



TUGAS AKHIR TF 145565

OPTIMISASI PADA PERANCANGAN *SUPERSONIC SEPARATION* (3S) MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

Ade Setyo Nugroho
NRP 2415.105.011

Dosen Pembimbing
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.
NIP. 19710702 199802 1 001

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK FISIKA
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TF 145565

OPTIMISASI PADA PERANCANGAN *SUPERSONIC SEPARATION* (3S) MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

Ade Setyo Nugroho
NRP 2415.105.011

Dosen Pembimbing
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.
NIP. 19710702 199802 1 001

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK FISIKA
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT TF 145565

**OPTIMIZATION OF SUPERSONIC SEPARATION
(3S) DESIGN USING GENETIC ALGORITHM**

**Ade Setyo Nugroho
NRP 2415.105.011**

***Supervisor*
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.
NIP. 19710702 199802 1 001**

**STUDY PROGRAM OF S1 ENGINEERING PHYSICS
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ade Setyo Nugroho

NRP : 2415105011

Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul **OPTIMISASI PADA PERANCANGAN *SUPERSONIC SEPARATION* (3S) MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 31 Juli 2017

Yang membuat pernyataan,



Ade Setyo Nugroho

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI PADA PERANCANGAN *SUPERSONIC SEPARATION (3S)* MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

Oleh:

Ade Setyo Nugroho
NRP. 2415 105 011

Surabaya, 1 Agustus 2017
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing



Totok Ruki Biyanto, Ph.D.
NIP. 19710702 199802 1 001

Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



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

OPTIMISASI PADA PERANCANGAN *SUPERSONIC SEPARATION* (3S) MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

ADE SETYO NUGROHO
NRP. 2415 105 011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Totok Ruki Biyanto, Ph.D.  (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  (Ketua Penguji)
3. Hendra Cordova, S.T., M.T.  (Penguji I)
4. Ir. Zulkifli, M.Sc.  (Penguji II)

SURABAYA
JULI 2017

OPTIMISASI PADA PERANCANGAN *SUPERSONIC SEPARATION (3S)* MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

Nama Mahasiswa : Ade Setyo Nugroho
NRP : 2415 105 011
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Abstrak

Gas alam yang masih memiliki banyak kandungan membutuhkan keadaan khusus untuk masuk pada proses pengolahan gas guna memisahkan kandungan gas mentah menjadi partikel – partikel gas yang siap digunakan. Teknologi pemisahan gas yang berkembang saat ini adalah *supersonic separation (3S)*. Model perancangan *supersonic separation* menggunakan persamaan material balance, energy balance, dan hukum Bernoulli serta menggunakan metode optimisasi berupa genetic algorithm. Hasil optimisasi yang didapatkan berupa diameter sebelum laval nozzle sebesar 0.1047 m, diameter pada laval nozzle sebesar 0.0128 m, diameter pada cyclonic separation sebesar 0.0293 m, panjang sebelum laval nozzle sebesar 0.1806 m dan panjang setelah laval nozzle 0.2005 m serta volume *supersonic separation* yaitu $6,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Dimensi hasil optimisasi digunakan untuk menghasilkan harga material minimal perancangan sebesar Rp. 5.167.618.

Kata kunci : Gas alam, *Supersonic separation*, *Genetic algorithm*

**OPTIMIZATION OF SUPERSONIC SEPARATION (3S)
DESIGN USING GENETIC ALGORITHM**

Student Name : Ade Setyo Nugroho
NRP : 2415 105 011
Department : *Engineering Physics FTI-ITS*
Advisor Lecturer : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Abstract

Natural gas that still has many contents requires special conditions to enter in the gas processing to separate the raw gas content into gas particles ready for use. The current gas separation technology is supersonic separation (3S). Supersonic separation design model using material balance equation, energy balance, and Bernoulli law and using optimization method in the form of genetic algorithm. The optimization result was obtained before the laval nozzle was 0.1047 m, the diameter of the laval nozzle was 0.0128 m, the diameter of the cyclonic separation was 0.0293 m, the length before the laval nozzle of 0.1806 m and the length after laval nozzle 0.2005 m and the supersonic separation volume of $6,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Dimensions of optimization results are used to produce a minimum material price of design of Rp. 5.167.618.

Keywords : *Natural Gas, Supersonic separation, Optimization, Genetic algorithm*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT penulis panjatkan karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“OPTIMISASI PADA PERANCANGAN *SUPERSONIC SEPARATION* (3S) MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*”** dengan tepat waktu. Laporan ini dapat terselesaikan dengan dukungan dan peran serta dari berbagai pihak. Untuk itulah dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika FTI-ITS.
2. Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dan memberikan banyak ilmu serta pengalaman.
4. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. selaku Dosen Wali penulis.
5. Keluarga penulis yang selalu mendukung dan memberikan semangat untuk belajar.
6. Teman – teman seperjuangan “LJ Teknik Fisika FTI-ITS 2015” yang telah menemani penulis suka dan duka selama kuliah berlangsung hingga wisuda.
7. Teman – teman “Pejuang Tangguh Workshop Instrumentasi 2012” yang telah memberikan dukungan selama pengerjaan Tugas Akhir.
8. Aliansi TRB crew 2017 yang telah membantu dan menemani pengerjaan tugas akhir.
9. Teman – teman bidang minat Instrumentasi Teknik Fisika FTI-ITS 2017.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima segala masukan

berupa saran, kritik, dan segala bentuk tegur sapa demi kesempurnaan laoran ini.

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

Surabaya, 31 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PLAGIASI	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xivi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumusan masalah Error! Bookmark not defined.	
1.3. Tujuan	Error! Bookmark not defined.
1.4. Lingkup kerja	Error! Bookmark not defined.
1.5. Sistematika laporan	Error! Bookmark not defined.
BAB II DASAR TEORI	5
2.1. <i>Cyclonic separator</i>	5
2.2. <i>Supersonic separation (3s)</i>	6
2.3. Hukum Bernoulli	9
2.4. <i>Genetic algorithm</i>	11
2.5. <i>Stainless steel</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. <i>Flowchart</i> perancangan alat	23
3.2. Pengambilan data	24
3.3. Pemodelan <i>supersonic separation</i>	24
3.4. Perancangan optimisasi dengan <i>genetic algorithm</i>	30
3.5. Pengujian optimisasi	32
3.6. Analisis data	33
3.7. Pembuatan laporan	33

BAB IV ANALISIS DATA	35
4.1. Pemodelan dan pengujian sistem	35
4.2. Optimisasi menggunakan <i>genetic algorithm</i>	37
4.3. Hasil optimisasi	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1. Kesimpulan.....	41
5.2. Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Supersonic separation..</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2	Seleksi <i>roulette wheel</i> ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3	Proses <i>crossover</i> pada GA .	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4	Proses <i>mutation</i> pada GA ...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> pengerjaan tugas akhir.....	23
Gambar 3.2	Skema sederhana <i>supersonic separation</i>	25
Gambar 3.3	<i>Flowchart genetic algorithm</i>	30
Gambar 4.1	Grafik optimisasi menggunakan <i>Genetic algorithm</i>	38
Gambar 4.2	Ukuran hasil optimisasi <i>supersonic separation</i>	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis – jenis <i>supersonic separation</i>	8
Tabel 2.2 <i>Stainless steel</i> jenis <i>austenitic</i> . Error! Bookmark not defined.	
Tabel 2.3 <i>Stainless steel</i> jenis <i>ferritic</i> Error! Bookmark not defined.	
Tabel 2.4 <i>Stainless steel</i> jenis <i>martensitic</i>	Error!
Bookmark not defined.	
Tabel 2.5 <i>Stainless steel</i> jenis <i>precipitation hardening</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.1 <i>Tuning</i> parameter GA	32
Tabel 4.1 Data parameter <i>supersonic separation</i>	35
Tabel 4.2 Hasil optimisasi	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pada umumnya gas alam yang dihasilkan dari sumur tidak bisa menjadi sebuah produk yang dijual secara langsung. Akan tetapi natural gas yang masih memiliki banyak kandungan membutuhkan keadaan khusus untuk masuk pada proses pengolahan gas guna memisahkan kandungan gas mentah menjadi partikel – partikel gas yang siap digunakan. Beberapa proses pengolahan gas mentah biasanya menggunakan *CO₂ Removal, dehydration, LPG extraction, dan dew pointing* (Shooshtari., 2013). Teknologi yang digunakan untuk mencapai langkah – langkah tersebut yaitu melalui Joule-Thomson *valve* atau *turbo expander*. Dengan adanya perkembangan teknologi pemisahan gas terdapat juga salah satu teknologi gas separation yang baru dengan menggabungkan metode dari Joule-Thomson *valve* dan *turbo expander* yaitu dengan menggunakan *supersonic separation* (3S) (Yang, 2014).

Supersonic separation merupakan teknologi pemisahan kandungan gas yang terdiri dari *laval nozzle, vortex generator, diffuser, dan lain sebagainya* (Haghighi, 2015). Teknik unik ini memiliki sebuah struktur turbular yang mudah dan tersusun rapat tanpa ada bagian yang bergerak sehingga memiliki reliabilitas tinggi. *Supersonic separation* juga tidak menggunakan bahan kimia dan energi panas sehingga mengurangi emisi dan melindungi lingkungan sekitar. *Supersonic separation* telah sesuai dengan kebutuhan dalam pembangunan pengolahan gas seperti keamanan, pelestarian lingkungan, dan hemat energi (Hammer, 2014).

Sebelumnya terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang *supersonic separation*. Penelitian (Yang, 2017) menjelaskan tentang perilaku partikel pada aliran *supersonic* dengan putaran turbin yang kuat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa partikel – partikel tersebut saling bertabrakan sehingga akan mendekati dengan dinding *supersonic separation* dan sebagian kecil partikel tersebut akan melewati aliran gas

kering. Sehingga dapat diketahui bahwa efisiensi dari alat ini sekitar 80%. Penelitian (Yang, 2014) menjelaskan tentang pengaruh real gas pada natural gas *supersonic separation* menggunakan *computational fluid dynamic (CFD) modelling*. Dari penelitian ini diketahui bahwa deviasi dari gas mach number antara gas ideal dengan model gas asli sekitar 13,5% pada lubang keluaran, ketika *error* didensitas gas lebih dari 20% pada keseluruhan *body supersonic separator*. *Error* relatif dari gas *mach number* akan melebihi 15% dengan temperatur inlet 283 K. Pada penelitian (Yang, 2017) menjelaskan tentang optimisasi pada *static vanes* di *supersonic separation* hanya menggunakan metode *computational fluid dynamic (CFD) modelling* dan belum menggunakan optimisasi dengan metode algoritma. Hasil dari optimisasi menunjukkan bahwa ketika sudut putar $45^\circ - 60^\circ$, ketinggian 0,125 – 0,3 m dan jumlah *vanes* sebanyak 8 – 16 buah adalah ukuran yang layak untuk proses *gas purification* menggunakan *supersonic separator*.

Akan tetapi, masih belum ada penelitian untuk menghitung estimasi harga material dalam perancangan sistem pemisahan gas menggunakan *supersonic separation* dimana diperlukan biaya yang relatif besar. Sehingga diperlukan suatu penelitian guna meminimalisir harga material yang dibutuhkan pada saat perancangan. Oleh karena itu, diperlukan optimisasi pada perancangan *supersonic separation* untuk mendapatkan biaya perancangan sistem yang minimum.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang pada tugas akhir ini, maka rumusan masalah yang dapat diangkat adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana model perancangan dari *supersonic separation*?
- b. Bagaimana hasil optimisasi pada perancangan *supersonic separation*?
- c. Berapa total harga material yang dibutuhkan dalam perancangan *supersonic separation* setelah dilakukan optimisasi menggunakan *genetic algorithm*?

1.3 Batasan masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang muncul, maka dalam pengerjaan tugas akhir ini diambil beberapa lingkup kerja sebagai berikut:

- a. Optimisasi dilakukan pada perancangan *supersonic separation* (3S).
- b. *Input* dalam proses pemisahan *supersonic separation* berupa *saturated gas*.
- c. Pemodelan dilakukan pada bagian *supersonic separation* setelah *static vanes* hingga *cyclonic separation*.
- d. Optimisasi dilakukan untuk mengetahui besar kecepatan laju aliran gas yang optimal dan nilai minimum dari total harga material yang dibutuhkan dalam perancangan *supersonic separation*.
- e. Material yang digunakan dalam perancangan *supersonic separation* adalah *stainless steel* jenis *austenitic* tipe 316.
- f. Simulasi dilakukan menggunakan program MATLAB.

1.4 Tujuan

Tujuan yang dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pemodelan dari sistem *supersonic separation*.
- b. Mengetahui hasil optimisasi pada perancangan *supersonic separation*.
- c. Mengetahui harga material yang dibutuhkan dalam perancangan *supersonic separation* setelah dilakukan optimisasi menggunakan *genetic algorithm*.

1.5 Sistematika laporan

Secara sistematis, laporan tugas akhir ini tersusun dalam lima bab dengan penjelasan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, lingkup kerja, dan sistematika laporan dari tugas akhir.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang teori – teori yang mendasari penelitian. Teori – teori tersebut diantaranya meliputi definisi membran, pola aliran pada membran, dan juga penerapan optimisasi desain pada membran.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan tentang langkah – langkah dan tahapan penelitian dimulai dari pemodelan desain membran hingga analisa dan pengolahan data.

BAB IV ANALISIS DATA

Bab ini menunjukkan data beserta analisis dan pembahasan yang telah diperoleh selama pengerjaan penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memaparkan kesimpulan dan saran terkait dengan tugas akhir yang telah dilaksanakan.

BAB II DASAR TEORI

2.1 *Cyclonic separator*

Cyclonic separator adalah alat yang menggunakan prinsip gaya sentrifugal dan tekanan rendah karena adanya perputaran untuk berdasarkan perbedaan massa jenis dan ukuran (Sukma, 2010). Adapun prinsip kerja dari *cyclone* yaitu Gas atau aliran fluida yang diinjeksikan melalui pipa input. Bentuk kerucut *cyclone* menginduksikan aliran gas atau fluida untuk berputar, menciptakan *vortex*. Partikel dengan ukuran atau kerapatan yang lebih besar didorong ke arah luar *vortex*. Gaya gravitasi menyebabkan partikel – partikel tersebut jatuh ke sisi kerucut menuju tempat pengeluaran. Partikel dengan ukuran atau kerapatan yang lebih kecil keluar melalui bagian atas dari *cyclone* melalui pusat yang bertekanan rendah. *Cyclone* membuat suatu gaya sentrifugal yang berfungsi untuk memisahkan partikulat dari udara kotor. Gaya sentrifugal timbul saat partikulat di dalam udara masuk ke puncak kolektor silindris pada suatu sudut dan diputar dengan cepat mengarah ke bawah seperti pusaran air. Aliran udara mengalir secara melingkar dan partikulat yang lebih berat mengarah ke bawah setelah menabrak ke arah dinding *cyclone* dan meluncur ke bawah (Sukma, 2010). Efisiensi *Cyclone* tergantung pada:

- a. Ukuran partikel
Semakin besar ukuran partikel, maka efisiensi *cyclone* akan semakin meningkat karena berdasarkan Hukum Stokes, diameter partikel berbanding lurus dengan terminal *settling velocity*.
- b. Diameter dari *cyclone*
Berdasarkan gaya sentrifugal, diameter *cyclone* berbanding terbalik dengan gayanya, sehingga semakin kecil diameter *cyclone* maka semakin besar efisiensinya.
- c. Viskositas dari gas
Berdasarkan Hukum Stokes, semakin besar viskositas maka efisiensi *cyclone* semakin kecil.

- d. Temperatur gas buang
Temperatur gas buang akan mempengaruhi sifat dari fluida.
- e. Densitas partikel
Semakin besar densitas partikel maka akan semakin besar efisiensi *cyclone*.
- f. *Dust loading*
Semakin banyak *dust loading* maka akan semakin baik efisiensi karena memungkinkan terjadinya tumbukan antar partikel semakin besar.
- g. *Inlet velocity*
Semakin besar *inlet velocity* maka akan semakin besar efisiensi *cyclone*.

Cyclone separator memiliki beberapa faktor yang dapat mengurangi performansi dalam pemisahan partikel. Adapun faktor – faktor yang dapat mengurangi performa *cyclone* antara lain sebagai berikut:

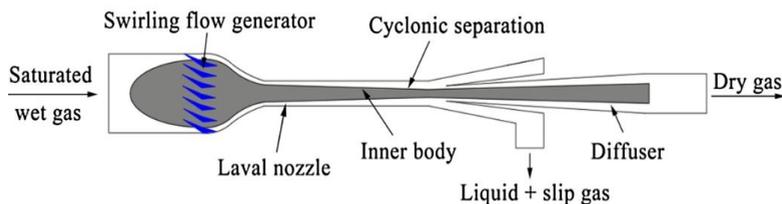
- a. Kerusakan mekanik dari *cyclone*.
- b. Penyumbatan unit disebabkan endapan debu.
- c. Penggunaan yang berlebihan, biasanya disebabkan oleh abrasi.

2.2 *Supersonic separation (3S)*

Supersonic separation merupakan teknologi yang digunakan untuk memisahkan satu atau beberapa komponen gas yang keluar dari campuran gas alam. Teknologi ini berdasarkan pada pendinginan gas alam di sebuah aliran gas *supersonic*. Separator yang dibangun menggunakan teknologi ini tidak hanya untuk memisahkan fluida cair dari gas. Akan tetapi juga untuk memisahkan beberapa fraksi uap hidrokarbon (Vaziri, 2013). Teknologi ini tampaknya akan membuat kemungkinan untuk mewujudkan pemerosesan gas dalam laut. Pada teknologi *supersonic separation* sebuah aliran gas *supersonic* diimplementasikan dengan divergen – konvergen *laval nozzle* (Haghighi, 2015). Gas dipercepat hingga melebihi kecepatan suara di fluida gas pada *nozzle*. Proses ini melakukan kondensasi komponen gas dengan pendinginan gas melalui ekspansi di *laval*

nozzle dan kemudian memisahkan kondensasi dari gas kering melewati sebuah integrasi *cyclonic gas* atau *liquid separator* (Priscilla, 2012). Separator ini hanya menggunakan sebagian dari tekanan lingkungan sebagai energi dan memiliki banyak keuntungan ketika dibandingkan dengan teknologi konvensional. Prinsip kerja dari *supersonic separation* yaitu gas yang masuk kedalam separator akan melewati turbin statik sehingga gas akan membentuk pusaran yang kencang (Priscilla, 2012). Pusaran gas tersebut akan melewati *laval nozzle* dimana aliran gas tersebut dapat dipercepat sehingga mencapai kecepatan *supersonic*. Gas yang memiliki massa jenis yang tinggi akan mengalami pergeseran hingga ke tepi *separator*, sehingga gas yang memiliki massa jenis ringan dapat diteruskan ke proses selanjutnya. Beberapa kelebihan dari teknologi *supersonic separation* adalah (Yang, 2017) sebagai berikut:

- Ukuran yang kecil sehingga tidak membutuhkan banyak tempat, mudah untuk dipindah, dan mengurangi perawatan serta biaya instalasi.
- Modal dan biaya operasional rendah.
- Tidak merugikan lingkungan sekitar.
- Tidak ada bagian yang dapat bergerak.
- Tidak membutuhkan perawatan rutin.
- Hemat energi.
- Kemampuan kinerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan peralatan separator yang konvensional.



Gambar 2. 1 *Supersonic separation* (Yang, 2017)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa *supersonic separation* terdiri dari beberapa bagian penting dalam proses pemisahan gas

alam seperti *static vanes*, *laval nozzle*, *cyclonic separator*, dan *diffuser* (Bian, 2016). Bagian – bagian tersebut dijelaskan seperti dibawah ini:

- a. *Swirling flow* generator merupakan sebuah turbin diam (*static vanes*) yang diletakkan pada awal bagian *supersonic separation* dan berfungsi sebagai pemacu laju aliran pada input *supersonic separation*. Aliran yang masuk pada *supersonic separation* sudah memiliki kecepatan tinggi dan memudahkan laju aliran tersebut dapat mencapai kecepatan *supersonic*.
- b. *Laval nozzle* adalah jenis *nozzle* yang memiliki luas penampang lebar pada *inlet*, menyempit pada pertengahan *nozzle* kemudian membesar kembali pada *outlet*. *Nozzle* ini biasa digunakan untuk mentransportasikan aliran gas bersuhu tinggi dan bertekanan tinggi. Selain itu *nozzle* tersebut sering digunakan pada *jet engine* agar memiliki kecepatan yang tinggi.
- c. *Cyclonic separation* adalah suatu ruang setelah *laval nozzle* yang berfungsi untuk proses pemisahan gas. Pemisahan gas dapat terjadi ketika laju aliran gas yang telah melewati *laval nozzle* memiliki kecepatan *supersonic*. Sehingga partikel gas yang besar dan berat akan secara otomatis dapat terpental menuju tepi dinding *supersonic separation*. Sedangkan partikel gas yang relatif ringan akan berjalan lurus mengikuti aliran menuju ke *diffuser*.
- d. *Diffuser* adalah peralatan mekanik yang didesain untuk mengontrol karakteristik fluida saat masuk ke dalam termodinamika sistem terbuka. *Diffuser* digunakan untuk memperlambat kecepatan fluida dan menambah putaran di sekeliling fluida.

Perkembangan teknologi *supersonic separation* telah meningkat di berbagai negara maju, sehingga terdapat berbagai macam tipe *supersonic separation* yang telah digunakan pada beberapa negara maju (Yang, 2014). Tipe *supersonic* tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1 Jenis – jenis *supersonic separation*

Tipe	Ukuran (mm)	Kapasitas (nm ³ /h)	P _{in} (bar)	P _{out} (bar)
<i>Zapolyarное</i> (Rusia)	d = 100 l = 1500	10000	125	77
<i>Tarimi</i> (China)	d = 168 l = 3000	159000	108	70
<i>Vyngapurovskoe</i> (Rusia)	d = 428 l = 4400	250000	12	10
<i>Severo-Komsomolskoe</i> (Rusia)	d = 168 l = 1712	47000	54	30
<i>Pravdinskoe</i> (Rusia)	d = 168 l = 1712	25000	30	17
<i>Dabei</i> (Cina)	d = 168 l = 2700	40000	118	70

2.3 Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli merupakan salah satu hukum (konsep dasar) yang membahas mengenai mekanika fluida atau secara sederhana dapat dikatakan sebagai konsep yang membahas gerak (aliran) zat cair dan gas.

Azas Bernoulli menyatakan bahwa pada pipa yang mendatar (*horizontal*), tekanan fluida paling besar terdapat pada bagian yang kelajuan alirnya paling kecil, dan tekanan paling kecil terdapat pada bagian yang kelajuan alirnya paling besar. Pernyataan ini dikemukakan pertama kali oleh Daniel Bernoulli (1700-1782), sehingga gas ini dikenal sebagai azas Bernoulli (Castier, 2014).

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa jumlah dari tekanan, energi kinetik persatuan volume, dan energi potensial per satuan volume memiliki nilai yang sama pada setiap titik sepanjang suatu garis arus. Bernoulli juga menjelaskan tentang konsep dasar aliran fluida (zat cair dan gas) bahwa peningkatan kecepatan pada suatu aliran zat cair atau gas, akan mengakibatkan penurunan

tekanan pada zat cair atau gas tersebut. Artinya, akan terdapat penurunan energi potensial pada aliran fluida tersebut.

Konsep dasar ini berlaku pada fluida aliran termampatkan (*compressible flow*), juga pada fluida dengan aliran tak-termampatkan (*incompressible flow*). Hukum Bernoulli sebetulnya dapat dikatakan sebagai bentuk khusus dari konsep dalam mekanika fluida secara umum, yang dikenal dalam persamaan Bernoulli. Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida yang tertutup, banyaknya energi suatu fluida di suatu titik sama dengan dengan banyaknya energi di titik lain.

Hukum Bernoulli berlaku pada dua jenis aliran fluida, yaitu termampatkan dan tak termampatkan. Suatu fluida dengan aliran termampatkan merupakan suatu aliran fluida yang mempunyai karakteristik khusus adanya perubahan kerapatan massa (*density*) pada sepanjang alirannya.

Contoh aliran fluida termampatkan adalah udara atau gas alam. Adapun fluida dikatakan mempunyai aliran tak termampatkan adalah fluida yang mempunyai karakteristik tidak terdapat perubahan kerapatan massa (*density*) pada sepanjang aliran fluida tersebut, sebagai contoh adalah air, macam-macam minyak, campuran lemak dan larutan basa (emulsi).

Hukum Bernoulli dapat dianggap sebagai konsep dasar yang menyatakan kekekalan energi, seperti yang telah diungkapkan pada konsep dasar persamaan Bernoulli, lebih jauh dapat dinyatakan bahwa kekekalan energi tersebut berkaitan dengan energi kinetik dan energi potensial yang terdapat pada suatu aliran fluida, dengan demikian, penjumlahan energi kinetik dan energi potensial pada suatu aliran fluida akan konstan di setiap titik.

Suatu fluida dikatakan mempunyai peningkatan kecepatan, jika fluida tersebut mengalir dari suatu bagian dengan tekanan tinggi menuju bagian lainnya yang bertekanan rendah, sedangkan suatu fluida dikatakan mempunyai penurunan kecepatan, jika fluida tersebut mengalir dari suatu bagian bertekanan rendah, menuju bagian lain bertekanan tinggi.

Persamaan Bernoulli adalah sebuah hubungan fundamental di dalam mekanika fluida. Semua persamaan di dalam mekanika fluida menunjukkan persamaan Bernoulli tersebut bukanlah sebuah prinsip yang baru tetapi dapat diturunkan dari hukum – hukum dasar mekanika Newton (Wang, 2011). Persamaan Bernoulli tersebut pada intinya adalah sebuah pernyataan teorema kerja – tenaga untuk aliran fluida. Teorema usaha-tenaga menyatakan bahwa kerja yang dilakukan oleh gaya resultan yang beraksi pada sebuah sistem adalah sama dengan perubahan tenaga kinetik dari sistem tersebut. Persamaan dari Hukum Bernoulli dapat dilihat seperti pada Persamaan 2.1 dibawah ini.

$$P + \frac{\rho \cdot u^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = \text{constant} \quad (2.1)$$

Dimana,

P = Tekanan fluida (Pa)

ρ = densitas fluida (Kg/m³)

u = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

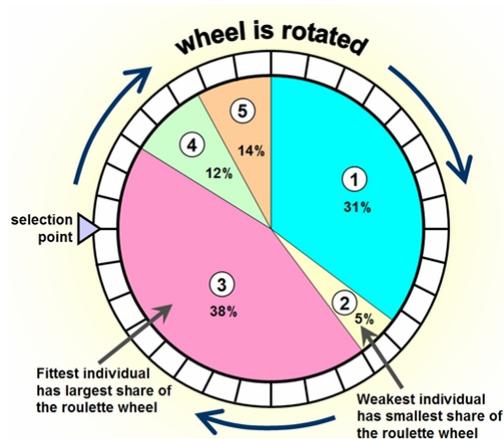
h = ketinggian relatif (m)

2.4 Genetic algorithm

Genetic algorithm (GA) merupakan salah satu algoritma optimisasi stokastik. GA adalah algoritma pencarian heuristik adaptif berdasarkan ide-ide evolusi seleksi alam dan genetika. GA menggunakan pencarian secara acak untuk menyelesaikan masalah pada optimisasi (Pangesti, 2016). Pencarian secara acak oleh GA dilakukan dengan mengeksploitasi informasi yang sudah ada untuk meningkatkan performansi yang lebih baik. Prinsip dasar dari GA adalah teori dari Charles Darwin, “*Survival of The Fittest*”. GA mensimulasikan teori dari Charles Darwin tersebut dengan menggunakan individu-individu yang telah ada pada beberapa generasi. Setiap generasi terdapat karakter dari individu yang dapat disamakan dengan DNA. GA terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahap seleksi individu, *crossover*, dan *mutation*.

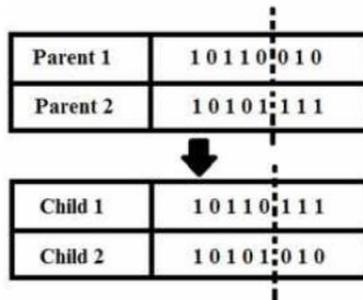
Seleksi individu merupakan tahap dimana gen setiap individu dipilih dan diambil yang terbaik untuk digunakan pada tahap *crossover*. Sebelum dilakukan tahap *crossover*, individu yang mula – mula berupa bilangan desimal harus dirubah menjadi bilangan biner. Cara untuk mengkonversikan bilangan desimal ke biner yaitu dengan membagi angka yang akan dikonversikan dengan angka 2, kemudian dituliskan sisanya. Hasil pembagi yang memiliki sisa angka 1 atau bilangan ganjil maka ditulis satu dan hasil pembagi jika habis dibagi 2 maka dituliskan 0. Hasil pembagian terus dilakukan hingga bilangan tersebut sampai berakhir di angka 1. Langkah selanjutnya menuliskan hasil konversi dari akhir hingga awal perhitungan. Untuk perubahan bilangan desimal ke biner didalam program *software* optimisasi dapat dideklarasikan dengan kode `bi2de`.

Individu yang telah berubah dari bilangan desimal menjadi biner selanjutnya akan masuk pada metode seleksi *crossover* yaitu metode *roulette wheel*. Proses pemilihan pada metode tersebut didasarkan pada evaluasi fungsi *fitness* dari setiap individu. Fungsi *fitness* tersebut adalah fungsi objektif yang digunakan untuk menentukan apakah individu tersebut sudah memiliki nilai yang mendekati nilai tujuan. Individu yang memiliki nilai *fitness* yang besar memiliki kemungkinan yang lebih tinggi untuk terpilih, tetapi tidak menutup kemungkinan pada individu dengan nilai *fitness* yang rendah untuk terpilih (S. & S., 2007). Contoh metode *roulette wheel* dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2. 2 Seleksi *roulette wheel* (S. & S., 2007)

Crossover merupakan tahap untuk menghasilkan individu baru. *Crossover* dapat dianalogikan sebagai proses reproduksi. Dua individu yang telah diseleksi akan menjadi orang tua dari generasi individu selanjutnya. Individu baru akan memiliki gen yang bagus pada kedua orang tua, sehingga, proses ini dilakukan untuk mendapatkan individu yang lebih baik daripada orang tua. Semakin baik *fitness* yang dimiliki oleh orang tua, maka individu yang dihasilkan akan semakin baik (Ali, 2013). Contoh proses *crossover* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses *crossover* pada GA (Pangesti, 2016)

Mutation merupakan proses untuk menghindari terperangkapnya algoritma pada lokal optimum. *Mutation* memiliki peran untuk mengembalikan material genetik yang hilang dan juga sebagai pengganggu informasi genetik secara acak. Hasil dari mutasi bisa saja menghasilkan *fitness* yang lebih baik maupun tidak. Proses ini terjadi dengan mengubah salah satu bit pada kromosom GA, seperti pada Gambar 2.4. Terjadinya *mutation* pada kromosom memiliki kemungkinan yang sangat kecil pada GA (Pangesti, 2016).



Gambar 2. 4 Proses *mutation* pada GA (Pangesti, 2016)

Proses optimisasi menggunakan GA terdapat *elitism*. *Elitism* dapat dianalogikan sebagai pelindung dari kromosom pada individu yang memiliki *fitness* yang paling baik pada generasinya. Fungsi utama dari *elitism* adalah untuk memastikan kromosom yang terbaik tidak akan hilang pada optimisasi dikarenakan peristiwa mutasi. Dengan adanya *elitism*, hasil dari GA akan meningkat secara signifikan.

GA didasarkan pada analogi dengan struktur genetik dan perilaku kromosom dalam populasi individu menggunakan dasar sebagai berikut:

- a. Individu dalam populasi bersaing untuk sumber daya pasangan.
- b. Individu yang paling sukses di setiap kompetisi akan menghasilkan lebih banyak keturunan (hasil dari *crossover*) dari individu yang berkinerja buruk.
- c. Gen dari individu yang baik akan menyebarkan ke seluruh populasi (*mutation*) sehingga, dua gen orang tua yang baik kadang – kadang akan menghasilkan keturunan yang lebih baik daripada mereka.
- d. Setiap generasi berturut – turut akan menjadi lebih cocok untuk lingkungan mereka.

2.5 *Stainless steel*

Baja *stainless (stainless steel)* merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Daya tahan *stainless steel* terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) krom [18]. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif kromium (III) Oksida (Cr_2O_3) ketika bertemu oksigen. Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut *Passivation* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada aluminium dan titanium. Krom merupakan salah satu bahan paduan yang paling penting untuk membuat besi yang tahan terhadap karat. Kandungan besi yang lebih baik, diantaranya dilakukan penambahan beberapa zat – zat berikut, Penambahan *molibdenum (Mo)* bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi pitting dan korosi celah unsur karbon rendah dan penambahan unsur penstabil karbida (*titanium* atau *niobium*) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi. Penambahan kromium (*Cr*) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida (Cr_2O_3) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi. Penambahan nikel (*Ni*) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu bentuk logam. Penambahan nikel meningkatkan ketahanan korosi tegangan. Penambahan unsur *molybdenum (Mo)* untuk meningkatkan ketahanan korosi pitting di lingkungan klorida. Unsur *aluminium (Al)* meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi. Berdasarkan struktur mikro atau mekanisme peningkatan kekuatannya, baja tahan karat dibagi menjadi lima jenis (Fatmawati, 2015). Jenis-jenis baja tahan karat antara lain :

a. *Austenitic stainless steel*

Austenitic stainless steel memiliki paduan yang cukup untuk menstabilkan *austenite* pada suhu ruang. Baja ini bersifat *non ferromagnetic*. Baja tahan karat *austenitic* memiliki sifat mampu

bentuk dan keuletan pada suhu rendah yang sangat baik. Selain itu baja tahan karat *austenitic* juga memiliki sifat mampu las dan ketahanan karat yang sangat baik. Baja tahan karat jenis ini sangat cocok diterapkan pada sistem dengan suhu tinggi. Baja tahan karat *austenitic* relatif memiliki kekuatan *yield* yang rendah dan hanya dapat ditingkatkan kekuatannya dengan pengerjaan dingin (*cold working*), *precipitation hardening*, atau *substitutional solid solution strengthening*. Menurut standar AISI-SAE, baja tahan karat *austenitic* umumnya memiliki nomor 3xx. Material AISI-SAE 3xx merupakan paduan *ferro-carbon-chromium-nickel* dengan kandungan *chromium* sebesar 16%-26% dan kandungan *nickel* sebesar 6%-22%. Baja tahan karat *austenitic* yang populer adalah tipe AISI-SAE 304, dimana mengandung 18%-20% *Cr* dan 8%-12% *Ni*. Berikut beberapa variasi dari baja tahan karat *austenitic* :

Tabel 2. 2 *Stainless steel* jenis *austenitic*

Typ	Keterangan
201	Sedikit <i>nickel</i> diganti dengan manganese dan nitrogen.
202	Kandungan <i>manganese</i> lebih besar daripada variasi 201.
205	Kandungan <i>manganese</i> dan nitrogen lebih besar daripada variasi 202.
301	Kandungan <i>nickel</i> dan <i>chromium</i> yang lebih rendah untuk meningkatkan kemampuan kerja pengerasan.
302	Baja tahan karat yang dapat diterapkan secara umum.
302B	Mampu menahan proses terbentuknya kerak dengan penambahan <i>silicon</i> .
303	<i>Machinability</i> meningkat dengan penambahan sulfur.
303Se	Permukaan hasil penyayatan ditingkatkan dengan penambahan <i>selenium</i> .
304	Kandungan karbon lebih rendah dari variasi 302.

Tabel 2. 2 *Stainless steel* jenis *austenitic* (lanjutan)

Tipe	Keterangan
304L	Kandungan karbon lebih rendah dari variasi 304, untuk meningkatkan ketahanan karat.
304LN	Sama dengan 304L dengan penambahan nitrogen untuk meningkatkan kekuatan.
304H	Kandungan karbon lebih tinggi daripada variasi 304.
304Cu	Penambahan tembaga untuk meningkatkan kemampuan pengerjaan dingin.
304N	Penambahan nitrogen untuk meningkatkan kekuatan.
305	Peningkatan kandungan <i>nickel</i> untuk mengurangi kerja pengerasan.
308	Peningkatan <i>chromium</i> dan <i>nickel</i> untuk meningkatkan sifat mampu las.
309	Kandungan <i>chromium</i> dan <i>nickel</i> yang tinggi untuk meningkatkan ketahanan panas.
309S	Kandungan karbon lebih rendah daripada variasi 309.
309Cb	Penambahan <i>niobium (columbium)</i> .
310	Kandungan <i>chromium</i> dan <i>nickel</i> lebih tinggi daripada variasi 309 untuk meningkatkan ketahanan panas.
310S	Kandungan karbon lebih rendah daripada variasi 310.
310Cb	Penambahan <i>niobium (columbium)</i> .
314	Peningkatan kandungan <i>silicon</i> untuk meningkatkan ketahanan panas.
316	Penambahan <i>molybdenum</i> untuk meningkatkan ketahanan karat.
316F	Peningkatan sulfur dan <i>phosphorus</i> untuk machinability (mampu mesin atau mampu sayat).
316L	Kandungan karbon yang lebih rendah untuk meningkatkan ketahanan karat dan sifat mampu las.

Tabel 2. 2 *Stainless steel* jenis *austenitic* (lanjutan)

Tipe	Keterangan
316LN	Kandungan karbon yang lebih rendah dan nitrogen yang lebih tinggi untuk meningkatkan kekuatan.
316H	Kandungan karbon lebih tinggi daripada variasi 316.
316N	Penambahan nitrogen untuk meningkatkan kekuatan.
316Ti	Penambahan <i>titanium</i> .
316Cb	Penambahan <i>niobium (columbium)</i>
317	Peningkatan <i>chromium</i> dan <i>molybdenum</i> untuk meningkatkan ketahanan karat.
317L	Kandungan karbon lebih rendah dari variasi 317 untuk meningkatkan sifat mampu las.
321	Penambahan <i>titanium</i> untuk mengurangi timbulnya <i>chromium carbide</i> .
330	Kandungan <i>nickel</i> tinggi untuk mengurangi karburisasi dan meningkatkan <i>thermal shock</i> .
347	<i>Niobium</i> dan <i>tantalum</i> ditambahkan untuk mengurangi timbulnya <i>chromium carbide</i> .
347H	Kandungan karbon lebih tinggi daripada variasi 347.
348	<i>Tantalum</i> dan <i>cobalt</i> ditambahkan untuk beberapa aplikasi nuklir.
348H	Kandungan karbon lebih tinggi daripada variasi 348.
384	Peningkatan <i>nickel</i> untuk mengurangi kerja pengerasan.

Pembatasan karbon baja tahan karat *austenitic* sangatlah penting. Ketika dipanaskan, karbon akan membentuk *chromium carbide* yang mengendap pada batas butir *austenite* dan menimbulkan kondisi yang dikenal dengan istilah *sensitization*. Karena *chromium* terikat sebagai *carbide*, maka *chromium* akan berdekatan dengan batas atom dan memberikan ruang kosong sebagai tempat terbentuknya karat. *Sensitization* dapat diubah

dengan memanaskan baja pada suhu 1040 – 1150°C dan diikuti dengan pendinginan ke suhu ruang dengan cepat. Suhu tinggi bisa menyebabkan *carbide* hancur. Pendinginan cepat dapat mencegah pengendapan ulang dari *carbide*.

b. *Ferritic stainless steel*

Baja tahan karat *ferritic* merupakan baja dengan paduan *chromium* 10,5%-30% dan karbon kurang dari 0,12%. *Nickel* tidak digunakan pada baja tahan karat *ferritic* kecuali dalam jumlah kecil (kurang dari 1%, pada paduan tertentu). Baja tahan karat *ferritic* memiliki struktur mikro *ferrite* dan bersifat *ferromagnetic*. Baja tahan karat jenis ini relatif murah. Baja tahan karat *ferritic* juga memiliki tingkat kekuatan yang baik dan memiliki sifat mampu bentuk yang cukup. Berikut beberapa variasi dari baja tahan karat *ferritic*:

Tabel 2. 3 *Stainless steel* jenis *ferritic*

Tipe	Keterangan
405	Rendah <i>chromium</i> dengan tambahan aluminium.
409	Rendah <i>chromium</i> , aplikasinya untuk pembuangan pada bidang otomotif.
429	Pengurangan <i>chromium</i> secara halus, meningkatkan sifat mampu las.
430	Baja tahan karat <i>ferritic</i> dengan kegunaan umum.
430F	Peningkatan sulfur dan <i>phosphorus</i> untuk meningkatkan <i>machinability</i> .
430Se	Penambahan <i>selenium</i> untuk meningkatkan kualitas permukaan hasil penyayatan.
434	Penambahan <i>molybdenum</i> untuk meningkatkan ketahanan karat.
436	Penambahan <i>molybdenum</i> , <i>niobium</i> , dan <i>tantalum</i> untuk meningkatkan ketahanan karat dan ketahanan panas.
439	Kadar karbon rendah dengan penambahan titanium untuk mengurangi <i>sensitization</i> .

Tabel 2. 4 *Stainless steel* jenis *ferritic*

442	Peningkatan <i>chromium</i> untuk meningkatkan ketahanan pembentukan kerak oksida.
444	Kadar karbon rendah dengan penambahan <i>molybdenum</i> untuk ketahanan karat, serta penambahan <i>titanium</i> dan <i>niobium</i> untuk mengurangi <i>sensitization</i> .
446	Kadar <i>chromium</i> paling tinggi untuk meningkatkan ketahanan pembentukan kerak.

c. *Duplex stainless steel*

Baja tahan karat *duplex* merupakan baja dengan paduan *chromium*, *nickel*, dan *molybdenum* yang memiliki campuran (*duplex*) struktur mikro dengan persentase *ferrite* dan *austenite* hampir sama (keduanya sekitar 50%). Sifat tahan karat dari baja tahan karat *duplex* mirip dengan baja tahan karat *austenitic*. Baja tahan karat *duplex* memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada baja tahan karat *austenitic*. Baja tahan karat jenis *duplex* juga memiliki ketahanan retak akibat karat yang lebih baik daripada baja tahan karat *austenitic*. Sifat lain dari baja tahan karat *duplex* antara lain lebih ulet serta memiliki sifat mampu bentuk dan mampu las yang lebih baik.

d. *Martensitic stainless steel*

Baja tahan karat *martensitic* dibuat dengan mengubah baja paduan dari fase *austenite* ke *martensite*. Perubahan menjadi *martensite* terjadi bila baja paduan dipanaskan pada kisaran suhu 800 – 1400°C dan di-*quench* menuju suhu ruang. Baja tahan karat jenis ini mengandung *chromium* kurang dari 17% dan karbon hingga 1%. Baja tahan karat jenis ini juga memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan baja tahan karat *austenitic* dan *ferritic*. Baja tahan karat *martensitic* biasanya digunakan sebagai bahan pembuatan pisau kualitas tinggi dan *ball bearing*. Berikut beberapa variasi dari baja tahan karat *martensitic*:

Tabel 2. 5 *Stainless steel jenis martensitic*

Tipe	Keterangan
403	Cocok untuk komponen yang mengalami tegangan tinggi.
410	Baja tahan karat <i>martensitic</i> dengan kegunaan umum.
414	Penambahan <i>nickel</i> untuk ketahanan karat.
416	Kandungan <i>phosphorus</i> dan <i>sulfur</i> yang tinggi untuk meningkatkan <i>machinability</i> .
416Se	Penambahan <i>selenium</i> untuk meningkatkan permukaan hasil penyayatan.
420	Kandungan karbon tinggi untuk meningkatkan kekuatan.
420F	Peningkatan <i>phosphorus</i> dan <i>sulfur</i> untuk meningkatkan <i>machinability</i> .
422	Penambahan <i>molybdenum</i> , <i>vanadium</i> , dan <i>tungsten</i> untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan.
431	Kandungan <i>chromium</i> tinggi, serta penambahan <i>nickel</i> untuk meningkatkan ketahanan karat.
440A	Mengandung paling banyak <i>chromium</i> , serta penambahan karbon untuk meningkatkan kekerasan.
440B	Mengandung paling banyak <i>chromium</i> , serta penambahan karbon lebih untuk meningkatkan kekerasan/keuletan.
440C	Mengandung paling banyak <i>chromium</i> , serta paling banyak karbon untuk meningkatkan kekerasan/keuletan.
501	Kandungan <i>chromium</i> rendah, penambahan <i>molybdenum</i> .
502	Kandungan karbon rendah, penambahan <i>molybdenum</i> .

e. *Precipitation hardening stainless steel*

Precipitation hardening stainless steel merupakan baja tahan karat yang memiliki kekuatan dan keuletan tinggi melalui penambahan *aluminium*, *titanium*, *niobium*, *tantalum*, *vanadium*, atau *nitrogen*. Pada baja tahan karat jenis ini, pengendapan

terbentuk selama proses perlakuan panas. Struktur mikro yang terbentuk pada *precipitation hardening stainless steel* bisa *martensitic* maupun *austenitic* tergantung dari komposisi dan proses pembuatannya. Berikut beberapa variasi dari *precipitation hardening stainless steel*:

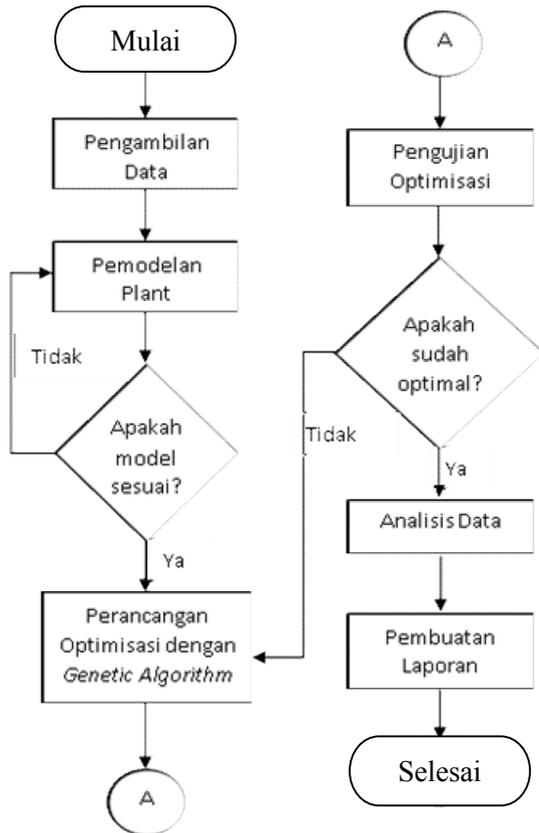
Tabel 2. 6 *Stainless steel jenis precipitation hardening*

Tipe	Keterangan
600	<i>Austenitic</i> dengan penambahan <i>molybdenum</i> , <i>aluminium</i> , <i>titanium</i> , <i>vanadium</i> , dan <i>boron</i> .
630	<i>Martensitic</i> dengan penambahan tembaga dan <i>niobium</i> .
631	<i>Austenitic</i> dengan penambahan <i>aluminium</i> .
633	<i>Austenitic</i> dengan penambahan <i>molybdenum</i> dan <i>nitrogen</i> .
635	<i>Martensitic</i> dengan penambahan <i>aluminium</i> dan <i>titanium</i> .

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. *Flowchart* perancangan alat

Langkah – langkah perancangan *supersonic separation* digambarkan dalam *flowchart* penelitian yang dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Pengambilan data

Pengambilan data yang akan digunakan untuk penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu didapatkan dari jurnal penelitian tentang *supersonic separation* yang telah dilakukan. Beberapa data yang diambil meliputi jumlah fraksi mol dari kandungan gas yang melewati *supersonic gas separation* yaitu CH_4 dan CO_2 , kecepatan input setelah *static vanes*, tekanan *input*, diameter *input*, diameter pada *laval nozzle*, diameter setelah *laval nozzle*, panjang pipa pada *static vanes* hingga *laval nozzle*, dan panjang pipa dari *laval nozzle* hingga *cyclonic separation*. Data tersebut diperlukan untuk melakukan pemodelan pada sistem *supersonic separation*.

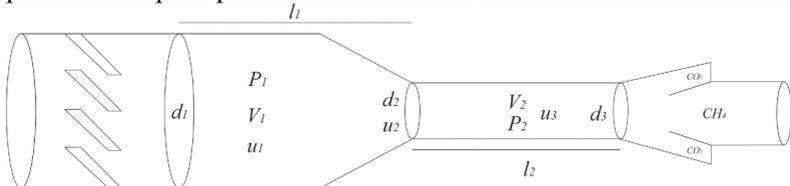
3.3. Pemodelan *supersonic separation*

Pemodelan *supersonic separation* dilakukan dengan merumuskan model sistem dalam bentuk persamaan matematis. Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk menentukan parameter dari *supersonic separation*, sehingga didapatkan persamaan guna melakukan optimisasi pada sistem ini. Proses optimisasi dari perancangan *supersonic separation* membutuhkan beberapa variabel, yaitu seperti diameter pipa dan panjang pipa. Variabel tersebut akan mempengaruhi nilai kecepatan *supersonic separation* serta dapat mempengaruhi biaya (*cost*) dalam melakukan perancangan sistem. Target sistem yang optimal didapatkan dengan memiliki kecepatan maksimal dan memiliki *cost* perancangan minimal, maka perlu ditentukan nilai fungsi objektif (*objective function*) seperti pada Persamaan 3.1 dibawah ini.

$$e_{min} = \frac{1}{|u_3 - u_t|} \quad (3.1)$$

Persamaan 3.1 menunjukkan bahwa dalam proses optimisasi akan menunjukkan nilai *error* minimum yang akan menghasilkan nilai variabel optimisasi menjadi minimal. Untuk memenuhi *objective function* tersebut diperlukan model matematis dari *supersonic separation*. Adapun pemodelan

supersonic separation ditunjukkan dengan persamaan (3.2 – 3.18). Pemodelan *supersonic separation* menggunakan beberapa parameter seperti pada Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Skema sederhana *supersonic separation*

Dimana,

d_1 = Diameter awal (m)

P_1 = Tekanan sebelum *laval nozzle* (Pa)

V_1 = Volume awal (m^3)

u_1 = Kecepatan awal (m/s)

l_1 = Panjang sebelum *laval nozzle* (m)

d_2 = Diameter pada *laval nozzle* (m)

u_2 = Kecepatan pada *laval nozzle* (m/s)

V_2 = Volume akhir (m^3)

d_3 = Diameter pada *cyclonic separation* (m)

P_3 = Tekanan setelah *laval nozzle* (Pa)

u_3 = Kecepatan *supersonic* (m/s)

l_2 = Panjang setelah *laval nozzle* (m)

Gambar 3.2 diatas terdiri dari 3 bagian yaitu bidang tirus awal sebagai masukan dari *saturated gas*, *laval nozzle*, dan *cyclonic separation*. *Saturated gas* yang masuk kedalam sistem *supersonic separation* memiliki kandungan gas karbondioksida sebesar 4% dan kandungan gas metana sebesar 96%. Aliran *saturated gas* akan masuk kedalam *laval nozzle* sehingga gas tersebut akan mengalami percepatan laju aliran hingga melebihi kecepatan suara yang biasa disebut dengan aliran *supersonic*. *Saturated gas* yang mengalami percepatan aliran akan membuat kandungan gas yang memiliki fraksi lebih berat akan terpental hingga ke tepi dari *supersonic separation* sehingga fraksi molekul

gas yang ringan dapat diteruskan dan diolah secara langsung untuk dijadikan produk siap jual.

Pemodelan yang dapat dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan mencari besar nilai dari *material balance* seperti pada Persamaan 3.2 berikut ini:

$$\rho_1 \cdot u_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot u_2 \cdot A_2 \quad (3.2)$$

Dimana,

ρ_1 = Densitas fluida awal (Kg/m³)

u_1 = Kecepatan fluida awal (m/s)

A_1 = Luas permukaan awal (m²)

ρ_2 = Densitas fluida awal (Kg/m³)

u_2 = Kecepatan fluida awal (m/s)

A_2 = Luas permukaan awal (m²)

Luas permukaan awal (A_1) didapatkan dari Persamaan 3.3, luas permukaan pada *nozzle* (A_2) dapat diperoleh dari Persamaan 3.4, serta luas permukaan pada *cyclonic separation* (A_3) dapat diperoleh dari Persamaan 3.5.

$$A_1 = \pi \cdot r_1^2 \quad (3.3)$$

$$A_2 = \pi \cdot r_2^2 \quad (3.4)$$

$$A_3 = \pi \cdot r_3^2 \quad (3.5)$$

Dimana,

A_1 = Luas permukaan sebelum *nozzle* (m²)

A_2 = Luas permukaan pada *laval nozzle* (m²)

A_3 = Luas permukaan pada *cyclonic separator* (m²)

r_1 = jari – jari permukaan sebelum *nozzle* (m)

r_2 = jari – jari permukaan pada *nozzle* (m)

r_3 = jari – jari permukaan pada *cyclonic nozzle* (m)

Persamaan untuk mencari besar nilai kecepatan pada *laval nozzle* (u_2) seperti pada Persamaan 3.6.

$$u_2 = \left(\frac{(u_1 \cdot A_1)}{V_1} \right) \cdot \left(\frac{V_2}{A_2} \right) \quad (3.6)$$

Volume awal (V_1) dan volume setelah *laval nozzle* (V_2) dapat diperoleh dari Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8.

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot l_1 \cdot (r_2^2 + r_2 \cdot r_1 + r_1^2) \quad (3.7)$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot l_2 \cdot (r_3^2 + r_3 \cdot r_2 + r_2^2) \quad (3.8)$$

Dimana,

V_1 = volume mula – mula sebelum *laval nozzle* (m³)

V_2 = volume setelah *laval nozzle* (m³)

Internal energy awal (E_1) dihitung untuk mengetahui besar nilai kesetimbangan energi pada sistem dengan menggunakan persamaan 3.9.

$$E_1 = Q_1 + W_1 \quad (3.9)$$

Dimana,

E_1 = *Internal energy* (Joule)

Q_1 = Energi panas *input* (Joule)

W_1 = Kerja dari *input* (Joule)

Energi panas awal (Q_1) diketahui dengan nilai massa fraksi dan entalpi *input*. Nilai tersebut dapat diperoleh dari Persamaan 3.10 seperti dibawah ini.

$$Q_1 = m \cdot h_1 \quad (3.10)$$

Dimana,

m = massa (Kg)

h_1 = entalpi (KJ/Kg)

Entalpi fluida didapat menggunakan perhitungan *multi variet regression* seperti pada Persamaan 3.11. Data untuk mencari

regresi diambil dari hasil simulasi pada HYSYS dengan rentang *pressure* dari 77 bar hingga 125 bar pada temperatur konstan yaitu 30 °C.

$$h_1 = a \cdot P_1 + c \quad (3.11)$$

Nilai kerja (W_1) dari *input nozzle* dapat menggunakan Persamaan 3.12.

$$W_1 = P_1 \cdot V_1 \quad (3.12)$$

Nilai *internal energy* awal dapat digunakan untuk mencari besar nilai *internal energy* setelah *laval nozzle* (E_2) dengan menggunakan persamaan kesetimbangan energi seperti pada persamaan 3.13.

$$E_{in} + \frac{M \cdot u_{in}^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = E_{out} + \frac{M \cdot u_{out}^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h \quad (3.13)$$

Dimana,

E_{in} = *Internal energy inlet* (KJ)

u_{in} = *Inlet velocity* (m/s)

M = *Molarity* (mol)

E_{out} = *Internal energy outlet* (KJ)

u_2 = *Outlet velocity* (m/s)

ρ = *density* (kg/m³)

g = *percepatan gravitasi* (m/s²)

h = *ketinggian sistem* (m)

Nilai *internal energy* setelah *laval nozzle* seperti pada Persamaan 3.14 dibawah ini.

$$E_{out} = \left(E_{in} + \frac{M \cdot u_1^2}{2} \right) - \frac{M \cdot u_2^2}{2} \quad (3.14)$$

Tekanan pada *laval nozzle* dan tekanan setelah *laval nozzle* dapat dihitung dengan menggunakan hukum Bernoulli seperti pada Persamaan 3.15.

$$P_1 + \frac{\rho \cdot u_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = P_2 + \frac{\rho \cdot u_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h \quad (3.15)$$

Dimana,

P = Tekanan fluida (Pa)

ρ = densitas fluida (Kg/m³)

u = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)

h = ketinggian relatif (m)

Nilai dari tekanan pada *laval nozzle* dengan menggunakan Persamaan 3.16 dan nilai tekanan setelah *laval nozzle* dengan Persamaan 3.17 seperti berikut ini.

$$P_2 = \left(\frac{M \cdot u_1}{V_1} \cdot (u_1 - u_2) \right) + P_1 \quad (3.16)$$

$$P_3 = \left(\frac{M \cdot u_2}{V_2} \cdot (u_2 - u_3) \right) + P_2 \quad (3.17)$$

Kecepatan *supersonic* yang dihasilkan setelah *laval nozzle* diperoleh dari Persamaan 3.2 dimana untuk mencari luas permukaan pada *cyclonic separation* (A_3) dapat menggunakan Persamaan 3.5 sehingga diperoleh perhitungan seperti pada Persamaan 3.18.

$$u_3 = u_2 \cdot \frac{A_2}{A_3} \quad (3.18)$$

Dimana,

u_2 = Kecepatan pada *laval nozzle* (m/s)

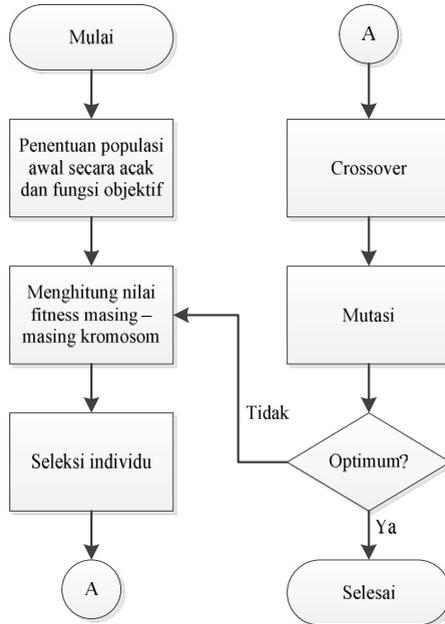
u_3 = Kecepatan pada *cyclonic separation* (m/s)

A_2 = Luas permukaan pada *laval nozzle* (m²)

A_3 = Luas permukaan pada *cyclonic separation* (m²)

3.4. Perancangan optimisasi dengan *genetic algorithm*

Perancangan optimisasi menggunakan *genetic algorithm* (GA) dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3.3 *Flowchart genetic algorithm*

Proses optimisasi memerlukan beberapa parameter yang digunakan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Parameter tersebut terdiri dari fungsi objektif (*objective function*), batasan – batasan yang digunakan dalam proses optimisasi (*constrain*), serta metode untuk menjalankan proses optimisasi. Metode yang digunakan dalam proses optimisasi tergantung dari jenis distribusi pada model plant. Jenis distribusi yang digunakan yaitu stokastic. Distribusi stokastic adalah kebolehjadian yang hanya dapat ditentukan distribusi frekuensinya. Jadi kejadian stokastik ini

tidak dapat ditentukan fungsinya dengan pasti, namun hanya berupa kisaran fungsi yang nilainya belum dapat ditetapkan. Stokastik dapat digunakan dalam berbagai macam algoritma dalam proses optimisasi, salah satunya seperti GA yang akan digunakan dalam penelitian ini. GA pada tugas akhir ini dirancang supaya menghasilkan nilai optimum yang terbaik. Pada optimisasi ini, fungsi objektif yang digunakan pada tugas akhir ini adalah kecepatan aliran fluida pada *cyclonic separation* untuk menghasilkan pemisahan gas yang optimal yaitu memiliki kecepatan laju aliran sebesar 540 m/s. Keluaran dari GA sendiri nantinya adalah kecepatan fluida dengan merubah nilai dari parameter perancangan *supersonic separation*. Kecepatan fluida yang maksimal dipengaruhi oleh luas permukaan dan panjang pipa yang digunakan dalam pemasangan *supersonic separation*.

Beberapa parameter lain pada GA juga harus diperhatikan. Parameter tersebut meliputi jumlah populasi, jumlah generasi, rasio mutasi, rasio kawin silang dan rasio individu elit harus ditentukan sebaik mungkin. GA yang dirancang kali ini memiliki jumlah variabel yang dioptimisasi sebanyak 5 variabel yaitu diameter *input*, diameter pada *laval nozzle*, diameter setelah *naval nozzle*, panjang pipa pada *static vanes* hingga *laval nozzle*, dan panjang pipa dari *laval nozzle* hingga *cyclonic separation*.

Jumlah generasi yang digunakan sebanyak 100 dengan banyak populasi sebesar 200. Hal ini disebabkan ketika optimisasi dilakukan dengan jumlah generasi sebesar 40 masih belum konvergen, namun ketika jumlah generasi dirubah menjadi 100 nilai optimisasi sudah konvergen. Jumlah kromosom bergantung pada rentang data dan seberapa detail data masukan yang diinginkan. Rasio mutasi dan rasio kawin silang diatur pada nilai 0,001 dan 0,8. Nilai rasio mutasi yang disarankan untuk melakukan optimisasi menggunakan GA adalah dari 0 hingga 0,3. Hal ini menyebabkan nilai mutasi ketika Pm terlalu besar maka dapat menjadikan anak kehilangan sifat asli dari induknya, namun apabila terlalu kecil banyak gen yang mungkin berguna tidak pernah dievaluasi. Nilai rasio kawin silang yang disarankan untuk melakukan proses optimisasi GA berada pada rentang 0,5 sampai

dengan 0,95. Nilai pada rentang tersebut menunjukkan hasil dari perkawinan silang dapat menjamin bahwa hasil persilangan atau solusi masih didalam batasnya. Kemudian dilakukan penentuan rasio elitisme untuk menjaga agar individu bernilai *fitness* tinggi tidak hilang selama evolusi. Rasio elitisme pada GA ini ditentukan sebesar 0,95, sesuai dengan Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 *Tuning* Parameter GA

Parameter	Nilai
Jumlah Populasi	200
Jumlah Variabel	5
<i>Probability Crossover</i>	0,8
<i>Probability Mutation</i>	0,001
Jumlah Generasi	100
Elitisme	0,95
Jumlah bit	10
Metode Seleksi	<i>Roulette Wheel</i>

Tahap seleksi pada GA bertujuan untuk memilah kromosom dalam populasi, sehingga dipilih kromosom yang memiliki peluang lebih besar untuk bertahan hidup dan berkembang biak. Seleksi dilakukan menggunakan metode *Roulette Wheel*. Tahap persilangan bertujuan untuk mempersilang dua buah kromosom, sehingga menghasilkan kromosom baru yang membawa sifat yang berbeda. Proses diulang beberapa kali dalam populasi. Berbeda dengan tahap mutasi yang berfungsi untuk mengubah secara acak variabel – variabel yang ada dalam kromosom, sehingga memunculkan variasi kandidat solusi.

3.5. Pengujian optimisasi

Pengujian optimisasi dilakukan dengan menggunakan simulasi *software* MATLAB. Pengujian dilakukan untuk mencari individu – individu yang terbaik yang didapat dari hasil *training data*. Jika diperoleh hasil sesuai yang diinginkan (YA) maka, selanjutnya akan dilakukan analisis data, namun jika (TIDAK)

sesuai, maka akan kembali dievaluasi dan ditelusuri dari segi perancangan optimisasi.

3.6. Analisis data

Merupakan analisis data dari penelitian yang telah dilakukan serta dilakukan pembahasan. Analisis data berupa hasil perhitungan dari pemodelan yang telah didapatkan sehingga dapat mengetahui parameter yang akan digunakan untuk optimisasi. Parameter tersebut akan dioptimisasi menggunakan GA untuk mencari nilai optimum dari sistem. Penentuan nilai tersebut didapatkan hasil akhir yaitu berupa harga material yang dibutuhkan untuk merancang *supersonic separation*.

3.7. Pembuatan laporan

Penelitian yang telah dilakukan akan dibuat laporan hasil penelitian dengan mendapatkan fungsi objektif yang telah sesuai dengan tujuan awal dari penelitian ini.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB IV ANALISIS DATA

4.1. Pemodelan dan pengujian sistem

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengecekan data desain menggunakan *material balance*. Setelah melakukan perhitungan menggunakan *material balance*, dilakukan pengujian dengan perhitungan *energy balance* serta perhitungan dengan menggunakan persamaan Bernoulli untuk menentukan besar nilai energi pada sistem dan menentukan biaya material yang digunakan untuk perancangan *supersonic separation*. Data yang diperoleh sebelum dilakukan optimisasi ditunjukkan pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1 Data *supersonic separation*

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter sebelum <i>laval nozzle</i>	0,1	m
Diameter pada <i>laval nozzle</i>	0,0174	m
Diameter pada <i>cyclonic nozzle</i>	0,238	m
Panjang sebelum <i>laval nozzle</i>	0,186	m
Panjang setelah <i>laval nozzle</i>	0,2452	m
<i>Pressure in</i>	125	bar
<i>Velocity in</i>	340	m/s
<i>Carbondioxide</i>	0,06	% mol
CH ₄	0,94	% mol

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa ukuran dari *supersonic separation* relatif kecil, sehingga dalam perancangan separator gas di industri sangat dianjurkan untuk memilih *supersonic separation* karena meminimalisir biaya perancangan, tidak memerlukan banyak tempat, dan tidak membutuhkan perawatan rutin. Berdasarkan ukuran tersebut dapat diketahui bahwa besar nilai *flow rate* dari *saturated gas* yang masuk kedalam sistem sebesar 340 m/s. Kecepatan tersebut diperoleh dari *saturated gas* yang masuk melewati *static vanes* sehingga gas akan mengalami percepatan diawal proses *supersonic separation*. *Saturated gas*

yang melewati *static vanes* juga akan membuat tekanan yang masuk kedalam sistem menjadi besar yaitu 125 bar. *Saturated gas* akan diteruskan menuju ke *laval nozzle*. *Laval nozzle* menyebabkan laju aliran *saturated gas* tersebut mengalami percepatan, sehingga memiliki kecepatan aliran sebesar kecepatan suara atau sering disebut dengan kecepatan *supersonic*.

Berdasarkan data yang telah diperoleh, hasil perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui besar nilai laju aliran yang melewati *laval nozzle* adalah sebesar 401,4 m/s. Kecepatan laju aliran yang telah melewati *laval nozzle* menunjukkan bahwa perancangan *supersonic separation* masih menunjukkan kecepatan yang kurang ideal untuk kecepatan yang setara dengan kecepatan suara, sehingga hasil pemisahan gas yang terjadi tidak akan menunjukkan hasil yang optimum. Hal ini terjadi karena masih terdapat fraksi gas yang akan ikut kedalam saluran gas siap jual, yang disebabkan oleh laju aliran yang kurang cepat sehingga tidak bisa membuat fraksi gas yang berat untuk terpental menuju tepi dari saluran *supersonic separation*. Keluaran *laval nozzle* memiliki nilai tekanan sebesar 101 bar, sehingga menunjukkan terjadinya penurunan tekanan yang disebabkan laju aliran yang semakin bertambah besar dibandingkan *input*.

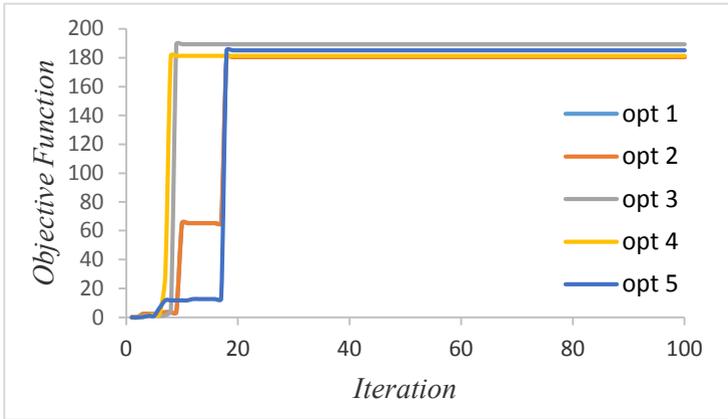
Perhitungan yang dilakukan untuk mencari harga material yang dibutuhkan dalam perancangan *supersonic separation* dapat diketahui dengan cara menghitung nilai volume total. Hasil yang didapatkan dari perhitungan volume sistem total yaitu $4,49 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Hasil perhitungan volume total tersebut dapat dikalikan dengan harga penjualan *stainless steel* per kg.

Perancangan *supersonic separation* ini menggunakan *stainless steel* dengan jenis *austenitic* tipe 316. *Stainless steel* jenis *austenitic* tipe 316 memiliki karakteristik tahan karat, keras, kuat, minim perawatan, tahan lama, dan tahan terhadap suhu rendah serta ketersediaan barang terjangkau. *Stainless steel* jenis *austenitic* tipe 316 mempunyai harga secara global sebesar 242.90 USD atau sebesar Rp.3.239.989, sehingga dari hasil perhitungan volume total sistem *supersonic separation* dan harga *stainless steel* jenis *austenitic* tipe 316 didapatkan harga material yang

diperlukan dalam perancangan sistem adalah Rp. 34.981.203. Harga perancangan ini menunjukkan nilai yang sangat mahal untuk perancangan *supersonic separation*. Oleh karena itu, diperlukan perancangan model optimisasi untuk meminimalisir besar harga perancangan *supersonic separation* dan untuk memaksimalkan besar laju aliran dari gas yang keluar guna melakukan proses separasi secara optimal.

4.2. Optimisasi menggunakan *genetic algorithm*

Optimisasi menggunakan GA dilakukan untuk menentukan nilai diameter dan panjang *supersonic separation*. Variabel tersebut mempengaruhi nilai luasan dan biaya perancangan sesuai dengan *objective function* pada Persamaan 3.1. Nilai tuning parameter GA yang digunakan pada optimisasi ditunjukkan pada Tabel 4.1. Nilai diameter dan panjang diperoleh secara random melalui optimisasi dengan menggunakan GA, dimana pada optimisasi tersebut digunakan batasan diameter sebelum *laval nozzle* antara 0,1 hingga 0,5 m, diameter pada *laval nozzle* 0,01 hingga 0,02 m, diameter pada *cyclonic nozzle* 0,02 hingga 0,03 m, panjang sebelum *laval nozzle* 0,1 hingga 0,2 m dan panjang setelah *laval nozzle* 0,2 hingga 0,3 m. Setelah diperoleh nilai diameter dan panjang yang optimal, maka dilakukan perhitungan nilai volume, kecepatan keluaran *laval nozzle*, hingga biaya perancangan. Gambar 4.1 merupakan grafik yang menunjukkan hasil optimisasi dengan menggunakan GA.



Gambar 4. 1 Grafik optimisasi menggunakan GA

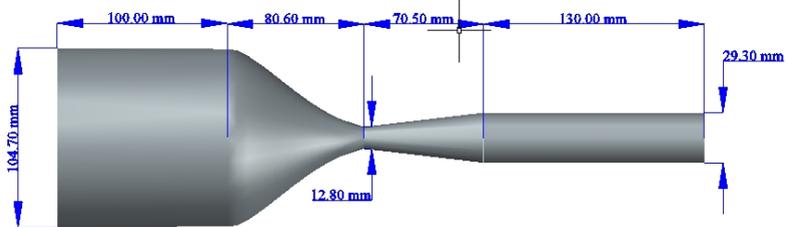
4.3. Hasil optimisasi

Penelitian ini menghasilkan nilai optimisasi untuk 5 *constrain* yang telah ditentukan dalam perancangan *supersonic separation*, yaitu diameter sebelum *laval nozzle*, diameter pada *laval nozzle*, diameter pada *cyclonic separation*, panjang sebelum *laval nozzle* dan panjang setelah *laval nozzle*. Hasil optimisasi yang telah diperoleh menggunakan GA pada perancangan *supersonic separation* ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Hasil optimisasi menggunakan GA

Parameter	Hasil		Satuan
	Terburuk	Terbaik	
Diameter sebelum <i>laval nozzle</i>	0,4996	0,1047	m
Diameter pada <i>laval nozzle</i>	0,02	0,0128	m
Diameter pada <i>cyclonic separation</i>	0,02	0,0293	m
Panjang sebelum <i>laval nozzle</i>	0,0999	0,1806	m
Panjang setelah <i>laval nozzle</i>	0,2999	0,2005	m
Kecepatan <i>Supersonic</i>	2939,7	540,3	m/s

Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari optimisasi yang telah dilakukan menggunakan GA. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perancangan *supersonic separation* telah menemukan nilai – nilai yang ideal untuk mencari laju aliran secara maksimal dengan harga perancangan yang minimal. Masukan berupa *saturated gas* yang telah melewati *static vanes* memiliki laju aliran yang sama dengan sebelumnya yaitu sebesar 340 m/s. Nilai tekanan input yang masuk ke dalam sistem juga sama dengan sebelumnya yaitu sebesar 125 bar. Kesamaan parameter input ini membuktikan bahwa hasil dari optimisasi akan lebih ideal dibandingkan dengan perancangan sebelum dilakukan optimisasi.



Gambar 4. 2 Hasil optimisasi *supersonic separation*

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa *saturated gas* akan melewati bidang awal yang telah dioptimisasi dalam satuan milimeter dengan diameter pipa sebesar 104,7 mm dan memiliki panjang pipa setelah dilakukan optimisasi sebesar 1806 mm. *Saturated gas* selanjutnya akan masuk melewati *laval nozzle* yang telah memiliki besar diameter setelah dilakukan optimisasi sebesar 12,8 mm. *Saturated gas* yang telah melewati *laval nozzle* akan memasuki daerah *cyclonic separation* dengan panjang pipa ideal setelah dilakukan optimisasi yaitu sebesar 200,5 mm serta memiliki besar diameter akhir yaitu 29,3 mm.

Ukuran – ukuran tersebut telah menunjukkan parameter perancangan yang ideal, sehingga dapat diketahui besar nilai dari kecepatan laju aliran yang telah melewati *laval nozzle* pada *supersonic separation* yaitu sebesar 540,3 m/s. Kecepatan laju aliran tersebut menunjukkan nilai ideal karena telah mendekati *objective function* atau target yang harus dicapai dalam optimisasi. Kecepatan laju aliran yang tinggi dapat membuat

partikel gas yang memiliki beban berat dapat terpental menuju tepi dari *supersonic separation*, sehingga hasil pemisahan gas yang terjadi pada *cyclonic separation* dapat berjalan secara optimum. Keluaran *laval nozzle* juga memiliki nilai tekanan sebesar 86,84 bar, yang menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan tekanan yang disebabkan laju aliran yang semakin bertambah besar dibandingkan input.

Variabel hasil optimisasi digunakan untuk mengetahui volume ruang *cyclonic separation* yaitu sebesar $6,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Material yang digunakan berupa *stainless steel* jenis *austenitic* tipe 316 yang memiliki rentang harga material *stainless steel* per kg yaitu sebesar Rp.3.239.989, Sehingga didapatkan harga material untuk perancangan *supersonic separation* sebesar Rp. 5.167.618. Penelitian ini telah membuktikan bahwa hasil dari optimisasi menggunakan GA telah berjalan sesuai dengan target yang telah ditentukan, sehingga menunjukkan hasil perancangan *supersonic separation* telah optimum.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan yaitu:

- a. Perhitungan untuk mencari model perancangan *supersonic separation* dapat menggunakan persamaan *material balance*, *energy balance*, dan hukum Bernoulli.
- b. Hasil dari optimisasi dengan menggunakan metode *genetic algorithm* diperoleh nilai secara optimum yaitu diameter sebelum *laval nozzle* sebesar 0,1047 m, diameter pada *laval nozzle* sebesar 0,0128 m, diameter pada *cyclonic separation* sebesar 0,0293 m, panjang sebelum *laval nozzle* sebesar 0,1806 m dan panjang setelah *laval nozzle* 0,2005 m.
- c. Hasil optimisasi menunjukkan harga material yang dibutuhkan untuk melakukan perancangan *supersonic separation* dengan cara mengetahui volume dari hasil optimisasi yaitu $6,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ dan harga material *stainless steel* per kg yaitu sebesar Rp. 3.239.989. Sehingga didapatkan harga material untuk perancangan *supersonic separation* sebesar Rp. 5.167.618.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dapat dilakukan proses optimisasi dengan menggunakan algoritma yang lain sehingga dapat mencari nilai yang terbaik. Selain itu perlu dilakukan perhitungan optimisasi untuk mengetahui besar kadungan CO₂ yang dapat diambil setelah melewati *cyclonic separation* sehingga selain mengetahui besar harga perancangan dapat juga mengetahui harga jual

untuk gas yang siap diolah serta didistribusikan ke berbagai tempat *client* gas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali M., Islam, M. Q., Jubery T. and Amin S. (2013). Numerical simulation of supersonic mixing layers for parallel and non-parallel streams. *5th BSME International Conference on Thermal Engineering*, 56, pp. 187 – 192. Dhaka-1000, Bangladesh.
- Aristov V. V. and Rovenskaya, O. I. (2015). Kinetic description of the turbulence in the supersonic compressible flow over a backward/forward-facing step. *Computers & Fluids*, 111, 150–158. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2015.01.012>
- Bian, J., Jiang, W., Teng, L., Liu, Y., Wang, S. and Zhanfei Deng. (2016). Structure improvements and numerical simulation of supersonic separators. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 110, 214–219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2016.10.012>
- Castier, M. (2014). Modeling and simulation of *supersonic separations*. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 18, 304–311. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2014.03.014>
- Fatmawati, R., Siahaan, A. A., Paundrianaga, F. P., & Asfahani, A. (2015). *Makalah Ilmu Bahan Rekayasa : Stainless Steel*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Haghighi, M., Hawboldt K. A. and Abdi, M. A. (2015). Supersonic gas separators: Review of latest developments. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 27, 109–121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.08.049>
- Hammer, M., Wahl, P. E., Anantharaman, R., Berstad, D. and Lervåg, K. Y. (2014). CO₂ capture from off-shore gas turbines using *supersonic separation*. *GHGT-12*. Trondheim, Norway. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.026>

- Pangesti, A. T. (2016). *Optimisasi Pada Desain Membran Hollow Fiber Sebagai Teknologi Pemisahan Karbondioksida Dengan Metana*. Surabaya: ITS.
- Priscilla B. Machado, P. B., Monteiro, J.G.M., Medeiros, J. S., Epsom, H. D. and Ofelia Q.F. Araujo, O. Q. F. (2012). Supersonic separation in onshore natural gas dew point plant. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 6, 43-49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2012.03.001>
- S., S., & S., D. (2007). *Introduction to Genetic Algorithm*. Springer Science & Business Media.
- Shooshtari S. H. R. and Shahsavand A. (2013). Reliable prediction of condensation rates for purification of natural gas via supersonic separators. *Separation and Purification Technology*, 116, 458-470. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.06.009>
- Sukma, I. W. (2010). *Industri Pengolahan Batubara*. Lampung: Universitas Lampung.
- Vaziri B. M. and Shahsavand, A. (2013). Analysis of supersonic separators geometry using generalized radial basis function (GRBF) artificial neural networks. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 13, 30-41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2013.03.004>
- Wang L. and Fu S. (2011). Development of an Intermittency Equation for the Modeling of the Supersonic/Hypersonic Boundary Layer Flow Transition. *Flow Turbulence Combust*, 87, 165-187. doi:<https://doi.org/10.1007/s10494-011-9336-1>
- Yang Y., Li, A. and Wen C. (2017). Optimization of static vanes in a supersonic separator for gas purification. *Fuel Processing Technology*, 156, 265-270. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.09.006>
- Yang, Y. and Wen C. (2017). CFD modeling of particle behavior in supersonic flows with strong swirls for gas separation. *Separation and Purification Technology*, 174, 22-28. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.10.002>

Yang, Y., Wena C., Shuli Wang S. and Feng Y. (2014). Numerical simulation of real gas flows in natural gas supersonic separation processing. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 21, 829–836. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2014.10.010>

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN A

CODING PEMODELAN *SUPERSONIC SEPARATION*

```
function error=function_objt3s(x)
% d1=x(1);
% d2=x(2);
% d3=x(3);
% l1=x(4);
% l2=x(5);
d1=0.1047; %d1 hasil optimasi
d2=0.0128; %d2 hasil optimasi
d3=0.0293; %d3 hasil optimasi
l1=0.1806; %l1 hasil optimasi
l2=0.2005; %l2 hasil optimasi
M=1; %variabel 94 CH4 6 CO2 (mol/kg)
m=17.72; %mass
u1=340; %(m/s)variabel setelah static vanes
ut=540; %kecepatan target
p1=12500000; %variabel p1=12500 kpa dihitung pressure drop
% d1=0.1; %variabel diameter 100-400 mm dirubah ke m
resolusi 2
% d2=0.0174; %variabel d=17-20 mm dirubah m pada luasan
nozzle resolusi 2
% d3=0.238; %d3 m setelah laval nozzle
% l1=0.186; %variabel panjang pada vanes m
% l2=0.2452; %variabel panjang dari nozzle m
r1=d1/2; %jari-jari sebelum nozzle
r2=d2/2; %jari-jari pada nozzle
r3=d3/2; %jari-jari setelah nozzle
%mencari A1
A1=pi*r1^2;
%mencari A2
A2=pi*r2^2;
%mencari A3
A3=pi*r3^2;
```

```

%volume awal V1 = variabel diameter dan panjang setelah vanes
hingga nozzle
v1=(1/3)*pi*I1*(r2^2+(r2*r1)+r1^2)
%volume V2 setelah nozzle variabel dihitung dari d2 dan
panjang hingga d3=cyclone separator
v2=(1/3)*pi*I2*(r3^2+(r3*r2)+r2^2)
% w1=kerja/usaha p & v awal
w1=p1*v1;
%entalpi multi variable regression
h1=(-0.931174242424237)*p1-5305.89503787879;
%energi panas
q1=m*h1;
%E1=internal energy
E1=q1-w1;
%kesetimbangan massa mencari u2
u2=((u1*A1)/v1)*(v2/A2)
%kesetimbangan energi
E2=(E1+(M*u1^2)/2)-((M*u2^2)/2);
%mencari nilai p2
p2=((M/(2*v1))*(u1^2-u2^2))+p1
%mencari nilai u3
u3=u2*A2/A3
%mencari nilai p3
p3=((M/(2*v2))*(u2^2-u3^2))+p2;
%error
er=abs(u3-ut);
error=1/er
end

```

LAMPIRAN B

CODING OPTIMISASI *GENETIC ALGORITHM*

```
clear all
close all
%Pembangkitan Populasi dan Parameter
Npop = 200; %populasi
Maxit = 300; %iterasi
el = 0.95; %elatism
Pc = 0.8; %probabilitas crossover
Pm = 0.001; %probabilitas mutasi
Nvar = 5; %jumlah variabel desain yang dioptimasi
Nbit = 10; %jumlah bit
%Constrain
rb = [0.1 0.01 0.02 0.1 0.2]; %batas bawah
ra = [0.5 0.02 0.03 0.2 0.3]; %batas atas

eBangkit = [];
Individu = [];
eIndividu = [];
david = [];
Dadatfit = [];
Datfit = [];
summary = [];
eDadatfit = [];
efitnessmax = [];
eIndividuMax = [];

Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Nvar));
popsize = size(Bangkit,1);

for i = 1:Nvar
    batas(i) = ra(i)-rb(i);
end
for i = 1:Npop
    for j = 1:Nvar
```

```

        Desimal(i,j)      =      bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)),'left-msb');
        Individu(i,j)      =      (Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

```

```

Datfit = [];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = function_objt3s(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end

```

```

Dadatfit = [];
for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

```

```

if generasi > 1
    sort_fit = sortrows(sort,Nbit*Nvar+1);
    Individu1 = sort_fit(round((1-el)*Npop+1):Npop,:);
    remain = sort_fit(round(el*Npop)+1:Npop,:);

```

```

X = Individu1;
M = size(X,1);

```

```

sumfitness = sum(Datfit);
for i=1:M
    Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
end
for i=2:M
    Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);

```

```

end
for i=1:M
    n=rand;
    k=1;
    for j=1:M-1
        if (n>Prob(j))
            k=j+1;
        end
    end
    Xparents(i,:) = X(k,:);
end

%Crossover
[M,d] = size(Xparents);
Xcrossed = Xparents;
for i=1:2:M-1
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p) Xparents(i+1,p+1:d)];
        Xcrossed(i+1,:) = [Xparents(i+1,1:p)
Xparents(i,p+1:d)];
    end
end
if (M/2~=floor(M/2))
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        str=ceil((M-1)*rand);
        Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p)
Xparents(str,p+1:d)]; %the first child is chosen
    end
end

%Mutasi
[M,d] = size(Xcrossed);

```

```

Xnew=Xcrossed;
for i=1:M
    for j=1:d
        p=rand;
        if (p<=Pm)
            Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
        end
    end
end

disp('New fitness calculation');

Bangkit = [Xnew(:,1:Nbit*Nvar);remain(:,1:Nbit*Nvar)];
end
eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

for i =1:Npop
    for j = 1:Nvar;
        Desimal(i,j) = bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)),'left-msb');
        Individu(i,j) = (Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
for i = 1:Npop
    fitness = function_objt3s(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax] = max(Datfit);
end

Dadatfit = Datfit;
eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
eIndividu = [eIndividu;Individu];
[fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);

```

```
efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
BangkitMaxlast = BangkitMax;
schedmax = BangkitMax;
sort = [Bangkit Dadatfit];
summary = [summary; sort];
david = [david; Dadatfit];
clc
max_variable_design=IndividuMax(1,:)
max_objective_function=fitness(1,:)
figure(gcf)
title('Grafik Nilai Maksimum GA','color','b')
xlabel('Jumlah Iterasi')
ylabel('Nilai Fungsi Obyektif')
hold on
plot(efitnessmax, 'DisplayName', 'efitnessmax', 'YDataSource',
'efitnessmax');
hold on
end
```

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sukoharjo pada tanggal 11 November 1994. Penulis berasal dari Pengin RT 03 RW 02, Cangkol, Mojolaban, Sukoharjo, Jawa Tengah. Pada tahun 2006, penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Cangkol 03. Pada tahun 2009, penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 27 Surakarta. Tahun 2012 penulis telah menyelesaikan pendidikan di SMAS Warga Surakarta. Tahun 2015, penulis mampu menyelesaikan pendidikan

Diploma di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan sarjana di program lintas jalur Teknik Fisika, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email adesetyo11@gmail.com.