



TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMISASI KONDISI OPERASI *SUPERSONIC SEPARATION* UNTUK MEMISAHKAN H₂S DAN CO₂ DARI *ACID NATURAL GAS* MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK

**NANDA ERZHAVICA TAMA
NRP. 0231154000015**

**Dosen Pembimbing :
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

**OPTIMISATION OF SUPERSONIC SEPARATION
OPERATING CONDITION FOR SEPARATE H_2S
AND CO_2 FROM ACID NATURAL GAS USING
GENETIC ALGORITHM**

NANDA ERZHIAVICA TAMA
NRP. 0231154000015

Supervisor :
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Nanda Erzhiavica Tama
NRP : 02311540000015
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 Kondisi Operasi *Supersonic Separation* untuk Memisahkan H₂S dan CO₂ dari *Acid Natural Gas* Menggunakan Algoritma Genetik” 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, 23 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Nanda Erzhiavica Tama

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

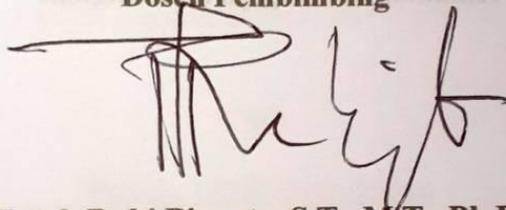
**OPTIMISASI KONDISI OPERASI *SUPERSONIC*
SEPARATION UNTUK MEMISAHKAN H_2S DAN CO_2
DARI *ACID NATURAL GAS* MENGGUNAKAN
ALGORITMA GENETIK**

Oleh:

Nanda Erzhiavica Tama
NRP 0231154000015

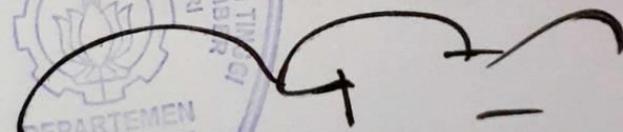
Surabaya, 25 Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D
NIPN. 19710702 199802 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI KONDISI OPERASI *SUPERSONIC SEPARATION* UNTUK MEMISAHKAN H_2S DAN CO_2 DARI *ACID NATURAL GAS* MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK

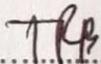
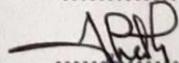
TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Nanda Erzhiavica Tama
NRP. 0231144000015

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|------------------------------------|---|--------------------|
| 1. Totok Ruki Biyanto, Ph.D. |  | (Pembimbing) |
| 2. Hendra Cordova, S.T., M.T. |  | (Penguji 1) |
| 3. Ir. Matradji, M.Sc |  | (Penguji 2) |
| 4. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T |  | (Penguji 3) |

SURABAYA
JULI, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK
OPTIMISASI KONDISI OPERASI *SUPERSONIC SEPARATION* UNTUK MEMISAHKAN H₂S DAN CO₂ DARI *ACID NATURAL GAS* MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK

Nama : Nanda Erzhiavica Tama
NRP : 0231154000015
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Kebutuhan gas alam sebagai pemasok energi sangat dominan, karena gas alam merupakan kebutuhan hidrokarbon yang utama. Gas alam berasal dari sumur yang masih terdiri dari campuran terutama metana, etana, propana dan butana, dengan beberapa alkana yang lebih berat, karbondioksida, hidrogen sulfida, nitrogen dan sejumlah kecil uap air yang tidak dapat digunakan secara langsung. Agar gas alam dapat digunakan dengan baik maka harus dilakukan proses pada plan untuk menghilangkan kandungan H₂S dan CO₂ dan mendapatkan hasil sesuai dengan standar. Teknologi pemisahan gas yang berkembang saat ini adalah *supersonic separation* (3S) yang mana perlu dilakukan pegondisian tekanan, temperatur dan kecepatan supersonik. Model perancangan *supersonic separation* menggunakan persamaan kesetimbangan massa, kesetimbangan energi, dan Hukum Bernoulli serta menggunakan metode optimisasi berupa algoritma genetik. Hasil optimisasi dari kondisi operasi dalam memaksimalkan fraksi mol H₂S dan CO₂ yang terpisah adalah kondisi tekanan inlet 101,1 bar dan temperatur inlet 31,37°C. Sehingga didapatkan hasil fraksi mol fase cair yaitu 0,0028 H₂S dan 0,0028 CO₂ sedangkan fraksi mol fase gas CH₄ adalah 0,9150.

Kata kunci : gas alam, *supersonic separation*, algoritma genetik

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT
OPTIMITATION OF SUPERSONIC SEPARATION
OPERATING CONDITION TO SEPARATE H₂S AND CO₂
FROM ACID NATURAL GAS USING GENETIC
ALGORITHM

Name : Nanda Erzhiavica Tama
NRP : 0231144000015
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervysor : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Natural gas needed as an energy supplier is very dominant, because natural gas is the main hydrocarbon requirement. Natural gas comes from wells which still consist of a mixture mainly methane, ethane, propane and butane, with some heavier alkanes, carbon dioxide, hydrogen sulfide, nitrogen and a small amount of water vapor that cannot be used directly. In order for natural gas to be used properly, a plan process must be carried out to remove H₂S and CO₂ content and obtain results in accordance with the standard. The current gas separation technology is supersonic separation (3S) which needs to be carried out tekanan, temperatur and supersonic velocity. The supersonic separation design model uses material balance, energy balance, and Bernoulli law equations and uses algoritma genetik optimization methods. The optimization results from the kondisi operasis in maximizing the separate fraction of H₂S and CO₂ are 101.1 bar inlet tekanan and 31.37°C inlet temperatur. The results obtained from the liquid phase mole fraction is 0.0028 H₂S and 0.0028 CO₂ while the mole fraction of the vapuur CH₄ phase is 0.9150.

Keywords : natural gas, supersonic separation, genetic algorithm

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **OPTIMISASI KONDISI OPERASI SUPERSONIC SEPARATION UNTUK MEMISAHKAN H₂S DAN CO₂ DARI ACID NATURAL GAS MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK.**

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Ucapan terimakasih ini, khususnya diberikan kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga atas segala kasih sayang dan doa serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
2. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta inspirasi yang dapat menjadi bekal dalam perjalanan hidup kedepannya.
3. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta fasilitas selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
4. Bapak Ir. Zulkifli, M.sc selaku dosen wali penulis yang telah membimbing dengan sabar dan perhatian selama perkuliahan.
5. Teman-teman Teknik Fisika angkatan 2015 yang telah menjalankan perkuliahan bersama selama 4 tahun.
6. Teman-teman seperjuangan TA wan/wati laboratorium rekayasa instrumentasi dan kontrol yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian TA.
7. Teman-teman Kabinet HMTF ITS 17/18 yang memberikan dukungan dan belajar bersama didalam organisasi HMTF ITS.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidaklah sempurna, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan permintaan maaf atas kekeliruan apabila ditemukan dikemudian hari. Namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 23 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Lingkup Kerja.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Supersonic Separation</i>	5
1.2 Hukum Bernoulli.....	7
1.3 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	9
1.4 <i>Peng-Robinson</i>	10
1.5 Jaringan Saraf Tiruan.....	12
1.6 Algoritma Genetik.....	13
BAB III METODOLOGI.....	19
3.1 Pengumpulan Data Geometri <i>Supersonic Separation</i> dan Fraksi Mol <i>Acid Natural Gas</i>	20
3.1.1 Fraksi mol <i>acid natural gas</i>	20
3.1.2 Geometri plan kondisi operasi <i>supersonic separation</i>	20
3.2 Pemodelan <i>Supersonic Separation</i> dengan Ukuran Geometri Plan.....	21
3.3 Simulasi HYSYS untuk Pengambilan Data Properties Inlet dan <i>Outlet</i> Pemisahan H ₂ S dan CO ₂	26
3.4 Teknik Optimisasi.....	28
3.5 Simulasi ANSYS Hasil Optimisasi untuk Mengetahui Aliran Fluida pada Plan.....	28

3.6	Analisis Data	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Desain <i>Supersonic Separation</i> dan Data Simulasi HYSYS	31
4.2	Pemodelan Sistem Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan.....	34
4.3	Analisis Hasil Optimisasi Pemisahan H ₂ S dan CO ₂ Menggunakan Algoritma Genetik	37
4.4	Analisis Pengujian Desain <i>Supersonic Separation</i> Pada ANSYS.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....		47
LAMPIRAN.....		49
BIODATA PENULIS.....		64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian-bagian <i>supersonic separation</i>	6
Gambar 2. 2 Model neuron sederhana	13
Gambar 2. 3 Algoritma genetik flowchart	14
Gambar 2. 4 Seleksi <i>roulette wheel</i>	16
Gambar 2. 5 Proses <i>crossover</i> pada GA	16
Gambar 2. 6 Proses <i>mutation</i> pada GA	17
Gambar 3. 1 Diagram alir metodologi	19
Gambar 3. 2 Skema sederhana <i>supersonic separation</i>	22
Gambar 3. 3 Simulasi pengambilan data <i>casestudy</i> HYSYS	26
Gambar 4. 1 Geometri desain <i>supersonic separation</i>	31
Gambar 4. 2 Arsitektur JST untuk pemodelan sistem.....	34
Gambar 4. 3 Grafik pelatihan data prediksi hasil pemisahan fraksi mol fase cair H ₂ S dan CO ₂	36
Gambar 4. 4 Grafik validasi data prediksi hasil pemisahan fraksi mol fase cair H ₂ S dan CO ₂	36
Gambar 4. 5 Grafik optimisasi hasil pemisahan fraksi mol fase cair H ₂ S dan CO ₂	37
Gambar 4. 6 Aliran fluida berdasarkan tekanan	39
Gambar 4. 7 Grafik penurunan tekanan berdasarkan posisi geometri <i>supersonic separation</i>	39
Gambar 4. 8 Aliran fluida berdasarkan kecepatan <i>supersonic</i>	40
Gambar 4. 9 Grafik peningkatan kecepatan <i>supersonic</i> berdasarkan posisi geometri <i>supersonic</i> <i>separation</i>	40

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Volume Fraksi Mol <i>Natural Gas</i>	20
Tabel 3. 2 Geometri Ukuran Plan <i>Supersonic Separation</i>	21
Tabel 3. 3 Kondisi operasi <i>inlet supersonic separation</i> pada HYSYS.....	21
Tabel 3. 4 Casestudy data fraksi mol <i>vapour outlet</i>	27
Tabel 4. 1 Volume fraksi <i>vapour</i> berdasarkan tekanan.....	32
Tabel 4. 2 Volume fraksi cair berdasarkan tekanan.....	32
Tabel 4. 3 Perbandingan komposisi inlet dan <i>outlet</i> pada HYSYS fraksi mol <i>vapour</i>	33
Tabel 4. 4 Nilai RMSE prediksi fraksi mol fase cair dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan	35
Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Sebelum Optimisasi dan Sesudah Optimisasi	38

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas alam memiliki peran strategis yang signifikan dalam pasokan energi (Soldo, 2012). Secara umum, gas alam yang dihasilkan dari sumur tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar atau bahan Baku (Biyanto, 2017). Gas alam adalah campuran gas, terutama terdiri dari metana, etana, propane dan butana, dengan beberapa alkana yang lebih berat, karbon dioksida, hidrogen sulfida, nitrogen dan sejumlah kecil uap air. Umumnya, pemisahan H_2S dan CO_2 menggunakan penyerap kolom amina, dehidrasi, ekstraksi LPG dan penunjuk embun untuk memisahkan gas alam. Teknologi umum yang digunakan untuk memisahkan H_2S dan CO_2 dari gas alam adalah *Joule Thomson valve* dan *turbo expander* (Pricilla, 2012). Pemikiran kombinasi dari kedua teknologi tersebut dikembangkan, yaitu *supersonic separation (3S)* (Yang, 2014).

3S adalah teknologi pemisahan gas yang pemisahannya terjadi berdasarkan berat molekul dalam kecepatan supersonik. Sistem 3S terdiri dari 4 bagian utama, yaitu baling-baling statis, *laval nozzle*, pemisahan siklon, dan *diffuser*. Teknik ini memiliki struktur turbin yang sederhana tanpa penambahan energi dari luar sistem, maka 3S memiliki keandalan yang tinggi. 3S tidak membutuhkan bahan kimia dan penambahan energi panas. Fitur ini mengurangi emisi dan melindungi lingkungan. Oleh karena itu, 3S telah sesuai dengan persyaratan pengembangan pemrosesan gas yaitu keselamatan, pelestarian lingkungan, dan penghematan energi (Hammer, 2014). Teknologi pemisahan *acid natural gas supersonic separation* telah digunakan di seluruh dunia (Betting, 2008). Teknologi pemrosesan gas konvensional, menggunakan *amine* pemanis dan dehidrasi berbasis glikol memiliki pendekatan biaya operasi yang mahal. Kondisi di seluruh dunia mengalami

peningkatan permintaan gas dan sumber lepas pantai baru perlu dilakukan implementasi yang inovatif dan banyak lagi teknologi baru untuk pemrosesan yang efisien (Prast, 2006).

Sebelumnya terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang *supersonic separation*. Penelitian Yan Yang tahun 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 mendekat dengan dinding *supersonic separation* dan sebagian kecil partikel tersebut akan melewati aliran gas kering. Sehingga dapat diketahui bahwa efisiensi dari alat ini sekitar 80% (Yang, 2016). Penelitian Yan Yang tahun 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* densitas gas lebih dari 20% pada keseluruhan *body supersonic separator*. *Error* relatif dari gas *mach number* akan melebihi 15% dengan temperatur inlet 283 K (Yang, 2014). Pada penelitian Yan Yang lainnya tahun 2017, menjelaskan tentang optimisasi pada *static vanes* di *supersonic separation* hanya menggunakan metode *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* (Yang, 2016). Penelitian tugas akhir dari Ade Setyo Nugroho tahun 2017, menjelaskan tentang optimisasi desain *supersonic separation* menggunakan genetic algoritma menunjukkan hasil desain diameter pada laval nozzle sebesar 0,0128 m, diameter pada *cyclonic separation* sebesar 0,0293 m, panjang setelah *laval nozzle* 0,2005 m serta volume *supersonic separation* yaitu $6,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ dan hasil optimisasi

untuk menghasilkan harga material minimal perancangan sebesar Rp. 5.167.618 (Nugroho, 2017).

Akan tetapi, penelitian sebelumnya optimisasi yang dilakukan yaitu optimisasi desain *supersonic separation* dan harga yang diminimalisir untuk material alat yang digunakan. Maka diperlukan penelitian lanjut tentang optimisasi kondisi operasi *supersonic separation* untuk memisahkan H₂S dan CO₂ pada *Acid Natural Gas* dengan melakukan pengondisian tekanan dan temperatur pada kandungan gas alam yang akan melewati *laval nozzle* untuk mencapai kecepatan *supersonic* menggunakan simulasi CFD untuk mengetahui aliran fluida dengan perhitungan kondisi operasi yang telah dioptimisasi maksimum menggunakan algoritma genetik.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- Perlu optimisasi kondisi operasi *supersonic separation* untuk memisahkan H₂S dan CO₂ dari *Acid Natural Gas* untuk mencapai hasil pemisahan yang maksimum.
- Perlu analisis hasil optimisasi pemisahan H₂S dan CO₂ maksimum menggunakan algoritma genetik.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- Mengoptimisasi kondisi operasi *supersonic separation* untuk memisahkan H₂S dan CO₂ pada *Acid Natural Gas* untuk mencapai hasil pemisahan yang maksimum.
- Menganalisis hasil optimisasi pemisahan H₂S dan CO₂ maksimum menggunakan algoritma genetik.

1.4 Lingkup Kerja

Ruang lingkup yang dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Optimisasi dilakukan pada kondisi operasi *supersonic separation* (3S).
- Pemodelan dilakukan pada bagian baling-baling statis, *laval nozzle*, pemisahan siklon, dan *diffuser*.
- Hasil proses pemisahan gas *supersonic separation* adalah H₂S, dan CO₂ mengalami proses perubahan dari fase gas menjadi cair dengan tekanan dan temperatur yang rendah.
- Optimisasi dilakukan untuk mengetahui tekanan dan temperatur yang optimal untuk mencapai kecepatan supersonik dan mendapatkan hasil pemisahan fraksi mol H₂S dan CO₂ yang maksimal.
- Algoritma yang digunakan adalah algoritma genetik
- Simulasi dilakukan menggunakan software ANSYS untuk mengetahui aliran fluida dan MATLAB untuk optimisasi.

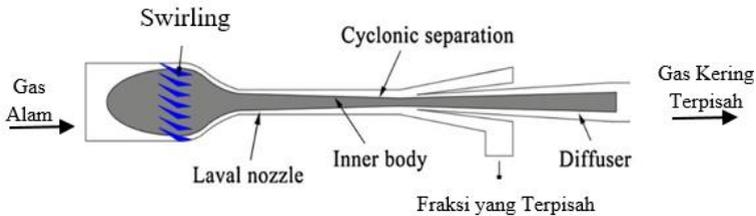
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Supersonic Separation*

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. Teknologi ini tampaknya akan membuat kemungkinan untuk mewujudkan pemrosesan gas dalam laut. Pada teknologi *supersonic separation* sebuah aliran gas supersonik diimplementasikan dengan divergen – konvergen *laval nozzle*. 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* (Prast, 2006). 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 ke dalam separator akan melewati turbin statik sehingga gas akan membentuk pusaran yang kencang (Prast, 2006). Pusaran gas tersebut akan melewati *laval nozzle* dimana aliran gas tersebut dapat dipercepat sehingga mencapai kecepatan supersonik. 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, 2016) sebagai berikut:

- a. Ukuran yang kecil sehingga tidak membutuhkan banyak tempat, mudah untuk dipindah, dan mengurangi perawatan serta biaya instalasi.
- b. Modal dan biaya operasional rendah.
- c. Tidak merugikan lingkungan sekitar.

- d. Tidak ada bagian yang dapat bergerak.
- e. Tidak membutuhkan perawatan rutin.
- f. Hemat energi.
- g. Kemampuan kinerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan peralatan separator yang konvensional.



Gambar 2. 1 Bagian-bagian *supersonic separation* (Yang, 2016)

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* (Yang, 2016). Bagian – bagian tersebut dijelaskan seperti di bawah ini:

- a. *Swirling flow* generator merupakan sebuah turbin 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 supersonik. Sehingga partikel gas yang besar dan berat akan secara otomatis dapat terpentil

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 (Biyanto, 2017). Tipe supersonik tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Jenis-jenis *Supersonic Separation*

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

1.2 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. Variabel tekanan, massa jenis, dan kecepatan fluida dalam sistem ini bernilai konstan yang mana kondisi sebelum dan sesudah laval nozzle bernilai sama. Persamaan dari Hukum Bernoulli dapat dilihat seperti pada persamaan (2.1) dan (2.2) dibawah ini.

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

$$P_1 + \frac{\rho_1 \cdot u_1^2}{2} + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{\rho_2 \cdot u_2^2}{2} + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \quad (2.2)$$

Dengan:

P = Tekanan fluida (Pa)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

u = kecepatan fluida (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = ketinggian relatif (m)

1.3 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang

melibatkan aliran fluid, perpindahan panas dan proses fisik lain secara *numeric*. Aliran fluida pada daerah yang terbatas akan dimodelkan dengan persamaan-persamaan tertentu sesuai dengan kondisi batas pada daerah tersebut.

Terdapat 3 tahapan dalam penggunaan CFD yaitu:

a. *Pre-Processing*

Tahap *pre-processing* merupakan tahap awal penyelesaian dari permasalahan dengan melakukan beberapa kegiatan sebagai berikut:

- Pendefinisian geometri dan domain komputasi.
- *Grid generation* yaitu membagi domain komputasi menjadi lebih kecil (cell).
- Pendefinisian karakteristik fluida.
- Pendefinisian kondisi batas pada cell yang berbatasan dengan batas domain.

b. *Solver*

Solusi *numeric* bisa didapatkan melalui beberapa metode seperti *finite difference*, *finite element* dan *spectral method*. Metode *numeric* yang menjadi dasar dari *solver* dalam penyelesaian masalah adalah sebagai berikut:

- Pendekatan terhadap variable aliran yang tidak diketahui, dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Substitusi dari pendekatan yang telah dilakukan ke dalam persamaan aliran.
- Menyelesaikan persamaan dengan metode iterasi.

c. *Post Processing*

Post processing merupakan tahap akhir dalam CFD. Hasil pengerjaan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, kontur maupun animasi. Beberapa hasil yang dapat ditampilkan diantaranya adalah *display grid*, *plot vector*, *plot kontur*, *particle tracking* dan lain sebagainya.

1.4 Peng-Robinson

Equation of state (persamaan keadaan) adalah persamaan termodinamika yang menggambarkan keadaan materi di bawah keadaan fisik yang ada. Persamaan ini merupakan persamaan konstitutif yang menyediakan hubungan matematis antara dua atau

lebih fungsi keadaan terkait dengan zat atau unsur, seperti suhu, tekanan, volume, atau energi internal. Persamaan keadaan berguna untuk mengkorelasikan kepadatan gas dan cairan dengan suhu dan tekanan.

Terdapat beberapa macam *equation of state* salah satunya yaitu *Peng-Robinson equation of state* yang dinyatakan dalam persamaan (2.3)-(2.8).

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a\alpha}{V_m^2 + 2bV_m - b^2} \quad (2.3)$$

$$a = 0,45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (2.4)$$

$$b = 0,07780 \frac{RT_c}{P_c} \quad (2.5)$$

$$k = 0,37464 + 1,5422\omega - 0,26922\omega^2 \quad (2.6)$$

$$\alpha = (1 + \kappa(1 - T_r^{0,5}))^2 \quad (2.7)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (2.8)$$

Dengan:

p = tekanan (mutlak)

V = volume

n = jumlah mole pada zat

$$V_m = \frac{V}{n}$$

= volume molar, volume dari 1 mole gas atau cair

T = temperatur mutlak

R = gas konstan ideal (8,3144621 J/molK)

P_c = tekanan pada titik kritis

T_c = temperatur mutlak pada titik kritis.

Persamaan Peng-Robinson ditemukan pada tahun 1976 untuk menyempurnakan persamaan sebelumnya di University of Alberta oleh Ding-Yu Peng dan Donald Robinson untuk memenuhi tujuan berikut (Peng, 1976).

- Parameter-parameter dapat dinyatakan dalam sifat kritis dan faktor aksentrik.
- Model memberikan tingkat akurasi yang mendekati titik kritis, terutama untuk perhitungan faktor kompresibilitas dan densitas cairan.

- Aturan dalam pencampuran tidak harus menggunakan lebih dari satu parameter interaksi biner tunggal, yang harus independen dari tekanan suhu dan komposisi.
- Persamaan berlaku untuk semua perhitungan dari semua sifat fluida dalam proses gas alam.

1.5 Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan (JST) merupakan sistem pemrosesan informasi yang terinspirasi oleh jaringan syaraf biologis. Hal tersebut membuat JST memiliki karakteristik yang hampir sama dengan jaringan syaraf biologis (Susmikanti, 2013). Jaringan syaraf tiruan dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa:

- a. Pemrosesan informasi terjadi pada elemen-elemen sederhana yang disebut dengan neuron.
- b. Sinyal-sinyal informasi dikirimkan antar neuron melalui penghubung.
- c. Setiap penghubung memiliki bobot yang berfungsi untuk memodifikasi sinyal.

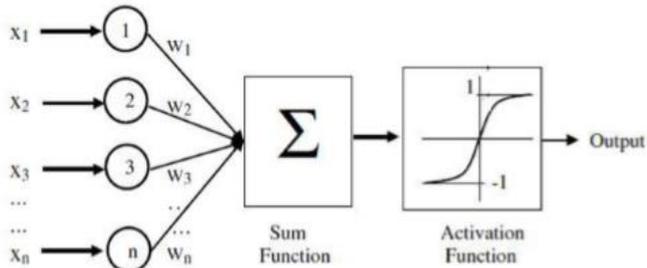
Terdapat tiga hal penting dalam kesatuan jaringan syaraf tiruan yaitu :

- a. Arsitektur, merupakan pola hubungan antar neuron.
- b. *Training*, learning atau algoritma merupakan metode yang digunakan untuk menyesuaikan bobot penghubung
- c. Fungsi aktivasi

JST terdiri dari sejumlah besar elemen dasar disebut neuron, unit, sel atau *node*. Neuron terdiri dari tiga elemen pembentuk yaitu (Susmikanti, 2013):

- a. Unit-unit yang dihubungkan oleh jalur penghubung. Jalur tersebut memiliki bobot yang berbeda satu dengan lainnya. Bobot tersebut berfungsi memodifikasi sinyal, dimana bobot positif akan memperkuat sinyal sementara bobot negatif akan memperlemah sinyal.
- b. Unit penjumlahan yang berfungsi untuk menjumlahkan sinyal-sinyal masukan yang sudah dikalikan dengan bobot.

- c. Fungsi aktivasi, yang berfungsi untuk menentukan apakah sinyal dari neuron masukan akan diteruskan ke neuron lain atau tidak.



Gambar 2. 2 Model neuron sederhana (Susmikanti, 2013)

Gambar 2.2 tersebut menunjukkan model neuron sederhana yang terdiri dari n buah bobot (w_1, w_2, w_n) fungsi aktivasi (f) dan *output*. Input x_1, x_2 hingga x_n diteruskan melewati penghubung dengan bobot w yang memodifikasi nilainya menjadi $w_1x_1, w_2x_2, .. w_nx_n$. Keseluruhan nilai input yang telah dimodifikasi ini kemudian dijumlahkan sesuai dengan persamaan (2.9).

$$Net = \sum_1^n W_n . x_n \quad (2.9)$$

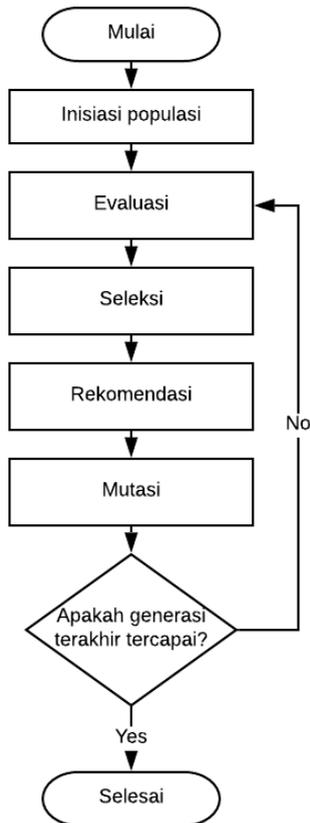
Nilai tersebut kemudian diteruskan ke fungsi aktivasi (f) yang menghasilkan nilai keluaran jaringan sebesar sesuai dengan persamaan (2.10).

$$output = f(net) \quad (2.10)$$

1.6 Algoritma Genetik

Algoritma Genetik adalah algoritma optimisasi yang terinspirasi dari mekanisme seleksi alam, dimana individu yang terkuatlah yang akan bertahan hidup. Dalam algoritma ini potensi solusi dari suatu masalah adalah seorang individu dan dapat direpresentasikan dalam suatu *set* parameter. Parameter tersebut dianggap sebagai sebuah *genus* dari sebuah kromosom dan dapat tersusun dari sebuah nilai biner. Semakin baik kualitas suatu kromosom maka individu tersebut merupakan solusi dari

permasalahan yang ada. Individu terbaik akan menghasilkan keturunan yang baik juga dan mungkin akan menghasilkan solusi yang lebih baik (Man K, 1996).

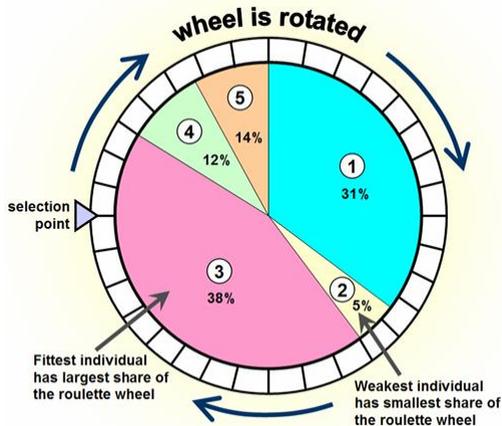


Gambar 2. 3 Algoritma genetik flowchart (Gutierrez, 2013)

Algoritma genetik merupakan salah satu algoritma optimisasi stokastik. Algoritma genetik adalah algoritma pencarian heuristik adaptif berdasarkan ide-ide evolusi seleksi alam dan genetika. Algoritma genetik menggunakan pencarian secara acak untuk menyelesaikan masalah pada optimisasi . Pencarian secara acak oleh algoritma genetik dilakukan dengan mengeksploitasi

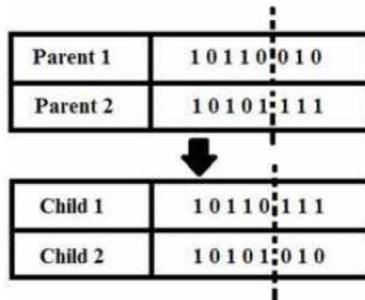
informasi yang sudah ada untuk meningkatkan performansi yang lebih baik. Prinsip dasar dari algoritma genetik adalah teori dari Charles Darwin, “*Survival of The Fittest*”. Algoritma genetik mensimulasikan teori dari Charles Darwin tersebut dengan menggunakan individu-individu yang telah ada pada beberapa generasi. Setiap generasi terdapat karakter dari individu yang dapat disamakan dengan DNA. Algoritma genetik 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 pembagian 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. Contoh metode *roulette wheel* dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.



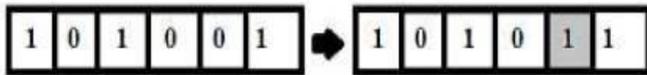
Gambar 2. 4 Seleksi *roulette wheel* (S. & S., 2007)

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. Contoh proses *crossover* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Proses *crossover* pada algoritma genetika (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 algoritma genetik, seperti pada gambar 2.6. Terjadinya *mutation* pada kromosom memiliki kemungkinan yang sangat kecil pada algoritma genetik.



Gambar 2. 6 Proses *mutation* pada GA (Pangesti, 2016)

Proses optimisasi menggunakan algoritma genetik 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 algoritma genetik akan meningkat secara signifikan.

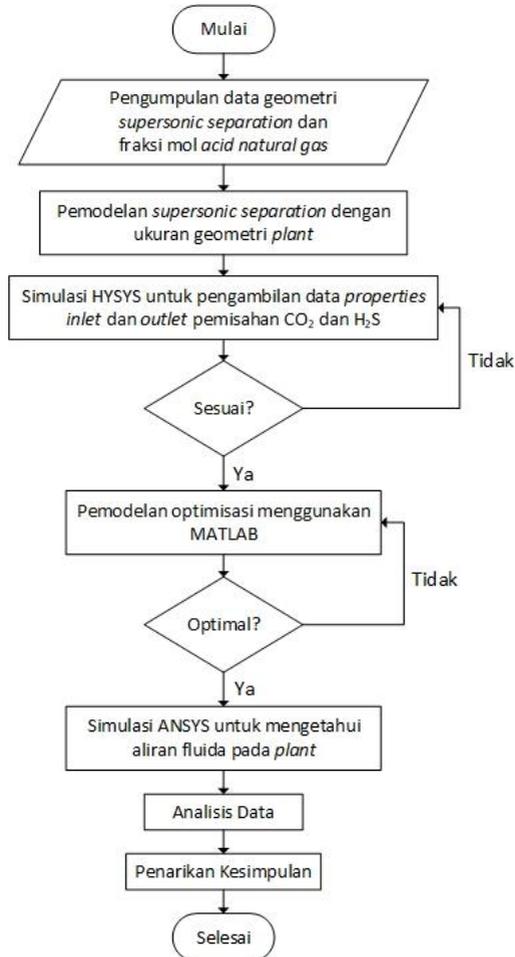
Algoritma genetik didasarkan pada analogi dengan struktur genetik dan perilaku kromosom dalam populasi individu menggunakan dasar sebagai berikut:

- 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.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

Penelitian pada tugas akhir ini dirancang pada beberapa tahapan, yang digambarkan pada diagram alir seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Pengumpulan Data Geometri *Supersonic Separation* dan Fraksi Mol *Acid Natural Gas*

Pengumpulan 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*, laju aliran *inlet* natural gas, tekanan *inlett*, diameter *inlet*, 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* menggunakan software HYSYS dan ANSYS.

3.1.1 Fraksi mol *acid natural gas*

Dalam memodelkan proses *supersonic separation* didapatkan data komposisi gas alam sebagai *inlet* pada plan. Data tersebut akan disajikan dalam Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3. 1 Fraksi Mol Gas Alam

Komposisi Gas Alam	Fraksi Mol
CH ₄	0,9121
C ₂ H ₆	0,0360
C ₃ H ₈	0,0144
i-C ₄ H ₁₀	0,0060
n-C ₄ H ₁₀	0,0046
i-C ₅ H ₁₂	0,0017
n-C ₅ H ₁₂	0,0016
H ₂ O	0,0003
CO ₂	0,0045
N ₂	0,0204
H ₂ S	0,0015

3.1.2 Geometri plan kondisi operasi *supersonic separation*

Dalam memodelkan proses pada operasi kondisi *supersonic separation* dibutuhkan data geometri ukuran plan dan kondisi

operasi *inlet*. Data tersebut akan disajikan dalam Tabel 3.2-3.3 di bawah ini.

Tabel 3. 2 Geometri Ukuran Plan *Supersonic Separation*

Variabel	Ukuran	
<i>Swirling</i>	Diameter	100 mm
	Panjang	115 mm
<i>Laval Nozzle</i>	Diameter <i>Inlet</i>	100 mm
	Diameter <i>Outlet</i>	48 mm
	Panjang	155 mm
<i>Cyclone</i>	Diameter <i>Inlet</i>	48 mm
	Diameter <i>Outlet</i>	48 mm
	Panjang	100 mm
	Sudut <i>Outlet</i>	5°
<i>Diffuser</i>	Diameter	78 mm
	Panjang	150 mm

Kondisi operasi *inlet supersonic separation* pada HYSYS adalah sebagai berikut.

- Tekanan inlet : 100 bar
- Temperatur inlet : 303 K
- Laju aliran massa : 2,687 kg/s

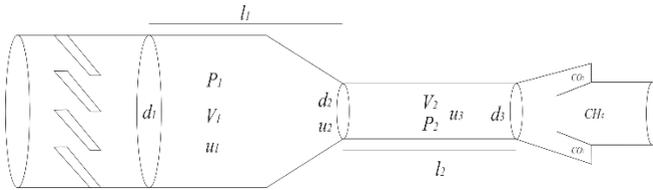
Data *outlet* pada fraksi mol fase gas dan cair, geometri plan *supersonic separation* dan kondisi operasi *inlet* tersebut digunakan untuk melakukan pemodelan sebagai optimisasi kondisi operasi dan simulasi aliran fluida pada *software* HYSYS dan ANSYS.

3.2 Pemodelan *Supersonic Separation* dengan Ukuran Geometri Plan

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*.

Adapun pemodelan *supersonic separation* ditunjukkan dengan persamaan (3.2)–(3.18). Pemodelan *supersonic separation* menggunakan beberapa parameter seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Skema sederhana *supersonic separation* [13]

Dengan:

- 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)

Aliran *natural 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 terpengal 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 nilai dari kesetimbangan massa seperti pada persamaan (3.1) berikut ini :

$$\rho_1 \cdot u_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot u_2 \cdot A_2 \quad (3.1)$$

Dengan,

ρ_1 = Densitas fluida awal (kg/m³)

u_1 = Kecepatan fluida awal (m/s)

A_1 = Luas permukaan sebelum *nozzle* (m²)

ρ_2 = Densitas fluida awal (kg/m³)

u_2 = Kecepatan fluida awal (m/s)

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

$$u_2 = \left(\frac{u_1 \cdot A_1}{V_1} \right) \cdot \frac{V_2}{A_2} \quad (3.2)$$

Volume awal (V_1) dan volume setelah *laval nozzle* (V_2) dapat diperoleh dari persamaan (3.3) dan persamaan (3.4).

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot l_1 \cdot (r_2^2 + r_2 \cdot r_1 + r_1^2) \quad (3.3)$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot l_2 \cdot (r_3^2 + r_3 \cdot r_2 + r_2^2) \quad (3.4)$$

Dengan,

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 (3.5).

$$E_1 = Q_1 + W_1 \quad (3.5)$$

Dengan,

$E_1 = \text{Internal energy (Joule)}$

$Q_1 = \text{Energi panas input (Joule)}$

$W_1 = \text{Kerja dari input (Joule)}$

Energi panas awal (Q_1) diketahui dengan nilai massa fraksi dan entalpi *input*. Nilai tersebut dapat diperoleh dari persamaan (3.6) seperti dibawah ini.

$$Q_1 = m \cdot h_1 \quad (3.6)$$

Dengan,

$m = \text{massa (kg)}$

$h_1 = \text{entalpi (kJ/kg)}$

Entalpi fluida didapat menggunakan perhitungan *multi variet regression* seperti pada persamaan (3.7). Data untuk mencari regresi diambil dari hasil simulasi pada HYSYS dengan rentang tekanan dari 90 bar hingga 100 bar pada temperatur konstan yaitu 25-30 °C.

$$h_1 = a \cdot P_1 + c \quad (3.7)$$

Nilai kerja (W_1) dari *input nozzle* dapat menggunakan persamaan (3.8).

$$W_1 = P_1 \cdot V_1 \quad (3.8)$$

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 (3.9).

$$E_{in} + \frac{M \cdot u_{in}}{2} + \rho \cdot g \cdot h = E_{out} + \frac{M \cdot u_{out}}{2} + \rho \cdot g \cdot h \quad (3.9)$$

Dengan,

- 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* dihitung seperti pada persamaan (3.10) dibawah ini.

$$E_{out} = \left(E_{in} + \frac{M \cdot u_1}{2} \right) - \frac{M \cdot u_2}{2} \quad (3.10)$$

Tekanan pada *laval nozzle* dan tekanan setelah *laval nozzle* dapat dihitung dengan menggunakan hukum Bernoulli seperti pada persamaan (3.11).

$$P_1 + \frac{\rho \cdot u_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = P_2 + \frac{\rho \cdot u_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h \quad (3.11)$$

Dengan,

- 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 (3.12) dan nilai tekanan setelah *laval nozzle* dengan persamaan (3.13) seperti berikut ini.

$$P_2 = \left(\frac{M \cdot u_1}{V_1} \cdot (u_1 - u_2) \right) + P_1 \quad (3.12)$$

$$P_3 = \left(\frac{M \cdot u_2}{V_2} \cdot (u_2 - u_3) \right) + P_2 \quad (3.13)$$

Kecepatan *supersonic* yang dihasilkan setelah *laval nozzle* diperoleh dari persamaan (3.1) dimana untuk mencari luas permukaan pada *cyclonic separation* (A_3) sehingga diperoleh perhitungan seperti pada persamaan (3.14).

$$u_3 = u_2 \cdot \frac{A_2}{A_3} \quad (3.14)$$

Dengan,

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

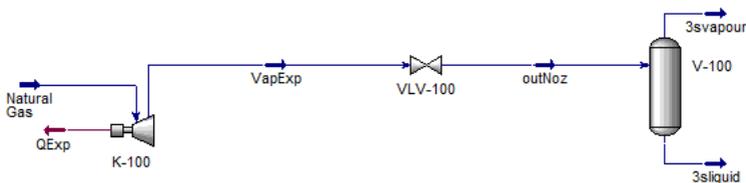
u_3 = Kecepatan pada *cyclonic separation* (m/s)

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

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

3.3 Simulasi HYSYS untuk Pengambilan Data Properties Inlet dan Outlet Pemisahan H₂S dan CO₂

Pemodelan yang telah dibuat dan disimulasikan pada HYSYS dilakukan pengambilan data-data pada *outlet* sebagai data awal sebelum dilakukan optimisasi. Kondisi operasi pada *supersonic separation* ini diatur pada beberapa kondisi variabel yaitu tekanan, temperatur dan fraksi mol gas alam. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan *casestudy* pada tekanan masukan dengan rentang 90 – 100 Bar dan temperatur masukan 20°C – 30°C. Simulasi HYSYS disajikan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Simulasi pengambilan data *casestudy* HYSYS

Hasil tekanan dan temperatur *inlet* serta fraksi mol gas kering yang telah terpisah dari kondensasi H₂S dan CO₂ dari *natural gas* melalui masing-masing *outlet* disajikan pada tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3. 3 Data Fraksi Mol Gas Kering pada *Outlet*

Tekanan (bar)	Temperatur (°C)	Fraksi Mol		
		H ₂ S (10 ⁻⁶)	CO ₂ (10 ⁻⁶)	Metana
88,82	27	2734	2887	0,9155
	28	2074	2832	0,9151
	29	2049	2780	0,9147
	30	6,000	2728	0,9144
89,81	27	2085	2957	0,9154
	28	2060	2902	0,9150
	29	2,000	2848	0,9147
	30	1,000	2797	0,9143
92,77	27	2,000	3151	0,9152
	28	1,000	3095	0,9148
	29	1500	3040	0,9144
	30	1,000	2986	0,9140
93,76	27	7,000	3211	0,9150
	28	1500	3154	0,9147
	29	1500	3098	0,9143
	30	1500	3045	0,9139
94,74	27	1500	3269	0,9149
	28	1500	3211	0,9146
	29	1,000	3155	0,9142
	30	1500	3101	0,9138
95,73	27	1492	3324	0,9148
	28	1494	3266	0,9144
	29	1495	3210	0,9141
	30	1496	3155	0,9137
96,72	27	1500	3377	0,9147
	28	1,000	3319	0,9143
	29	1495	3263	0,9139
	30	1496	3208	0,9136
97,71	27	1493	3429	0,9146
	28	1494	3370	0,9142
	29	1495	3314	0,9138
	30	1496	3259	0,9134
98,69	27	2,000	3478	0,9144
	28	3,000	3420	0,9141
	29	1496	3363	0,9137
	30	1497	3308	0,9133

3.4 Teknik Optimisasi

Optimisasi kondisi operasi pada *supersonic separation* sebagai pemisah H₂S dan CO₂ pada natural gas dilakukan untuk mendapatkan hasil paling optimal sesuai dengan variabel tekanan dan temperatur. Teknik Optimisasi yang digunakan dengan metode algoritma genetik. Nilai yang di optimisasi adalah tekanan *inlet*, temperatur *inlet*, dan fraksi mol H₂S dan CO₂ yang terpisah pada *supersonic separation*.

Dalam melakukan optimisasi diperlukan penentuan fungsi objektif, fungsi konstrain, dan variabel optimisasi. Sehingga persamaan fungsi objektif ditunjukkan pada persamaan (3.15).

$$Y_s = Y_{t_1} \cdot X + Y_{t_2} \cdot Y \quad (3.15)$$

Dengan,

- Y_{t₁} = Fungsi tekanan
- Y_{t₂} = Fungsi temperatur
- Y_s = Fraksi mol yang terpisah
- X = Variabel tekanan
- Y = Variabel temperatur

Sehingga dengan variabel tekanan dan temperatur yang diatur memiliki fungsi konstrain sebagai batas atas dan batas bawah dari nilai yang memenuhi persyaratan kondisi operasi tekanan dan temperaturnya ditunjukkan pada persamaan (3.16) dan (3.17).

$$100 \text{ bar} \leq X \leq 150 \text{ bar} \quad (3.16)$$

$$30^\circ\text{C} \leq Y \leq 35^\circ\text{C} \quad (3.17)$$

Melalui persamaan fungsi objektif dan fungsi konstrain akan dilakukan optimisasi dengan algoritma genetik yang disimulasikan dengan Matlab.

3.5 Simulasi ANSYS Hasil Optimisasi untuk Mengetahui Aliran Fluida pada Plan

Pengujian hasil optimisasi kondisi operasi *supersonic separation* ini membuktikan hasil optimal untuk tekanan, temperatur dan kecepatan supersonik yang tepat untuk diterapkan dalam sebuah plan. Aliran dari fluida didalam plan dianalisis kondisi tekanan, temperatur, dan kecepatan *supersonic* sehingga menunjukkan persebaran fluida yang ada didalamnya. Penerapan input yang optimal akan menghasilkan pemisahan H₂S dan CO₂

pada natural gas mencapai target maksimal sesuai dengan standar gas alam yang telah dilakukan pemisahan untuk kandungan hidrogen sulfida (H_2S) sebesar 4ppm dan karbondioksida (CO_2) sebesar 1 mol% (Nejad, 2016).

3.6 Analisis Data

Analisis yang akan dilakukan dari hasil pemisahan H_2S dan CO_2 adalah dengan membandingkan hasil data setelah dilakukan optimisasi dengan data sebelum dilakukan optimisasi, serta menganalisis aliran fluida hasil optimisasi yang didapatkan pada simulasi ANSYS. Variabel yang berpengaruh pada sisi desain kondisi operasi yaitu tekanan, temperatur dan kecepatan supersonic fluida yang memberikan pengaruh pada hasil optimal fraksi mol pemisahan H_2S dan CO_2 dengan alat *supersonic separation*.

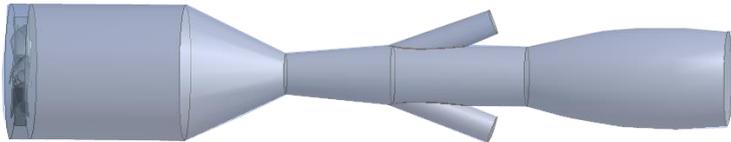
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain *Supersonic Separation* dan Data Simulasi HYSYS

Perancangan desain pada *Supersonic Separation* (3S) berdasarkan kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi sesuai dengan Hukum Bernoulli. Bagian dari 3S ini dibagi menjadi 4 bagian yaitu *swirling*, *nozzle*, *cyclone* dan *diffuser*. *Swirling* adalah baling-baling sebagai pemutar fluida gas yang diatur dengan kecepatan 40 rpm sehingga menyebabkan fluida berputar dan terpental berdasarkan partikelnya. *Nozzle* merupakan bagian pengecil yang menyebabkan tekanan rendah sehingga gas akan mencapai temperatur yang rendah dan berubah fasa menjadi cair. *cyclone* merupakan bagian pemisah fluida gas dan cair. *Diffuser* berfungsi sebagai pengembali kondisi gas yang telah terpisahkan kandungan H_2S dan CO_2 . Sehingga data-data yang didapatkan dengan mendesain ulang 3S ditunjukkan tabel 3.2.

Dari data tabel 3.2 dihasilkan pemodelan geometri yang disimulasikan pada ANSYS sebagai sistem yang menjalankan hasil optimisasi kondisi operasi. Hasil ditunjukkan dengan gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Geometri desain *supersonic separation*

Kondisi operasi pada 3S dilakukan simulasi pada HYSYS dengan mengatur tekanan dan temperatur yang tepat untuk menghasilkan volume fraksi yang maksimal. Tekanan diatur pada rentang 88 bar – 98 bar. Temperatur diatur pada rentang 20°C – 30°C. Maka didapatkan hasil yang terbaik dalam *casestudy* HYSYS ditunjukkan pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4. 1 Fraksi Gas Berdasarkan Tekanan

Tekanan (bar)	Temperatur (°C)	Fraksi Gas Terpisah		
		H ₂ S (10 ⁻⁶)	CO ₂	Metana
88,82	30	6,000	0,002728	0,9144
89,81	30	1,000	0,002797	0,9143
90,80	28	1,000	0,002969	0,9150
91,78	27	1,000	0,003089	0,9152
92,77	30	1,000	0,002986	0,9140
93,76	27	7,000	0,003211	0,9150
94,74	29	1,000	0,003155	0,9142
95,73	27	1492	0,003324	0,9148
96,72	28	1,000	0,003319	0,9143
97,71	27	1493	0,003429	0,9146
98,69	27	2,000	0,003478	0,9144

Tabel 4. 2 Fraksi Cair Berdasarkan Tekanan

Tekanan (bar)	Temperatur (°C)	Fraksi Cair Terpisah	
		H ₂ S	CO ₂
88,82	30	0,001481	0,001153
89,81	30	0,001482	0,001180
90,80	28	0,001483	0,001208
91,78	27	0,001484	0,001237
92,77	30	0,001485	0,001267
93,76	27	0,001486	0,001298
94,74	29	0,001487	0,001312
95,73	27	0,001488	0,001330
96,72	28	0,001489	0,001342
97,71	27	0,001490	0,001364
98,69	27	0,001491	0,001373

Batas standar untuk gas alam yang telah dilakukan pemisahan untuk kandungan hydrogen sulfida (H₂S) sebesar 4ppm dan

karbondioksida (CO_2) sebesar 1 mol%. Maka sesuai data tabel 4.2 kondisi terbaik didapatkan pada tekanan 90,80 bar dan temperatur 28°C untuk kondisi *inlet*.

Hasil pada tabel 4.2 sesuai dengan standar untuk gas alam dan didapatkan hasil keluaran yang maksimum yaitu komposisi H_2S adalah 10^{-6} , CO_2 adalah 0,002969 dan metana adalah 0,915. Sehingga didapatkan hasil presentase kondensasi perbandingan komposisi awal gas alam dan hasil pemisahan gas disajikan pada tabel 4.3.

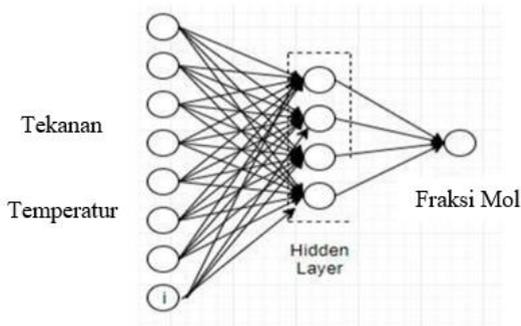
Tabel 4.3 Perbandingan Komposisi *Inlet* dan *Outlet* Pada HYSYS Fraksi Mol Gas

Komposisi Gas Alam	Fraksi Mol <i>Inlet</i>	Fraksi Mol <i>Outlet</i>
CH_4	0,9121	0,915000
C_2H_6	0,0360	0,035910
C_3H_8	0,0144	0,014030
i- C_4H_{10}	0,0026	0,002300
n- C_4H_{10}	0,0046	0,004100
i- C_5H_{12}	0,0017	0,001300
n- C_5H_{12}	0,0016	0,001600
H_2O	0,0003	0
CO_2	0,0045	0,002900
N_2	0,0204	0,020570
H_2S	0,0015	0,000001

Kondisi operasi yang dijalankan pada HYSYS yaitu dengan menurunkan tekanan pada pompa dan valve dari 98,69 bar menjadi 68,69 bar. Sehingga didapatkan hasil maksimum pada tekanan 90,80 bar dan temperatur 28°C yang mana menghasilkan perubahan yang signifikan untuk target pemisahan H_2S dan CO_2 yang sesuai dengan standar gas alam yang dapat dioperasikan.

4.2 Pemodelan Sistem Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan

Pemodelan *inlet* dan *outlet* digunakan untuk memprediksi seberapa besar perubahan nilai variabel dependen (terikat) yang dipengaruhi oleh variabel independen (bebas). Hasil dari analisis ini nantinya akan digunakan untuk menentukan variabel apa saja yang dapat digunakan sebagai data masukan dalam proses kondisi operasi *supersonic separation* khususnya untuk prediksi hasil fraksi mol maksimum pemisahan H_2S dan CO_2 . Pada analisis ini, variabel dependen (terikat) yang digunakan adalah berupa nilai fraksi mol *outlet*. Dengan variabel independen (bebas) berupa nilai tekanan dan temperatur. Hal ini dikarenakan jumlah variabel independen terdiri dari dua variabel. Hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.2 arsitektur jaringan saraf tiruan .



Gambar 4. 2 Arsitektur JST untuk pemodelan sistem

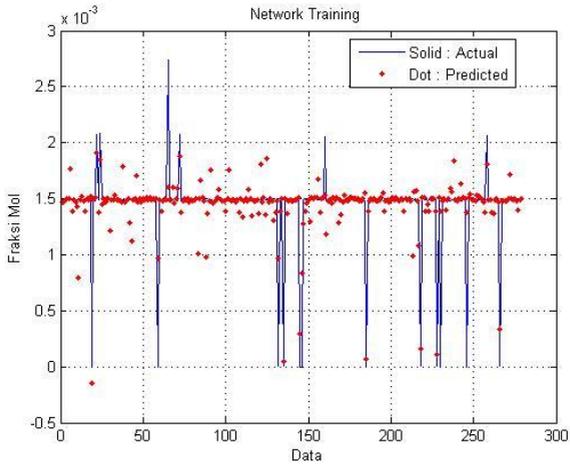
Pada arsitektur jaringan syaraf tiruan jumlah *hidden node* akan mempengaruhi keakuratan hasil keluaran dari JST. Pada penelitian ini arsitektur jaringan syaraf tiruan yang digunakan adalah dengan menggunakan satu *input layer*, satu *hidden layer*, dan satu *output layer*. Dimana pada *hidden layer* terdapat beberapa *hidden node* yang mana nantinya akan mempengaruhi performa dari hasil pelatihan dan validasi dari prediksi yang akan dilakukan. Maka untuk mengetahui jumlah *hidden node* yang terbaik adalah mengamati nilai RMSE terkecil pada saat jumlah *hidden node* tertentu. Nilai RMSE ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai RMSE Prediksi Fraksi Mol Fase Cair Dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan

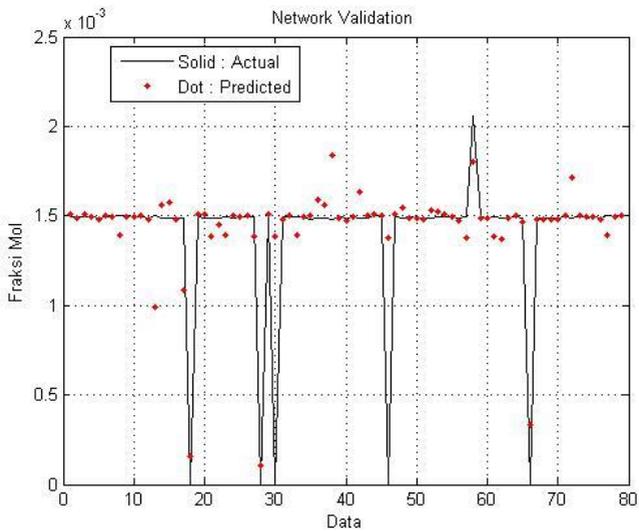
Jumlah <i>Hidden Note</i>	RMSE (Fraksi Mol)
1	0,2296
2	0,0154
3	0,2576
4	0,0132
5	0,0003
6	0,0004
7	0,1623
8	0,0398
9	0,1905
10	0,0330
11	0,0002
12	0,0001
13	0,0003
14	0,1616
15	0,0057
16	0,1906
17	0,0054
18	0,0002
19	0,0003
20	0,1595
21	0,0117
22	0,1844
23	0,0116
24	0,0002
25	0,0003
26	0,1496
27	0,0037
28	0,1804
29	0,0037
30	0,0002

Dapat dilihat hasil prediksi berupa nilai RMSE yang memiliki nilai terendah terdapat pada hidden node ke 12 yaitu sebesar 0,0001. Dari hasil prediksi tersebut diperoleh grafik hasil pelatihan

data dan validasi data untuk prediksi fraksi mol dari H_2S dan CO_2 ditunjukkan pada gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3 Grafik pelatihan data prediksi hasil pemisahan fraksi mol fase cair H_2S dan CO_2

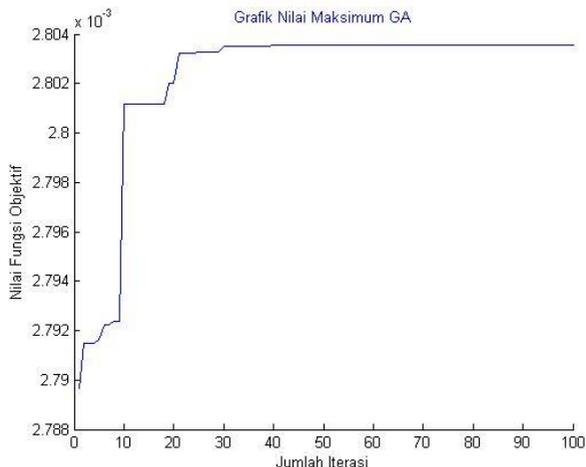


Gambar 4.4 Grafik validasi data prediksi hasil pemisahan fraksi mol fase cair H_2S dan CO_2

4.3 Analisis Hasil Optimisasi Pemisahan H₂S dan CO₂ Menggunakan Algoritma Genetik

Optimisasi dilakukan untuk mencari variable optimisasi yaitu tekanan dan temperatur. Dengan mendapatkan hasil tekanan dan temperatur yang tepat maka akan mendapatkan hasil fraksi mol pemisahan yang optimal. Data-data dari HYSYS dioptimisasi dengan teknik optimisasi dan memasukkan variabel desain dari plan supersonic separation yang akan diketahui persebaran fluida pada *internal flow*. Teknik optimisasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan algoritma yaitu algoritma genetik. Hasil pemodelan JST yang telah dilakukan melalui proses *training* dan validasi dioptimisasi menggunakan algoritma genetik. Dimana, penentuan populasi awal dilakukan secara acak pada rentang tekanan dan temperatur yang digunakan pada masukan kondisi operasi.

Optimasi algoritma genetic dilakukan dengan jumlah generasi 100, ukuran populasi 100, probabilitas *crossover* 0.8, dan probabilitas *mutation* 0.01. Grafik optimisasi algoritma genetik dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik optimisasi hasil pemisahan fraksi mol fase cair H₂S dan CO₂

Pada grafik diatas menjelaskan hasil nilai fungsi objektif didapatkan nilai terbaik untuk fraksi mol H₂S dan CO₂ yang terpisah adalah 0.0028. Nilai tersebut merupakan nilai maksimum yang dihasilkan setelah dilakukan optimisasi berdasarkan variabel tekanan dan temperatur yang optimal untuk hasil fraksi mol yang terpisah. Untuk menganalisis performansi hasil optimisasi dilakukan perbandingan untuk *outlet* H₂S dan CO₂ fase cair sebelum dilakukan optimisasi dengan hasil setelah dilakukan optimisasi berdasarkan variabel yang sama. Hasil pada tabel 4.5 merupakan peningkatan fraksi mol H₂S dan CO₂ yang terpisah dengan mengatur kondisi operasi pada tekanan dan temperatur *inlet* berdasarkan rentang konstrain batas bawah dan batas atas untuk tekanan yaitu 100 – 150 bar dan temperatur yaitu 30°C – 35°C.

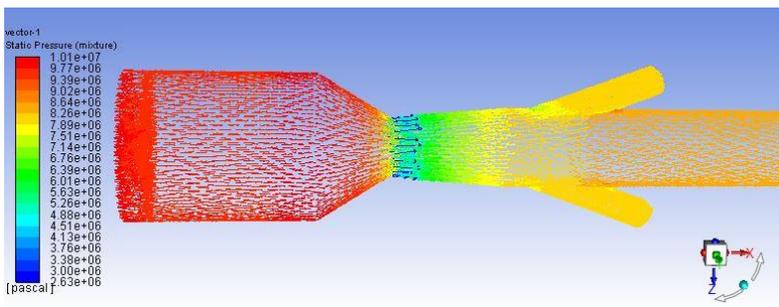
Tabel 4. 5 Perbandingan Hasil Sebelum Optimisasi dan Sesudah Optimisasi

Parameter	Sebelum Optimisasi	Hasil Optimisasi	Satuan
Tekanan	90,8	101,1	bar
Temperatur	28	31,37	°C
H ₂ S Terpisah	0,001483	0,0028	Fraksi mol
CO ₂ Terpisah	0,001208	0,0028	Fraksi mol

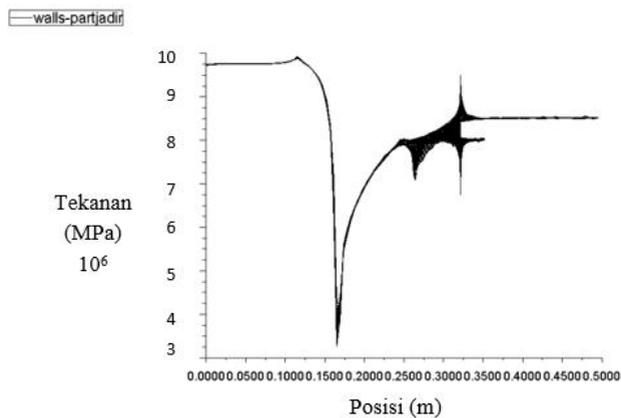
Berdasarkan tabel 4.5 didapatkan hasil optimisasi untuk kondisi operasi pada supersonic separation sebagai pemisah H₂S dan CO₂ dalam *natural gas* yang berubah fase menjadi liquid berdasarkan perlakuan dari *inlet* yang diberikan. Sehingga variabel yang perlu dioptimalkan adalah tekanan dan temperatur *inlet* diberikan pada kondisi yang maksimal untuk mendapatkan fraksi mol *outlet* yang maksimal. Hasil sebelum dioptimisasi didapatkan tekanan 90,8 bar dan temperatur 28°C menghasilkan fraksi 0,001483 H₂S dan 0,001208 CO₂. Setelah dilakukan optimisasi menggunakan genetic algoritma maka tekanan meningkat menjadi 101,1 bar dan temperatur 31,37°C dapat menghasilkan fraksi mol yang terpisah sebanyak 0,0028.

4.4 Analisis Pengujian Desain Supersonic Separation Pada ANSYS

Pengujian performansi sistem pada kondisi operasi ini yaitu menggunakan ANSYS untuk mengetahui tekanan, temperatur dan kecepatan *supersonic* yang telah di simulasikan dan dapat diidentifikasi aliran fluida. Berikut merupakan hasil kontur dan grafik yang menunjukkan kondisi operasi tekanan aliran fluida yaitu pada gambar 4.6 – 4.7.



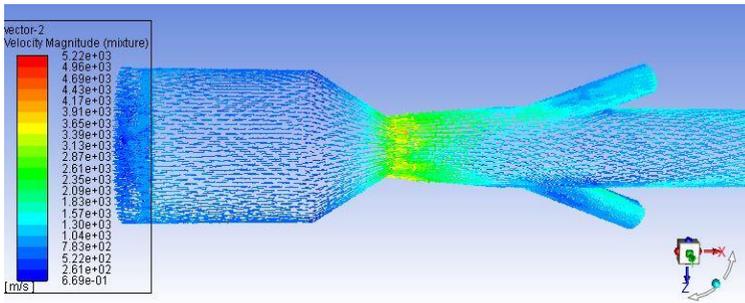
Gambar 4. 6 Aliran fluida berdasarkan tekanan sepanjang alat *supersonic separation*



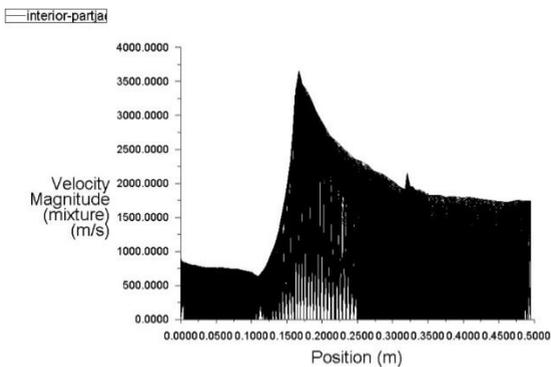
Gambar 4. 7 Grafik penurunan tekanan berdasarkan titik geometri *supersonic separation*

Berdasarkan gambar 4.6 dan 4.7 merupakan simulasi aliran fluida pada pemodelan plan *supersonic separation*. Sesuai dengan hasil optimisasi bahwa tekanan pada *inlet* yang maksimum adalah $1,01 \times 10^7$ Pa akan mengalami penurunan tekanan pada posisi nozzle. Penurunan tekanan ini terjadi karena perputaran *swirling* pada posisi masukan dengan kecepatan 40 rpm sehingga partikel-partikel gas akan terpental hingga mengalami penurunan tekanan hingga 3×10^6 pascal lalu setelah melewati nozzle tekanan akan kembali menuju tekanan semula.

Pengaruh kondisi operasi pada desain *supersonic separation* adalah kecepatan gas hingga mencapai kecepatan *supersonic* yaitu 540 m/s. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.8 aliran fluida gas berdasarkan kecepatan *supersonic* dan gambar 4.9.



Gambar 4. 8 Aliran fluida berdasarkan kecepatan *supersonic*



Gambar 4. 9 Grafik peningkatan kecepatan *supersonic* berdasarkan posisi geometri *supersonic separation*

Hasil simulasi untuk kecepatan supersonic, gas diberikan perlakuan awal dengan menggerakkan *swirling* dengan kecepatan 40 rpm sehingga pada posisi *nozzle* kecepatan yang dihasilkan lebih cepat hingga mencapai $3,5 \times 10^3$ m/s dan mengakibatkan partikel terpental menuju *outlet* bagian samping dan gas yang diteruskan akan diteruskan pada permukaan yang lebih luas sehingga mengakibatkan kecepatan kembali stabil pada kecepatan 2×10^2 m/s.

Pengaruh temperatur pada kondisi operasi didalam pemisahan supersonic ini tidak terdapat perubahan yang signifikan karena memang tidak terjadi penambahan dan pengurangan energi. Berdasarkan hasil optimisasi bahwa untuk mendapatkan *outlet* fraksi mol pemisahan H_2S dan CO_2 yang maksimal maka dilakukan pengondisian temperatur $31^\circ C$ atau 303 K.

Perancangan kondisi operasi ini telah dilakukan dengan melakukan pemodelan pada proses *supersonic separation*. Proses ini berjalan berdasarkan hukum kekekalan massa dan energi sehingga tanpa terjadi penambahan atau pengurangan energi yang disebut proses adiabatik. Dalam kondisi operasi ini dilakukan pemodelan terhadap geometri 3S merupakan sistem yang digunakan untuk melakukan simulasi dan dilakukan analisis terhadap aliran fluida gas yang akan terpisah didalamnya. Proses ini merupakan proses utama dalam pemisahan H_2S dan CO_2 yang terkandung didalam gas alam yang maksimal. Kondisi yang diatur dan dijadikan variable untuk optimisasi adalah tekanan dan temperatur masukan. Peran dari variabel tersebut untuk mendapatkan hasil fraksi volume yang maksimal pada pemisahan H_2S dan CO_2 . Sehingga dilakukan simulasi proses pada HYSYS dengan kondisi tekanan pada 88,82 – 98,68 bar, temperatur $25^\circ C$ – $30^\circ C$ dan laju aliran massa yaitu 2,687 kg/s.

Berdasarkan hasil data simulasi HYSYS didapatkan hasil yang terbaik sesuai dengan standar gas yang telah dilakukan pemisahan yaitu tekanan 90,80 bar, temperatur $28^\circ C$ dan laju aliran massa 2,687 kg/s menghasilkan fraksi mol gas metana 0,9150, H_2S 10^{-6} dan CO_2 0,0029 sesuai dengan batas standar untuk gas alam yang telah dilakukan pemisahan untuk kandungan hidrogen sulfida (H_2S) sebesar 4ppm dan karbondioksida (CO_2) sebesar 1 mol%.

Data yang telah didapatkan dari simulasi HYSYS dijadikan pemodelan dalam melakukan optimisasi menggunakan algoritma genetik. Hasil yang didapatkan dari optimisasi yaitu kondisi operasi pada variabel yang paling optimal untuk pengoperasian plan adalah tekanan 101,1 bar dan temperatur 31,37°C serta hasil fraksi mol cair yang terpisah adalah 0,0028 H₂S dan 0,0028 CO₂.

Alat *supersonic separation* yang telah didesain diuji menggunakan simulasi ANSYS untuk mengetahui aliran dari fluida berdasarkan variabel tekanan, temperatur dan kecepatan supersonik. Berdasarkan simulasi aliran fluida diberikan pengondisian melewati *swirling* dengan kecepatan putar 40 rpm sehingga gas akan berputar serta melewati bagian dari *supersonic separation* yaitu *nozzle*, sehingga mendapatkan hasil penurunan tekanan 3×10^6 Pa, peningkatan kecepatan supersonik hingga mencapai $3,5 \times 10^3$ m/s dan pengaruh dari temperatur 303 K tidak mengalami perubahan yang signifikan. Kondisi tersebut mengakibatkan partikel gas H₂S dan CO₂ akan berubah fase menjadi cair dan terpisah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari optimisasi kondisi operasi *supersonic separation* untuk memisahkan H_2S dan CO_2 dari *acid natural gas liquids* menggunakan algoritma genetik adalah sebagai berikut.

- Optimisasi operasi kondisi pada *supersonic separation* dilakukan dengan pemodelan geometri 3S dan mengatur kondisi tekanan, temperatur dan kecepatan supersonik pada aliran gas.
- Penerapan kondisi operasi ini yaitu dengan melakukan simulasi pada HYSYS sehingga didapatkan kondisi gas masukan yaitu 90,80 bar, 28°C dan laju aliran massa 2,687 kg/s, yang mana menghasilkan data fraksi mol fase gas maksimal yang terpisah yaitu 0,9510 CH_4 , 0,002969 CO_2 , dan 0,000001 H_2S dengan penurunan tekanan mencapai 30 kPa.
- Analisis hasil optimisasi menggunakan algoritma genetik dihasilkan kondisi operasi yang terbaik yaitu ketika tekanan 101,1 bar dan temperatur 31,37°C akan menghasilkan fraksi mol fase cair yang terpisah sebesar 0,0028 H_2S dan 0,0028 CO_2 .
- Simulasi pada ANSYS menunjukkan hasil aliran fluida berdasarkan tekanan, temperatur dan kecepatan supersonik mengalami perubahan pada posisi *nozzle* dan dikembalikan melalui *difusser* pada kondisi semula setelah H_2S dan CO_2 terpisah.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

- Melakukan penelitian mengenai *supersonic separation* dengan mempertimbangkan masalah proses didalam plan yang lebih kompleks.

- Dilakukan desain ulang pada *neural network* untuk mendapatkan hasil RMSE yang terbaik.
- Menggunakan perhitungan berdasarkan ekonomi dalam melakukan kondisi operasi pada *supersonic separation*.

DAFTAR PUSTAKA

- Administration, U. E. (2016, February 16). Global natural gas consumption doubled. <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=5810>.
- B, S. (2012). Forecasting natural gas consumption. *Appl Energy*, 26-37.
- Beting, M. (2008, April 15). Cyclonic fluid separator with vortex generator in inlet section. *U.S Patent 7*, hal. 357 825.
- Castier, M. (2014). Modeling and simulation of supersonic separation. *Journal of Natural Gas Science and Engineering 18*, 304-311.
- Economides MJ, W. D. (2009). The state of natural gas. *J Nat Gas Sci Eng*, 1-13.
- Energetica), U. (. (2015, Maret 27). Balance de Gas Natural en Colombia http://wwwl.upme.gov.co/sites/default/files/BALANCE_NATURAL_FINAL.pdf, hal. 2015-2023.
- Gutierrez-Arriaga, C. G. (2013). Multi-objective optimization of steam power plans for sustainable generation of electricity. *Clean Tezhnol. Environ*, pp. 551-566.
- Hammer, M. W. (2014). CO2 capture from off-shore gas turbine using supersonic separation. *inGHGT 12*.
- Varizi, M. B. (2013). Analysis of supersonic separators geometry using generalized radial basis function (GRBF) artificial neural networks. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 30-41.
- Man, K. F. (1996). Algoritma Genetik: Concepts and application. *IEEE Trans. Ind Electron*, vol 43, pp. 519-534.
- Nejad, T. (2016). Modeling study on CO2 and H2S simultaneous removal using MDEA solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, pp. 344-355.
- Nugroho, A. S. (2017). *Optimisasi perancangan Supersonic Gas Separation (3S) dengan Algoritma Genetik*. Surabaya:

Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Peng, D. Y. (1976). A New Two-Constant Equation of State. *Industrial and Engineering Chemistry*, p. 59-64.

Peng, D. Y., & Robinson, D. B. (1976). A New Two-Constant Equation of State. Dalam *Industrial and Engineering Chemistry: Fundamentals 15* (hal. 59–64).

Prast, B. (2006). CFD For Supersonic Gas Processing. in *5th International Conference on CFD in the Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia*, pp. 1-6.

Priscilla B. Mochado, P. M. (2012). Supersonic separation in onshore natural gas dew point plan. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol 6, pp.43-49.

Sukma, I. (2010). *Industri Pengolahan Batubara*. Lampung: Universitas Lampung.

Susmikanti, M. (2013). Pendekatan Neural Network terhadap Sifat Mekanik. *Badan Tenaga Nuklir Nasional*, pp. 22-28.

Totok Ruki Biyanto, G. D. (2017). Optimization of Supersonic Separation (3S) Design Using Rain Water Algorithm. *Proceedings of the 9th International Conference on Thermofluids*.

Wang, L. (2011). Development of an Intermittency Equation for the Modelling of Supersonic/Hypersonic Boundary Layer Flow Transition. *Flow Turbulance Combust* 87, 165-187.

Yang, Y. (2017). Optimization of static vanes in a supersonic separation for gas purification. *Fuel Processing Technology*, 265-270.

Yang, Y. (2017). CFD modelling of particle behavior in supersonic flows with strong swirls for gas separation. *Separation and purification Technology*, 22-28.

Yang, Y. W. (2014). Numerical simulation of real gas flow in natural gas supersonic separation processing. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol 21, p. 829-836.

LAMPIRAN

A. Matlab pemodelan Jaringan Saraf Tiruan

```
clc
close all;
clear all;
clc
disp('-----')
disp('  TRAINING IN PROGRESS  ')
disp('-----')
A = xlsread('3s.xlsx','Sheet1');
[rowTr,colTr] = size(A);
simpan_rmse_validasi_per_iterasi = 150;
cekval =impan_rmse_validasi_per_iterasi;
ut = A(1:280,1:2)'; %data latih
yt = A(1:280,3:4)'; %target latih
uv = A(201:280,1:2)'; %data validasi
yv = A(201:280,3:4)'; %target validasi
us = A(1:280,1:2)'; %data total
ys = A(1:280,3:4)'; %target total
[rowv,colv] = size(uv);
[rowu,colu] = size(ut);
[rowy,coly] = size(yt);
Min = -ones(rowu,1);
Max = ones(rowu,1);
MM = [Min Max];
for i=1:rowu
maxus(i)=max(us(i,:)); %change the range
minus(i)=min(us(i,:));
end
for i = 1:rowy
maxys(i)=max(ys(i,:));
minys(i)=min(ys(i,:));
end

minmaxus = [maxus;minus];
minmaxys = [maxys;minys];

for i = 1:rowy
yt(i,:)=((2/(max(ys(i,:))-
min(ys(i,:))))*(yt(i,)-min(ys(i,:))))-1;
```

```

    yv(i,:) = ((2/(max(ys(i,:)) -
min(ys(i,:)))) * (yv(i,:) - min(ys(i,:)))) - 1;
    end

    for j = 1:colu
        for i=1:rowu
            ut(i,j) = ((2/(maxus(i) - minus(i))) * (ut(i,j) -
minus(i))) - 1;
        end
    end

    for j = 1:colv
        for i=1:rowv
            uv(i,j) = ((2/(maxus(i) - minus(i))) * (uv(i,j) -
minus(i))) - 1;
        end
    end

    ut1=ut(1,:)' ;
    ut2=ut(2,:)' ;

    yt1 = yt(1,:)' ;
    yt2 = yt(2,:)' ;
    uv1=uv(1,:)' ;
    uv2=uv(2,:)' ;
    yv1 = yv(1,:)' ;
    yv2 = yv(2,:)' ;

    % history length for MIMO identification
    hist = ones(1,2);
    [n_rows,n_col] = size(ut1);

    % setting training data matrix
    data_latih = zeros(n_rows-1,sum(hist));

    for i = 1:hist(1),
        data_latih(:,i) = [zeros(hist(1)-
i,1);ut1(2:n_rows-hist(1)+i)];
    end

```

```

for j = 1:hist(2),
    data_latih(:,sum(hist(1))+j) =
[zeros(hist(2)-j,1);ut2(2:n_rows-hist(2)+j)];
end
PHI = data_latih';

% Construction of output matrix
Y = zeros(n_rows-1,2);

Y(:,1) = yt1(2:end);
Y(:,2) = yt2(2:end);
Ys = Y';

% Construction of networks structure
NetDef = [];
netdef1 = 'HH';
% netdef1 = 'HHHHHHHHHHHHHHHH';
netdef2 = 'LL';
% netdef2 = 'LLLLLLLLLLLLLLLL';
L = [netdef1;netdef2];
Data_RMSE =[];
trparms = settrain;

for i=1:5 %1 = 3, 15 = 18
hn=i+20;
close all;
Ys = Y'
    NetDef = [NetDef L]
    netdef1 = 'H';
    netdef2 = '-';
    L = [netdef1;netdef2];

% Construction of networks structure

% NetDef = ['HHHHHHHHH';'LLL-----'];
trparms = settrain;

[W1,W2,PI_vec,yhat] =
marq_rev(NetDef, [], [], PHI, Ys, trparms);

```

```

% RMSE calculation
for i = 1:2
    RMSE_train(i)=r_m_s_e(yhat(i,:),Ys(i,:))
end

for i = 1:2
    Ys(i,:)=(((max(ys(i,:))-
min(ys(i,:))))*(Ys(i,:)+1)/2)+min(ys(i,:));
%Descaling
    Yhat(i,:)=(((max(ys(i,:))-
min(ys(i,:))))*(yhat(i,:)+1)/2)+min(ys(i,:));
%Descaling
    RMSE_train_f(i) = r_m_s_e(Ys(i,:),Yhat(i,:));
end

%Drawing
for i = 1
    figure(i)
    plot(Ys(i,:), 'b-');
    hold on
    plot(Yhat(i,:), 'r.', 'LineWidth', 1);
    grid
    title('Network Training ');
    legend('Solid : Actual', 'Dot : Predicted ',
'Location', 'Best');
    ylabel('Fraksi Mol');
    xlabel('Data');
end

for i = 2
    figure(i)
    plot(Ys(i,:), 'b-');
    hold on
    plot(Yhat(i,:), 'r.', 'LineWidth', 1);
    grid
    title('Network Training ');
    legend('Solid : Actual', 'Dot : Predicted ',
'Location', 'Best');
    ylabel('Fraksi Mol');
    xlabel('Bulan');
end

```

```

save WTNanda NetDef W1 W2
save A A
% xlswrite('E1105Weight', W1, 'W1')
% xlswrite('E1105Weight', W2, 'W2')

% Tahap Validasi
disp('-----')
disp(' VALIDATION IN PROGRESS ')
disp('-----')

[n_rows,n_col] = size(uv1);
data_uji = zeros(n_rows-1,sum(hist));

for i = 1:hist(1),
    data_uji(:,i) = [zeros(hist(1)-
i,1);uv1(2:n_rows-hist(1)+i)];
end

for j = 1:hist(2),
    data_uji(:,sum(hist(1))+j) =
[zeros(hist(2)-j,1);uv2(2:n_rows-hist(2)+j)];
end
PHI_uji = data_uji';

Y_uji = zeros(n_rows-1,2);
Y_uji(:,1) = yv1(2:end);
Y_uji(:,2) = yv2(2:end);
Ys_uji = Y_uji';

[y2_uji]=marq_rev_uji(NetDef,W1,W2,PHI_uji,Ys
_uji);

% RMSE calculation
for i = 1:2
RMSE_test(i)=r_m_s_e(Ys_uji(i,:),y2_uji(i,:))
end

for i = 1:2

```

```

    Ys_test(i,:)=(((max(ys(i,:))-
min(ys(i,:)))*(Ys_uji(i,:)+1)/2)+min(ys(i,:))
;    %Descaling
    Yhat_test(i,:)=(((max(ys(i,:))-
min(ys(i,:)))*(y2_uji(i,:)+1)/2)+min(ys(i,:))
;    %Descaling
    RMSE_test_f(i) =
r_m_s_e(Ys_test(i,:),Yhat_test(i,:));
end

% %Drawing
for i = 1
figure(i+2)
plot(Ys_test(i,:), 'k-');
hold on
plot(Yhat_test(i,:), 'r.', 'LineWidth',1);
grid
title('Network Validation ');
legend('Solid : Actual', 'Dot : Predicted ',
'Location', 'Best');
ylabel('Fraksi Mol');
xlabel('Data');
end

for i = 2
figure(i+2)
plot(Ys_test(i,:), 'k-');
hold on
plot(Yhat_test(i,:), 'r.', 'LineWidth',1);
grid
title('Network Validation ');
legend('Solid : Actual', 'Dot : Predicted ',
'Location', 'Best');
ylabel('Fraksi Mol');
xlabel('Data');
end
RMSE_iterasi = [RMSE_train RMSE_test
RMSE_train_f RMSE_test_f ];
Data_RMSE = [Data_RMSE; RMSE_iterasi]

end

```

```
xlswrite('nanda.xls', Data_RMSE, 'data')
```

B. Matlab RMSE

```
function [e]=r_m_s_e(y,yhat);

% function [e]=r_m_s_e(y,yhat);
%
% Fungsi ini untuk menghitung root means
% squared error
% dari data hasil identifikasi
%
% y      : data dari output proses
% yhat   : data dari output model

l1=length(y);
l2=length(yhat);

if l1==l2
    e=sqrt(sum((y-yhat).^2)/l1);
else
    error('Dimensi data tidak sama')
end
```

C. Matlab Integration

```
function ys=model(x)
% clear all
% close all
% clc
global yt1 yt2 ys
% x = [1 1];
load WTNanda.mat
load A.mat
% A = xlsread('naufal.xlsx','Data JST');
% x= [13100 18180 1380 16800 7.64
170.333 6 1];

[rowTr,colTr] = size(A);
ut = A(1:280,1:2)';
yt = A(1:280,3:4)';
```

```

uv = A(201:280,1:2)';
yv = A(201:280,3:4)';

us = A(1:280,1:2)';
ys = A(1:280,3:4)';

x = x';
[rowv,colv] = size(uv);
[rowu,colu] = size(ut);
[rowy,coly] = size(yt);
Min = -ones(rowu,1);
Max = ones(rowu,1);
MM = [Min Max];

for i=1:rowu
maxus(i)=max(us(i,:)); %change the range
minus(i)=min(us(i,:));
end

for i = 1:rowy
maxys(i)=max(ys(i,:));
minys(i)=min(ys(i,:));
end

minmaxus = [maxus;minus];
minmaxys = [maxys;minys];

for i = 1:rowy
yt(i,:)=(2/(max(ys(i,:))-
min(ys(i,:))))*(yt(i,:)-min(ys(i,:)))-1;
yv(i,:)=(2/(max(ys(i,:))-
min(ys(i,:))))*(yv(i,:)-min(ys(i,:)))-1;
end

% for j = 1:colu
for i=1:rowu
x(i)=(2/(maxus(i)-minus(i)))*(x(i)-
minus(i)))-1;
end
u1=x(1,1)';

```



```

PERKALIAN DATA INPUT DENGAN BOBOT
h1f= W1 * phi;
y1f(H_hiddenf) = pmntanh(h1f(H_hiddenf));
y1f(L_hiddenf) = h1f(L_hiddenf);
yhid=[y1f];
% PERKALIAN HIDDEN NODE DENGAN BOBOT
h2f = W2 * yhid;
yhat(H_outputf) = pmntanh(h2f(H_outputf));
yhat(L_outputf) = h2f(L_outputf);
yhat = yhat';
% Output Hasil Testing
yhat1      = yhat(1,1) ;

yhat2      = yhat(2,1);

for i = 1:rowy
yt(i,:)=((max(ys(i,:))-
min(ys(i,:)))*(yhat(i,:)+1)/2)+min(ys(i,:));
end

ys = (yt(1,1)+ yt(1,2));
yt1 = yt(1,1);
yt2 = yt(1,2);

```

D. Matlab Algoritma genetik

```

clear all
close all
clc
global yt1 yt2 ys
% load WT_naufal.mat
% A = xlsread('naufal.xlsx','Data JST');
%Pembangkitan Populasi dan Parameter
Npop      = 100;           %populasi
Maxit     = 100;          %iterasi
el        = 0.05;         %elatism
Pc        = 0.8;
%probabilitas crossover
Pm        = 0.01;
%probabilitas mutasi

```

```

Nvar      = 2;                                %jumlah
variabel desain yang dioptimasi
Nbit      = 20;                               %jumlah
bit
%Constrain
ra = [150 35];
rb = [100 30];

% rb      = [0.6 0.0127 5];                  %batas
bawah cari constraint x4 x5 DICARI!!!!
% ra      = [0.9 0.02224 7];                %batas atas
cari constraint x4 x5 DICARI!!!!

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

        X = Individul;
        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
        end
    end
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
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 =
integrationnanda(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=eIndividuMax(1,:)
max_objective_function=fitness(1,:)
figure(gcf)
title('Grafik Nilai Maksimum GA','color','b')
xlabel('Jumlah Iterasi')
ylabel('Nilai Fungsi Objektif')
hold on
plot(efitnessmax, 'DisplayName',
'efitnessmax', 'YDataSource', 'efitnessmax');
hold on
end
```

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Nanda Erzhiavica Tama yang akrab disapa Nanda. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, terlahir di Banyuwangi pada tanggal 13 Oktober 1997. Penulis menempuh pendidikan di SDN 04 Sumberberas Muncar Banyuwangi lulus tahun 2009, SMPN 1 Srono Banyuwangi lulus tahun 2012, dan SMAN 1 Jember, lulus tahun 2015. Pendidikan sarjana ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS melalui jalur SNMPTN 2015. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi kemahasiswaan HMTF-ITS selama periode 2016-2017 sebagai staff Internal & 2017-2018 sebagai Wakil Ketua I himpunan. Penulis juga aktif dalam berorganisasi di BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa) tahun 2019 sebagai Sekretaris Kementerian ADKESMA (Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa). Pengalaman *internship program* selama 1 bulan di PT. Indonesia Power Semarang pada bulan Agustus 2018. Bidang minat penulis dalam mengerjakan tugas akhir adalah instrumentasi. Penulis dapat dihubungi di email erzhiavicananda@gmail.com.