. Jika didalam ruang bakar terisi bahan bakar lebih banyak daripada udara atau yang biasa disebut dengan kondisi kaya bahan bakar akan mengakibatkan penurunan nilai daya yang dihasilkan genset. Begitu pula ketika kondisi udaranya lebih banyak daripada biogas. Maka dari itu dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan optimisasi daya berdasarkan laju aliran bahan bakar dan udara pada generator set menggunakan metode *particle swarm optimization* yang diharapkan akan menjaga stabilitas performansi generator seperti torsi, daya dan tegangan, sehingga dapat menunjukkan *output* yang optimal pada generator dan kebermanfaatannya bagi pengguna biogas. Tugas akhir ini bisa menentukan performansi genset biogas yang paling baik dengan melihat nilai daya dari paduan bahan bakar dengan udara.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang terdapat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana cara untuk melakukan optimisasi daya berdasarkan laju aliran bahan bakar dan udara pada generator set biogas menggunakan metode *particle swarm optimization* ?
- b. Bagaimana hasil yang tepat dan optimal pada optimisasi daya berdasarkan paduan bahan bakar dan udara ?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang ada didapatkan tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan optimisasi daya berdasarkan laju aliran bahan bakar dan udara pada generator set biogas menggunakan metode *particle swarm optimization*.
- b. Memperoleh hasil optimisasi daya berdasarkan paduan bahan bakar dan udara secara tepat dan optimal.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batas ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

- a. Data yang diambil hanya laju aliran biogas, udara dan daya kemudian dilakukan optimasi daya *generator set*
- b. Laju aliran biogas fluktuatif dengan nilai satuan kandungan metan sebesar 65,32%.
- c. Pada tugas akhir ini difokuskan untuk optimisasi proses terhadap daya untuk mendapatkan hasil paduan bahan bakar dan udara yang sesuai saat daya maksimal untuk generator set.

## 1.5 Manfaat

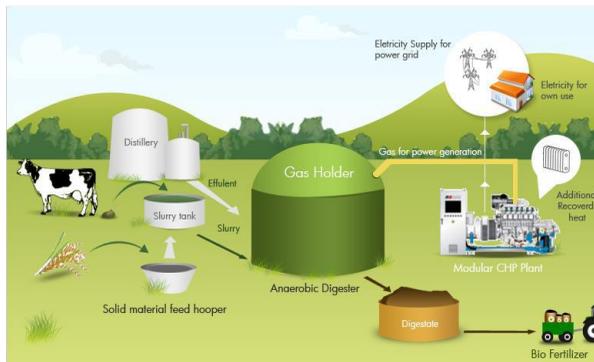
Manfaat dari tugas akhir ini adalah agar proses optimisasi ini dapat menjaga stabilitas performansi generator seperti torsi, daya dan tegangan, sehingga dapat menunjukkan *output* yang optimal pada generator dan kebermanfaatannya bagi pengguna biogas. Selain

itu, hasil dari pengoptimisasian ini nantinya dapat dijadikan acuan untuk set point untuk penerapan kontroler pada plant.

## BAB II TEORI PENUNJANG

### 2.1 Biogas

Biogas mulai dikembangkan sejak abad 17 tepatnya di negara Perancis. Biogas sendiri merupakan gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik dalam kondisi anaerobik atau bisa disebut minim oksigen. Bahan-bahan organik tersebut antara lain dapat berupa daun-daun yang telah membusuk, kotoran manusia, kotoran ternak, dan masih banyak lagi selama masih tergolong bahan organik. Akan tetapi kotoran manusia sangat sulit untuk dijadikan biogas karena manusia merupakan makhluk yang memakan segala macam makanan tidak hanya satu jenis makanan saja. Di Indonesia bahan organik untuk biogas yang paling banyak digunakan adalah dari kotoran hewan karena masih banyaknya peternakan. Selain itu sebab lain di Indonesia menggunakan kotoran ternak adalah ternak merupakan makhluk yang hanya memakan satu jenis makanan saja, seperti tumbuh-tumbuhan. Sehingga potensi peternakan di Indonesia selain untuk kebutuhan pangan, juga bisa untuk pengembangan sumber daya terbarukan seperti biogas.



**Gambar 2.1** *Plant* biogas [10]

Biogas merupakan gas yang sangat mudah terbakar. Unsur-unsur utama biogas diantaranya metana ( $\text{CH}_4$ ), karbon dioksida

(CO<sub>2</sub>), beberapa unsur lain seperti amonia (NH<sub>3</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>), dan oksigen (O<sub>2</sub>). Komposisi biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik biasanya sekitar 60 - 70 % CH<sub>4</sub>, sekitar 30 - 40% CO<sub>2</sub>, kurang dari 1% N<sub>2</sub>, dan sekitar 10 - 2000 ppm H<sub>2</sub>S [1]. Biogas mudah terbakar karena kandungan gas metana didalamnya. Gas metana memiliki nilai kalor yang tinggi. Untuk gas metan murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 Kkal/m<sup>3</sup>. Ketika dibakar 1 ft<sup>3</sup> gas bio menghasilkan sekitar 10 BTU (2,52 Kkal) energi panas per persentase komposisi metan [11]. Untuk memperjelas kandungan yang ada pada biogas, dapat diketahui dari tabel 2.1 berikut ini

**Tabel 2.1** Kandungan pada Biogas [11]

Elemen	Formula	Komposisi (%)
<b>Metana</b>	CH <sub>4</sub>	55-75
<i>Carbon dioxide</i>	CO <sub>2</sub>	25-45
<i>Carbon monoxide</i>	CO	0-0,3
<b>Nitrogen</b>	N <sub>2</sub>	1-5
<i>Hydrogen</i>	H <sub>2</sub>	0-3
<i>Hydrogen sulfide</i>	H <sub>2</sub> S	0,1-0,5
<i>Oxygen</i>	O <sub>2</sub>	Sisanya

Biogas memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan bahan bakar lain. Biogas lebih ramah lingkungan karena tidak seperti bahan bakar dari fosil yang jika dilakukan pembakaran menghasilkan gas CO<sub>2</sub>. Sampah-sampah organik yang dibiarkan membusuk bisa menjadi gas metana yang berbahaya jika langsung lepas ke udara, sehingga dengan pemanfaatannya sebagai biogas bisa menekan polusi udara yang ditimbulkan oleh gas metana. Selain itu, dengan memanfaatkan kotoran hewan peternakan sebagai biogas, otomatis dapat menambah penghasilan para peternak atau bisa mensejahterakan hidup para peternak dengan memanfaatkan biogas tersebut sendiri.

## 2.2 Pemanfaatan Biogas

Biogas atau metana dapat digunakan seperti gas alam, manfaat dari pembuatan biogas dari kotoran ternak sapi dapat mengganti *fuel* seperti LPG atau natural gas, dimana  $1,7 \text{ m}^3$  biogas setara dengan 1 liter *gasoline*. Pupuk sapi yang dihasilkan dari satu sapi dalam satu tahun dapat dikonversi menjadi gas metana yang setara dengan lebih dari 200 liter *gasoline*. Gas yang dihasilkan dapat digunakan untuk sumber energi menyalakan lampu, dimana  $1 \text{ m}^3$  biogas dapat digunakan untuk menyalakan lampu 60 Watt selama 7 jam. Hal ini berarti bahwa  $1 \text{ m}^3$  biogas menghasilkan energi =  $60 \text{ W} \times 7 \text{ jam} = 420 \text{ Wh} = 0,42 \text{ kWh}$ .

Tujuan utama pembuatan biogas adalah untuk mengisi kekurangan atau mensubstitusi sumber energi alternatif sebagai bahan bakar keperluan rumah tangga, terutama untuk memasak dan lampu penerangan. Selain itu dapat digunakan untuk menjalankan generator untuk menghasilkan listrik (genset) dan menggerakkan motor bakar.

**Tabel 2.2** Perbandingan Nilai Kalor Biogas [12]

Jenis Gas	Nilai Kalor ( $\text{J}/\text{cm}^3$ )
Gas Batubara	16,7 – 18,5
Gas Bio	20 – 26
Gas Metana	33,2 – 39,6
Gas Alam	38,9 – 81,4
Gas Propane	81,4 – 96,2
Gas Butana	103,3 – 125,8

Biogas mengandung berbagai macam zat, baik yang terbakar maupun yang dapat dibakar. Seperti terlihat pada Tabel 2.2 walaupun kandungan kalornya relatif rendah dibanding dengan gas alam, butana dan propana, tetapi masih lebih tinggi dari gas batubara. Selain itu biogas ramah lingkungan, karena sumber bahannya memiliki rantai karbon yang lebih pendek dibandingkan dengan minyak tanah, sehingga gas CO yang dihasilkan relatif lebih sedikit.

Nilai kalori biogas tergantung pada komposisi metana dan karbondioksida, dan kandungan air di dalam gas. Gas mengandung

banyak kandungan air akibat dari temperatur pada saat proses, kandungan air pada bahan dapat menguap dan bercampur dengan metana. Pada biogas dengan kisaran normal yaitu 60-70% metana dan 30-40% karbondioksida, nilai kalori antara 20 – 26 J/cm<sup>3</sup>. Komponen utama biogas adalah gas metana (54–57%) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yakni sebesar 27–45% yang merupakan hidrokarbon paling sederhana berbentuk gas. Gas metana dapat timbul dari proses fermentasi anaerobik (tanpa udara) dari bahan organik seperti limbah kotoran. Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO<sub>2</sub> (karbondioksida) dan dua molekul H<sub>2</sub>O (air).



Dalam pemanfaatannya, kandungan gas dalam biogas yang paling bisa dimanfaatkan adalah kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>). Karena CH<sub>4</sub> ini mempunyai nilai panas/kalor yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m<sup>3</sup>. Hal inilah yang menjadi dasar penulis untuk mengembangkan penelitian tentang teknologi pemanfaatan kandungan metana (CH<sub>4</sub>) pada biogas menjadi bahan bakar pengganti bensin pada generator listrik (genset).

Namun demikian, untuk bias mengoptimalkan nilai kalor/panas yang terdapat dalam biogas sebelum dijadikan bahan bakar pengganti bensin pada genset, tentu kemurnian dari CH<sub>4</sub> itu sendiri perlu menjadi pertimbangan yang sangat penting. Dalam hal ini unsur yang berpengaruh terhadap nilai kalor/panas adalah CO<sub>2</sub>. Keberadaan CO<sub>2</sub> dalam gas CH<sub>4</sub> sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub> dalam CH<sub>4</sub> maka nilai kalor dari CH<sub>4</sub> tersebut akan semakin rendah. Disamping itu terdapat unsur H<sub>2</sub>O dan unsur H<sub>2</sub>S yang bersifat korosif yang tentunya juga akan sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran. Oleh karena itu, sudah dilakukan sebelumnya teknik pemurnian gas CO<sub>2</sub> di dalam biogas dengan teknik absorpsi menggunakan absorben Ca(OH) dan NaOH, dengan merancang dan membuat suatu instalasi pemurnian biogas, sehingga nantinya

didapatkan kualitas biogas yang lebih baik yang mempunyai tingkat kemurnian  $\text{CH}_4$  yang tinggi yang tentunya sangat berpengaruh terhadap peningkatan nilai kalor/panas dari biogas itu sendiri sehingga pada pengaplikasian unjuk kerja biogas sebagai bahan bakar pengganti bensin pada genset nantinya dapat lebih optimal. [5]

### 2.3 Generator Set

Generator set adalah suatu mesin listrik yang merubah energi kimia pada bahan bakar ke bentuk energi listrik dan panas. Gabungan antara *engine*, generator, dan kontrolernya disebut juga generator set (genset). Dalam sebuah pembangkit, putaran *engine* harus konstan agar frekuensi yang dikeluarkan generator selalu konstan 50 Hz atau 60 Hz. *Engine* merubah campuran udara dan bahan bakar (energi kimia) kedalam energi mekanik.

Dalam tugas akhir ini, generator set yang digunakan adalah sebuah generator yang pada awalnya berbahan bakar utama bensin yang kemudian dilakukan modifikasi sedemikian rupa hingga generator ini bisa menggunakan bahan bakar biogas. Selain itu, generator ini juga bisa menggunakan bahan bakar campuran antara biogas dengan bensin.



**Gambar 2.2** Generator set biogas

### 2.4 Teori Mesin Pembakaran Dalam

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis

dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi termal melalui proses pembakaran. Energi termal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak, batang torak, dan poros engkol.

Berdasarkan metode penyalaan campuran bahan bakar -udara, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi *spark ignition engine* dan *compression ignition engine*. Dalam melakukan proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor yang telah disebutkan di atas akan melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berdasarkan pembatasan masalah, peralatan uji yang digunakan adalah motor *otto* berbahan bakar bensin (*spark ignition engine*) dengan sistem 4 langkah. Motor *otto* merupakan motor pembakaran dalam karena motor *otto* melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

Motor *otto* dengan sistem *Spark Ignition* menggunakan bantuan bunga api untuk menyalakan atau membakar campuran bahan bakar—udara. Bunga api yang digunakan berasal dari busi. Busi akan menyala saat campuran bahan bakar—udara mencapai rasio kompresi, temperatur, dan tekanan tertentu sehingga akan terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong torak bergerak bolak-balik. Siklus langkah kerja yang terjadi pada mesin jenis ini dinamakan siklus *otto* dengan mempergunakan bahan bakar. Komponen-komponen utama dari sebuah motor *otto* adalah:

a. Katup Masuk (*intake valve*)

Katup masuk adalah katup yang berfungsi untuk mengontrol pemasukan campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder mesin dan mencegah terjadinya aliran balik ke dalam saluran masuk campuran udara-bahan bakar (*intake manifold*).

b. Katup Buang (*exhaust valve*)

Katup buang adalah katup yang mengontrol pengeluaran hasil pembakaran dari silinder mesin untuk dibuang keluar dan menjaga agar arah aliran yang mengalir hanya satu arah.

c. Torak

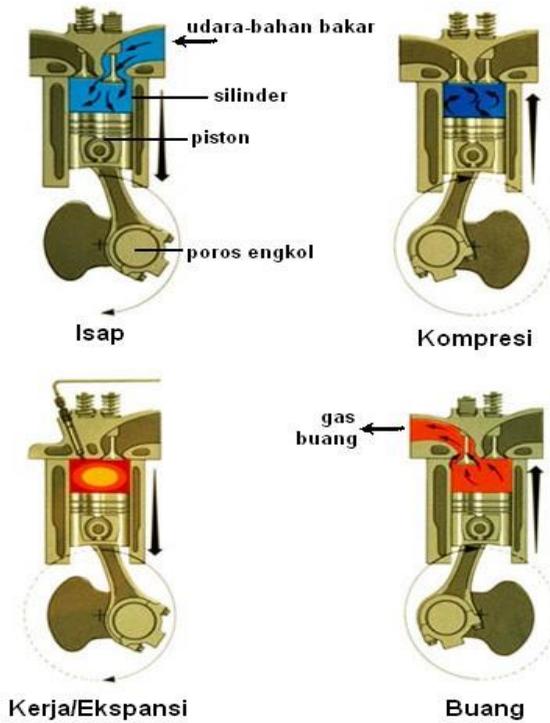
Torak adalah komponen berbentuk silinder yang bergerak naik turun di dalam silinder, dan berfungsi untuk mengubah tekanan di dalam ruang bakar menjadi gerak rotasi poros engkol.

d. Busi

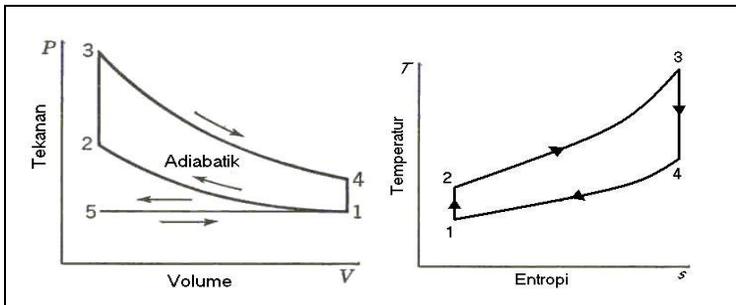
Busi adalah komponen elektrik yang digunakan untuk memicu pembakaran campuran udara-bahan bakar dengan menciptakan percikan listrik bertegangan tinggi pada celah elektroda.

Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari titik mati bawah (TMA) menuju titik mati bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah yang terdapat pada motor bensin 4 langkah adalah langkah isap, kompresi, kerja, dan buang.

Pada motor *otto* 4 langkah yang ditunjukkan pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa gas pembakaran hanya mendorong torak pada langkah ekspansi saja. Oleh karena itu, untuk memungkinkan gerak torak pada tiga langkah lainnya maka sebagian energi pembakaran selama langkah ekspansi diubah dan disimpan dalam bentuk energi kinetis roda gila (*flywheel*). Siklus kerja motor *otto* dapat digambarkan pada diagram indikator, yaitu diagram P-V (tekanan-volume) dan diagram T-S (tekanan-entropi). Diagram indikator ini berguna untuk melakukan analisis terhadap karakteristik internal motor *otto*.



**Gambar 2.3** Proses kerja motor otto empat langkah [13]



**Gambar 2.4** Diagram P-V dan T-S ideal motor otto empat langkah [14]

Langkah-langkah pada mesin *otto* 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.3 Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

a. Langkah Isap (*intake*)

Selama langkah isap torak bergerak dari TMA menuju TMB, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan torak memperbesar volume ruang bakar dan menciptakan ruang hampa (*vacuum*) dalam ruang bakar. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Langkah isap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

b. Langkah kompresi (*compression*)

Selama langkah kompresi katup isap tertutup dan torak bergerak kembali ke TMA dengan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Gerakan torak tersebut mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar tertekan akibat volume ruang bakar yang diperkecil, sehingga tekanan dan temperatur di dalam silinder meningkat.

c. Pembakaran (*combustion*)

Pada akhir langkah kompresi, busi pijar menyala sehingga campuran udara-bahan bakar yang telah memiliki tekanan dan temperatur tinggi terbakar. Pembakaran yang terjadi mengubah komposisi campuran udara bahan bakar menjadi produk pembakaran dan menaikkan temperatur dan tekanan dalam ruang bakar secara drastis.

d. Langkah kerja/ekspansi (*expansion/power*)

Tekanan tinggi hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA. Dorongan ini merupakan kerja keluaran dari siklus mesin *Otto*. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

e. Langkah buang (*exhaust*)

Katup buang terbuka ketika torak telah mencapai TMB. Torak terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

Berdasarkan gambar 2.4. perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan siklus ini adalah sebagai berikut :

- Proses 1-2 kerja kompresi isentropik :

$$q_{1-2} = 0 \text{ dan } w_{1-2} = c_v (T_1 - T_2) \quad (2.2)$$

- Proses 2-3 masuknya kalor pada volume konstan  $w_{2-3} = 0$

$$\begin{aligned} Q_{2-3} = Q_{in} &= m_f Q_{HV} \eta_c \\ &= m_m c_v (T_3 - T_2) = (m_a + m_f) c_v (T_3 - T_2) \end{aligned} \quad (2.3)$$

- Proses 3-4 kerja ekspansi isentropik yang dihasilkan  $q_{3-4} = 0$

$$w_{3-4} = c_v (T_3 - T_4) \quad (2.4)$$

- Proses 4-1 pengeluaran gas buang pada volume konstan  $w_{4-1} = 0$

$$q_{4-1} = q_{out} = c_v (T_4 - T_1) \quad (2.5)$$

- Dari perhitungan didapat

$$w_{net} = w_{3-4} + w_{1-2} = q_{in} - q_{out} \quad (2.6)$$

- Besarnya efisiensi termal :

$$\eta_{th} = w_{net} / q_{in} = 1 - (q_{out} / q_{in}) \quad (2.7)$$

Nilai efisiensi diatas hanya merupakan nilai *indicated* dari nilai perhitungan termodinamikanya.[14]

## 2.5 Teori Kesetimbangan Energi

Aspek penting dalam pembahasan energi adalah hukum termodinamika. Termodinamika adalah cabang ilmu yang mempelajari perubahan energi dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Kesetimbangan energi pada suatu sistem didasarkan pada prinsip atau hukum kekekalan energi yaitu energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Kesetimbangan energi akan berkesinambungan dengan prinsip kesetimbangan massa, sehingga prinsip perhitungan yang digunakan ketimbangan energi mirip dengan kesetimbangan massa. Hukum kesetimbangan massa menyatakan laju energi yang masuk ke dalam sistem dikurangi

dengan laju energi yang keluar dari sistem sama dengan laju energi akumulasinya

$$E_{in} - E_{out} = E_{st} \quad (2.8)$$

dimana

$E_{in}$  : Energi yang masuk ke sistem

$E_{out}$  : Energi yang keluar dari sistem

$E_{st}$  : Energi yang terakumulasi dalam system

Sedangkan untuk persamaan umum kesetimbangan energi, sebagai berikut:

$$E_{in} = E_{out} + \text{akumulasi di dalam sistem} \quad (2.9)$$

Kesetimbangan energi pada generator set juga dapat melalui pendekatan teori diatas. Kesetimbangan energi pada generatir set didapatkan dari pendekatan beberapa rumus yang dapat mempengaruhi hasil dari generator set tersebut terutama daya. Daya output didapatkan dari pendekatan rumus sebagai berikut [15] :

$$Q_{fuel} = W_e + Q_{exh} + Q_{rad}. \quad (2.10)$$

Dimana :

$Q_{fuel}$  = Kalor yang masuk ke sistem (daya input)

$W_e$  = Daya output

$Q_{exh}$  = Kalor yang keluar melalui cerobong

$Q_{rad}$  = Kalor yang keluar melalui proses radiasi

Berdasarkan rumus diatas, dapat diperinci dan diperluas kembali untuk mempermudah perhitungan seperti pada penjelasan berikut [16] :

$$Q_{fuel} = \dot{m}_f LHV \quad (2.11)$$

$$Q_{exh} = (\dot{m}_f + \dot{m}_a) C_g (T_g + T_a) \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{rad}} = \sigma \varepsilon A_s (T_w + T_a) \quad (2.13)$$

Dimana :

$\dot{m}_f$	= <i>Mass flow rate</i> bahan bakar (kg/s)
$\dot{m}_a$	= <i>Mass flow rate</i> udara (kg/s)
$C_g$	= <i>Average specific heat</i>
$T_g$	= Temperatur cerobong (K)
$T_a$	= Temperatur udara (K)
$T_w$	= Temperatur dinding genset (K)
$\sigma$	= Konstanta Stefan Boltzman
$\varepsilon$	= Emisitas bahan
$A_s$	= Luas penampang (m <sup>2</sup> )
LHV	= <i>Lower heating value</i>

Berdasarkan rumus-rumus diatas yang nantinya sebagai acuan untuk mengukur kesetimbangan energi sehingga nantinya dapat menghitung daya yang dapat dibangkitkan oleh generator set (daya output).

## 2.6 Particle Swarm Optimization

Algoritma *particle swarm optimization* (PSO) merupakan algoritma berbasis kecerdasan buatan AI (*artificial intelligence*) yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan optimasi [17]. *Particle swarm optimization* (PSO) adalah salah satu teknik optimisasi dan termasuk jenis teknik komputasi evolusi yang dikembangkan oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy pada tahun 1995. Metode ini memiliki sifat robust yang bagus untuk memecahkan persoalan yang mempunyai karakteristik nonlinear dan *nondifferentiability*, *multiple* optima, dimensi besar melalui adaptasi yang diturunkan dari teori *psychology*-sosial.

*Particle swarm optimization* (PSO) terinspirasi dari perilaku gerakan kawanan hewan seperti ikan (*school of fish*), hewan herbivor (*herd*), dan burung (*flock*) yang kemudian tiap objek hewan disederhanakan menjadi sebuah partikel. Suatu partikel dalam ruang memiliki posisi yang dikodekan sebagai vektor koordinat. Vektor posisi ini dianggap sebagai keadaan yang sedang

ditempati oleh suatu partikel di ruang pencarian. Setiap posisi dalam ruang pencarian merupakan alternatif solusi yang dapat dievaluasi menggunakan fungsi objektif. Setiap partikel bergerak dengan kecepatan  $v$ .

Dalam *particle swarm optimization* (PSO), kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu dengan setiap partikel posisi awalnya terletak disuatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang atau *space* tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi terbaiknya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut. *particle swarm optimization* (PSO) adalah salah satu dari teknik komputasi *evolusioner*, yang mana populasi pada PSO didasarkan pada penelusuran algoritma dan diawali dengan suatu populasi yang random yang disebut dengan *particle*. Berbeda dengan teknik komputasi *evolusioner lainnya*, setiap *particle* di dalam PSO juga berhubungan dengan suatu *velocity*. Partikel-partikel tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan *velocity* yang dinamis yang disesuaikan menurut perilaku historisnya. Oleh karena itu, partikel-partikel mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke area penelusuran yang lebih baik setelah melewati proses penelusuran. *particle swarm optimization* (PSO) mempunyai kesamaan dengan *genetic algorithm* yang mana dimulai dengan suatu populasi yang random dalam bentuk matriks. Namun PSO tidak memiliki operator evolusi yaitu crossover dan mutasi seperti yang ada pada *genetic algorithm*. Baris pada matriks disebut *particle* atau dalam *genetic algorithm* sebagai kromosom yang terdiri dari nilai suatu *variable*. Setiap *particle* berpindah dari posisinya semula ke posisi yang lebih baik dengan suatu *velocity*.

Pada algoritma PSO vektor *velocity* di *update* untuk masing-masing partikel kemudian menjumlahkan vektor *velocity* tersebut ke posisi *particle*. *Update velocity* dipengaruhi oleh kedua solusi

yaitu *global best* yang berhubungan dengan biaya yang paling rendah yang pernah diperoleh dari suatu *particle* dan solusi *local best* yang berhubungan dengan biaya yang paling rendah pada populasi awal. Jika solusi *local best* mempunyai suatu biaya yang kurang dari biaya solusi global yang ada, maka solusi *local best* menggantikan solusi *global best*. Kesederhanaan algoritma dan performansinya yang baik, menjadikan PSO telah menarik banyak perhatian di kalangan para peneliti dan telah diaplikasikan dalam berbagai persoalan optimisasi. PSO telah populer menjadi optimisasi global dengan sebagian besar permasalahan dapat diselesaikan dengan baik di mana variabel-variabelnya adalah bilangan riil. Beberapa istilah umum yang biasa digunakan dalam *particle swarm optimization* dapat didefinisikan sebagai berikut:

- a. *Swarm* : populasi dari suatu algoritma.
- b. *Particle*: anggota (individu) pada suatu *swarm*. Setiap *particle* merepresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu *particle* adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.
- c. *Pbest (Personal best)*: posisi *Pbest* suatu *particle* yang menunjukkan posisi *particle* yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
- d. *Gbest (Global best)* : posisi terbaik *particle* pada *swarm* atau posisi terbaik diantara *Pbest* yang ada.
- e. *Velocity (v)*: vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah di mana suatu *particle* diperlukan untuk berpindah (*move*) untuk memperbaiki posisinya semula atau kecepatan yang menggerakkan proses optimasi yang menentukan arah dimana *particle* diperlukan untuk berpindah dan memperbaiki posisinya semula.
- f. *Inertia weight ( $\theta$ )*: inertia weight di simbolkan  $w$ , parameter ini digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.
- g. *Learning Rates (c1 dan c2)* : suatu konstanta untuk menilai kemampuan *particle* ( $c1$ ) dan kemampuan sosial *swarm*

(c2) yang menunjukkan bobot dari *particle* terhadap memorinya.

Ciri khas dari PSO adalah pengaturan kecepatan partikel secara heuristik dan probabilistik. Jika suatu partikel memiliki kecepatan yang konstan maka jika jejak posisi suatu partikel divisualisasikan akan membentuk garis lurus. Dengan adanya faktor eksternal yang membelokkan garis tersebut yang kemudian menggerakkan partikel dalam ruang pencarian maka diharapkan partikel dapat mengarah, mendekati, dan pada akhirnya mencapai titik optimal. faktor eksternal yang dimaksud antara lain posisi terbaik yang pernah dikunjungi suatu partikel, posisi terbaik seluruh partikel (diasumsikan setiap partikel mengetahui posisi terbaik setiap partikel lainnya), serta faktor kreativitas untuk melakukan eksplorasi.

*Particle swarm optimization* memiliki kesamaan sifat dengan teknik komputasi seperti algoritma genetika (*genetic algorithm*). Sistem PSO diinisialisasi oleh sebuah populasi solusi secara acak dan selanjutnya mencari titik optimum dengan cara meng-*update* tiap hasil pembangkitan. Metode optimisasi yang didasarkan pada *swarm intelligence* ini disebut algoritma *behaviorally inspired* sebagai alternatif dari algoritma genetika, yang sering disebut *evolution-based procedures*. Dalam konteks optimisasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik: posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang (*space*) tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai

keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan (*rule*) seperti berikut:

- a. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain.
- b. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung.
- c. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh.

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut:

- a. Kohesi - terbang bersama
- b. Separasi - jangan terlalu dekat
- c. Penyesuaian (*alignment*) - mengikuti arah bersama

Jadi PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

- a. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan akan secara cepat mengirim informasi kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu.
- b. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung.
- c. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Model ini akan disimulasikan dalam ruang dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi, posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria penghentian yang lain.

Berikut ini merupakan formulasi matematika yang menggambarkan posisi dan kecepatan partikel pada suatu dimensi ruang tertentu:

$$X_i(t) = X_{i1}(t), X_{i2}(t), \dots, X_{iN}(t) \quad (2.14)$$

$$V_i(t) = V_{i1}(t), V_{i2}(t), \dots, V_{iN}(t) \quad (2.15)$$

Dimana:

- X = posisi partikel
- V = kecepatan partikel
- i = indeks partikel
- t = iterasi ke-t
- N = ukuran dimensi ruang

Berikut ini merupakan model matematika yang menggambarkan mekanisme *updating* status partikel [18]:

$$V_i(t) = V_i(t-1) + c_1 r_1 (X_i^L - X_i(t-1)) + c_2 r_2 (X^G - X_i(t-1)) \quad (2.16)$$

$$X_i(t) = V_i(t) + X_i(t-1) \quad (2.17)$$

Dimana:

$X_i^L = X_{i1}^L, X_{i2}^L, \dots, X_{iN}^L$  mempresentasikan local best dari partikel ke-i

$X^G = X_{i1}^G, X_{i2}^G, \dots, X_{iN}^G$  mempresentasikan global best dari seluruh kawan

$c_1$  dan  $c_2 = \textit{learning factor}$

$r_1$  dan  $r_2 = \textit{bilangan random yang bernilai antara 0 sampai 1}$

## 2.7 Implementasi PSO

Untuk mengetahui metode PSO, maka perlu dilakukan pengimplementasian, misalkan diketahui fungsi sebagai berikut :

$$\min f(x) \quad (2.18)$$

dimana :

$f(x)$  = fungsi objektif

$X(B) \leq X \leq X(A)$

$X^{(B)}$  = batas bawah

$X^{(A)}$  = batas atas dari X

Prosedur PSO dapat dijabarkan dengan langkah-langkah sebagai berikut [19]:

- a. Asumsikan bahwa ukuran kelompok atau kawan (jumlah partikel) adalah  $N$ . Untuk mengurangi jumlah evaluasi fungsi yang diperlukan untuk menemukan solusi, sebaiknya ukuran  $N$  tidak terlalu besar, tetapi juga tidak terlalu kecil, agar ada banyak kemungkinan posisi menuju solusi terbaik atau optimal. Jika terlalu kecil, sedikit kemungkinan menemukan posisi partikel yang baik. Terlalu besar juga akan membuat perhitungan jadi panjang. Biasanya digunakan ukuran kawan adalah 20 sampai 30 partikel.
- b. Bangkitkan populasi awal  $X$  dengan rentang  $X^{(B)}$  dan  $X^{(A)}$  secara random sehingga didapat  $X_1, X_2, \dots, X_N$ . Setelah itu, untuk mudahnya, partikel  $j$  dan kecepatannya pada iterasi  $i$  dinotasikan sebagai  $X_j^{(i)}$  dan  $V_j^{(i)}$ . Sehingga partikel-partikel awal ini akan menjadi  $X_1(0), X_2(0), \dots, X_N(0)$ . Vektor  $X_j(0)$ , ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) disebut partikel atau vektor koordinat dari partikel. (seperti kromosom dalam algoritma genetika). Evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel dan nyatakan dengan :

$$f[X_1(0)], f[X_2(0)], \dots, f[X_N(0)] \quad (2.19)$$

- c. Hitung kecepatan dari semua partikel. Semua partikel bergerak menuju titik optimal dengan suatu kecepatan. Awalnya semua kecepatan dari partikel diasumsikan sama dengan nol. Set iterasi  $i = 1$ .
- d. Pada iterasi ke- $i$ , temukan 2 parameter penting untuk setiap partikel  $j$  yaitu:
  - (a) Nilai terbaik sejauh ini dari  $X_j(i)$  (koordinat partikel  $j$  pada iterasi  $i$ ) dan nyatakan sebagai  $P_{best,j}$ , dengan nilai fungsi obyektif paling rendah (kasus minimasi) ,  $f[X_j(i)]$  , yang ditemui sebuah partikel  $j$  pada semua iterasi sebelumnya. Nilai terbaik untuk semua partikel  $X_j(i)$  yang ditemukan sampai iterasi ke- $i$ ,  $G_{best}$ , dengan nilai fungsi tujuan paling kecil/minimum diantara semua partikel untuk semua iterasi sebelumnya,  $f[X_j(i)]$ .

- (b) Hitung kecepatan partikel  $j$  pada iterasi ke  $i$  dengan rumus sebagai berikut:

$$V_j(i) = V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - x_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - x_j(i-1)], j = 1, 2, \dots, N \quad (2.20)$$

dimana  $c_1$  dan  $c_2$  masing-masing adalah *learning rates* untuk kemampuan individu (cognitive) dan pengaruh sosial (group), dan  $r_1$  dan  $r_2$  bilangan random yang berdistribusi uniforml dalam interval 0 dan 1. Jadi parameters  $c_1$  dan  $c_2$  dmenunjukkan bobot dari memory (position) sebuah partikel terhadap memory (posisi) dari kelompok (swarm). Nilai dari  $c_1$  dan  $c_2$  biasanya adalah 2 sehingga perkalian  $c_1 r_1$  dan  $c_2 r_2$  memastikan bahwa partikel-partikel akan mendekati target sekitar setengah selisihnya.

- (c) Hitung posisi atau koordinat partikel  $j$  pada iterasi ke- $i$  dengan cara :

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i); j = 1, 2, \dots, N \quad (2.21)$$

Evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel dan nyatakan sebagai berikut :

$$f[X_1(i)], f[X_2(i)], \dots, f[X_N(i)] \quad (2.22)$$

- e. Cek apakah solusi yang sekarang sudah konvergen. Jika posisi se mua partikel menuju ke satu nilai yang sama, maka ini disebut konvergen. Jika belum konvergen maka langkah 4 diulang dengan memperbarui iterasi  $i = i + 1$ , dengan cara menghitung nilai baru dari  $P_{best,j}$  dan  $G_{best}$ . Proses iterasi ini dilanjutkan sampai semua partikel menuju ke satu titik solusi yang sama. Biasanya akan ditentukan dengan kriteria penghentian (stopping criteria), misalnya jumlah selisih solusi sekarang dengan solusi sebelumnya sudah sangat kecil.

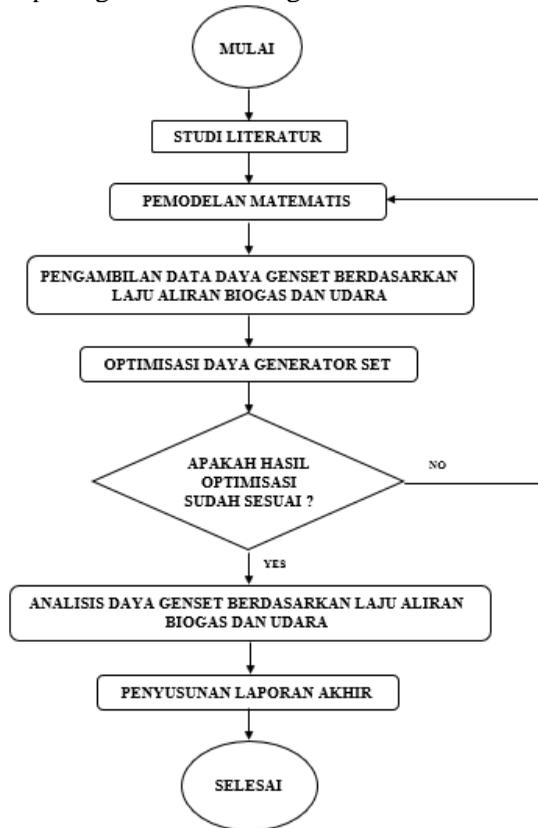
***(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)***

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian tugas akhir. Metodologi penelitian ini digunakan sebagai acuan sehingga penelitian dapat berjalan secara sistematis sesuai dengan *framework* penelitian.

### 3.1 *Flowchart* Penelitian

Dalam proposal Tugas akhir ini disusun diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut.



**Gambar 3.1** *Flowchart* penelitian

Pada tahap awal dimulai dari kajian pustaka yang dilakukan untuk mendapatkan wawasan umum yang berhubungan dengan penelitian ini. Selain itu, studi literatur dilakukan untuk mempelajari sistem biogas, prinsip kerja dan spesifikasi generator set, karakteristik laju aliran bahan bakar biogas dan laju aliran udara. Tahap berikutnya melakukan permodelan matematis yang berhubungan dengan penelitian ini dan mempelajari beberapa teori tentang optimasi menggunakan *particle swarm optimization*. Setelah itu dilakukan pengambilan data *real plant* laju aliran biogas dan udara yang masuk ke genset untuk membangkitkan daya output. Kemudian dilakukan optimasi pada hasil pengambilan data. Data yang telah dianalisa akan dibahas terkait hasil optimasi dan performansi sistem generator set biogas. Hingga langkah terakhir dilakukan penyusunan laporan.

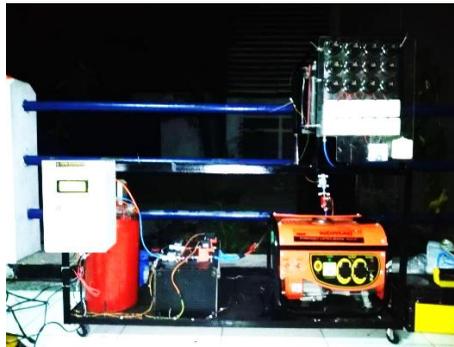
### **3.2 Plant Tugas Akhir**

Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *generator set* berbahan bakar biogas. Biogas yang digunakan adalah biogas yang telah disimpan di dalam sebuah *storage*. Biogas yang disimpan adalah biogas yang telah melalui proses purifikasi sebelumnya sehingga gas metana yang terkandung dalam biogas lebih banyak dibandingkan dengan biogas tanpa melalui proses purifikasi. Proses purifikasi biogas yang digunakan telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dan memiliki perbedaan dengan proses purifikasi pada umumnya yang menggunakan cairan kimia sebagai metode pemurniannya. Purifikasi biogas ini hanya menggunakan air sebagai pemurniannya sehingga lebih praktis dan efisien. Kandungan gas metana yang terkandung dalam biogas terpurifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekitar 65,32%.

*Generator set* yang digunakan pada penelitian ini adalah genset yang telah dimodifikasi agar bisa digunakan dengan bahan bakar biogas. Genset ini bisa mencapai frekuensi AC sampai 50/60 Hz, maksimal AC output 1,200 VA, dengan *rated voltage* sebesar

220 V. Sedangkan untuk *engine*-nya dapat menghasilkan RPM sebesar 2,696 – 3000 RPM.

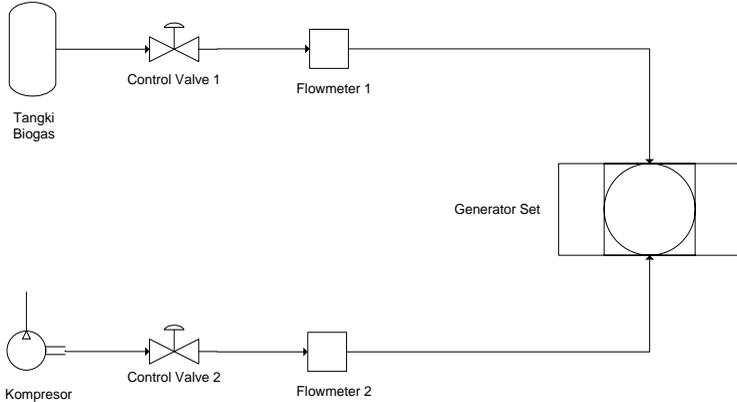
Untuk metode penelitian dapat diawali dengan biogas yang terpurifikasi nantinya akan dimasukkan melalui saluran input pada genset dengan memvariasikan laju aliran dari bahan bakar biogas dan udara yang dimasukkan melalui kompresor. Laju aliran nantinya akan diubah nilainya dan diamati performansi *engine* yang terjadi. Performansi *engine* dalam penelitian ini dapat diketahui dari 3 faktor, yaitu daya, RPM dan tegangan. Selain memvariasikan laju aliran dari biogas, penelitian ini nantinya juga akan mengacu pada beban 900 watt yang dibebankan pada genset ini. Beban sebesar 900 watt mengacu pada rata-rata listrik rumah tangga di Indonesia menggunakan 900 watt. Berdasarkan pembebanan 900 watt inilah nanti dianalisa daya output yang didapatkan berdasarkan real plant dan proses optimisasi.



**Gambar 3.2** Plant tugas akhir

Gambar 3.2 menunjukkan gambaran dari plant tugas akhir yang akan dilakukan. Dalam gambar tersebut terdapat berbagai macam alat seperti genset, tabung penyimpanan biogas, kompresor, *flowmeter* dan beban yang berupa lampu. Untuk pengambilan datanya nanti dilakukan secara manual dengan membiarkan genset bekerja dengan beban 900 watt selama satu jam dan diamati perubahan laju aliran bahan bakar dan udaranya

setiap 5 menit. Setelah itu dilakukan perbandingan antara hasil pengambilan data dan hasil optimisasi.



**Gambar 3.3** PFD plant tugas akhir

Pada gambar dijelaskan mengenai PFD (*process flow diagram*) dari plant tugas akhir yang akan dilakukan. Pada gambar tersebut terdapat gambaran dari beberapa alat yang akan dilakukan untuk pengambilan data. Data yang dibutuhkan adalah data aliran bahan bakar berupa biogas, aliran udara, dan data nilai daya genset. Data aliran bahan bakar diperoleh dari flowmeter 1 yang menghubungkan tangki biogas menuju ke genset. Untuk data udara sendiri didapatkan dari flowmeter 2 yang menghubungkan antara kompresor dengan genset. Sedangkan untuk data nilai genset nantinya didapatkan dari penunjukkan arus dan tegangan pada genset. Berdasarkan data-data inilah nantinya akan dilakukan optimisasi dengan memaksimalkan nilai daya yang ada pada genset bergantung pada aliran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam genset.

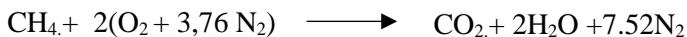
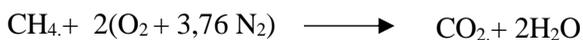
### 3.3 Pemodelan Matematis

Pemodelan matematis pada penelitian ini dapat dilakukan berdasarkan data dari proses laju aliran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam genset yang nantinya akan diketahui

persamaan dalam proses pembakaran dalam *engine*. Perbandingan jumlah bahan bakar dan udara inilah yang nanti akan diterapkan dan divariasikan untuk menemukan campuran yang tepat untuk genset agar menghasilkan nilai daya paling baik. Kemudian pemodelan matematis ini juga dilakukan untuk mengetahui persamaan daya pada *engine* yang berlaku sebagai fungsi objektif. Untuk menentukan besar nilai daya pada *engine* genset bisa langsung didapatkan pada data. Pemodelan matematis nilai daya dapat dilakukan dengan rumus yang menghubungkan laju aliran hingga sampai pada daya. Sehingga pemodelannya dapat diketahui dari rumus perhitungan sebagai berikut :

#### A. Reaksi Kimia pada Generator Set

Bahan bakar yang digunakan adalah biogas yang diasumsikan ke dalam metana ( $\text{CH}_4$ ) karena kandungan yang terdapat pada biogas paling banyak adalah metana sebesar 65%. Reaksi kimia ini terjadi antara biogas dengan udara ketika dibakar di dalam mesin genset. Reaksi kimia antara biogas dan udara dapat ditunjukkan sebagai berikut[7] :



Pada bahan bakar biogas dapat dihitung massa atom dari C (12) dan H (1), maka dapat diketahui :

- Massa atom C dalam  $\text{CH}_4$   

$$\text{C} = \text{MW}(\text{C}) \times 1 \quad (3.1)$$

$$= 12 \times 1$$

$$= 12 \text{ g/mol}$$

- Massa atom H dalam  $\text{CH}_4$   

$$\text{H} = \text{MW}(\text{H}) \times 4 \quad (3.2)$$

$$= 1 \times 4$$

$$= 4 \text{ g/mol}$$

Sehingga dapat diketahui kandungan bahan bakar biogas total sebagai berikut :

$$\text{CH}_4 = 12 + 4 = 16 \text{ g/mol}$$

Sedangkan untuk udara, dapat diketahui massa atom dari O (16) dan N (14), maka :

- Massa atom O dalam O<sub>2</sub>

$$\begin{aligned} \text{O} &= \text{MW}(\text{O}) \times 2 \\ &= 16 \times 2 \\ &= 32 \text{ g/mol} \end{aligned} \quad (3.3)$$

- Massa atom N dalam N<sub>2</sub>

$$\begin{aligned} \text{N} &= \text{MW}(\text{N}) \times 2 \\ &= 14 \times 2 \\ &= 28 \text{ g/mol} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Jika dilihat melalui persamaan stoikimetri, dapat dilihat bahwa udara mengandung 3.76 N<sub>2</sub> maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{N} \times 3.76 &= 28 \times 3,76 \\ \text{N} &= 105,28 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui bahwa kandungan udara total sebagai berikut :

$$2(\text{O}_2 + 3,76 \text{ N}_2) = 2 (32 + 105,28) = 274,56 \text{ g/mol}$$

Dimana :

MW(C) = *Molecule Weight* atom C

MW(H) = *Molecule Weight* atom H

MW(N) = *Molecule Weight* atom N

MW<sub>air</sub> = *Molecule Weight* udara

## B. Kestimbangan Energi

Kestimbangan energi didapatkan dari persamaan rumus yang masuk ke dalam generator set. Kestimbangan energi didapatkan berdasarkan rumus sebagai berikut :

- **Q Input**

Q input bisa disebut juga  $Q_{\text{fuel}}$ , bisa dicari dengan menggunakan rumus [15]:

$$Q_{\text{fuel}} = \dot{m}_f \text{LHV} \quad (3.5)$$

Dimana :

$\dot{m}_f$  = *Mass flow rate* bahan bakar (kg/s)

LHV = *Lower Heating Value*

Karena dalam tugas akhir ini menggunakan bahan bakar biogas, maka LHV yang digunakan adalah LHV biogas dengan nilai 17650 kJ/kg

- **Q Exhaust**

$Q_{\text{exhaust}}$  merupakan kalor yang keluar melalui cerobong dari generator set, dapat ditentukan dengan menggunakan rumus [15]:

$$Q_{\text{exh}} = (\dot{m}_f + \dot{m}_a) C_g (T_g - T_a) \quad (3.6)$$

Dimana :

$\dot{m}_f$  = *Mass flow rate* bahan bakar (kg/s)

$\dot{m}_a$  = *Mass flow rate* udara (kg/s)

$C_g$  = *Average specific heat*

$T_g$  = Temperatur cerobong (K)

$T_a$  = Temperatur udara (K)

- **Q Radiasi**

Q radiasi merupakan kalor yang keluar dari generator set melalui proses radiasi, dapat ditentukan dengan menggunakan rumus [16]:

$$Q_{\text{rad}} = \sigma \varepsilon A_s ((T_w^4 - T_a^4)) \quad (3.7)$$

Dimana :

$T_a$  = Temperatur udara (K)

$T_w$  = Temperatur dinding genset (K)

$\sigma$  = Konstanta Stefan Boltzman ( $J/m^2.K$ )

$\varepsilon$  = Emisitas Bahan

$A_s$  = Luas Penampang ( $m^2$ )

- **Daya Output ( $W_e$ )**

Daya output merupakan daya yang mampu dihasilkan oleh generator set. Daya output inilah nantinya yang akan digunakan untuk fungsi objektif. Daya output bisa dihitung melalui rumus kesetimbangan energi sebagai berikut [16]:

$$E_{in} = E_{out} + \text{akumulasi di dalam sistem} \quad (3.8)$$

$$Q_{fuel} = W_e + Q_{exh} + Q_{rad} \quad (3.9)$$

$$W_e = Q_{fuel} - Q_{exh} - Q_{rad} \quad (3.10)$$

Sehingga, berdasarkan persamaan 3.9, 3.10, dan 3.11 didapatkan rumus kesetimbangan energi pada daya output sebagai berikut :

$$W_e = \dot{m}_f LHV - (\dot{m}_f + \dot{m}_a) C_g (T_g - T_a) - \sigma \varepsilon A_s ((T_w^4 - T_a^4)) \quad (3.11)$$

Dengan ketetapan nilai – nilainya adalah sebagai berikut [15]:

LHV = 17650 kJ/kg

$C_g$  = 1,009 kJ/kg

$T_g$  = 677 K

$T_a$  = 304 K

$\sigma$  =  $5,67 \times 10^{-8} J/m^2.K$

$\varepsilon$  = 0,9

$A_s$  = 0,5  $m^2$

$$T_w = 396 \text{ K}$$

Maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$f = (\dot{m}_f 17650) - \left( (\dot{m}_f + \dot{m}_a) 376,357 \right) - (0,40953) \quad (3.12)$$

Rumus diatas nantinya akan menghasilkan daya output mesin genset atau bisa disebut daya mekanik. Untuk mengubahnya menjadi daya listrik maka perlu untuk dilakukan perkalian dengan efisiensi genset. Efisiensi genset 1200 watt diketahui bernilai 0.85, maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

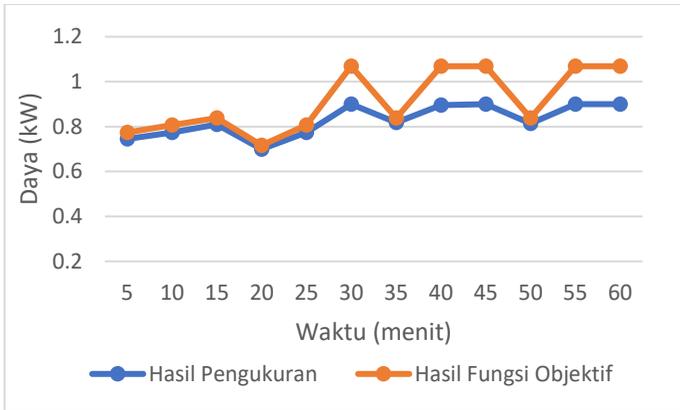
$$f = \left( (\dot{m}_f 17650) - \left( (\dot{m}_f + \dot{m}_a) 376,357 \right) - (0,40953) \right) 0,85 \quad (3.13)$$

### 3.4 Validasi Fungsi Objektif

Validasi fungsi objektif dilakukan untuk mengetahui fungsi objektif yang digunakan sudah mewakili plant atau belum. Selain itu validasi ini digunakan untuk mengetahui error yang terjadi pada fungsi objektif ketika dibandingkan dengan data plant.

Dalam tahap ini, dilakukan perbandingan antara data yang diukur berdasarkan *real plant* dan data yang didapatkan melalui perhitungan dengan fungsi objektif. Berdasarkan validasi ini nanti dapat diketahui error yang terjadi dan nantinya bisa diminimalkan dengan menerapkan bias pada fungsi objektif tersebut.

Berikut merupakan perbandingan pengukuran daya output dengan model plant yang dioptimisasi menggunakan *Particle Swarm Optimization*.



**Gambar 3.4** Perbandingan nilai daya hasil optimisasi dengan hasil pengukuran

Berdasarkan gambar 3.4 dapat disimpulkan bahwa trend data hasil pemodelan dapat mengikuti data hasil pengukuran *real plant*. Namun, terdapat selisih antara hasil pengukuran dengan hasil fungsi objektif. Sehingga fungsi obyektif akan memiliki nilai error yang lebih kecil apabila ditambahkan bias pada fungsi obyektif yang digunakan sebelumnya. Maka persamaan fungsi obyektifnya menjadi:

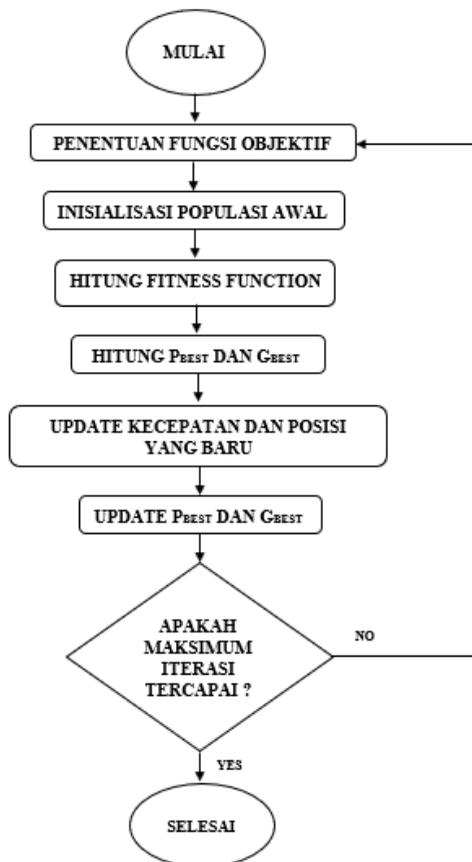
$$f = \left( \left( \begin{matrix} (\dot{m}_f 17650) - ((\dot{m}_f + \dot{m}_a) 376,357) \\ - (0,40953) \end{matrix} \right) 0,85 \right) - 0,04 \quad (3.14)$$

Dalam implementasinya, bias tidak digunakan untuk memperbaiki kinerja plant. Namun dengan menggunakan bias, hasil representasi data lebih mendekati hasil pengukuran. Dengan memanfaatkan bias, persamaan akan lebih mudah untuk dikembangkan melalui algoritma optimisasi yang lainnya.

### 3.5 Perancangan Optimisasi Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization*

Teknik optimisasi PSO pertama kali dikenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995. Algoritma *particle swarm*

*optimization* (PSO) adalah sebuah teknik optimisasi yang berbasis populasi untuk mencari solusi optimal menggunakan populasi dari partikel itu sendiri. PSO didasarkan pada ide bahwa setiap kerumunan partikel merupakan sebuah solusi dari ruang solusi [17]. Untuk melakukan optimisasi dengan metode *particle swarm optimization*, diperlukan suatu desain optimisasi. Desain optimisasi dengan menggunakan metode PSO yang dapat dilihat dari *flowchart* pada gambar 3.6.



**Gambar 3.5** Flowchart algoritma PSO

Dalam melakukan kegiatan optimisasi dilakukan penentuan terhadap variabel optimisasi yang diberi *constraint* dan fungsi objektif. Fungsi objektif dibutuhkan untuk mengetahui tujuan dari optimisasi yang akan dilakukan. Tujuan dari optimisasi daya genset biogas ini adalah untuk memaksimalkan laju aliran bahan bakar pada genset untuk mendapatkan nilai daya terbaik dengan pembebanan 900 watt. Dalam tugas akhir ini yang berperan sebagai variabel optimisasi adalah laju aliran bahan bakar berupa biogas dan udara. Sedangkan fungsi objektifnya adalah nilai daya dari genset biogas dan untuk *constraint*-nya digunakan batas dari variabel optimisasi yaitu aliran bahan bakar biogas dan udara.

Desain optimasi proses ini akan disimulasikan dengan program Matlab R2013b. Fungsi objektif dari optimasi ini adalah persamaan 3.13, yaitu daya output dari *generator set*. Setelah dilakukan validasi pada fungsi objektifnya, maka kemudian ditambahkan bias untuk mengurangi errornya yang terdapat pada persamaan 3.14.

Persamaan 3.14 di atas dapat diubah ke dalam bentuk matematis persamaan 3.15, dimana nilai laju aliran bahan bakar input disimbolkan dengan  $x$  dan nilai  $y$  laju aliran udara yang masuk ke dalam *generator set*.

$$f = \left( \left( \begin{array}{c} (X \ 17650) - ((X + Y) \ 376.357) \\ - (0,40953) \end{array} \right) 0,85 \right) - 0,04 \quad (3.15)$$

Persamaan matematis diatas berfungsi sebagai fungsi obyektif Sedangkan *constraint* untuk variabel optimisasi pada desain optimisasi ini ditunjukkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x &= 0,029 \text{ l/min hingga } 0,031 \text{ l/min} \\ y &= 1,136 \text{ l/min hingga } 1,172 \text{ l/min} \end{aligned} \quad (3.16)$$

*Constraint* merupakan aturan atau batasan (kondisi batas) yang diterapkan untuk menjaga konsistensi dan integritas data

yang dioptimasi dengan PSO. Kondisi batas pada desain optimasi ini mengacu pada hasil percobaan ketika diberikan beban input sebesar 900 watt.

### **3.6 Validasi**

Hasil simulasi dengan model matematis di atas dibandingkan dengan data *real plant*, yaitu pengambilan data menggunakan plant penelitian yaitu generator set biogas di Pakal Benowo, Surabaya, Jawa Timur.

### **3.7 Analisis Hasil Optimisasi Proses**

Analisis hasil pengujian optimisasi proses ini dilakukan untuk menjelaskan hasil dari optimisasi proses yang dilakukan pada genset dengan metode PSO. Analisis dilakukan pada fungsi objektif, variabel optimisasi yang diberikan *constraint*. Dimana fungsi objektifnya adalah daya, variabel optimisasinya adalah laju aliran bahan bakar dan udara. Berdasarkan hasil optimisasi proses yang dilakukan nantinya akan diketahui laju aliran biogas manakah yang terbaik dengan memperhatikan pula campuran udara yang masuk ke dalam genset yang menghasilkan nilai daya terbaik dengan beban 900 watt. Dari bahasan analisis ini nantinya akan dijelaskan mengenai hasil optimisasi yang dilakukan pada matlab menggunakan metode PSO. Hasil pengoptimisasian proses pada genset ini nantinya dapat diketahui daya terbaik berdasarkan laju aliran bahan bakar biogas dan udara dengan pembebanan 900 watt

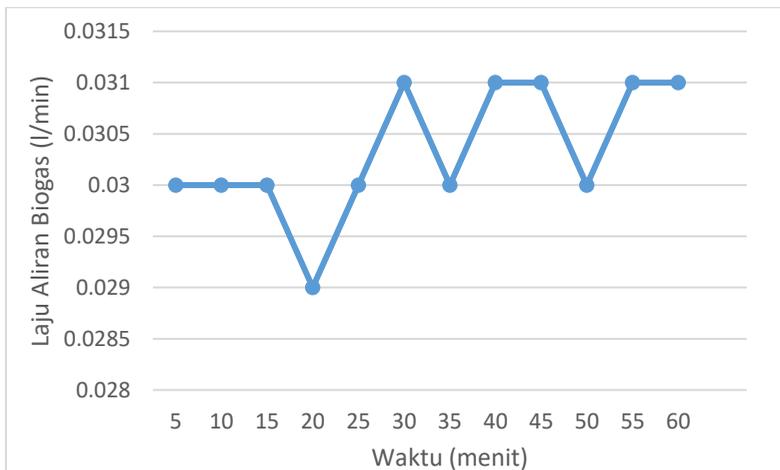
***(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)***

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang optimisasi daya yang dihasilkan oleh generator set biogas berdasarkan laju aliran bahan bakar dan udara. Selain itu dijelaskan mengenai perancangan dan hasil simulasi optimisasi menggunakan *Particle Swarm Optimization*. Selanjutnya juga membahas tentang validasi hasil perancangan yang sudah dijelaskan sebelumnya.

### 4.1 Pemilihan Data Training Laju Aliran Biogas dan Laju Aliran Udara pada Plant Generator Set

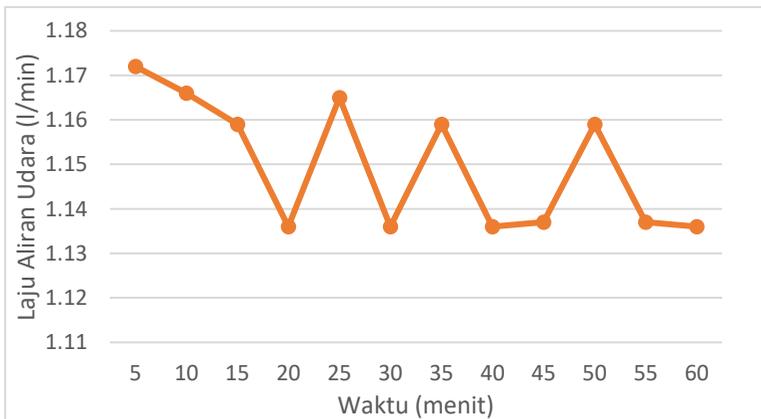
Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai pengambilan data yang dilakukan untuk mengetahui data laju aliran biogas dan laju aliran udara agar dapat menghidupkan genset dengan diberikan beban sebesar 900 watt. Dalam pengambilan data ini akan diketahui nilai laju aliran biogas dan udara pada rentang waktu 60 menit yang agar dapat menghidupkan generator set. Laju aliran biogas yang terjadi bersifat fluktuatif.



**Gambar 4.1** Grafik laju aliran biogas

Pada gambar 4.1 ditunjukkan hasil pengambilan data yang telah dilakukan pada plant generator set. Pada gambar diketahui laju aliran biogas yang fluktuatif. Pengambilan data dilakukan selama 1 jam. Berdasarkan gambar tersebut, laju aliran biogas berada pada rentang 0,029 l/min sampai 0,031 l/min.

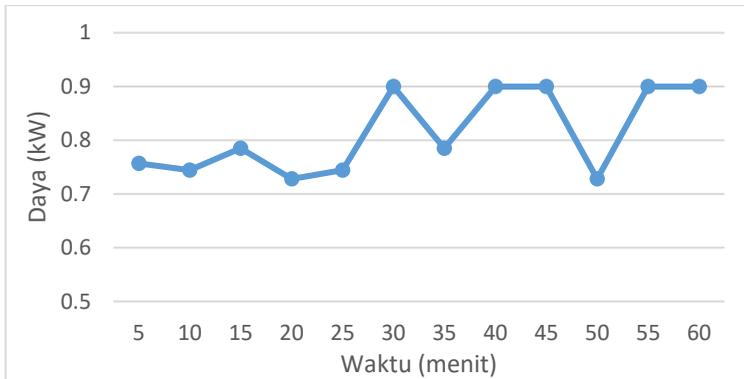
Selain pengambilan data laju aliran biogas, pengukuran terhadap laju aliran udara yang terukur juga dilakukan dan dapat diperhatikan pada grafik berikut ini.



**Gambar 4.2** Grafik laju aliran udara

Pada gambar 4.2 diketahui rentang aliran udara adalah 1,136 l/min hingga 1,172 l/min dengan rentang waktu 60 menit bersama dengan pengambilan data laju aliran biogas.

Untuk data pengambilan daya generator set dapat dilihat pada gambar 4.3 berupa grafik berikut ini :



**Gambar 4.3** Grafik daya generator set

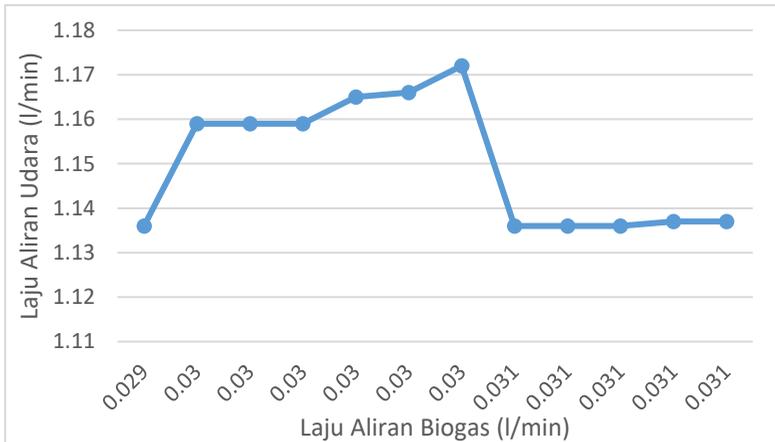
Pada gambar 4.3 diketahui grafik daya yang terjadi selama rentang waktu 60 menit yang disertai pengambilan data laju aliran biogas dan udara yang terdapat pada gambar 4.1 dan 4.2. Pada pengambilan data ini diketahui daya yang mampu dibangkitkan oleh genset adalah 0,6994 kW hingga 0,8998 kW.

#### **4.2 Optimisasi Daya Berdasarkan Laju Aliran Bahan Bakar Biogas dan Udara**

Eksperimen optimisasi daya yang dihasilkan oleh generator set biogas berdasarkan laju aliran bahan bakar dan udara ini digunakan untuk mengkaji daya yang dihasilkan generator set biogas. Hasil optimisasi ini nantinya akan dijadikan acuan untuk penentuan set point jika akan diterapkan sistem pengendalian pada plant ini.

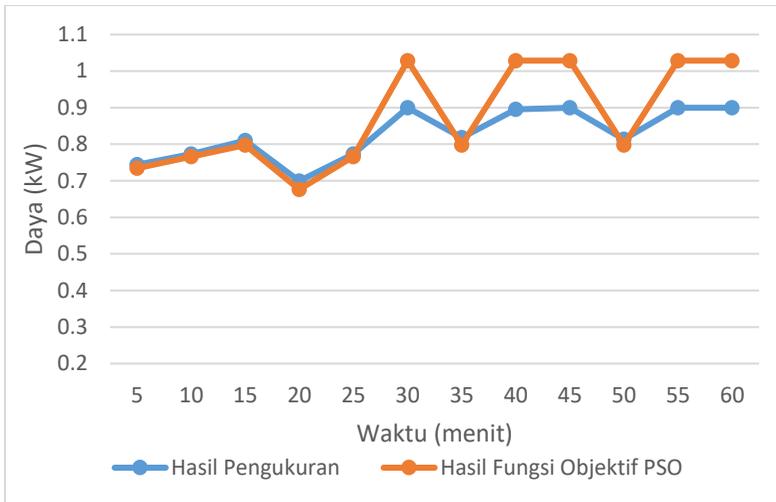
Berdasarkan hasil optimisasi yang telah dilakukan dengan menggunakan MATLAB 2013b, didapatkan hasil besaran optimum untuk  $X = 0,031$  l/min dan  $Y = 1,136$  l/min dengan diperoleh daya terbaik yang dihasilkan adalah 1,0287 kW. Maka berdasarkan hasil optimisasi ini dapat diketahui hasil campuran bahan bakar dan udara yang sesuai untuk menghasilkan daya paling optimum. Maka dapat disimpulkan bahwa jika dilihat dari hasil optimisasi, untuk menghasilkan daya optimum ketika

diberikan beban 900 watt berada pada laju aliran bahan bakar biogas sebesar 0,031 l/min dan laju aliran udara 1,136 l/min yang dapat menghasilkan daya sebesar 1,0287 kW. Laju aliran bahan bakar dan udara sendiri memiliki peranan penting dalam menentukan daya yang merupakan fungsi objektif dari optimisasi ini. Untuk menentukan fungsi objektif, maka diperlukan variabel fungsi objektif, maka diperlukan variabel fungsi objektif. Variabel optimisasi dalam tugas akhir ini adalah laju aliran bahan bakar dan udara. Berikut merupakan grafik campuran laju aliran bahan bakar dan udara yang dapat menghasilkan fungsi objektif sesuai dengan *real plant*.



**Gambar 4.4** Grafik penunjukan variabel optimisasi untuk fungsi objektif

Kemudian dari variabel optimisasi yang telah diketahui didapatkan fungsi objektifnya berupa daya. Fungsi objektif yang telah didapatkan ini dibandingkan dengan hasil pengukuran *real plant*. Pada pengambilan data tersebut dilakukan selama 60 menit dengan rentang pengambilan data 5 menit. Fungsi objektif yang telah didapatkan disesuaikan dengan pengambilan data kemudian dibandingkan hasilnya. Berikut ini merupakan perbandingan antara pengukuran pada plant dengan fungsi objektif daya yang dioptimisasi dengan PSO.



**Gambar 4.5** Grafik perbandingan nilai fungsi objektif pada PSO dengan hasil pengukuran

Hasil perbandingan antara hasil pengukuran *real plant* dengan hasil fungsi objektif pada PSO dapat dilihat pada gambar 4.5. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa hasil fungsi objektif berupa daya dapat mengikuti trend pada hasil pengukuran *real plant*. Dengan melihat hasil pada grafik perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa fungsi objektif pada persamaan 3.15 dapat dikatakan mampu mewakili proses pembangkitan daya generator set biogas. Akan tetapi pada gambar tersebut masih terdapat error yang wajar terjadi pada hasil simulasi dengan hasil *real plant*. Maka dari itu perlu dilakukan analisa error. Tabel 4.1 merupakan analisa perhitungan error hasil perbandingan yang telah dilakukan. Analisa errornya adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Perhitungan Error Hasil Perbandingan

Waktu	Daya Hasil Fungsi Objektif PSO (kW)	Daya Hasil Pengukuran (kW)	Error
5	0,7339	0,7444	0,01044
10	0,7659	0,773	0,00707
15	0,7979	0,8098	0,01189
20	0,6763	0,6994	0,02311
25	0,7659	0,773	0,00707
30	1,0287	0,8998	-0,1289
35	0,7979	0,818	0,02007
40	1,0287	0,8957	-0,1329
45	1,0287	0,8998	-0,1289
50	0,7979	0,8139	0,01598
55	1,0287	0,8998	-0,1289
60	1,0287	0,8998	-0,1289
Jumlah			-0,5528
Rata-Rata			-0,0461

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui bahwa jumlah error yang terjadi pada perbandingan hasil fungsi objektif PSO dengan hasil pengukuran *real plant* adalah -0,5528. Sedangkan error rata-ratanya adalah -0,0461. Error rata-rata yang terjadi pada hasil perbandingan ini masih tergolong kecil dan masih dalam batas kewajaran.

### 4.3 Pembahasan

*Generator – set* merupakan salah satu alat yang dibutuhkan saat ini ketika sumber listrik konvensional yaitu PLN sedang terjadi gangguan. *Generator-set* berbahan bakar biogas saat ini salah satunya yang digunakan untuk mengatasinya. Untuk menghasilkan daya listrik yang sesuai dengan keinginan maka harus dilakukan suatu campuran yang sesuai antara bahan

bakarnya yaitu biogas, mengingat ada 3 hal terpenting dalam proses pembakaran yang terjadi dalam mesin genset ini yaitu adanya bahan bakar, udara ( $O_2$ ) dan sumber panas yang bisa disebut sebagai segitiga pembakaran.

Menurut teori yang ada, jika ingin menghasilkan daya yang tinggi, maka membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak pula. Dalam tugas akhir ini, diinginkan optimalisasi dari daya yang dikeluarkan oleh generator set atau dengan kata lain memaksimalkan daya yang dikeluarkan oleh generator set tersebut berdasarkan aliran bahan bakar yang dimasukkan ke dalam generator.

Pada dasarnya prinsip optimisasi dengan metode *Particle Swarm Optimization* ini adalah meminimalkan fungsi objektif dengan menggunakan fungsi kendala yang sudah diidentifikasi sebelumnya. Fungsi kendala yang digunakan pada desain optimisasi ini mengacu pada kondisi *real plant*, agar dapat dibandingkan dengan data yang sebenarnya untuk keperluan validasi data.

Jika melihat dari hasil optimisasi yang ditunjukkan pada gambar 4.3 maka didapatkan hasil besaran optimum untuk  $X = 0,031$  l/min dan  $Y = 1,136$  l/min dengan diperoleh daya terbaik yang dihasilkan adalah 1,0287 kW. Sedangkan untuk hasil perbandingan antara hasil fungsi objektif PSO dengan hasil *real plant* memperoleh rata – rata error sebesar -0,0461. Error rata-rata yang terjadi pada hasil perbandingan ini masih tergolong kecil dan masih dalam batas kewajaran.

***(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)***

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pada hasil penelitian tugas akhir yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Telah dilakukan eksperimen optimisasi daya pada generator set berbahan bakar biogas dengan metode PSO dengan cara menentukan fungsi objektif dan *constraint* sehingga dapat diketahui daya yang bertindak sebagai fungsi objektif dan yang diberikan *constraint* adalah laju aliran bahan bakar sebesar 0,029 l/min sampai 0,031 l/min dan laju aliran udara sebesar 1,136 l/min sampai 1,172 l/min.
2. Hasil optimisasi terbaik didapatkan pada kondisi laju aliran biogas sebesar 0,031 l/min , aliran udara sebesar 1,136 l/min, dengan nilai daya sebesar 1,0287 kW. Hasil perbandingan antara hasil fungsi objektif PSO dengan hasil *real plant* memperoleh rata – rata error sebesar - 0,0461. Error rata-rata yang terjadi pada hasil perbandingan ini masih tergolong kecil dan masih dalam batas kewajaran.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk dilakukan penelitian selanjutnya yaitu :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut lagi mengenai optimisasi daya generator ini dengan memperhatikan efisiensi dan kehematan bahan bakarnya.
2. Melakukan optimisasi dengan menggunakan metode yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.
3. Mempersiapkan lebih baik lagi untuk peralatan pengambilan data, mengingat data yang diambil bukan berasal dari plant pabrik dan masih terdapat beberapa *error* dan *troubleshooting*.

4. Untuk pencarian sumber biogas sebaiknya ditentukan dan dipastikan di awal terlebih dahulu mengingat biogas sulit untuk diperoleh dan disimpan di daerah perkotaan yang besar seperti Surabaya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Osorio, F. & Torres, J.C., “*Biogas Purification From Anaerobic Digestion In A Waste Water Treatment Plant for Biofuel Production*”, *Renewable Energy*, 34, 2164-2171. 2009.
- [2] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, *Statistik Populasi Sapi di Indonesia*, Laporan Perkembangan Pertanian Indonesia, Jakarta. 2010.
- [3] Warta BIRU, 2014. *Capaian Biogas Rumah Tangga Skala Nasional*, Tim BIRU, vol. 3 2014.
- [4] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), *Outlook Energi Indonesia : Pengembangan Energi untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan*, ISBN 978-602-1328-04-0. 2015.
- [5] Kementerian ESDM, *Supply Demand Energy*. Jakarta : Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian ESDM. 2013.
- [6] Abdurrakhman, A., Soehartanto, T., Sudarmanta B. Rancang Bangun Alat Purifikasi Biogas Dengan Menggunakan CaO Dan *Water Scrubber*. Surabaya : Departemen Teknik Fisika, FTI-ITS, Surabaya. 2014.
- [7] Artayana, K.C.B. *Pengaruh Variasi Konverter Biogas Terhadap Unjuk Kerja Pada Mesin Genset Berkapasitas 1200 Watt*. Denpasar : Program Pascasarjana Universitas Udayana, Denpasar Bali. 2014.
- [8] Mojika, E.E., dan Paglinawan A.C., *Electrical Performance Analysis Of Biogas Fuelled Generator With Purifier*, Manila : Mapua Institute of Technology. Manila – Filipina. 2016
- [9] Li, Xiaohui. dan Wang, Yuhong. *Prediction Model of Biogas Production for Anaerobic Digestion Process of Food Waste Based on LM-BP Neural Network and Particle Swarm Algorithm Optimization*. Qingdao : College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, China. 2017.

- [10] Enerzea. 2018. *Biogas Power Solution*. Diambil dari <http://www.enerzea.in/solutions/biogas-power-solution/> (31 Januari 2018)
- [11] Harahap, F.. Teknologi Gas Bio. Pusat Teknologi Pembangunan ITB, Bandung. 1980.
- [12] Meynell. 1976, *Energy For World Agricultural*, FAO-UN, United States.
- [13] Bankspower. 2018. *News and Media*. Diambil dari <https://www.bankspower.com/news-media/photos/> (4 Februari 2018)
- [14] Benson, Rowland, dan Whitehouse N.D. *Internal Combustion Engine Volume 1*. Pergamon Press. 1983.
- [15] Abedin, M.J., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Sanjid, A., Rahman, S.M.A., Masum, B.M. *Energy balance of internal combustion engines using alternative fuels*. Kuala Lumpur : Faculty of Engineering, University of Malaya, Malaysia. 2013.
- [16] Yingjian, Li., Qi, Qui., Xiangzhu, He., Jiezhi Li. *Energy balance and efficiency analysis for power generation in internal combustion engine sets using biogas*. Shenzhen : Chemistry & Chemical Engineering, Shenzhen University, China. 2014.
- [17] Budi Santosa dan Paul Willy. *Metoda Metaheuristik, Konsep dan Implementasi*, Graha Ilmu, Surabaya. 2011.
- [18] J. Kennedy and R. C. Eberhart. Particle swarm optimization. In *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks*. IEEE Service Center, Piscataway, 1995.
- [19] Singiresu S. Rao. *Engineering Optimization, Theory and Practice*. John Wiley & Sons, New York, fourth edition, 2009.

**LAMPIRAN A**  
**HASIL PENGUKURAN DAYA PADA PLANT**

**A.1 Pengukuran Input Output Pertama**

Waktu (Menit)	Fuel (l/min)	Udara (l/min)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (kW)
5	0.03	1.172	4.09	182	0.7444
10	0.03	1.166	4.09	189	0.773
15	0.03	1.159	4.09	198	0.8099
20	0.029	1.136	4.09	171	0.6994
25	0.03	1.165	4.09	189	0.773
30	0.031	1.136	4.09	220	0.8998
35	0.03	1.159	4.09	200	0.818
40	0.031	1.136	4.09	219	0.8957
45	0.031	1.137	4.09	220	0.8998
50	0.03	1.159	4.09	199	0.8139
55	0.031	1.137	4.09	220	0.8998
60	0.031	1.136	4.09	220	0.8998

## A.2 Pengukuran Input Output Kedua

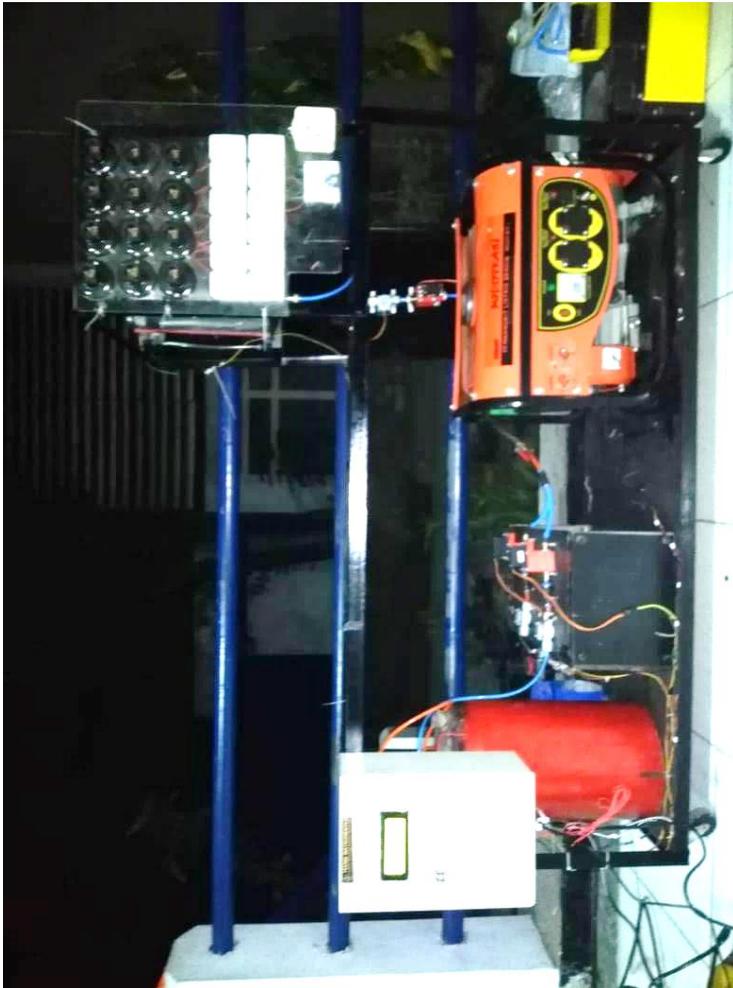
Waktu (Menit)	Fuel (l/min)	Udara (l/min)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (kW)
5	0.03	1.166	4.09	188	0.7689
10	0.03	1.172	4.09	178	0.7444
15	0.03	1.163	4.09	187	0.7648
20	0.03	1.157	4.09	198	0.8099
25	0.031	1.136	4.09	218	0.8916
30	0.031	1.136	4.09	220	0.8998
35	0.03	1.159	4.09	198	0.8099
40	0.03	1.166	4.09	189	0.773
45	0.031	1.136	4.09	220	0.8998
50	0.03	1.162	4.09	187	0.7648
55	0.03	1.159	4.09	200	0.818
60	0.03	1.160	4.09	189	0.773

### A.3 Pengukuran Input Output Ketiga

Waktu (Menit)	Fuel (l/min)	Udara (l/min)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (kW)
5	0.03	1.159	4.09	199	0.8139
10	0.03	1.163	4.09	198	0.8099
15	0.03	1.16	4.09	197	0.8057
20	0.031	1.138	4.09	217	0.8875
25	0.031	1.138	4.09	219	0.8957
30	0.031	1.136	4.09	220	0.8998
35	0.031	1.137	4.09	220	0.8998
40	0.031	1.136	4.09	220	0.8998
45	0.031	1.136	4.09	220	0.8998
50	0.03	1.159	4.09	200	0.818
55	0.03	1.166	4.09	190	0.7771
60	0.031	1.136	4.09	220	0.8998

## LAMPIRAN B PERALATAN PENGAMBILAN DATA

### C.1 Plant Tugas Akhir



**C.2 Alat Purifikasi Biogas**



### C.3 Generator Set Biogas



### C.4 Flowmeter Gas MF5706



### **C.5 Tabung Penyimpanan Biogas**



### **C.6 Papan Lampu untuk Pembebanan**



## LAMPIRAN C

### INISIALISASI FUNGSI OBJEKTIF PADA MATLAB

```
function daya=dayaout (fuel, udara)
lhv=17650;
cg=1.009;
tw=396;
tg=677;
ta=304;
del=5.67E-8;
fsil=0.9;
As=0.5;
daya=(((fuel*lhv)-((fuel+udara)*cg*(tg-ta))-
(del*fsil*As*((tw^4)-(ta^4))/1000))*0.85)-
0.04;
end
```

## LAMPIRAN D

### *LISTING PROGRAM OPTIMISASI PSO PADA MATLAB*

```
clc
clear all

populasi=100;
iterasi=100;

%init fuel & udara
fuel=zeros(1,populasi);
udara=zeros(1,populasi);
vudara=zeros(1,populasi);
vfuel=zeros(1,populasi);
c1=2;%learning factor
c2=2;%learning factor
w=0.7;%0.7-0.9
wdamp=0.99;

%constraint
fuel_min=0.000498; %dalam satuan kg/s
udara_min=0.0193; %dalam satuan kg/s
fuel_max=0.000517; %dalam satuan kg/s
udara_max=0.0199; %dalam satuan kg/s

%init best
gbest=0;
posgbest=zeros(1,2);
pbest=zeros(1,populasi);
pospbestfuel=zeros(1,populasi);
pospbestudara=zeros(1,populasi);

%display
dataku.gbest=zeros(1,iterasi);

%init position
for i=1:populasi
    fuel(i)=rand()*(fuel_max-fuel_min)+fuel_min;
```

```

udara(i)=rand()*(udara_max- udara_min)+udara_min;
end

%Particle Swarm
for i=1:iterasi
    clc
    disp(num2str(i))

    for j=1:populasi
        fit_func=dayaout(fuel(j),udara(j));
        if fit_func>pbest(j)
            pbest(j)=fit_func;
            pospbestfuel(j)=fuel(j);
            pospbestudara(j)=udara(j);
        end
    end

    for j=1:populasi
        if pbest(j)>gbest
            gbest=pbest(j);
            posgbest=[pospbestfuel(j),pospbestudara(j)];
        end
    end

    dataku.gbest(i)=gbest;

    for j=1:populasi
        vfuel(j)=w*vfuel(j)+c1*rand()*(pospbestfuel(j)-
            fuel(j))+c2*rand()*(posgbest(1)-
            fuel(j));
        vudara(j)=w*vudara(j)+c1*rand()*
            (pospbestudara(j)-udara(j))+c2*rand()*
            (posgbest(2)-udara(j));
        fuel(j)=fuel(j)+vfuel(j);
        udara(j)=udara(j)+vudara(j);

        if udara(j)>udara_max
            udara(j)=udara_max;
        end
        if fuel(j)>fuel_max

```

```

        fuel(j)=fuel_max;
    end
    if udara(j)<udara_min
        udara(j)=udara_min;
    end
    if fuel(j)<fuel_min
        fuel(j)=fuel_min;
    end
end
end

w=w*wdamp;
end

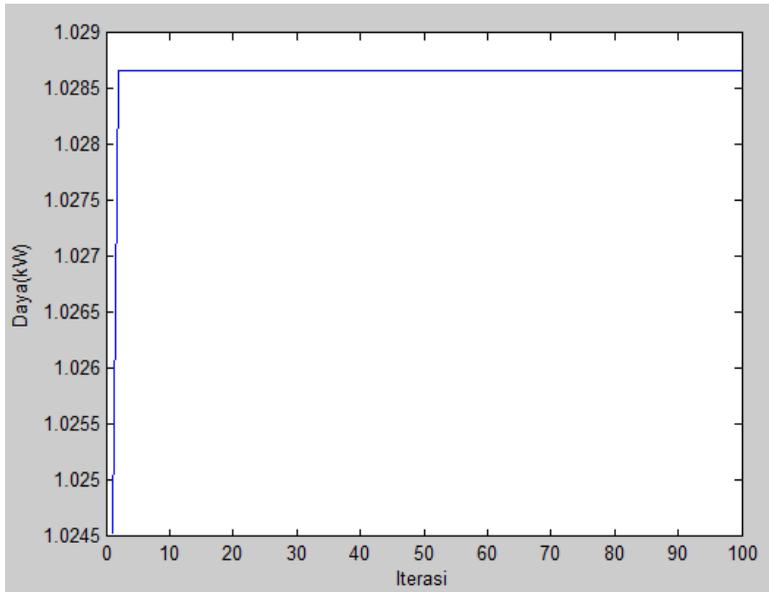
figure
plot(dataku.gbest)
xlabel('Iterasi')
ylabel('Daya (kW)')

clc
disp('Hasil')
disp(num2str(gbest))
disp(['fuel = ',num2str(posgbest(1))])
disp(['udara = ',num2str(posgbest(2))])

```

## LAMPIRAN E

### GRAFIK HASIL OPTIMISASI PSO PADA MATLAB



Grafik tersebut menunjukkan pada sumbu x adalah iterasi dan sumbu y adalah daya yang dihasilkan. Berdasarkan optimisasi yang dilakukan dengan metode PSO pada MATLAB diketahui besaran optimum untuk laju aliran bahan bakar biogas sebesar 0,031 l/min (0.000517 kg/s) dan laju aliran udara 1,136 l/min (0.0193 kg/s) yang dapat menghasilkan daya sebesar 1.0287 kW dapat dilihat berdasarkan hasil pada *command window* MATLAB berikut :

```
Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Examples, or read Getting Started.

Hasil
1.0287
fuel = 0.000517
udara = 0.0193
>> |
```



## LAMPIRAN G

### PERHITUNGAN FUNGSI OBJEKTIF

Perhitungan fungsi objektif dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$f = \left( \left( (\dot{m}_f 17650) - \left( (\dot{m}_f + \dot{m}_a) 376.357 \right) - (0.40953) \right) 0.85 \right) - 0.04$$

Maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Laju Aliran Biogas		Laju Aliran Udara		Daya (kW)
l/min	kg/s	l/min	kg/s	
0.29	0.00493	1.136	0.0193	0.6763
0.29	0.00493	1.137	0.0193	0.6763
0.29	0.00493	1.138	0.0193	0.6763
0.29	0.00493	1.139	0.0194	0.6443
0.29	0.00493	1.14	0.0194	0.6443
0.29	0.00493	1.141	0.0194	0.6443
0.29	0.00493	1.142	0.0194	0.6443
0.29	0.00493	1.143	0.0194	0.6443
0.29	0.00493	1.144	0.0194	0.6443
0.29	0.00493	1.145	0.0195	0.6123
0.29	0.00493	1.146	0.0195	0.6123
0.29	0.00493	1.147	0.0195	0.6123
0.29	0.00493	1.148	0.0195	0.6123
0.29	0.00493	1.149	0.0195	0.6123
0.29	0.00493	1.15	0.0196	0.5803
0.29	0.00493	1.151	0.0196	0.5803
0.29	0.00493	1.152	0.0196	0.5803
0.29	0.00493	1.153	0.0196	0.5803
0.29	0.00493	1.154	0.0196	0.5803

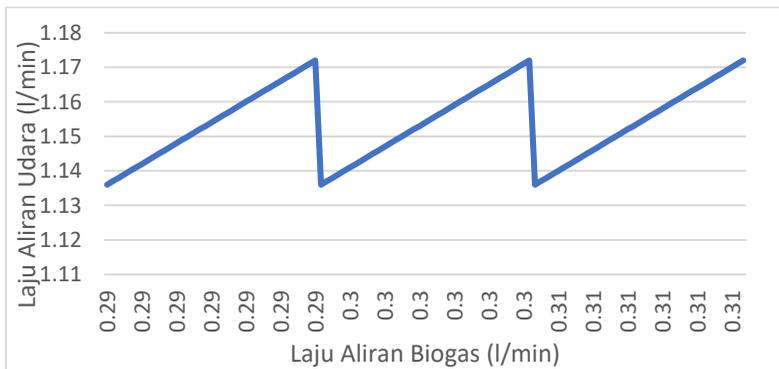
Laju Aliran Biogas		Laju Aliran Udara		Daya (kW)
l/min	kg/s	l/min	kg/s	
0.29	0.00493	1.155	0.0196	0.5803
0.29	0.00493	1.156	0.0197	0.5483
0.29	0.00493	1.157	0.0197	0.5483
0.29	0.00493	1.158	0.0197	0.5483
0.29	0.00493	1.159	0.0197	0.5483
0.29	0.00493	1.16	0.0197	0.5483
0.29	0.00493	1.161	0.0197	0.5483
0.29	0.00493	1.162	0.0198	0.5163
0.29	0.00493	1.163	0.0198	0.5163
0.29	0.00493	1.164	0.0198	0.5163
0.29	0.00493	1.165	0.0198	0.5163
0.29	0.00493	1.166	0.0198	0.5163
0.29	0.00493	1.167	0.0198	0.5163
0.29	0.00493	1.168	0.0199	0.4843
0.29	0.00493	1.169	0.0199	0.4843
0.29	0.00493	1.17	0.0199	0.4843
0.29	0.00493	1.171	0.0199	0.4843
0.29	0.00493	1.172	0.0199	0.4843
0.3	0.0051	1.136	0.0193	0.9259
0.3	0.0051	1.137	0.0193	0.9259
0.3	0.0051	1.138	0.0193	0.9259
0.3	0.0051	1.139	0.0194	0.8939
0.3	0.0051	1.14	0.0194	0.8939
0.3	0.0051	1.141	0.0194	0.8939
0.3	0.0051	1.142	0.0194	0.8939
0.3	0.0051	1.143	0.0194	0.8939
0.3	0.0051	1.144	0.0194	0.8939
0.3	0.0051	1.145	0.0195	0.8619

Laju Aliran Biogas		Laju Aliran Udara		Daya (kW)
l/min	kg/s	l/min	kg/s	
0.3	0.0051	1.146	0.0195	0.8619
0.3	0.0051	1.147	0.0195	0.8619
0.3	0.0051	1.148	0.0195	0.8619
0.3	0.0051	1.149	0.0195	0.8619
0.3	0.0051	1.15	0.0196	0.8299
0.3	0.0051	1.151	0.0196	0.8299
0.3	0.0051	1.152	0.0196	0.8299
0.3	0.0051	1.153	0.0196	0.8299
0.3	0.0051	1.154	0.0196	0.8299
0.3	0.0051	1.155	0.0196	0.8299
0.3	0.0051	1.156	0.0197	0.7979
0.3	0.0051	1.157	0.0197	0.7979
0.3	0.0051	1.158	0.0197	0.7979
0.3	0.0051	1.159	0.0197	0.7979
0.3	0.0051	1.16	0.0197	0.7979
0.3	0.0051	1.161	0.0197	0.7979
0.3	0.0051	1.162	0.0198	0.7659
0.3	0.0051	1.163	0.0198	0.7659
0.3	0.0051	1.164	0.0198	0.7659
0.3	0.0051	1.165	0.0198	0.7659
0.3	0.0051	1.166	0.0198	0.7659
0.3	0.0051	1.167	0.0198	0.7659
0.3	0.0051	1.168	0.0199	0.7339
0.3	0.0051	1.169	0.0199	0.7339
0.3	0.0051	1.17	0.0199	0.7339
0.3	0.0051	1.171	0.0199	0.7339
0.3	0.0051	1.172	0.0199	0.7339
0.31	0.00517	1.136	0.0193	1.0287

Laju Aliran Biogas		Laju Aliran Udara		Daya (kW)
l/min	kg/s	l/min	kg/s	
0.31	0.00517	1.137	0.0193	1.0287
0.31	0.00517	1.138	0.0193	1.0287
0.31	0.00517	1.139	0.0194	0.9967
0.31	0.00517	1.14	0.0194	0.9967
0.31	0.00517	1.141	0.0194	0.9967
0.31	0.00517	1.142	0.0194	0.9967
0.31	0.00517	1.143	0.0194	0.9967
0.31	0.00517	1.144	0.0194	0.9967
0.31	0.00517	1.145	0.0195	0.9647
0.31	0.00517	1.146	0.0195	0.9647
0.31	0.00517	1.147	0.0195	0.9647
0.31	0.00517	1.148	0.0195	0.9647
0.31	0.00517	1.149	0.0195	0.9647
0.31	0.00517	1.15	0.0196	0.9327
0.31	0.00517	1.151	0.0196	0.9327
0.31	0.00517	1.152	0.0196	0.9327
0.31	0.00517	1.153	0.0196	0.9327
0.31	0.00517	1.154	0.0196	0.9327
0.31	0.00517	1.155	0.0196	0.9327
0.31	0.00517	1.156	0.0197	0.9007
0.31	0.00517	1.157	0.0197	0.9007
0.31	0.00517	1.158	0.0197	0.9007
0.31	0.00517	1.159	0.0197	0.9007
0.31	0.00517	1.16	0.0197	0.9007
0.31	0.00517	1.161	0.0197	0.9007
0.31	0.00517	1.162	0.0198	0.8687
0.31	0.00517	1.163	0.0198	0.8687
0.31	0.00517	1.164	0.0198	0.8687

Laju Aliran Biogas		Laju Aliran Udara		Daya (kW)
l/min	kg/s	l/min	kg/s	
0.31	0.00517	1.165	0.0198	0.8687
0.31	0.00517	1.166	0.0198	0.8687
0.31	0.00517	1.167	0.0198	0.8687
0.31	0.00517	1.168	0.0199	0.8367
0.31	0.00517	1.169	0.0199	0.8367
0.31	0.00517	1.17	0.0199	0.8367
0.31	0.00517	1.171	0.0199	0.8367
0.31	0.00517	1.172	0.0199	0.8367

Berdasarkan tabel perhitungan diatas, maka didapatkan grafik hubungan antara sumbu x (laju aliran bahan bakar biogas) dengan sumbu y (laju aliran udara) seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



## **BIODATA PENULIS**



Penulis mempunyai nama lengkap Santiko Luhur Andana. Penulis lahir di Gresik, 30 Desember 1994. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri 1 Sidomoro Kebomas Gresik pada tahun 2001 hingga 2007. Setelah lulus SD, penulis melanjutkan studinya di SMP Negeri 1 Gresik pada tahun 2007 hingga 2010. Pada tahun 2010 hingga 2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Manyar Gresik. Selanjutnya pada tahun 2013 hingga 2016 penulis melanjutkan studi di Program Studi Diploma III Metrologi dan Instrumentasi Jurusan Teknik Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menempuh studi Diploma III selama 3 tahun dan lulus pada tahun 2016. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan studi Strata 1 di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik pada alamat [santiko\\_30@yahoo.co.id](mailto:santiko_30@yahoo.co.id).