



TUGAS AKHIR - TF 141581
OPTIMISASI PADA DESAIN MEMBRAN *HOLLOW FIBER* SEBAGAI TEKNOLOGI PEMISAHAN KARBONDIOKSIDA DENGAN METANA

ANDAN TUNJUNG PANGESTI
NRP. 2414 106 006

Dosen Pembimbing
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.
Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TF 141581

***OPTIMIZATION OF DESIGN HOLLOW FIBER
MEMBRANE TECHNOLOGY FOR SEPARATION
CARBONDIOXIDE WITH METHANE***

ANDAN TUNJUNG PANGESTI
NRP. 2414 106 006

Advisor Lecturer :
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.
Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI PADA DESAIN MEMBRAN *HOLLOW FIBER*
SEBAGAI TEKNOLOGI PEMISAHAN
KARBONDIOKSIDA DENGAN METANA

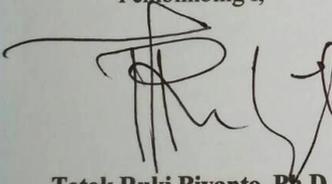
TUGAS AKHIR

Oleh :

Andan Tunjung Pangesti
NRP : 2414 106 006

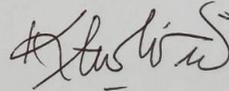
Surabaya, 23 Januari 2017
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Dr. Katherin Indriawati, ST, MT
NIP. 19760523 200012 2 001



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

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI PADA DESAIN MEMBRAN *HOLLOW FIBER* SEBAGAI TEKNOLOGI PEMISAHAN KARBONDIOKSIDA DENGAN METANA

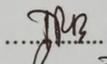
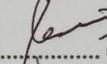
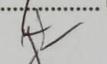
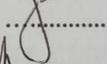
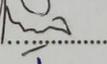
TUGAS AKHIR

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

Oleh :

ANDAN TUNJUNG PANGESTI
NRP. 2414 106 006

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Totok Ruki Biyanto, Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Dr. Katherin Indriawati, ST. MT.....  (Pembimbing II)
3. Ir. Ya'umar, M.T.  (Ketua Penguji)
4. Ir. Wiratno Argo Asmoro  (Penguji I)
5. Bagus Tri Atmaja, S.T., M.T.  (Penguji II)

SURABAYA
JANUARI 2017

“OPTIMISASI PADA DESAIN MEMBRAN *HOLLOW FIBER* SEBAGAI TEKNOLOGI PEMISAHAN KARBONDIOKSIDA DENGAN METANA”

Nama Mahasiswa : Andan Tunjung Pangesti
NRP : 2414 106 006
Jurusan : Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : 1. Totok Ruki Biyanto, Ph.D
2. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

Abstrak

Gas yang berasal dari sumur masih terdapat kontaminan yang berupa karbondioksida. Karbondioksida bersifat korosif, dapat menurunkan *heating value* dan pada suhu yang rendah dapat membeku sehingga dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran pipa. Oleh sebab itu, maka perlu adanya pemisahan karbondioksida dengan gas alam, dimana pada gas alam mengandung komposisi utama yang berupa metana. Sehingga, perlu pemisahan karbondioksida dengan metana. Pemisahan tersebut dapat dilakukan dengan teknologi *cryogenic*, *absorpsi* dan membran. Namun dalam hal ini digunakan jenis membran *hollow fiber* karena keandalannya yang tinggi. Dalam hal ini, optimisasi digunakan untuk memperkecil ukuran. Dengan ukuran yang semakin kecil maka, proses *fouling* akan semakin cepat muncul. Sehingga, proses *backwash* harus sering dilakukan untuk mencegah munculnya *fouling*. Semakin sering membran dibersihkan, maka dapat mempengaruhi biaya operasional. Oleh sebab itu, maka optimisasi diperlukan untuk diperoleh harga semurah-murahnya. *Optimizer* yang digunakan berbasis algoritma genetika, dengan variabel optimisasi yang berupa panjang fiber membran dan *time interval*. Hasil dari optimisasi menunjukkan bahwa penerapan optimisasi menggunakan algoritma genetika diperoleh nilai panjang membran optimum adalah sebesar 4.42815 meter, sedangkan untuk *time interval* adalah selama 664 menit. Sehingga, untuk pencegahan *fouling* membran harus dibersihkan setiap 664 menit sekali. Dengan penerapan optimisasi tersebut diperoleh harga membran sebesar Rp. 28.265.529,-/m²

dan sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan, keuntungan maksimum yang diperoleh adalah sebesar Rp. 1.162.000.000,- dengan pembersihan sebanyak 11 kali.

Kata Kunci : Algoritma genetika, membran, optimisasi, pemisahan gas.

**OPTIMIZATION OF DESIGN HOLLOW FIBER MEMBRANE
TECHNOLOGY FOR SEPARATION CARBONDIOXIDE WITH
METHANE**

Name : Andan Tunjung Pangesti
NRP : 2414.106.006
Program Study : Engineering Physics
Advisor : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.
Dr. Katherin Indriawati, ST. MT.

Abstract

Gas that comes out from wells are still contaminated by carbon dioxide. Carbon dioxide besides has a corrosive nature, it also can lower heating value and freeze at low temperatures. So it can cause a blockages in the pipeline. Therefore, it is needed to separate carbon dioxide from natural gas, which its main composition is methane. Thus, carbon dioxide and methane need to be separated. Such separation could be done by cryogenic, absorption, and membrane technology. This study used membrane with a hollow fiber type because of its high reliability. In this study, optimization is used to minimize the membrane size. With the smaller size, fouling process will be faster to appears. Thus, the backwash process must often be done to prevent fouling. The more often the membrane is cleaned, it can affect the operational costs. Therefore, optimization is required to obtain the cheapest possible cost. Optimizer that being used is based on Genetic Algorithm, with the length of membrane fiber and time interval as optimization variables. Results of the application of optimization using Genetic Algorithms show length of membrane is 4.42815 meter and time interval is 664 minutes. Thus, to reduce fouling of membrane must be cleaned every 664 minutes. The implementation of optimization show membrane price 28.265.529 IDR per surface area, and according to the objective function is used, maximum profit is 1.162.000.000 IDR in cleaning as much as 11 times.

Keyword : *genetic algorithm, membrane, optimization,
Separation gas,*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

“OPTIMISASI PADA DESAIN MEMBRAN *HOLLOW FIBER* SEBAGAI TEKNOLOGI PEMISAHAN KARBONDIOKSIDA DENGAN METANA”

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Fisika ITS.
2. Totok Ruki Biyanto, Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan semangat dan ide ide baru.
3. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA. selaku dosen wali penulis.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di jurusan Teknik Fisika - ITS.
5. Rekan – rekan Lintas Jalur Teknik Fisika yang memberikan bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
6. Segenap keluarga penulis yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan F46 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima.

Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 23 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Proses Pengolahan <i>Well Fluid</i>	5
2.2 Pemisahan Gas menggunakan Membran	5
2.3 Membran <i>Hollow Fiber</i>	6
2.4 Tipe Aliran Membran	11
2.5 Hukum <i>Fick's</i>	13
2.6 Konfigurasi Sistem Membran	14
2.7 <i>Backwashing</i>	16
2.8 <i>Genetic Algorithm</i>	17
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	
3.1 Studi Literatur	21
3.2 Pengumpulan Data Sekunder	22
3.3 Pemodelan Proses	22
3.4 Penentuan <i>Problem</i> Formulasi.....	27
3.5 Pemodelan <i>Fouling</i>	27
3.6 Perancangan Algoritma Genetika	29
3.7 Penerapan Optimisasi Algoritma Genetika	31

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Pemodelan dan Pengujian Sistem	33
4.2	Pemodelan <i>Fouling</i>	35
4.3	Optimisasi <i>Plan</i>	36
4.4	Hasil Optimisasi.....	37

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 Skema pemisahan gas menggunakan membran.....	8
Gambar 2.2 Bentuk dari membrane <i>hollow fiber</i>	8
Gambar 2.3 Modul membrane dengan elemen.....	9
Gambar 2.4 Membran <i>hollow fiber</i>	10
Gambar 2.5 Membran <i>skid</i>	10
Gambar 2.6 Elemen-elemen membrane <i>hollow fiber</i>	11
Gambar 2.7 Tipe aliran <i>cross-flow</i>	11
Gambar 2.8 Tipe aliran <i>dead end</i>	12
Gambar 2.9 Sistem aliran membran	13
Gambar 2.10 Sistem membran <i>single stage</i>	15
Gambar 2.11 Sistem membran <i>two stage</i>	15
Gambar 2.12 Proses pemisahan gas dengan <i>single stage</i>	16
Gambar 2.13 Arah aliran <i>backwashing</i>	17
Gambar 2.14 Seleksi <i>Roulette Wheel</i>	18
Gambar 2.15 Proses <i>crossover</i> pada GA	19
Gambar 2.16 Proses <i>mutation</i> pada GA.....	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> proses pelaksanaan	21
Gambar 3.2 Skema sederhana dari modul <i>hollow fiber</i>	22
Gambar 3.3 Diagram alir algoritma genetika	30
Gambar 4.1 Penurunan <i>fluks</i> terhadap waktu	34
Gambar 4.2 Kenaikan <i>pressure drop</i>	34
Gambar 4.3 Hubungan permeabilitas dengan waktu	36
Gambar 4.4 Fungsi <i>fitness</i> terhadap iterasi GA	37
Gambar 4.5 Harga membrane.....	38
Gambar 4.6 Nilai permeabilitas ketika dibersihkan.....	39
Gambar 4.7 Beda tekanan ketika ada <i>backwash</i>	39
Gambar 4.8 Biaya pemakaian <i>compressor</i>	40
Gambar 4.9 Biaya produksi	40
Gambar 4.10 Nilai <i>fitness</i> dengan penerapan <i>backwash</i>	41
Gambar 4.11 Beda tekanan pada panjang membrane 3 meter...	42
Gambar 4.12 Beda tekanan untuk panjang 5 meter	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Permeabilitas gas pada membran.....	9
Tabel 3.1 Data spesifikasi pemisahan gas.....	22
Tabel 3.2 <i>Tuning</i> parameter GA	30
Tabel 4.1 Parameter input pemisahan gas.....	33
Tabel 4.2 Hasil optimisasi menggunakan GA	37

DAFTAR SIMBOL

A	Luas <i>cross sectional</i> (m^2)
Am	Luas permukaan membrane (m^2)
Cch4	Harga metana (Rp/m^3)
Cl	Harga listrik ($Rp/kWmenit$)
Cm	Harga membrane (Rp/m^2)
Cpro	Hasil produk (Rp)
Cpump	Biaya pompa ($Rp/kWmenit$)
d	Diameter membrane (m)
J	Fluks ($kg/m^2.menit$)
KCH4	Permeabilitas metana
KCO2	Permeabilitas karbondioksida
L	Panjang membrane (m)
Ph	Tekanan awal (Pa)
Pl	Tekanan akhir (Pa)
qf	Laju aliran <i>feed</i> ($m^3/menit$)
qp	Laju aliran <i>permeate</i> ($m^3/menit$)
qr	Laju aliran <i>retentate</i> ($m^3/menit$)
t	Durasi <i>backwash</i> (menit)
tb	Tebal membrane (m)
Wp	<i>Working pump</i> (kW)
xf	Komposisi <i>feed</i> (kg)
xp	Komposisi <i>permeate</i> (kg)
xr	Komposisi <i>retentate</i> (kg)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas memiliki kontribusi yang besar dalam perkembangan kebutuhan sehari – hari dalam dunia industri utamanya. Indonesia memiliki cadangan gas terbukti sebesar 108.4 TCF (*Triliun Cubic Feet*) untuk status Januari 2010. Jika ditambahkan dengan cadangan gas potential, jumlah cadangan gas mencapai 157.14 TCF (Ditjen Migas Kementerian ESDM, 2011). Namun sebelum gas alam yang berasal dari sumur gas tersebut digunakan sebagai sumber energi, maka gas alam tersebut harus diproses untuk memenuhi spesifikasi gas jual seperti kandungan air < 10 lb/MMscf untuk mencegah terjadinya *hydrate* dan korosi pada pipa. Untuk mengurangi kadar CO₂ dalam gas alam diperlukan suatu proses pengurangan atau pemisahan CO₂ [1]. CO₂ dapat menurunkan *heating value* pada aliran gas CH₄ di *power plan* [2]. Kandungan CO₂ pada spesifikasi pipa gas alam adalah 2%-5% [3]. Hal ini membuat pemisahan CO₂ sangat diperlukan.

Ada beberapa alternatif proses pemisahan CO₂ dari gas alam diantaranya adalah dengan menggunakan *physical separation* (*membran* dan *cryogenic*), absorpsi (*amine*, *hot potassium carbonate*, *fluor*, *selexol* dan *rectisol*), dan adsorpsi [4]. Untuk teknologi membran adalah yang sedang banyak dibahas dan digunakan belakangan ini, karena memiliki kelebihan diantaranya seperti biaya rendah/murah, kendala tinggi, mudah dalam penggunaan, *on stream* tinggi saat beroperasi, dapat menghilangkan hidrokarbon tinggi, pemeliharaan rendah, tidak membutuhkan tempat besar, ramah lingkungan, dan tidak menggunakan bahan aditif. Membran yang digunakan untuk penyisihan CO₂ tidak beroperasi seperti filter. Pada filter, molekul kecil dipisahkan dari molekul yang lebih besar melalui medium berpori. Sedangkan pada membran, prinsip operasinya adalah melalui prinsip difusi. Mula-mula CO₂ larut (*dissolve*) ke dalam membran, kemudian berdifusi. Pemisahan berlangsung bukan berdasarkan ukuran molekul, melainkan seberapa baik suatu

senyawa terlarut dan berdifusi di dalam membran. Gas yang dapat terlarut dan berdifusi dengan cepat di dalam membran disebut *fast gas*, misalnya CO_2 , H_2 , He, H_2S , dan uap air. Sebaliknya, disebut *slow gas*, seperti CO, N_2 , metana, etana, dan hidrokarbon lain. Membran digunakan untuk memisahkan *fast gas* dari *slow gas* [4]. Membran terdiri dari beberapa macam, diantaranya adalah membran *hollow fiber* dan membran *spiral wound* [5]. Pada penelitian ini digunakan jenis membran *hollow fiber*. Membran *hollow fiber* memiliki keandalan yang tinggi, mudah dalam pengoperasian dan plan pada umumnya lebih kecil jika dibandingkan dengan membran *spiral wound*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh David Dortmund dan Kishore Doshi (1999) keunggulan teknologi membran dibandingkan teknologi CO_2 removal yang bersifat tradisional, antara lain ukuran unit lebih kecil, tidak memerlukan temperatur *cryogenic* dalam operasinya, kebutuhan utilitas yang tidak besar, keandalan yang tinggi dan mudah untuk dioperasikan [6].

Karena pada tugas akhir ini perlu adanya pencapaian yang optimal dari segi ekonomi dan desain, maka digunakan penerapan teknik optimisasi. Pada dasarnya permasalahan utama yang menjadi latar belakang dari tugas akhir ini adalah bagaimana memperoleh desain membran yang terbaik dan tepat untuk mendapatkan *output* yang sesuai yaitu gas alam yang mengandung residual sedikit sehingga dapat diperoleh hasil produksi dan keuntungan yang maksimal.

Teknik optimisasi sendiri memerlukan pemodelan matematis dan metode optimisasi dalam penggunaannya. Model matematis yang digunakan pada tugas akhir ini adalah berdasarkan hukum *Fick's* dan hukum *Darcy*. Sedangkan metode optimisasi yang digunakan adalah metode *genetic algorithm* (GA). GA merupakan teknik optimisasi yang paling efisien dalam hal evaluasi fungsi. GA telah digunakan untuk optimisasi pada masalah penjadwalan *batch plant* oleh Azzaro dan juga dapat pada desain penukar panas yang optimal, yang penelitiannya dilakukan oleh Tayal.

Pada membran sering terjadi *fouling* akibat kontaminan yang menumpuk di dalam dan di permukaan pori membran dalam waktu tertentu. *Fouling* dapat diminimalisasi dengan menerapkan sistem *backwashing* [7]. *Fouling* pada membran dapat menurunkan permeabilitas dan meningkatkan biaya operasional [8].

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan optimisasi pada desain membran *hollow fiber* sebagai pemisahan karbondioksida dengan metana. Hal ini bertujuan agar dapat mengoptimalkan desain membran sehingga didapatkan harga membran yang rendah dan keuntungan maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana membuat model matematis pemisahan karbondioksida dengan metana berdasarkan hukum *Fick's* dan *Darcy* untuk menghasilkan desain membran yang lebih efisien dan ekonomis?
2. Bagaimana merancang optimisasi pada desain membran *hollow fiber* guna memperoleh harga membran yang rendah dan keuntungan maksimum?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Melakukan pemodelan matematis pemisahan karbondioksida dengan metana berdasarkan hukum *Fick's* dan *Darcy* untuk menghasilkan desain membran yang lebih efisien dan ekonomis.
2. Merancang optimisasi pada desain membran *hollow fiber* guna memperoleh harga membran yang rendah dan keuntungan maksimum.

1.4 Lingkup Kerja

Ruang lingkup yang dikaji pada tugas akhir ini meliputi :

1. Memodelkan membran dengan jenis membran *hollow fiber* berdasarkan hukum *Fick's* dan hukum *Darcy* dengan data yang digunakan merupakan data sekunder.
2. Menentukan fungsi objektif yang berupa harga membran yang rendah dan keuntungan maksimal.
3. Merancang teknik optimisasi menggunakan metode *genetic algorithm* (GA)
4. Menganalisa hasil optimisasi desain pada membran dengan metode *genetic algorithm* (GA).

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 Analisa Data dan Pembahasan

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

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Prose Pengolahan *Well Fluid*

Well fluid (*fluida* yang keluar dari sumur) masih mengandung air, hidrokarbon cair atau *condensate* dan *acid gas* (CO₂ dan H₂S). Proses awal pengolahan *well fluid* berlangsung dalam suatu separator pemisah gas dengan *liquid* yaitu *inlet separator* dan *production separator*. *Inlet separator* berfungsi menampung dan memisahkan gas dan cairan dari *well fluid*. Sedangkan *production separator* berfungsi untuk memisahkan gas umpan dari cairan yang terkumpul sesudah mengalami pendinginan dalam *inlet cooler* [9].

Fasa cair perlu dipisahkan dari fasa gas karena pemrosesan peralatan selanjutnya mensyaratkan penanganan satu fasa, di samping persyaratan spesifikasi produk akhir. Agar proses pengolahan selanjutnya berlangsung dalam temperatur kamar dan memiliki temperatur yang stabil, maka dilakukan pendinginan gas dan cairan yang berasal dari separator dalam *inlet cooler*.

2.2. Pemisahan Gas menggunakan Membran

Industri membran telah berkembang sejak tahun 1950-an, namun masih pada kapasitas produksi yang kecil. Sartorius Werke GmbH, sebuah perusahaan manufaktur di Jerman, memproduksi membran ultrafiltrasi dalam jumlah kecil dan beberapa membran *cellophane* untuk aplikasi dialisis skala laboratorium. Terobosan monumental dalam pengembangan teknologi membran baru terjadi pada awal tahun 1960 – an setelah Loeb dan Sourirajan menemukan teknik pembuatan membran asimetris [10].

Teknologi membran banyak berperan dalam industri migas yaitu pada proses pemisahan campuran gas. Sebelum gas alam yang berasal dari sumur gas digunakan sebagai sumber energi, maka gas alam harus bebas kontaminan. Salah satu kontaminan yang bersifat korosi adalah gas CO₂, akan tetapi gas yang keluar dari sumur gas baik *onshore* maupun *offshore* tidak selalu dalam keadaan bersih dari kontaminan dan mengandung CO₂. Oleh

karena itu diperlukan proses pemisahan gas. Proses pemisahan CO₂ dari gas alam dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu [4]:

1. *Physical Separation (Membran dan Cryogenic)*
2. *Absorpsi (Chemical dan Physical Absorpsi)*
3. *Adsorpsi (Solid Surface)*

Pemisahan CO₂ dari gas alam dengan *physical separation* dapat dilakukan dengan membran dan *cryogenic separation*. Pada membran *separation*, membran bekerja dengan cara melakukan permeasi terhadap komponen gas yang akan dipisahkan sehingga, komponen gas tersebut larut terhadap membran dan berdifusi melewati membran. Pada proses pemisahan gas, gas terlebih dahulu melewati proses *pretreatment* dan kemudian gas masuk ke dalam proses membran untuk terjadinya pemisahan gas.

Beberapa kelebihan pemisahan menggunakan membran adalah [11] :

1. Kadar CO₂ yang dihasilkan bisa <2 mol%
2. Bisa digunakan untuk kadar CO₂ yang besar.
3. Cocok untuk *offshore* karena membutuhkan ruangan kecil dan tidak terlalu berat.
4. Instalasi gampang dan murah
5. Perawatan mudah dan bisa digunakan untuk *unmanned operation*.

Adapun kekurangannya meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Biaya investasi besar jika digunakan dalam kurun waktu yang lama
2. Sensitif terhadap perubahan kondisi umpan
3. Untuk polimer membran, terdapat batasan suhu

2.3. Membran *Hollow Fiber*

Membran digunakan untuk menghilangkan kadar CO₂ (Karbon dioksida) dari gas alam. Membran menggunakan bahan jenis polimer, seperti selulosa asetat, *polyimides*, *poliamida*, *polisulfon*, *polikarbonat*, dan *polyetherimide*. Membran berfungsi untuk memisahkan *fast gas* dari *slow gas*. Membran dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu *flat sheet* dan *hollow fiber*. *Flat sheet* biasanya digabungkan menjadi *spiral-wound element*,

sedangkan *hollow fiber* digabungkan menjadi *bundle*, seperti *shell and tube heat exchanger*. *Hollow fiber elements* memiliki *packing density* yang tinggi. *Plant* yang menggunakan *hollow fiber* biasanya lebih kecil daripada yang menggunakan *spiral-wound* [4].

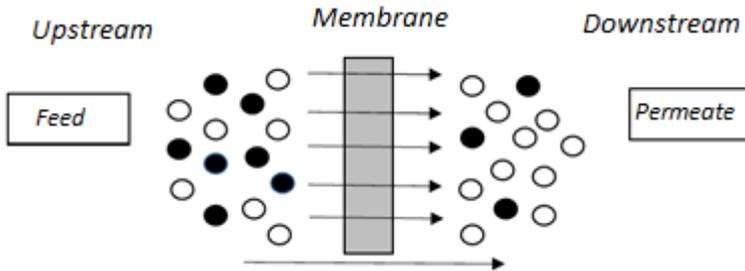
Membran *hollow fiber* adalah lembaran tipis mikro-pori dari bahan yang bisa menyerap bagian dari molekul di atasnya berdasarkan ukuran, bentuk, atau perubahan molekul, dan afinitas untuk molekul sehingga, secara selektif memisahkan material khusus dari campuran. Membran yang digunakan untuk penyisihan CO₂ prinsip kerjanya tidak sama dengan *filter*. Pada *filter*, molekul kecil dipisahkan dari molekul yang lebih besar melalui medium yang berpori, sedangkan pada membran prinsip kerjanya yaitu berdasarkan prinsip difusi. Mula mula CO₂ larut (*dissolve*) ke dalam membran, kemudian berdifusi. Pemisahan berlangsung bukan berdasarkan ukuran molekul, melainkan seberapa baik suatu senyawa terlarut dan berdifusi didalam membran. Gas yang dapat terlarut dan berdifusi dengan cepat di dalam membran disebut *fast gas*, misalnya CO₂, H₂, HE, H₂S dan uap air. Yang disebut dengan *slow gas* yaitu seperti CO, N₂, metana, etana dan hidrokarbon lain.

Membran *hollow fiber* memiliki beberapa karakteristik antara lain :

1. Kecepatan aliran pada sistem ini berkisar antara 0.5 hingga 2.5 m/s.
2. Memiliki perbandingan luas permukaan atau volume membran yang tinggi.
3. Biaya penggantian membran cukup tinggi. Jika salah satu *hollow fiber* lepas dari modul, maka keseluruhan membran harus dikeluarkan.
4. Tegangan geser tinggi yaitu antara 4000 – 14000 per detik.

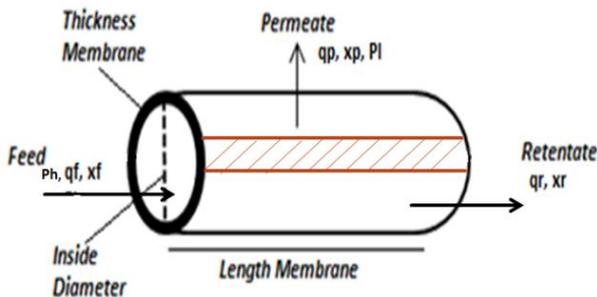
Proses pemisahan dengan menggunakan media membran dapat terjadi karena membran mempunyai sifat selektifitas yaitu kemampuan untuk memisahkan suatu partikel dari campurannya. Hal ini dikarenakan partikel memiliki ukuran lebih besar dari pori

membran. Proses pemisahan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut.



Gambar 2.1 Skema pemisahan gas menggunakan membran [1]

Upstream merupakan sisi umpan terdiri dari bermacam – macam molekul (komponen) yang akan dipisahkan, sedangkan *downstream* adalah sisi *permeate* yang merupakan hasil pemisahan. Pemisahan terjadi karena adanya gaya dorong (*driving force*) sehingga, molekul – molekul berdifusi melalui membran yang disebabkan adanya perbedaan tekanan.



Gambar 2.2 Bentuk dari membran *hollow fiber*

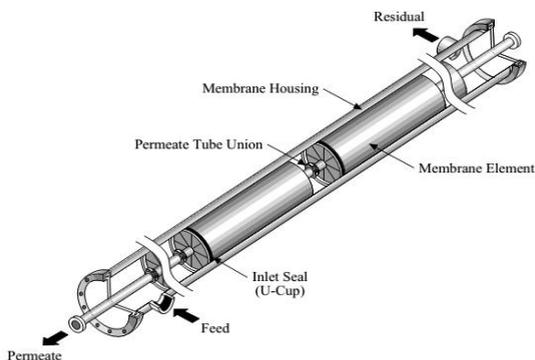
Gas yang berdifusi melalui membran adalah gas karbondioksida. Hal ini dikarenakan gas karbondioksida memiliki permeabilitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metana. Oleh karena itu, karbondioksida merupakan gas yang dapat berdifusi lebih cepat dibandingkan dengan metana. Berikut tabel yang

menunjukkan nilai permeabilitas gas sesuai dengan bahan membran yang digunakan.

Tabel 2.1 Permeabilitas gas pada membran

Material	Temp. (°C)	Permeability, $P_A, \frac{-cm^3(STP) \cdot cm}{s \cdot cm^2 \cdot cm Hg} \times 10^{10}$						Ref.
		He	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	
Silicone rubber	25	300	550	800	2700	500	250	(S2)
Natural rubber	25	31	49	30	131	24	8.1	(S2)
Polycarbonate (Lexane)	25-30	15	12		5.6,10	1.4		(S2)
Nylon 66	25	1.0			0.17	0.034	0.008	(S2)
Polyester (Permasep)	—		1.65	0.035	0.31		0.031	(H1)
Silicone- polycarbonate copolymer (57% silicone)	25		210		970	160	70	(W2)
Teflon FEP	30	62		1.4			2.5	(S1)
Ethyl cellulose	30	35.7	49.2	7.47	47.5	11.2	3.29	(W3)
Polystyrene	30	40.8	56.0	2.72	23.3	7.47	2.55	(W3)

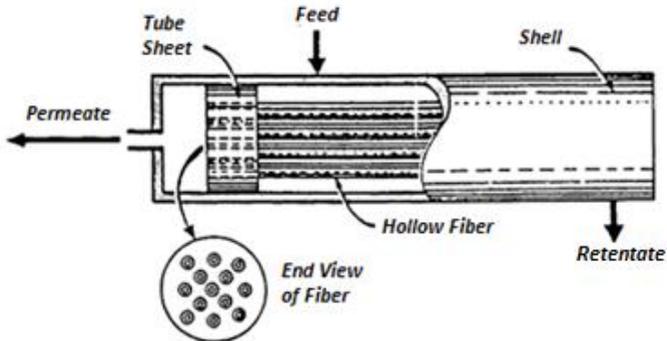
Membran dapat difabrikasikan ke dalam bentuk elemen, yang mana membran dimasukkan ke dalam *tube* sebagaimana pada **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4** berikut.



UOP 3128-5

Gambar 2.3 Modul membran dengan elemen [6]

Dortmundt dan Doshi memaparkan bahwa dalam desain modular membran, luas membran dapat diatur agar operasi menjadi efisien untuk rentang luas dalam hal laju alir umpan, tekanan, temperatur, dan konsentrasi [6].

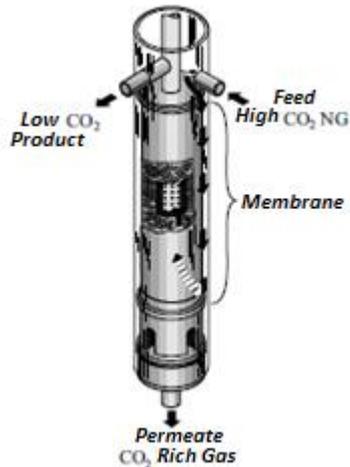


Gambar 2.4 Membran *hollow fiber* [6]

Multiple tube kemudian ditempelkan ke *skid*. Orientasinya bisa vertical atau horizontal sebagaimana pada **Gambar 2.5** berikut.



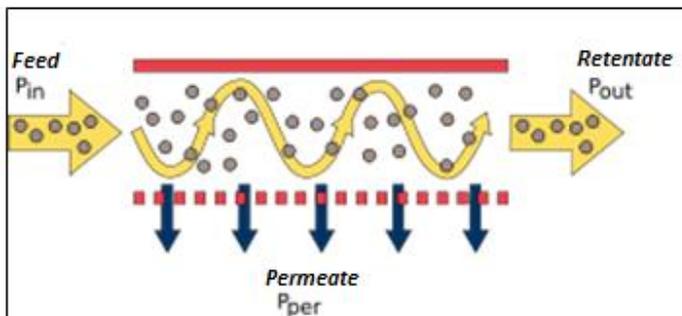
Gambar 2.5 Membran *skid* [6]



Gambar 2.6 Elemen-elemen membran *hollow fiber* [6]

2.4. Tipe Aliran Membran

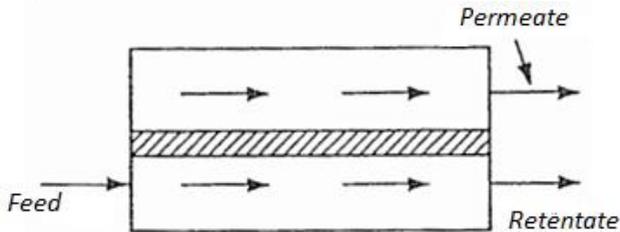
Tipe aliran pada membran dibagi menjadi dua yaitu *aliran dead end* dan *cross-flow*. Kedua pola tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 2.7** dan **Gambar 2.8** berikut.



Gambar 2.7 Tipe aliran *cross-flow* [12]

Pada pola aliran *cross-flow*, aliran umpan mengalir melalui suatu membran, dengan hanya sebagian saja yang melewati pori

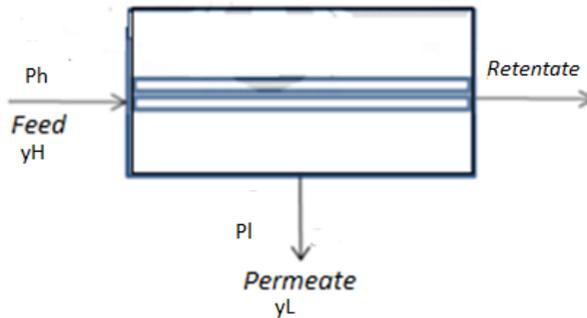
membran untuk memproduksi *permeate*, sedangkan aliran pelarut akan melewati permukaan membran sehingga, larutan yang tertahan oleh membran akan terus terbawa. Aliran *crossflow* dapat meningkatkan stabilitas *fluks* sehingga, memperpanjang umur membran. Pada tipe aliran silang (*crossflow*), umpan mengalir sepanjang permukaan membran, sejajar dengan permukaan membran sehingga, hanya sebagian yang terakumulasi dan akibatnya pembentukan *cake* terjadi sangat lambat [5]. Selain itu, pada aliran silang (*cross-flow*) lebih dipilih karena memiliki kelebihan yaitu koefisien perpindahan massa yang lebih besar, *pressure drop* yang lebih rendah, dan berkurangnya efek *channeling* [12].



Gambar 2.8 Tipe aliran *dead end* [5]

Pada sistem *dead end* keseluruhan dari *fluida* melewati membran (sebagai media filter) dan partikel tertahan pada membran, dengan demikian *fluida* umpan mengalir melalui tahanan membran dan tahanan penumpukan partikel pada permukaan membran [13]. Dengan demikian, pada kasus sistem aliran *dead end* penyumbatan dan pembentukan *cake* pada membran lebih cepat terjadi dibandingkan dengan sistem aliran *cross flow* karena deposisi partikel pada permukaan membran akan tersapu (*swept away*) oleh kecepatan aliran umpan.

Untuk suatu sistem membran seperti **Gambar 2.9** berikut, tekanan total gas pada umpan (tekanan tinggi) dan sisi *permeate* (tekanan rendah) pada membran merupakan jumlah tekanan pada sisi *feed* dan tekanan pada sisi *permeate*.



Gambar 2.9 Sistem aliran membran [9]

Perbandingan tekanan umpan dan *permeate* pada membran merupakan *driving force* pemisahan gas. Dengan kata lain, suatu gas akan berpemeasi bila tekanan gas di umpan lebih besar dari tekanan gas di *permeate* [9], seperti diberikan dalam persamaan 2.1 berikut :

$$y_H \cdot P_H > y_L \cdot P_L \quad (2.1)$$

2.5. Hukum Fick's

Model persamaan untuk membran *hollow fiber* dijelaskan oleh hukum *fick's*. Hukum *fick's* digunakan untuk proses pelarutan dan difusi. Seader dan Henley (1998) memaparkan mengenai Hukum *fick's* yang digunakan sebagai pendekatan untuk proses pelarutan dan difusi melalui membran. Besaran yang dipakai adalah *fluks* membran, yang pada hakekatnya merupakan laju alir molar CO₂ melalui membran per satuan luas membran, yang diberikan dalam persamaannya sebagai berikut [6]:

$$J = \frac{K \times D \times \Delta \rho}{\ell} \quad (2.2)$$

Dimana :

J : *Fluks* CO₂ melalui membran (mol)

K : Kelarutan CO₂ di dalam membran (mol)

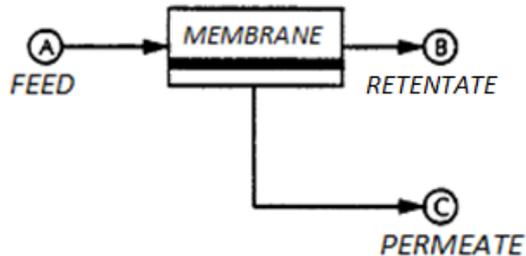
- D : Koefisien difusi CO₂ melalui membran (mol)
 Δp : Perbedaan tekanan CO₂ di aliran *feed* (*high pressure*) dan *permeate* (*low pressure*) (Bar)
 ℓ : Ketebalan membran (m)

K dan D apabila dikombinasikan maka menjadi variabel baru yaitu permeabilitas (K). Dengan demikian formula hukum *fick's* dapat dipisahkan menjadi dua bagian yaitu bagian yang tergantung pada membran (ΔP) dan bagian yang tergantung pada proses (D). Untuk mendapatkan *fluks* yang tinggi, diperlukan pemilihan material membran yang tepat dan penentuan kondisi *processing* yang sesuai. Harga ΔP tidak konstan dan sangat tergantung pada variasi kondisi operasi seperti temperatur dan tekanan.

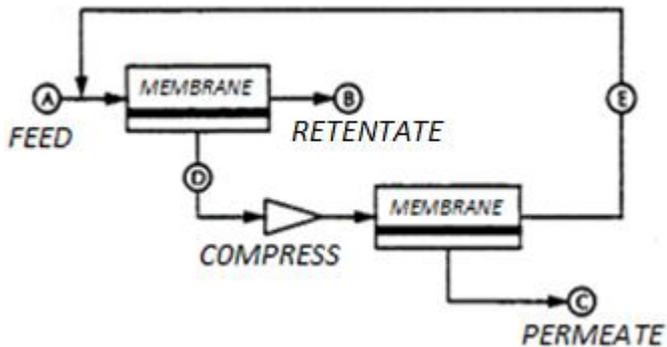
2.6. Konfigurasi Sistem Membran

Sistem kerja membran pada umumnya terdiri dari *one stage plant* dan *two stage plant*. *One stage plant* yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.10** memiliki desain sistem yang sederhana, tidak ada peralatan yang memutar proses (*cycle*), hanya membutuhkan peralatan perawatan dan digunakan pada aliran gas yang kecil. Pada prinsipnya selektivitas dan rasio tekanan yang dapat dicapai terbatas, maka sistem satu tahap umumnya belum bisa mencapai kinerja membran yang diinginkan. Sejumlah hidrokarbon dalam jumlah yang signifikan akan terbawa ke *permeate* dan hilang.

Sedangkan untuk *two stage plant* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.11** mempunyai peralatan yang dapat memutar proses. Di samping itu untuk memaksimalkan kinerja membran, maka dibuat sistem desain dua tahap yang dapat memberikan nilai *hydrocarbon recoveries* lebih besar dibandingkan dengan desain satu tahap namun memerlukan *power* kompresor yang lebih besar.



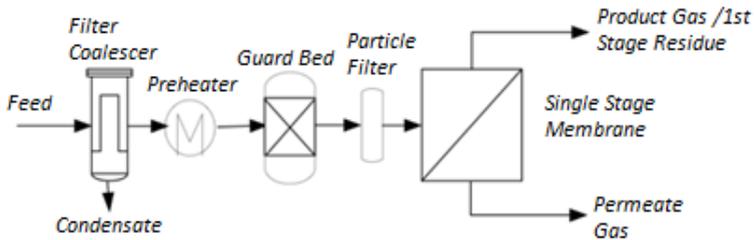
Gambar 2.10 Sistem membran *single stage* [6]



Gambar 2.11 Sistem membran *two stage* [6]

Untuk menggunakan sistem satu tahap atau dua tahap harus mempertimbangkan banyak faktor. Analisa ekonomi perlu dilakukan untuk memastikan biaya pemasangan dan pengoperasian *recycle compressor* agar tidak melebihi keuntungan yang didapat dari *hydrocarbon recovery*. Persentase *hydrocarbon recovery* didefinisikan sebagai persentase hidrokarbon yang di-cover ke dalam gas jual dibandingkan dengan jumlah hidrokarbon dalam gas umpan. Seperti yang dipaparkan oleh Dormundt dan Doshi bahwa untuk pemisahan CO₂ dibawah 50% sistem membran satu tahap biasanya

memberikan nilai keekonomian lebih baik daripada sistem multi tahap [6].



Gambar 2.12 Proses pemisahan gas dengan *single stage* [9]

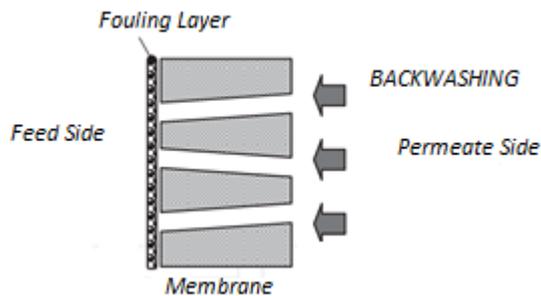
Berdasarkan **Gambar 2.12** di atas, pada proses awal pemisahan membran, terdapat sistem *pre-treatment membran* yang sangat penting untuk menunjang kinerja semua sistem membran. *Pre-treatment* yang tidak memadai akan mengarah pada penurunan kinerja. Pada mulanya gas umpan akan dialirkan ke dalam suatu *pre-treatment membran* yang terdiri dari *filter coalesce* untuk memisahkan cairan dalam bentuk *mist elimination*, *filter* untuk memisahkan partikel setelah *guard bed*, *guard bed* untuk menghilangkan *trace contaminant* [6]. Gas umpan yang keluar dari *pre-treatment membran* akan berpermeasi ke dalam membran *single stage* dan selanjutnya terpisah menjadi gas residu dan gas *permeate*.

2.7. Backwashing

Pada pengoperasian membran perlu diperhatikan mengenai *fouling* dan umur membran. *Fouling* merupakan masalah yang sangat umum terjadi, yang diakibatkan oleh adanya kontaminan yang menumpuk di dalam dan di permukaan pori membran dalam waktu tertentu. Jenis *fouling* yang terjadi sangat bergantung pada berbagai faktor, termasuk diantaranya kualitas umpan, jenis membran, bahan membran dan perancangan serta pengendalian proses.

Kontaminasi pada *fouling* menyebabkan perlunya beban kerja lebih tinggi, untuk menjamin kapasitas membran yang berkesinambungan. Pada titik tertentu, beban kerja yang diterapkan akan menjadi lebih tinggi sehingga, proses tidak lagi ekonomis. Oleh karena itu, *fouling control* sangat diperlukan untuk meningkatkan operasional *membran life* dan menurunkan proses ekonomi membran [14]. *Fouling* dapat diminimalisasi dengan menerapkan sistem *backwashing*.

Backwashing merupakan proses filtrasi terbalik di mana *permeate* dibilas melalui membran ke sisi konsentrat. Dalam membran berpori, ketika *backward* diterapkan, pori-pori dibilas dari dalam ke luar. Tekanan pada sisi *permeate* membran lebih tinggi dari tekanan di dalam membran sehingga, menyebabkan pori-pori dibersihkan. Proses aliran *backwashing* ditunjukkan oleh **Gambar 2.13** berikut [15].



Gambar 2.13 Arah aliran *backwashing* [15]

Proses *backwash* dirancang untuk menghilangkan kontaminan pada membran. Setiap unit membran di-*backwash* secara terpisah untuk meminimalkan jumlah unit pada reaksi *backwash* yang bersamaan dalam waktu tertentu. Selama *backwash* arah aliran adalah mundur selama 10 menit. Gaya dan arah aliran mengeluarkan kontaminan pada permukaan membran melalui jalur pembuangan. Durasi *backwash* sangat mempengaruhi produktivitas. Proses *backwash* mengurangi sistem produktivitas 5% - 10% karena volume *filtrate* digunakan

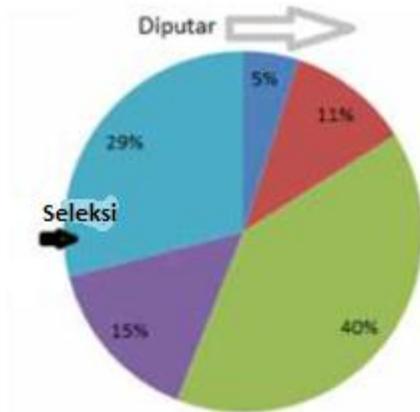
selama *backwash*. Namun apabila *backwashing* sering dilakukan maka memungkinkan untuk terjadinya *fluks* yang lebih tinggi, karena produktivitas semakin menurun.

2.8. Genetic Algorithm (GA)

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. 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*”.

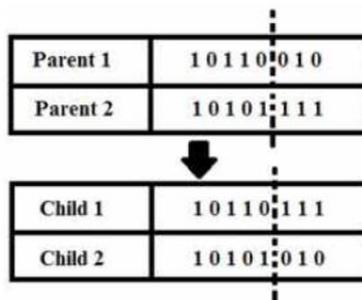
GA mensimulasikan teori dari Charles Darwin tersebut dengan menggunakan individu-individu yang telah ada pada beberapa generasi. Setiap generasi terdapat karakter dari individu yang dapat disamakan dengan DNA. GA terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahap seleksi individu, *crossover*, dan *mutation*.

Seleksi individu merupakan tahap dimana gen setiap individu dipilih dan diambil yang terbaik untuk digunakan pada tahap *crossover*. Metode seleksi yang digunakan adalah 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 [16]. Contoh metode *roulete wheel* dapat dilihat pada **Gambar 2.14**.



Gambar 1.14 Seleksi *roulette wheel* [16]

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 [16]. Contoh proses *crossover* dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 1.15 Proses *crossover* pada GA [16]

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 2.16**. Terjadinya *mutation* pada kromosom memiliki kemungkinan yang sangat kecil pada GA.



Gambar 1.16 Proses *mutation* pada GA [16]

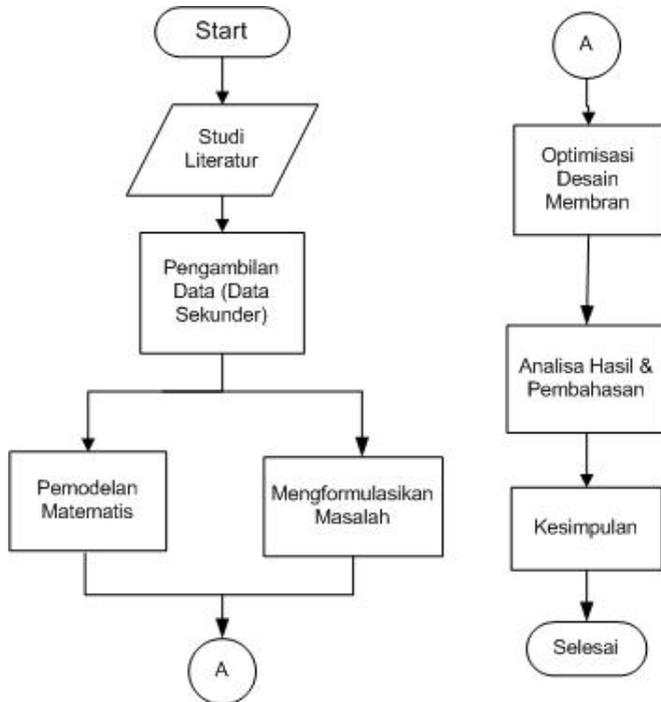
Pada proses GA, terdapat *elitism*. *Elitism* dapat dianalogikan sebagai pelindung dari kromosom pada individu yang memiliki *fitness* yang paling baik pada generasinya. Fungsi utama dari *elitism* adalah untuk memastikan kromosom yang terbaik tidak akan hilang pada optimisasi dikarenakan peristiwa mutasi. 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:

- Individu dalam populasi bersaing untuk sumber daya pasangan.
- Individu yang paling sukses di setiap kompetisi akan menghasilkan lebih banyak keturunan (hasil dari *crossover*) dari individu yang berkinerja buruk.
- 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.
- Dengan demikian setiap generasi berturut-turut akan menjadi lebih cocok untuk lingkungan mereka.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir penelitian ini seperti pada **Gambar 3.1** di bawah ini, penjelasan masing–masing langkah dijelaskan pada subbab ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* proses pelaksanaan

3.1 Studi Literatur

Studi literatur ini merupakan pengumpulan informasi yang berkaitan dengan tugas akhir. Selain itu dalam tahapan ini, akan dilakukan pembentukan konsep yang jelas untuk pengerjaan tugas akhir. Diantaranya dilakukan pencarian tentang pemodelan matematis sistem pemisahan CO_2 dari CH_4 dan perancangan *optimizer* menggunakan algoritma genetika.

3.2 Pengumpulan Data Sekunder

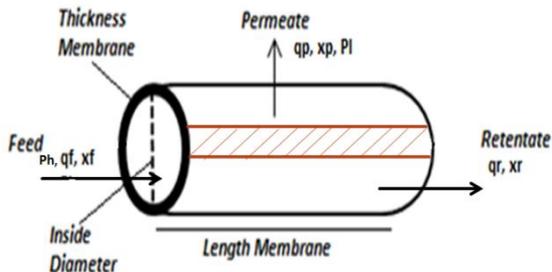
Data yang dikumpulkan meliputi laju aliran *feed*, ketebalan membran, jumlah fiber, diameter luar fiber, panjang membran. Data tersebut kemudian digunakan untuk pemodelan pada membran.

Tabel 3.1 Data spesifikasi pemisahan gas

Spesifikasi	Nilai	Unit
Panjang Membran	3 – 5	m
Ketebalan Membran	0.03	m
Diameter Membran	0.38	m
Umur Membran	4	Tahun
Viskositas	0.22833	Pa.menit
Durasi <i>Backwashing</i>	10	menit
Efisiensi Pompa	0.8	-

3.3 Pemodelan Proses

Skema sederhana membran *hollow fiber* pada umumnya ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Skema sederhana dari modul *hollow fiber*

Dimana :

- qf : Laju aliran *feed* (m^3/menit)
- xf : Komposisi *feed* (kg)
- Ph : Tekanan awal (Pa)
- qp : Laju aliran *permeate* (m^3/menit)
- xp : Komposisi *permeate* (kg)
- Pl : Tekanan akhir (Pa)

qr : Laju aliran *retentate* (m^3 /menit)
 xr : Komposisi *retentate* (kg)

Pada **Gambar 3.2** di atas modul *hollow fiber* terdiri dari bagian *permeate* dan *retentate*. Gas alam yang kaya dengan karbondioksida masuk melalui sisi feed, kemudian untuk gas yang

permeate adalah gas karbondioksida dengan jumlah yang lebih kecil jika dibandingkan dengan jumlah

disederhanakan dengan satu fiber pada kondisi aliran *crossflow* beroperasi. *Feed* mengalir di sepanjang bagian luar *hollow fiber*. Gas terserap melalui dinding membran dan masuk ke dalam *hollow fiber*.

Adapun pemodelan pada proses pemisahan gas karbondioksida dari metana adalah dengan menggunakan persamaan yang ditunjukkan pada persamaan (3.1 – 3.14). Sedangkan untuk *pressure drop* digunakan persamaan *Darcy* yang mendefinisikan kemampuan suatu fluida mengalir melalui media berpori yang mana jumlah aliran antara dua titik secara langsung berkaitan dengan perbedaan tekanan [17]. Secara keseluruhan dalam pemodelan ini dilakukan perhitungan nilai *pressure drop*, *working pump* hingga biaya membran.

Komposisi *permeate* merupakan hasil dari penyerapan membran, komposisi ini berupa gas karbondioksida.

$$xp = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4.a.c}}{2a} \quad (3.1)$$

Dimana nilai a, b dan c dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$a = 1 - a^* \quad (3.2)$$

$$b = \frac{Ph}{Pl} (1 - xr) - 1 + a^* \frac{Ph}{Pl} xr + a^* \quad (3.3)$$

$$c = -a^* \frac{Ph}{Pl} xr \quad (3.4)$$

Dimana :

Ph : *Pressure high* (Pa)

Pl : *Pressure low* (Pa)

a^* adalah selektivitas yang merupakan salah satu variabel penting membran. Selektivitas merupakan rasio permeabilitas CO₂ dan permeabilitas CH₄. Selektivitas juga merupakan ukuran seberapa baik suatu membran berpelepasan CO₂ dibandingkan CH₄.

$$a^* = \frac{K_{CO_2}}{K_{CH_4}} \quad (3.5)$$

Dimana :

K_{CO_2} : Permeabilitas karbondioksida (m³/menit.m².Pa)

K_{CH_4} : Permeabilitas metana (m³/menit.m².Pa)

Semakin tinggi permeabilitas, semakin kecil luasan membran yang dibutuhkan untuk separasi gas tertentu, sehingga biaya yang diperlukan menjadi lebih kecil. Namun semakin tinggi selektivitas, semakin rendah jumlah hidrokarbon yang hilang, sehingga menghasilkan volume penjualan produk yang lebih besar [9].

Sedangkan komposisi *retentate* adalah hasil dari gas yang tidak terserap atau diteruskan. *Retentate* merupakan hasil dari gas metana yang tidak terserap oleh membran dan diteruskan ke sisi *retentate* serta mempunyai kandungan metana yang besar. Untuk mengetahui besar komposisi *retentate* dapat digunakan persamaan kuadrat berikut :

$$xr = \frac{xf - \theta \cdot xp}{(1 - \theta)} \quad (3.6)$$

Material balance keseluruhan ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$qf \cdot xf = qr \cdot xr + qp \cdot xp \quad (3.7)$$

Persamaan di atas menunjukkan kesetimbangan komposisi antara ketiga fluida yaitu *feed*, *permeate* dan *retentate*.

Stage cut merupakan rasio laju aliran *feed* dengan laju aliran *permeate*. Nilai *stage cut* (θ) dapat diperoleh dari perhitungan sebagai berikut :

$$\theta = \frac{x_f - x_r}{x_p - x_r} \quad (3.8)$$

Dimana :

θ : *Stage cut*

Untuk mengetahui area membran (luasan) digunakan persamaan luas *tube* pada umumnya seperti persamaan 3.9 berikut. Area membran adalah faktor yang berpengaruh untuk menentukan parameter spesifikasi desain membran *hollow fiber* yang ideal.

$$A_m = \pi \cdot d \cdot \ell \quad (3.9)$$

Dimana :

A_m : Luas permukaan (m^2)

d : diameter membran (m)

Untuk mengetahui besar *pressure drop* pada sisi *permeate* digunakan persamaan berdasarkan hukum *Darcy*.

$$\Delta P = \frac{q_p \cdot \mu \cdot \ell}{K_{CO_2} \cdot A} \quad (3.10)$$

Dimana :

ΔP : *Pressure drop* (Pa)

μ : Viskositas *permeate* (Pa.menit)

A : *Cross sectional area* (m^2)

Untuk *working pump* (W_p) dihitung melalui persamaan :

$$Wp = \frac{\Delta P x q p}{\eta} \quad (3.11)$$

Dimana :

η : Efisiensi pompa

Dan, biaya pemakaian pompa (C_p) dihitung dengan cara berikut :

$$C_{pump} = Wp \times C\ell \quad (3.12)$$

Dimana :

$C\ell$: *Cost electric* (Rp/kWmenit)

Untuk mengetahui besar biaya produksi, maka dapat digunakan persamaan berikut :

$$C_{pro} = Y \cdot C_{ch4} \quad (3.13)$$

Dimana :

C_{pro} : *Cost production* (Rp/m³)

C_{ch4} : *Cost metana* (Rp/m³)

Y : Status apabila dibersihkan 0 (nol) dan apabila proses dijalankan 1 (satu).

3.4 Penentuan *Problem Formulasi*

Penentuan *problem* formulasi yaitu menentukan fungsi objektif yang digunakan untuk optimisasi pada desain membran ini. Berikut ini persamaan fungsi objektif yang digunakan.

$$J_{max} = \left(-(C_m \times A_m) - ((Wp \times C\ell \times t_b) + (Y \times C_{pro})) \right) \quad (3.14)$$

Dimana :

C_m : *Cost membran* (Rp/m²)

t_b : Durasi *backwash* (menit)

Pada fungsi objektif ini, harga membran mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Richard dan Kaaeid sebesar \$500/m² [18]. Sedangkan untuk biaya listrik per kWh mengacu pada harga listrik PLN pada bulan oktober 2016 sebesar Rp. 1032.62,- / kWh.

3.5 Pemodelan *Fouling*

Permasalahan yang sering dijumpai dalam proses membran adalah kecenderungan terjadinya penurunan *fluks* sepanjang waktu pengoperasian akibat pengendapan atau pelekatan material di permukaan membran atau dikenal dengan istilah *fouling* [19]. *Fouling* pada membran dapat didefinisikan sebagai partikel yang tertahan pada permukaan atau di dalam membran [20]. *Fouling* dapat disebabkan oleh interaksi fisik dan atau kimia spesifik antara membran dan komponen–komponen yang ada dalam aliran proses.

Pada *fouling* dapat menyebabkan beban kerja tinggi dan pada titik tertentu beban kerja akan semakin tinggi, sehingga menyebabkan proses tidak lagi ekonomis dan menyebabkan peningkatan konsumsi energi. Berdasarkan pertimbangan secara ekonomi tersebut, maka untuk mengurangi *fouling* dapat dilakukan pembersihan secara berkala atau diterapkan sistem *backwash*. Sesuai dengan referensi dari penelitian Drews mengenai mekanisme *fouling* pada membran, durasi *backwash* adalah selama 10 menit.

Dalam pemodelan *fouling* dilakukan pemodelan dengan metode regresi. Metode regresi ini biasanya digunakan untuk penjadwalan pembersihan [21]. Sejalan dengan waktu, permeabilitas membran akan berkurang atau menurun. Hal ini disebabkan oleh pembentukan *fouling*. Menurunnya permeabilitas menyebabkan kinerja dan perfomansi membran tidak optimal. Akan tetapi permeabilitas akan naik atau menjadi lebih baik dan optimal apabila dilakukan pembersihan secara berkala.

Dengan menggunakan data sekunder dari penelitian El Hani Bouhabila mengenai karakteristik *fouling* pada membran, dapat

diperoleh hubungan regresi antara permeabilitas dengan waktu [22]. Berikut persamaan regresinya :

$$K_{CO_2} = 0.8612 - 0.00005t \quad (3.15)$$

Dimana :

t : Waktu (menit)

Selain itu, pada membran harus diperhatikan kondisi operasi agar membran dapat bekerja secara optimal yang ditunjukkan oleh parameter berupa *fluks* dan permeabilitas.

3.6 Perancangan Algoritma Genetika

Algoritma Genetika (GA) pada tugas akhir ini dirancang supaya dapat menghasilkan nilai optimum yang terbaik. Pada optimisasi ini, fungsi objektif yang digunakan pada tugas akhir ini adalah biaya operasional yang minimal dengan keuntungan yang maksimum. Keluaran dari GA sendiri nantinya adalah berupa harga (nilai Rupiah). Untuk memperoleh suatu biaya yang minimal maka dipengaruhi oleh besar komposisi yang digunakan dan laju aliran.

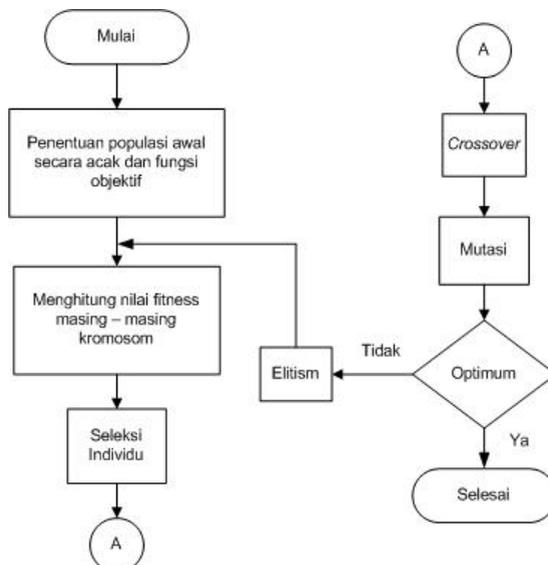
Selain fungsi objektif, beberapa parameter pada GA juga harus diperhatikan. Parameter tersebut meliputi jumlah populasi, jumlah generasi, rasio mutasi, rasio kawin silang dan rasio individu elit harus ditentukan sebaik mungkin. Acuan baik dalam hal ini bergantung pada masalah yang ingin diselesaikan atau fungsi objektif yang digunakan. Dalam GA yang dirancang kali ini jumlah variabel yang dioptimisasi adalah sebanyak 2 variabel yaitu panjang membran dan *time interval*. Selain itu, digunakan 20 generasi dengan banyak populasi sebesar 20 populasi. Karena ketika dilakukan optimisasi dengan jumlah generasi sebesar 10 masih belum konvergen, namun ketika jumlah generasi dirubah menjadi 20 nilai optimisasi sudah konvergen. Untuk 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. Pada mutasi, jika P_m terlalu besar

maka dapat menjadikan anak kehilangan sifat asli dari induknya, namun apabila terlalu kecil banyak gen yang mungkin berguna tidak pernah dievaluasi. 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 3.2** berikut.

Tabel 3.2 *Tuning* parameter GA

Parameter	Nilai
Jumlah Populasi	20
Jumlah Variabel	2
<i>Probability Crossover</i>	0.8
<i>Probability Mutation</i>	0.001
Jumlah Generasi	20
Metode Seleksi	<i>Roulette Wheel</i>

Diagram alir dari GA dapat dilihat pada **Gambar 3.3** berikut.



Gambar 3.3 Diagram alir algoritma genetika

Tahap seleksi pada algoritma genetika 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*. Sedangkan pada 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.

3.7 Penerapan Optimisasi Algoritma Genetika

Setelah dilakukan pemodelan pada proses pemisahan karbondioksida dari metana, maka selanjutnya dilakukan penerapan optimisasi dengan menggunakan algoritma genetika sesuai dengan diagram alir pada **Gambar 3.3**. Nilai masukan yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah komposisi dan laju aliran *feed*, yang selanjutnya dilakukan optimisasi dengan variabel yang dioptimisasi adalah berupa panjang fiber membran dan *time interval*. Sehingga dapat diketahui dengan komposisi tertentu maka akan diperoleh panjang fiber membran tertentu pula. Sesuai dengan fungsi objektif yang ditentukan, maka besar komposisi masukan akan memberikan panjang fiber membran tertentu dan harga membran yang tertentu pula. Di sisi lain, semakin lama usia membran, maka perfromansi membran akan menurun, permeabilitas membran menurun, dan berdampak pada produksi membran yang juga ikut menurun. Dengan produksi yang menurun maka keuntungan yang diperoleh juga akan menurun. Sehingga optimisasi diterapkan untuk memperoleh harga membran yang rendah selama 4 tahun dan keuntungan yang maksimum.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan dan Pengujian Sistem

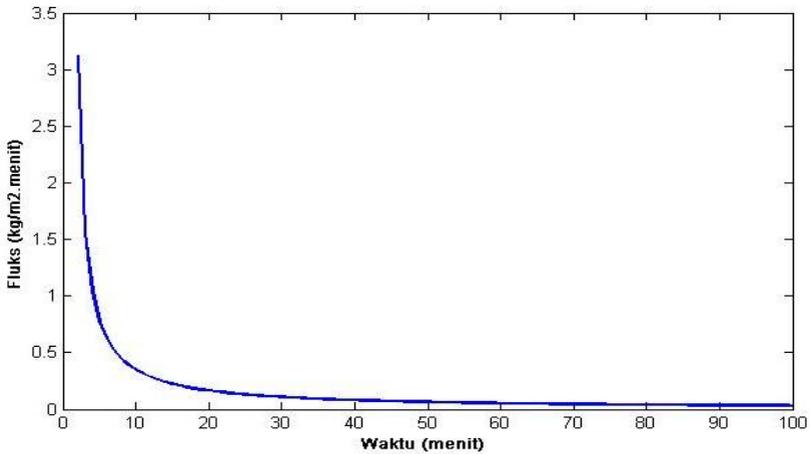
Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengecekan data desain menggunakan *material balance*. Prinsip dari tahap ini adalah besar laju aliran yang diberikan pada masukan sama dengan jumlah laju aliran pada sisi *permeate* dan pada sisi *retentate*. Setelah dilakukan perhitungan *material balance*, maka dilakukan pengujian dengan melakukan perhitungan pada *fluks* berdasarkan hukum *Fick's* dan *pressure drop* untuk mengetahui besar biaya pemakaian *compressor* berdasarkan hukum *Darcy*. Biaya pemakaian *compressor* ini juga mempengaruhi biaya operasional. Kondisi parameter dan operasi *input* yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Parameter *input* untuk pemodelan proses pemisahan Karbondioksida dari Metana

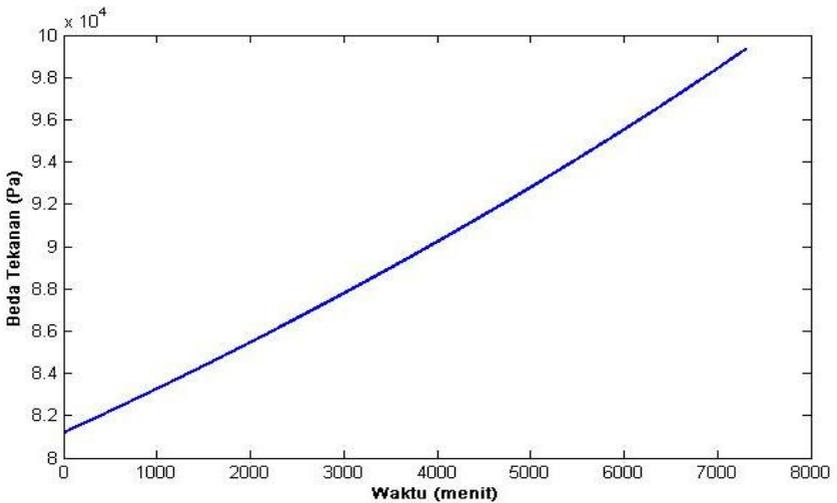
Parameter	Nilai	Satuan
Laju aliran <i>feed</i>	0.6	m ³ /menit
Diameter fiber	0.304	m
Viskositas	0.22833	Pa.menit
Efisiensi pompa	0.8	-
<i>Density</i>	1.98	Kg/m ³
Tekanan awal	250000	Pa

Dalam melakukan perhitungan digunakan persamaan 3.1 sampai dengan 3.15. Dimana persamaan yang digunakan dalam pemodelan berdasarkan hukum *Fick's* dan hukum *Darcy*.

Semakin lama penggunaan membran dalam pemisahan gas, maka performansi membran dapat semakin menurun. Penurunan performansi membran dapat diketahui melalui suatu pengujian. Performansi dapat diuji dengan melihat fungsi objektifnya. Fungsi objektif pada pemisahan gas menggunakan membran *hollow fiber* memiliki variabel yang terdiri dari *pressure drop*, permeabilitas dan durasi *backwashing*. Berikut plot gambar hasil pengujian sistem pemisahan menggunakan membran.



Gambar 4.1 Penurunan *fluks* terhadap waktu
($t = 1 - 100$ menit)



Gambar 4.2 Kenaikan *pressure drop*

Selama proses pemisahan karbondioksida dari metana, kinerja membran dapat berubah atau menurun dengan bertambahnya waktu. Seperti halnya pada **Gambar 4.1** yang

menunjukkan adanya penurunan *fluks* dengan bertambahnya waktu. Hal ini menunjukkan bahwa pori-pori membran mulai tertutupi oleh adanya suatu endapan. Pada gambar tersebut, grafik menunjukkan penurunan *fluks* pada membran *hollow fiber* hingga mencapai angka 0.0316 ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{menit}$). Grafik penurunan *fluks* diambil sampel hingga waktu 100 menit. Hal ini dilakukan untuk menunjukkan nilai penurunan *fluks* dengan lebih jelas, sesuai pada gambar. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penurunan sepanjang waktu pada membran tidak hanya terjadi pada *fluks*, namun juga pada permeabilitas membran. Salah satu faktor lain penurunan *fluks* dan permeabilitas adalah dikarenakan munculnya *fouling*. Lapisan *fouling* membran (*foulant*) akan terakumulasi pada permukaan membran karena tidak ikut ambil bagian dalam transfer massa. Akibatnya *foulant* ini akan mengurangi efektivitas dan *fluks* membran. *Foulant* dapat berupa endapan organik (makromolekul, substansi biologi), endapan anorganik (logam hidroksida, garam kalsium) dan partikulat.

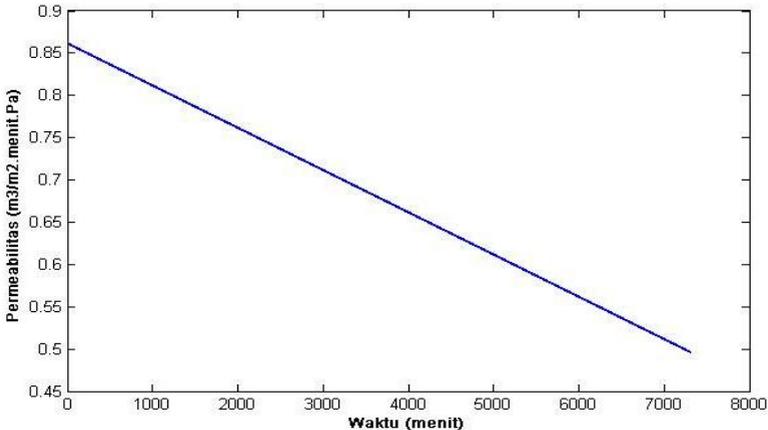
Sedangkan pada **Gambar 4.2** menunjukkan bahwa *pressure drop* semakin tinggi. Nilai perbedaan tekanan akan mempengaruhi besar tekanan pada sisi *permeate* dan berdampak pada besar komposisi yang menembus membran. Kenaikan tekanan disebabkan karena semakin kecilnya permeabilitas membran akibat munculnya *fouling*.

4.2 Pemodelan *Fouling*

Dalam model *fouling* digunakan metode regresi karena lebih umum digunakan dalam model linier. *Fouling* menyebabkan terjadinya penurunan *fluks* dan mengurangi permeabilitas membran. *Fouling* dapat dihambat dengan dilakukannya sistem *backwashing*.

Selain *fluks*, sejalan dengan waktu, permeabilitas membran akan berkurang atau menurun. Hal ini disebabkan oleh pembentukan *fouling*. Pada **Gambar 4.3** terlihat adanya penurunan permeabilitas. Menurunnya permeabilitas menunjukkan kinerja dan performansi membran tidak optimal. Sehingga, untuk meningkatkan kembali performansi dari suatu

membran perlu dilakukan pembersihan secara berkala yaitu dengan melakukan sistem *backwashing* pada membran. Durasi *backwash* sangat mempengaruhi permeabilitas.

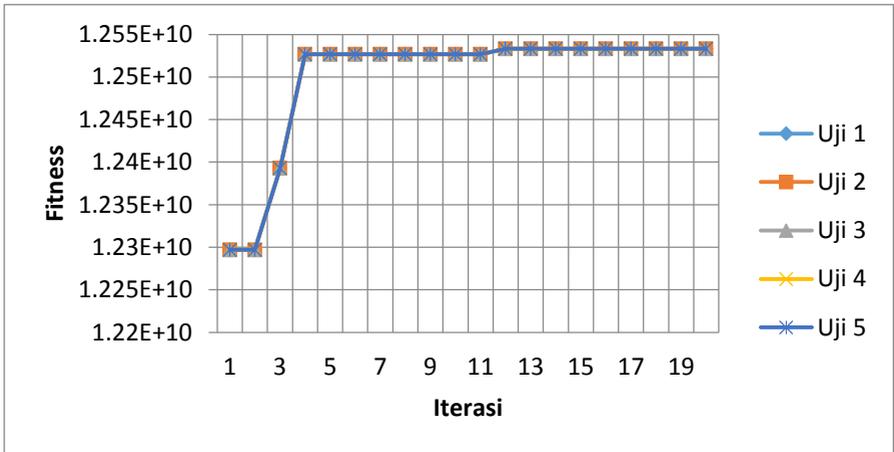


Gambar 4.3 Hubungan permeabilitas dengan waktu

4.3 Optimisasi Plan

Setelah dilakukan pemodelan, maka selanjutnya dilakukan optimisasi dengan variabel yang dioptimisasi adalah panjang fiber membran dan *time interval*. Optimisasi dilakukan dengan menggunakan metode algoritma genetika (GA). Optimisasi GA dilakukan untuk menentukan nilai panjang fiber membran yang memiliki pengaruh terhadap luasan membran dan biaya operasi dengan fungsi objektif yang ditunjukkan pada persamaan 3.14. Nilai *tuning* parameter GA yang digunakan pada optimisasi ditunjukkan pada **Tabel 3.2**. Dalam optimisasi pada desain membran ini, nilai panjang dan *time interval* diperoleh secara random, melalui optimisasi dengan menggunakan GA. Dimana pada optimisasi tersebut digunakan batasan panjang sebesar 3 meter hingga 5 meter, dan untuk *time interval* memiliki batasan sebesar 0 hingga 7200 menit. Setelah diperoleh nilai panjang dan *time interval* yang optimal, maka dilakukan perhitungan nilai *pressure drop*, *fluks*, hingga biaya operasional dan harga

membran. Pada dasarnya optimisasi pada plan dilakukan untuk memperoleh nilai panjang dan *time interval* yang optimal. **Gambar 4.4** merupakan grafik yang menunjukkan hasil optimisasi dengan menggunakan GA.



Gambar 4.4 Fungsi *fitness* terhadap iterasi GA

4.4 Hasil Optimisasi

Seperti yang telah dibahas pada sub-bab 4.3 bahwa pada penelitian ini dilakukan optimisasi untuk 2 variabel yaitu panjang fiber membran dan *time interval*. Hasil optimisasi pada proses pemisahan membran dapat dilihat pada **Tabel 4.2** berikut.

Tabel 4.2 Hasil optimisasi menggunakan GA

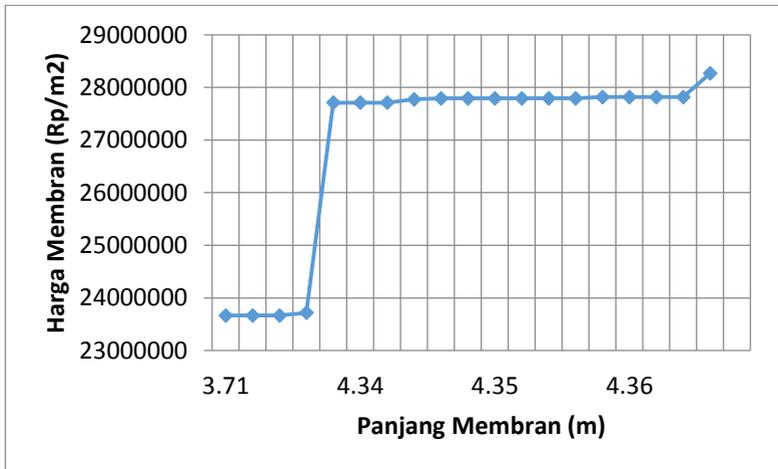
Parameter	Nilai
Panjang fiber membran	4.428152 m
<i>Time interval</i>	664 menit

Dari **Tabel 4.2** di atas dapat dilihat bahwa panjang fiber membran mencapai 4 meter. Hal ini menunjukkan bahwa GA berhasil melakukan optimisasi dengan menemukan nilai panjang fiber membran yang optimal. Nilai panjang fiber membran sangat berpengaruh terhadap harga membran.

Selain panjang fiber membran, optimisasi juga dilakukan terhadap *time interval* dan nilai yang diperoleh adalah sebesar 664

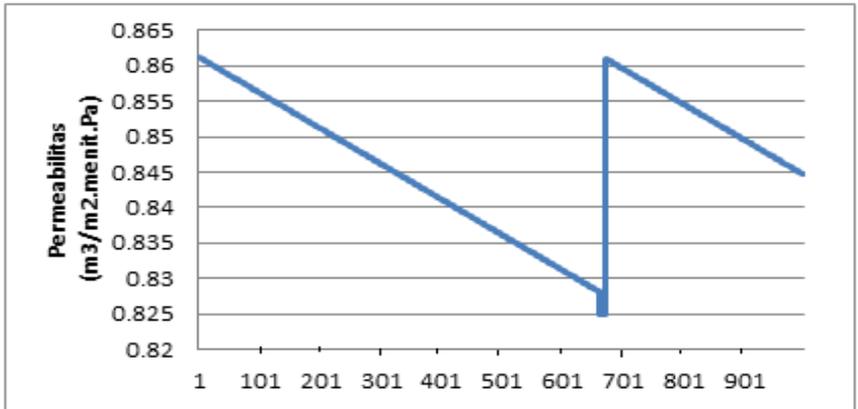
menit. Sehingga dapat diartikan bahwa setiap membran beroperasi hingga 664 menit, maka harus dilakukan sistem *backwashing*. Hal ini dilakukan untuk mengurangi munculnya *fouling*. Semakin sering dibersihkan (*backwash*) maka, akan semakin mengurangi *fouling*.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa panjang membran 4.42815 meter merupakan nilai yang optimum. Sehingga, berdasarkan hasil optimisasi dengan menggunakan teknologi membran dan membran didesain dengan ukuran panjang 4.428152 meter maka, harga membran maksimum adalah sebesar Rp. 28.265.529,-/m².

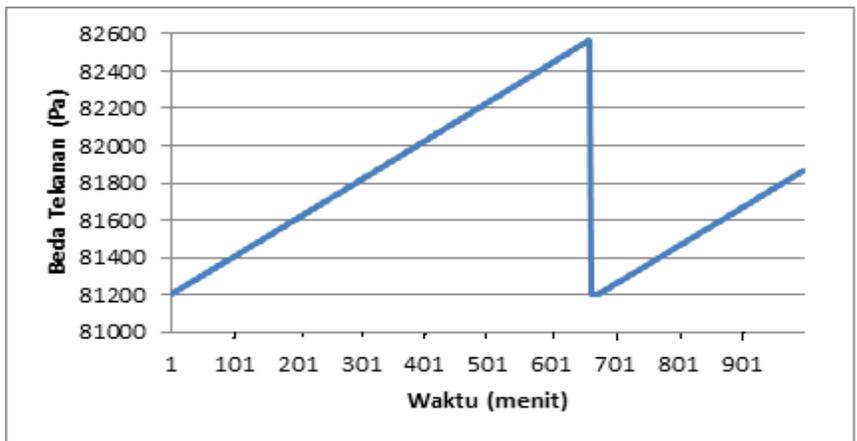


Gambar 4.5 Harga membran sesuai dengan panjang membrane

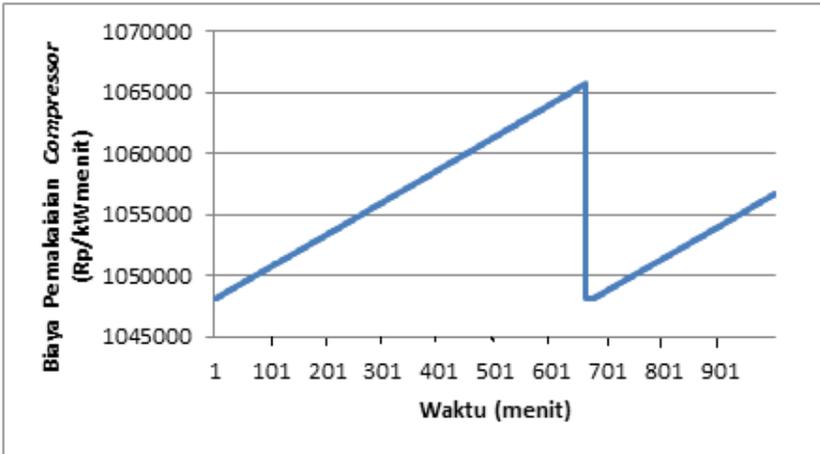
Sesuai dengan yang dibahas sebelumnya, bahwa nilai panjang membran memiliki spesifikasi sebesar 3 meter hingga 5 meter. Berikut hasil permeabilitas dan beda tekanan untuk panjang membran dengan nilai sebesar 4.428152 meter.



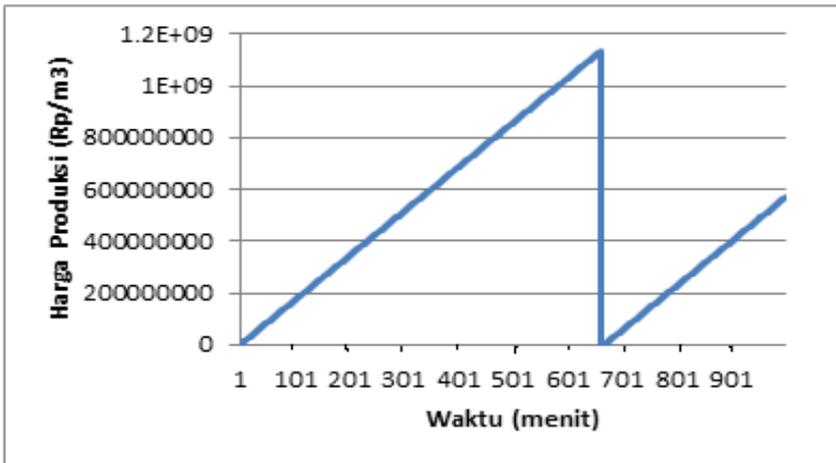
Gambar 4.6 Nilai permeabilitas ketika diterapkan sistem *backwash*



Gambar 4.7 Beda tekanan ketika diterapkan sistem *backwash*



Gambar 4.8 Biaya pemakaian *compressor* ketika diterapkan sistem *backwash*

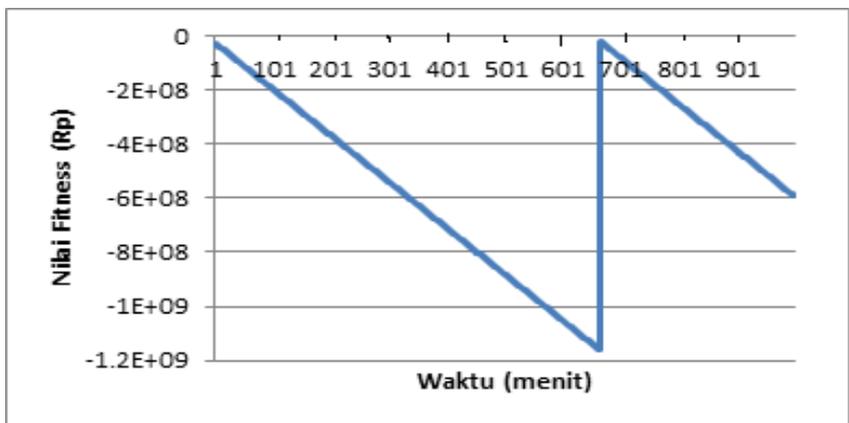


Gambar 4.9 Biaya produksi ketika diterapkan sistem *backwash*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan diterapkannya sistem *backwash* selama 10 menit, besarnya permeabilitas membran naik hingga $0.86 \text{ (m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{menit} \cdot \text{Pa)}$, yang

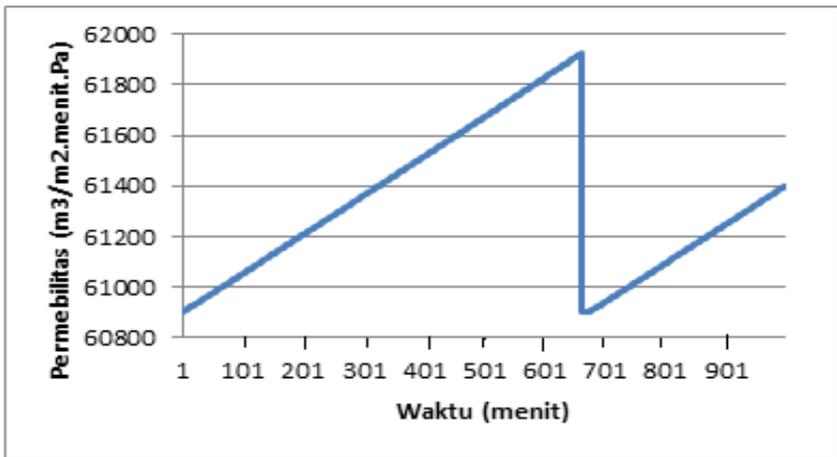
ditunjukkan pada **Gambar 4.6**. Hal ini menunjukkan bahwa hanya sedikit gas CO₂ yang terperangkap pada pori membran yang tidak disisihkan dengan *backwashing*. Kenaikan nilai suatu permeabilitas menunjukkan bahwa kinerja membran meningkat dari sebelumnya. Sehingga, berpengaruh terhadap hasil produk pemisahan gas karbondioksida dengan metana dan perbedaan tekanan. Semakin kecil permeabilitas, maka semakin tinggi beda tekanan dan semakin kecil gas karbondioksida yang menembus membran. Hal tersebut ditunjukkan pada **Gambar 4.7**, dan **Gambar 4.8** menunjukkan biaya pemakaian kompresor dengan nilai maksimum sebesar Rp. 2.293,-/kWmenit. Sedangkan pada **Gambar 4.9**, hasil menunjukkan bahwa nilai maksimum harga produksi adalah sebesar Rp. 1.136.000.000,-/m³.

Dengan demikian, dapat diketahui bahwa semakin lama membran beroperasi, maka kinerja semakin menurun namun tekanan semakin tinggi akibat munculnya *fouling*. Kemunculan *fouling* dapat dikurangi dengan sistem *backwash* yang dalam penelitian ini dilakukan dengan durasi 10 menit, dan diterapkan setiap 664 menit sekali. Dengan adanya penerapan tersebut, maka keuntungan maksimum yang diperoleh sesuai fungsi objektif adalah sebesar Rp.1.162.000.000,-/ dengan pembersihan 11 kali sesuai dengan yang ditunjukkan pada **Gambar 4.10**.



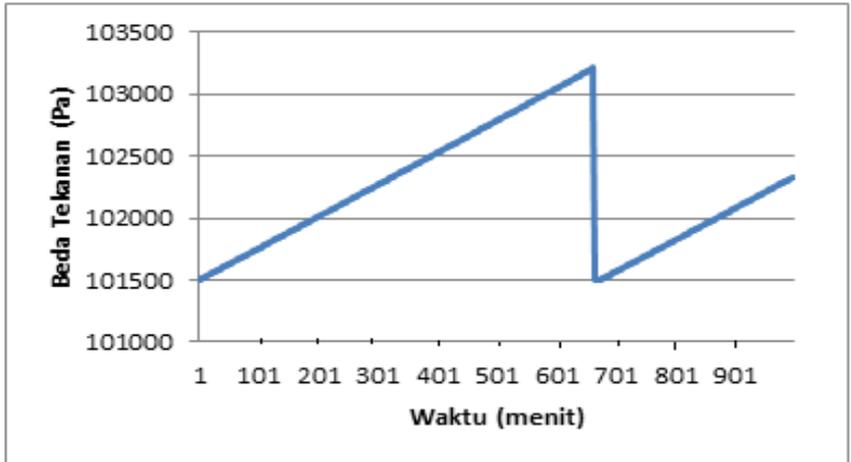
Gambar 4.10 Nilai fitness dengan penerapan *backwash*

Gambar 4.11 berikut menunjukkan nilai dari beda tekanan dengan panjang membran sebesar 3 meter. Dimana semakin panjang membran, maka tekanan semakin besar. Perubahan nilai panjang akan berpengaruh terhadap besar tekanan permeate, harga membran dan keuntungan yang diperoleh.



Gambar 4.11 Beda tekanan dengan panjang membran 3 meter

Berdasarkan panjang membran, maka harga membran adalah sebesar Rp. 19.149.428,-/m² dengan panjang membran 3 meter. Semakin panjang membran, luasan semakin besar maka harga membran semakin tinggi pula. Harga membran dengan panjang 5 meter adalah sebesar Rp.31.915.714,-/m². **Gambar 4.12** menunjukkan beda tekanan yang diperoleh dengan panjang membran sebesar 5 meter.



Gambar 4.13 Beda tekanan dengan panjang membran 5 meter

Dari hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan, semakin besar panjang membran maka harga membran semakin tinggi. Akan tetapi nilai panjang membran yang optimum sesuai dengan hasil optimasi menggunakan algoritma genetika adalah sebesar 4.428 meter. Nilai tersebut diperoleh secara random dan dengan batasan sesuai dengan referensi spesifikasi membran pada literatur Geankoplis, yaitu 3 meter hingga 5 meter.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari analisa hasil pengujian dan pemodelan matematis berdasarkan hukum *Fick's* dan *Darcy* yang dilakukan dengan menggunakan data sekunder, diketahui adanya penurunan permeabilitas akibat *fouling* dan kenaikan *pressure drop*. Sehingga, mempengaruhi biaya pemakaian energi dan hasil produksi.
2. Berdasarkan hasil optimisasi dengan menggunakan algoritma genetika pada teknologi membran sebagai sistem pemisahan karbondioksida dengan metana, diperoleh nilai panjang membran optimum adalah sebesar 4.42815 meter, sedangkan untuk *time interval* adalah selama 664 menit. Sehingga, untuk pencegahan *fouling* membran harus dibersihkan setiap 664 menit sekali. Dengan penerapan optimisasi tersebut diperoleh harga membran sebesar Rp. 28.265.529,-/m² dan keuntungan maksimum sebesar Rp.1.162.000.000,- dengan pembersihan sebanyak 11 kali.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah perlu adanya penelitian serupa dengan menggunakan metode optimisasi yang lain, sehingga dapat dibandingkan hasilnya dengan metode yang telah digunakan oleh peneliti, dan guna menghasilkan nilai yang lebih optimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. P. Chotler, T. Ini, D. Untuk, M. Sebagian, P. Menjadi, M. Teknik, P. Studi, T. Kimia, P. Pascasarjana, B. Ilmu, and U. Indonesia, “*Modifikasi Proses Pemisahan Co₂ Kadar Tinggi Dari Gas Alam,*” 2011.
- [2] S. Katcha, “*Membran Technologies For Co₂ Capture,*” 2010.
- [3] T. Visser, N. Masetto, and M. Wessling, “*Materials dependence of mixed gas plasticization behavior in asymmetric membrans,*” vol. 306, pp. 16–28, 2007.
- [4] A. A. Shamsabadi, A. Kargari, F. Farshadpour, and S. Laki, “*Mathematical Modeling of CO₂ / CH₄ Separation by Hollow fiber Membran Module Using Finite Difference Method,*” pp. 19–29, 2012.
- [5] C.J. Geankoplis, *transport process and unit operations*, 4th ed. New Jersey: Prentice Hall Proffessional Technical Reference, 2003.
- [6] D. Dortmund, “*Recent Developments in CO₂ Removal Membran Technology,*” pp. 1–32, 1999.
- [7] J. Wu, P. Le-clech, R. M. Stuetz, A. G. Fane, and V. Chen, “*Effects of relaxation and backwashing conditions on fouling in membran bioreactor,*” vol. 324, pp. 26–32, 2008.
- [8] A. Drews, H. Arellano-garcia, J. Schöneberger, J. Schaller, G. Wozny, and M. Kraume, “*Model-based recognition of fouling mechanisms in membran bioreactors,*” *peer-reviewed Pap.*
- [9] Sitawati, Siti. “*Pengaruh Spesifikasi Gas Jual Terhadap Keekonomian Pemrosesan Gas Berkadar Co₂ Tinggi,*” 2012.
- [10] Baker, R.W. *Membrane Technology and Applications*. 3rd edn. John Wiley and Sons Ltd. 2012.
- [11] F. Ahmad, K. K. Lau, S. S. M. Lock, S. Rafiq, A. Ullah, and M. Lee, “*Journal of Industrial and Engineering*

- Chemistry Hollow fiber membran model for gas separation : Process simulation , experimental validation and module characteristics study,” J. Ind. Eng. Chem., vol. 21, pp. 1246–1257, 2015.*
- [12] Dindore, V.Y., *Modelling of cross-flow membrane contactors : physical mass transfer processes*, pp. 209-222,2005.
- [13] Mallack, H.M. & Anderson, G.K., *Cross-flow Microfiltration with Dynamic Membrans*, Journal Water Research, Vol. 31, Elsevier Science Ltd.1997.
- [14] Butt, F.H.; Rahman, F. & Baduruthamal, U. *Characterization of foulants by autopsy of RO desalination membranes. Desalination*, Vol. 114, pp. 51-64.1997.
- [15] J. M. Arnal, B. García-fayos, and M. Sancho, *Membrane Cleaning*, Desalination, pp. 63–84, 2009.
- [16] S. Sivanandam and S. Deepa, *Introduction to genetic algorithms*: Springer Science & Business Media, 2007.
- [17] A. Hiroshi, *Analisis Perfomansi Membran Hollow Fiber Untuk Memisahkan Karbondioksida Dengan Metana*. Surabaya, 2014.
- [18] W. Richard, *Natural gas Processing with Membranes*. California, 2007.
- [19] Rautenbach R., & Albert R., *Membran Process*, John Wiley & Sons Ltd., New York.1989.
- [20] Mulder, M., *Basic Principles of Membran Technology*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 1996.
- [21] Sanaye, S., and Niroomand, B., Simulation of Heat Exchanger Network (HEN) and Planning the Optimum Cleaning Schedule, *Energy Conversion and Management*, 48, pp. 1450-1461, 2007.
- [22] Bouhabila, El Hani, *Fouling characteristic in membrane bioreactors*, Separation Purification Technology, pp.123-132,2001.

BIODATA PENULIS



Nama Penulis Andan Tunjung Pangesti, dilahirkan di Tulungagung, 28 Oktober 1993. Menempuh pendidikan formal di SDN 1 Ariyojeding pada 1999 – 2005, dilanjutkan di SMPN 1 Rejotangan pada 2005 - 2008, dan pada tahun 2008 memasuki jenjang SMA di SMAN 1 Rejotangan. Setelah lulus dari pendidikan SMA, penulis melanjutkan ke tingkat diploma di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Fisika, Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi pada tahun 2011 hingga 2014. Pendidikan penulis dilanjutkan kembali di program studi Lintas Jalur S1 Teknik Fisika ITS sejak 2015. Di jurusan Teknik Fisika penulis mengambil tugas akhir di bidang instrumentasi dengan spesialisasi optimasi pada desain membran *hollow fiber* di bawah bimbingan Totok Ruki Biyanto, Ph.D. dan Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.. Selama masa kuliah penulis sempat mendapat kesempatan untuk kerja praktek di ENERO, Mojokerto, Jawa Timur tahun 2016. Apabila terdapat pertanyaan tentang penelitian penulis silahkan menghubungi e-mail penulis yaitu : andantunjung@gmail.com.

LAMPIRAN - A
CODING OPTIMISASI MENGGUNAKAN ALGORITMA
GENETIKA

```
clear all  
clc
```

```
Npop = 20;  
Maxit = 20;  
el = 0.95;  
Pc = 0.8;  
Pm = 0.001;  
rb = [1 3];  
ra = [7200 5];  
Psilang = 0.8;  
Nvar = 2;  
Nbit = 10;
```

```
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) = floor((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 = cek2(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
end

```

```

%=====Mutation=====

```

```

[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) = floor((Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1));
    end
end

Datfit = [];
for i = 1:Npop
    fitness = cek2(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];
h = plot (efitnessmax);
hold on
refreshdata (h, 'caller')
drawnow;
hold off
BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
BangkitMaxlast = BangkitMax;
schedmax = BangkitMax;
clear z;
sort = [Bangkit Dadatfit];
summary = [summary; sort];
david = [david; Dadatfit];
end
```

LAMPIRAN - B
CODING PEMODELAN PEMISAHAN
KARBONDIOKSIDA DENGAN METANA KETIKA
DITERAPKAN SISTEM *BACKWASH*

function [F] = cek2(x)

datWp = [];
datCms = [];
datCpump = [];
datCm = [];
datCpro = [];
datdP = [];
datfluks = [];
datK = [];
datF = [];

disp('start')
d = 0.304; % diameter luar membran (m)%
r = (0.5*d); % jari - jari membran (m)%
Nc = 664; % panjang membran (m)%
tm = 0.03; % tebal membran (m)%
Y = 1; % status dijalankan%
Hb = 6687000; % harga membran (Rp/m2)%
Ac = 3.14*(r^2); % luas cross sectional membran (m2)%
Ph = 3500000; % tekanan feed (Pa)%
u = 0.22833; % viskositas (Pa.menit)%
ef = 0.8; % efisiensi%
harga_listrik = 17.21; % harga listrik (Rp/kW10menit)%
harga_metana = 1714285; % harga metana (Rp/m3)%

L = 4;
t = 7200;

%Komposisi%
xf = 0.808; % komposisi feed (fraksi mol)%

```
xr = 0.593; %komposisi metana (frasi mol)%  
xp = 0.407; %komposisi karbondioksida (fraksi mol)%
```

```
%nilai stage cut%  
Sc = (xf-xr)/(xr+xp); %stage cut%
```

```
%laju aliran%  
qf = 0.6; %laju aliran feed (m3/10 menit)%  
qp = Sc*qf; %laju aliran karbondioksida (m3/10 menit)%  
qr = qf-qp; %laju aliran metana (m3/10 menit)%
```

```
for j = 1:t  
    K(j,1) = (0.8612 - 0.00005*(j-1));  
    rho = 1.98; %kg/m3  
    V = 3.14*d*L*tm;  
    fluks(j,1) = (rho*V)/(Ac*j);  
    dP(j,1) = (qp*u*L)/(K(j,1)*Ac);  
    A = 3.14 * d * L;  
    Wp(j,1) = ((dP(j,1)*qp/ef)/1000);  
    Cms = A * Hb;  
    Cpump(j,1) = Wp(j,1)*harga_listrik*10;  
    Cpro(j,1) = Y*harga_metana*(j-1);  
    F(j,1) = -(Cms)-((Cpump(j,1))+ Cpro(j,1)));
```

```
end
```

```
for j = 1:floor(t/Nc(1,1))  
    if j < 2  
        for b = 1:Nc(1,1)  
            for i = 1:Nc(1,1)  
                if rem(b,Nc(1,1)) == 0  
                    K(i,1) = 0. 0.8612 ;  
                    dP(i,1) = (qp*u*L)/(K(i,1)*Ac);  
                    A = 3.14 * d * L;  
                    Wp(i,1) = ((dP(i,1)*qp/ef)/1000);
```

```

    fluks(i,1) = (rho*V)/(Ac);
    Cms = A * Hb;
    Cpump(i,1) = Wp(i,1)*harga_listrik*10;
    Cpro(i,1) = Y*harga_metana*(b-1);
    F (i,1) = -(Cms)-((Cpump(i,1)+ Cpro(i,1)));
else
    K(i,1) = (0.8612 - 0.00005*(b-1));
    dP(i,1) = (qp*u*L)/(K(i,1)* Ac);
    A = 3.14 * d * L;
    fluks(i,1) = (rho*V)/(Ac*i);
    Wp(i,1) = ((dP(i,1)*qp/ef)/1000);
    Cms = A * Hb;
    Cpump(i,1) = Wp(i,1)*harga_listrik*10;
    Cpro(i,1) = Y*harga_metana*(b-1);
    F (i,1) = -(Cms)-((Cpump(i,1)+ Cpro(i,1)));
end
end
end

```

```

K = K(1,1);
dP = dP(1,1);
Wp = Wp (1,1);
Cpump = Cpump (1,1);
Cms = Cms (1,1);
Cpro = Cpro (1,1);
fluks = fluks (1,1);
F = F (1,1);

```

```

datK = [datK,K(1,1)];
datCms = [datCms,Cms(1,1)];
datdP = [datdP,dP(1,1)];
datWp = [datWp,Wp(1,1)];
datCpump = [datCpump,Cpump(1,1)];
datCpro = [datCpro,Cpro(1,1)];
datfluks = [datfluks,fluks(1,1)];
datF = [datF,F(1,1)];

```

```

end
else
  for b = 1:Nc(1,1)
  for i = 1:Nc(1,1)
    if rem(b,Nc(1,1)) < 5
      K(i,1) = 0.8612;
      dP(i,1) = (qp*u*L)/(K(i,1)*Ac);
      A = 3.14 * d * L;
      Wp(i,1) = ((dP(i,1)*qp/ef)/1000);
      fluks(i,1) = (rho*V)/(Ac);
      Cms = A * Hb;
      Cpump(i,1) = Wp(i,1)*harga_listrik*10;
      Cpro(i,1) = Y*harga_metana*(b-5);
      F(i,1) = -(Cms)-((Cpump(i,1))+ Cpro(i,1)));
    else
      K(i,1) = (0.8612 - 0.00005*(b-5));
      dP(i,1) = (qp*u*L)/(K(i,1)*Ac);
      A = 3.14 * d * L;
      fluks(i,1) = (rho*V)/(Ac*(b-4));
      Wp(i,1) = ((dP(i,1)*qp/ef)/1000);
      Cms = A * Hb;
      Cpump(i,1) = Wp(i,1)*harga_listrik*10;
      Cpro(i,1) = Y*harga_metana*(b-5);
      F(i,1) = -(Cms)-((Cpump(i,1))+ Cpro(i,1)));
    end
  end
  dP = dP(1,1);
  Wp = Wp(1,1);
  Cms = Cms(1,1);
  Cpump = Cpump(1,1);
  Cpro = Cpro(1,1);
  fluks = fluks(1,1);
  K = K(1,1);
  F = F(1,1);

```

```

    datK = [datK,K(1,1)];
    datCms = [datCms,Cms(1,1)];
    datdP = [datdP,dP(1,1)];
    datWp = [datWp,Wp(1,1)];
    datCpump = [datCpump,Cpump(1,1)];
    datCpro = [datCpro,Cpro(1,1)];
    datfluks = [datfluks,fluks(1,1)];
    datF = [datF,F(1,1)];

    end
end
end

for j = 1:rem(t,Nc(1,1))
    if j < 5
        K(j,1) = 0.8612;
        dP(j,1) = (qp*u*L)/(K(j,1)*Ac);
        A = 3.14 * d * L;
        Wp(j,1) = ((dP(j,1)*qp/ef)/1000);
        fluks(j,1) = (rho*V)/(Ac);
        Cms = A * Hb;
        Cpump(j,1) = Wp(j,1)*harga_listrik*10;
        Cpro(j,1) = Y*harga_metana*(j-5);
        F(j,1) = -(Cms)-((Cpump(j,1))+ Cpro(j,1)));
    else
        K(j,1) = (0.8612 - 0.00005*(j-5));
        dP(j,1) = (qp*u*L)/(K(j,1)*Ac);
        A = 3.14 * d * L;
        fluks(j,1) = (rho*V)/(Ac*(j-4));
        Wp(j,1) = ((dP(j,1)*qp/ef)/1000);
        Cms = A * Hb;
        Cpump(j,1) = Wp(j,1)*harga_listrik*10;
        Cpro(j,1) = Y*harga_metana*(j-5);
        F(j,1) = -(Cms)-((Cpump(j,1))+ Cpro(j,1)));
    end
end
    dP = dP(1,1);

```

```
Wp = Wp (1,1);  
Cpump = Cpump (1,1);  
Cms = Cms (1,1);  
Cpro = Cpro (1,1);  
fluks = fluks (1,1);  
K = K(1,1);  
F = F(1,1);
```

```
datK = [datK,K(1,1)];  
datCms = [datCms,Cms(1,1)];  
datdP = [datdP,dP(1,1)];  
datWp = [datWp,Wp(1,1)];  
datCpump = [datCpump,Cpump(1,1)];  
datCpro = [datCpro,Cpro(1,1)];  
datfluks = [datfluks,fluks(1,1)];  
datF = [datF,F(1,1)];
```

```
end
```

```
end
```