



TUGAS AKHIR - TF 181801

**OPTIMISASI KONDISI OPERASI INJEKSI CO₂
ENHANCED GAS RECOVERY PADA BATUAN
SHALE**

SITI SOFIYA
NRP. 02311745000018

Dosen Pembimbing
Ir. Matradji, M. Sc

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



FINAL PROJECT - TF181801

**OPTIMIZATION OF OPERATION CONDITION
CO₂ INJECTION ENHANCED GAS RECOVERY IN
SHALE ROCK**

SITI SOFIYA
NRP. 02311745000018

Supervisor
Ir. Matradji, M. Sc

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Siti Sofiya
NRP : 02311745000018
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 Injeksi CO2 *Enhanced Gas Recovery* Pada Batuan *Shale*" 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 sebenarnya.

Surabaya, 26 Juli 2019
Yang membuat pernyataan,



Siti Sofiya
NRP. 02311745000018

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**OPTIMISASI KONDISI OPERASI INJEKSI CO₂
ENHANCED GAS RECOVERY PADA BATUAN SHALE**

Oleh:

Siti Sofiya

NRP. 02311745000018

Surabaya, 17 Juli 2019

Menyetujui,

Pembimbing



Ir. Matradji, M. Sc

NIP. 19560720 198503 1 003

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

NIPN. 19780902 200312 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI KONDISI OPERASI INJEKSI CO₂ ENHANCED GAS RECOVERY PADA BATUAN SHALE

TUGAS AKHIR

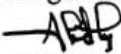

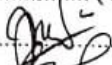

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Siti Sofiya

NRP. 02311745000018

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Matradji, ST, M.Sc  (Pembimbing)
2. Hendra Cordova, ST, MT  (Ketua Penguji)
3. Dyah Sawitri, ST, MT  (Penguji 1)
4. Moh. Kamalul Wafi, ST, MSc.DIC  (Penguji 2)

**SURABAYA
Mei 2019**

OPTIMISASI KONDISI OPERASI INJEKSI CO₂ ENHANCED GAS RECOVERY PADA BATUAN SHALE

Nama Mahasiswa : Siti Sofiya
NRP : 023745000018
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Matradji, ST, M.Sc

Abstrak

Kesuksesan Amerika Serikat dalam produksi *natural gas* pada batuan *shale* telah menarik perhatian masyarakat dunia sejak tahun 2000. Salah satu bukti kesuksesannya yaitu produksi *natural gas* pada batuan *shale* di Barnett, Texas, USA dengan menggunakan dua metode yaitu *horizontal drilling* dan *hydraulic fracturing* yang dapat menghasilkan triliunan kaki kubik *natural gas*. Namun data produksi di lapangan menunjukkan penurunan laju produksi *natural gas* dalam beberapa tahun terakhir. Sehingga perlu dilakukan suatu upaya untuk meningkatkan produksi *natural gas* pada reservoir Barnett *shale* atau disebut dengan *Enhanced Gas Recovery* (EGR). Salah satu metode yang menarik perhatian adalah *carbon sequestration* yang dapat meningkatkan produksi *natural gas* dan mengurangi emisi gas CO₂. Pada penelitian ini CO₂ EGR dimodelkan dengan membagi ke dalam tiga bagian yakni *injection well*, reservoir, dan *production well*. Gradien tekanan pada *injection* dan *production well* dimodelkan dengan persamaan Beggs-Brill sedangkan pada reservoir menggunakan persamaan Darcy. Gradien temperatur untuk setiap bagian dimodelkan dengan persamaan perpindahan panas. Validasi model gradien tekanan dan temperatur pada *injection* dan *production well* terhadap PIPESIM dihasilkan *error* yaitu masing-masing sebesar 0.5177% dan 2.1523% ; 0.927% dan 0.743%. Sedangkan validasi reservoir terhadap COMSOL dihasilkan *error* sebesar 0.05152% dan 0.03588%. Dari hasil permodelan, CO₂ yang tersimpan adalah 19.13 ton/hari. Berdasarkan analisa sensitivitas, *profit* akan meningkat ketika laju aliran massa dan temperatur injeksi meningkat sementara akan menurun ketika tekanan injeksi meningkat. Hasil terbaik optimisasi pada ketiga variabel menggunakan metode *stochastic optimization algorithm* didapatkan ketika digunakan *Genetic Algorithm* (GA), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Killer Whale Algorithm* (KWA) dimana terjadi peningkatan *profit* dari 3046.566 USD/hari menjadi 12421.649 USD/hari. Hasil perhitungan CO₂ yang terserap (*Carbon sequestration*) dan tersimpan dalam reservoir batuan *shale* Barnett setelah dioptimisasi mengalami peningkatan dari 19.13 ton/hari menjadi 76.371 ton/hari.

Kata Kunci: *Shale, Enhanced Gas Recovery, Carbon Sequestration*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

OPTIMIZATION OF OPERATION CONDITION CO₂ INJECTION ENHANCED GAS RECOVERY IN SHALE ROCK

Name : Siti Sofiya
NRP : 02311745000018
Department : Department of Engineering Physics
Supervisor : Ir. Matradji, ST, M.Sc

Abstract

The success of the United States in the production of natural gas in shale rocks has attracted the attention of the world community since 2000. One proof of the success of natural gas production in shale rocks in Barnett, Texas, US uses two methods namely horizontal drilling and hydraulic fractures that can produce trillions of gases natural cubic feet. However, production data in the field shows a decline in natural gas production in recent years. It needs to be done to increase natural gas production in the Barnett shale reservoir, called Enhanced Gas Recovery (EGR). One method that attracts attention is carbon sequestration which can increase natural gas production and reduce CO₂ gas emissions. In this study CO₂ EGR was modeled by dividing it into three parts, namely injection wells, reservoirs and production wells. The pressure level on the injection and production wells is modeled with the Beggs-Brill equation while in the reservoir using the Darcy equation. The temperature gradient for each part is modeled by the equation of heat meeting. Validation of pressure and temperature gradient models on injection and production well against PIPESIM resulted in errors of 0.5177% and 2.1523% ; 0.927% and 0.743% respectively. While the reservoir validation of COMSOL produced an error of 0.192% and 0.031%. From the modeling results, the stored CO₂ is 19.13 tons / day. Based on increased sensitivity, profits will increase. Increased complications will increase. The best results of optimization on variables using stochastic optimization algorithm obtained compilation used Genetic Algorithm (GA), and Particle Swarm Optimization (PSO), and Killer Whale Algorithm (KWA) which can increase profits from 3046.566 USD / day to 12421,649 USD / day. The results of the calculation of CO₂ are absorbed (Carbon sequestration) and stored in the reservoir. After being optimized, Shale Barnett increased from 19,13 tons / day to 76,371 tons / day.

Keywords : Shale, Enhanced Gas Recovery, Carbon Sequestration

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T. 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 Kondisi Operasi Injeksi CO₂ Enhanced Gas Recovery Pada Batuan Shale ”

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. Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah dan karunia-Nya kepada saya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
2. Kedua orangtua dan segenap saudara penulis yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
3. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
4. Hendra Cordova, ST, MT selaku ketua program studi S-1 Departemen Teknik Fisika ITS.
5. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku dosen wali pembimbing.
6. Ir Matradji, ST,M.Sc dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan semangat dan masukan dalam tugas akhir ini.
7. Totok Ruki Biyanto, Ph.D selaku ketua Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Teknik Fisika-ITS, yang selalu memberikan semangat dan ide-ide baru dalam tugas akhir ini.

8. Dyah Sawitri ST, MT, Hendra Cordova ST, MT, dan Moh. Kamalul Wafi, ST, MSc.DIC sebagai penguji yang telah memberikan masukan dalam tugas akhir ini.
9. Prof. Dr. Ir. Djoko Sungkono K, Meng, Sc selaku pakar *brown gas* ITS yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu serta berbagi pengalaman hidupnya dengan telaten dan sabar.
10. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di departemen Teknik Fisika - ITS.
11. Teman-teman seperjuangan wisudawan 120 ITS khususnya dari Lintas Jalur S-1 Teknik Fisika ITS 2017 dan Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang menjadi teman diskusi selama penyelesaian tugas akhir ini.

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, 24 Juli 2019
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
Abstrak	ix
<i>Abstract</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR NOTASI	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Lingkup Kajian	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Shale Gas	5
2.2 Enhanced Gas Recovery	6
2.3 Pemodelan Metode Begg's Brill	7
2.4 <i>Reynold Number</i>	9
2.5 Permeabilitas	10
2.6 Hukum Darcy	11
2.7 Porositas	13
2.8 Persamaan Kontinuitas	13
2.9 Pemodelan Transfer Panas pada <i>Injection</i> atau <i>Production Well</i>	14
2.10 Pemodelan Transfer Panas pada Reservoir	15
2.11 <i>Killer Whale Algorithm</i> (KWA)	17
2.11 <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	21
2.12 <i>Particle Swarm Optimization</i> (SPO)	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Penentuan Input CO ₂ EGR dan <i>Reservoir Properties</i>	28
3.2 Penentuan Fungsi Objektif	28

3.3	Permodelan <i>Pressure Drop</i> dan <i>Heat Transfer</i> pada <i>Injection Well</i> , <i>Production Well</i> , dan Reservoir	29
3.4	Perhitungan <i>Natural Gas Production Rate</i> dan <i>Carbon Storage</i>	29
3.5	Teknik Optimisasi.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Hasil Pemodelan Tekanan dan Temperatur pada <i>Injection Well</i>	35
4.2	Hasil Pemodelan pada Reservoir	37
4.3	Hasil Pemodelan pada <i>Production Well</i>	39
4.4	Hasil Perhitungan <i>Natural Gas Recovery</i> , <i>Production Rate</i> , Biaya Pemisahan CO ₂ , Biaya Operasional.....	40
4.5	CO ₂ <i>Sequestration</i>	43
4.6	Analisis Sensitifitas	43
4.7	Teknik Optimisasi.....	46
BAB V KESIMPULAN		53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema geologi reservoir gas alami	5
Gambar 2.2	Skema <i>Enhanced Gas Recovery</i> (EGR).....	7
Gambar 2.3	Aliran fluida yang mengalir melalui pipa dengan variasi luas penampang	14
Gambar 2.4	Pola geometri <i>killer whale</i> dalam berburu mangsa	18
Gambar 2.5	<i>Killer Whale Algorithm flowchart</i>	20
Gambar 2.6	<i>Genetic Algorithm flowchart</i>	22
Gambar 2.7	Mekanisme <i>crossover</i>	23
Gambar 2.8	Mekanisme <i>mutasi</i>	23
Gambar 2.9	<i>Particle Swarm Optimization flowchart</i>	25
Gambar 3.1	Diagram alir metodologi penelitian	27
Gambar 4.1	Kurva tekanan terhadap kedalaman pada <i>injection well</i>	36
Gambar 4.2	Kurva temperatur terhadap kedalaman pada <i>injection well</i>	36
Gambar 4.3	Kurva tekanan pada reservoir	38
Gambar 4.4	Kurva temperatur pada reservoir	38
Gambar 4.5	Kurva tekanan pada <i>production well</i>	39
Gambar 4.6	Kurva temperatur pada <i>production well</i>	39
Gambar 4.7	Kurva analisis sensitifitas perubahan laju aliran massa injeksi.....	44
Gambar 4.8	Kurva analisis sensitifitas perubahan tekanan injeksi.....	45
Gambar 4.9	Kurva analisis sensitifitas perubahan temperatur injeksi.....	45
Gambar 4.10	Plot <i>fitness</i> terbaik setiap generasi GA	48
Gambar 4.11	Plot <i>fitness</i> terbaik setiap generasi KWA	48
Gambar 4.12	Plot <i>fitness</i> terbaik setiap generasi PSO.....	49
Gambar 4.13	Kurva tekanan pada <i>injection well</i> setelah dilakukan optimisasi	49
Gambar 4.14	Kurva temperatur pada <i>injection well</i> setelah dilakukan optimisasi	50

Gambar 4.15	Kurva tekanan pada reservoir setelah dilakukan optimisasi	500
Gambar 4.16	Kurva temperatur pada reservoir setelah dilakukan optimisasi	51
Gambar 4.17	Kurva tekanan pada <i>production well</i> setelah dilakukan optimisasi	511
Gambar 4.18	Kurva tekanan pada <i>production well</i> setelah dilakukan optimisasi	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Karakteristik dari reservoir gas alami	6
Tabel 3.1	Komposisi <i>natural gas</i>	28
Tabel 4.1	Parameter input untuk permodelan gradien tekanan dan temperatur	35
Tabel 4.2	Tabel parameter input pemodelan pada reservoir...	37
Tabel 4.3	Komposisi natural gas setelah dilakukan injeksi	41
Tabel 4.4	Perhitungan <i>profit</i> CO ₂ EGR dan <i>carbon sequestration</i>	42
Tabel 4.5	Jumlah CO ₂ yang tersimpan dalam satuan waktu...	43
Tabel 4.6	Parameter optimal Hasil Optimisasi	46
Tabel 4.7	Perhitungan <i>profit</i> CO ₂ EGR dan <i>carbon sequestration</i> setelah dioptimisasi dengan KWA, GA dan PSO	47
Tabel 4.8	Nilai <i>error profit</i> CO ₂ EGR pada perhitungan dan teknik optimasi.....	47

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
f_{tp}	faktor gesekan dua fase	-
G_m	laju flux massa campuran	kg/m ² s
g_c	faktor gravitasi	-
d	diameter aliran	m
g	percepatan gravitasi	m/s ²
ρ_L	massa jenis <i>liquid</i>	kg/m ³
ρ_g	massa jenis gas	kg/m ³
H_L	fraksi <i>holdup</i>	-
θ	sudut kemiringan dari horisontal	0
N_{Re}	<i>Reynold Number</i>	-
ρ	massa jenis	kg/m ³
v	<i>velocity</i>	m/s
μ	<i>dynamic viscosity</i>	kg/m-s
u	<i>kinematic viscosity</i>	m ² /s
q	laju volumetrik aliran fluida	m ³ /s
ΔP	perbedaan tekanan dari titik awal hingga titik akhir	psia
A	luas area yang dilalui fluida	m ²
L	panjang medium yang dilalui	m
k	permeabilitas dari medium	cm ²
Q	<i>heat quantity</i>	kJ
Z	<i>distance</i>	m
r_{to}	<i>tube ratio</i>	m
U_{to}	<i>overall heat transfer coefficient</i>	W/m ² -K
T	temperatur	°C
T_h	temperatur ambien	°C
Q_1	energi panas awal CO ₂	kJ
Q_2	energi panas CO ₂ setelah melalui reservoar	kJ
$Q_{total\ losses}$	energi panas CO ₂ yang hilang	kJ
m_{CO_2}	massa karbon dioksida	kg
C_{p1}	<i>heat capacity</i> sebelum reservoar	kJ/kg-C

C_{p2}	<i>heat capacity</i> sesudah reservoir	kJ/kg-C
T_{∞}	temperatur reservoir	$^{\circ}\text{C}$
$R_{konduksi}$	hambatan panas konduksi	$\text{m}^2\text{-K/W}$
$R_{konveksi}$	hambatan panas konveksi	$\text{m}^2\text{-K/W}$
Nu	<i>Nusselt Number</i>	-
Pr	<i>Prandlt Number</i>	-
P_t	pendapatan (pendapatan (
V_{pd}	laju produksi total <i>natural gas</i>	MMBtu/hari
P_o	harga jual total	USD/MMBtu
Gp	<i>cummulative production</i>	m^3
t	Lama waktu injeksi CO_2 EGR	hari
p	Tekanan	psi
G	<i>volume original gas in place</i>	m^3
z	<i>gas deviation factor</i>	
h	<i>thickness</i>	m
Φ	porositas	%
B_{gi}	<i>initial gas formation volume factor</i>	$\text{L}^3/\text{std L}^3$
S_{gi}	<i>gas saturation</i>	-
M	<i>mobility ratio</i>	-
μ_{ng}	viskositas <i>natural gas</i>	kg/m.s
μ_{mix}	viskositas campuran	kg/m.s
B_{CO2}	biaya CO_2	USD/hari
V_{CO2}	volume CO_2	MMBtu/hari
P_{Co2}	harga CO_2	USD/MMBtu
B_R	total biaya pemisahan CO_2	USD/hari
V_{prod}	volume <i>recovery</i> CO_2 per hari	bbl/hari
W_p	besar usaha pompa	Watt
BR_{CO2}	biaya pemisahan CO_2	USD/bbl
B_{OP}	biaya operasional pompa	USD/jam
Y	lama operasi pompa	jam
K	tarif dasar listrik	USD/kWh

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesuksesan Amerika Serikat dalam produksi *natural gas* pada batuan *shale* telah menarik perhatian masyarakat dunia sejak tahun 2000. Produksi *natural gas* pada batuan *shale* meningkat 20% pada tahun 2010 dimana sebelumnya hanya sebesar 1% pada tahun 2000. Sedangkan pada bulan desember 2018 *shale gas* telah menyumbang 70% dari total produksi *natural gas* di amerika serikat yaitu sekitar 65 bcf/d [1]. Batuan *shale* adalah batuan induk kaya material organik dan tempat terbentuknya *natural gas* atau oil. Batuan shale memiliki permeabilitas dan porositas rendah yaitu 10^{-20} sampai 10^{-16} m² permeabilitas dan 1-10% porositas, namun memiliki *Total Organic Carbon* (TOC) diatas 2% sehingga jumlah *natural gas* yang terkandung dalam *shale* mencapai 90% dan 10% sisanya telah bermigrasi ke batuan lain[2][3]. Hal tersebut membuat amerika mengurangi ketergantungan dalam impor *natural gas* dan dapat menurunkan harga *natural gas*. Salah satu bukti kesuksesannya yaitu produksi *natural gas* pada batuan *shale* di Barnett, Texas, USA dengan menggunakan dua metode yaitu *horizontal drilling* dan *hydraulic fracturing* yang dapat menghasilkan triliunan kaki kubik *natural gas* [4]. Namun data produksi di lapangan menunjukkan penurunan laju produksi *natural gas* dalam beberapa tahun terakhir. Sehingga perlu dilakukan suatu upaya untuk meningkatkan produksi *natural gas* pada reservoir Barnett *shale* [5].

Enhanced Gas Recovery (EGR) adalah suatu adalah suatu upaya untuk meningkatkan produksi *natural gas* pada reservoir yang telah mengalami penurunan laju produksi dengan menginjeksikan suatu fluida atau energi kedalam reservoir. Salah satu metode yang menarik perhatian adalah *carbon sequestration* dimana menginjeksikan fluida gas CO₂ yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil ke dalam reservoir [6]. *Carbon sequestration* dalam *Enhanced Gas Recovery* (EGR) sangat

mempengaruhi penurunan emisi gas CO₂ sehingga memegang peranan penting dalam keberhasilan *sustainable development Goals* (SDGs) yang diresmikan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tanggal 21 oktober 2015 [7]. Selain itu CO₂ efektif diaplikasikan pada reservoir *natural gas* daripada minyak karena memiliki *initial hydrocarbon pore volume* yang sama, sehingga reservoir *natural gas* yang telah habis dapat menyimpan lebih banyak CO₂. Hal ini disebabkan oleh dua alasan, pertama adalah *ultimate gas recovery* bernilai rata-rata sekitar 65% dari *Initial Gas in Place* dan hampir 2 kali lebih dari *ultimate oil recovery* yang berkisar rata-rata 35% dari *initial oil in place*. Kedua, gas sekitar 30 kali lebih kompresibel di bandingkan minyak atau air. Pada tekanan isothermal 13.8 MPa kompresibilitas dari *natural gas* sekitar 72.5×10^{-6} /kPa dibandingkan minyak dan air yaitu 2.2×10^{-6} /kPa dan 0.4×10^{-6} /kPa [8]. Selain itu, massa jenis CO₂ lebih besar dibandingkan *natural gas* (2-6 kali tergantung dari kondisi reservoir) dan memisah pada zona produksi karena gravitasi. CO₂ mempunyai mobilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan *natural gas* dikarenakan viskositas yang lebih besar yang akan menghasilkan efisiensi perpindah *natural gas* yang tinggi pada proses *Enhanced Gas Recovery* (EGR) [9].

Beberapa penelitian membuktikan bahwa CO₂ layak digunakan dan berpotensi dalam EGR pada reservoir *shale* yang telah mengalami penurunan produksi *natural gas*. Uji coba laboratorium menunjukkan bahwa dengan melakukan injeksi campuran 33% CO₂ dan 67% CH₄ ke dalam media berpori jenuh air pada tekanan 15 MPa dan temperatur 40^oC menghasilkan gas CH₄ sebanyak 23% dan CO₂ yang terperangkap pada media sebesar 40%[10]. Uji simulasi CO₂ EGR pada batuan *sandstone* pada tekanan 1700 psia, temperatur 31 ^oC, dan laju injeksi CO₂ sebesar 0.6 kg/s akan meningkatkan laju produksi *natural gas* 105% atau 57.205 m³/day dari 27.861 m³/day dan volume penyimpanan CO₂ sebesar 3031.7 ton selama 90 hari [11]. Sehingga dapat disimpulkan dengan adanya injeksi CO₂ dapat meningkatkan *gas recovery*.

Walaupun CO₂ telah terbukti layak dan berpotensi dalam EGR, namun EGR belum banyak dipraktikkan secara langsung di lapangan reservoir *shale* dikarenakan terdapat beberapa aspek harus dipertimbangkan secara matang mulai dari segi teknis hingga ke segi ekonomi. Saat penginjeksian laju CO₂ pada EGR yang berlebihan akan menyebabkan *breakthrough* yaitu keadaan dimana CO₂ akan bercampur dengan CH₄ pada produksi *well* sehingga memerlukan biaya pemisahan CH₄ dan CO₂, biaya pengadaan dan biaya perasional pompa yang lebih besar pula sehingga optimisasi diperlukan [11][12].

Pada penelitian ini dilakukan optimisasi kondisi operasi pada proses injeksi CO₂ di *Enhanced Gas Recovery* dengan mempertimbangkan biaya. Variabel-variabel yang dioptimisasi meliputi laju aliran, temperatur dan tekanan CO₂ yang diinjeksikan menuju reservoir *natural gas* melalui sumur injeksi. Dengan adanya optimisasi ini diharapkan kondisi operasi berlangsung optimal sehingga biaya produksi yang diperlukan seminimal mungkin dan menghasilkan keuntungan produksi gas alam dan penyimpanan CO₂ yang maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mengoptimalkan produksi *natural gas* pada *enhanced gas recovery* dengan metode injeksi CO₂.
2. Berapa kondisi operasi tekanan, temperatur, dan laju massa injeksi CO₂ *enhanced gas recovery* pada batuan *shale*.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan produksi *natural gas* pada *enhanced gas recovery* dengan metode injeksi CO₂.
3. Mengetahui kondisi operasi tekanan, temperatur, dan laju massa injeksi CO₂ *enhanced gas recovery* pada batuan *shale*.

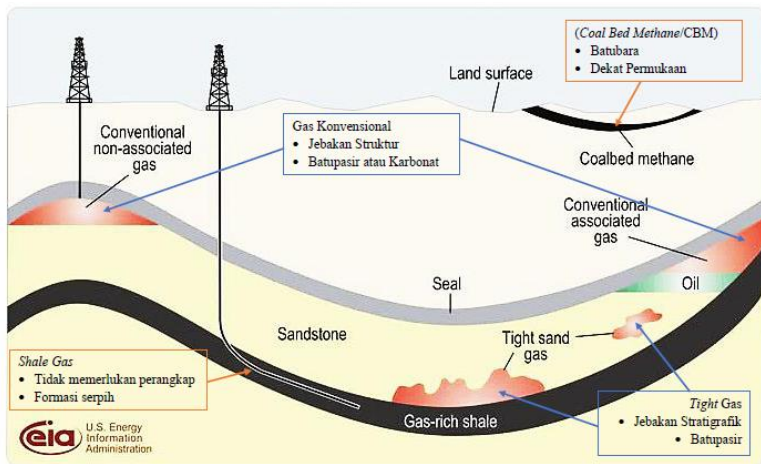
1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah pemodelan *pressure drop* berdasarkan metode Beggs's-Brill pada *well head injection well* hingga reservoir, dan juga pada reservoir hingga *well head production well*. Pemodelan *pressure drop* menggunakan persamaan Darcy pada reservoir. Sedangkan permodelan gradien temperatur pada *injection well*, reservoir, dan *production well* menggunakan persamaan perpindahan panas. Hasil dari pemodelan ini divalidasi dengan *software* PIPESIM dan COMSOL *Multiphysics*. Variabel-variabel yang dioptimasi adalah tekanan injeksi dan laju aliran massa CO₂ injeksi. Penentuan hasil campuran antara CO₂ dan CH₄ menggunakan *software* HYSYS. Pemecahan masalah model dioptimisasi dengan menggunakan *stochastic algorithms* yaitu *Killer Whale Algorithm* (KWA), *Genetic Algorithm* (GA), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

BAB II DASAR TEORI

2.1 Shale Gas

Batuan *shale* merupakan batuan induk yang mengandung 95% bahan organik dimana tempat terbentuknya *oil/ natural gas*. Batuan *Shale* memiliki porositas, permeabilitas rendah, dan memiliki TOC tertinggi. *Shale* yang kaya bahan organik dan cukup matang mengeluarkan gas dan minyak karena tekanan kapiler dan pembebanan. Kemudian minyak dan gas ini bermigrasi dan terdorong ke reservoir yang memiliki porositas dan permeabilitas lebih tinggi seperti *sandstone, limestone*. *Natural gas* dan *oil* tidak seluruhnya bermigrasi, sekitar 10% saja yang bermigrasi. Sedangkan 90% *oil* dan *natural gas* yang dihasilkan masih tersimpan di dapur/ batuan induk yang berupa *shale*. Migas yang masih tersimpan di dapur inilah yang kita sebut *shale gas* atau gas serpih. [12]



Gambar 2.1 Skema geologi reservoir gas alami [13]

Gas shale pada prinsipnya sama seperti gas alam yang selama ini diproduksi, hanya berbeda pada media penyimpanannya. *Shale*

tidak memiliki permeabilitas yang cukup untuk memungkinkan aliran fluida yang signifikan sehingga *shale* bukan sumber komersial. Oleh karena itu, diperlukan *fracking* atau *fracturing* untuk memperbesar permeabilitas agar fluida dapat mengalir kedalam sumur. *Natural gas* yang dihasilkan dari *shale* disebut sebagai '*non-konvensional*'. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 05 Tahun 2012, migas non konvensional adalah minyak dan gas bumi yang diusahakan dari *reservoir* tempat terbentuknya minyak dan gas bumi dengan permeabilitas yang rendah (*low permeability*). Bantuan *shale* gas memiliki permeabilitas dan porositas rendah yaitu 10^{-20} sampai 10^{-16} m² permeabilitas dan 1-10% porositas, namun memiliki *Total Organic Carbon* (TOC) diatas 2-5% [14]. Berikut ini ada karakteristik dari beberapa reservoir:

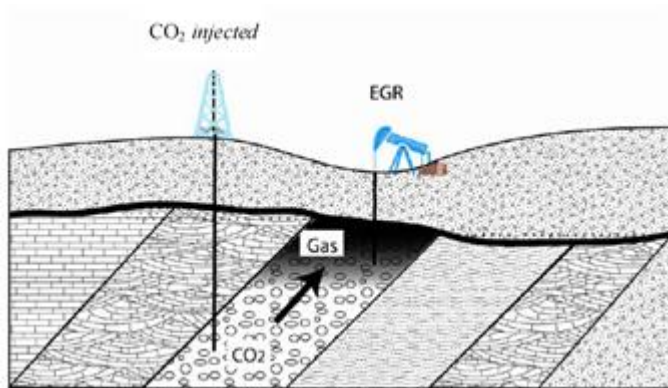
Tabel 1.1 Karakteristik dari reservoir gas alami [15][16]

Material	Porositas %	Permeabilitas	Densitas (g/cm ³)	TOC	Kerogen Type
Sandstone	5-35	10^{-17} - 10^{-13}	1.6-2.75	0-2	I/II
Limestone	0-20	10^{-16} - 10^{-13}	1.93-2.9	0-2	I/II
Shale	1-10	10^{-20} - 10^{-17}	1.75-3.2	2-5	III/IV

2.2 CO₂ Enhanced Gas Recovery

Enhanced gas recovery (EGR) adalah suatu upaya untuk meningkatkan produksi *natural gas* pada reservoir *natural gas* yang telah mengalami penurunan produksi. Gagasan dibalik CO₂ EGR adalah sebagaimana *natural gas* terus menerus diproduksi, maka tekanan pada reservoir akan menurun menuju titik dimana laju produksi dari *natural gas* sudah tidak dapat memberikan keuntungan meskipun masih terdapat jumlah *natural gas* yang signifikan di reservoir. Densitas dan viskositas CO₂ yang lebih besar dibandingkan gas alam yang dominan komposisinya adalah CH₄ berpotensi untuk digunakan sebagai gas pendorong pada reservoir *natural gas* yang telah mengalami penurunan produksi. Hal ini berarti jika CO₂ diinjeksikan menuju reservoir *natural gas*

tersebut maka *natural gas* yang berada pada reservoir *natural gas* dapat diproduksi. Beberapa penelitian mengenai simulasi dari CO₂ EGR telah dilakukan, hasilnya adalah terjadi peningkatan produksi *natural gas* pada reservoir *natural gas* yang telah mengalami penurunan produksi [17].



Gambar 2.2 Skema *Enhanced Gas Recovery* (EGR)

CO₂ dan CH₄ mempunyai karakteristik yang sesuai sehingga dapat lebih menguntungkan apabila dilakukan CO₂ EGR. Beberapa karakteristik tersebut diantaranya:

1. Kemungkinan terjadi CO₂ *breakthrough* dapat diminimalisir dikarenakan CO₂ mempunyai densitas hingga enam kali lebih tinggi dari pada CH₄ di dalam reservoir.
2. Viskositas CO₂ lebih tinggi dibandingkan CH₄ sehingga CO₂ mempunyai rasio mobilitas yang lebih rendah dan menyebabkan proses perpindahan yang lebih stabil.

2.3 Permodelan Metode Begg's-Brill

Berdasarkan hasil eksperimen, pada tahun 1973 Begg's-Brill mendapatkan persamaan gradien tekanan pada aliran vertikal multifase dengan melakukan analisis kesetimbangan energi, dan

mengasumsikan tidak ada gaya eksternal dari atau terhadap fluida alir. *Pressure drop* pada aliran multifase dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{frikksi} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{elevasi} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{akselerasi} \quad (2.1)$$

dimana:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{frikksi} &= \text{rugi friksi (psia)} \\ \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{elevasi} &= \text{rugi elevasi (psia)} \\ \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{akselerasi} &= \text{rugi akselerasi (psia)} \end{aligned}$$

Pressure drop pada aliran multifase terjadi karena adanya rugi gesekan atau friksi, perbedaan pelepasan atau perubahan energi potensial yang diakibatkan adanya perbedaan elevasi, dan akselerasi atau perubahan energi kinetik. Rugi akselerasi begitu kecil sehingga dapat diabaikan [18].

Rugi friksi terjadi karena adanya gesekan fluida dengan pipa. Rugi friksi juga dipengaruhi oleh pola aliran. Terdapat beberapa pola aliran fluida pada pipa yaitu *segregated*, *intermediate*, dan *distributed*. Rugi friksi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{frikksi} = \frac{f_{tp} \cdot G_m \cdot v_m}{2 \cdot g_c \cdot d} \quad (2.2)$$

dimana:

$$\begin{aligned} f_{tp} &= \text{faktor gesekan dua fase} \\ G_m &= \text{laju flux massa campuran (kg/m}^2\text{s)} \\ v_m &= \text{kecepatan massa campuran (m/s)} \\ g_c &= \text{faktor gravitasi} \\ d &= \text{diameter aliran (m)} \end{aligned}$$

Rugi elevasi adalah berkurangnya tekanan fluida dikarenakan fluida kehilangan tekanan hidrostatis dan dipengaruhi oleh densitas fluida serta tinggi kolom fluida. Menurut Beggs-Brill, *pressure drop* dapat diprediksi dengan menghitung fraksi cairan *holdup*. Fraksi cairan *holdup* adalah fraksi volume cairan di dalam suatu elemen dibandingkan terhadap volume keseluruhan elemen. Rugi elevasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{\text{elevasi}} = \frac{g}{g_c} [\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] x \sin \theta \quad (2.3)$$

dimana:

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

ρ_L = massa jenis liquid (kg/m^3)

ρ_g = massa jenis gas (kg/m^3)

H_L = fraksi *holdup*

θ = sudut kemiringan dari horisontal

Pada penelitian ini, aliran yang digunakan adalah aliran pada pipa vertikal dengan sudut kemiringan (θ) adalah 90. Sehingga dengan melakukan substitusi sudut kemiringan pada persamaan 2.3 didapatkan persamaan *pressure drop* total sebagai berikut.

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{f_{tp} \cdot G_m \cdot v_m}{2 \cdot g_c \cdot d} + \frac{g}{g_c} [\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] \quad (2.4)$$

2.4 Reynold Number

Reynold Number adalah bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia dan gaya *viscous*. *Reynold Number* dapat digunakan untuk memprediksi kondisi aliran. Apabila gaya *viscous* lebih dominan (laju aliran dan nilai *Reynold Number* rendah) maka terdapat cukup gaya untuk mempertahankan fluida dalam suatu arah aliran atau dapat dikatakan laminar. Sedangkan, apabila gaya inersia yang melebihi

gaya *viscous* maka aliran akan menjadi turbulen. Berikut merupakan karakteristik aliran berdasarkan nilai *Reynold Number*:

1. *Laminar flow*, merupakan aliran dengan nilai *Reynold Number* dibawah 2000
2. *Transition flow*, merupakan aliran dengan nilai *Reynold Number* diantara 2000-4000
3. *Turbulent flow*, merupakan aliran dengan nilai *Reynold Number* diatas 4000

Nilai *Reynold Number* dinyatakan dengan persamaan (2.5) [19].

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{v \cdot d}{u} \quad (2.5)$$

dimana:

N_{Re} = *Reynold Number*

ρ = massa jenis (kg/m^3)

v = *velocity* (m/s)

d = diameter pipa (m)

μ = *dynamic viscosity* (kg/m-s)

u = *kinematic viscosity* (m^2/s)

2.5 Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan medium berpori (dalam hal ini lapisan formasi batuan pada reservoir) untuk menghantarkan fluida yang melaluinya. Permeabilitas merupakan sifat intrinsik dari bahan berpori dan menentukan seberapa mudah fluida mengalir melewati reservoir hidrokarbon, akuifer, kerikil dan penyaring.

Permeabilitas ditentukan oleh ukuran, bentuk dan material dari media berpori. Semakin besar nilai permeabilitas, semakin besar pula aliran fluida yang dapat dihantarkan melalui medium tersebut [20]. Pada tahun 1856, Henry Darcy melakukan penelitian dan didapatkan hubungan sebagai berikut [21].

$$q = \frac{cA\Delta P}{L} \quad (2.6)$$

dimana:

q = laju volumetrik aliran fluida (m^3/s)

ΔP = perbedaan tekanan dari titik awal hingga titik akhir (psia)

A = luas area yang dilalui fluida (m^2)

L = panjang medium yang dilalui (m)

Nilai c didapatkan dari invers proporsional viskositas fluida yang digunakan.

$$c = \frac{k}{\mu} \quad (2.7)$$

dimana:

k = nilai permeabilitas dari medium dengan dimensi cm^2

μ = nilai viskositas fluida

Sehingga persamaan 2.7 dapat disubstitusi ke dalam persamaan 2.6 dan menjadi persamaan berikut.

$$\Delta P = \frac{q\mu L}{kA} \quad (2.8)$$

Satuan permeabilitas merupakan Darcy dimana 1 Darcy = $9.869 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$. Maka melalui persamaan diatas bisa didapatkan nilai *pressure drop* pada reservoir dengan mengetahui nilai permeabilitas formasi batuan, viskositas fluida, luas dan panjang reservoir, serta laju volumetrik aliran fluida.

2.6 Hukum Darcy

Hukum Darcy merupakan persamaan yang mendefinisikan kemampuan fluida yang mengalir pada media berpori. Pada awalnya hukum Darcy diperkenalkan sebagai hubungan empiris

berdasarkan percobaan pada aliran tunak dalam saringan pasir vertikal homogen. Di antara yang paling berpengaruh terhadap aliran tersebut adalah porositas dan luas permukaan spesifik S_0 (luas permukaan pori dalam satuan volume pada material padat) dimana hal tersebut juga mempengaruhi nilai permeabilitas.

Darcy Number adalah angka tak berdimensi (*dimensionless number*) yang digunakan dalam dinamika aliran melalui media berpori dan ditemukan dari bentuk diferensial dari hukum Darcy [21]:

$$D_a = \frac{K}{L^2} \quad (2.9)$$

dimana:

D_a = *Darcy Number*

K = permeabilitas dari media (m^2)

L = panjang media (m)

Hukum Darcy menyatakan bahwa medan kecepatan (*velocity field*) ditentukan oleh gradien tekanan, viskositas fluida, dan struktur dari media berpori, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{u} = -\frac{K}{\mu} \nabla p \quad (2.10)$$

dimana:

\mathbf{u} = kecepatan Darcy (m/s)

K = permeabilitas formasi batuan (m^2)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

p = tekanan (Pa)

Sedangkan kombinasi antara hukum Darcy dan persamaan kontinuitas adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\epsilon_p \rho) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = Q_m \quad (2.11)$$

dimana:

ρ = densitas fluida (kg/m^3)

ϵ_p = porositas (*dimensionless*)

Q_m = sumber massa ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{s}$)

2.7 Porositas

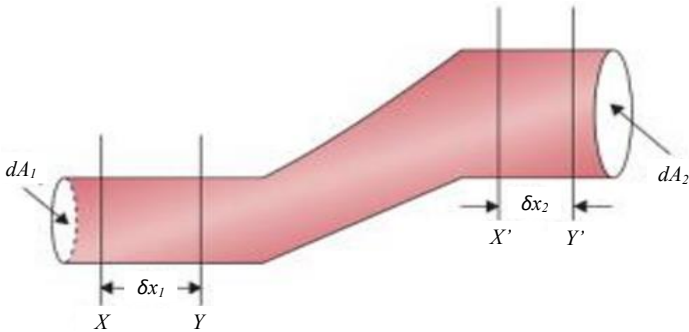
Suatu karakteristik penting pada reservoir hidrokarbon adalah porositas. Porositas merupakan rasio ruang pori (*pore volume*) dibanding dengan keseluruhan volume pada formasi batuan (*bulk volume*), dan umumnya dinyatakan dalam bentuk persen. Porositas merupakan salah satu karakteristik penting dari reservoir yang harus diketahui. Formasi batuan dalam reservoir tidak hanya harus memiliki pori-pori yang berisi hidrokarbon tetapi juga harus mempunyai pori-pori yang cukup besar agar hidrokarbon dapat mengalir melalui batuan tersebut. Sehingga porositas dapat menjadi informasi untuk mengetahui potensi kandungan hidrokarbon yang terdapat pada formasi batuan. Dalam bentuk persamaan porositas dinyatakan sebagai berikut [22].

$$\text{persen porositas} = \frac{\text{pore volume}}{\text{bulk volume}} \times 100 \quad (2.12)$$

2.8 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan prinsip kesetimbangan massa dimana massa fluida yang masuk sama dengan massa fluida yang keluar. Ilustrasi prinsip ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 . Karena fluida berpindah, misalkan dalam waktu step δt , fluida menduduki ruang XX' berpindah kepada ruang YY' . Jarak antara X dan Y adalah δx_1 dan antara X' dan T' adalah δx_2 . Luas penampang pada X adalah dA_1 , dan pada X' adalah dA_2 . Luas penampang dibuat berbeda pada kedua ujung agar diketahui pengaruh dari perbedaan luas penampang tersebut. Untuk material yang akan dikonversi,

massa yang terkandung pada ruang XX' harus sama dengan di ruang YY' . Telah dicatat bahwa fluida yang terkandung pada ruang YY' adalah umum untuk keduanya, yaitu ruang awal dan akhir. Oleh karena itu, massa pada fluida di ruang XY harus sama dengan di ruang $X'Y'$ [23].



Gambar 2.3 Aliran fluida yang mengalir melalui pipa dengan variasi luas penampang [23]

Persamaan kontinuitas dasar aliran massa maupun debit dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$\rho Au = \dot{m} \quad (2.13)$$

dimana:

- ρ = massa jenis (kg/m^3)
- A = Luas penampang (m^2)
- u = kecepatan rata-rata (m/s)
- \dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

2.9 Pemodelan Transfer Panas pada *Injection* atau *Production Well*

Besarnya kalor yang hilang setiap satuan kedalaman, merupakan fungsi dari jari-jari tubing (r_{to}), *Overall heat transfer*

coefficient (U_{to}), suhu uap (T) dan suhu bautan diluar tubing (T_h). Persamaan perpindahan panas ini dinyatakan seperti pada persamaan [24]:

$$\frac{dQ}{dZ} = 2\pi r_{to} U_{to} (T - T_h) \quad (2.14)$$

dimana:

Q = *heat quantity* (kJ)

Z = *distance* (m)

r_{to} = *tube ratio* (m)

U_{to} = *overall heat transfer coefficient* (W/m²-K)

T = *temperatur* (C)

T_h = *temperatur ambien* (C)

2.10 Pemodelan Transfer Panas pada Reservoir

Setelah melewati *injection well*, CO₂ akan terdistribusi pada reservoir dengan properti PVT tertentu. Perpindahan panas dari CO₂ ke reservoir menggunakan persamaan kesetimbangan perpindahan panas yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_1 = Q_2 + Q_{total\ losses} \quad (2.15)$$

dimana:

Q_1 = energi panas awal CO₂ (kJ)

Q_2 = energi panas CO₂ setelah melalui reservoir (kJ)

$Q_{total\ losses}$ = energi panas CO₂ yang hilang (kJ)

Sementara itu, nilai energi Q_1 dan Q_2 didapatkan dari persamaan [25]:

$$Q_1 = m_{CO_2} C_{p1} T_1 \quad (2.16)$$

$$Q_2 = m_{CO_2} C_{p2} T_2 \quad (2.17)$$

dimana:

m_{CO_2} = massa karbon dioksida (kg)

C_{p1} = *heat capacity* sebelum reservoir (kJ/kg-C)

C_{p2} = *heat capacity* sesudah reservoir (kJ/kg-C)

T_1 = temperatur sebelum reservoir (C)

T_2 = temperatur sesudah reservoir (C)

Terdapat sejumlah energi yang hilang selama perambatan CO₂ dari *injection well* sampai ke *production well* baik secara konduksi maupun konveksi. Energi yang hilang tersebut dapat diturunkan melalui persamaan berikut:

$$Q_{total\ losses} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{konduksi} + R_{konveksi}} \quad (2.18)$$

dimana:

T_∞ = temperatur reservoir (K)

$R_{konduksi}$ = hambatan panas konduksi (m²-K/W)

$R_{konveksi}$ = hambatan panas konveksi (m²-K/W)

Nilai $R_{konduksi}$ dan $R_{konveksi}$ dihitung dengan persamaan berikut:

$$R_{konduksi} = \frac{L_p}{k A_p} \quad (2.19)$$

$$R_{konveksi} = \frac{1}{h A_p} \quad (2.20)$$

dimana:

L_p = *length characteristic* (m)

k = *thermal conductivity formation* (W/m-K)

A_p = *reservoir area* (m²)

h = *convective heat transfer coefficient* (W/m²K)

Nilai h adalah *convective heat transfer coefficient* didapat dari persamaan *Nusselt Number* yang dilambangkan dengan Nu .

Nusselt Number dapat diturunkan dari nilai *Reynold Number* (Re) dan *Prandalt Number* (Pr).

$$Nu = \frac{0.255}{\varphi} Re^{2/3} Pr^{1/3} = \frac{h L_p}{k} \quad (2.21)$$

dimana:

R = *thermal resistance* (m^2 -K/W)

Nu = *Nusselt Number*

Re = *Reynold Number*

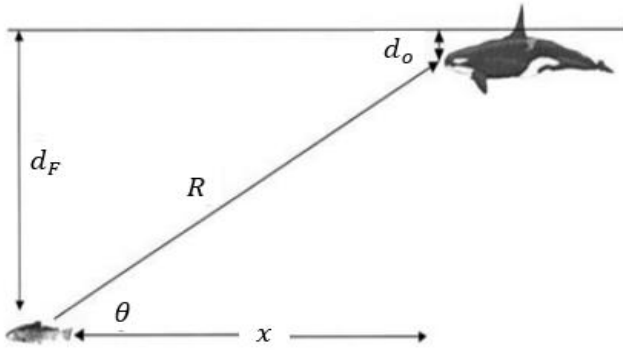
Pr = *Prandlt Number*

2.11 *Killer Whale Algorithm* (KWA)

Killer Whale Algorithm (KWA) merupakan algoritma yang terinspirasi dari kehidupan paus pembunuh dalam berburu mangsanya. Paus pembunuh adalah mamalia laut yang ada di puncak tertinggi dari rantai makanan dalam sistem ekologi laut, atau lebih dikenal dengan sebutan *apex marine predator*.

Sebagai *apex marine predator* paus pembunuh mempunyai dua tipe pola berburu yakni *fish-feeding residents* dan *mammal-hunting transients*. *Fish-feeding residents* merupakan pola berburu pada area yang sama, sedangkan *mammal-hunting transients* akan mengikuti migrasi dari makanan. Untuk mengetahui mangsa paus pembunuh dilengkapi dengan kemampuan *echolocation vocalizations*. Dalam melakukan perburuan makanan paus pembunuh membentuk suatu kelompok dan mempunyai seorang pemimpin [26].

Dalam algoritma ini kumpulan *killer whale* yang membentuk suatu kelompok disebut dengan *Martiline* yang terdiri dari *Leader* dan *Member*. Menurut penelitian Whitlow et al. 2004 untuk memeriksa penggunaan *echolocation* oleh *Killer Whale* digunakan sebuah model matematika yang merepresentasikan pola *killer whale* dalam berburu mangsa, model matematika ini digunakan sebagai sebuah gerakan agen pencari untuk menemukan solusi terbaik dari *objective function* [27].



Gambar 2.4 Pola geometri *killer whale* dalam berburu mangsa [26]

Sudut (θ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{d_F - d_o}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{d_F - d_o}{X}\right) \quad (2.21)$$

dimana:

d_F = kedalaman mangsa (m)

d_o = kedalaman sonar (m)

R = rentang kemiringan antara mangsa dan *killer whale* (m)

X = rentang horizontal (m)

θ = sudut antara rentang kemiringan dan horizontal

Setiap agen pencari membutuhkan kecepatan untuk menghasilkan gerakan dan menemukan lokasi makanan dalam bentuk besar dan arah dari gerakan. Model matematis yang merepresentasikan gerakan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\theta \begin{cases} \vec{v}_i \leftarrow \vec{x}_i + \vec{U}(0, \phi_1) \otimes (\vec{p}_i - \vec{x}_i) + \vec{U}(0, \phi_2) \otimes (\vec{p}_g - \vec{x}_i), \\ \vec{v}_i \leftarrow \vec{x}_i + \vec{v}_i \end{cases} \quad (2.22)$$

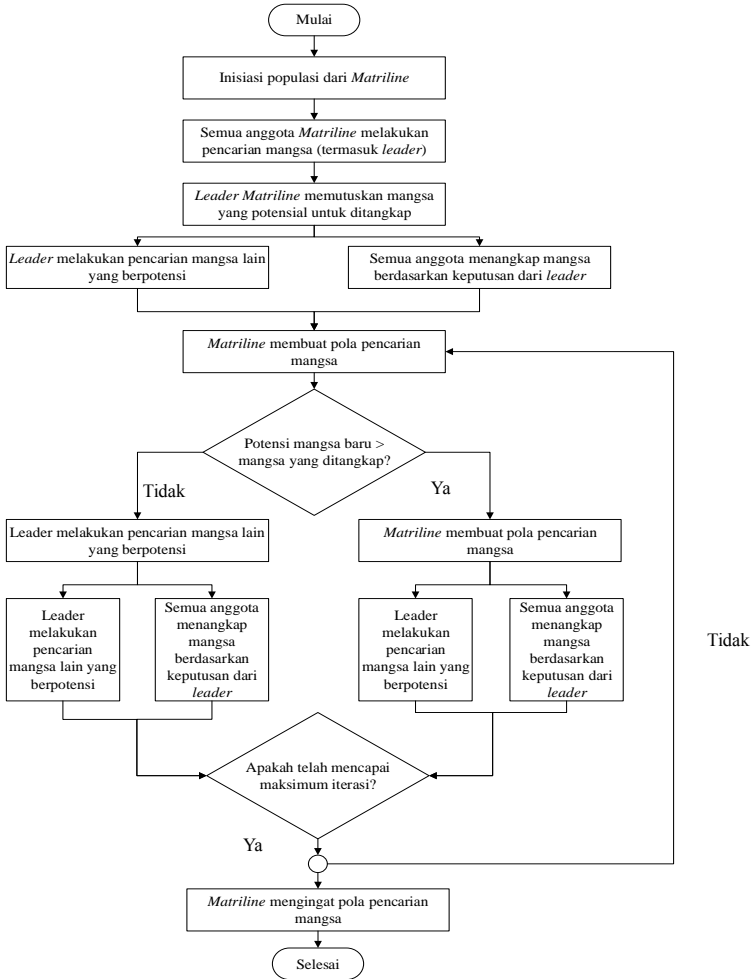
dimana:

- \vec{x}_i = posisi saat ini (m)
 \vec{p}_i = posisi terbaik sebelumnya (m)
 \vec{v}_i = kecepatan (m/s)

Setiap agen pencari terdiri dari tiga vektor D-dimensi, di mana D adalah dimensi dari ruang pencarian, yaitu posisi saat ini (\vec{x}_i), posisi terbaik sebelumnya (\vec{p}_i), dan kecepatan (\vec{v}_i) serta waktu (t). Posisi saat ini dapat dianggap sebagai satu set koordinat yang menggambarkan suatu titik dalam ruang. Pada setiap iterasi dari algoritma, posisi saat ini dievaluasi sebagai *problem solution*. Jika posisi saat ini lebih baik daripada posisi sebelumnya, maka posisi saat ini akan merepresentasikan posisi sebelumnya pada iterasi selanjutnya.

Hasil nilai terbaik dari fungsi yang telah diperoleh lalu disimpan dalam sebuah variabel yang dapat disebut $pbest_i$; sedangkan posisi terbaik sebelumnya dijadikan sebagai nilai pembanding pada iterasi selanjutnya. Tujuannya adalah untuk terus mencari posisi yang lebih baik dan memperbarui \vec{p}_i dan $pbest_i$. Titik baru dipilih dengan menambahkan \vec{v}_i koordinat pada \vec{x}_i , dan algoritma beroperasi dengan menyesuaikan \vec{v}_i , yang secara efektif dapat dilihat sebagai sebuah ukuran langkah. Vektor \vec{p}_i untuk *best neighbor*, akan menunjukkan \vec{p}_g , dimana g adalah variabel.

KWA digunakan pada titik-titik tertentu dalam rangka menempatkan agen pencari pada titik-titik yang dianggap sebagai titik optimal pada proses *scanning* pertama, sehingga algoritma dapat lebih cepat dalam menemukan *global optimum* [26].



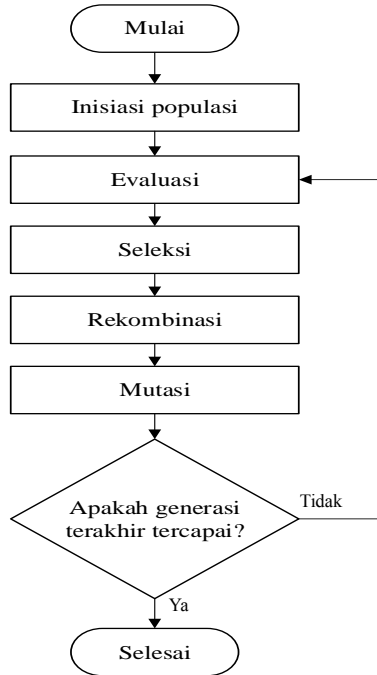
Gambar 2.5 *Killer Whale Algorithm flowchart* [26]

Proses inisialisasi dilakukan untuk menentukan parameter awal seperti, jumlah populasi *killer whale*, dimensi *objective function*, batas bawah dan batas atas *objective function*, jumlah *cluster* serta jumlah iterasi untuk proses *clustering*. Metode

clustering digunakan untuk mempercepat pencarian nilai global optimum dalam *objective function* dan menghindari hasil akhir dalam bentuk nilai *local optimum*, populasi akan dibagi menjadi dua, antara *leader* dan *member*. *Leader* bertugas untuk mencari mangsa, dan menentukan arah untuk menemukan mangsa, sementara itu untuk membunuh mangsa dilakukan oleh *member*. *Leader* bertugas untuk menemukan *global optimum* dengan membandingkan data yang diperoleh *member*. Daerah pencarian disetiap *cluster* akan ditelusuri oleh kedua kelompok, proses pencarian dimulai pada titik *centroid* dari setiap *cluster*, *leader* akan bergerak ke sisi lain *cluster* jika nilai yang diperoleh lebih rendah dari *member*. Jika *leader* pindah atau bertukar ke *cluster* lain, maka *member* akan pindah ke *cluster* lain, proses ini dilakukan dengan menggunakan prinsip dari jumlah *cluster* dibagi jumlah iterasi yang berarti seperti terdapat empat *cluster* dengan 20 iterasi untuk agen pencarian, maka untuk satu *cluster* dilakukan lima iterasi [26], [27].

2.12 Genetic Algorithm (GA)

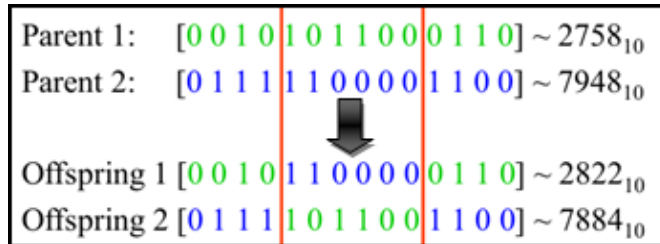
Genetic Algorithm (GA) adalah algoritma optimisasi yang terinspirasi dari mekanisme seleksi alam, dimana individu yang terkuatlah yang akan bertahan hidup. Dalam algoritma ini potensi solusi dari suatu masalah adalah seorang individu dan dapat direpresentasikan dalam suatu *set* parameter. Parameter 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 [28].



Gambar 2.6 *Genetic Algorithm flowchart* [28]

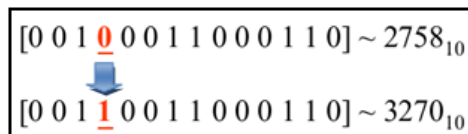
Tahapan pada *genetic algorithm* diawali dengan inisiasi populasi awal dari kandidat solusi. Ukuran dari populasi bervariasi bergantung dari masalah yang akan diatasi menggunakan algoritma ini. Selanjutnya kromosom akan diberikan kode yaitu dengan menggunakan biner. Ketika populasi yang telah diinisiasi atau populasi keturunan terbentuk, nilai *fitness* dari tiap individu dievaluasi. Nilai *fitness* merupakan nilai dari kemampuan solusi untuk bertahan. Setiap individu akan diseleksi dengan tujuan untuk mendapatkan solusi terbaik dari generasi terburuk dengan menggunakan mekanisme seleksi seperti *roulette-wheel*. Kemudian individu-individu yang terpilih akan melakukan rekombinasi dengan melakukan *crossover* atau kawin silang individu yang lainnya sehingga terbentuk individu baru dengan

kemungkinan *fitness* yang lebih baik. Pada gambar merupakan mekanisme *crossover* dimana pada kromosom induk dipotong oleh *crossover point* sehingga gen-gen pada tiap kromosom bertukar silang dan menghasilkan keturunan.



Gambar 2.7 Mekanisme *crossover* [29]

Ketika rekombinasi beroperasi terhadap dua atau lebih kromosom, mutasi lokal tetapi acak memodifikasi sebuah solusi. Dan juga akan terjadi bermacam-macam mutasi, tapi biasanya melibatkan satu atau lebih perubahan sifat individu. Mekanisme mutasi dapat dilihat pada Gambar 2.6, salah satu gen pada kromosom awal dimutasi sehingga menghasilkan kromosom baru.



Gambar 2.8 Mekanisme mutasi [29]

Keturunan hasil dari seleksi, rekombinasi, dan mutasi akan menggantikan populasi induk. Hal ini akan berlangsung terus menerus hingga generasi terakhir.

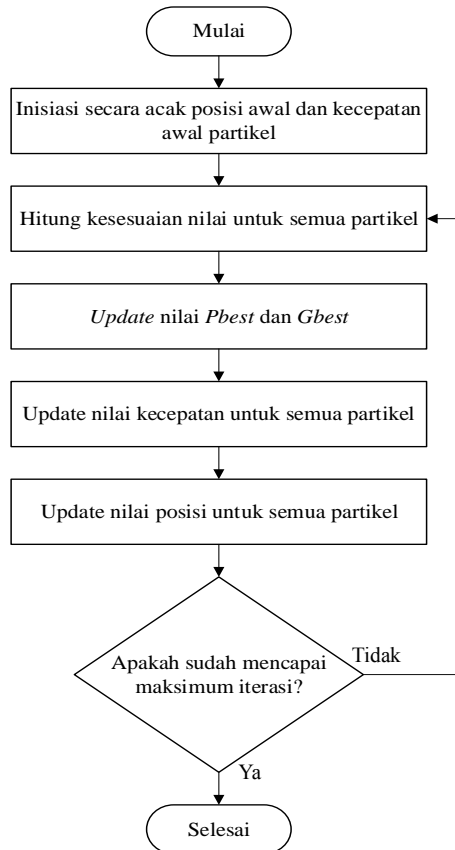
2.13 Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan suatu algoritma yang meniru proses yang terjadi dalam kehidupan populasi burung atau ikan dalam mencari makanan. PSO pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 oleh Russel C. Eberhart dan

James Kennedy. Sejak pertama kali diperkenalkan PSO berkembang cukup pesat, baik dari sisi aplikasi maupun dari sisi pengembangan metode yang digunakan pada algoritma tersebut [30].

Pada PSO populasi diasumsikan mempunyai ukuran tertentu dengan setiap partikel mempunyai posisi awal yang acak dalam suatu ruang multidimensi. Setiap partikel mempunyai dua karakteristik penting, yakni posisi dan kecepatan. Setiap generasi partikel akan bergerak dalam ruang atau *space* tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Kemudian, partikel tersebut akan menyampaikan informasi mengenai posisi terbaiknya kepada partikel yang lain sehingga partikel lain akan menyesuaikan posisi dan kecepatan berdasarkan informasi yang telah diterima.

Pada setiap iterasi suatu nilai kecepatan baru untuk setiap partikel dihitung berdasarkan kecepatan sekarang, jarak dari posisi terbaik sebelumnya (*personal best*) dan jarak dari posisi *global best*. Kecepatan baru tersebut digunakan untuk menghitung posisi partikel selanjutnya dan proses tersebut berlangsung terus menerus hingga iterasi selesai dilakukan.



Gambar 2.9 Particle Swarm Optimization flowchart [31]

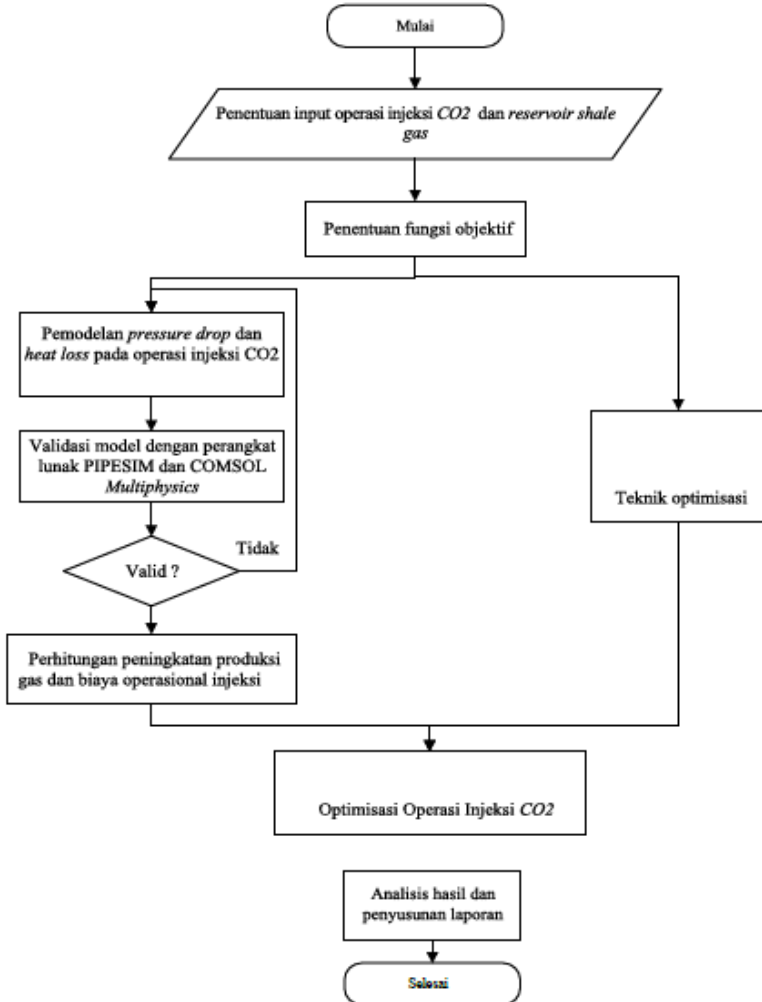
Beberapa istilah umum yang biasa digunakan dalam algoritma PSO adalah sebagai berikut [31].

1. *Swarm*
Swarm merupakan populasi.
2. Partikel
Partikel merupakan anggota/ individu pada suatu *swarm*.
3. *Pbest (Personal Best)*
Merupakan posisi suatu partikel terbaik pada suatu iterasi dan dipersiapkan untuk mendapatkan solusi yang terbaik.

4. *Gbest (Global Best)*
Merupakan posisi terbaik partikel diantara *Pbest* yang ada dan menjadi solusi yang terbaik.
5. *Velocity (v)*
Vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah dimana partikel diperlukan untuk berpindah dan memperbaiki posisi sebelumnya.
6. *Inertia weight (θ)*
Parameter yang digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan pada suatu partikel.
7. *Learning rates (c1 dan c2)*
Suatu konstanta untuk menilai kemampuan partikel (c1) dan kemampuan social *swarm* (c2) yang menunjukkan bobot dari partikel terhadap memorinya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

3.1 Penentuan Input CO₂ EGR dan *Reservoir Properties*

Pada tugas akhir ini kondisi operasi injeksi CO₂ EGR berdasarkan data dari Barnett Shale, Texas, USA. Kondisi kedalaman sumur 8562 ft/ 2000 m, memiliki tekanan pada reservoir 3800 psi, porositas formasi batuan 0.04, permeabilitas $2,27 \times 10^{-16}$ m² dan kekuatan batuan 5880 psi. Ketebalan *reservoir* 200 m, dan jarak antara *injection well* dan *production well* sejauh 120 m [33][34][35].

Sedangkan dari data yang diperoleh dari *U.S Geological Survey* diketahui bahwa reservoir mengandung *natural gas* dengan gas kondensat. Komposisi *natural gas* dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut [32].

Tabel 3.1 Komposisi *natural gas*

Senyawa	Rumus Senyawa	mol	% mol	Mr (g/mol)
<i>Methane</i>	CH ₄	94.36	0.94360	16.043
<i>Ethane</i>	C ₂ H ₆	2.37	0.02370	30.070
<i>Propane</i>	C ₃ H ₈	0.15	0.00150	44.097
<i>iso-butane</i>	C ₄ H ₁₀	0.017	0.00017	58.124
<i>n-Butane</i>	C ₄ H ₁₀	0.022	0.00022	58.124
<i>iso-Pentane</i>	C ₅ H ₁₂	0.009	0.00009	72.151
<i>Hexane+</i>	C ₆ H ₁₄	0.015	0.00015	86.178
<i>Helium</i>	He	0.087	0.00087	4.003
<i>Hydrogen</i>	H ₂	0.01	0.00010	2.016
<i>Nitrogen</i>	N ₂	2.92	0.02920	28.014
<i>Carbondioxide</i>	CO ₂	0.04	0.00040	44.009

3.2 Penentuan Fungsi Objektif

Fungsi objektif ditujukan untuk mengetahui tujuan dari optimisasi yang akan dilakukan. Tujuan dari CO₂ EGR dan *carbon sequestration* adalah memaksimalkan laju produksi *natural gas production well* untuk meningkatkan *profit*. *Natural gas* yang dihasilkan sebanding dengan laju aliran CO₂ yang diinjeksikan ke dalam reservoir *natural gas* melalui *injection well*. Namun, semakin banyak CO₂ yang diinjeksikan pada tekanan tertentu

membutuhkan energi yang semakin besar pula. Sehingga biaya operasional CO₂ EGR akan meningkat. Selain itu, semakin besar laju injeksi CO₂ akan mengakibatkan CO₂ *breakthrough* berlangsung lebih cepat. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya produksi gas dan CO₂ akan banyak masuk ke *production line* sehingga dibutuhkan biaya pemisahan CO₂ yang semakin besar dan dapat mengurangi keuntungan dari proses CO₂ EGR. Maka dari itu, *profit* akan menjadi fungsi objektif yang akan di maksimalkan.

3.3 Permodelan *Pressure Drop* dan *Heat Transfer* pada *Injection Well*, *Production Well*, dan *Reservoir*

Pada CO₂ EGR, injeksi CO₂ pada *injection well* akan mengalami perubahan temperatur dan tekanan. Sementara itu, sifat dari fluida juga akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur dan tekanan yang terjadi. Sehingga itu perlu dilakukan penurunan sifat fluida melalui persamaan empiris dalam fungsi suhu. Pada *injection well* dan *production well* permodelan *pressure drop* menggunakan persamaan Beggs-Brill, sedangkan pada reservoir menggunakan persamaan Darcy. Permodelan *heat transfer* pada *injection well* dan *production well* sesuai dengan persamaan 2.17 Sedangkan pada reservoir sesuai dengan persamaan 2.21.

Kemudian dilakukan validasi dengan membandingkan hasil permodelan dengan hasil simulasi menggunakan *software* PIPESIM untuk *injection well* dan *production well* serta COMSOL untuk reservoir dengan target rata-rata *error* permodelan kurang dari lima persen (*mean error* < 5 %).

3.4 Perhitungan *Natural Gas Production Rate* dan *Carbon Storage*

Laju produksi *natural gas* dihitung melalui nilai *additional recovery*, *cummulative production*, laju aliran massa dan lama waktu injeksi CO₂ EGR. Selain itu, besarnya volume *original gas in place* atau banyaknya *natural gas* yang terdapat dalam reservoir dipertimbangkan dalam proses perhitungan laju produksi *natural gas*. Hasil perhitungan laju produksi *natural gas* dapat diperoleh

nilai pendapatan yang merupakan perkalian antara laju produksi *natural gas* terhadap harga jual *natural gas*.

$$P_t = V_{pd} \times P_o \quad (3.1)$$

$$V_{pd} = \frac{Gp}{t} \quad (3.2)$$

$$Gp = G \times \left(1 - \frac{p/z}{p_i/z_i}\right) \quad (3.3)$$

$$G = \frac{Ah \phi S_{gi}}{B_{gi}} \quad (3.4)$$

$$B_{gi} = 0.028793 \times \frac{p/z}{p_i/z_i} \quad (3.5)$$

$$S_{gi} = -0.0000005 \times f_g^5 + 0.00004 \times f_g^4 - 0.001 \times f_g^3 + 0.0071 \times f_g^2 + 0.0521 \times f_g + 0.2623 \quad (3.6)$$

$$f_g = \frac{1}{(1 + M)} \quad (3.7)$$

$$M = \frac{\mu_{ng}}{\mu_{mix}} \quad (3.8)$$

dimana:

- P_t = pendapatan (USD/hari)
- V_{pd} = laju produksi total *natural gas* (MMBtu/hari)
- P_o = harga jual total (USD/MMBtu)
- Gp = *cummulative production* (MMBtu)
- t = lama waktu injeksi CO₂ EGR (hari)
- p = tekanan (psia)
- G = *volume original gas in place* (MMCF)
- z = *gas deviation factor*
- A = luas permukaan reservoir (m²)

h	= thickness (m)
Φ	= porositas (%)
B_{gi}	= initial gas formation volume factor ($L^3/\text{std } L^3$)
S_{gi}	= gas saturation
M	= mobility ratio
f_g	= fractional gas flow
μ_{ng}	= viskositas <i>natural gas</i> (Kg/m.s)
μ_{mix}	= viskositas campuran (Kg/m.s)

Untuk mendapatkan biaya pengadaan CO₂ maka didapatkan dari besar laju aliran massa CO₂ dan juga harga CO₂ per volume.

$$B_{CO_2} = V_{CO_2} \times P_{CO_2} \quad (3.9)$$

dimana:

B_{CO_2}	= biaya CO ₂ (USD/hari)
V_{CO_2}	= volume CO ₂ (MMBtu/hari)
P_{CO_2}	= harga CO ₂ (USD/MMBtu)

Natural gas yang terproduksi dan berada pada *production line* masih mengandung gas CO₂, sehingga diperlukan adanya proses pemisahan gas CO₂ dari *natural gas*. Perhitungan biaya pemisahan CO₂ berdasarkan persamaan berikut.

$$B_R = V_{prod} \times BR_{CO_2} \quad (3.10)$$

dimana:

B_R	= total biaya pemisahan CO ₂ (USD/hari)
V_{prod}	= volume <i>recovery</i> CO ₂ per hari (bbl/hari)
BR_{CO_2}	= biaya pemisahan CO ₂ (USD/bbl)

Biaya operasional pompa CO₂ EGR merupakan biaya energi listrik yang dibutuhkan pompa untuk beroperasi selama waktu tertentu. Dalam perhitungan biaya operasional pompa dibutuhkan parameter *pressure drop* untuk mengetahui besar daya pompa yang dibutuhkan. *Pressure drop* didapatkan dari perbedaan antara

tekanan keluaran *production well* dengan tekanan injeksi pada *injection well*. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan biaya operasional pompa adalah sebagai berikut.

$$W_p = \frac{q \times \Delta P}{\eta} \quad (3.11)$$

$$B_{OP} = W_p \times Y \times K \quad (3.12)$$

dimana:

W_p = besar usaha pompa persatuan waktu/ daya pompa (Watt)

ΔP = *pressure drop* (Pa)

q = laju aliran massa fluida (m^3/s)

η = efisiensi pompa (%)

B_{OP} = biaya operasional pompa (USD/jam)

Y = lama operasi pompa (jam)

K = tarif dasar listrik (USD/kWh)

Banyaknya CO_2 yang tersimpan dalam reservoir selama selang waktu tertentu dapat ditentukan dari perbandingan antara jumlah CO_2 yang terbawa menuju *production line* dengan jumlah CO_2 yang diinjeksikan ke dalam reservoir. Secara matematis dapat digunakan pada persamaan 3.13 berikut ini .

$$F_{CO_2} = \frac{Q_{prodCO_2}}{Q_{injCO_2}} \quad (3.13)$$

dimana:

F_{CO_2} = CO_2 yang tersimpan

Q_{prodCO_2} = CO_2 yang terproduksi (m^3/day)

Q_{injCO_2} = CO_2 yang diinjeksi (m^3/day)

Jika seluruh CO_2 yang diinjeksikan tersimpan di dalam reservoir maka akan bernilai 0, sedangkan sebaliknya jika seluruh CO_2 terbawa menuju ke *production line* maka akan bernilai 1.

3.5 Teknik Optimisasi

Optimisasi dilakukan untuk mendapatkan kondisi operasi CO₂ EGR yang paling optimal sehingga fungsi objektif dapat maksimal. Teknik optimisasi yang digunakan dengan menggunakan metode *stochastic algorithm* dengan beberapa macam algoritma yang digunakan yaitu *Killer Whale Algorithm* (KWA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Genetic Algorithm* (GA). Nilai yang dioptimisasi adalah laju aliran massa, temperatur dan tekanan injeksi CO₂.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemodelan Tekanan dan Temperatur pada *Injection Well*

Permodelaan tekanan pada *injection well* menggunakan metode Beggs-Brill sedangkan permodelan temperatur menggunakan persamaan perpindahan panas. Input kondisi operasi yang digunakan sesuai pada tabel berikut ini:

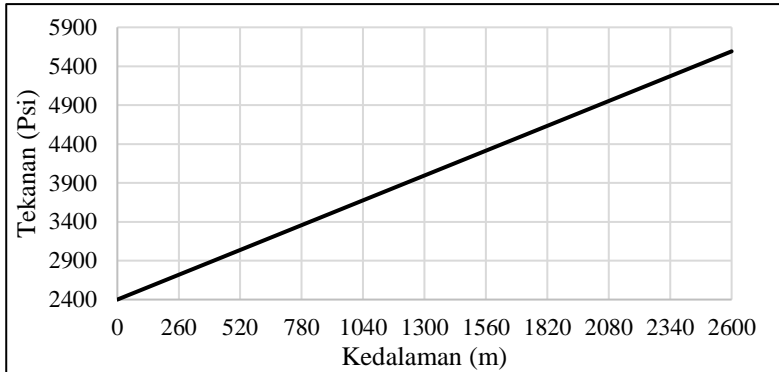
Tabel 4.1 Parameter input untuk permodelan gradien tekanan dan temperatur

Parameter	Nilai	Satuan
Gravitasi	9.8	m/s ²
Diameter aliran	0.127	m
Kedalaman sumur	2600	m
Tekanan injeksi	2400	psia
Laju massa injeksi CO ₂	0.30443	kg/s
Temperatur injeksi	50	°C
Tebal tubing	0.005385	m
<i>Absolute roughness</i>	0.0000675	m

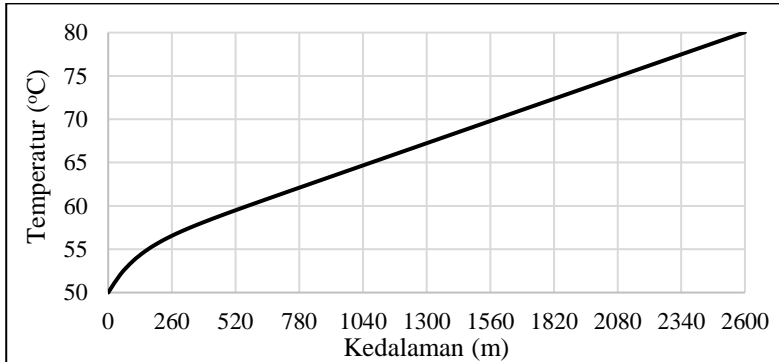
Gradien tekanan dan temperatur pada *injection well* divalidasi untuk setiap kedalaman 50 m dengan perangkat lunak PIPESIM. Didapatkan hasil rata-rata *error* untuk tekanan sebesar 0.5177% dan temperatur sebesar 2.1523%. Hasil validasi ditampilkan pada lampiran G.

Nilai *properties* fluida seperti massa jenis, viskositas, dan *mass heat capacity* yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan persamaan regresi yang didapatkan dari *software* simulasi PIPESIM. Kemudian, *properties thermal conductivity* didapatkan dari simulasi *software* HYSYS. Sehingga, terjadi perbedaan nilai *properties* antara model dengan hasil simulasi. *Properties* tersebut mempengaruhi perhitungan nilai dari gradien tekanan dan temperatur yang dihasilkan.

Hasil kurva tekanan dan temperatur pada *injection well* terhadap fungsi kedalaman sumur dinyatakan dalam Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Kurva tekanan terhadap kedalaman pada *injection well*



Gambar 4.2 Kurva temperatur terhadap kedalaman pada *injection well*

Pada gambar kurva 4.1 dan 4.2 menunjukkan tekanan dan temperatur mengalami kenaikan saat menuju reservoir. Hal tersebut karena temperatur batuan di sekeliling *tubing injection well* lebih besar daripada temperatur CO₂ injeksi sehingga batuan

akan memberikan input panas pada CO₂ injeksi yang mengakibatkan temperatur dari CO₂ injeksi akan mengalami peningkatan.

Meningkatnya tekanan pada *injection well* diakibatkan oleh adanya gaya gravitasi yang dapat menyebabkan terjadinya kompreibilitas pada CO₂ injeksi sehingga hal itu juga dapat menyebabkan temperatur CO₂ injeksi meningkat seiring peningkatan tekanan. Selain itu, berkurangnya energi potensial dari *wellhead* hingga reservoir menyebabkan adanya peningkatan entalpi dan dapat meningkatkan temperatur CO₂.

4.2 Hasil Pemodelan pada Reservoir

Pemodelan tekanan dan temperatur pada reservoir dimodelkan dengan menggunakan persamaan Darcy dan persamaan perpindahan panas. Karakteristik reservoir yang digunakan sebagai *input* untuk persamaan Darcy dan persamaan perpindahan panas untuk reservoir dapat dilihat pada Tabel 4.2.

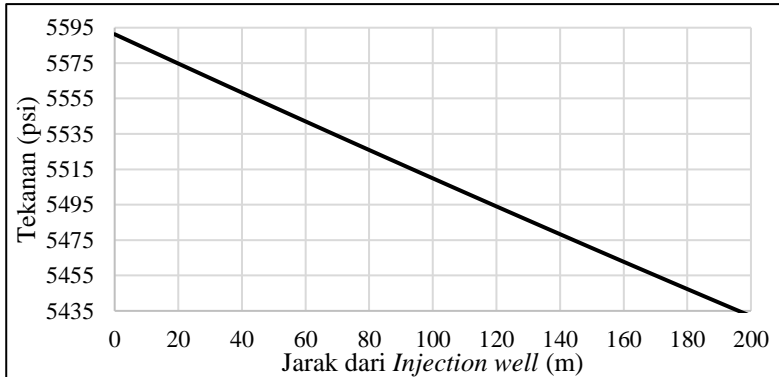
Tabel 4.2 Tabel parameter input pemodelan pada reservoir

Parameter	Nilai	Satuan
Jarak <i>injection – production well</i>	200	m
Tekanan reservoir	3800	psia
Temperatur reservoir	80.016	°C
Tebal formasi	120	m
Permeabilitas	0.23	mD
Porositas	0.04	-
<i>Young's Modulus of shale</i>	5880	psia

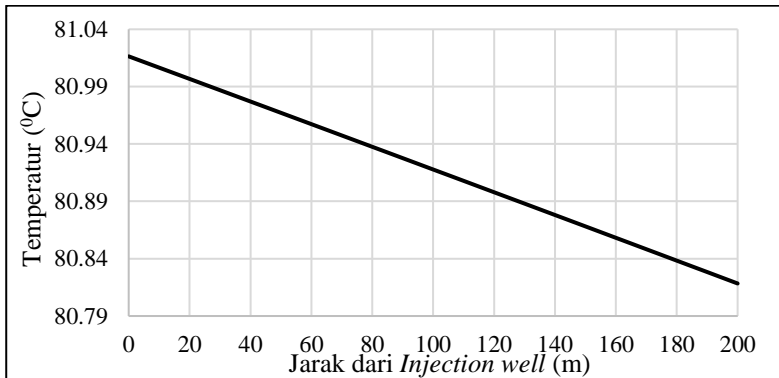
Gradien tekanan dan temperatur pada *reservoir* menggunakan persamaan Darcy telah divalidasi dengan menggunakan perangkat lunak COMSOL *Multiphysics* didapatkan hasil rata-rata *error* pada setiap ketelitian 10 meter untuk tekanan sebesar 0.05152% dan untuk temperatur sebesar 0.03588%. Hasil validasi ditampilkan pada lampiran G.

Parameter input fluida dalam pemodelan tekanan dan temperatur ini, merupakan parameter output dari fluida pada

injection well. Hasil kurva tekanan dan temperatur pada *reservoir* terhadap fungsi kedalaman sumur dinyatakan dalam Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.3 Kurva tekanan pada reservoir



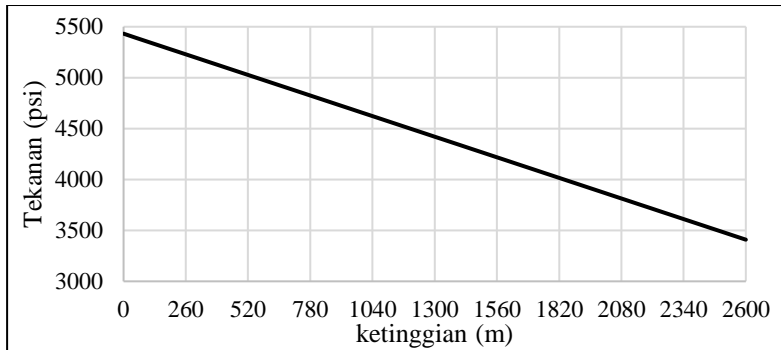
Gambar 4.4 Kurva temperatur pada reservoir

Pada kurva 4.3 tekanan CO_2 dan *natural gas* yang melewati batuan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak dari *injection well* hal ini dikarenakan terjadinya *pressure drop* ketika melewati struktur batuan. Besar kecilnya *pressure drop* ini sangat ditentukan oleh permeabilitas batuan. Sementara temperatur juga mengalami penurunan namun cenderung tidak mengalami

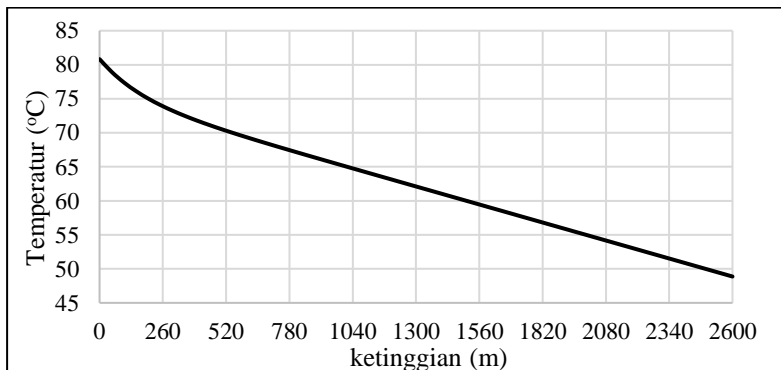
perubahan dikarenakan ketika memasuki reservoir CO₂ memiliki temperatur sama dengan temperatur reservoir.

4.3 Hasil Pemodelan pada *Production Well*

Permodelan tekanan pada *production well* menggunakan metode Beggs-Brill sedangkan permodelan temperatur menggunakan persamaan perpindahan panas. Kondisi *input* untuk permodelan berdasarkan karakteristik tekanan dan temperatur hasil dari permodelan reservoir. Hasil kurva tekanan dan temperatur pada *production well* terhadap fungsi kedalaman sumur dinyatakan dalam Gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Kurva tekanan pada *production well*



Gambar 4.6 Kurva temperatur pada *production well*

Pada kurva 4.5 dan 4.6 menunjukkan tekanan dan temperatur *natural gas* produksi mengalami penurunan seiring dengan mendekatnya ke permukaan bumi. Hal tersebut disebabkan adanya gradien temperatur batuan di sekeliling *tubing production well* yang memberikan *input* panas pada *natural gas* sehingga mengakibatkan temperatur dari *natural gas* akan mengalami penurunan dikarenakan seiring dengan bertambah jarak dari reservoir maka formasi batuan yang berada di sekeliling *tubing production well* mengalami penurunan. Tekanan *natural gas* mengalami penurunan dikarenakan melawan gaya gravitasi dan adanya rugi gesekan. Dengan menurunnya tekanan juga mengakibatkan temperatur *natural gas* mengalami penurunan

Gradien tekanan dan temperatur pada *production well* divalidasi untuk setiap kedalaman 50 m dengan perangkat lunak PIPESIM. Didapatkan hasil rata-rata *error* untuk tekanan sebesar 0.927% dan temperatur sebesar 0.743%. Hasil validasi ditampilkan pada lampiran I.

Nilai *properties* fluida seperti massa jenis, viskositas, dan *mass heat capacity* yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan persamaan regresi yang didapatkan dari *software* simulasi PIPESIM. Kemudian, *properties thermal conductivity* didapatkan dari simulasi *software* HYSYS.

4.4 Hasil Perhitungan *Natural Gas Recovery*, *Production Rate*, Biaya Pemisahan CO₂, Biaya Operasional

Volume *natural gas* yang tersimpan dalam reservoir atau *Original Gas in Place* (OGIP) pada batuan *shale* Barnett dihitung dengan menggunakan persamaan 3.4, didapatkan nilai OGIP sebesar 1855485.432 m³ *natural gas* tau sebesar 65.53 MMCF. Dengan menggunakan persamaan 3.3 diperoleh nilai *gas* sebesar 95.238 % dari OGIP sehingga diperoleh *natural gas* yang akan diproduksi (*cumulative production*) adalah sebesar 1767128.983 m³ atau 62.41 MMCF *natural gas*.

Karakteristik dari reservoir yang pada tugas akhir ini memiliki jenis *wet gas reservoir* dimana *natural gas* yang terkandung pada reservoir terdiri atas gas metana (CH₄) dan gas

kondensat. Gas kondensat merupakan campuran berdensitas rendah yang merupakan komponen gas alam selain CH₄. Setelah dilakukan injeksi CO₂ pada reservoir shale, komposisi fluida pada reservoir akan berubah menjadi seperti berikut.

Tabel 4.3 Komposisi *natural gas* setelah dilakukan injeksi

Komponen	n	%nt	Mr (g/mol)
<i>Methane</i>	0.6829	68.29015	16.043
<i>Ethane</i>	0.01715217	1.71522	30.07
<i>Propane</i>	0.00108558	0.1085583	44.097
<i>Isobutane</i>	0.000123032	0.01230327	58.124
<i>Butane</i>	0.000159218	0.01592188	58.124
<i>Isopentane</i>	6.51E-05	0.006513495	72.151
<i>Hexane</i>	0.000108558	0.01085583	86.178
<i>Hydrogen</i>	7.24E-05	0.007237217	4.003
<i>Helium</i>	0.000629637	0.06296379	2.016
<i>Nitrogen</i>	0.02113263	2.113267	28.014
<i>Carbon Dioxide</i>	0.2765694	27.65701	44.009

Hasil komposisi pada Tabel 4.3 merupakan hasil simulasi pencampuran dengan menggunakan *software* HYSYS. Didapatkan komposisi fraksi produksi CH₄ dan gas kondensat pada *natural gas* sebesar 68.29% dan 31.71%. Sehingga total laju produksi *natural gas* sebesar 29.029 m³/hari sedangkan laju produksi pada CH₄ dan gas kondensat adalah masing-masing sebesar 19.824 m³/hari dan 9.205 m³/hari.

Pendapatan merupakan hasil penjualan *natural gas* per hari dan dinyatakan dalam persamaan 3.1. Kondisi harga pasar *natural gas* per tanggal 10 Mei 2019 berdasarkan data NYMEX dan NGX untuk CH₄ jenis Henry Hub mempunyai harga 2.337 USD/MMBtu, sedangkan gas kondensat jenis EDMONTON *Condensate* mempunyai harga 68.096 USD/bbl. Dengan laju produksi CH₄ dan gas kondensat adalah masing-masing sebesar 0.7014 MMBtu/hari dan 54.135 bbl/hari didapatkan pendapatan per hari masing-masing sebesar 1.639 USD/hari dan 3686 USD/hari.

Biaya pengadaan CO₂ bergantung pada laju aliran massa injeksi CO₂, semakin besar laju injeksi maka jumlah CO₂ yang diinjeksikan akan semakin banyak sehingga akan meningkatkan biaya pengadaan CO₂. Perhitungan biaya pengadaan CO₂ berdasarkan pada persamaan 3.9. Dengan harga per ton CO₂ adalah sebesar USD 15.543 dan laju massa injeksi per harinya adalah 26.3 ton/hari maka biaya pengadaan CO₂ per harinya adalah sebesar 408.789 USD/hari.

Volume CO₂ yang terbawa ke *production line* adalah sebesar 27.7% dari total *natural gas* yang terproduksi atau sebesar 6.927 ton/hari. Dengan biaya pemisahan gas CO₂ sebesar 15 USD/ton maka total biaya proses pemisahan CO₂ per hari nya adalah sebesar USD 103.912.

Biaya operasional pompa yang digunakan pada proses injeksi CO₂ dapat dihitung dari energi listrik yang digunakan pompa selama beroperasi. Energi listrik bergantung pada daya pompa yang dibutuhkan untuk menghasilkan tekanan injeksi yang sesuai. Perhitungan biaya operasional pompa menggunakan hasil permodelan *pressure drop* dari *injection well* hingga *production well*, dimana perbedaan tekanan akan mempengaruhi daya pompa yang dihasilkan. Sehingga dengan persamaan 3.12 didapatkan biaya operasional pompa adalah 128.751 USD/hari.

Sehingga setelah perhitungan pendapatan dan biaya didapatkan maka *profit* dapat ditentukan. *Profit* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan *profit* CO₂ EGR dan *carbon sequestration*

Parameter	Nilai	Satuan
Pendapatan CH ₄	1.639	USD/hari
Pendapatan gas kondensat	3686.378	USD/hari
Biaya pengadaan CO ₂	408.789	USD/hari
Biaya pemisahan CO ₂	103.912	USD/hari
Biaya operasional pompa	128.751	USD/hari
<i>Profit</i>	3046.566	USD/hari

4.5 CO₂ Sequestration

Carbon sequestration adalah suatu cara mengurangi emisi CO₂ dengan memindahkan CO₂ ke dalam lapisan bumi. Pada tugas akhir ini hasil Perhitungan CO₂ yang terserap dan tersimpan dalam reservoir batuan *shale* Barnett dengan menggunakan persamaan 3.13, didapatkan nilai CO₂ yang terserap 73.66% dari CO₂ yang diinjeksikan. Nilai tersebut menghasilkan jumlah penyimpanan CO₂ per harinya adalah sebesar 19.373 ton/hari. Jumlah total CO₂ yang tersimpan selama proses EGR dan *carbon sequestration* bergantung pada lama waktu operasi injeksi CO₂. Tabel 4.5 menunjukkan jumlah CO₂ yang dapat tersimpan selama selang waktu tertentu.

Hasil perhitungan dan simulasi pencampuran dengan menggunakan *software* HYSYS didapatkan nilai fraksi setelah terjadi pencampuran adalah untuk *natural gas* sebesar 72.3% dan CO₂ sebesar 27.7%. Hasil tersebut menunjukkan terjadi peningkatan konsentrasi CO₂ yang terkandung dalam *natural gas* yang semula hanya 0.04%.

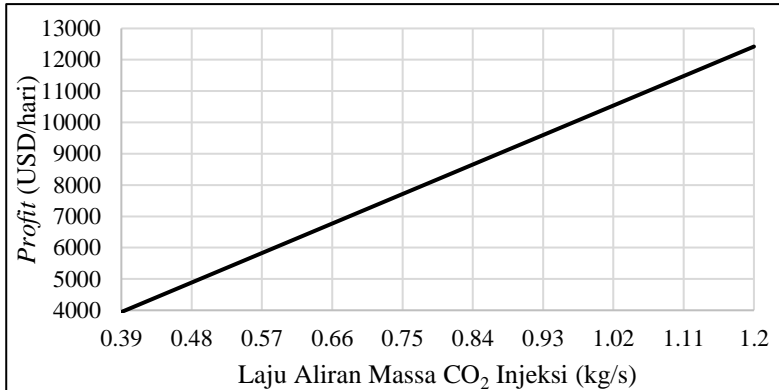
Tabel 4.5 Jumlah CO₂ yang tersimpan dalam satuan waktu

Jumlah Hari	CO ₂ Tersimpan (ton)
10	193.727
30	581.181
50	968.636
70	1356.089
90	1743.57

4.6 Analisis Sensitifitas

Analisis sensitivitas digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan salah satu variabel yang dioptimisasi (tekanan, temperatur dan laju aliran injeksi CO₂) terhadap nilai *objective function (profit)*. Pada Gambar 4.7 menampilkan kurva analisis sensitivitas perubahan tekanan injeksi CO₂ terhadap *profit*. Kenaikan laju aliran massa injeksi CO₂ dengan temperatur dan tekanan injeksi CO₂ yang konstan akan meningkatkan *profit* CO₂ EGR secara linier. Hal tersebut dikarenakan semakin besar CO₂

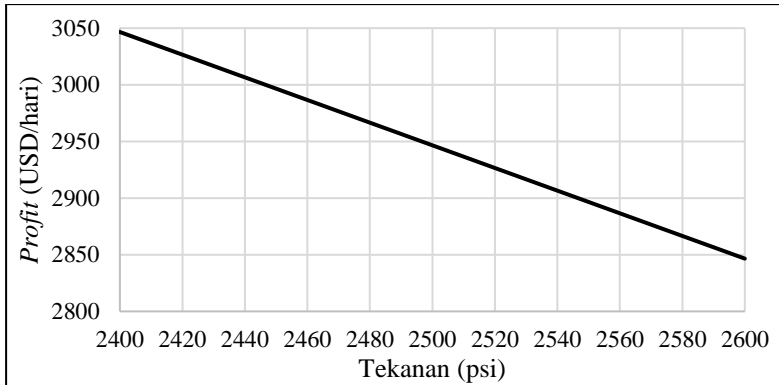
yang diinjeksikan ke dalam reservoir akan meningkatkan *natural gas* yang diproduksi walaupun biaya pengadaan, pemisahan CO₂ dan operasional pompa juga akan meningkat.



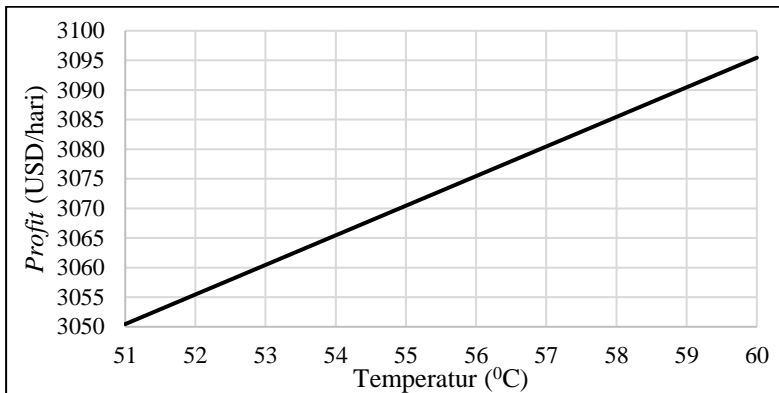
Gambar 4.7 Kurva analisis sensitifitas perubahan laju aliran massa injeksi

Analisis sensitifitas untuk perubahan tekanan injeksi CO₂ dengan laju aliran massa dan temperatur injeksi CO₂ yang tetap ditampilkan pada Gambar 4.8. Pada kurva tersebut terlihat bahwa kenaikan nilai tekanan injeksi CO₂ akan menurunkan *profit* yang didapatkan. Hal tersebut dikarenakan peningkatan tekanan injeksi justru akan menurunkan produksi *natural gas* sedangkan biaya operasional pompa meningkat.

Sedangkan analisis sensitifitas perubahan temperatur injeksi CO₂ dengan laju aliran massa dan tekanan injeksi CO₂ yang tetap akan meningkatkan *profit* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Peningkatan temperatur injeksi akan meningkatkan *natural gas* yang diproduksi dan juga menurunkan biaya operasional pompa.



Gambar 4.8 Kurva analisis sensitifitas perubahan tekanan injeksi



Gambar 4.9 Kurva analisis sensitifitas perubahan temperatur injeksi

Dari beberapa hasil tersebut, menunjukkan bahwa laju aliran massa dan temperatur yang tinggi akan meningkatkan *profit*. Namun, untuk mendapatkan laju aliran massa yang tinggi diperlukan tekanan injeksi CO₂ yang tinggi. Sedangkan, tekanan injeksi yang tinggi akan menurunkan *profit* dikarenakan menurunkan laju produksi natural gas dan juga meningkatkan biaya operasi pompa. Sehingga diperlukan penentuan kombinasi variabel laju aliran massa, temperatur dan tekanan injeksi CO₂

yang tepat agar *profit* yang diperoleh dapat maksimal. Dengan menggunakan teknik optimisasi dengan metode stokastik akan diperoleh nilai variabel-variabel yang optimum.

4.7 Teknik Optimisasi

Optimisasi dilakukan untuk mencari nilai variabel optimisasi dari proses EGR yaitu tekanan, temperatur, dan laju aliran massa injeksi CO₂ yang paling optimum. Dengan didapatkannya nilai variabel optimisasi yang optimum maka proses EGR akan berlangsung optimal sehingga fungsi objektif yaitu *profit* akan maksimal. *Profit* merupakan jumlah dari pendapatan dan biaya operasi injeksi CO₂ EGR yang meliputi biaya pengadaan dan pemisahan CO₂ serta biaya operasional pompa. Teknik optimisasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan teknik optimisasi *stochastic algorithms* dikarenakan dapat mencari global optimum diantara lokal optimum yang ada pada model tugas akhir ini. Teknik optimisasi *stochastic algorithms* yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari beberapa jenis yaitu *Killer Whale Algorithm* (KWA), *Genetic Algorithm* (GA), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Berdasarkan hasil optimisasi diperoleh hasil terbaik dari setiap jenis teknik optimisasi yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 untuk hasil variabel yang dioptimisasi.

Tabel 4.6 Parameter optimal hasil optimisasi

Variabel Optimisasi	Teknik Optimisasi		
	KWA	GA	PSO
Tekanan Injeksi (psia)	2400	2400	2400
Temperatur Injeksi (°C)	50	50	50.0015
Laju Aliran Massa Injeksi (kg/s)	1.2	1.20002399	1.2

Hasil perhitungan pendapatan, biaya pengadaan CO₂, biaya pemisahan CO₂, biaya operasional pompa dan net profit pada setiap teknik optimisasi berdasarkan hasil variabel yang dioptimisasi dapat dilihat pada Tabel 4.7 :

Tabel 4.7 Perhitungan *profit* CO₂ EGR setelah dioptimisasi

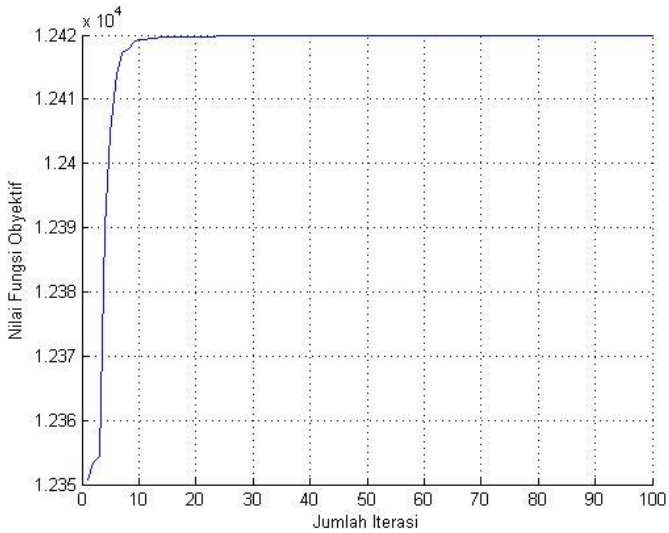
Parameter	Nilai	Satuan
Pendapatan CH ₄	6.462	USD/Hari
Pendapatan gas kondensat	14532.37	USD/Hari
Biaya pembelian CO ₂	1611.519	USD/Hari
Biaya pemisahan CO ₂	409.639	USD/Hari
Biaya operasional pompa	96.025	USD/Hari
<i>Profit</i>	12421.649	USD/Hari

Berdasarkan perhitungan *profit* didapatkan hasil *profit* yang optimum yaitu 12421.649 USD/hari. Ketiga teknik optimasi yaitu GA, KWA dan PSO mengalami peningkatan *profit* rata-rata sebesar 215% dibandingkan sebelum dilakukan optimisasi yang hanya data memberikan profit 3046.566 USD/hari. Sedangkan *error objective function* yaitu profit pada hasil matlab dan hasil perhitungan menghasilkan kurang dari 5%.

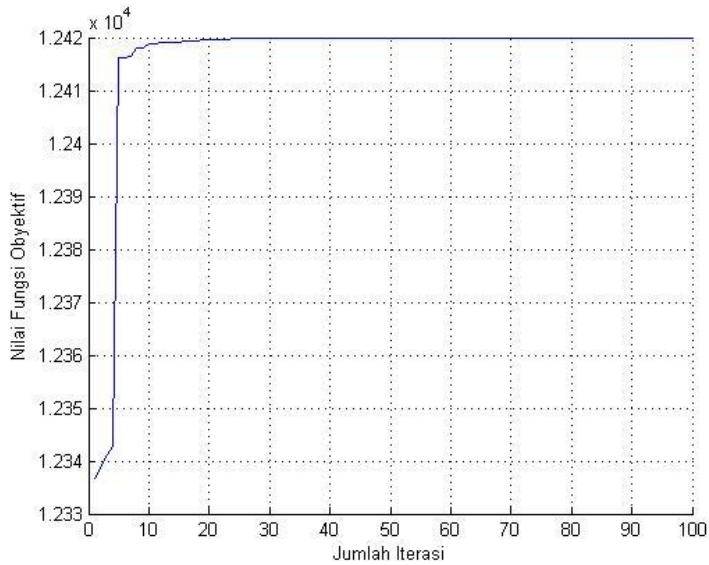
Tabel 4.8 Nilai *error profit* CO₂ EGR pada perhitungan dan teknik optimasi

Teknik Optimisasi	<i>Profit</i> (USD/day)	<i>Error</i> (%)
KWA	12419	0.0213
PSO	12419.8613	0.0145
GA	12419.85	0.0144

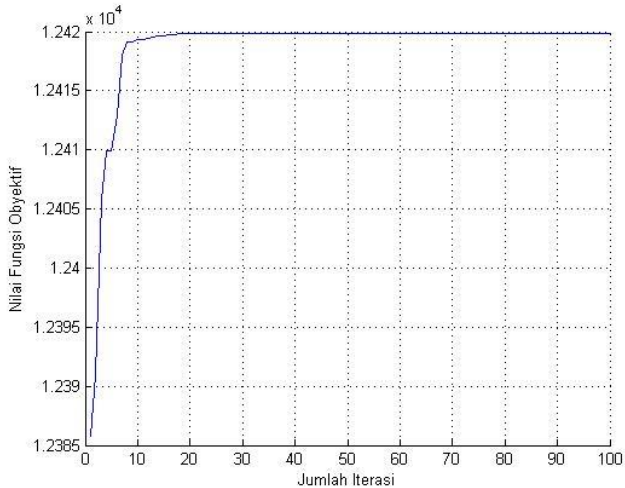
Hasil plot *fitness* terbaik dari setiap iterasi pada proses optimisasi GA, KWA dan PSO ditunjukkan pada Gambar 4.9 hingga 4.11. Dengan menggunakan teknik optimisasi stokastik setiap iterasi menghasilkan nilai *local optimum* dimana nilai tersebut merupakan nilai *objective function* terbaik pada iterasi tersebut. Nilai *fitness* akan berada pada nilai yang konstan apabila telah mencapai *global optimum* dan nilai tersebut merupakan nilai hasil optimisasi yang paling optimum. Proses optimisasi akan terus berlanjut hingga mencapai batas jumlah iterasi.



Gambar 4.10 Plot *fitness* terbaik setiap generasi GA

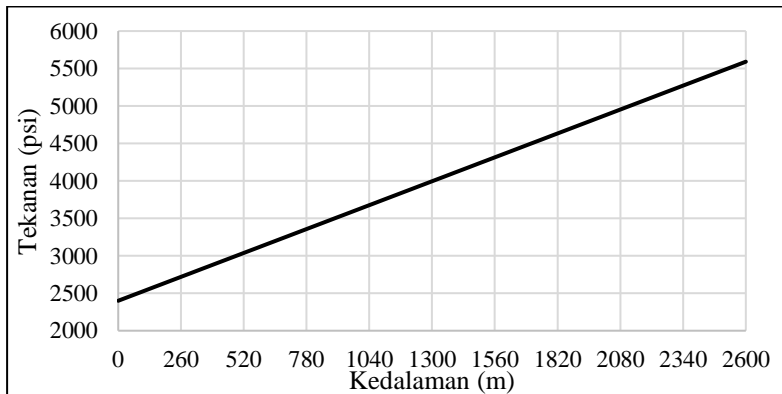


Gambar 4.11 Plot *fitness* terbaik setiap generasi KWA

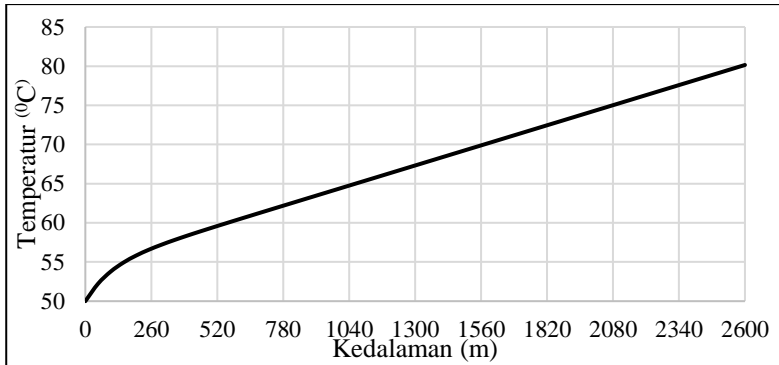


Gambar 4.12 Plot *fitness* terbaik setiap generasi PSO

Dengan parameter input sesuai dengan Tabel 4.6 yang didapatkan dari hasil optimisasi KWA, GA dan PSO, maka plot kurva tekanan dan temperatur CO₂ EGR ditunjukkan pada gambar 4.7 hingga 4.12.

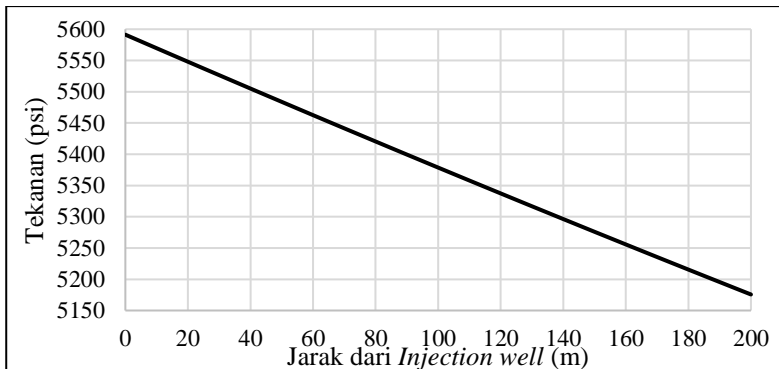


Gambar 4.13 Kurva tekanan pada *injection well* setelah dilakukan optimisasi

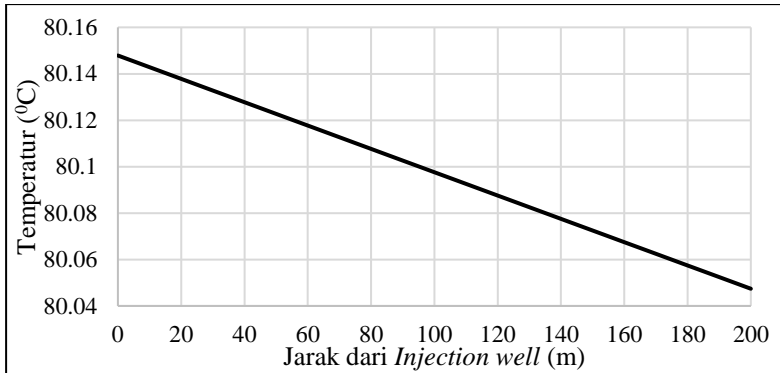


Gambar 4.14 Kurva temperatur pada *injection well* setelah dilakukan optimisasi

Laju aliran massa CO_2 yang lebih besar menghasilkan *pressure drop* pada reservoir yang semakin besar. Hal tersebut dikarenakan laju aliran *natural gas* yang melalui batuan semakin besar selain itu dikarenakan tekanan pada reservoir yang lebih rendah menyebabkan viskositas *natural gas* turun. Temperatur pada *natural gas* di reservoir cenderung tidak berubah dikarenakan mengikuti reservoir. Berikut merupakan kurva gradien tekanan dan temperatur pada reservoir setelah dilakukan optimisasi.

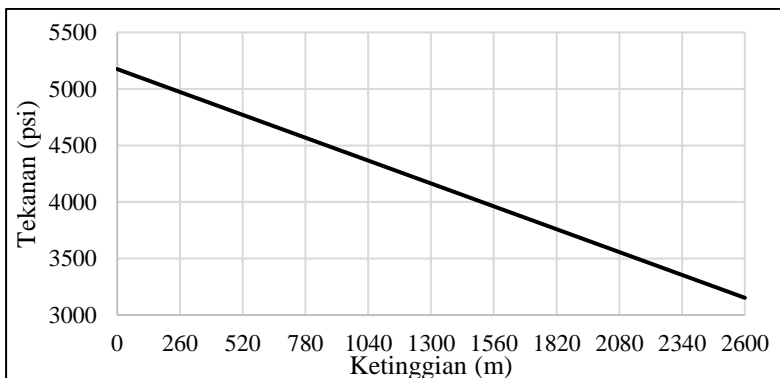


Gambar 4.15 Kurva tekanan pada reservoir setelah dilakukan optimisasi

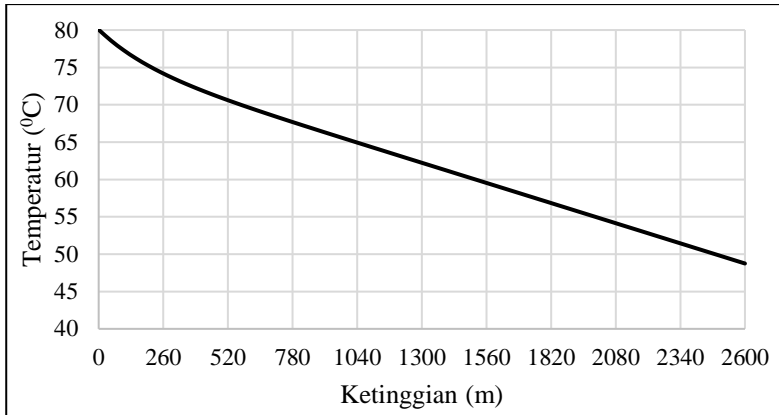


Gambar 4.16 Kurva temperatur pada reservoir setelah dilakukan optimisasi

Kondisi *natural gas* pada *production well* setelah dilakukan optimisasi juga sama dengan kondisi operasi normal. Tekanan dan temperatur akan menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari reservoir. Berikut merupakan kurva gradien tekanan dan temperatur pada *production well* setelah dilakukan optimisasi.



Gambar 4.17 Kurva tekanan pada *production well* setelah dilakukan optimisasi



Gambar 4.18 Kurva tekanan pada *production well* setelah dilakukan optimisasi

Hasil perhitungan CO₂ yang terserap (*Carbon sequestration*) dan tersimpan dalam reservoir batuan *shale* Barnett setelah dioptimisasi sebesar 76.371 ton/hari. Hasil tersebut menunjukkan peningkatan jumlah CO₂ yang dapat tersimpan dalam batuan *shale* Barnett sebesar 294% dari jumlah CO₂ yang belum dioptimisasi yaitu sebesar 19.373 ton/hari.

BAB V KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil tugas akhir mengenai optimisasi peningkatan produksi *natural gas* pada CO₂ EGR di batuan *shale* adalah:

1. CO₂ EGR dapat dimodelkan dengan baik dengan membagi menjadi tiga bagian yaitu *injection well*, reservoir, dan *production well*. Permodelan *pressure drop* pada *injection* dan *production well* dapat menggunakan metode Beggs-Brill sedangkan pada reservoir dengan menggunakan persamaan Darcy. Permodelan gradien temperatur dapat menggunakan persamaan perpindahan panas. Hasil validasi permodelan *pressure drop* dan gradien temperatur pada *injection well* menunjukkan rata-rata *error* masing-masing sebesar 0.5177% dan 2.1523% dibandingkan dengan simulasi *software* PIPESIM. Kemudian, pada reservoir Hasil validasi permodelan *pressure drop* dan gradien temperatur pada reservoir menunjukkan rata-rata *error* masing-masing sebesar 0.05152% dan 0.03588% dibandingkan dengan simulasi *software* COMSOL *Multiphysics*. Sedangkan, hasil validasi permodelan *pressure drop* dan gradien temperatur pada *production well* menunjukkan rata-rata *error* masing-masing sebesar 0.927% dan temperatur yaitu 0.743% dibandingkan dengan simulasi *software* PIPESIM. Dari hasil permodelan dihasilkan CO₂ yang tersimpan per harinya adalah sebesar 19.37 ton/hari.
2. Berdasarkan analisis sensitivitas, *profit* akan meningkat terhadap peningkatan variabel laju aliran massa dan temperatur injeksi CO₂ serta penurunan tekanan injeksi CO₂. Dengan melakukan optimisasi pada ketiga variabel tersebut menggunakan *stochastic algorithms* dan Teknik optimasi *Genetic Algorithm* (GA), *Killer Whale Algorithm* (KWA) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Hasil optimisasi menunjukkan peningkatan *profit* dari 3046.566

USD/hari menjadi 12421.649 USD/hari atau terjadi peningkatan sebesar 176.88% 4dari kondisi awal injeksi tanpa optimisasi. Dengan menggunakan parameter injeksi yang telah dioptimisasi CO₂ yang dapat tersimpan adalah sejumlah 76.371 ton/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perrin, J., & Geary, E. (15 February, 2019). *EIA adds new play production data to shale gas and tight oil reports*. Retrieved from U.S. Energy Information Administration: www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=38372
- [2] Giberti G, Yven B, Zamora, M, Vanorio T (2006) Database on laboratory measured data on physical properties of rocks of Campi Flegrei volcanic area (Italy). In: Zollo, Capuano, Corciulo (eds) *Geophysical exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy) Caldera's interiors: data, methods and results*, vol 1, pp 179–192
- [3] Soeder, D.J., *Shale gas development in the United States*. 2012: INTECH Open Access Publisher.
- [4] Fisher, J. (2019, Mei 22). *Barnett Shale Daily*. Retrieved from Natural Gas Intelligence: <https://www.naturalgasintel.com/articles/103597-bass-others-settle-barnett-shale-royalties-lawsuit-with-chesapeake>
- [5] C. M. Oldenburg, S. H. Stevens, and S. M. Benson, "ECONOMIC FEASIBILITY OF CARBON SEQUESTRATION WITH ENHANCED GAS RECOVERY (CSEGR)," no. 1, pp. 1–20.
- [6] M. D. Cakici, "Co-optimization of Oil Recovery and Carbon Dioxide Storage," 2003.
- [7] D. D. Mamora and J. G. Seo, "Enhanced Recovery by Carbon Dioxide Sequestration in Depleted Gas Reservoirs," *SPE Annu. Tech. Conf. Exhib.*, pp. 1–9, 2002
- [8] A. Al-Hashimi, S. R. Ren, B. Tohidi, P. Engineering, and H.-W. U, "CO 2 Injection for Enhanced Gas Recovery and Geo-Storage : Reservoir Simulation and Economics," 2005
- [9] Li, X., & Elsworth, D. (2014). *Effect of CO2 injectivity on Enhanced Shale*. Pennsylvania: ARMA, American Rock Mechanics Association.
- [10] Li, Z. (2016). *CO2 And N2 Injection To Enhance Shale Gas Recovery*. Pennsylvania: The Pennsylvania State

University.

- [11] Febriansyah, L. R. (2018). *Optimisasi Kondisi Operasi Pada Proses Injeksi CO₂ Enhanced Gas Recovery Dan Carbon Sequestration Menggunakan Stochastic Optimization Algorithm*. Surabaya: Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12] Deshpande, V. P. (2008). *GENERAL SCREENING CRITERIA FOR SHALE GAS RESERVOIRS AND PRODUCTION DATA ANALYSIS OF BARNETT SHALE*. Texas: Texas A&M University.
- [13] C. Khan, R. Amin, and G. Madden, "Carbon dioxide injection for enhanced gas recovery and storage (reservoir simulation)," *Egypt. J. Pet.*, vol. 22, no. 2, pp. 225–240, 2013.
- [13] Zoback, M., S. Kitasei, and B. Copithorne, Addressing the environmental risks from shale gas development. Vol. 21. 2010: Worldwatch Institute Washington, DC.
- [14] Langford, F.F., and M.-M. Blanc-Valleron, 1990, Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. TOC: AAPG Bulletin, v. 74, p. 799-804.
- [15] Peters, K.E., L.B. Magoon, K.J. Bird, Z.C. Valin, and M.A. Keller, 2006, North Slope, Alaska, Source rock distribution, richness, thermal maturity, and petroleum charge: AAPG Bulletin, v. 90, p. 261-292
- [16] Manger, G. E. (1963). *Porosity and Bulk Density of Sedimentary Rocks*. Washington, USA: U.S. Atomic Energy Commission.
- [17] C. M. O. K. P. S. M. Benson, "Process modeling of CO₂ injection into natural gas reservoirs for carbon sequestration and enhanced gas recovery," *Energy & Fuels*, vol. 15, pp. 96–120, 2016.
- [18] U. Beggs, D.H., U.; Brill, J.P., "A Study of Two-Phase Flow in Inclined Pipes," *Journal of Petroleum Technology*, vol. 25, no. 5. pp. 607–617, 1973.
- [19] B. Ruan, R. Xu, L. Wei, and P. Jiang, "Thermal modelling in and around a CO₂ injector," *Energy Procedia*, vol. 37, pp. 3283–3290, 2013.

- [20] Schlumberger, “Schlumberger Oilfield Glossary.” [Online]. Available:
<http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/p/permeability.aspx>. [Accessed: 20-Feb-1BC].
- [21] O. B. A, “TOWARDS MODELING HEAT TRANSFER USING A LATTICE BOLTZMANN METHOD FOR POROUS MEDIA,” The School of Graduate Studies Laurentian, 2014.
- [22] J. W. Harbaugh, “Carbonate Oil Reservoir Rocks,” *Elsevier Publ. Co.*, pp. 351–352, 1967.
- [23] R. P. Singh and E. Al, “*Handling System for Newtonian*”, in *Introduction to Food Engineering - Fifth Edition*. London: Elsevier, Inc, 2014, 2014.
- [24] H. Gu *et al.*, “Steam injection for heavy oil recovery: Modeling of wellbore heat efficiency and analysis of steam injection performance,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 97, pp. 166–177, 2015.
- [25] P. Incropera and Et.al, *Fundamentals of Heat and Mass Transfers*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [26] T. R. Biyanto *et al.*, “Killer Whale Algorithm: An Algorithm Inspired by the Life of Killer Whale,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 124, pp. 151–157, 2017.
- [27] T. R. Biyanto, M. N. Syamsi, H. Y. Fibrianto, and N. Afdanny, “Optimization of Energy Efficiency and Conservation in Green Building Design Using Duelist, Killer-Whale and Rain-Water Algorithms,” in *International Conference of Applied Science and Technology for Infrastructure Engineering*, 2017.
- [28] K. F. Man, K. S. Tang, and S. Kwong, “Genetic algorithms: Concepts and applications,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 43, no. 5, pp. 519–534, 1996
- [29] C. G. Gutiérrez-Arriaga, M. Serna-González, J. M. Ponce-Ortega, and M. M. El-Halwagi, “Multi-objective optimization of steam power plants for sustainable generation of electricity,” *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 15, no. 4, pp. 551–566, 2013.

- [30] M. Settles, "An Introduction to Particle Swarm Optimization," *Thesis PSO paage 8*, no. February, pp. 1–8, 2005.
- [31] S. A. Putra, "Perbandingan Model Algoritma Particle Swarm Optimization," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2016.
- [32] R. C. Burruss and R. T. Ryder, "Composition of crude oil and natural gas produced from 14 wells in the Lower Silurian 'Clinton' sandstone and Medina Group, northeastern Ohio and northwestern Pennsylvania," *USGS Open File Rep.*, no. 03-409, pp. 1–70, 2003.
- [33] Strickland, R.F., D.C. Purvis, and T. A. Blasingame. *Practical aspects of reserves determinations for shale gas*. in *Norh American Unconventional Gas Conference and Exhibition*. 2011. Society of Petroleum Engineers.
- [34] Wang, F.P. and R.M. Reed. *Pore etworks and fluid flow in gas shale*. in *SPE annual technical conference and exhibition*. 2009. Society of Petroleum Engineers.
- [35] Kuuskraa, V.A., et al., *Barnett Shale rising star in Fort Worth basin*. *Oil and Gas Journal*, 1998. 96: p.67-76
- [36] U.S. Geological Survey, "Characteristics of discrete and basin-centered parts of the Lower Silurian regional oil and gas accumulation, Appalachian basin," 1998. [Online]. Available: <https://pubs.usgs.gov/of/1998/of98-216/AppI.html>.

LAMPIRAN

Lampiran A Penurunan Rumus Beggs-Brill

Dasar penurunan aliran fluida adalah kesetimbangan energi pada fluida yang mengalir antara dua titik. Dengan mengasumsikan tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada fluida. Bentuk *steady state* energi mekanik dari sistem aliran fluida dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$\frac{dp}{\rho_{tp}} + \frac{g}{g_c} dh + \frac{v_m \cdot d(v_m)}{g_c} + d(w_f) = 0 \quad (1)$$

Dengan $d(w_f)$ adalah rugi gesekan *irreversible*. Pada aliran fluida vertikal keatas atau kebawah, maka berlaku Persamaan (2).

$$dh = \sin \theta \cdot dZ \quad (2)$$

Dengan dh adalah jarak perpindahan vertikal, θ adalah sudut kemiringan pipa terhadap horizontal, dan dZ adalah jarak perpindahan axial. Substitusi Persamaan (1) dan (2) adalah Persamaan (3).

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = -\left(\frac{g}{g_c} \rho_{tp} \sin \theta + \rho_{tp} \frac{v_m \cdot d(v_m)}{g_c \cdot dZ} + \rho_{tp} \frac{d(w_f)}{dZ}\right) \quad (3)$$

Komponen dalam Persamaan (3) merepresentasikan rugi akibat gesekan, elevasi, dan gravitasi. Nilai rugi gravitasi diabaikan karena nilainya relative kecil.

Gradien tekanan akibat gesekan

Pada aliran dua fasa, densitas tanpa slip akan bernilai berbeda dengan densitas sebenarnya dikarenakan gesekan antar fasenya. Densitas tanpa gesekan digunakan dalam perhitungan rugi gesekan

dikarenakan adanya perpindahan energi dari suatu tempat. Persamaan *friction loss* dinyatakan dalam persamaan (4).

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{friction} = -\left(\rho_{tp} \frac{dw_f}{dz}\right) \quad (4)$$

Dengan hubungan untuk menyelesaikan persamaan tersebut adalah:

$$\rho_{tp} = \rho_L \cdot H_L + \rho_G \cdot (1 - H_L) \quad (5)$$

$$\rho_{ns} = \rho_L \cdot \lambda + \rho_G \cdot (1 - \lambda) \quad (6)$$

$$\frac{d(w_f)}{dz} = \frac{f_{tp} \cdot v_m^2}{2 \cdot g_c \cdot d} \quad (7)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (4), (5), (6), dan (7) maka diperoleh Persamaan (8).

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{friction} = \frac{f_{tp} \cdot G_m \cdot v_m}{2 \cdot g_c \cdot d} \quad (8)$$

Gradien tekanan akibat elevasi

Sesuai dengan persamaan (3), maka gradien tekanan akibat elevasi dinyatakan dalam persamaan (9).

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{g}{g_c} \rho_{tp} \sin \theta \quad (9)$$

Untuk menentukan densitas in-situ dari campuran gas-liquid, maka perlu dihitung nilai fraksi *Holdup* dinyatakan dalam persamaan (10).

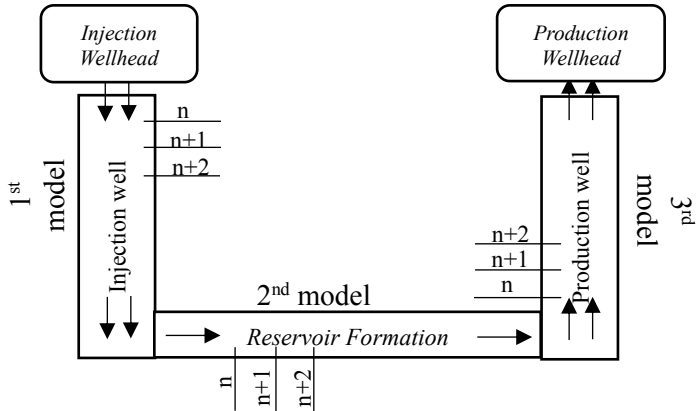
$$H_L = \frac{\text{Volume of liquid element}}{\text{Volume of the element}} \quad (10)$$

Nilai densitas insitu dinyatakan dalam persamaan (5). Maka bentuk substitusi persamaan (9) dan (5) adalah.

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{el} = \frac{g}{g_c} [\rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L)] \cdot \sin \theta \quad (11)$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran B Contoh Perhitungan *Pressure Drop* Menggunakan Beggs-Brill pada *Injection Well*



Gambar B. 1 Segmentasi model CO₂ EGR dan *carbon sequestration*

Permodelan pada operasi CO₂ EGR dan *carbon sequestration* pada batuan shale dilakukan seperti pada gambar B.1. Model dibagi menjadi tiga bagian yaitu model gradien tekanan dan temperatur pada *injection well*, reservoir, dan *production well*. Pada bagian pertama dan ketiga dilakukan perhitungan untuk setiap kedalaman (*n*) 50 m. Input kondisi operasi yang digunakan adalah sesuai pada tabel berikut ini:

Tabel B.1 Parameter input untuk permodelan gradien tekanan dan temperatur

Parameter	Nilai	Satuan
Gravitasi	9.8	m/s ²
Diameter aliran	0.089	m
Kedalaman sumur	2600	m
Tekanan injeksi	2400	psia
Laju massa uap injeksi	0.30443	kg/s
Temperatur injeksi	50	C

Dalam perhitungan *pressure drop* diperlukan variabel lain. Berikut merupakan tahapan perhitungan *pressure drop* pada *injection well*.

- Menghitung q

$$q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$q = \frac{0.3044}{862.84}$$

$$q = 0.0003528 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Menghitung A

$$A = 3.14 \times D^2/4$$

$$A = 3.14 \times 0.127^2$$

$$A = 0.0127 \text{ m}^2$$

- Menghitung λ

$$\lambda = \frac{q_L}{(q_L + q_g)}$$

dikarenakan seluruh fraksi CO₂ adalah *liquid* maka $q_g = 0$

$$\lambda = \frac{0.00033787}{(0.00033787 + 0)}$$

$$\lambda = 1$$

- Menghitung v

$$v = \frac{q}{A}$$

$$v = \frac{0.0003528}{0.0127}$$

$$v = 0.0279 \text{ m/s}$$

- Menghitung σ

$$\sigma = 0.07275 \times (1 - 0.002 \times (T - 291))$$

$$\sigma = 0.07275 \times (1 - 0.002 \times (324.15 - 291))$$

$$\sigma = 0.06793 \text{ N/m}$$

- Menghitung N_{LV}

$$N_{LV} = v \left(\frac{\rho}{g\sigma} \right)^{0.25}$$

$$N_{LV} = 0.0267 \left(\frac{862.84}{9.8 \times 0.06793} \right)^{0.25}$$

$$N_{LV} = 26.6165$$

- Menghitung N_{FR}

$$N_{FR} = \frac{v^2}{gD}$$

$$N_{FR} = \frac{0.0279^2}{9.8 \times 0.127}$$

$$N_{FR} = 0.0006238$$

- Menghitung $H_L(0)$

- Jika $N_{FR} < L_1$ maka pola aliran *segregated*.

- Jika $N_{FR} > L_1$ dan $N_{FR} > L_2$ maka pola aliran adalah *distributed*.

- Jika $L_1 < N_{FR} < L_2$ maka pola aliran *intermittent*.

- L_1 dan L_2 dinyatakan dalam persamaan:

Dimana:

$$X = \ln(\lambda)$$

$$X = \ln(1)$$

$$X = 0$$

$$L_1 = \exp(-4.62 - 3.757X - 0.481X^2 - 0.0207X^3)$$

$$L_1 = \exp(-4.62 - 3.757X - 0.481X^2 - 0.0207X^3)$$

$$L_1 = \exp(-4.62 - 3.757 \times (0) - 0.481 \times (0)^2 - 0.0207X \times (0)^3)$$

$$L_1 = 0.0098523$$

$$L_2 = \exp(1.061 - 4.602X - 1.609X^2 - 0.179X^3 + 0.635 \times 10^{-3}X^5)$$

$$L_2 = \exp(1.061 - 4.602 \times (0) - 1.609 \times (0)^2 - 0.179 \times (0)^3 + 0.635 \times 10^{-3} \times (0)^5)$$

$$L_2 = 2.8893$$

Nilai $N_{FR} < L_1$, sehingga pola aliran nya adalah *segreagated*.

$$H_L(0) = \frac{0.98\lambda^{0.4846}}{N_{FR}^{0.0868}}$$

$$H_L(0) = \frac{0.98(1)^{0.4846}}{(0.0006238)^{0.0868}}$$

$$H_L(0) = 1.8595$$

- Menghitung Ψ

$$C = (1 - \lambda) \ln \left[\frac{4.7N_{LV}^{0.1244}}{\lambda^{0.3692}N_{FR}^{0.5056}} \right]$$

$$C = (1 - 1) \ln \left[\frac{4.7 \times 26.6165^{0.1244}}{1^{0.3692} \times 0.0006238^{0.5056}} \right]$$

$$C = 0$$

$$\Psi = 1 + C(\sin \theta - \frac{1}{3}(\sin \theta)^3)$$

$$\Psi = 1 + 0 \times (\sin \theta - \frac{1}{3}(\sin \theta)^3)$$

$$\Psi = 1$$

Dengan nilai $\theta = 1,8\theta$, pada kasus ini nilai θ adalah -90° karena aliran vertikal kebawah

- Menghitung $H_L(\theta)$

$$\frac{H_L(\theta)}{H_L(0)} = \Psi$$

$$H_L(\theta) = \Psi \times H_L(0)$$

$$H_L(\theta) = 1 \times 1.8595$$

$$H_L(\theta) = 1.8595$$

- Menghitung S

$$y = \frac{\lambda}{[H_L(\theta)]^2}$$

$$y = \frac{1}{[1.8595]^2}$$

$$y = 0.2892$$

$$S = \frac{\ln y}{-0.0523 + 3.182 \ln y - 0.8725(\ln y)^2 + 0.01853(\ln y)^4}$$

$$S = 0.204$$

- Menghitung f_{ns}

Diperlukan nilai Reynold *number* untuk menghitung variable ini, nilai Reynold *number* untuk aliran dua fasa didapatkan melalui persamaan berikut ini.

$$N_{Re} = \frac{[\rho \cdot v \cdot d]}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{[862.84 \times 0.0267 \times 0.127]}{0.00009874}$$

$$N_{Re} = 30924$$

$$f_{ns} = \left[2 \log \left(\frac{N_{Re}}{4.5223 \log(N_{Re} - 3.8215)} \right) \right]^{-2}$$

$$f_{ns} = \left[2 \log \left(\frac{30924}{4.5223 \log(30924 - 3.8215)} \right) \right]^{-2}$$

$$f_{ns} = 0.0233$$

- Menghitung f_{tp}

Berdasarkan, maka diperlukan nilai f_{ns} dan S .

$$\frac{f_{tp}}{f_{ns}} = e^S$$

$$f_{tp} = f_{ns} \cdot e^S$$

$$f_{tp} = 0.0233 \cdot e^{0.20356}$$

$$f_{tp} = 0.0286$$

- Menghitung $\frac{\partial p}{\partial z}$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{2 \cdot f_{tp} \cdot \rho \cdot v^2}{g_c \cdot d} - \frac{g}{g_c} \rho$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{2 \times 0.0286 \times 862.84 \times 0.0279^2}{1 \times 0.127} + \frac{9.8}{1} 862.84$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = 8455.8 \frac{Pa}{m}$$

Sehingga apabila tekanan injeksi 2400 psia, dengan *pressure drop* $8455.8 \frac{Pa}{m}$, maka output tekanan segment pertama (segment n) adalah 61.321 psia.. Perubahan tekanan ini mengakibatkan perubahan pada semua properties CO₂, maka dari itu output segment n, akan menjadi input untuk segment n+1 dan seterusnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran C Contoh Perhitungan *Pressure Drop* Menggunakan Persamaan Darcy pada Reservoar

Parameter input yang digunakan dalam perhitungan *Pressure drop* pada reservoar adalah seperti yang tercantum pada tabel berikut.

Tabel C.1 Tabel parameter input pemodelan pada reservoar

Parameter	Nilai	Satuan
Jarak <i>injection - production well</i>	200	m
Tekanan reservoar	3800	psia
Temperatur reservoar	80.016	°C
Tebal formasi	120	m
Permeabilitas	0.23	mD
Porositas	0.04	-

Persamaan Darcy mengenai permeabilitas dapat dilihat pada persamaan (2.7)

$$\Delta P = \frac{\mu q L}{k A}$$

- Menghitung μ pada $P = 5591.269$ psia dan $T = 79.133$ °C

$$\mu = 0.00000969 \text{ Kg/ms} \text{ berdasarkan tekanan dan temperatur di reservoar}$$

- Menghitung q

$$q = \frac{m}{\rho} = \frac{0.30443 \text{ kg/s}}{1735.156 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.00017543 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Menghitung L

L merupakan panjang segment pada reservoir yang ditentukan yakni 10 meter. Dengan jarak total segmen yakni 200 meter.

$$L = 10$$

- Menghitung k

$$k = 0.23 \text{ mD}$$

$$k = 0.00023 \text{ D} \times 9.869\text{E} - 9 \text{ cm}^2$$

$$k = 2.26\text{E} - 16 \text{ m}^2$$

- Menghitung A

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi 120^2}{4}$$

$$A = 11304 \text{ m}^2$$

- Menghitung ΔP

$$\Delta P = \frac{0.00000969 \times 0.00017543 \times 10}{2.26\text{E} - 16 \times 11304}$$

$$\Delta P = 1.441 \text{ (psi)}$$

Lampiran D Contoh Perhitungan *Pressure Drop* Menggunakan Beggs-Brill pada *Production Well*

Seperti pada *injection well* dalam perhitungan *pressure drop* pada *production well* diperlukan variabel lain. Berikut merupakan tahapan perhitungan *pressure drop* pada *production well*.

- Menghitung q

$$q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$q = \frac{0.7}{557.07}$$

$$q = 0.001257 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Menghitung A

$$A = 3.14 \times D^2/4$$

$$A = 3.14 \times 0.127^2$$

$$A = 0.0127 \text{ m}^2$$

- Menghitung λ

$$\lambda = \frac{q_L}{(q_L + q_g)}$$

dikarenakan seluruh fraksi CO₂ adalah *liquid* maka $q_g = 0$

$$\lambda = \frac{0.001257}{(0.001257 + 0)}$$

$$\lambda = 1$$

- Menghitung v

$$v = \frac{q}{A}$$

$$v = \frac{0.001257}{0.0127}$$

$$v = 0.0993 \text{ m/s}$$

- Menghitung σ

$$\sigma = 0.07275 \times (1 - 0.002 \times (T - 291))$$

$$\sigma = 0.07275 \times (1 - 0.002 \times (353.93 - 291))$$

$$\sigma = 0.0636 \text{ N/m}$$

- Menghitung N_{LV}

$$N_{LV} = v \left(\frac{\rho}{g\sigma} \right)^{0.25}$$

$$N_{LV} = 0.2697 \left(\frac{557.07}{9.8 \times 0.0636} \right)^{0.25}$$

$$N_{LV} = 62.224$$

- Menghitung N_{FR}

$$N_{FR} = \frac{v^2}{gD}$$

$$N_{FR} = \frac{0.0993^2}{9.8 \times 0.127}$$

$$N_{FR} = 0.0079231$$

- Menghitung $H_L(0)$

- Jika $N_{FR} < L_1$ maka pola aliran *segregated*.
- Jika $N_{FR} > L_1$ dan $N_{FR} > L_2$ maka pola aliran adalah *distributed*.
- Jika $L_1 < N_{FR} < L_2$ maka pola aliran *intermittent*.
- L_1 dan L_2 dinyatakan dalam persamaan:

dimana:

$$X = \ln(\lambda)$$

$$X = \ln(1)$$

$$X = 0$$

$$L_1 = \exp(-4.62 - 3.757X - 0.481X^2 - 0.0207X^3)$$

$$L_1 = \exp(-4.62 - 3.757X - 0.481X^2 - 0.0207X^3)$$

$$L_1 = \exp(-4.62 - 3.757 \times (0) - 0.481 \times (0)^2 - 0.0207X \times (0)^3)$$

$$L_1 = 0.009853$$

$$L_2 = \exp(1.061 - 4.602X - 1.609X^2 - 0.179X^3 + 0.635 \times 10^{-3}X^5)$$

$$L_2 = \exp(1.061 - 4.602 \times (0) - 1.609 \times (0)^2 - 0.179 \times (0)^3 + 0.635 \times 10^{-3} \times (0)^5)$$

$$L_2 = 2.8893$$

Nilai $N_{FR} < L_1$, sehingga pola aliran nya adalah *segregated*.

$$H_L(0) = \frac{0.98\lambda^{0.4846}}{N_{FR}^{0.0868}}$$

$$H_L(0) = \frac{0.98(1)^{0.4846}}{(0.0079231)^{0.0868}}$$

$$H_L(0) = 1.4914$$

- Menghitung Ψ

$$C = (1 - \lambda) \ln \left[\frac{4.7 N_{LV}^{0.1244}}{\lambda^{0.3692} N_{FR}^{0.5056}} \right]$$

$$C = (1 - 1) \ln \left[\frac{4.7 \times 62.224^{0.1244}}{1^{0.3692} \times 0.0079231^{0.5056}} \right]$$

$$C = 0$$

$$\Psi = 1 + C(\sin \theta - 1/3 (\sin \theta)^3)$$

$$\Psi = 1 + 0 \times (\sin \theta - 1/3 (\sin \theta)^3)$$

$$\Psi = 1$$

Dengan nilai $\theta = 1,8\theta$, pada kasus ini nilai θ adalah -90° karena aliran vertikal kebawah

- Menghitung $H_L(\theta)$

$$\frac{H_L(\theta)}{H_L(0)} = \Psi$$

$$H_L(\theta) = \Psi \times H_L(0)$$

$$H_L(\theta) = 1 \times 1.4914$$

$$H_L(\theta) = 1.4914$$

- Menghitung S

$$y = \frac{\lambda}{[H_L(\theta)]^2}$$

$$y = \frac{1}{[1.4914]^2}$$

$$y = 0.4496$$

$$S = \frac{\ln y}{-0.0523 + 3.182 \ln y - 0.8725(\ln y)^2 + 0.01853(\ln y)^4}$$

$$S = 0.219$$

- Menghitung f_{ns}

Diperlukan nilai Reynold *number* untuk menghitung variable ini, nilai Reynold *number* untuk aliran dua fasa didapatkan melalui persamaan berikut ini.

$$N_{Re} = \frac{[\rho \cdot v \cdot d]}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{[556.75 \times 0.0993 \times 0.127]}{4.266E - 05}$$

$$N_{Re} = 164603$$

$$f_{ns} = \left[2 \log \left(\frac{N_{Re}}{4.5223 \log(N_{Re} - 3.8215)} \right) \right]^{-2}$$

$$f_{ns} = \left[2 \log \left(\frac{164603}{4.5223 \log(164603 - 3.8215)} \right) \right]^{-2}$$

$$f_{ns} = 0.0163$$

- Menghitung f_{tp}

Berdasarkan, maka diperlukan nilai f_{ns} dan S .

$$\frac{f_{tp}}{f_{ns}} = e^S$$

$$f_{tp} = f_{ns} \cdot e^S$$

$$f_{tp} = 0.0163 \cdot e^{0.219}$$

$$f_{tp} = 0.0202$$

- Menghitung $\frac{\partial p}{\partial z}$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{2 \cdot f_{tp} \cdot \rho \cdot v^2}{g_c \cdot d} - \frac{g}{g_c} \rho$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{2 \times 0.0202 \times 556.75 \times 0.0993^2}{1 \times 0.127} + \frac{9.8}{1} 556.75$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = 5459.3 \frac{Pa}{m}$$

Sehingga apabila tekanan injeksi 2400 psia, dengan *pressure drop* $5459.3 \frac{Pa}{m}$, maka output tekanan segment pertama (segment n) adalah 14.5689 psia. Dengan nilai tekanan ini, maka temperatur juga akan berubah dari 79.7778 °C menjadi 78.8204 °C. Perubahan tekanan dan suhu ini mengakibatkan perubahan pada semua properties steam, maka dari itu output segment n, akan menjadi input untuk segment n+1 dan seterusnya.

Lampiran E Contoh Perhitungan *Heat Transfer* pada *Injection Well* dan *Production Well*

Perhitungan perpindahan panas pada *injection* dan *production well* dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \dot{m} \times c_p \times (T_{CO_2} - T_{wall})$$

$$Q = 0.3044 \times 1979.08 \times (50 - 54.77)$$

$$Q = -8537.74 \text{ W}$$

Nilai besar energi yang hilang menurut perhitungan diatas terjadi pada segment pertama (50 m pertama). Pada segmen kedua, nilai temperatur CO₂ dan dinding *tubing* sudah berubah, maka diperlukan perhitungan kembali untuk menentukan besar energi yang hilang. Nilai energi yang hilang tiap kedalaman ini digunakan pula untuk menentukan nilai perbedaan temperatur untuk segment selanjutnya. Dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta T = \frac{-8537.74}{(2 \times \pi \times 50 \times 0.127 \times 41.5923)}$$

$$\Delta T = -5.14751 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai perbedaan temperatur pada perhitungan diatas terjadi pada segment pertama (50 meter pertama). Pada segmen kedua, nilai perbedaan temperatur berubah dikarenakan perubahan energi yang hilang, maka diperlukan perhitungan kembali untuk menentukan besar energi yang hilang. Perhitungan ini dilangsungkan sesuai segmentasi yang dilakukan dalam perhitungan. Dengan output segment ke-n, akan menjadi input untuk segmen ke n+1.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN F Contoh Perhitungan *Heat Transfer* pada Reservoir

Untuk menghitung total energi yang hilang dalam perpindahan aliran uap di reservoir, maka diperlukan input karakteristik batuan sebagai berikut:

Tabel F.1. Kondisi input *heat transfer* pada reservoir

Input	Nilai
Konduktivitas termal (k)	0.00050613 W/mK
Luas penampang aliran pada reservoir (A)	11304 m ²
Jarak injection well dan production well (L)	200 m
Porositas (φ)	0.04
Viskositas uap (μ)	0.00004646 Pa.s

Perhitungan *heat loss* melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- Menghitung panjang karakteristik (L_p)

$$L_p = \sqrt[3]{A \times L}$$

$$L_p = \sqrt[3]{11304 \times 200}$$

$$L_p = 131.2464$$

- Menghitung hambatan konduksi ($R_{konduksi}$)

$$R_{konduksi} = \frac{L_p}{k A_p}$$

$$R_{konduksi} = \frac{131.2464}{0.00050613 \times 11304}$$

$$R_{konduksi} = 22.94$$

- Menghitung Prandl Number (Pr)

$$Pr = \frac{Cp \cdot k}{\mu}$$

$$Pr = \frac{2.3348 \times 0.1045}{0.00004646}$$

$$Pr = 0.001$$

- Menghitung Nusselt Number (Nu)

$$Nu = \frac{0.255}{\phi} Re^{2/3} Pr^{1/3}$$

$$Nu = \frac{0.255}{0.04} (69.551)^{2/3} (0.001)^{1/3}$$

$$Nu = 2.1796$$

- Menghitung enthalpy (h)

$$Nu = \frac{h L_p}{k}$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_p}$$

$$h = \frac{2.1796 \times 0.00050613}{131.2464}$$

$$h = 8 \times 10^{-6}$$

- Menghitung hambatan konveksi ($R_{konveksi}$)

$$R_{konveksi} = \frac{1}{h A_p}$$

$$R_{konveksi} = \frac{1}{8 \times 10^{-6} \times 11304}$$

$$R_{konveksi} = 10.525$$

- Menghitung *loss* energi ($Q_{total\ losses}$)

$$Q_{total\ losses} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{konduksi} + R_{konveksi}}$$

$$Q_{total\ losses} = \frac{4.016}{10.525 + 22.94}$$

$$Q_{total\ losses} = 0.12\ J$$

Nilai besar energi yang hilang menurut perhitungan diatas terjadi pada segmen pertama (10 meter pertama). Pada segmen kedua, nilai temperatur fluida yang melewati reservoir sudah berubah, maka diperlukan perhitungan kembali untuk menentukan besar energi yang hilang. Nilai energi yang hilang tiap segmen ini digunakan pula untuk menentukan nilai perbedaan temperatur untuk segment selanjutnya. Dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta T = \frac{Q}{(R_{konveksi} + R_{konduksi}) \times \dot{m}}$$

$$\Delta T = \frac{0.12}{(10.525 + 22.94) \times 0.3044}$$

$$\Delta T = 0.0118$$

Nilai perubahan temperatur pada perhitungan diatas terjadi pada segment pertama (10 meter pertama). Pada segmen kedua, nilai perbedaan temperatur berubah dikarenakan perubahan energi yang hilang, maka diperlukan perhitungan kembali untuk menentukan besar energi yang hilang. Perhitungan ini dilangsungkan sesuai segmentasi yang dilakukan dalam perhitungan. Dengan output segment ke-n, akan menjadi input untuk segmen ke n+1.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran G Validasi Model *Injection Well*

Validasi pada *injection well* dilakukan dengan membandingkan antara hasil permodelan gradien tekanan dan temperatur dengan *software* PIPESIM. Pada tabel G.1, divariasikan nilai tekanan injeksi CO₂ dengan massa jenis dan temperatur injeksi yang tetap yaitu sebesar 0.3044 kg/s dan 50 °C. Validasi dilakukan pada setiap segmen, dan didapatkan rata-rata *error* untuk tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 0.859% dan 1.462%.

Tabel G. 1 Validasi model *injection well* dengan variasi tekanan injeksi

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2400	0	2411.502	49.705	2400	50	0.527	0.593
2400	50	2466.622	50.412	2461.384	51.083	0.628	1.329
2400	100	2521.239	51.071	2522.774	51.5	0.703	1.808
2400	150	2575.966	51.645	2584.166	52.785	0.766	2.207
2400	200	2630.811	52.220	2645.562	53.49	0.819	2.432
2400	250	2685.786	52.794	2706.962	54.134	0.862	2.537
2400	300	2740.885	53.366	2768.364	54.734	0.897	2.565
2400	350	2796.089	53.94	2829.771	55.304	0.922	2.529
2400	400	2851.385	54.514	2891.18	55.852	0.937	2.454
2400	450	2906.829	55.088	2952.593	56.383	0.945	2.351
2400	500	2962.360	55.662	3014.009	56.903	0.943	2.23
2400	550	3018.034	56.234	3075.429	57.416	0.934	2.101
2400	600	3073.767	56.808	3136.852	57.922	0.9161	1.961
2400	650	3129.599	57.382	3198.279	58.424	0.89	1.816
2400	700	3185.569	57.956	3259.709	58.923	0.857	1.668
2400	750	3241.614	58.531	3321.142	59.420	0.816	1.52
2400	800	3297.802	58.530	3382.578	59.916	0.768	2.366
2400	850	3354.042	59.10	3444.018	60.4101	0.723	2.211
2400	900	3410.403	59.677	3505.462	60.903	0.671	2.054
2400	950	3466.834	60.251	3566.909	61.396	0.611	1.9
2400	1000	3523.363	60.878	3628.359	61.888	0.545	1.65
2400	1050	3579.997	61.415	3689.812	62.38	0.471	1.571
2400	1100	2411.502	61.971	3751.269	62.872	0.392	1.453

Tabel A.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2400	1150	3636.721	62.546	3812.73	63.364	0.307	1.308
2400	1200	3693.527	63.140	3874.194	63.855	0.215	1.133
2400	1250	3750.413	63.695	3935.661	64.346	0.117	1.023
2400	1300	3807.386	64.269	3997.131	64.837	0.014	0.885
2400	1350	3864.448	64.843	4058.605	65.328	0.286	0.749
2400	1400	3946.604	65.416	4120.082	65.819	0.169	0.616
2400	1450	4003.843	65.990	4181.563	66.310	0.046	0.486
2400	1500	4061.155	66.578	4243.047	66.801	0.082	0.336
2400	1550	4118.542	67.140	4304.535	67.292	0.215	0.227
2400	1600	4176.008	67.713	4366.026	67.783	0.354	0.102
2400	1650	4233.556	68.287	4427.52	68.274	0.497	0.020
2400	1700	4291.189	68.861	4489.017	68.764	0.644	0.141
2400	1750	4348.904	69.435	4550.519	69.255	0.797	0.259
2400	1800	4406.688	70.035	4612.023	69.745	0.954	0.413
2400	1850	4464.539	70.586	4673.531	70.236	0.763	0.496
2400	1900	4547.461	71.160	4735.042	70.726	0.931	0.609
2400	1950	4605.456	71.734	4796.557	71.217	0.827	0.721
2400	2000	4683.526	72.308	4858.075	71.707	1.005	0.831
2400	2050	4741.675	72.882	4919.596	72.198	1.187	0.939
2400	2100	4799.897	73.502	4981.121	72.688	1.373	1.108
2400	2150	4858.184	74.048	5042.649	73.178	0.233	1.175
2400	2200	5016.532	74.639	5104.181	73.668	0.434	1.300
2400	2250	5074.945	75.179	5165.716	74.159	0.639	1.357
2400	2300	5133.424	75.753	5227.254	74.649	0.848	1.457
2400	2350	5191.972	76.327	5288.796	75.139	1.059	1.557
2400	2400	5250.588	76.952	5350.341	75.629	1.274	1.719
2400	2450	5309.285	77.517	5411.889	77.119	0.237	0.514
2400	2500	5468.036	78.088	5473.441	78.609	0.465	0.667
2400	2550	5526.842	79.662	5534.997	79.099	0.696	0.707
2400	2600	5585.704	80.000	5596.556	80.041	0.265	0.051
2420	0	2431	49.705	2420	50.000	0.876	0.593
2420	50	2492.321	50.413	2481.321	51.083	0.874	1.329
2420	100	2553.645	51.071	2542.645	51.995	0.854	1.808
2420	150	2614.97	51.646	2603.97	52.785	0.834	2.207
2420	200	2676.297	52.220	2665.297	53.490	0.817	2.433
2420	250	2737.627	52.795	2726.627	54.134	0.801	2.538
2420	300	2798.958	53.366	2787.958	54.735	0.787	2.566
2420	350	2860.291	53.940	2849.291	55.305	0.773	2.530
2420	400	2921.626	54.514	2910.626	55.852	0.761	2.454

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2420	450	2982.963	55.088	2971.963	56.384	0.751	2.352
2420	500	3044.302	55.663	3033.302	56.904	0.741	2.230
2420	550	3105.643	56.234	3094.643	57.416	0.733	2.102
2420	600	3166.986	56.808	3155.986	57.923	0.725	1.961
2420	650	3228.331	57.383	3217.331	58.425	0.717	1.816
2420	700	3289.677	57.957	3278.677	58.924	0.711	1.668
2420	750	3351.026	58.531	3340.026	59.421	0.705	1.520
2420	800	3412.377	59.103	3401.377	59.916	0.701	1.375
2420	850	3473.73	59.677	3462.73	60.410	0.696	1.228
2420	900	3535.084	60.251	3524.084	60.903	0.692	1.082
2420	950	3596.441	60.878	3585.441	61.396	0.688	1.552
2420	1000	3657.799	61.416	3646.799	61.888	0.684	1.377
2420	1050	3719.16	61.972	3708.16	62.380	0.681	1.325
2420	1100	3780.522	62.546	3769.522	62.872	0.679	1.184
2420	1150	3841.887	63.140	3830.887	63.364	0.676	1.040
2420	1200	3903.253	63.695	3892.253	63.855	0.673	1.519
2420	1250	3964.621	64.269	3953.621	64.346	0.671	1.438
2420	1300	4025.991	64.843	4014.991	64.837	0.669	1.305
2420	1350	4087.364	65.416	4076.364	65.328	0.667	1.174
2420	1400	4148.738	65.990	4137.738	65.819	0.665	1.045
2420	1450	4210.114	66.631	4199.114	66.310	0.662	0.919
2420	1500	4271.492	67.140	4260.492	66.801	0.660	0.795
2420	1550	4332.872	67.713	4321.872	67.292	0.658	1.367
2420	1600	4394.254	68.287	4383.254	67.783	0.655	1.289
2420	1650	4455.638	68.861	4444.638	68.273	0.653	1.184
2420	1700	4517.024	69.435	4506.024	68.764	0.651	1.080
2420	1750	4578.412	70.035	4567.412	69.255	0.648	0.978
2420	1800	4639.801	70.586	4628.801	69.745	0.645	0.878
2420	1850	4701.193	71.160	4690.193	70.236	0.642	0.780
2420	1900	4762.587	71.734	4751.587	70.726	0.639	1.184
2420	1950	4823.982	72.308	4812.982	71.217	0.636	1.167
2420	2000	4885.38	72.882	4874.38	71.707	0.633	1.106
2420	2050	4946.78	73.502	4935.78	72.198	0.629	1.045
2420	2100	5008.181	74.048	4997.181	72.688	0.625	0.985
2420	2150	5069.585	74.639	5058.585	73.178	0.621	0.925
2420	2200	5130.99	75.179	5119.99	73.668	0.617	0.867
2420	2250	5192.397	75.753	5181.397	74.159	0.612	1.003
2420	2300	5253.807	76.327	5242.807	74.649	0.607	1.043
2420	2350	5315.218	76.952	5304.218	75.139	0.602	0.926

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2420	2400	5376.631	77.517	5365.631	75.629	0.597	0.972
2420	2450	5438.046	78.088	5427.046	76.119	0.592	0.936
2420	2500	5499.464	78.662	5488.464	76.609	0.586	0.901
2420	2550	5560.883	79.236	5549.883	77.099	0.580	0.867
2420	2600	5622.304	79.809	5611.304	77.589	0.573	0.874
2440	0	2451	49.705	2440	50.000	0.872	0.594
2440	50	2512.322	50.411	2501.322	51.083	0.874	1.333
2440	100	2573.646	51.071	2562.646	51.994	0.857	1.808
2440	150	2634.972	51.646	2623.972	52.785	0.842	2.206
2440	200	2696.3	52.220	2685.3	53.490	0.827	2.432
2440	250	2757.63	52.791	2746.63	54.134	0.815	2.544
2440	300	2818.962	53.366	2807.962	54.735	0.803	2.565
2440	350	2880.295	53.940	2869.295	55.304	0.793	2.529
2440	400	2941.631	54.514	2930.631	55.852	0.783	2.454
2440	450	3002.969	55.088	2991.969	56.384	0.776	2.351
2440	500	3064.308	55.659	3053.308	56.904	0.769	2.236
2440	550	3125.65	56.234	3114.65	57.416	0.763	2.101
2440	600	3186.993	56.809	3175.993	57.922	0.757	1.961
2440	650	3248.339	57.383	3237.339	58.424	0.751	1.816
2440	700	3309.686	57.957	3298.686	58.924	0.747	1.668
2440	750	3371.036	58.530	3360.036	59.420	0.744	1.521
2440	800	3432.387	59.103	3421.387	59.916	0.741	1.375
2440	850	3493.74	59.677	3482.74	60.410	0.738	1.228
2440	900	3555.096	60.251	3544.096	60.903	0.736	1.082
2440	950	3616.453	60.828	3605.453	61.396	0.733	0.851
2440	1000	3677.812	61.416	3666.812	61.888	0.732	0.769
2440	1050	3739.173	61.972	3728.173	62.380	0.730	0.658
2440	1100	3800.536	62.546	3789.536	62.872	0.729	0.521
2440	1150	3861.901	63.140	3850.901	63.363	0.727	0.354
2440	1200	3923.268	63.695	3912.268	63.855	0.726	0.251
2440	1250	3984.637	64.269	3973.637	64.346	0.725	0.120
2440	1300	4046.008	64.843	4035.008	64.837	0.724	0.009
2440	1350	4107.381	65.416	4096.381	65.328	0.723	0.135
2440	1400	4168.756	65.990	4157.756	65.819	0.722	0.259
2440	1450	4230.132	66.578	4219.132	66.310	0.721	0.402
2440	1500	4291.511	67.140	4280.511	66.801	0.720	0.505
2440	1550	4352.892	67.714	4341.892	67.292	0.718	0.623
2440	1600	4414.274	68.287	4403.274	67.782	0.717	0.740
2440	1650	4475.659	68.861	4464.659	68.273	0.716	0.854

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2440	1700	4537.045	69.435	4526.045	68.764	0.714	0.966
2440	1750	4598.434	70.035	4587.434	69.254	0.712	1.115
2440	1800	4659.824	70.586	4648.824	69.745	0.710	1.192
2440	1850	4721.217	71.160	4710.217	70.235	0.708	1.299
2440	1900	4782.611	71.734	4771.611	70.726	0.706	1.405
2440	1950	4844.007	72.308	4833.007	71.216	0.703	1.509
2440	2000	4905.405	72.881	4894.405	71.707	0.701	1.612
2440	2050	4966.806	73.502	4955.806	72.197	0.698	1.775
2440	2100	5028.208	74.048	5017.208	72.688	0.694	1.838
2440	2150	5089.612	74.639	5078.612	73.178	0.691	1.958
2440	2200	5151.018	75.179	5140.018	73.668	0.687	2.009
2440	2250	5212.426	75.753	5201.426	74.158	0.683	2.105
2440	2300	5273.836	76.327	5262.836	74.648	0.679	2.199
2440	2350	5335.248	76.952	5324.248	75.138	0.674	2.357
2440	2400	5396.662	77.517	5385.662	75.629	0.670	2.437
2440	2450	5458.077	78.088	5447.077	76.119	0.665	2.522
2440	2500	5519.495	78.662	5508.495	76.608	0.659	2.610
2440	2550	5580.915	79.236	5569.915	77.098	0.653	2.697
2440	2600	5642.337	79.819	5631.337	77.588	0.647	2.795
2460	0	2471	49.704	2460	50.000	0.871	0.595
2460	50	2532.323	50.411	2521.323	51.083	0.874	1.332
2460	100	2593.647	51.071	2582.647	51.994	0.859	1.807
2460	150	2654.974	51.646	2643.974	52.785	0.845	2.206
2460	200	2716.302	52.220	2705.302	53.490	0.833	2.431
2460	250	2777.633	52.791	2766.633	54.134	0.822	2.545
2460	300	2838.965	53.366	2827.965	54.735	0.812	2.565
2460	350	2900.3	53.940	2889.3	55.304	0.803	2.529
2460	400	2961.636	54.514	2950.636	55.852	0.794	2.453
2460	450	3022.974	55.089	3011.974	56.383	0.788	2.351
2460	500	3084.315	55.660	3073.315	56.904	0.782	2.235
2460	550	3145.657	56.235	3134.657	57.416	0.778	2.101
2460	600	3207.001	56.809	3196.001	57.922	0.772	1.960
2460	650	3268.347	57.383	3257.347	58.424	0.768	1.815
2460	700	3329.695	57.957	3318.695	58.923	0.765	1.668
2460	750	3391.045	58.528	3380.045	59.420	0.763	1.524
2460	800	3452.397	59.103	3441.397	59.916	0.761	1.375
2460	850	3513.751	59.677	3502.751	60.410	0.759	1.228
2460	900	3575.107	60.251	3564.107	60.903	0.757	1.082
2460	950	3636.465	60.878	3625.465	61.396	0.756	0.850

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2460	1000	3697.825	61.416	3686.825	61.888	0.755	0.769
2460	1050	3759.186	61.973	3748.186	62.380	0.754	0.658
2460	1100	3820.55	62.546	3809.55	62.872	0.753	0.521
2460	1150	3881.916	63.140	3870.916	63.363	0.753	0.354
2460	1200	3943.283	63.695	3932.283	63.855	0.752	0.251
2460	1250	4004.653	64.269	3993.653	64.346	0.751	0.120
2460	1300	4066.024	64.842	4055.024	64.837	0.751	0.008
2460	1350	4127.398	65.416	4116.398	65.328	0.751	0.134
2460	1400	4188.773	65.990	4177.773	65.819	0.750	0.259
2460	1450	4250.151	66.578	4239.151	66.310	0.750	0.403
2460	1500	4311.53	67.140	4300.53	66.801	0.749	0.505
2460	1550	4372.911	67.714	4361.911	67.291	0.748	0.623
2460	1600	4434.294	68.287	4423.294	67.782	0.747	0.740
2460	1650	4495.68	68.861	4484.68	68.273	0.746	0.854
2460	1700	4557.067	69.435	4546.067	68.764	0.745	0.966
2460	1750	4618.456	70.035	4607.456	69.254	0.744	1.115
2460	1800	4679.847	70.586	4668.847	69.745	0.742	1.192
2460	1850	4741.24	71.160	4730.24	70.235	0.740	1.300
2460	1900	4802.635	71.734	4791.635	70.726	0.738	1.405
2460	1950	4864.032	72.308	4853.032	71.216	0.736	1.510
2460	2000	4925.431	72.881	4914.431	71.707	0.734	1.611
2460	2050	4986.831	73.502	4975.831	72.197	0.731	1.776
2460	2100	5048.234	74.048	5037.234	72.687	0.728	1.838
2460	2150	5109.639	74.639	5098.639	73.178	0.725	1.958
2460	2200	5171.046	75.179	5160.046	73.668	0.722	2.010
2460	2250	5232.454	75.753	5221.454	74.158	0.718	2.105
2460	2300	5293.865	76.327	5282.865	74.648	0.714	2.199
2460	2350	5355.277	76.951	5344.277	75.138	0.710	2.356
2460	2400	5416.692	77.516	5405.692	75.628	0.705	2.435
2460	2450	5478.108	78.088	5467.108	76.118	0.700	2.522
2460	2500	5539.527	78.662	5528.527	76.608	0.695	2.610
2460	2550	5600.947	79.236	5589.947	77.098	0.690	2.697
2460	2600	5662.37	79.819	5651.37	77.588	0.684	2.795
2480	0	2491	49.704	2480	50.000	0.963	0.595
2480	50	2552.323	50.411	2541.323	51.083	0.965	1.332
2480	100	2613.648	51.071	2602.648	51.994	0.948	1.807
2480	150	2674.976	51.646	2663.976	52.785	0.932	2.206
2480	200	2736.305	52.220	2725.305	53.490	0.917	2.431
2480	250	2797.636	52.791	2786.636	54.134	0.905	2.544

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2480	300	2858.969	53.366	2847.969	54.735	0.893	2.565
2480	350	2920.304	53.940	2909.304	55.304	0.882	2.529
2480	400	2981.641	54.514	2970.641	55.852	0.872	2.453
2480	450	3042.98	55.089	3031.98	56.383	0.865	2.350
2480	500	3104.321	55.660	3093.321	56.904	0.857	2.234
2480	550	3165.664	56.235	3154.664	57.416	0.851	2.101
2480	600	3227.009	56.809	3216.009	57.922	0.845	1.960
2480	650	3288.355	57.383	3277.355	58.424	0.839	1.815
2480	700	3349.704	57.957	3338.704	58.923	0.835	1.667
2480	750	3411.055	58.528	3400.055	59.420	0.831	1.524
2480	800	3472.407	59.103	3461.407	59.916	0.828	1.374
2480	850	3533.762	59.677	3522.762	60.410	0.824	1.227
2480	900	3595.118	60.251	3584.118	60.903	0.822	1.082
2480	950	3656.477	60.828	3645.477	61.396	0.819	0.850
2480	1000	3717.837	61.416	3706.837	61.888	0.817	0.769
2480	1050	3779.2	61.973	3768.2	62.380	0.815	0.657
2480	1100	3840.564	62.546	3829.564	62.872	0.813	0.521
2480	1150	3901.93	63.140	3890.93	63.363	0.811	0.353
2480	1200	3963.298	63.695	3952.298	63.854	0.810	0.251
2480	1250	4024.669	64.269	4013.669	64.346	0.808	0.120
2480	1300	4086.041	64.842	4075.041	64.837	0.807	0.009
2480	1350	4147.415	65.416	4136.415	65.328	0.805	0.135
2480	1400	4208.791	65.990	4197.791	65.819	0.804	0.259
2480	1450	4270.169	66.578	4259.169	66.310	0.802	0.403
2480	1500	4331.549	67.140	4320.549	66.801	0.801	0.505
2480	1550	4392.931	67.714	4381.931	67.291	0.799	0.624
2480	1600	4454.315	68.288	4443.315	67.782	0.797	0.740
2480	1650	4515.701	68.861	4504.701	68.273	0.796	0.854
2480	1700	4577.088	69.435	4566.088	68.763	0.794	0.967
2480	1750	4638.478	70.035	4627.478	69.254	0.791	1.115
2480	1800	4699.87	70.586	4688.87	69.745	0.789	1.192
2480	1850	4761.263	71.160	4750.263	70.235	0.786	1.300
2480	1900	4822.659	71.734	4811.659	70.726	0.784	1.406
2480	1950	4884.056	72.308	4873.056	71.216	0.781	1.510
2480	2000	4945.456	72.881	4934.456	71.707	0.778	1.612
2480	2050	5006.857	73.502	4995.857	72.197	0.775	1.776
2480	2100	5068.261	74.048	5057.261	72.687	0.771	1.838
2480	2150	5129.666	74.639	5118.666	73.177	0.767	1.958
2480	2200	5191.074	75.179	5180.074	73.668	0.763	2.010

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2480	2250	5252.483	75.753	5241.483	74.158	0.758	2.106
2480	2300	5313.894	76.327	5302.894	74.648	0.754	2.200
2480	2350	5375.307	76.951	5364.307	75.138	0.749	2.356
2480	2400	5436.722	77.516	5425.722	75.628	0.744	2.436
2480	2450	5498.139	78.088	5487.139	76.118	0.738	2.523
2480	2500	5559.558	78.662	5548.558	76.608	0.733	2.611
2480	2550	5620.979	79.236	5609.979	77.098	0.727	2.698
2480	2600	5682.402	79.819	5671.402	77.588	0.720	2.796
2500	0	2511	49.704	2500	50.000	1.054	0.595
2500	50	2572.324	50.411	2561.324	51.083	1.054	1.331
2500	100	2633.65	51.071	2622.65	51.994	1.035	1.807
2500	150	2694.978	51.646	2683.978	52.785	1.017	2.206
2500	200	2756.307	52.220	2745.307	53.490	1.001	2.431
2500	250	2817.639	52.791	2806.639	54.134	0.987	2.544
2500	300	2878.973	53.366	2867.973	54.735	0.974	2.565
2500	350	2940.309	53.940	2929.309	55.304	0.961	2.529
2500	400	3001.646	54.514	2990.646	55.852	0.950	2.453
2500	450	3062.986	55.089	3051.986	56.383	0.941	2.350
2500	500	3124.327	55.660	3113.327	56.904	0.932	2.234
2500	550	3185.671	56.235	3174.671	57.416	0.924	2.100
2500	600	3247.016	56.809	3236.016	57.922	0.916	1.960
2500	650	3308.364	57.383	3297.364	58.424	0.909	1.815
2500	700	3369.713	57.957	3358.713	58.923	0.904	1.667
2500	750	3431.064	58.528	3420.064	59.420	0.898	1.524
2500	800	3492.417	59.103	3481.417	59.916	0.894	1.374
2500	850	3553.773	59.677	3542.773	60.410	0.889	1.227
2500	900	3615.13	60.251	3604.13	60.903	0.886	1.081
2500	950	3676.489	60.828	3665.489	61.396	0.882	0.850
2500	1000	3737.85	61.416	3726.85	61.888	0.878	0.769
2500	1050	3799.213	61.973	3788.213	62.380	0.875	0.657
2500	1100	3860.578	62.546	3849.578	62.872	0.873	0.520
2500	1150	3921.945	63.140	3910.945	63.363	0.870	0.353
2500	1200	3983.314	63.695	3972.314	63.854	0.867	0.250
2500	1250	4044.684	64.269	4033.684	64.346	0.864	0.119
2500	1300	4106.057	64.842	4095.057	64.837	0.862	0.009
2500	1350	4167.432	65.416	4156.432	65.328	0.860	0.135
2500	1400	4228.809	65.990	4217.809	65.819	0.857	0.260
2500	1450	4290.187	66.578	4279.187	66.310	0.855	0.403
2500	1500	4351.568	67.140	4340.568	66.800	0.852	0.505

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2500	1550	3062.986	67.714	3051.986	67.291	0.850	0.624
2500	1600	3124.327	68.288	3113.327	67.782	0.847	0.740
2500	1650	3185.671	68.861	3174.671	68.273	0.845	0.855
2500	1700	3247.016	69.435	3236.016	68.763	0.842	0.967
2500	1750	3308.364	70.035	3297.364	69.254	0.839	1.116
2500	1800	3369.713	70.586	3358.713	69.745	0.836	1.193
2500	1850	3431.064	71.160	3420.064	70.235	0.832	1.300
2500	1900	3492.417	71.734	3481.417	70.726	0.829	1.406
2500	1950	3553.773	72.308	3542.773	71.216	0.825	1.510
2500	2000	3615.13	72.881	3604.13	71.706	0.822	1.612
2500	1150	3676.489	73.502	3665.489	72.197	0.818	1.776
2500	1200	3737.85	74.048	3726.85	72.687	0.813	1.838
2500	1250	3799.213	74.639	3788.213	73.177	0.809	1.959
2500	1300	3860.578	75.179	3849.578	73.668	0.804	2.010
2500	1350	3921.945	75.753	3910.945	74.158	0.799	2.106
2500	1400	3983.314	76.327	3972.314	74.648	0.793	2.200
2500	1450	4044.684	76.951	4033.684	75.138	0.788	2.357
2500	1500	4106.057	77.516	4095.057	75.628	0.782	2.436
2500	1550	4167.432	78.088	4156.432	76.118	0.776	2.523
2500	1600	4228.809	78.662	4217.809	76.608	0.770	2.611
2500	1650	4290.187	79.236	4279.187	77.098	0.763	2.698
2500	1700	4351.568	67.714	4340.568	67.291	0.850	0.624
2500	1750	4412.95	68.288	4401.95	67.782	0.847	0.740
2500	1800	4474.335	68.861	4463.335	68.273	0.845	0.855
2500	1850	4535.721	69.435	4524.721	68.763	0.842	0.967
2500	1900	4597.11	70.035	4586.11	69.254	0.839	1.116
2500	1950	4658.5	70.586	4647.5	69.745	0.836	1.193
2500	2000	4719.892	71.160	4708.892	70.235	0.832	1.300
2500	2050	4781.287	71.734	4770.287	70.726	0.829	1.406
2500	2100	4842.683	72.308	4831.683	71.216	0.825	1.510
2500	2150	4904.081	72.881	4893.081	71.706	0.822	1.612
2500	2200	4965.481	73.502	4954.481	72.197	0.818	1.776
2500	2250	5026.883	74.048	5015.883	72.687	0.813	1.838
2500	2300	5088.287	74.639	5077.287	73.177	0.809	1.959
2500	2350	5149.693	75.179	5138.693	73.668	0.804	2.010
2500	2400	5211.101	75.753	5200.101	74.158	0.799	2.106
2500	2450	5272.511	76.327	5261.511	74.648	0.793	2.200
2500	2500	5333.923	76.951	5322.923	75.138	0.788	2.357
2500	2550	5395.337	77.516	5384.337	75.628	0.782	2.436

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2500	2600	5702.4	79.819	5691.4	77.588	0.756	2.796
2520	0	2531	49.704	2520	50.000	1.145	0.595
2520	50	2592.324	50.411	2581.324	51.083	1.143	1.331
2520	100	2653.651	51.071	2642.651	51.994	1.122	1.807
2520	150	2714.979	51.646	2703.979	52.785	1.103	2.205
2520	200	2776.31	52.220	2765.31	53.490	1.085	2.431
2520	250	2837.642	52.791	2826.642	54.134	1.069	2.544
2520	300	2898.977	53.366	2887.977	54.734	1.054	2.564
2520	350	2960.313	53.940	2949.313	55.304	1.040	2.528
2520	400	3021.651	54.515	3010.651	55.852	1.027	2.453
2520	450	3082.991	55.089	3071.991	56.383	1.016	2.350
2520	500	3144.334	55.660	3133.334	56.904	1.006	2.234
2520	550	3205.678	56.235	3194.678	57.416	0.997	2.100
2520	600	3267.024	56.809	3256.024	57.922	0.988	1.960
2520	650	3328.372	57.383	3317.372	58.424	0.979	1.815
2520	700	3389.722	57.957	3378.722	58.923	0.972	1.667
2520	750	3451.074	58.528	3440.074	59.420	0.966	1.523
2520	800	3512.428	59.103	3501.428	59.915	0.960	1.374
2520	850	3573.783	59.677	3562.783	60.410	0.954	1.227
2520	900	3635.141	60.252	3624.141	60.903	0.949	1.081
2520	950	3696.501	60.878	3685.501	61.396	0.944	0.850
2520	1000	3757.863	61.416	3746.863	61.888	0.940	0.768
2520	1050	3819.226	61.973	3808.226	62.380	0.936	0.657
2520	1100	3880.592	62.546	3869.592	62.871	0.932	0.520
2520	1150	3941.959	63.140	3930.959	63.363	0.928	0.353
2520	1200	4003.329	63.695	3992.329	63.854	0.924	0.250
2520	1250	4064.7	64.269	4053.7	64.345	0.920	0.119
2520	1300	4126.074	64.842	4115.074	64.837	0.917	0.009
2520	1350	4187.449	65.416	4176.449	65.328	0.914	0.135
2520	1400	4248.826	65.990	4237.826	65.819	0.911	0.260
2520	1450	4310.206	66.578	4299.206	66.309	0.907	0.403
2520	1500	4371.587	67.140	4360.587	66.800	0.904	0.505
2520	1550	4432.97	67.714	4421.97	67.291	0.900	0.624
2520	1600	4494.355	68.288	4483.355	67.782	0.897	0.741
2520	1650	4555.742	68.861	4544.742	68.273	0.893	0.855
2520	1700	4617.131	69.435	4606.131	68.763	0.890	0.967
2520	1750	4678.522	70.035	4667.522	69.254	0.886	1.116
2520	1800	4739.915	70.586	4728.915	69.744	0.882	1.193
2520	1850	4801.31	71.160	4790.31	70.235	0.878	1.300

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2520	1900	4862.707	71.734	4851.707	70.725	0.874	1.406
2520	1950	4924.106	72.308	4913.106	71.216	0.869	1.510
2520	2000	4985.507	72.881	4974.507	71.706	0.865	1.612
2520	2050	5046.909	73.502	5035.909	72.197	0.860	1.776
2520	2100	5108.314	74.048	5097.314	72.687	0.855	1.839
2520	2150	5169.721	74.639	5158.721	73.177	0.850	1.959
2520	2200	5231.129	75.179	5220.129	73.667	0.845	2.010
2520	2250	5292.54	75.753	5281.54	74.158	0.839	2.106
2520	2300	5353.952	76.327	5342.952	74.648	0.833	2.200
2520	2350	5415.367	76.952	5404.367	75.138	0.827	2.357
2520	2400	5476.783	77.516	5465.783	75.628	0.821	2.436
2520	2450	5538.201	78.088	5527.201	76.118	0.814	2.523
2520	2500	5599.622	78.662	5588.622	76.608	0.807	2.611
2520	2550	5661.044	79.236	5650.044	77.098	0.800	2.698
2520	2600	5722.468	79.819	5711.468	77.587	0.792	2.796
2540	0	2551	48.999	2540	50	1.235	0.595
2540	50	2612.325	54.389	2601.325	55.390	1.231	1.331
2540	100	2673.652	54.248	2662.652	55.249	1.208	1.806
2540	150	2734.981	54.824	2723.981	55.825	1.187	2.205
2540	200	2796.312	55.308	2785.312	56.309	1.167	2.431
2540	250	2857.645	55.804	2846.645	56.805	1.150	2.544
2540	300	2918.980	56.298	2907.980	57.299	1.133	2.564
2540	350	2980.317	56.793	2969.317	57.794	1.118	2.528
2540	400	3041.656	57.287	3030.656	58.288	1.103	2.452
2540	450	3102.997	57.781	3091.997	58.783	1.091	2.350
2540	500	3164.340	58.276	3153.340	59.277	1.079	2.234
2540	550	3225.685	58.770	3214.685	59.772	1.069	2.100
2540	600	3287.031	59.265	3276.031	60.266	1.058	1.960
2540	650	3348.380	59.759	3337.380	60.761	1.048	1.815
2540	700	3409.731	60.254	3398.731	61.255	1.040	1.667
2540	750	3471.083	60.748	3460.083	61.750	1.032	1.523
2540	800	3532.438	61.243	3521.438	62.244	1.026	1.374
2540	850	3593.794	61.737	3582.794	62.739	1.018	1.227
2540	900	3655.153	62.232	3644.153	63.233	1.012	1.081
2540	950	3716.513	62.726	3705.513	63.728	1.006	0.849
2540	1000	3777.875	63.221	3766.875	64.222	1.001	0.768
2540	1050	3839.239	63.715	3828.239	64.717	0.995	0.657
2540	1100	3900.606	64.210	3889.606	65.211	0.990	0.520
2540	1150	3961.974	64.704	3950.974	65.705	0.986	0.353

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2540	1200	4023.344	65.199	4012.344	66.200	0.981	0.250
2540	1250	4084.716	65.693	4073.716	66.694	0.976	0.119
2540	1300	4146.090	66.188	4135.090	67.189	0.972	0.009
2540	1350	4207.466	66.682	4196.466	67.683	0.968	0.135
2540	1400	4268.844	67.176	4257.844	68.178	0.964	0.260
2540	1450	4330.224	67.671	4319.224	68.672	0.959	0.404
2540	1500	4391.606	68.165	4380.606	69.167	0.955	0.506
2540	1550	4452.990	68.660	4441.990	69.661	0.950	0.624
2540	1600	4514.375	69.154	4503.375	70.156	0.946	0.741
2540	1650	4575.763	69.649	4564.763	70.650	0.942	0.855
2540	1700	4637.153	70.143	4626.153	71.144	0.938	0.967
2540	1750	4698.544	70.638	4687.544	71.639	0.933	1.116
2540	1800	4759.938	71.132	4748.938	72.133	0.928	1.193
2540	1850	4821.334	71.626	4810.334	72.628	0.923	1.301
2540	1900	4882.731	72.121	4871.731	73.122	0.918	1.406
2540	1950	4944.130	72.615	4933.130	73.617	0.913	1.511
2540	2000	5005.532	73.110	4994.532	74.111	0.908	1.612
2540	2050	5066.935	73.604	5055.935	74.606	0.903	1.777
2540	2100	5128.341	74.099	5117.341	75.100	0.897	1.839
2540	2150	5189.748	74.593	5178.748	75.594	0.891	1.959
2540	2200	5251.157	75.087	5240.157	76.089	0.885	2.011
2540	2250	5312.568	75.582	5301.568	76.583	0.879	2.106
2540	2300	5373.981	76.076	5362.981	77.078	0.872	2.201
2540	2350	5435.396	76.571	5424.396	77.572	0.866	2.357
2540	2400	5496.813	77.065	5485.813	78.066	0.859	2.436
2540	2450	5558.232	77.560	5547.232	78.561	0.852	2.523
2540	2500	5619.653	78.054	5608.653	79.055	0.844	2.612
2540	2550	5681.076	78.548	5670.076	79.550	0.836	2.699
2540	2600	5742.501	79.043	5731.501	80.044	0.828	2.796
2560	0	2571	48.999	2560	50	1.324	0.595
2560	50	2632.326	54.387	2621.326	55.388	1.318	1.331
2560	100	2693.654	54.248	2682.654	55.249	1.294	1.806
2560	150	2754.983	54.823	2743.983	55.825	1.271	2.205
2560	200	2816.315	55.308	2805.315	56.309	1.250	2.430
2560	250	2877.649	55.803	2866.649	56.805	1.230	2.543
2560	300	2938.984	56.298	2927.984	57.299	1.212	2.564
2560	350	3000.322	56.792	2989.322	57.794	1.195	2.528
2560	400	3061.661	57.287	3050.661	58.288	1.179	2.452
2560	450	3123.003	57.781	3112.003	58.783	1.165	2.350

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2560	500	3184.346	58.276	3173.346	59.277	1.152	2.234
2560	550	3245.692	58.770	3234.692	59.772	1.140	2.100
2560	600	3307.039	59.265	3296.039	60.266	1.128	1.959
2560	650	3368.388	59.759	3357.388	60.761	1.117	1.814
2560	700	3429.739	60.254	3418.739	61.255	1.108	1.666
2560	750	3491.093	60.748	3480.093	61.750	1.099	1.523
2560	800	3552.448	61.243	3541.448	62.244	1.091	1.374
2560	850	3613.805	61.737	3602.805	62.739	1.082	1.227
2560	900	3675.164	62.232	3664.164	63.233	1.075	1.081
2560	950	3736.525	62.726	3725.525	63.727	1.068	0.849
2560	1000	3797.888	63.221	3786.888	64.222	1.061	0.768
2560	1050	3859.253	63.715	3848.253	64.716	1.055	0.657
2560	1100	3920.620	64.210	3909.620	65.211	1.049	0.520
2560	1150	3981.988	64.704	3970.988	65.705	1.043	0.352
2560	1200	4043.359	65.198	4032.359	66.200	1.037	0.250
2560	1250	4104.732	65.693	4093.732	66.694	1.032	0.119
2560	1300	4166.107	66.187	4155.107	67.189	1.026	0.010
2560	1350	4227.483	66.682	4216.483	67.683	1.021	0.136
2560	1400	4288.862	67.176	4277.862	68.178	1.016	0.260
2560	1450	4350.242	67.671	4339.242	68.672	1.011	0.404
2560	1500	4411.625	68.165	4400.625	69.167	1.006	0.506
2560	1550	4473.009	68.660	4462.009	69.661	1.000	0.624
2560	1600	4534.396	69.154	4523.396	70.155	0.995	0.741
2560	1650	4595.784	69.649	4584.784	70.650	0.990	0.855
2560	1700	4657.174	70.143	4646.174	71.144	0.985	0.968
2560	1750	4718.567	70.637	4707.567	71.639	0.980	1.116
2560	1800	4779.961	71.132	4768.961	72.133	0.974	1.193
2560	1850	4841.357	71.626	4830.357	72.628	0.969	1.301
2560	1900	4902.755	72.121	4891.755	73.122	0.918	1.406
2560	1950	4964.155	72.615	4953.155	73.616	0.913	1.511
2560	2000	5025.557	73.110	5014.557	74.111	0.908	1.612
2560	2050	5086.961	73.604	5075.961	74.605	0.903	1.777
2560	2100	5148.367	74.098	5137.367	75.100	0.897	1.839
2560	2150	5209.775	74.593	5198.775	75.594	0.891	1.959
2560	2200	5271.185	75.087	5260.185	76.089	0.885	2.011
2560	2250	5332.597	75.582	5321.597	76.583	0.879	2.106
2560	2300	5394.010	76.076	5383.010	77.077	0.872	2.201
2560	2350	5455.426	76.571	5444.426	77.572	0.904	2.358
2560	2400	5516.844	77.065	5505.844	78.066	0.897	2.437

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2560	2450	5578.263	77.559	5567.263	78.561	0.889	2.524
2560	2500	5639.685	78.054	5628.685	79.055	0.881	2.612
2560	2550	5701.109	78.548	5690.109	79.549	0.872	2.699
2560	2600	5762.534	79.043	5751.534	80.044	0.864	2.797
2580	0	2591	48.999	2580	50	1.413	0.594
2580	50	2652.326	54.385	2641.326	55.387	1.405	1.331
2580	100	2713.655	54.248	2702.655	55.249	1.378	1.806
2580	150	2774.985	54.823	2763.985	55.825	1.354	2.205
2580	200	2836.318	55.308	2825.318	56.309	1.331	2.430
2580	250	2897.652	55.803	2886.652	56.805	1.310	2.543
2580	300	2958.988	56.298	2947.988	57.299	1.290	2.564
2580	350	3020.326	56.792	3009.326	57.793	1.272	2.528
2580	400	3081.666	57.287	3070.666	58.288	1.254	2.452
2580	450	3143.008	57.781	3132.008	58.782	1.239	2.349
2580	500	3204.353	58.276	3193.353	59.277	1.224	2.233
2580	550	3265.699	58.770	3254.699	59.771	1.211	2.100
2580	600	3327.047	59.265	3316.047	60.266	1.198	1.959
2580	650	3388.396	59.759	3377.396	60.760	1.186	1.814
2580	700	3449.748	60.254	3438.748	61.255	1.175	1.666
2580	750	3511.102	60.748	3500.102	61.749	1.165	1.523
2580	800	3572.458	61.243	3561.458	62.244	1.156	1.373
2580	850	3633.816	61.737	3622.816	62.738	1.146	1.226
2580	900	3695.175	62.232	3684.175	63.233	1.138	1.080
2580	950	3756.537	62.726	3745.537	63.727	1.129	0.849
2580	1000	3817.900	63.220	3806.900	64.222	1.121	0.768
2580	1050	3879.266	63.715	3868.266	64.716	1.114	0.656
2580	1100	3940.634	64.209	3929.634	65.211	1.107	0.519
2580	1150	4002.003	64.704	3991.003	65.705	1.100	0.352
2580	1200	4063.374	65.198	4052.374	66.200	1.093	0.249
2580	1250	4124.748	65.693	4113.748	66.694	1.087	0.118
2580	1300	4186.123	66.187	4175.123	67.189	1.080	0.010
2580	1350	4247.500	66.682	4236.500	67.683	1.074	0.136
2580	1400	4308.879	67.176	4297.879	68.177	1.068	0.261
2580	1450	4370.261	67.671	4359.261	68.672	1.062	0.404
2580	1500	4431.644	68.165	4420.644	69.166	1.056	0.506
2580	1550	4493.029	68.659	4482.029	69.661	1.050	0.625
2580	1600	4554.416	69.154	4543.416	70.155	1.044	0.741
2580	1650	4615.805	69.648	4604.805	70.650	1.038	0.856
2580	1700	4677.196	70.143	4666.196	71.144	1.033	0.968

Tabel G.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2580	1750	4738.589	70.637	4727.589	71.639	1.026	1.117
2580	1800	4799.984	71.132	4788.984	72.133	1.020	1.194
2580	1850	4861.380	71.626	4850.380	72.627	1.014	1.301
2580	1900	4922.779	72.121	4911.779	73.122	1.007	1.407
2580	1950	4984.180	72.615	4973.180	73.616	1.001	1.511
2580	2000	5045.582	73.109	5034.582	74.111	0.994	1.613
2580	2050	5106.987	73.604	5095.987	74.605	0.988	1.777
2580	2100	5168.394	74.098	5157.394	75.100	0.981	1.839
2580	2150	5229.802	74.593	5218.802	75.594	0.973	1.960
2580	2200	5291.213	75.087	5280.213	76.088	0.966	2.011
2580	2250	5352.625	75.582	5341.625	76.583	0.958	2.107
2580	2300	5414.040	76.076	5403.040	77.077	0.950	2.201
2580	2350	5475.456	76.570	5464.456	77.572	0.943	2.358
2580	2400	5536.874	77.065	5525.874	78.066	0.935	2.437
2580	2450	5598.294	77.559	5587.294	78.560	0.926	2.524
2580	2500	5659.717	78.054	5648.717	79.055	0.918	2.612
2580	2550	5721.141	78.548	5710.141	79.549	0.909	2.699
2580	2600	5782.567	79.042	5771.567	80.044	0.899	2.797

Pada tabel G.2 divariasikan nilai massa jenis injeksi CO₂ dengan tekanan dan temperature injeksi tetap yaitu sebesar 2400 psi dan 50 °C. Validasi dilakukan setiap segmen, dan didapatkan rata-rata *error* tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 0.669% dan 1.148 % .

Tabel G. 2 Validasi model *injection well* dengan variasi massa jenis

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.39	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.964
0.39	50	2472.321	53.453	2461.321	54.454	0.874	0.706
0.39	100	2533.643	54.209	2522.643	55.210	0.852	1.124
0.39	150	2594.968	54.721	2583.968	55.722	0.832	1.412
0.39	200	2656.295	55.217	2645.295	56.218	0.814	1.591
0.39	250	2717.623	55.711	2706.623	56.712	0.797	1.687
0.39	300	2778.954	56.206	2767.954	57.207	0.783	1.717
0.39	350	2840.286	56.700	2829.286	57.701	0.769	1.706
0.39	400	2901.621	57.194	2890.621	58.196	0.756	1.661

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.39	450	2962.957	57.689	2951.957	58.690	0.745	1.591
0.39	500	3024.296	58.183	3013.296	59.184	0.735	1.503
0.39	550	3085.636	58.678	3074.636	59.679	0.726	1.397
0.39	600	3146.978	59.172	3135.978	60.173	0.717	1.286
0.39	650	3208.322	59.666	3197.322	60.668	0.709	1.170
0.39	700	3269.669	60.161	3258.669	61.162	0.702	1.048
0.39	750	3331.017	60.655	3320.017	61.656	0.695	0.925
0.39	800	3392.367	61.149	3381.367	62.151	0.690	0.797
0.39	850	3453.719	61.644	3442.719	62.645	0.684	0.672
0.39	900	3515.073	62.138	3504.073	63.139	0.680	0.546
0.39	950	3576.429	62.633	3565.429	63.634	0.674	0.420
0.39	1000	3637.787	63.127	3626.787	64.128	0.670	0.298
0.39	1050	3699.146	63.621	3688.146	64.623	0.666	0.173
0.39	1100	3760.508	64.116	3749.508	65.117	0.662	0.053
0.39	1150	3821.872	64.610	3810.872	65.611	0.658	0.071
0.39	1200	3883.238	65.104	3872.238	66.106	0.654	0.077
0.39	1250	3944.605	65.599	3933.605	66.600	0.651	0.193
0.39	1300	4005.975	66.093	3994.975	67.094	0.647	0.308
0.39	1350	4067.347	66.587	4056.347	67.589	0.644	0.422
0.39	1400	4128.720	67.082	4117.720	68.083	0.641	0.534
0.39	1450	4190.096	67.576	4179.096	68.577	0.638	0.647
0.39	1500	4251.473	68.070	4240.473	69.072	0.634	0.750
0.39	1550	4312.852	68.565	4301.852	69.566	0.631	0.855
0.39	1600	4374.234	69.059	4363.234	70.060	0.627	0.959
0.39	1650	4435.617	69.553	4424.617	70.555	0.624	1.061
0.39	1700	4497.002	70.048	4486.002	71.049	0.621	1.162
0.39	1750	4558.389	70.542	4547.389	71.543	0.617	1.266
0.39	1800	4619.779	71.036	4608.779	72.038	0.613	1.361
0.39	1850	4681.170	71.531	4670.170	72.532	0.609	1.456
0.39	1900	4742.563	72.025	4731.563	73.026	0.605	1.550
0.39	1950	4803.958	72.519	4792.958	73.521	0.600	1.642
0.39	2000	4865.355	73.014	4854.355	74.015	0.596	1.733
0.39	2050	4926.754	73.508	4915.754	74.509	0.591	1.826
0.39	2100	4988.154	74.002	4977.154	75.004	0.587	1.914
0.39	2150	5049.557	74.497	5038.557	75.498	0.582	2.001
0.39	2200	5110.962	74.991	5099.962	75.992	0.576	2.087
0.39	2250	5172.369	75.485	5161.369	76.487	0.571	2.171
0.39	2300	5233.777	75.980	5222.777	76.981	0.565	2.254
0.39	2350	5295.188	76.474	5284.188	77.475	0.559	2.346

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.39	2400	5356.601	76.968	5345.601	77.969	0.553	2.406
0.39	2450	5418.015	77.462	5407.015	78.464	0.547	2.476
0.39	2500	5479.432	77.957	5468.432	78.958	0.540	2.555
0.39	2550	5540.850	78.451	5529.850	79.452	0.533	2.632
0.39	2600	5602.271	78.945	5591.271	79.947	0.526	2.708
0.48	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.900
0.48	50	2472.321	52.785	2461.321	53.786	0.873	0.740
0.48	100	2533.643	53.957	2522.643	54.958	0.852	1.213
0.48	150	2594.968	54.592	2583.968	55.593	0.832	1.499
0.48	200	2656.295	55.115	2645.295	56.117	0.813	1.675
0.48	250	2717.623	55.616	2706.623	56.617	0.797	1.769
0.48	300	2778.954	56.111	2767.954	57.113	0.782	1.808
0.48	350	2840.286	56.606	2829.286	57.607	0.769	1.794
0.48	400	2901.621	57.100	2890.621	58.101	0.756	1.747
0.48	450	2962.957	57.594	2951.957	58.596	0.745	1.676
0.48	500	3024.296	58.089	3013.296	59.090	0.734	1.585
0.48	550	3085.636	58.583	3074.636	59.584	0.726	1.486
0.48	600	3146.978	59.077	3135.978	60.079	0.717	1.374
0.48	650	3208.322	59.572	3197.322	60.573	0.709	1.256
0.48	700	3269.669	60.066	3258.669	61.067	0.702	1.133
0.48	750	3331.017	60.560	3320.017	61.561	0.695	1.008
0.48	800	3392.367	61.054	3381.367	62.056	0.690	0.884
0.48	850	3453.719	61.549	3442.719	62.550	0.684	0.758
0.48	900	3515.073	62.043	3504.073	63.044	0.679	0.631
0.48	950	3576.429	62.537	3565.429	63.538	0.674	0.420
0.48	1000	3637.787	63.031	3626.787	64.033	0.670	0.298
0.48	1050	3699.146	63.526	3688.146	64.527	0.666	0.173
0.48	1100	3760.508	64.020	3749.508	65.021	0.662	0.053
0.48	1150	3821.872	64.514	3810.872	65.515	0.658	0.071
0.48	1200	3883.238	65.008	3872.238	66.010	0.654	0.183
0.48	1250	3944.605	65.503	3933.605	66.504	0.651	0.298
0.48	1300	4005.975	65.997	3994.975	66.998	0.647	0.411
0.48	1350	4067.346	66.491	4056.346	67.492	0.644	0.524
0.48	1400	4128.720	66.985	4117.720	67.987	0.641	0.635
0.48	1450	4190.095	67.480	4179.095	68.481	0.638	0.741
0.48	1500	4251.473	67.974	4240.473	68.975	0.634	0.850
0.48	1550	4312.852	68.468	4301.852	69.469	0.631	0.954
0.48	1600	4374.234	68.962	4363.234	69.964	0.627	1.056
0.48	1650	4435.617	69.457	4424.617	70.458	0.624	1.157

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.48	1700	4497.002	69.951	4486.002	70.952	0.621	1.258
0.48	1050	4558.389	70.445	4547.389	71.446	0.617	1.359
0.48	1100	4619.778	70.939	4608.778	71.940	0.613	1.454
0.48	1150	4681.170	71.433	4670.170	72.435	0.609	1.549
0.48	1200	4742.563	71.928	4731.563	72.929	0.605	1.642
0.48	1250	4803.958	72.422	4792.958	73.423	0.600	1.733
0.48	1300	4865.355	72.916	4854.355	73.917	0.596	1.824
0.48	1350	4926.753	73.410	4915.753	74.411	0.591	1.934
0.48	1400	4988.154	73.904	4977.154	74.906	0.587	1.934
0.48	1450	5049.557	74.399	5038.557	75.400	0.582	2.021
0.48	1500	5110.962	74.893	5099.962	75.894	0.576	2.106
0.48	1550	5172.369	75.387	5161.369	76.388	0.571	2.191
0.48	1600	5233.777	75.881	5222.777	76.882	0.565	2.273
0.48	1650	5295.188	76.375	5284.188	77.377	0.559	2.378
0.48	1700	5356.601	76.869	5345.601	77.871	0.553	2.487
0.48	1750	5418.015	77.364	5407.015	78.365	0.547	2.559
0.48	1800	5479.432	77.858	5468.432	78.859	0.540	2.636
0.48	1850	5540.850	78.352	5529.850	79.353	0.533	2.713
0.48	1900	5602.271	78.846	5591.271	79.847	0.526	2.789
0.48	1950	4497.002	69.951	4486.002	70.952	0.621	1.258
0.48	2000	4558.389	70.445	4547.389	71.446	0.617	1.359
0.48	2050	4619.778	70.939	4608.778	71.940	0.613	1.454
0.48	2100	4681.170	71.433	4670.170	72.435	0.609	1.549
0.48	2150	4742.563	71.928	4731.563	72.929	0.605	1.642
0.48	2200	4803.958	72.422	4792.958	73.423	0.600	1.733
0.48	2250	4865.355	72.916	4854.355	73.917	0.596	1.824
0.48	2300	4926.753	73.410	4915.753	74.411	0.591	1.934
0.48	2350	4988.154	73.904	4977.154	74.906	0.587	1.934
0.48	2400	5049.557	74.399	5038.557	75.400	0.582	2.021
0.48	2450	5110.962	74.893	5099.962	75.894	0.576	2.106
0.48	2500	5479.432	77.858	5468.432	78.859	0.571	2.191
0.48	2550	5540.850	78.352	5529.850	79.353	0.565	2.273
0.48	2600	5602.271	78.846	5591.271	79.847	0.559	2.378
0.57	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.842
0.57	50	2472.321	52.307	2461.321	53.308	0.873	0.777
0.57	100	2533.643	53.662	2522.643	54.663	0.852	1.213
0.57	150	2594.968	54.421	2583.968	55.422	0.832	1.499
0.57	200	2656.295	54.996	2645.295	55.998	0.813	1.675
0.57	250	2717.623	55.516	2706.623	56.517	0.797	1.769

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.57	300	2778.954	56.018	2767.954	57.019	0.782	1.808
0.57	350	2840.286	56.514	2829.286	57.515	0.769	1.794
0.57	400	2901.621	57.009	2890.621	58.010	0.756	1.747
0.57	450	2962.957	57.504	2951.957	58.505	0.745	1.676
0.57	500	3024.296	57.998	3013.296	58.999	0.734	1.585
0.57	550	3085.636	58.492	3074.636	59.493	0.726	1.486
0.57	600	3146.978	58.986	3135.978	59.988	0.717	1.374
0.57	650	3208.322	59.480	3197.322	60.482	0.708	1.256
0.57	700	3269.668	59.975	3258.668	60.976	0.702	1.133
0.57	750	3331.017	60.469	3320.017	61.470	0.695	1.008
0.57	800	3392.367	60.963	3381.367	61.964	0.690	0.884
0.57	850	3453.719	61.457	3442.719	62.458	0.684	0.758
0.57	900	3515.073	61.951	3504.073	62.953	0.679	0.631
0.57	950	3576.429	62.445	3565.429	63.447	0.674	0.420
0.57	1000	3637.786	62.940	3626.786	63.941	0.670	0.296
0.57	1050	3699.146	63.434	3688.146	64.435	0.666	0.172
0.57	1100	3760.508	63.928	3749.508	64.929	0.662	0.051
0.57	1150	3821.872	64.422	3810.872	65.423	0.658	0.072
0.57	1200	3883.238	64.916	3872.238	65.917	0.654	0.185
0.57	1250	3944.605	65.410	3933.605	66.412	0.651	0.300
0.57	1300	4005.975	65.904	3994.975	66.906	0.647	0.413
0.57	1350	4067.346	66.399	4056.346	67.400	0.644	0.526
0.57	1400	4128.720	66.893	4117.720	67.894	0.641	0.637
0.57	1450	4190.095	67.387	4179.095	68.388	0.638	0.736
0.57	1500	4251.473	67.881	4240.473	68.882	0.634	0.851
0.57	1550	2778.954	56.018	2767.954	57.019	0.782	1.808
0.57	1600	2840.286	56.514	2829.286	57.515	0.769	1.794
0.57	1650	2901.621	57.009	2890.621	58.010	0.756	1.747
0.57	1700	2962.957	57.504	2951.957	58.505	0.745	1.676
0.57	1050	3024.296	57.998	3013.296	58.999	0.734	1.585
0.57	1100	3085.636	58.492	3074.636	59.493	0.726	1.486
0.57	1150	3146.978	58.986	3135.978	59.988	0.717	1.374
0.57	1200	3208.322	59.480	3197.322	60.482	0.708	1.256
0.57	1250	3269.668	59.975	3258.668	60.976	0.702	1.133
0.57	1300	3331.017	60.469	3320.017	61.470	0.695	1.008
0.57	1350	3392.367	60.963	3381.367	61.964	0.690	0.884
0.57	1400	3453.719	61.457	3442.719	62.458	0.684	0.758
0.57	1450	3515.073	61.951	3504.073	62.953	0.679	0.631
0.57	1500	3576.429	62.445	3565.429	63.447	0.674	0.420

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.57	1550	4312.852	68.375	4301.852	69.376	0.631	0.956
0.57	1600	4374.233	68.869	4363.233	69.870	0.627	1.058
0.57	1650	4435.617	69.363	4424.617	70.365	0.624	1.159
0.57	1700	4497.002	69.857	4486.002	70.859	0.620	1.260
0.57	1750	4558.389	70.351	4547.389	71.353	0.617	1.358
0.57	1800	4619.778	70.846	4608.778	71.847	0.613	1.456
0.57	1850	4681.169	71.340	4670.169	72.341	0.609	1.550
0.57	1900	4742.562	71.834	4731.562	72.835	0.604	1.643
0.57	1950	4803.957	72.328	4792.957	73.329	0.600	1.735
0.57	2000	4865.354	72.822	4854.354	73.823	0.596	1.825
0.57	2050	4926.753	73.316	4915.753	74.317	0.591	1.930
0.57	2100	4988.154	73.810	4977.154	74.811	0.586	1.934
0.57	2150	5049.557	74.304	5038.557	75.305	0.581	2.021
0.57	2200	5110.962	74.798	5099.962	75.800	0.576	2.106
0.57	2250	5172.369	75.292	5161.369	76.294	0.571	2.190
0.57	2300	5233.777	75.786	5222.777	76.788	0.565	2.273
0.57	2350	5295.188	76.280	5284.188	77.282	0.559	2.378
0.57	2400	5356.600	76.774	5345.600	77.776	0.553	2.487
0.57	2450	5418.015	77.268	5407.015	78.270	0.547	2.485
0.57	2500	5479.432	77.763	5468.432	78.764	0.540	2.513
0.57	2550	5540.850	78.257	5529.850	79.258	0.533	2.455
0.57	2600	5602.270	78.751	5591.270	79.752	0.526	2.422
0.66	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.788
0.66	50	2472.321	51.946	2461.321	52.947	0.873	1.187
0.66	100	2533.643	53.376	2522.643	54.378	0.851	1.809
0.66	150	2594.968	54.228	2583.968	55.230	0.831	2.207
0.66	200	2656.295	54.860	2645.295	55.861	0.813	2.433
0.66	250	2717.623	55.406	2706.623	56.408	0.797	2.538
0.66	300	2778.954	55.921	2767.954	56.922	0.782	2.566
0.66	350	2840.286	56.423	2829.286	57.424	0.768	2.530
0.66	400	2901.621	56.920	2890.621	57.921	0.755	2.455
0.66	450	2962.957	57.415	2951.957	58.416	0.745	2.352
0.66	500	3024.295	57.910	3013.295	58.911	0.734	2.231
0.66	550	3085.636	58.404	3074.636	59.405	0.726	2.102
0.66	600	3146.978	58.898	3135.978	59.899	0.717	1.961
0.66	650	3208.322	59.392	3197.322	60.393	0.708	1.816
0.66	700	3269.668	59.886	3258.668	60.887	0.701	1.669
0.66	750	3331.017	60.380	3320.017	61.382	0.695	1.520
0.66	800	3392.367	60.874	3381.367	61.876	0.690	1.375

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.66	850	3453.719	61.368	3442.719	62.370	0.684	1.229
0.66	900	3515.073	61.862	3504.073	62.864	0.679	1.083
0.66	950	3576.429	62.356	3565.429	63.358	0.674	0.852
0.66	1000	3637.786	62.851	3626.786	63.852	0.669	0.709
0.66	1050	3699.146	63.345	3688.146	64.346	0.665	0.568
0.66	1100	3760.508	63.839	3749.508	64.840	0.662	0.431
0.66	1150	3821.872	64.333	3810.872	65.334	0.658	0.294
0.66	1200	3883.237	64.827	3872.237	65.828	0.654	0.164
0.66	1250	3944.605	65.321	3933.605	66.322	0.650	0.035
0.66	1300	4005.975	65.815	3994.975	66.816	0.647	0.093
0.66	1350	4067.346	66.309	4056.346	67.310	0.644	0.220
0.66	1400	4128.720	66.803	4117.720	67.804	0.641	0.345
0.66	1450	4190.095	67.297	4179.095	68.298	0.637	0.452
0.66	1500	4251.473	67.791	4240.473	68.792	0.634	0.587
0.66	1550	4312.852	68.285	4301.852	69.286	0.630	0.704
0.66	1600	4374.233	68.779	4363.233	69.780	0.627	0.820
0.66	1650	4435.617	69.273	4424.617	70.274	0.624	0.933
0.66	1700	4497.002	69.767	4486.002	70.768	0.620	1.047
0.66	1750	4558.389	70.261	4547.389	71.262	0.616	1.156
0.66	1800	4619.778	70.755	4608.778	71.756	0.613	1.268
0.66	1850	4681.169	71.249	4670.169	72.250	0.608	1.374
0.66	1900	4742.562	71.743	4731.562	72.744	0.604	1.479
0.66	1950	4803.957	72.237	4792.957	73.238	0.600	1.583
0.66	2000	4865.354	72.731	4854.354	73.732	0.596	1.685
0.66	2050	4926.753	73.225	4915.753	74.226	0.591	1.796
0.66	2100	4988.154	73.719	4977.154	74.720	0.586	1.815
0.66	2150	5049.557	74.213	5038.557	75.214	0.581	1.913
0.66	2200	5110.962	74.707	5099.962	75.708	0.576	2.010
0.66	2250	5172.368	75.201	5161.368	76.202	0.570	2.105
0.66	2300	5233.777	75.695	5222.777	76.696	0.565	2.199
0.66	2350	5295.188	76.189	5284.188	77.190	0.559	2.368
0.66	2400	5356.600	76.682	5345.600	77.684	0.553	2.436
0.66	2450	5418.015	77.176	5407.015	78.178	0.546	2.518
0.66	2500	5479.431	77.670	5468.431	78.672	0.540	2.606
0.66	2550	5540.850	78.164	5529.850	79.166	0.533	2.693
0.66	2600	5602.270	78.658	5591.270	79.659	0.526	2.779
0.75	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.739
0.75	50	2472.321	51.663	2461.321	52.665	0.873	1.221
0.75	100	2533.643	53.114	2522.643	54.116	0.851	1.809

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.75	150	2594.968	54.031	2583.968	55.032	0.831	2.207
0.75	200	2656.295	54.711	2645.295	55.713	0.813	2.433
0.75	250	2717.623	55.288	2706.623	56.290	0.797	2.538
0.75	300	2778.954	55.819	2767.954	56.820	0.782	2.566
0.75	350	2840.286	56.329	2829.286	57.330	0.768	2.530
0.75	400	2901.621	56.830	2890.621	57.832	0.755	2.455
0.75	450	2962.957	57.328	2951.957	58.329	0.745	2.352
0.75	500	3024.295	57.823	3013.295	58.824	0.734	2.231
0.75	550	3085.636	58.318	3074.636	59.319	0.726	2.102
0.75	600	3146.978	58.812	3135.978	59.813	0.717	1.961
0.75	650	3208.322	59.306	3197.322	60.307	0.708	1.816
0.75	700	3269.668	59.800	3258.668	60.801	0.701	1.669
0.75	750	3331.017	60.294	3320.017	61.295	0.695	1.520
0.75	800	3392.367	60.788	3381.367	61.789	0.689	1.376
0.75	850	3453.719	61.282	3442.719	62.283	0.684	1.229
0.75	900	3515.073	61.776	3504.073	62.777	0.679	1.083
0.75	950	3576.428	62.270	3565.428	63.271	0.674	0.852
0.75	1000	3637.786	62.764	3626.786	63.765	0.669	0.708
0.75	1050	3699.146	63.258	3688.146	64.259	0.665	0.567
0.75	1100	3760.508	63.752	3749.508	64.753	0.662	0.429
0.75	1150	3821.872	64.246	3810.872	65.247	0.658	0.294
0.75	1200	3883.237	64.740	3872.237	65.741	0.654	0.163
0.75	1250	3944.605	65.234	3933.605	66.235	0.650	0.033
0.75	1300	4005.975	65.728	3994.975	66.729	0.647	0.094
0.75	1350	4067.346	66.222	4056.346	67.223	0.644	0.222
0.75	1400	4128.720	66.715	4117.720	67.717	0.641	0.347
0.75	1450	4190.095	67.209	4179.095	68.211	0.637	0.449
0.75	1500	4251.473	67.703	4240.473	68.705	0.634	0.588
0.75	1550	4312.852	68.197	4301.852	69.199	0.630	0.706
0.75	1600	4374.233	68.691	4363.233	69.692	0.627	0.821
0.75	1650	4435.617	69.185	4424.617	70.186	0.623	0.935
0.75	1700	4497.002	69.679	4486.002	70.680	0.620	1.048
0.75	1750	4558.389	70.173	4547.389	71.174	0.616	1.156
0.75	1800	4619.778	70.667	4608.778	71.668	0.612	1.241
0.75	1850	4681.169	71.161	4670.169	72.162	0.608	1.299
0.75	1900	4742.562	71.654	4731.562	72.656	0.604	1.405
0.75	1950	4803.957	72.148	4792.957	73.150	0.600	1.509
0.75	2000	4865.354	72.642	4854.354	73.644	0.595	1.612
0.75	2050	4926.753	73.136	4915.753	74.137	0.591	1.740

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.75	2100	4988.154	73.630	4977.154	74.631	0.586	1.815
0.75	2150	5049.557	74.124	5038.557	75.125	0.581	1.913
0.75	2200	5110.962	74.618	5099.962	75.619	0.576	2.010
0.75	2250	5172.368	75.111	5161.368	76.113	0.570	2.105
0.75	2300	5233.777	75.605	5222.777	76.607	0.564	2.199
0.75	2350	5295.188	76.099	5284.188	77.100	0.559	2.367
0.75	2400	5356.600	76.593	5345.600	77.594	0.553	2.436
0.75	2450	5418.015	77.087	5407.015	78.088	0.546	2.519
0.75	2500	5479.431	77.581	5468.431	78.582	0.540	2.607
0.75	2550	5540.850	78.074	5529.850	79.076	0.533	2.694
0.75	2600	5602.270	78.568	5591.270	79.570	0.525	2.780
0.84	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.693
0.84	50	2472.321	51.435	2461.321	52.437	0.873	1.252
0.84	100	2533.643	52.878	2522.643	53.880	0.851	1.809
0.84	150	2594.968	53.837	2583.968	54.838	0.831	2.207
0.84	200	2656.295	54.558	2645.295	55.559	0.813	2.433
0.84	250	2717.623	55.163	2706.623	56.165	0.797	2.538
0.84	300	2778.954	55.712	2767.954	56.713	0.782	2.566
0.84	350	2840.286	56.233	2829.286	57.234	0.768	2.530
0.84	400	2901.621	56.740	2890.621	57.741	0.755	2.454
0.84	450	2962.957	57.240	2951.957	58.242	0.744	2.352
0.84	500	3024.295	57.738	3013.295	58.739	0.734	2.231
0.84	550	3085.636	58.233	3074.636	59.234	0.725	2.102
0.84	600	3146.978	58.728	3135.978	59.729	0.716	1.961
0.84	650	3208.322	59.222	3197.322	60.223	0.708	1.816
0.84	700	3269.668	59.716	3258.668	60.717	0.701	1.668
0.84	750	3331.016	60.210	3320.016	61.211	0.694	1.520
0.84	800	3392.367	60.704	3381.367	61.705	0.689	1.376
0.84	850	3453.719	61.198	3442.719	62.199	0.683	1.229
0.84	900	3515.073	61.692	3504.073	62.693	0.679	1.083
0.84	950	3576.428	62.186	3565.428	63.187	0.674	0.852
0.84	1000	3637.786	62.680	3626.786	63.681	0.669	0.706
0.84	1050	3699.146	63.173	3688.146	64.175	0.665	0.565
0.84	1100	3760.508	63.667	3749.508	64.669	0.661	0.494
0.84	1150	3821.872	64.161	3810.872	65.162	0.657	0.351
0.84	1200	3883.237	64.655	3872.237	65.656	0.654	0.252
0.84	1250	3944.605	65.149	3933.605	66.150	0.650	0.121
0.84	1300	4005.975	65.643	3994.975	66.644	0.647	0.008
0.84	1350	4067.346	66.136	4056.346	67.138	0.643	0.134

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.84	1400	4128.720	66.630	4117.720	67.632	0.640	0.258
0.84	1450	4190.095	67.124	4179.095	68.125	0.637	0.495
0.84	1500	4251.473	67.618	4240.473	68.619	0.634	0.504
0.84	1550	4312.852	68.112	4301.852	69.113	0.630	0.622
0.84	1600	4374.233	68.606	4363.233	69.607	0.627	0.739
0.84	1650	4435.617	69.099	4424.617	70.101	0.623	0.854
0.84	1700	4497.002	69.593	4486.002	70.594	0.620	0.966
0.84	1750	4558.389	70.087	4547.389	71.088	0.616	1.118
0.84	1800	4619.778	70.581	4608.778	71.582	0.612	1.191
0.84	1850	4681.169	71.074	4670.169	72.076	0.608	1.299
0.84	1900	4742.562	71.568	4731.562	72.570	0.604	1.405
0.84	1950	4803.957	72.062	4792.957	73.063	0.600	1.509
0.84	2000	4865.354	72.556	4854.354	73.557	0.595	1.612
0.84	2050	4926.753	73.050	4915.753	74.051	0.591	1.784
0.84	2100	4988.154	73.543	4977.154	74.545	0.586	1.815
0.84	2150	5049.557	74.037	5038.557	75.038	0.581	1.913
0.84	2200	5110.962	74.531	5099.962	75.532	0.576	2.010
0.84	2250	5172.368	75.025	5161.368	76.026	0.570	2.105
0.84	2300	5233.777	75.518	5222.777	76.520	0.564	2.199
0.84	2350	5295.188	76.012	5284.188	77.013	0.558	2.364
0.84	2400	5356.600	76.506	5345.600	77.507	0.552	2.436
0.84	2450	5418.015	76.999	5407.015	78.001	0.546	2.520
0.84	2500	5479.431	77.493	5468.431	78.494	0.540	2.608
0.84	2550	5540.850	77.987	5529.850	78.988	0.533	2.695
0.84	2600	5602.270	78.481	5591.270	79.482	0.525	2.781
0.93	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.649
0.93	50	2472.321	51.247	2461.321	52.248	0.873	0.903
0.93	100	2533.643	52.667	2522.643	53.668	0.851	1.213
0.93	150	2594.968	53.651	2583.968	54.652	0.831	1.499
0.93	200	2656.295	54.404	2645.295	55.405	0.813	1.675
0.93	250	2717.623	55.035	2706.623	56.036	0.796	1.769
0.93	300	2778.954	55.601	2767.954	56.603	0.782	1.807
0.93	350	2840.286	56.134	2829.286	57.135	0.768	1.794
0.93	400	2901.621	56.648	2890.621	57.649	0.755	1.747
0.93	450	2962.957	57.153	2951.957	58.154	0.744	1.675
0.93	500	3024.295	57.652	3013.295	58.654	0.734	1.585
0.93	550	3085.636	58.149	3074.636	59.151	0.725	1.486
0.93	600	3146.978	58.645	3135.978	59.646	0.716	1.374
0.93	650	3208.322	59.139	3197.322	60.141	0.708	1.256

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.93	700	3269.668	59.634	3258.668	60.635	0.701	1.133
0.93	750	3331.016	60.128	3320.016	61.129	0.694	1.007
0.93	800	3392.366	60.622	3381.366	61.623	0.689	0.885
0.93	850	3453.719	61.116	3442.719	62.117	0.683	0.758
0.93	900	3515.072	61.609	3504.072	62.611	0.678	0.631
0.93	950	3576.428	62.103	3565.428	63.104	0.673	0.419
0.93	1000	3637.786	62.597	3626.786	63.598	0.669	0.355
0.93	1050	3699.146	63.091	3688.146	64.092	0.665	0.261
0.93	1100	3760.508	63.584	3749.508	64.586	0.661	0.139
0.93	1150	3821.872	64.078	3810.872	65.079	0.657	0.014
0.93	1200	3883.237	64.572	3872.237	65.573	0.654	0.100
0.93	1250	3944.605	65.066	3933.605	66.067	0.650	0.216
0.93	1300	4005.975	65.559	3994.975	66.561	0.646	0.330
0.93	1350	4067.346	66.053	4056.346	67.054	0.643	0.442
0.93	1400	4128.720	66.547	4117.720	67.548	0.640	0.552
0.93	1450	4190.095	67.041	4179.095	68.042	0.637	0.769
0.93	1500	4251.472	67.534	4240.472	68.536	0.633	0.771
0.93	1550	4312.852	68.028	4301.852	69.029	0.630	0.876
0.93	1600	4374.233	68.522	4363.233	69.523	0.626	0.979
0.93	1650	4435.616	69.015	4424.616	70.017	0.623	1.081
0.93	1700	4497.002	69.509	4486.002	70.510	0.620	1.181
0.93	1750	4558.389	70.003	4547.389	71.004	0.616	1.319
0.93	1800	4619.778	70.496	4608.778	71.498	0.612	1.381
0.93	1850	4681.169	70.990	4670.169	71.991	0.608	1.476
0.93	1900	4742.562	71.484	4731.562	72.485	0.604	1.570
0.93	1950	4803.957	71.978	4792.957	72.979	0.599	1.663
0.93	2000	4865.354	72.471	4854.354	73.472	0.595	1.754
0.93	2050	4926.753	72.965	4915.753	73.966	0.591	1.911
0.93	2100	4988.154	73.458	4977.154	74.460	0.586	1.934
0.93	2150	5049.557	73.952	5038.557	74.953	0.581	2.021
0.93	2200	5110.961	74.446	5099.961	75.447	0.575	2.106
0.93	2250	5172.368	74.939	5161.368	75.941	0.570	2.190
0.93	2300	5233.777	75.433	5222.777	76.434	0.564	2.273
0.93	2350	5295.188	75.927	5284.188	76.928	0.558	2.424
0.93	2400	5356.600	76.420	5345.600	77.422	0.552	2.488
0.93	2450	5418.015	76.914	5407.015	77.915	0.546	2.563
0.93	2500	5479.431	77.408	5468.431	78.409	0.539	2.640
0.93	2550	5540.850	77.901	5529.850	78.902	0.532	2.717
0.93	2600	5602.270	78.395	5591.270	79.396	0.525	2.792

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
1.02	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.593
1.02	50	2472.321	51.089	2461.321	52.090	0.873	1.330
1.02	100	2533.643	52.478	2522.643	53.479	0.853	1.808
1.02	150	2594.968	53.475	2583.968	54.476	0.834	2.207
1.02	200	2656.295	54.252	2645.295	55.253	0.816	2.433
1.02	250	2717.623	54.904	2706.623	55.906	0.801	2.537
1.02	300	2778.954	55.488	2767.954	56.489	0.787	2.566
1.02	350	2840.286	56.032	2829.286	57.033	0.774	2.530
1.02	400	2901.621	56.554	2890.621	57.556	0.762	2.454
1.02	450	2962.957	57.064	2951.957	58.066	0.752	2.351
1.02	500	3024.295	57.567	3013.295	58.568	0.742	2.230
1.02	550	3085.636	58.066	3074.636	59.067	0.734	2.101
1.02	600	3146.978	58.563	3135.978	59.564	0.726	1.961
1.02	650	3208.322	59.058	3197.322	60.059	0.719	1.816
1.02	700	3269.668	59.553	3258.668	60.554	0.713	1.668
1.02	750	3331.016	60.047	3320.016	61.048	0.707	1.520
1.02	800	3392.366	60.541	3381.366	61.542	0.703	2.366
1.02	850	3453.718	61.035	3442.718	62.036	0.698	2.211
1.02	900	3515.072	61.528	3504.072	62.530	0.694	2.055
1.02	950	3576.428	62.022	3565.428	63.023	0.690	1.900
1.02	1000	3637.786	62.516	3626.786	63.517	0.686	1.660
1.02	1050	3699.146	63.010	3688.146	64.011	0.683	1.571
1.02	1100	3760.508	63.503	3749.508	64.505	0.680	1.453
1.02	1150	3821.872	63.997	3810.872	64.998	0.678	1.308
1.02	1200	3883.237	64.491	3872.237	65.492	0.675	1.133
1.02	1250	3944.605	64.984	3933.605	65.985	0.672	1.023
1.02	1300	4005.975	65.478	3994.975	66.479	0.669	0.885
1.02	1350	4067.346	65.971	4056.346	66.973	0.667	0.749
1.02	1400	4128.720	66.465	4117.720	67.466	0.665	0.616
1.02	1450	4190.095	66.959	4179.095	67.960	0.663	0.486
1.02	1500	4251.472	67.452	4240.472	68.454	0.660	0.336
1.02	1550	4312.852	67.946	4301.852	68.947	0.658	0.227
1.02	1600	4374.233	68.440	4363.233	69.441	0.655	0.102
1.02	1650	4435.616	68.933	4424.616	69.934	0.653	0.020
1.02	1700	4497.002	69.427	4486.002	70.428	0.650	0.141
1.02	1750	4558.389	69.920	4547.389	70.922	0.647	0.259
1.02	1800	4619.778	70.414	4608.778	71.415	0.644	0.413
1.02	1850	4681.169	70.908	4670.169	71.909	0.641	0.496
1.02	1900	4742.562	71.401	4731.562	72.402	0.638	0.609

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
1.02	1950	4803.957	71.895	4792.957	72.896	0.635	0.721
1.02	2000	4865.354	72.388	4854.354	73.390	0.631	0.831
1.02	2050	4926.753	72.882	4915.753	73.883	0.628	0.939
1.02	2100	4988.154	73.375	4977.154	74.377	0.624	1.108
1.02	2150	5049.557	73.869	5038.557	74.870	0.620	1.175
1.02	2200	5110.961	74.362	5099.961	75.364	0.615	1.300
1.02	2250	5172.368	74.856	5161.368	75.857	0.611	1.357
1.02	2300	5233.777	75.350	5222.777	76.351	0.606	1.457
1.02	2350	5295.187	75.843	5284.187	76.844	0.601	1.557
1.02	2400	5356.600	76.337	5345.600	77.338	0.596	1.719
1.02	2450	5418.015	76.830	5407.015	77.831	0.591	1.804
1.02	2500	5479.431	77.324	5468.431	78.325	0.585	1.894
1.02	2550	5540.850	77.817	5529.850	78.818	0.579	1.987
1.02	2600	5602.270	78.311	5591.270	79.312	0.573	2.079
1.11	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.572
1.11	50	2472.321	50.953	2461.321	51.955	0.874	1.347
1.11	100	2533.643	52.308	2522.643	53.309	0.854	1.808
1.11	150	2594.968	53.310	2583.968	54.311	0.834	2.207
1.11	200	2656.295	54.104	2645.295	55.105	0.817	2.432
1.11	250	2717.623	54.775	2706.623	55.776	0.801	2.537
1.11	300	2778.954	55.373	2767.954	56.374	0.786	2.566
1.11	350	2840.286	55.929	2829.286	56.930	0.773	2.530
1.11	400	2901.621	56.459	2890.621	57.461	0.761	2.454
1.11	450	2962.957	56.975	2951.957	57.976	0.751	2.352
1.11	500	3024.295	57.481	3013.295	58.483	0.741	2.230
1.11	550	3085.636	57.983	3074.636	58.984	0.733	2.102
1.11	600	3146.978	58.481	3135.978	59.482	0.725	1.961
1.11	650	3208.322	58.977	3197.322	59.978	0.717	1.816
1.11	700	3269.668	59.472	3258.668	60.474	0.711	1.668
1.11	750	3331.016	59.967	3320.016	60.968	0.705	1.520
1.11	800	3392.366	60.461	3381.366	61.462	0.701	1.375
1.11	850	3453.718	60.955	3442.718	61.956	0.696	1.228
1.11	900	3515.072	61.449	3504.072	62.450	0.692	1.082
1.11	950	3576.428	61.943	3565.428	62.944	0.688	0.851
1.11	1000	3637.786	62.436	3626.786	63.438	0.684	0.769
1.11	1050	3699.146	62.930	3688.146	63.931	0.681	0.659
1.11	1100	3760.508	63.423	3749.508	64.425	0.679	0.522
1.11	1150	3821.872	63.917	3810.872	64.918	0.676	0.355
1.11	1200	3883.237	64.411	3872.237	65.412	0.673	0.251

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
1.11	1250	3944.605	64.904	3933.605	65.905	0.671	0.120
1.11	1300	4005.974	65.398	3994.974	66.399	0.669	0.009
1.11	1350	4067.346	65.891	4056.346	66.893	0.666	0.135
1.11	1400	4128.720	66.385	4117.720	67.386	0.664	0.258
1.11	1450	4190.095	66.878	4179.095	67.880	0.662	0.478
1.11	1500	4251.472	67.372	4240.472	68.373	0.660	0.504
1.11	1550	4312.852	67.865	4301.852	68.867	0.658	0.623
1.11	1600	4374.233	68.359	4363.233	69.360	0.655	0.739
1.11	1650	4435.616	68.852	4424.616	69.854	0.653	0.854
1.11	1700	4497.002	69.346	4486.002	70.347	0.651	0.966
1.11	1750	4558.389	69.839	4547.389	70.841	0.648	1.113
1.11	1800	4619.778	70.333	4608.778	71.334	0.645	1.191
1.11	1850	4681.169	70.826	4670.169	71.828	0.642	1.298
1.11	1900	4742.562	71.320	4731.562	72.321	0.639	1.405
1.11	1950	4803.957	71.813	4792.957	72.815	0.636	1.509
1.11	2000	4865.354	72.307	4854.354	73.308	0.633	1.612
1.11	2050	4926.753	72.800	4915.753	73.802	0.629	1.774
1.11	2100	4988.154	73.294	4977.154	74.295	0.625	1.837
1.11	2150	5049.557	73.787	5038.557	74.788	0.621	1.957
1.11	2200	5110.961	74.281	5099.961	75.282	0.617	2.051
1.11	2250	5172.368	74.774	5161.368	75.775	0.612	2.130
1.11	2300	5233.777	75.268	5222.777	76.269	0.607	2.198
1.11	2350	5295.187	75.761	5284.187	76.762	0.602	2.354
1.11	2400	5356.600	76.254	5345.600	77.256	0.597	2.436
1.11	2450	5418.014	76.748	5407.014	77.749	0.592	2.522
1.11	2500	5479.431	77.241	5468.431	78.242	0.586	2.610
1.11	2550	5540.849	77.735	5529.849	78.736	0.579	2.697
1.11	2600	5602.270	78.228	5591.270	79.229	0.573	2.782
1.2	0	2411	48.999	2400	50	0.876	0.537
1.2	50	2472.321	50.836	2461.321	51.837	0.874	1.377
1.2	100	2533.643	52.155	2522.643	53.156	0.853	1.707
1.2	150	2594.968	53.156	2583.968	54.157	0.834	2.208
1.2	200	2656.295	53.961	2645.295	54.962	0.816	2.432
1.2	250	2717.623	54.647	2706.623	55.648	0.800	2.537
1.2	300	2778.954	55.258	2767.954	56.260	0.786	2.566
1.2	350	2840.286	55.825	2829.286	56.826	0.773	2.530
1.2	400	2901.621	56.363	2890.621	57.364	0.760	2.454
1.2	450	2962.957	56.884	2951.957	57.886	0.750	2.351
1.2	500	3024.295	57.395	3013.295	58.396	0.740	2.230

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
1.2	650	3208.322	58.897	3197.322	59.898	0.732	2.101
1.2	700	3269.668	59.393	3258.668	60.394	0.724	1.961
1.2	750	3331.016	59.888	3320.016	60.889	0.716	1.816
1.2	800	3392.366	60.382	3381.366	61.384	0.710	1.668
1.2	850	3453.718	60.877	3442.718	61.878	0.705	1.520
1.2	900	3515.072	61.370	3504.072	62.372	0.700	1.375
1.2	950	3576.428	61.864	3565.428	62.866	0.695	1.228
1.2	1000	3637.786	62.358	3626.786	63.359	0.692	1.082
1.2	1050	3699.146	62.851	3688.146	63.853	0.688	0.850
1.2	1100	3760.508	63.345	3749.508	64.346	0.684	0.664
1.2	1150	3821.872	63.838	3810.872	64.840	0.680	0.521
1.2	1200	3883.237	64.332	3872.237	65.333	0.677	0.475
1.2	1250	3944.605	64.825	3933.605	65.827	0.674	0.354
1.2	1300	4005.974	65.319	3994.974	66.320	0.672	0.251
1.2	1350	4067.346	65.812	4056.346	66.814	0.669	0.120
1.2	1400	4128.719	66.306	4117.719	67.307	0.667	0.009
1.2	1450	4190.095	66.799	4179.095	67.801	0.665	0.134
1.2	1500	4251.472	67.293	4240.472	68.294	0.663	0.257
1.2	1550	4312.852	67.786	4301.852	68.787	0.661	0.474
1.2	1600	4374.233	68.280	4363.233	69.281	0.659	0.503
1.2	1650	4435.616	68.773	4424.616	69.774	0.656	0.622
1.2	1700	4497.002	69.266	4486.002	70.268	0.654	0.739
1.2	1750	4558.389	69.760	4547.389	70.761	0.652	0.854
1.2	1800	4619.778	70.253	4608.778	71.255	0.649	1.013
1.2	1850	4681.169	70.747	4670.169	71.748	0.647	1.130
1.2	1900	4742.562	71.240	4731.562	72.241	0.644	1.189
1.2	1950	4803.957	71.733	4792.957	72.735	0.641	1.297
1.2	2000	4865.354	72.227	4854.354	73.228	0.638	1.403
1.2	2050	4926.753	72.720	4915.753	73.721	0.634	1.508
1.2	2100	4988.154	73.213	4977.154	74.215	0.631	1.611
1.2	2150	5049.556	73.707	5038.556	74.708	0.628	1.771
1.2	2200	5110.961	74.200	5099.961	75.201	0.624	1.835
1.2	2250	5172.368	74.694	5161.368	75.695	0.620	1.954
1.2	2300	5233.777	75.187	5222.777	76.188	0.615	2.048
1.2	2350	5295.187	75.680	5284.187	76.681	0.611	2.128
1.2	2400	5356.600	76.173	5345.600	77.175	0.606	2.257
1.2	2350	5418.014	76.667	5407.014	77.668	0.601	2.371
1.2	2400	3208.322	58.897	3197.322	59.898	0.596	2.437
1.2	2450	3269.668	59.393	3258.668	60.394	0.590	2.523

Tabel G. 2 (lanjutan)

m kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
1.2	2500	5479.431	77.160	5468.431	78.161	0.584	2.611
1.2	2550	5540.849	77.653	5529.849	78.655	0.578	2.697
1.2	2600	5602.270	78.147	5591.270	79.148	0.572	2.783

Pada tabel G.3 divariasikan nilai temperatur injeksi CO₂ dengan tekanan dan massa jenis injeksi tetap yaitu sebesar 2400 psi dan 0.3044. Validasi dilakukan setiap segmen, dan didapatkan rata-rata *error* tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 0.628% dan 1.0397 %

Tabel G. 3 Validasi model *injection well* dengan variasi temperatur

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
51	0	2411	49.999	2400	51	0.869	0.294
51	50	2472.321	54.269	2461.321	55.271	0.861	0.969
51	100	2533.643	54.263	2522.643	55.264	0.835	1.247
51	150	2594.968	54.823	2583.968	55.824	0.810	1.562
51	200	2656.295	55.309	2645.295	56.310	0.788	1.770
51	250	2717.623	55.805	2706.623	56.806	0.768	1.897
51	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.750	1.970
51	350	2840.286	56.794	2829.286	57.795	0.733	1.991
51	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.718	1.978
51	450	2962.957	57.783	2951.957	58.784	0.704	1.940
51	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.691	1.883
51	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.681	1.817
51	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.670	1.737
51	650	3208.322	59.761	3197.322	60.762	0.660	1.650
51	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.652	1.558
51	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.644	1.464
51	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.638	1.371
51	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.631	1.273
51	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.625	1.175
51	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.620	0.992
51	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.614	0.847
51	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.609	0.740
51	1100	3760.508	64.211	3749.508	65.212	0.605	0.660
51	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.601	0.583

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
51	1250	3944.605	65.694	3933.605	66.696	0.596	0.476
51	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.592	0.382
51	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.589	0.290
51	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.585	0.208
51	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.582	0.183
51	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.579	0.063
51	1550	4312.852	68.661	4301.852	69.662	0.576	0.073
51	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.573	0.011
51	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.570	0.093
51	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.567	0.174
51	1750	4558.389	70.639	4547.389	71.640	0.564	0.253
51	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.561	0.369
51	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.558	0.413
51	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.555	0.489
51	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.551	0.564
51	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.548	0.637
51	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.544	0.710
51	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.541	0.852
51	2150	5049.557	74.594	5038.557	75.596	0.537	0.853
51	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.533	0.923
51	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.528	0.992
51	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.524	1.059
51	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.519	1.126
51	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.514	1.257
51	2450	5418.015	77.561	5407.015	78.562	0.509	1.313
51	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.504	1.368
51	2550	5540.850	78.550	5529.850	79.551	0.498	1.430
51	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.492	1.491
52	0	2411	50.999	2400	52	0.861	0.593
52	50	2472.321	54.136	2461.321	55.138	0.859	0.980
52	100	2533.643	54.280	2522.643	55.282	0.838	1.274
52	150	2594.968	54.821	2583.968	55.822	0.818	1.617
52	200	2656.295	55.309	2645.295	56.311	0.800	1.882
52	250	2717.623	55.805	2706.623	56.806	0.784	1.930
52	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.770	1.918
52	350	2840.286	56.794	2829.286	57.795	0.756	2.008
52	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.743	1.985
52	450	2962.957	57.783	2951.957	58.784	0.732	2.016
52	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.722	1.977

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
52	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.713	1.930
52	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.705	1.881
52	650	3208.322	59.761	3197.322	60.762	0.697	1.827
52	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.691	1.817
52	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.685	1.729
52	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.680	1.654
52	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.675	1.593
52	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.671	1.521
52	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.667	1.486
52	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.663	1.410
52	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.660	1.341
52	1100	3760.508	64.211	3749.508	65.212	0.657	1.291
52	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.654	1.241
52	1200	3883.238	65.200	3872.238	66.201	0.651	1.160
52	1250	3944.605	65.694	3933.605	66.696	0.648	1.091
52	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.646	1.023
52	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.643	0.962
52	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.641	0.911
52	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.638	0.912
52	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.635	0.792
52	1550	4312.852	68.661	4301.852	69.662	0.632	0.729
52	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.629	0.667
52	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.626	0.606
52	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.624	0.557
52	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.620	0.515
52	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.617	0.424
52	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.613	0.367
52	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.609	0.311
52	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.605	0.255
52	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.600	0.200
52	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.596	0.164
52	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.591	0.116
52	2150	5049.557	74.594	5038.557	75.596	0.586	0.064
52	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.581	0.013
52	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.574	0.038
52	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.567	0.088
52	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.560	0.121
52	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.553	0.138
52	2450	5418.015	77.561	5407.015	78.562	0.546	0.180

Tabel G. 3 (lanjutan)

T	Kedalaman	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
C	m	P out	T out	P out	T out	P	T
52	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.539	0.226
52	2550	5540.850	78.550	5529.850	79.551	0.532	0.271
52	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.525	0.316
53	0	2411	51.999	2400	53	0.854	0.599
53	50	2472.321	54.003	2461.321	55.005	0.852	0.347
53	100	2533.643	54.298	2522.643	55.299	0.830	0.186
53	150	2594.968	54.819	2583.968	55.820	0.811	0.225
53	200	2656.295	55.310	2645.295	56.311	0.793	0.126
53	250	2717.623	55.805	2706.623	56.806	0.776	0.002
53	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.761	0.010
53	350	2840.286	56.794	2829.286	57.795	0.747	0.008
53	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.734	0.011
53	450	2962.957	57.783	2951.957	58.784	0.723	0.047
53	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.713	0.053
53	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.706	0.090
53	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.698	0.109
53	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.690	0.085
53	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.684	0.133
53	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.679	0.140
53	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.674	0.197
53	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.670	0.212
53	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.666	0.240
53	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.663	0.230
53	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.659	0.263
53	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.657	0.312
53	1100	3760.508	64.211	3749.508	65.212	0.654	0.324
53	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.652	0.305
53	1200	3883.238	65.200	3872.238	66.201	0.649	0.338
53	1250	3944.605	65.694	3933.605	66.696	0.647	0.364
53	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.645	0.389
53	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.643	0.412
53	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.641	0.424
53	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.638	0.379
53	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.636	0.459
53	1550	4312.852	68.661	4301.852	69.662	0.634	0.482
53	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.631	0.505
53	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.628	0.528
53	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.625	0.541
53	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.623	0.546

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
53	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.619	0.599
53	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.616	0.621
53	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.612	0.642
53	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.608	0.663
53	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.603	0.684
53	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.599	0.690
53	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.594	0.701
53	2150	5049.557	74.594	5038.557	75.596	0.589	0.720
53	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.584	0.740
53	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.578	0.759
53	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.572	0.778
53	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.565	0.781
53	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.559	0.765
53	2450	5418.016	77.561	5407.016	78.562	0.553	0.776
53	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.546	0.793
53	2550	5540.850	78.550	5529.850	79.551	0.538	0.810
53	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.530	0.826
54	0	2411	52.999	2400	54	0.847	0.605
54	50	2472.321	53.871	2461.321	54.872	0.846	0.014
54	100	2533.644	54.315	2522.644	55.317	0.823	0.469
54	150	2594.968	54.816	2583.968	55.818	0.802	0.762
54	200	2656.295	55.310	2645.295	56.311	0.783	0.906
54	250	2717.623	55.805	2706.623	56.806	0.766	1.017
54	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.751	1.069
54	350	2840.287	56.794	2829.287	57.795	0.738	1.133
54	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.725	1.184
54	450	2962.957	57.783	2951.957	58.784	0.715	1.223
54	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.705	1.249
54	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.698	1.254
54	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.690	1.243
54	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.847	0.605
54	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.846	0.014
54	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.823	0.469
54	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.802	0.762
54	400	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.783	0.906
54	450	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.766	1.017
54	500	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.751	1.069
54	550	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.738	1.133
54	600	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.725	1.184

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
54	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.684	1.263
54	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.678	1.268
54	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.673	1.282
54	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.669	1.291
54	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.665	1.274
54	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.662	1.268
54	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.659	1.229
54	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.656	1.249
54	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.654	1.252
54	1100	3760.508	64.211	3749.508	65.212	0.652	1.222
54	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.650	1.169
54	1200	3883.238	65.200	3872.238	66.201	0.648	1.168
54	1250	3944.606	65.694	3933.606	66.696	0.646	1.160
54	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.644	1.150
54	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.643	1.142
54	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.641	1.121
54	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.639	1.042
54	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.637	1.089
54	1550	4312.852	68.661	4301.852	69.662	0.635	1.081
54	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.633	1.072
54	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.630	1.063
54	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.628	1.048
54	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.625	1.023
54	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.622	1.043
54	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.619	1.035
54	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.615	1.027
54	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.611	1.019
54	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.607	1.011
54	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.602	0.991
54	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.598	0.974
54	2150	5049.557	74.594	5038.557	75.596	0.592	0.964
54	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.587	0.957
54	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.581	0.949
54	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.575	0.942
54	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.568	0.920
54	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.561	0.839
54	2450	5418.016	77.561	5407.016	78.562	0.555	0.811
54	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.547	0.803
54	2550	5540.851	78.550	5529.851	79.551	0.540	0.795

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
54	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.531	0.788
55	0	2411	53.999	2400	55	0.603	0.603
55	50	2472.321	53.738	2461.321	54.740	0.050	0.050
55	100	2533.644	54.333	2522.644	55.334	0.400	0.400
55	150	2594.968	54.814	2583.968	55.815	0.669	0.669
55	200	2656.295	55.310	2645.295	56.312	0.778	0.778
55	250	2717.623	55.805	2706.623	56.806	0.857	0.857
55	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.878	0.878
55	350	2840.287	56.794	2829.287	57.795	0.911	0.911
55	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.929	0.929
55	450	2962.957	57.783	2951.957	58.784	0.937	0.937
55	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.936	0.936
55	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.900	0.900
55	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.897	0.897
55	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.863	0.863
55	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.841	0.841
55	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.815	0.815
55	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.779	0.779
55	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.767	0.767
55	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.738	0.738
55	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.666	0.666
55	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.638	0.638
55	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.613	0.613
55	1100	3760.508	64.211	3749.508	65.212	0.584	0.584
55	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.514	0.514
55	1200	3883.238	65.200	3872.238	66.201	0.501	0.501
55	1250	3944.606	65.694	3933.606	66.696	0.482	0.482
55	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.451	0.451
55	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.420	0.420
55	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.375	0.375
55	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.236	0.236
55	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.273	0.273
55	1550	4312.853	68.661	4301.853	69.662	0.242	0.242
55	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.212	0.212
55	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.181	0.181
55	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.149	0.149
55	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.100	0.100
55	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.099	0.099
55	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.068	0.068

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
55	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.040	0.040
55	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.011	0.011
55	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.018	0.018
55	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.052	0.052
55	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.089	0.089
55	2150	5049.558	74.594	5038.558	75.596	0.115	0.115
55	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.141	0.141
55	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.167	0.167
55	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.192	0.192
55	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.206	0.206
55	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.293	0.293
55	2450	5418.016	77.561	5407.016	78.562	0.328	0.328
55	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.353	0.353
55	2550	5540.851	78.550	5529.851	79.551	0.378	0.378
55	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.403	0.403
56	0	2411	54.999	2400	56	0.833	0.605
56	50	2472.321	53.606	2461.321	54.607	0.830	0.256
56	100	2533.644	54.350	2522.644	55.351	0.806	0.844
56	150	2594.968	54.812	2583.968	55.813	0.785	1.163
56	200	2656.295	55.311	2645.295	56.312	0.765	1.407
56	250	2717.624	55.805	2706.624	56.806	0.749	1.587
56	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.735	1.740
56	350	2840.287	56.794	2829.287	57.795	0.722	1.826
56	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.710	1.878
56	450	2962.957	57.783	2951.957	58.784	0.700	1.868
56	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.692	1.873
56	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.686	1.889
56	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.679	1.841
56	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.673	1.898
56	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.668	1.944
56	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.663	1.894
56	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.660	1.841
56	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.657	1.785
56	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.654	1.726
56	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.652	1.644
56	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.650	1.579
56	1150	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.648	1.511
56	1200	3760.508	64.211	3749.508	65.212	0.647	1.440
56	1250	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.645	1.354

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
56	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.642	1.187
56	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.640	1.106
56	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.639	1.044
56	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.638	0.890
56	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.637	0.896
56	1550	4312.853	68.661	4301.853	69.662	0.635	0.835
56	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.633	0.785
56	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.631	0.737
56	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.629	0.678
56	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.627	0.577
56	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.625	0.538
56	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.622	0.477
56	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.618	0.421
56	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.615	0.365
56	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.611	0.309
56	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.606	0.241
56	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.602	0.186
56	2150	5049.558	74.594	5038.558	75.596	0.597	0.130
56	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.592	0.077
56	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.586	0.025
56	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.579	0.035
56	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.573	0.091
56	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.566	0.165
56	2450	5418.016	77.561	5407.016	78.562	0.559	0.219
56	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.551	0.287
56	2550	5540.851	78.550	5529.851	79.551	0.543	0.342
56	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.534	0.390
57	0	2411	55.999	2400	57	0.826	0.610
57	50	2472.321	53.474	2461.321	54.475	0.823	0.222
57	100	2533.644	54.367	2522.644	55.369	0.798	0.776
57	150	2594.968	54.810	2583.968	55.811	0.777	1.060
57	200	2656.295	55.311	2645.295	56.312	0.757	1.270
57	250	2717.624	55.805	2706.624	56.806	0.741	1.417
57	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.726	1.503
57	350	2840.287	56.794	2829.287	57.795	0.714	1.558
57	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.702	1.581
57	450	2962.957	57.783	2951.957	58.784	0.693	1.580
57	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.685	1.558
57	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.679	1.612

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
57	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.672	1.648
57	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.666	1.587
57	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.661	1.519
57	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.657	1.445
57	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.654	1.367
57	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.651	1.258
57	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.649	1.174
57	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.647	1.082
57	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.645	1.000
57	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.644	0.912
57	1100	3760.508	64.211	3749.508	65.212	0.643	0.810
57	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.643	0.712
57	1200	3883.238	65.200	3872.238	66.201	0.642	0.645
57	1250	3944.606	65.694	3933.606	66.696	0.641	0.558
57	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.641	0.459
57	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.640	0.360
57	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.639	0.271
57	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.639	0.116
57	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.638	0.100
57	1550	4312.853	68.661	4301.853	69.662	0.636	0.031
57	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.635	0.052
57	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.633	0.133
57	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.631	0.227
57	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.629	0.335
57	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.627	0.395
57	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.624	0.477
57	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.621	0.554
57	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.617	0.630
57	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.614	0.705
57	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.609	0.799
57	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.605	0.858
57	2150	5049.558	74.594	5038.558	75.596	0.600	0.949
57	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.595	1.020
57	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.589	1.089
57	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.582	1.165
57	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.575	1.244
57	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.568	1.332
57	2450	5418.016	77.561	5407.016	78.562	0.561	1.404
57	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.553	1.479

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
57	2550	5540.851	78.550	5529.851	79.551	0.545	1.546
57	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.535	1.612
58	0	2411	56.999	2400	58	0.818	0.615
58	50	2472.321	53.341	2461.321	54.343	0.815	0.449
58	100	2533.644	54.385	2522.644	55.386	0.790	1.174
58	150	2594.968	54.807	2583.968	55.809	0.767	1.587
58	200	2656.295	55.311	2645.295	56.312	0.748	1.897
58	250	2717.624	55.804	2706.624	56.806	0.730	2.118
58	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.716	2.255
58	350	2840.287	56.794	2829.287	57.795	0.703	2.344
58	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.691	2.390
58	450	2962.957	57.783	2951.957	58.784	0.682	2.400
58	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.674	2.380
58	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.668	2.331
58	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.662	2.266
58	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.657	2.190
58	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.654	2.103
58	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.651	2.007
58	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.650	1.905
58	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.648	1.984
58	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.646	1.850
58	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.644	1.732
58	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.643	1.622
58	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.642	1.504
58	1100	3760.509	64.211	3749.509	65.212	0.642	1.377
58	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.641	1.244
58	1200	3883.238	65.200	3872.238	66.201	0.641	1.135
58	1250	3944.606	65.694	3933.606	66.696	0.641	1.012
58	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.640	0.895
58	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.640	0.780
58	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.639	0.659
58	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.639	0.483
58	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.638	0.422
58	1550	4312.853	68.661	4301.853	69.662	0.637	0.305
58	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.636	0.198
58	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.635	0.099
58	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.633	0.004
58	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.631	0.138
58	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.629	0.231

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
58	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.627	0.336
58	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.623	0.440
58	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.620	0.543
58	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.616	0.645
58	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.612	0.776
58	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.607	0.864
58	2150	5049.558	74.594	5038.558	75.596	0.603	0.970
58	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.597	1.067
58	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.591	1.163
58	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.585	1.259
58	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.578	1.362
58	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.570	1.477
58	2450	5418.016	77.561	5407.016	78.562	0.563	1.571
58	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.555	1.670
58	2550	5540.851	78.550	5529.851	79.551	0.546	1.761
58	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.537	1.851
59	0	2411	57.999	2400	59	0.811	0.613
59	50	2472.321	53.210	2461.321	54.211	0.808	0.469
59	100	2533.644	54.402	2522.644	55.403	0.782	1.215
59	150	2594.968	54.805	2583.968	55.806	0.759	1.633
59	200	2656.295	55.311	2645.295	56.313	0.739	1.941
59	250	2717.624	55.804	2706.624	56.806	0.721	2.157
59	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.706	2.284
59	350	2840.287	56.794	2829.287	57.795	0.694	2.359
59	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.682	2.389
59	450	2962.958	57.783	2951.958	58.784	0.673	2.382
59	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.665	2.343
59	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.659	2.274
59	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.654	2.186
59	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.649	2.087
59	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.646	1.977
59	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.643	1.858
59	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.642	1.732
59	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.641	1.593
59	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.641	1.456
59	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.640	1.471
59	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.639	1.350
59	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.638	1.208
59	1100	3760.509	64.211	3749.509	65.212	0.638	1.062

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Elevation m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
59	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.639	0.896
59	1200	3883.238	65.200	3872.238	66.201	0.639	0.759
59	1250	3944.606	65.694	3933.606	66.696	0.639	0.618
59	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.639	0.477
59	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.639	0.337
59	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.639	0.196
59	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.639	0.009
59	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.638	0.092
59	1550	4312.853	68.661	4301.853	69.662	0.638	0.233
59	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.637	0.367
59	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.636	0.500
59	1700	4497.002	70.144	4486.002	71.146	0.634	0.631
59	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.633	0.775
59	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.631	0.893
59	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.628	1.021
59	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.625	1.162
59	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.622	1.287
59	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.618	1.411
59	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.614	1.539
59	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.610	1.645
59	2150	5049.558	74.594	5038.558	75.596	0.605	1.764
59	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.600	1.891
59	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.594	2.008
59	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.587	2.115
59	2350	5295.188	76.572	5284.188	77.573	0.580	2.229
59	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.572	2.385
59	2450	5418.016	77.561	5407.016	78.562	0.564	2.501
59	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.556	2.619
59	2550	5540.851	78.550	5529.851	79.551	0.547	2.730
59	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.537	2.840
60	0	2411	58.999	2400	60	0.804	0.617
60	50	2472.321	53.078	2461.321	54.079	0.802	0.614
60	100	2533.644	54.419	2522.644	55.421	0.777	1.478
60	150	2594.968	54.803	2583.968	55.804	0.753	2.202
60	200	2656.295	55.312	2645.295	56.313	0.732	2.566
60	250	2717.624	55.804	2706.624	56.806	0.714	2.827
60	300	2778.954	56.299	2767.954	57.300	0.699	2.972
60	350	2840.287	56.794	2829.287	57.795	0.685	3.060
60	400	2901.621	57.288	2890.621	58.289	0.673	3.101

Tabel G. 3 (lanjutan)

T C	Elevation m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
60	450	2962.958	57.783	2951.958	58.784	0.664	3.097
60	500	3024.296	58.277	3013.296	59.278	0.655	3.056
60	550	3085.636	58.772	3074.636	59.773	0.649	2.978
60	600	3146.978	59.266	3135.978	60.267	0.644	2.860
60	650	3208.323	59.761	3197.323	60.762	0.639	2.747
60	700	3269.669	60.255	3258.669	61.256	0.636	2.620
60	750	3331.017	60.750	3320.017	61.751	0.633	2.481
60	800	3392.367	61.244	3381.367	62.245	0.632	2.334
60	850	3453.719	61.739	3442.719	62.740	0.631	2.156
60	900	3515.073	62.233	3504.073	63.234	0.631	1.994
60	950	3576.429	62.727	3565.429	63.729	0.631	1.826
60	1000	3637.787	63.222	3626.787	64.223	0.631	1.665
60	1050	3699.147	63.716	3688.147	64.718	0.631	1.498
60	1100	3760.509	64.211	3749.509	65.212	0.632	1.330
60	1150	3821.872	64.705	3810.872	65.707	0.633	1.137
60	1200	3883.238	65.200	3872.238	66.201	0.635	0.970
60	1250	3944.606	65.694	3933.606	66.696	0.635	0.802
60	1300	4005.975	66.189	3994.975	67.190	0.636	0.635
60	1350	4067.347	66.683	4056.347	67.685	0.637	0.468
60	1400	4128.720	67.178	4117.720	68.179	0.637	0.302
60	1450	4190.096	67.672	4179.096	68.673	0.638	0.089
60	1500	4251.473	68.167	4240.473	69.168	0.639	0.046
60	1550	4312.853	68.661	4301.853	69.662	0.639	0.207
60	1600	4374.234	69.156	4363.234	70.157	0.638	0.368
60	1650	4435.617	69.650	4424.617	70.651	0.637	0.526
60	1700	4497.003	70.144	4486.003	71.146	0.636	0.684
60	1750	4558.390	70.639	4547.390	71.640	0.635	0.854
60	1800	4619.779	71.133	4608.779	72.135	0.634	1.008
60	1850	4681.170	71.628	4670.170	72.629	0.632	1.153
60	1900	4742.563	72.122	4731.563	73.123	0.629	1.309
60	1950	4803.958	72.617	4792.958	73.618	0.626	1.467
60	2000	4865.355	73.111	4854.355	74.112	0.622	1.615
60	2050	4926.754	73.605	4915.754	74.607	0.618	1.768
60	2100	4988.155	74.100	4977.155	75.101	0.614	1.905
60	2150	5049.558	74.594	5038.558	75.596	0.609	2.039
60	2200	5110.962	75.089	5099.962	76.090	0.604	2.181
60	2250	5172.369	75.583	5161.369	76.584	0.597	2.322
60	2300	5233.778	76.078	5222.778	77.079	0.591	2.461
60	2350	5295.189	76.572	5284.189	77.573	0.583	2.617

Tabel G. 3 (lanjutan)

T	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
C	m	P out	T out	P out	T out	P	T
60	2400	5356.601	77.066	5345.601	78.068	0.576	2.782
60	2450	5418.016	77.561	5407.016	78.562	0.567	2.921
60	2500	5479.432	78.055	5468.432	79.057	0.559	3.060
60	2550	5540.851	78.550	5529.851	79.551	0.549	3.196
60	2600	5602.271	79.044	5591.271	80.045	0.539	3.328

Lampiran H Validasi Model Reservoir

Validasi pada reservoir dilakukan dengan melakukan perbandingan antara hasil permodelan gradien tekanan dan temperatur dengan *software* COMSOL. Pada tabel H.1, divariasikan nilai tekanan injeksi CO₂ dengan massa jenis dan temperatur injeksi yang tetap yaitu sebesar 0.3044 kg/s dan 50 °C. Validasi dilakukan pada setiap jarak 10 m, dan didapatkan rata-rata *error* untuk tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 0.039% dan 0.021%.

Tabel H. 1 Validasi model reservoir dengan variasi tekanan injeksi

P	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2400	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.119	0.019
2400	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.119	0.019
2400	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.120	0.019
2400	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.120	0.019
2400	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.120	0.019
2400	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.120	0.019
2400	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.120	0.019
2400	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.120	0.019
2400	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.121	0.019
2400	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.121	0.019
2400	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.121	0.019
2400	110	5528.868	79.833	5537.368	79.903	0.121	0.019
2400	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.121	0.019
2400	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.121	0.019
2400	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.121	0.019
2400	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.122	0.019
2400	160	5506.351	79.767	5514.851	79.837	0.122	0.019
2400	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.122	0.019
2400	180	5497.702	79.740	5506.202	79.810	0.122	0.019
2400	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.122	0.019
2400	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.122	0.019

Tabel H. 1 (lanjutan)

P	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2420	0	5602.804	79.975	5611.304	80.045	0.008	0.020
2420	10	5597.656	79.962	5606.156	80.032	0.016	0.020
2420	20	5592.555	79.949	5601.055	80.019	0.025	0.020
2420	30	5587.503	79.937	5596.003	80.007	0.033	0.020
2420	40	5582.499	79.924	5590.999	79.994	0.042	0.020
2420	50	5577.543	79.911	5586.043	79.981	0.052	0.020
2420	60	5572.635	79.898	5581.135	79.968	0.062	0.020
2420	70	5567.777	79.885	5576.277	79.955	0.072	0.020
2420	80	5562.967	79.872	5571.467	79.942	0.082	0.020
2420	90	5558.207	79.859	5566.707	79.929	0.094	0.020
2420	100	5553.496	79.846	5561.996	79.916	0.105	0.020
2420	110	5548.835	79.832	5557.335	79.902	0.117	0.019
2420	120	5544.224	79.819	5552.724	79.889	0.129	0.019
2420	130	5539.663	79.806	5548.163	79.876	0.142	0.019
2420	140	5535.153	79.793	5543.653	79.863	0.155	0.019
2420	150	5530.694	79.780	5539.194	79.850	0.168	0.019
2420	160	5526.286	79.767	5534.786	79.837	0.182	0.018
2420	170	5521.929	79.753	5530.429	79.823	0.197	0.018
2420	180	5517.623	79.740	5526.123	79.810	0.211	0.018
2420	190	5513.370	79.727	5521.870	79.797	0.227	0.018
2420	200	5509.168	79.714	5517.668	79.784	0.242	0.017
2440	0	5622.837	79.975	5631.337	80.045	0.000	0.020
2440	10	5617.683	79.962	5626.183	80.032	0.000	0.020
2440	20	5612.577	79.949	5621.077	80.019	0.000	0.019
2440	30	5607.518	79.936	5616.018	80.006	0.001	0.019
2440	40	5602.508	79.923	5611.008	79.993	0.002	0.019
2440	50	5597.546	79.910	5606.046	79.980	0.003	0.019
2440	30	5592.633	79.898	5601.133	79.968	0.005	0.018
2440	40	5587.768	79.885	5596.268	79.955	0.007	0.018
2440	50	5582.952	79.872	5591.452	79.942	0.010	0.018
2440	60	5578.186	79.859	5586.686	79.929	0.013	0.017
2440	70	5573.469	79.845	5581.969	79.915	0.016	0.017
2440	80	5568.802	79.832	5577.302	79.902	0.020	0.017
2440	90	5564.184	79.819	5572.684	79.889	0.000	0.020
2440	100	5559.617	79.806	5568.117	79.876	0.000	0.020
2440	110	5555.101	79.793	5563.601	79.863	0.000	0.019

Tabel H. 1 (lanjutan)

P	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2440	120	5564.184	79.819	5572.684	79.889	0.024	0.016
2440	130	5559.617	79.806	5568.117	79.876	0.029	0.016
2440	140	5555.101	79.793	5563.601	79.863	0.034	0.015
2440	150	5550.635	79.780	5559.135	79.850	0.039	0.015
2440	160	5546.220	79.767	5554.720	79.837	0.045	0.014
2440	170	5541.856	79.753	5550.356	79.823	0.051	0.014
2440	180	5537.544	79.740	5546.044	79.810	0.058	0.013
2440	190	5533.284	79.727	5541.784	79.797	0.065	0.013
2440	200	5529.076	79.714	5537.576	79.784	0.072	0.012
2460	0	5642.870	79.975	5651.370	80.045	0.004	0.020
2460	10	5637.710	79.962	5646.210	80.032	0.003	0.019
2460	20	5632.598	79.949	5641.098	80.019	0.002	0.018
2460	30	5627.534	79.936	5636.034	80.006	0.002	0.017
2460	40	5622.518	79.923	5631.018	79.993	0.002	0.016
2460	50	5617.550	79.910	5626.050	79.980	0.002	0.016
2460	60	5612.630	79.897	5621.130	79.967	0.003	0.015
2460	70	5607.759	79.884	5616.259	79.954	0.004	0.014
2460	80	5602.938	79.871	5611.438	79.941	0.006	0.013
2460	90	5598.165	79.858	5606.665	79.928	0.008	0.012
2460	100	5593.442	79.845	5601.942	79.915	0.010	0.011
2460	110	5588.768	79.832	5597.268	79.902	0.013	0.010
2460	120	5584.145	79.819	5592.645	79.889	0.016	0.009
2460	130	5579.571	79.806	5588.071	79.876	0.019	0.008
2460	140	5575.048	79.793	5583.548	79.863	0.023	0.007
2460	150	5570.576	79.780	5579.076	79.850	0.027	0.006
2460	160	5566.154	79.767	5574.654	79.837	0.032	0.005
2460	170	5561.784	79.753	5570.284	79.823	0.037	0.004
2460	180	5557.466	79.740	5565.966	79.810	0.042	0.002
2460	190	5642.870	79.975	5651.370	80.045	0.048	0.001
2460	200	5637.710	79.962	5646.210	80.032	0.054	0.000
2480	0	5662.902	79.975	5671.402	80.045	0.006	0.020
2480	10	5657.737	79.962	5666.237	80.032	0.005	0.019
2480	20	5652.619	79.949	5661.119	80.019	0.004	0.018
2480	30	5647.549	79.936	5656.049	80.006	0.002	0.017
2480	40	5642.527	79.923	5651.027	79.993	0.000	0.016
2480	50	5637.553	79.910	5646.053	79.980	0.002	0.015

Tabel H. 1 (lanjutan)

P	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2480	60	5632.628	79.897	5641.128	79.967	0.004	0.014
2480	70	5627.751	79.884	5636.251	79.954	0.007	0.014
2480	80	5622.923	79.871	5631.423	79.941	0.011	0.013
2480	90	5618.144	79.858	5626.644	79.928	0.015	0.012
2480	100	5613.415	79.845	5621.915	79.915	0.019	0.011
2480	110	5608.735	79.832	5617.235	79.902	0.023	0.010
2480	120	5604.105	79.819	5612.605	79.889	0.028	0.009
2480	130	5599.525	79.806	5608.025	79.876	0.034	0.008
2480	140	5594.996	79.793	5603.496	79.863	0.039	0.007
2480	150	5590.517	79.780	5599.017	79.850	0.045	0.006
2480	160	5586.089	79.767	5594.589	79.837	0.052	0.005
2480	170	5581.712	79.753	5590.212	79.823	0.059	0.003
2480	180	5577.387	79.740	5585.887	79.810	0.066	0.002
2480	190	5573.113	79.727	5581.613	79.797	0.074	0.001
2480	200	5568.891	79.714	5577.391	79.784	0.082	0.000
2500	0	5682.935	79.974	5691.435	80.044	0.006	0.020
2500	10	5677.764	79.962	5686.264	80.032	0.004	0.020
2500	20	5672.641	79.949	5681.141	80.019	0.002	0.020
2500	30	5667.565	79.936	5676.065	80.006	0.001	0.020
2500	40	5662.537	79.923	5671.037	79.993	0.000	0.020
2500	50	5657.557	79.910	5666.057	79.980	0.000	0.020
2500	60	5652.625	79.897	5661.125	79.967	0.000	0.020
2500	70	5647.742	79.884	5656.242	79.954	0.000	0.020
2500	80	5642.908	79.871	5651.408	79.941	0.001	0.020
2500	90	5638.123	79.858	5646.623	79.928	0.002	0.020
2500	100	5633.388	79.845	5641.888	79.915	0.003	0.020
2500	110	5628.702	79.832	5637.202	79.902	0.005	0.020
2500	120	5624.065	79.819	5632.565	79.889	0.007	0.020
2500	130	5619.479	79.806	5627.979	79.876	0.010	0.020
2500	140	5614.943	79.793	5623.443	79.863	0.013	0.020
2500	150	5610.458	79.780	5618.958	79.850	0.016	0.020
2500	160	5606.024	79.767	5614.524	79.837	0.020	0.020
2500	170	5601.640	79.753	5610.140	79.823	0.024	0.020
2500	180	5597.308	79.740	5605.808	79.810	0.029	0.020
2500	190	5593.028	79.727	5601.528	79.797	0.034	0.020
2500	200	5588.799	79.714	5597.299	79.784	0.039	0.020

Tabel H. 1 (lanjutan)

P	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2520	0	5702.968	79.974	5711.468	80.044	0.011	0.035
2520	10	5697.791	79.961	5706.291	80.031	0.011	0.036
2520	20	5692.662	79.949	5701.162	80.019	0.011	0.036
2520	30	5687.580	79.936	5696.080	80.006	0.010	0.036
2520	40	5682.546	79.923	5691.046	79.993	0.009	0.036
2520	50	5677.560	79.910	5686.060	79.980	0.008	0.036
2520	60	5672.623	79.897	5681.123	79.967	0.006	0.036
2520	70	5667.734	79.884	5676.234	79.954	0.004	0.036
2520	80	5662.894	79.871	5671.394	79.941	0.001	0.036
2520	90	5658.103	79.858	5666.603	79.928	0.002	0.036
2520	100	5653.361	79.845	5661.861	79.915	0.005	0.036
2520	110	5648.668	79.832	5657.168	79.902	0.008	0.036
2520	120	5644.026	79.819	5652.526	79.889	0.012	0.036
2520	130	5639.433	79.806	5647.933	79.876	0.017	0.036
2520	140	5634.891	79.793	5643.391	79.863	0.022	0.036
2520	150	5630.399	79.780	5638.899	79.850	0.027	0.036
2520	160	5625.958	79.766	5634.458	79.836	0.033	0.036
2520	170	5621.568	79.753	5630.068	79.823	0.039	0.036
2520	180	5617.229	79.740	5625.729	79.810	0.045	0.036
2520	190	5612.942	79.727	5621.442	79.797	0.052	0.036
2520	200	5608.707	79.714	5617.207	79.784	0.059	0.036
2540	0	5723.001	79.974	5731.501	80.044	0.008	0.033
2540	10	5717.819	79.961	5726.319	80.031	0.008	0.033
2540	20	5712.683	79.948	5721.183	80.018	0.008	0.033
2540	30	5707.596	79.936	5716.096	80.006	0.007	0.034
2540	40	5702.556	79.923	5711.056	79.993	0.006	0.034
2540	50	5697.564	79.910	5706.064	79.980	0.005	0.034
2540	60	5692.620	79.897	5701.120	79.967	0.003	0.034
2540	70	5687.725	79.884	5696.225	79.954	0.001	0.034
2540	80	5682.879	79.871	5691.379	79.941	0.002	0.034
2540	90	5678.082	79.858	5686.582	79.928	0.004	0.035
2540	100	5673.334	79.845	5681.834	79.915	0.008	0.035
2540	110	5668.635	79.832	5677.135	79.902	0.011	0.035
2540	120	5663.986	79.819	5672.486	79.889	0.015	0.035
2540	130	5659.387	79.806	5667.887	79.876	0.020	0.035
2540	140	5654.839	79.793	5663.339	79.863	0.024	0.035

Tabel H. 1 (lanjutan)

P	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2540	150	5650.340	79.780	5658.840	79.850	0.030	0.035
2540	160	5645.893	79.766	5654.393	79.836	0.035	0.035
2540	170	5641.496	79.753	5649.996	79.823	0.041	0.035
2540	180	5637.151	79.740	5645.651	79.810	0.048	0.035
2540	190	5632.857	79.727	5641.357	79.797	0.054	0.035
2540	200	5628.615	79.714	5637.115	79.784	0.062	0.035
2560	0	5743.034	79.974	5751.534	80.044	0.008	0.019
2560	10	5737.846	79.961	5746.346	80.031	0.006	0.019
2560	20	5732.705	79.948	5741.205	80.018	0.004	0.020
2560	30	5727.611	79.935	5736.111	80.005	0.003	0.020
2560	40	5722.565	79.922	5731.065	79.992	0.002	0.020
2560	50	5717.568	79.910	5726.068	79.980	0.002	0.020
2560	60	5712.618	79.897	5721.118	79.967	0.002	0.020
2560	70	5707.717	79.884	5716.217	79.954	0.002	0.021
2560	80	5702.865	79.871	5711.365	79.941	0.003	0.021
2560	90	5698.061	79.858	5706.561	79.928	0.004	0.021
2560	100	5693.307	79.845	5701.807	79.915	0.005	0.021
2560	110	5688.602	79.832	5697.102	79.902	0.007	0.021
2560	120	5683.947	79.819	5692.447	79.889	0.009	0.021
2560	130	5679.341	79.806	5687.841	79.876	0.012	0.021
2560	140	5674.786	79.793	5683.286	79.863	0.015	0.021
2560	150	5670.282	79.780	5678.782	79.850	0.018	0.021
2560	160	5665.828	79.766	5674.328	79.836	0.022	0.021
2560	170	5661.424	79.753	5669.924	79.823	0.026	0.021
2560	180	5657.072	79.740	5665.572	79.810	0.031	0.021
2560	190	5652.772	79.727	5661.272	79.797	0.036	0.021
2560	200	5648.523	79.714	5657.023	79.784	0.041	0.021
2580	0	5763.067	79.974	5771.567	80.044	0.001	0.019
2580	10	5757.873	79.961	5766.373	80.031	0.001	0.019
2580	20	5752.726	79.948	5761.226	80.018	0.000	0.019
2580	30	5747.627	79.935	5756.127	80.005	0.001	0.020
2580	40	5742.575	79.922	5751.075	79.992	0.002	0.020
2580	50	5737.571	79.909	5746.071	79.979	0.004	0.020
2580	60	5732.616	79.897	5741.116	79.967	0.006	0.020
2580	70	5727.709	79.884	5736.209	79.954	0.008	0.021
2580	80	5722.850	79.871	5731.350	79.941	0.011	0.021

Tabel H. 1 (lanjutan)

P	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
Psi	m						
2580	90	5718.041	79.858	5726.541	79.928	0.014	0.021
2580	100	5713.280	79.845	5721.780	79.915	0.018	0.021
2580	110	5708.569	79.832	5717.069	79.902	0.021	0.021
2580	120	5703.907	79.819	5712.407	79.889	0.026	0.021
2580	130	5699.296	79.806	5707.796	79.876	0.030	0.021
2580	140	5694.734	79.793	5703.234	79.863	0.036	0.021
2580	150	5690.223	79.779	5698.723	79.849	0.041	0.021
2580	160	5685.762	79.766	5694.262	79.836	0.047	0.022
2580	170	5681.353	79.753	5689.853	79.823	0.053	0.022
2580	180	5676.994	79.740	5685.494	79.810	0.060	0.022
2580	190	5672.687	79.727	5681.187	79.797	0.067	0.022
2580	200	5668.431	79.714	5676.931	79.784	0.075	0.022

Pada tabel H.2 divariasikan nilai massa jenis injeksi CO₂ dengan tekanan dan temperature injeksi tetap yaitu sebesar 2400 psi dan 50 °C. Didapatkan rata-rata *error* tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 0.08267% dan 0.06262 % .

Tabel H. 2 Validasi model reservoir dengan variasi tekanan

m	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
Kg/s	m						
0.39	0	5582.771	79.877	5591.271	79.947	0.005	0.020
0.39	10	5576.640	79.865	5585.140	79.935	0.012	0.022
0.39	20	5570.565	79.854	5579.065	79.924	0.029	0.023
0.39	30	5564.546	79.843	5573.046	79.913	0.045	0.024
0.39	40	5558.583	79.832	5567.083	79.902	0.061	0.025
0.39	50	5552.675	79.820	5561.175	79.890	0.077	0.027
0.39	60	5546.824	79.809	5555.324	79.879	0.092	0.028
0.39	70	5541.030	79.798	5549.530	79.868	0.106	0.029
0.39	80	5535.292	79.786	5543.792	79.856	0.121	0.030
0.39	90	5529.611	79.775	5538.111	79.845	0.135	0.032

Tabel H. 2 (lanjutan)

m	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		Kg/s	m	P out	T out	P out	T out
0.39	100	5523.987	79.764	5532.487	79.834	0.148	0.033
0.39	110	5518.421	79.752	5526.921	79.822	0.161	0.034
0.39	120	5512.912	79.741	5521.412	79.811	0.174	0.035
0.39	130	5507.460	79.730	5515.960	79.800	0.186	0.037
0.39	140	5502.067	79.718	5510.567	79.788	0.197	0.038
0.39	150	5496.732	79.707	5505.232	79.777	0.209	0.039
0.39	160	5491.456	79.695	5499.956	79.765	0.220	0.040
0.39	170	5486.238	79.684	5494.738	79.754	0.230	0.041
0.39	180	5481.079	79.673	5489.579	79.743	0.240	0.042
0.39	190	5475.979	79.661	5484.479	79.731	0.249	0.044
0.39	200	5470.938	79.650	5479.438	79.720	0.258	0.045
0.48	0	5582.771	79.777	5591.271	79.847	0.005	0.020
0.48	10	5575.806	79.768	5584.306	79.838	0.001	0.022
0.48	20	5568.905	79.758	5577.405	79.828	0.003	0.024
0.48	30	5562.065	79.748	5570.565	79.818	0.006	0.026
0.48	40	5555.289	79.738	5563.789	79.808	0.009	0.028
0.48	50	5548.575	79.728	5557.075	79.798	0.011	0.030
0.48	60	5541.924	79.718	5550.424	79.788	0.012	0.032
0.48	70	5535.336	79.708	5543.836	79.778	0.013	0.034
0.48	80	5528.812	79.698	5537.312	79.768	0.014	0.036
0.48	90	5522.352	79.688	5530.852	79.758	0.014	0.038
0.48	100	5515.955	79.679	5524.455	79.749	0.013	0.039
0.48	110	5509.622	79.669	5518.122	79.739	0.012	0.041
0.48	120	5503.353	79.659	5511.853	79.729	0.011	0.043
0.48	130	5497.148	79.649	5505.648	79.719	0.009	0.045
0.48	140	5491.008	79.639	5499.508	79.709	0.006	0.047
0.48	150	5484.932	79.629	5493.432	79.699	0.003	0.049
0.48	160	5478.921	79.619	5487.421	79.689	0.001	0.051
0.48	170	5472.976	79.609	5481.476	79.679	0.005	0.053
0.48	180	5467.095	79.599	5475.595	79.669	0.010	0.055
0.48	190	5461.280	79.589	5469.780	79.659	0.016	0.056
0.48	200	5455.530	79.579	5464.030	79.649	0.022	0.058
0.57	0	5582.770	79.682	5591.270	79.752	0.005	0.020
0.57	10	5575.182	79.673	5583.682	79.743	0.002	0.023
0.57	20	5567.662	79.664	5576.162	79.734	0.008	0.026
0.57	30	5560.210	79.656	5568.710	79.726	0.014	0.029

Tabel H. 2 (lanjutan)

m	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.57	40	5552.827	79.647	5561.327	79.717	0.019	0.032
0.57	50	5545.513	79.638	5554.013	79.708	0.023	0.035
0.57	60	5538.267	79.629	5546.767	79.699	0.027	0.038
0.57	70	5531.090	79.621	5539.590	79.691	0.031	0.041
0.57	80	5523.982	79.612	5532.482	79.682	0.034	0.044
0.57	90	5516.944	79.603	5525.444	79.673	0.036	0.047
0.57	100	5509.975	79.594	5518.475	79.664	0.037	0.050
0.57	110	5503.075	79.586	5511.575	79.656	0.039	0.053
0.57	120	5496.245	79.577	5504.745	79.647	0.039	0.056
0.57	130	5489.485	79.568	5497.985	79.638	0.039	0.059
0.57	140	5482.795	79.559	5491.295	79.629	0.038	0.062
0.57	150	5476.175	79.551	5484.675	79.621	0.037	0.065
0.57	160	5469.625	79.542	5478.125	79.612	0.035	0.068
0.57	170	5463.146	79.533	5471.646	79.603	0.032	0.071
0.57	180	5456.737	79.524	5465.237	79.594	0.029	0.073
0.57	190	5450.399	79.516	5458.899	79.586	0.025	0.076
0.57	200	5444.132	79.507	5452.632	79.577	0.020	0.079
0.66	0	5582.770	79.589	5591.270	79.659	0.005	0.020
0.66	10	5574.768	79.582	5583.268	79.652	0.014	0.024
0.66	20	5566.839	79.574	5575.339	79.644	0.025	0.028
0.66	30	5558.983	79.566	5567.483	79.636	0.036	0.032
0.66	40	5551.201	79.558	5559.701	79.628	0.047	0.036
0.66	50	5543.493	79.550	5551.993	79.620	0.060	0.040
0.66	60	5535.859	79.543	5544.359	79.613	0.073	0.044
0.66	70	5528.298	79.535	5536.798	79.605	0.087	0.048
0.66	80	5520.812	79.527	5529.312	79.597	0.101	0.051
0.66	90	5513.399	79.519	5521.899	79.589	0.116	0.055
0.66	100	5506.061	79.511	5514.561	79.581	0.132	0.059
0.66	110	5498.798	79.504	5507.298	79.574	0.149	0.063
0.66	120	5491.609	79.496	5500.109	79.566	0.167	0.067
0.66	130	5484.495	79.488	5492.995	79.558	0.185	0.071
0.66	140	5477.455	79.480	5485.955	79.550	0.204	0.075
0.66	150	5470.490	79.472	5478.990	79.542	0.224	0.079
0.66	160	5463.601	79.465	5472.101	79.535	0.244	0.083
0.66	170	5456.786	79.457	5465.286	79.527	0.266	0.086
0.66	180	5450.047	79.449	5458.547	79.519	0.288	0.090

Tabel H. 2 (lanjutan)

m	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.66	190	5443.383	79.441	5451.883	79.511	0.311	0.094
0.66	200	5436.795	79.433	5445.295	79.503	0.334	0.098
0.75	0	5582.770	79.500	5591.270	79.570	0.005	0.020
0.75	10	5574.565	79.493	5583.065	79.563	0.001	0.025
0.75	20	5566.438	79.486	5574.938	79.556	0.006	0.030
0.75	30	5558.389	79.478	5566.889	79.548	0.011	0.034
0.75	40	5550.417	79.471	5558.917	79.541	0.014	0.039
0.75	50	5542.524	79.464	5551.024	79.534	0.018	0.044
0.75	60	5534.709	79.457	5543.209	79.527	0.020	0.049
0.75	70	5526.973	79.450	5535.473	79.520	0.022	0.053
0.75	80	5519.315	79.443	5527.815	79.513	0.023	0.058
0.75	90	5511.735	79.436	5520.235	79.506	0.023	0.063
0.75	100	5504.234	79.429	5512.734	79.499	0.022	0.068
0.75	110	5496.812	79.422	5505.312	79.492	0.021	0.072
0.75	120	5489.468	79.415	5497.968	79.485	0.019	0.077
0.75	130	5482.204	79.408	5490.704	79.478	0.016	0.082
0.75	140	5475.018	79.401	5483.518	79.471	0.013	0.087
0.75	150	5467.911	79.394	5476.411	79.464	0.008	0.091
0.75	160	5460.884	79.387	5469.384	79.457	0.003	0.096
0.75	170	5453.935	79.380	5462.435	79.450	0.002	0.101
0.75	180	5447.066	79.373	5455.566	79.443	0.009	0.105
0.75	190	5440.277	79.366	5448.777	79.436	0.017	0.110
0.75	200	5433.566	79.359	5442.066	79.429	0.025	0.115
0.84	0	5582.770	79.412	5591.270	79.482	0.005	0.020
0.84	10	5574.576	79.405	5583.076	79.475	0.014	0.025
0.84	20	5566.463	79.399	5574.963	79.469	0.033	0.031
0.84	30	5558.433	79.393	5566.933	79.463	0.051	0.036
0.84	40	5550.484	79.386	5558.984	79.456	0.068	0.041
0.84	50	5542.617	79.380	5551.117	79.450	0.084	0.046
0.84	60	5534.833	79.374	5543.333	79.444	0.100	0.051
0.84	70	5527.130	79.367	5535.630	79.437	0.115	0.056
0.84	80	5519.510	79.361	5528.010	79.431	0.129	0.061
0.84	90	5511.972	79.355	5520.472	79.425	0.143	0.067
0.84	100	5504.516	79.348	5513.016	79.418	0.156	0.072
0.84	110	5497.143	79.342	5505.643	79.412	0.168	0.077
0.84	120	5489.852	79.335	5498.352	79.405	0.179	0.082

Tabel H. 2 (lanjutan)

m	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.84	130	5482.643	79.329	5491.143	79.399	0.190	0.087
0.84	140	5475.518	79.323	5484.018	79.393	0.200	0.092
0.84	150	5468.474	79.316	5476.974	79.386	0.209	0.098
0.84	160	5461.514	79.310	5470.014	79.380	0.217	0.103
0.84	170	5454.636	79.304	5463.136	79.374	0.225	0.108
0.84	180	5447.841	79.297	5456.341	79.367	0.232	0.113
0.84	190	5441.128	79.291	5449.628	79.361	0.238	0.118
0.84	200	5434.499	79.285	5442.999	79.355	0.243	0.123
0.93	0	5582.770	79.326	5591.270	79.396	0.005	0.020
0.93	10	5574.803	79.320	5583.303	79.390	0.002	0.026
0.93	20	5566.921	79.314	5575.421	79.384	0.000	0.031
0.93	30	5559.124	79.309	5567.624	79.379	0.002	0.037
0.93	40	5551.412	79.303	5559.912	79.373	0.002	0.042
0.93	50	5543.786	79.297	5552.286	79.367	0.002	0.048
0.93	60	5536.245	79.291	5544.745	79.361	0.001	0.054
0.93	70	5528.789	79.285	5537.289	79.355	0.001	0.059
0.93	80	5521.419	79.280	5529.919	79.350	0.004	0.065
0.93	90	5514.134	79.274	5522.634	79.344	0.008	0.070
0.93	100	5506.934	79.268	5515.434	79.338	0.013	0.076
0.93	110	5499.820	79.262	5508.320	79.332	0.019	0.081
0.93	120	5492.792	79.256	5501.292	79.326	0.025	0.087
0.93	130	5485.849	79.251	5494.349	79.321	0.033	0.092
0.93	140	5478.992	79.245	5487.492	79.315	0.041	0.098
0.93	150	5472.220	79.239	5480.720	79.309	0.050	0.104
0.93	160	5465.534	79.233	5474.034	79.303	0.061	0.109
0.93	170	5458.933	79.227	5467.433	79.297	0.072	0.115
0.93	180	5452.419	79.222	5460.919	79.292	0.084	0.120
0.93	190	5445.990	79.216	5454.490	79.286	0.098	0.126
0.93	200	5439.646	79.210	5448.146	79.280	0.112	0.131
1.02	0	5582.770	79.242	5591.270	79.312	0.005	0.020
1.02	10	5575.249	79.237	5583.749	79.307	0.008	0.019
1.02	20	5567.816	79.231	5576.316	79.301	0.012	0.018
1.02	30	5560.471	79.226	5568.971	79.296	0.017	0.018
1.02	40	5553.214	79.221	5561.714	79.291	0.023	0.017
1.02	50	5546.045	79.215	5554.545	79.285	0.030	0.016
1.02	60	5538.964	79.210	5547.464	79.280	0.038	0.015

Tabel H. 2 (lanjutan)

m	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
	m	P out	T out	P out	T out	P	T
1.02	70	5531.971	79.205	5540.471	79.275	0.047	0.014
1.02	80	5525.065	79.199	5533.565	79.269	0.057	0.013
1.02	90	5518.248	79.194	5526.748	79.264	0.068	0.012
1.02	100	5511.519	79.189	5520.019	79.259	0.080	0.011
1.02	110	5504.877	79.183	5513.377	79.253	0.093	0.010
1.02	120	5498.324	79.178	5506.824	79.248	0.107	0.010
1.02	130	5491.859	79.173	5500.359	79.243	0.122	0.009
1.02	140	5485.482	79.168	5493.982	79.238	0.139	0.008
1.02	150	5479.192	79.162	5487.692	79.232	0.156	0.007
1.02	160	5472.991	79.157	5481.491	79.227	0.174	0.006
1.02	170	5466.878	79.152	5475.378	79.222	0.194	0.005
1.02	180	5460.853	79.146	5469.353	79.216	0.214	0.004
1.02	190	5454.915	79.141	5463.415	79.211	0.236	0.003
1.02	200	5449.066	79.136	5457.566	79.206	0.259	0.002
1.11	0	5582.770	79.159	5591.270	79.229	0.005	0.020
1.11	10	5575.918	79.154	5584.418	79.224	0.012	0.032
1.11	20	5569.157	79.149	5577.657	79.219	0.021	0.044
1.11	30	5562.485	79.145	5570.985	79.215	0.031	0.055
1.11	40	5555.904	79.140	5564.404	79.210	0.041	0.067
1.11	50	5549.412	79.135	5557.912	79.205	0.053	0.079
1.11	60	5543.010	79.130	5551.510	79.200	0.066	0.091
1.11	70	5536.699	79.125	5545.199	79.195	0.080	0.102
1.11	80	5530.477	79.120	5538.977	79.190	0.095	0.114
1.11	90	5524.345	79.115	5532.845	79.185	0.112	0.126
1.11	100	5518.303	79.110	5526.803	79.180	0.129	0.138
1.11	110	5512.350	79.106	5520.850	79.176	0.148	0.150
1.11	120	5506.488	79.101	5514.988	79.171	0.168	0.161
1.11	130	5500.715	79.096	5509.215	79.166	0.189	0.173
1.11	140	5495.033	79.091	5503.533	79.161	0.211	0.185
1.11	150	5489.440	79.086	5497.940	79.156	0.234	0.197
1.11	160	5483.936	79.081	5492.436	79.151	0.259	0.208
1.11	170	5478.523	79.076	5487.023	79.146	0.285	0.220
1.11	180	5473.199	79.071	5481.699	79.141	0.312	0.232
1.11	190	5467.964	79.067	5476.464	79.137	0.340	0.244
1.11	200	5462.820	79.062	5471.320	79.132	0.370	0.255
1.2	0	5582.770	79.078	5591.270	79.148	0.005	0.020

Tabel H. 2 (lanjutan)

m	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
	Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P
1.2	10	5576.814	79.073	5585.314	79.143	0.009	0.026
1.2	20	5570.950	79.069	5579.450	79.139	0.021	0.032
1.2	30	5565.177	79.064	5573.677	79.134	0.033	0.038
1.2	40	5559.496	79.060	5567.996	79.130	0.043	0.044
1.2	50	5553.906	79.055	5562.406	79.125	0.053	0.050
1.2	60	5548.407	79.051	5556.907	79.121	0.062	0.056
1.2	70	5542.999	79.046	5551.499	79.116	0.069	0.063
1.2	80	5537.682	79.042	5546.182	79.112	0.076	0.069
1.2	90	5532.457	79.037	5540.957	79.107	0.081	0.075
1.2	100	5527.322	79.033	5535.822	79.103	0.086	0.081
1.2	110	5522.279	79.028	5530.779	79.098	0.089	0.087
1.2	120	5517.326	79.024	5525.826	79.094	0.092	0.093
1.2	130	5512.464	79.019	5520.964	79.089	0.093	0.099
1.2	140	5507.693	79.015	5516.193	79.085	0.093	0.105
1.2	150	5503.013	79.010	5511.513	79.080	0.092	0.111
1.2	160	5498.424	79.006	5506.924	79.076	0.090	0.117
1.2	170	5493.925	79.001	5502.425	79.071	0.087	0.123
1.2	180	5489.517	78.997	5498.017	79.067	0.082	0.129
1.2	190	5485.199	78.992	5493.699	79.062	0.076	0.135
1.2	200	5480.972	78.988	5489.472	79.058	0.070	0.141

Pada tabel H.3 divariasikan nilai temperatur injeksi CO₂ dengan tekanan dan massa jenis injeksi tetap yaitu sebesar 2400 psi dan 0.3044. didapatkan rata-rata *error* tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 0.03321% dan 0.02428 %

Tabel H. 3 Validasi model reservoir dengan variasi temperatur

T	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
	C	m	P out	T out	P out	T out	P
51	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
51	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.005	0.020

Tabel H. 3 (lanjutan)

T	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
C	m						
51	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.005	0.020
51	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.006	0.021
51	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.007	0.021
51	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.009	0.021
51	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.011	0.021
51	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.013	0.021
51	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.016	0.021
51	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.019	0.021
51	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.022	0.021
51	110	5528.868	79.833	5537.368	79.903	0.026	0.021
51	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.030	0.021
51	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.035	0.021
51	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.040	0.021
51	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.045	0.021
51	160	5506.351	79.767	5514.851	79.837	0.051	0.021
51	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.057	0.020
51	180	5497.702	79.740	5506.202	79.810	0.064	0.020
51	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.071	0.020
51	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.079	0.020
52	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
52	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.005	0.020
52	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.006	0.020
52	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.008	0.021
52	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.009	0.021
52	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.011	0.021
52	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.014	0.021
52	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.017	0.021
52	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.020	0.021
52	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.024	0.021
52	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.028	0.021
52	110	5528.868	79.833	5537.368	79.903	0.032	0.021
52	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.037	0.021
52	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.042	0.021
52	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.047	0.021
52	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.053	0.021
52	160	5506.351	79.767	5514.851	79.837	0.060	0.021

Tabel H. 3 (lanjutan)

T	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
52	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.067	0.020
52	180	5497.702	79.740	5506.202	79.810	0.074	0.020
52	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.081	0.020
52	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.089	0.020
53	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
53	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.005	0.021
53	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.006	0.021
53	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.007	0.021
53	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.009	0.021
53	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.011	0.021
53	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.013	0.022
53	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.016	0.022
53	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.019	0.022
53	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.022	0.022
53	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.026	0.022
53	110	5528.868	79.833	5537.368	79.903	0.031	0.022
53	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.035	0.022
53	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.040	0.022
53	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.046	0.022
53	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.051	0.022
53	160	5506.351	79.767	5514.851	79.837	0.058	0.023
53	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.064	0.023
53	180	5497.702	79.740	5506.202	79.810	0.071	0.023
53	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.079	0.023
53	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.087	0.022
54	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
54	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.006	0.022
54	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.007	0.023
54	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.008	0.025
54	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.010	0.026
54	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.012	0.028
54	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.015	0.029
54	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.018	0.030
54	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.021	0.032
54	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.025	0.033
54	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.029	0.034
54	110	5528.868	79.833	5537.368	79.903	0.033	0.036

Tabel H. 3 (lanjutan)

T	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
54	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.038	0.037
54	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.044	0.038
54	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.049	0.040
54	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.055	0.041
54	160	5506.351	79.767	5514.851	79.837	0.062	0.042
54	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.069	0.044
54	180	5497.702	79.740	5506.202	79.810	0.076	0.045
54	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.084	0.046
54	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.092	0.047
55	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
55	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.006	0.020
55	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.006	0.020
55	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.008	0.019
55	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.009	0.019
55	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.012	0.019
55	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.014	0.018
55	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.017	0.018
55	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.020	0.018
55	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.024	0.017
55	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.028	0.017
55	110	5528.868	79.833	5537.368	79.903	0.032	0.016
55	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.037	0.016
55	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.042	0.015
55	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.047	0.015
55	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.053	0.014
55	160	5506.351	79.767	5514.851	79.837	0.060	0.014
55	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.066	0.013
55	180	5497.702	79.740	5506.202	79.810	0.074	0.013
55	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.081	0.012
55	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.089	0.012
56	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
56	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.005	0.020
56	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.006	0.021
56	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.006	0.021
56	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.008	0.021
56	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.009	0.021
56	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.011	0.021

Tabel H. 3 (lanjutan)

T	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
56	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.013	0.022
56	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.016	0.022
56	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.019	0.022
56	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.023	0.022
56	110	5528.869	79.833	5537.369	79.903	0.027	0.022
56	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.031	0.022
56	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.036	0.022
56	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.041	0.022
56	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.046	0.022
56	160	5506.352	79.767	5514.852	79.837	0.052	0.022
56	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.058	0.022
56	180	5497.703	79.740	5506.203	79.810	0.065	0.022
56	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.072	0.022
56	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.080	0.022
57	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
57	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.005	0.021
57	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.006	0.022
57	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.006	0.023
57	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.008	0.024
57	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.009	0.025
57	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.011	0.026
57	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.013	0.027
57	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.016	0.028
57	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.019	0.029
57	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.023	0.030
57	110	5528.869	79.833	5537.369	79.903	0.026	0.030
57	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.031	0.031
57	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.035	0.032
57	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.040	0.033
57	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.046	0.034
57	160	5506.352	79.767	5514.852	79.837	0.052	0.034
57	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.058	0.035
57	180	5497.703	79.740	5506.203	79.810	0.065	0.036
57	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.072	0.037
57	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.079	0.037
58	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
58	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.006	0.020

Tabel H. 3 (lanjutan)

T	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
58	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.007	0.021
58	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.009	0.021
58	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.011	0.021
58	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.013	0.021
58	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.016	0.021
58	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.019	0.022
58	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.022	0.022
58	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.026	0.022
58	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.030	0.022
58	110	5528.869	79.833	5537.369	79.903	0.035	0.022
58	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.040	0.022
58	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.045	0.022
58	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.051	0.022
58	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.057	0.022
58	160	5506.352	79.767	5514.852	79.837	0.064	0.022
58	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.071	0.022
58	180	5497.703	79.740	5506.203	79.810	0.078	0.022
58	190	5493.456	79.727	5501.956	79.797	0.086	0.022
58	200	5489.261	79.714	5497.761	79.784	0.094	0.022
59	0	5582.771	79.975	5591.271	80.045	0.005	0.020
59	10	5577.629	79.962	5586.129	80.032	0.005	0.021
59	20	5572.534	79.950	5581.034	80.020	0.006	0.022
59	30	5567.488	79.937	5575.988	80.007	0.006	0.022
59	40	5562.489	79.924	5570.989	79.994	0.008	0.023
59	50	5557.539	79.911	5566.039	79.981	0.009	0.023
59	60	5552.638	79.898	5561.138	79.968	0.011	0.024
59	70	5547.785	79.885	5556.285	79.955	0.013	0.025
59	80	5542.982	79.872	5551.482	79.942	0.016	0.025
59	90	5538.228	79.859	5546.728	79.929	0.019	0.026
59	100	5533.523	79.846	5542.023	79.916	0.023	0.026
59	110	5528.869	79.833	5537.369	79.903	0.026	0.027
59	120	5524.264	79.819	5532.764	79.889	0.031	0.027
59	130	5519.710	79.806	5528.210	79.876	0.035	0.028
59	140	5515.206	79.793	5523.706	79.863	0.040	0.028
59	150	5510.753	79.780	5519.253	79.850	0.046	0.029
59	160	5506.352	79.767	5514.852	79.837	0.052	0.029
59	170	5502.001	79.754	5510.501	79.824	0.058	0.030

Tabel H. 3 (lanjutan)

T	Jarak dari Injection Well	COMSOL		Model		%Error	
59	180	8221.909	80.820	8216.602	80.796	0.065	0.030
59	190	8213.574	80.809	8207.691	80.785	0.072	0.030
59	200	8205.272	80.798	8198.780	80.773	0.079	0.031
60	0	8377.433	81.016	8377.000	81.000	0.005	0.020
60	10	8368.526	81.006	8368.029	80.988	0.006	0.021
60	20	8359.650	80.995	8359.058	80.977	0.007	0.022
60	30	8350.805	80.984	8350.087	80.965	0.009	0.024
60	40	8341.991	80.973	8341.116	80.953	0.010	0.025
60	50	8333.208	80.962	8332.145	80.942	0.013	0.026
60	60	8324.456	80.951	8323.173	80.930	0.015	0.027
60	70	8315.735	80.941	8314.202	80.918	0.018	0.028
60	80	8307.046	80.930	8305.231	80.906	0.022	0.029
60	90	8298.389	80.919	8296.260	80.895	0.026	0.030
60	100	8289.763	80.908	8287.289	80.883	0.030	0.031
60	110	8281.169	80.897	8278.318	80.871	0.034	0.032
60	120	8272.607	80.886	8269.347	80.860	0.039	0.033
60	130	8264.077	80.875	8260.376	80.848	0.045	0.034
60	140	8255.580	80.864	8251.405	80.836	0.051	0.035
60	150	8247.114	80.853	8242.433	80.824	0.057	0.035
60	160	8238.681	80.842	8233.462	80.813	0.063	0.036
60	170	8230.280	80.831	8224.491	80.801	0.070	0.037
60	180	8221.912	80.820	8215.520	80.789	0.078	0.038
60	190	8213.577	80.809	8206.549	80.778	0.086	0.039
60	200	8205.274	80.798	8197.578	80.766	0.094	0.040

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran I Validasi Model *Production Well*

Validasi pada *production well* dilakukan dengan melakukan perbandingan antara hasil permodelan gradien tekanan dan temperatur dengan *software* PIPESIM. Pada tabel I.1, divariasikan nilai tekanan injeksi CO₂ dengan massa jenis dan temperatur injeksi yang tetap yaitu sebesar 0.3044 kg/s dan 50 °C.

Validasi dilakukan pada setiap segmen, dan didapatkan rata-rata *error* untuk tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 0.888% dan 0.722%.

Tabel I. 1 Validasi model *production well* dengan variasi laju aliran massa injeksi

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2400	0	5439	80.5	5439.582	80.798	0.064	0.370
2400	50	5398.051	80.230	5399.991	80.044	0.235	0.232
2400	100	5359.169	79.460	5361.109	79.311	0.281	0.187
2400	150	5320.288	78.690	5322.228	78.600	0.329	0.115
2400	200	5281.406	77.920	5283.346	77.906	0.376	0.018
2400	250	5242.524	77.150	5244.464	77.230	0.424	0.103
2400	300	5203.641	76.380	5205.581	76.568	0.473	0.247
2400	350	5164.758	75.610	5166.698	75.921	0.522	0.411
2400	400	5125.875	74.840	5127.815	75.285	0.571	0.595
2400	450	5086.991	74.070	5088.931	74.661	0.621	0.799
2400	500	5048.108	73.300	5050.048	74.048	0.671	1.020
2400	550	5009.223	72.530	5011.163	73.443	0.722	1.259
2400	600	4970.339	71.760	4972.279	72.847	0.773	1.514
2400	650	4931.454	70.990	4933.394	72.258	0.825	1.786
2400	700	4892.569	70.720	4894.509	71.676	0.877	1.351
2400	750	4853.683	70.450	4855.623	71.100	0.929	0.922
2400	800	4814.797	70.180	4816.737	70.529	0.982	0.498
2400	850	4775.911	69.910	4777.851	69.964	1.036	0.077
2400	900	4737.024	69.640	4738.964	69.403	1.090	0.341
2400	950	4698.137	69.370	4700.077	68.846	1.145	0.756
2400	1000	4659.25	69.100	4661.190	68.292	1.200	1.169
2400	1050	4620.363	68.830	4622.303	67.742	1.255	1.581
2400	1100	4581.475	68.560	4583.415	67.195	1.311	1.991

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2400	1150	4542.586	68.29	4544.526	66.650	1.368	2.401
2400	1200	4503.698	66.02	4505.638	66.108	1.425	0.133
2400	1250	4464.809	65.75	4466.749	65.567	1.483	0.278
2400	1300	4425.92	65.48	4427.860	65.029	1.541	0.689
2400	1350	4387.03	65.21	4388.970	64.493	1.465	1.100
2400	1400	4348.14	63.87	4350.080	63.957	1.387	0.137
2400	1450	4309.25	63.60	4311.190	63.424	1.309	0.277
2400	1500	4270.359	63.33	4272.299	62.891	1.229	0.693
2400	1550	4231.468	63.06	4233.408	62.360	1.149	1.111
2400	1600	4192.577	62.79	4194.517	61.829	1.067	1.531
2400	1650	4153.685	62.09	4155.625	61.299	0.985	1.273
2400	1700	4114.793	61.39	4116.733	60.770	0.901	1.009
2400	1750	4075.901	60.69	4077.841	60.242	0.816	0.738
2400	1800	4037.009	59.99	4038.949	59.715	0.730	0.459
2400	1850	3998.116	59.29	4000.056	59.187	0.643	0.173
2400	1900	3959.222	58.59	3961.162	58.661	0.555	0.121
2400	1950	3920.329	57.89	3922.269	58.135	0.466	0.422
2400	2000	3881.435	57.19	3883.375	57.609	0.375	0.732
2400	2050	3842.54	56.92	3844.480	57.083	0.283	0.287
2400	2100	3803.646	56.65	3805.586	56.558	0.190	0.162
2400	2150	3764.751	56.38	3766.691	56.033	0.096	0.615
2400	2200	3725.856	56.11	3727.796	55.508	0.001	1.072
2400	2250	3686.96	55.41	3688.900	54.984	0.096	0.769
2400	2300	3648.064	54.71	3650.004	54.459	0.195	0.458
2400	2350	3609.168	54.01	3611.108	53.935	0.294	0.139
2400	2400	3570.271	53.31	3572.211	53.411	0.395	0.189
2400	2450	3531.374	52.61	3533.314	52.887	0.498	0.526
2400	2500	3492.477	51.91	3494.417	52.363	0.602	0.873
2400	2550	3453.579	51.21	3455.519	51.839	0.708	1.228
2400	2600	3414.681	50.51	3416.621	51.315	0.815	1.594
2420	0	5520	78	5517.668	79.784	0.189	0.249
2420	50	5480.328	77.144	5478.078	78.844	0.024	0.231
2420	100	5441.447	76.261	5439.197	77.961	0.229	0.185
2420	150	5402.566	75.429	5400.316	77.129	0.436	0.112
2420	200	5363.685	74.641	5361.435	76.341	0.643	0.014
2420	250	5324.803	73.890	5322.553	75.590	0.852	0.108
2420	300	5285.921	73.171	5283.671	74.871	0.939	0.251
2420	350	5247.039	72.481	5244.789	74.181	1.027	0.416
2420	400	5208.157	71.815	5205.907	73.515	0.867	0.601

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2420	450	5169.274	71.169	5167.024	72.869	0.705	0.805
2420	500	5130.391	70.541	5128.141	72.241	0.542	1.027
2420	550	5091.507	69.929	5089.257	71.629	0.376	1.266
2420	600	5052.623	69.330	5050.373	71.030	0.207	1.522
2420	650	5013.739	68.742	5011.489	70.442	0.037	1.794
2420	700	4974.854	68.163	4972.604	69.863	0.136	1.359
2420	750	4935.969	67.593	4933.719	69.293	0.311	0.930
2420	800	4897.084	67.030	4894.834	68.730	0.489	0.506
2420	850	4858.199	66.473	4855.949	68.173	0.669	0.085
2420	900	4819.313	65.920	4817.063	67.620	0.852	0.332
2420	950	4780.426	65.373	4778.176	67.073	1.037	0.747
2420	1000	4741.540	64.828	4739.290	66.528	1.224	1.160
2420	1050	4702.653	64.287	4700.403	65.987	1.415	1.572
2420	1100	4663.766	63.749	4661.516	65.449	1.608	1.983
2420	1150	4624.878	63.213	4622.628	64.913	1.522	2.393
2420	1200	4585.990	62.678	4583.740	64.378	1.435	0.142
2420	1250	4547.102	62.145	4544.852	63.845	1.347	0.268
2420	1300	4508.213	61.614	4505.963	63.314	1.258	0.679
2420	1350	4469.324	61.083	4467.074	62.783	1.168	1.091
2420	1400	4430.435	60.554	4428.185	62.254	1.078	0.146
2420	1450	4391.545	60.025	4389.295	61.725	0.987	0.268
2420	1500	4352.656	59.496	4350.406	61.196	0.895	0.683
2420	1550	4313.765	58.969	4311.515	60.669	0.802	1.101
2420	1600	4274.875	58.441	4272.625	60.141	0.708	1.521
2420	1650	4235.984	57.914	4233.734	59.614	0.614	1.264
2420	1700	4197.092	57.387	4194.842	59.087	0.518	0.999
2420	1750	4158.201	56.861	4155.951	58.561	0.422	0.728
2420	1800	4119.309	56.334	4117.059	58.034	0.324	0.449
2420	1850	4080.417	55.808	4078.167	57.508	0.226	0.163
2420	1900	4041.524	55.282	4039.274	56.982	0.127	0.131
2420	1950	4002.631	54.756	4000.381	56.456	0.027	0.433
2420	2000	3963.738	54.229	3961.488	55.929	0.075	0.743
2420	2050	3924.844	53.703	3922.594	55.403	0.177	0.297
2420	2100	3885.950	53.177	3883.700	54.877	0.280	0.152
2420	2150	3847.056	52.651	3844.806	54.351	0.384	0.605
2420	2200	3808.161	52.125	3805.911	53.825	0.489	1.062
2420	2250	3769.266	51.598	3767.016	53.298	0.595	0.758
2420	2300	3730.371	51.072	3728.121	52.772	0.703	0.447
2420	2350	3691.475	50.545	3689.225	52.245	0.811	0.128

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2420	2400	3652.580	50.019	3650.330	51.719	0.920	0.201
2420	2450	3613.683	49.492	3611.433	51.192	1.031	0.538
2420	2500	3574.787	48.966	3572.537	50.666	1.143	0.884
2420	2550	3535.890	48.439	3533.640	50.139	1.255	1.240
2420	2600	3496.992	47.912	3494.742	49.612	1.369	1.606
2440	0	5520	78	5517.668	79.784	0.314	0.249
2440	50	5480.328	77.144	5478.078	78.844	0.101	0.230
2440	100	5441.447	76.261	5439.197	77.961	0.104	0.183
2440	150	5402.566	75.429	5400.316	77.129	0.310	0.109
2440	200	5363.685	74.641	5361.435	76.341	0.517	0.010
2440	250	5324.803	73.890	5322.553	75.590	0.725	0.112
2440	300	5285.921	73.171	5283.671	74.871	0.812	0.256
2440	350	5247.039	72.481	5244.789	74.181	0.899	0.422
2440	400	5208.157	71.815	5205.907	73.515	0.739	0.607
2440	450	5169.274	71.169	5167.024	72.869	0.576	0.811
2440	500	5130.391	70.541	5128.141	72.241	0.412	1.033
2440	550	5091.507	69.929	5089.257	71.629	0.245	1.273
2440	600	5052.623	69.330	5050.373	71.030	0.075	1.529
2440	650	5013.739	68.742	5011.489	70.442	0.096	1.801
2440	700	4974.854	68.163	4972.604	69.863	0.270	1.367
2440	750	4935.969	67.593	4933.719	69.293	0.446	0.938
2440	800	4897.084	67.030	4894.834	68.730	0.624	0.514
2440	850	4858.199	66.473	4855.949	68.173	0.805	0.094
2440	900	4819.313	65.920	4817.063	67.620	0.989	0.324
2440	950	4780.426	65.373	4778.176	67.073	1.175	0.739
2440	1000	4741.540	64.828	4739.290	66.528	1.364	1.152
2440	1050	4702.653	64.287	4700.403	65.987	1.555	1.563
2440	1100	4663.766	63.749	4661.516	65.449	1.749	1.974
2440	1150	4624.878	63.213	4622.628	64.913	1.664	2.384
2440	1200	4585.990	62.678	4583.740	64.378	1.577	0.151
2440	1250	4547.102	62.145	4544.852	63.845	1.490	0.259
2440	1300	4508.213	61.614	4505.963	63.314	1.402	0.670
2440	1350	4469.324	61.083	4467.074	62.783	1.313	1.082
2440	1400	4430.435	60.554	4428.185	62.254	1.223	0.156
2440	1450	4391.545	60.025	4389.295	61.725	1.133	0.258
2440	1500	4352.656	59.496	4350.406	61.196	1.041	0.674
2440	1550	4313.765	58.969	4311.515	60.669	0.949	1.091
2440	1600	4274.875	58.441	4272.625	60.141	0.856	1.511
2440	1650	4235.984	57.914	4233.734	59.614	0.762	1.254

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2440	1700	4197.092	57.387	4194.842	59.087	0.667	0.989
2440	1750	4158.201	56.861	4155.951	58.561	0.572	0.718
2440	1800	4119.309	56.334	4117.059	58.034	0.475	0.439
2440	1850	4080.417	55.808	4078.167	57.508	0.377	0.152
2440	1900	4041.524	55.282	4039.274	56.982	0.279	0.142
2440	1950	4002.631	54.756	4000.381	56.456	0.179	0.444
2440	2000	3963.738	54.229	3961.488	55.929	0.079	0.753
2440	2050	3924.844	53.703	3922.594	55.403	0.022	0.308
2440	2100	3885.950	53.177	3883.700	54.877	0.125	0.141
2440	2150	3847.056	52.651	3844.806	54.351	0.228	0.594
2440	2200	3808.161	52.125	3805.911	53.825	0.333	1.051
2440	2250	3769.266	51.598	3767.016	53.298	0.438	0.747
2440	2300	3730.371	51.072	3728.121	52.772	0.544	0.436
2440	2350	3691.475	50.545	3689.225	52.245	0.652	0.116
2440	2400	3652.580	50.019	3650.330	51.719	0.761	0.212
2440	2450	3613.683	49.492	3611.433	51.192	0.870	0.549
2440	2500	3574.787	48.966	3572.537	50.666	0.981	0.896
2440	2550	3535.890	48.439	3533.640	50.139	1.093	1.252
2440	2600	3496.992	47.912	3494.742	49.612	1.206	1.619
2460	0	5560	78	5557.484	79.784	0.438	0.249
2460	50	5520.143	77.150	5517.893	78.850	0.226	0.229
2460	100	5481.263	76.273	5479.013	77.973	0.022	0.181
2460	150	5442.382	75.445	5440.132	77.145	0.184	0.106
2460	200	5403.501	74.659	5401.251	76.359	0.391	0.007
2460	250	5364.620	73.911	5362.370	75.611	0.599	0.116
2460	300	5325.739	73.194	5323.489	74.894	0.685	0.261
2460	350	5286.857	72.505	5284.607	74.205	0.772	0.427
2460	400	5247.975	71.840	5245.725	73.540	0.610	0.613
2460	450	5209.092	71.195	5206.842	72.895	0.447	0.817
2460	500	5170.209	70.568	5167.959	72.268	0.281	1.040
2460	550	5131.326	69.956	5129.076	71.656	0.114	1.280
2460	600	5092.442	69.357	5090.192	71.057	0.056	1.536
2460	650	5053.558	68.769	5051.308	70.469	0.229	1.809
2460	700	5014.674	68.191	5012.424	69.891	0.403	1.375
2460	750	4975.790	67.620	4973.540	69.320	0.580	0.946
2460	800	4936.905	67.057	4934.655	68.757	0.760	0.522
2460	850	4898.020	66.500	4895.770	68.200	0.942	0.102
2460	900	4859.134	65.948	4856.884	67.648	1.126	0.315
2460	950	4820.248	65.400	4817.998	67.100	1.313	0.730

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2460	1000	4781.362	64.855	4779.112	66.555	1.503	1.143
2460	1050	4742.475	64.314	4740.225	66.014	1.695	1.555
2460	1100	4703.588	63.776	4701.338	65.476	1.891	1.965
2460	1150	4664.701	63.239	4662.451	64.939	1.806	2.375
2460	1200	4625.814	62.705	4623.564	64.405	1.720	0.160
2460	1250	4586.926	62.172	4584.676	63.872	1.633	0.250
2460	1300	4548.037	61.640	4545.787	63.340	1.546	0.661
2460	1350	4509.149	61.109	4506.899	62.809	1.457	1.072
2460	1400	4470.260	60.580	4468.010	62.280	1.368	0.166
2460	1450	4431.371	60.051	4429.121	61.751	1.279	0.249
2460	1500	4392.481	59.523	4390.231	61.223	1.188	0.664
2460	1550	4353.591	58.995	4351.341	60.695	1.096	1.082
2460	1600	4314.701	58.467	4312.451	60.167	1.004	1.501
2460	1650	4275.810	57.940	4273.560	59.640	0.911	1.244
2460	1700	4236.919	57.414	4234.669	59.114	0.817	0.979
2460	1750	4198.028	56.887	4195.778	58.587	0.722	0.708
2460	1800	4159.136	56.361	4156.886	58.061	0.626	0.429
2460	1850	4120.245	55.834	4117.995	57.534	0.529	0.142
2460	1900	4081.352	55.308	4079.102	57.008	0.431	0.152
2460	1950	4042.460	54.782	4040.210	56.482	0.332	0.454
2460	2000	4003.567	54.256	4001.317	55.956	0.233	0.764
2460	2050	3964.673	53.730	3962.423	55.430	0.132	0.319
2460	2100	3925.780	53.204	3923.530	54.904	0.030	0.130
2460	2150	3886.886	52.677	3884.636	54.377	0.072	0.583
2460	2200	3847.992	52.151	3845.742	53.851	0.176	1.040
2460	2250	3809.097	51.625	3806.847	53.325	0.281	0.736
2460	2300	3770.202	51.099	3767.952	52.799	0.386	0.425
2460	2350	3731.307	50.572	3729.057	52.272	0.493	0.105
2460	2400	3692.411	50.046	3690.161	51.746	0.601	0.224
2460	2450	3653.515	49.520	3651.265	51.220	0.710	0.561
2460	2500	3614.619	48.993	3612.369	50.693	0.820	0.908
2460	2550	3575.722	48.466	3573.472	50.166	0.931	1.264
2460	2600	3536.825	47.940	3534.575	49.640	1.043	1.631
2480	0	5580	78	5577.391	79.784	0.563	0.249
2480	50	5540.051	77.153	5537.801	78.853	0.351	0.228
2480	100	5501.171	76.278	5498.921	77.978	0.147	0.179
2480	150	5462.291	75.452	5460.041	77.152	0.058	0.104
2480	200	5423.410	74.669	5421.160	76.369	0.265	0.003
2480	250	5384.529	73.921	5382.279	75.621	0.472	0.120

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2480	300	5345.647	73.206	5343.397	74.906	0.558	0.266
2480	350	5306.766	72.517	5304.516	74.217	0.644	0.432
2480	400	5267.884	71.853	5265.634	73.553	0.482	0.619
2480	450	5229.001	71.208	5226.751	72.908	0.318	0.824
2480	500	5190.119	70.581	5187.869	72.281	0.151	1.047
2480	550	5151.236	69.969	5148.986	71.669	0.017	1.287
2480	600	5112.352	69.370	5110.102	71.070	0.188	1.544
2480	650	5073.468	68.783	5071.218	70.483	0.361	1.817
2480	700	5034.584	68.204	5032.334	69.904	0.537	1.383
2480	750	4995.700	67.634	4993.450	69.334	0.715	0.954
2480	800	4956.815	67.071	4954.565	68.771	0.895	0.531
2480	850	4917.930	66.513	4915.680	68.213	1.078	0.110
2480	900	4879.045	65.961	4876.795	67.661	1.264	0.307
2480	950	4840.159	65.413	4837.909	67.113	1.452	0.722
2480	1000	4801.273	64.869	4799.023	66.569	1.642	1.134
2480	1050	4762.387	64.328	4760.137	66.028	1.836	1.546
2480	1100	4723.500	63.789	4721.250	65.489	2.032	1.956
2480	1150	4684.613	63.252	4682.363	64.952	1.948	2.366
2480	1200	4645.725	62.718	4643.475	64.418	1.862	0.170
2480	1250	4606.838	62.185	4604.588	63.885	1.776	0.241
2480	1300	4567.950	61.653	4565.700	63.353	1.690	0.651
2480	1350	4529.061	61.123	4526.811	62.823	1.602	1.063
2480	1400	4490.172	60.593	4487.922	62.293	1.514	0.175
2480	1450	4451.283	60.064	4449.033	61.764	1.424	0.239
2480	1500	4412.394	59.536	4410.144	61.236	1.334	0.655
2480	1550	4373.504	59.008	4371.254	60.708	1.243	1.072
2480	1600	4334.614	58.480	4332.364	60.180	1.152	1.492
2480	1650	4295.724	57.953	4293.474	59.653	1.059	1.234
2480	1700	4256.833	57.427	4254.583	59.127	0.966	0.970
2480	1750	4217.942	56.900	4215.692	58.600	0.871	0.698
2480	1800	4179.050	56.374	4176.800	58.074	0.776	0.419
2480	1850	4140.159	55.847	4137.909	57.547	0.680	0.132
2480	1900	4101.266	55.321	4099.016	57.021	0.583	0.162
2480	1950	4062.374	54.795	4060.124	56.495	0.485	0.465
2480	2000	4023.481	54.269	4021.231	55.969	0.386	0.775
2480	2050	3984.588	53.743	3982.338	55.443	0.286	0.330
2480	2100	3945.695	53.217	3943.445	54.917	0.185	0.119
2480	2150	3906.801	52.691	3904.551	54.391	0.084	0.572
2480	2200	3867.907	52.165	3865.657	53.865	0.019	1.029

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2480	2250	3829.012	51.638	3826.762	53.338	0.123	0.725
2480	2300	3790.118	51.112	3787.868	52.812	0.228	0.414
2480	2350	3751.223	50.586	3748.973	52.286	0.334	0.094
2480	2400	3712.327	50.059	3710.077	51.759	0.441	0.235
2480	2450	3673.431	49.533	3671.181	51.233	0.549	0.573
2480	2500	3634.535	49.007	3632.285	50.707	0.659	0.920
2480	2550	3595.639	48.480	3593.389	50.180	0.769	1.276
2480	2600	3556.742	47.953	3554.492	49.653	0.880	1.643
2500	0	5600	78	5597.299	79.784	0.688	0.250
2500	50	5559.959	77.156	5557.709	78.856	0.476	0.227
2500	100	5521.079	76.284	5518.829	77.984	0.273	0.177
2500	150	5482.199	75.460	5479.949	77.160	0.068	0.101
2500	200	5443.318	74.678	5441.068	76.378	0.139	0.000
2500	250	5404.437	73.932	5402.187	75.632	0.346	0.125
2500	300	5365.556	73.217	5363.306	74.917	0.431	0.271
2500	350	5326.675	72.529	5324.425	74.229	0.517	0.438
2500	400	5287.793	71.865	5285.543	73.565	0.354	0.625
2500	450	5248.911	71.221	5246.661	72.921	0.189	0.830
2500	500	5210.028	70.595	5207.778	72.295	0.021	1.053
2500	550	5171.145	69.983	5168.895	71.683	0.148	1.294
2500	600	5132.262	69.384	5130.012	71.084	0.320	1.551
2500	650	5093.378	68.796	5091.128	70.496	0.494	1.824
2500	700	5054.495	68.218	5052.245	69.918	0.670	1.391
2500	750	5015.610	67.648	5013.360	69.348	0.849	0.963
2500	800	4976.726	67.084	4974.476	68.784	1.031	0.539
2500	850	4937.841	66.527	4935.591	68.227	1.214	0.119
2500	900	4898.956	65.975	4896.706	67.675	1.401	0.298
2500	950	4860.070	65.427	4857.820	67.127	1.590	0.713
2500	1000	4821.184	64.882	4818.934	66.582	1.782	1.126
2500	1050	4782.298	64.341	4780.048	66.041	1.976	1.537
2500	1100	4743.411	63.802	4741.161	65.502	2.173	1.947
2500	1150	4704.524	63.266	4702.274	64.966	2.089	2.357
2500	1200	4665.637	62.731	4663.387	64.431	2.005	0.179
2500	1250	4626.750	62.198	4624.500	63.898	1.920	0.231
2500	1300	4587.862	61.666	4585.612	63.366	1.833	0.642
2500	1350	4548.974	61.136	4546.724	62.836	1.746	1.053
2500	1400	4510.085	60.606	4507.835	62.306	1.659	0.185
2500	1450	4471.196	60.077	4468.946	61.777	1.570	0.229
2500	1500	4432.307	59.549	4430.057	61.249	1.481	0.645

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2500	1550	4393.417	59.021	4391.167	60.721	1.391	1.062
2500	1600	4354.527	58.494	4352.277	60.194	1.300	1.482
2500	1650	4315.637	57.966	4313.387	59.666	1.208	1.224
2500	1700	4276.746	57.440	4274.496	59.140	1.115	0.960
2500	1750	4237.856	56.913	4235.606	58.613	1.021	0.688
2500	1800	4198.964	56.387	4196.714	58.087	0.927	0.408
2500	1850	4160.073	55.861	4157.823	57.561	0.832	0.122
2500	1900	4121.181	55.334	4118.931	57.034	0.735	0.173
2500	1950	4082.289	54.808	4080.039	56.508	0.638	0.475
2500	2000	4043.396	54.282	4041.146	55.982	0.540	0.785
2500	2050	4004.503	53.756	4002.253	55.456	0.441	0.340
2500	2100	3965.610	53.230	3963.360	54.930	0.340	0.109
2500	2150	3926.716	52.704	3924.466	54.404	0.239	0.561
2500	2200	3887.822	52.178	3885.572	53.878	0.137	1.018
2500	2250	3848.928	51.652	3846.678	53.352	0.034	0.714
2500	2300	3810.033	51.126	3807.783	52.826	0.070	0.403
2500	2350	3771.138	50.599	3768.888	52.299	0.175	0.082
2500	2400	3732.243	50.073	3729.993	51.773	0.281	0.246
2500	2450	3693.348	49.547	3691.098	51.247	0.389	0.584
2500	2500	3654.452	49.020	3652.202	50.720	0.497	0.931
2500	2550	3615.555	48.494	3613.305	50.194	0.607	1.288
2500	2600	3576.659	47.967	3574.409	49.667	0.717	1.655
2520	0	5619	78	5617.207	79.784	0.813	0.250
2520	50	5579.867	77.159	5577.617	78.859	0.602	0.226
2520	100	5540.987	76.289	5538.737	77.989	0.398	0.175
2520	150	5502.107	75.467	5499.857	77.167	0.193	0.098
2520	200	5463.227	74.687	5460.977	76.387	0.012	0.004
2520	250	5424.346	73.942	5422.096	75.642	0.219	0.129
2520	300	5385.465	73.228	5383.215	74.928	0.304	0.276
2520	350	5346.584	72.541	5344.334	74.241	0.389	0.443
2520	400	5307.702	71.878	5305.452	73.578	0.225	0.630
2520	450	5268.820	71.234	5266.570	72.934	0.059	0.836
2520	500	5229.938	70.608	5227.688	72.308	0.109	1.060
2520	550	5191.055	69.996	5188.805	71.696	0.279	1.301
2520	600	5152.172	69.398	5149.922	71.098	0.452	1.558
2520	650	5113.289	68.810	5111.039	70.510	0.627	1.832
2520	700	5074.405	68.232	5072.155	69.932	0.804	1.399
2520	750	5035.521	67.661	5033.271	69.361	0.984	0.971
2520	800	4996.636	67.098	4994.386	68.798	1.166	0.547

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2520	850	4957.752	66.541	4955.502	68.241	1.351	0.127
2520	900	4918.867	65.988	4916.617	67.688	1.538	0.290
2520	950	4879.981	65.440	4877.731	67.140	1.728	0.705
2520	1000	4841.095	64.896	4838.845	66.596	1.921	1.117
2520	1050	4802.209	64.354	4799.959	66.054	2.116	1.528
2520	1100	4763.323	63.815	4761.073	65.515	2.315	1.939
2520	1150	4724.436	63.279	4722.186	64.979	2.231	2.348
2520	1200	4685.549	62.744	4683.299	64.444	2.147	0.188
2520	1250	4646.662	62.211	4644.412	63.911	2.063	0.222
2520	1300	4607.774	61.679	4605.524	63.379	1.977	0.633
2520	1350	4568.886	61.149	4566.636	62.849	1.891	1.044
2520	1400	4529.998	60.619	4527.748	62.319	1.804	0.194
2520	1450	4491.109	60.090	4488.859	61.790	1.716	0.220
2520	1500	4452.220	59.562	4449.970	61.262	1.627	0.635
2520	1450	4413.330	59.034	4411.080	60.734	1.538	1.053
2520	1500	4374.441	58.507	4372.191	60.207	1.448	1.472
2520	1550	4335.551	57.980	4333.301	59.680	1.356	1.214
2520	1600	4296.660	57.453	4294.410	59.153	1.264	0.950
2520	1650	4257.769	56.926	4255.519	58.626	1.171	0.678
2520	1700	4218.878	56.400	4216.628	58.100	1.078	0.398
2520	1750	4179.987	55.874	4177.737	57.574	0.983	0.111
2520	1800	4141.095	55.347	4138.845	57.047	0.887	0.183
2520	1850	4102.203	54.821	4099.953	56.521	0.791	0.486
2520	1900	4063.311	54.295	4061.061	55.995	0.693	0.796
2520	1950	4024.418	53.769	4022.168	55.469	0.595	0.351
2520	2000	3985.525	53.243	3983.275	54.943	0.496	0.098
2520	2050	3946.631	52.717	3944.381	54.417	0.395	0.551
2520	2100	3907.738	52.191	3905.488	53.891	0.294	1.007
2520	2150	3868.844	51.665	3866.594	53.365	0.192	0.703
2520	2200	3829.949	51.139	3827.699	52.839	0.088	0.391
2520	2250	3791.054	50.613	3788.804	52.313	0.016	0.071
2520	2300	3752.159	50.086	3749.909	51.786	0.122	0.258
2520	2350	3713.264	49.560	3711.014	51.260	0.228	0.596
2520	2400	3674.368	49.034	3672.118	50.734	0.336	0.943
2520	2450	3635.472	48.507	3633.222	50.207	0.444	1.300
2520	2500	3596.575	47.981	3594.325	49.681	0.554	1.667
2520	2550	4957.752	66.541	4955.502	68.241	1.351	0.127
2520	2600	4918.867	65.988	4916.617	67.688	1.538	0.290
2540	0	5639	78	5637.115	79.784	0.938	0.250

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2540	50	5599.775	77.162	5597.525	78.862	0.235	0.232
2540	100	5560.896	76.295	5558.646	77.995	0.281	0.187
2540	150	5522.016	75.475	5519.766	77.175	0.329	0.115
2540	200	5483.136	74.696	5480.886	76.396	0.376	0.018
2540	250	5444.255	73.952	5442.005	75.652	0.424	0.103
2540	300	5405.374	73.240	5403.124	74.940	0.473	0.247
2540	350	5366.493	72.553	5364.243	74.253	0.522	0.411
2540	400	5327.611	71.890	5325.361	73.590	0.571	0.595
2540	450	5288.730	71.247	5286.480	72.947	0.621	0.799
2540	500	5249.847	70.621	5247.597	72.321	0.671	1.020
2540	550	5210.965	70.010	5208.715	71.710	0.722	1.259
2540	600	5172.082	69.411	5169.832	71.111	0.773	1.514
2540	650	5133.199	68.823	5130.949	70.523	0.825	1.786
2540	700	5094.315	68.245	5092.065	69.945	0.877	1.351
2540	750	5055.431	67.675	5053.181	69.375	0.929	0.922
2540	800	5016.547	67.112	5014.297	68.812	0.982	0.498
2540	850	4977.663	66.554	4975.413	68.254	1.036	0.077
2540	900	4938.778	66.002	4936.528	67.702	1.090	0.341
2540	950	4899.892	65.453	4897.642	67.153	1.145	0.756
2540	1000	4861.007	64.909	4858.757	66.609	1.200	1.169
2540	1050	4822.121	64.367	4819.871	66.067	1.255	1.581
2540	1100	4783.235	63.829	4780.985	65.529	1.311	1.991
2540	1150	4744.348	63.292	4742.098	64.992	1.368	2.401
2540	1200	4705.461	62.757	4703.211	64.457	1.425	0.133
2540	1250	4666.574	62.224	4664.324	63.924	1.483	0.278
2540	1300	4627.687	61.693	4625.437	63.393	1.541	0.689
2540	1350	4588.799	61.162	4586.549	62.862	1.465	1.100
2540	1400	4549.910	60.632	4547.660	62.332	1.387	0.137
2540	1450	4511.022	60.103	4508.772	61.803	1.309	0.277
2540	1500	4472.133	59.575	4469.883	61.275	1.229	0.693
2540	1550	4433.244	59.047	4430.994	60.747	1.149	1.111
2540	1600	4394.354	58.520	4392.104	60.220	1.067	1.531
2540	1650	4355.464	57.993	4353.214	59.693	0.985	1.273
2540	1700	4316.574	57.466	4314.324	59.166	0.901	1.009
2540	1750	4277.683	56.939	4275.433	58.639	0.816	0.738
2540	1800	4238.792	56.413	4236.542	58.113	0.730	0.459
2540	1850	4199.901	55.887	4197.651	57.587	0.643	0.173

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2540	1900	4161.010	55.361	4158.760	57.061	0.555	0.121
2540	1950	4122.118	54.834	4119.868	56.534	0.466	0.422
2540	2000	4083.225	54.308	4080.975	56.008	0.375	0.732
2540	2050	4044.333	53.782	4042.083	55.482	0.283	0.287
2540	2100	4005.440	53.256	4003.190	54.956	0.190	0.162
2540	2150	3966.547	52.730	3964.297	54.430	0.096	0.615
2540	2200	3927.653	52.204	3925.403	53.904	0.001	1.072
2540	2250	3888.759	51.678	3886.509	53.378	0.096	0.769
2540	2300	3849.865	51.152	3847.615	52.852	0.195	0.458
2540	2350	3810.970	50.626	3808.720	52.326	0.294	0.139
2540	2400	3772.075	50.100	3769.825	51.800	0.395	0.189
2540	2450	3733.180	49.573	3730.930	51.273	0.498	0.526
2540	2500	3694.285	49.047	3692.035	50.747	0.602	0.873
2540	2550	3655.389	48.521	3653.139	50.221	0.708	1.228
2540	2600	3616.492	47.994	3614.242	49.694	0.815	1.594
2560	0	5659	78	5657.023	79.784	0.189	0.249
2560	50	5619.683	77.165	5617.433	78.865	0.024	0.231
2560	100	5580.804	76.300	5578.554	78.000	0.229	0.185
2560	150	5541.924	75.482	5539.674	77.182	0.436	0.112
2560	200	5503.044	74.705	5500.794	76.405	0.643	0.014
2560	250	5464.164	73.963	5461.914	75.663	0.852	0.108
2560	300	5425.283	73.251	5423.033	74.951	0.939	0.251
2560	350	5386.402	72.565	5384.152	74.265	1.027	0.416
2560	400	5347.521	71.903	5345.271	73.603	0.867	0.601
2560	450	5308.639	71.260	5306.389	72.960	0.705	0.805
2560	500	5269.757	70.634	5267.507	72.334	0.542	1.027
2560	550	5230.875	70.023	5228.625	71.723	0.376	1.266
2560	600	5191.992	69.425	5189.742	71.125	0.207	1.522
2560	650	5153.109	68.837	5150.859	70.537	0.037	1.794
2560	700	5114.226	68.259	5111.976	69.959	0.136	1.359
2560	750	5075.342	67.688	5073.092	69.388	0.311	0.930
2560	800	5036.458	67.125	5034.208	68.825	0.489	0.506
2560	850	4997.573	66.568	4995.323	68.268	0.669	0.085
2560	900	4958.689	66.015	4956.439	67.715	0.852	0.332
2560	950	4919.804	65.467	4917.554	67.167	1.037	0.747
2560	1000	4880.918	64.922	4878.668	66.622	1.224	1.160
2560	1050	4842.033	64.381	4839.783	66.081	1.415	1.572
2560	1100	4803.147	63.842	4800.897	65.542	1.608	1.983
2560	1150	4764.260	63.305	4762.010	65.005	1.522	2.393

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2560	1200	4725.373	62.771	4723.123	64.471	2.433	0.206
2560	1250	4686.486	62.237	4684.236	63.937	2.349	0.204
2560	1300	4647.599	61.706	4645.349	63.406	2.265	0.614
2560	1350	4608.711	61.175	4606.461	62.875	2.180	1.025
2560	1400	4569.823	60.645	4567.573	62.345	2.094	0.213
2560	1450	4530.935	60.116	4528.685	61.816	2.008	0.201
2560	1500	4492.046	59.588	4489.796	61.288	1.920	0.616
2560	1550	4453.157	59.060	4450.907	60.760	1.832	1.033
2560	1600	4414.268	58.533	4412.018	60.233	1.743	1.453
2560	1650	4375.378	58.006	4373.128	59.706	1.653	1.195
2560	1700	4336.488	57.479	4334.238	59.179	1.563	0.930
2560	1750	4297.597	56.952	4295.347	58.652	1.471	0.658
2560	1800	4258.707	56.426	4256.457	58.126	1.379	0.378
2560	1850	4219.816	55.900	4217.566	57.600	1.286	0.091
2560	1900	4180.924	55.374	4178.674	57.074	1.192	0.204
2560	1950	4142.032	54.848	4139.782	56.548	1.097	0.507
2560	2000	4103.140	54.322	4100.890	56.022	1.001	0.817
2560	2050	4064.248	53.796	4061.998	55.496	0.904	0.372
2560	2100	4025.355	53.270	4023.105	54.970	0.806	0.076
2560	2150	3986.462	52.744	3984.212	54.444	0.707	0.529
2560	2200	3947.569	52.218	3945.319	53.918	0.607	0.986
2560	2250	3908.675	51.692	3906.425	53.392	0.506	0.681
2560	2300	3869.781	51.166	3867.531	52.866	0.405	0.369
2560	2350	3830.886	50.639	3828.636	52.339	0.302	0.049
2560	2400	3791.992	50.113	3789.742	51.813	0.198	0.281
2560	2450	3753.097	49.587	3750.847	51.287	0.093	0.619
2560	2500	3714.201	49.061	3711.951	50.761	0.013	0.967
2560	2550	3675.305	48.534	3673.055	50.234	0.120	1.324
2560	2600	3636.409	48.008	3634.159	49.708	0.228	1.691
2580	0	5659	78	5657.023	79.784	1.187	0.250
2580	50	5619.683	77.165	5617.433	78.865	0.977	0.223
2580	100	5580.804	76.300	5578.554	78.000	0.774	0.170
2580	150	5541.924	75.482	5539.674	77.182	0.571	0.090
2580	200	5503.044	74.705	5500.794	76.405	0.366	0.014
2580	250	5464.164	73.963	5461.914	75.663	0.160	0.141
2580	300	5425.283	73.251	5423.033	74.951	0.077	0.290
2580	350	5386.402	72.565	5384.152	74.265	0.007	0.459

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2580	400	5347.521	71.903	5345.271	73.603	0.160	0.648
2580	450	5308.639	71.260	5306.389	72.960	0.328	0.855
2580	500	5269.757	70.634	5267.507	72.334	0.499	1.080
2580	550	5230.875	70.023	5228.625	71.723	0.672	1.322
2580	600	5191.992	69.425	5189.742	71.125	0.847	1.580
2580	650	5153.109	68.837	5150.859	70.537	1.025	1.855
2580	700	5114.226	68.259	5111.976	69.959	1.205	1.422
2580	750	5075.342	67.688	5073.092	69.388	1.387	0.995
2580	800	5036.458	67.125	5034.208	68.825	1.572	0.571
2580	850	4997.573	66.568	4995.323	68.268	1.760	0.152
2580	900	4958.689	66.015	4956.439	67.715	1.950	0.265
2580	950	4919.804	65.467	4917.554	67.167	2.143	0.679
2580	1000	4880.918	64.922	4878.668	66.622	2.339	1.091
2580	1050	4842.033	64.381	4839.783	66.081	2.537	1.502
2580	1100	4803.147	63.842	4800.897	65.542	2.739	1.912
2580	1150	4764.260	63.305	4762.010	65.005	2.657	2.322
2580	1550	4725.373	62.771	4723.123	64.471	2.575	0.216
2580	1200	4686.486	62.237	4684.236	63.937	2.492	0.194
2580	1250	4647.599	61.706	4645.349	63.406	2.409	0.605
2580	1300	4608.711	61.175	4606.461	62.875	2.325	1.016
2580	1350	4569.823	60.645	4567.573	62.345	2.239	0.223
2580	1400	4530.935	60.116	4528.685	61.816	2.154	0.191
2580	1450	4492.046	59.588	4489.796	61.288	2.067	0.606
2580	1500	4453.157	59.060	4450.907	60.760	1.979	1.024
2580	1550	4414.268	58.533	4412.018	60.233	1.891	1.443
2580	1600	4375.378	58.006	4373.128	59.706	1.802	1.185
2580	1650	4336.488	57.479	4334.238	59.179	1.712	0.920
2580	1700	4297.597	56.952	4295.347	58.652	1.621	0.647
2580	1750	4258.707	56.426	4256.457	58.126	1.530	0.368
2580	1800	4219.816	55.900	4217.566	57.600	1.437	0.080
2580	1850	4180.924	55.374	4178.674	57.074	1.344	0.214
2580	1900	4142.032	54.848	4139.782	56.548	1.249	0.517
2580	1950	4103.140	54.322	4100.890	56.022	1.154	0.828
2580	2000	4064.248	53.796	4061.998	55.496	1.058	0.383
2580	2050	4025.355	53.270	4023.105	54.970	0.961	0.066
2580	2100	3986.462	52.744	3984.212	54.444	0.863	0.518
2580	2150	5347.521	71.903	5345.271	73.603	0.160	0.648

Tabel I.1 (lanjutan)

P psi	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
2580	2200	3947.569	52.218	3945.319	53.918	0.764	0.975
2580	2250	3908.675	51.692	3906.425	53.392	0.664	0.670
2580	2300	3869.781	51.166	3867.531	52.866	0.563	0.358
2580	2350	3830.886	50.639	3828.636	52.339	0.461	0.037
2580	2400	3791.992	50.113	3789.742	51.813	0.358	0.292
2580	2450	3753.097	49.587	3750.847	51.287	0.254	0.631
2580	2500	3714.201	49.061	3711.951	50.761	0.148	0.978
2580	2550	3675.305	48.534	3673.055	50.234	0.042	1.336
2580	2600	3636.409	48.008	3634.159	49.708	0.065	1.703

Pada tabel I.2 divariasikan nilai massa jenis injeksi CO₂ dengan tekanan dan temperature injeksi tetap yaitu sebesar 2400 psi dan 50 °C. Validasi dilakukan setiap segmen, dan didapatkan rata-rata *error* tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 1.141% dan 0.781 % .

Tabel I. 2 Validasi model *production well* dengan variasi tekanan

m Kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.39	0	5482	78	5479.438	79.720	0.078	1.003
0.39	50	5442.097	77.058	5439.847	78.758	0.230	0.202
0.39	100	5403.216	76.160	5400.966	77.860	0.394	0.572
0.39	150	5364.335	75.316	5362.085	77.016	0.559	0.067
0.39	200	5325.453	74.519	5323.203	76.219	0.474	0.477
0.39	250	5286.571	73.762	5284.321	75.462	0.388	1.059
0.39	300	5247.689	73.039	5245.439	74.739	0.302	1.680
0.39	350	5208.806	72.347	5206.556	74.047	0.215	0.977
0.39	400	5169.924	71.679	5167.674	73.379	0.127	0.289
0.39	450	5131.040	71.034	5128.790	72.734	0.038	0.386
0.39	500	5092.157	70.407	5089.907	72.107	0.052	1.050
0.39	550	5053.273	69.795	5051.023	71.495	0.142	1.702
0.39	600	5014.389	69.198	5012.139	70.898	0.233	1.019
0.39	650	4975.504	68.611	4973.254	70.311	0.324	1.660
0.39	700	4936.619	68.035	4934.369	69.735	0.417	0.445
0.39	750	4897.734	67.467	4895.484	69.167	0.510	0.196
0.39	800	4858.848	66.906	4856.598	68.606	0.604	0.463
0.39	850	4819.962	66.350	4817.712	68.050	0.699	0.041

Tabel I. 2(lanjutan)

m Kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.39	900	4781.076	65.800	4778.826	67.500	0.795	0.377
0.39	950	4742.190	65.254	4739.940	66.954	0.891	0.794
0.39	1000	4703.303	64.712	4701.053	66.412	0.988	1.207
0.39	1050	4664.415	64.173	4662.165	65.873	1.087	1.620
0.39	1100	4625.528	63.636	4623.278	65.336	1.186	0.787
0.39	1150	4586.640	63.101	4584.390	64.801	1.285	0.079
0.39	1200	4547.752	62.568	4545.502	64.268	1.386	0.091
0.39	1250	4508.863	62.037	4506.613	63.737	1.488	0.320
0.39	1300	4469.974	61.506	4467.724	63.206	1.590	0.732
0.39	1350	4431.085	60.977	4428.835	62.677	1.694	1.144
0.39	1400	4392.195	60.449	4389.945	62.149	0.973	0.092
0.39	1450	4353.305	59.921	4351.055	61.621	0.233	0.322
0.39	1500	4314.415	59.394	4312.165	61.094	0.333	0.738
0.39	1550	4275.525	58.867	4273.275	60.567	0.434	1.156
0.39	1600	4236.634	58.340	4234.384	60.040	0.537	1.576
0.39	1650	4197.742	57.814	4195.492	59.514	0.640	1.320
0.39	1700	4158.851	57.288	4156.601	58.988	0.744	1.056
0.39	1750	4119.959	56.762	4117.709	58.462	0.849	0.786
0.39	1800	4081.067	56.237	4078.817	57.937	0.955	0.507
0.39	1850	4042.174	55.711	4039.924	57.411	1.063	0.222
0.39	1900	4003.281	55.186	4001.031	56.886	1.171	0.071
0.39	1950	3964.388	54.660	3962.138	56.360	1.280	0.372
0.39	2000	3925.494	54.135	3923.244	55.835	1.390	0.681
0.39	2050	3886.600	53.609	3884.350	55.309	1.502	0.236
0.39	2100	3847.706	53.084	3845.456	54.784	1.614	0.214
0.39	2150	3808.811	52.558	3806.561	54.258	1.728	0.667
0.39	2200	3769.916	52.032	3767.666	53.732	1.842	1.124
0.39	2250	3731.021	51.507	3728.771	53.207	1.958	0.822
0.39	2300	3692.125	50.981	3689.875	52.681	2.075	0.512
0.39	2350	3653.229	50.455	3650.979	52.155	1.737	0.193
0.39	2400	3614.333	49.929	3612.083	51.629	1.393	0.135
0.39	2450	3575.437	49.404	3573.187	51.104	1.510	0.471
0.39	2500	3536.540	48.877	3534.290	50.577	1.628	0.816
0.39	2550	3497.642	48.351	3495.392	50.051	1.748	1.171
0.39	2600	3458.745	47.825	3456.495	49.525	1.868	1.536
0.48	0	5466	78	5464.030	79.649	0.555	1.025
0.48	50	5426.689	76.974	5424.439	78.674	0.406	0.217
0.48	100	5387.808	76.065	5385.558	77.765	0.247	0.564
0.48	150	5348.926	75.214	5346.676	76.914	0.085	0.065

Tabel I. 2(lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.48	200	5310.045	74.412	5307.795	76.112	0.173	0.473
0.48	250	5271.163	73.653	5268.913	75.353	0.262	1.051
0.48	300	5232.280	72.929	5230.030	74.629	0.351	1.667
0.48	350	5193.398	72.236	5191.148	73.936	0.441	0.960
0.48	400	5154.515	71.569	5152.265	73.269	0.531	0.268
0.48	450	5115.631	70.925	5113.381	72.625	0.623	0.410
0.48	500	5076.748	70.299	5074.498	71.999	0.715	1.075
0.48	550	5037.864	69.690	5035.614	71.390	0.808	1.730
0.48	600	4998.979	69.094	4996.729	70.794	0.902	1.049
0.48	650	4960.095	68.510	4957.845	70.210	0.996	1.692
0.48	700	4921.209	67.935	4918.959	69.635	1.091	0.410
0.48	750	4882.324	67.369	4880.074	69.069	1.188	0.232
0.48	800	4843.438	66.810	4841.188	68.510	1.284	0.426
0.48	850	4804.552	66.257	4802.302	67.957	1.382	0.003
0.48	900	4765.666	65.709	4763.416	67.409	1.481	0.417
0.48	950	4726.779	65.164	4724.529	66.864	1.580	0.834
0.48	1000	4687.892	64.624	4685.642	66.324	1.680	1.249
0.48	1050	4649.005	64.086	4646.755	65.786	1.782	1.662
0.48	1100	4610.117	63.551	4607.867	65.251	1.884	0.830
0.48	1150	4571.229	63.017	4568.979	64.717	1.986	0.035
0.48	1200	4532.341	62.485	4530.091	64.185	2.090	0.046
0.48	1250	4493.452	61.955	4491.202	63.655	2.195	0.366
0.48	1300	4454.563	61.426	4452.313	63.126	2.301	0.777
0.48	1350	4415.674	60.898	4413.424	62.598	2.407	1.190
0.48	1400	4376.784	60.370	4374.534	62.070	1.695	0.045
0.48	1450	4337.894	59.843	4335.644	61.543	0.964	0.370
0.48	1500	4299.003	59.317	4296.753	61.017	1.068	0.786
0.48	1550	4260.113	58.791	4257.863	60.491	1.173	1.205
0.48	1600	4221.222	58.265	4218.972	59.965	1.279	1.625
0.48	1650	4182.330	57.740	4180.080	59.440	1.385	1.369
0.48	1700	4143.438	57.215	4141.188	58.915	1.493	1.106
0.48	1750	4104.546	56.689	4102.296	58.389	1.602	0.836
0.48	1800	4065.654	56.165	4063.404	57.865	1.711	0.558
0.48	1850	4026.761	55.640	4024.511	57.340	1.822	0.273
0.48	1900	3987.868	55.115	3985.618	56.815	1.934	0.019
0.48	1950	3948.975	54.590	3946.725	56.290	2.047	0.319
0.48	2000	3910.081	54.065	3907.831	55.765	2.161	0.628
0.48	2050	3871.187	53.540	3868.937	55.240	2.276	0.182
0.48	2100	3832.292	53.015	3830.042	54.715	2.392	0.268

Tabel I. 2 (lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.48	2150	3793.398	52.490	3791.148	54.190	2.509	0.721
0.48	2200	3754.503	51.965	3752.253	53.665	2.628	1.179
0.48	2250	3715.607	51.440	3713.357	53.140	2.747	0.877
0.48	2300	3676.711	50.915	3674.461	52.615	2.868	0.568
0.48	2350	3637.815	50.390	3635.565	52.090	2.538	0.250
0.48	2400	3598.919	49.865	3596.669	51.565	2.202	0.077
0.48	2450	3560.022	49.339	3557.772	51.039	2.323	0.412
0.48	2500	3521.125	48.814	3518.875	50.514	2.445	0.757
0.48	2550	3482.228	48.288	3479.978	49.988	2.568	1.111
0.48	2600	3443.330	47.763	3441.080	49.463	2.693	1.475
0.57	0	5455	78	5452.632	79.577	0.907	1.036
0.57	50	5415.291	76.891	5413.041	78.591	0.760	0.224
0.57	100	5376.410	75.975	5374.160	77.675	0.603	0.561
0.57	150	5337.528	75.119	5335.278	76.819	0.444	0.065
0.57	200	5298.646	74.314	5296.396	76.014	0.533	0.470
0.57	250	5259.764	73.553	5257.514	75.253	0.623	1.045
0.57	300	5220.882	72.829	5218.632	74.529	0.714	1.658
0.57	350	5181.999	72.136	5179.749	73.836	0.805	0.950
0.57	400	5143.116	71.471	5140.866	73.171	0.897	0.256
0.57	450	5104.233	70.828	5101.983	72.528	0.990	0.423
0.57	500	5065.349	70.204	5063.099	71.904	1.084	1.090
0.57	550	5026.465	69.597	5024.215	71.297	1.179	1.747
0.57	600	4987.580	69.003	4985.330	70.703	1.274	1.066
0.57	650	4948.695	68.421	4946.445	70.121	1.370	1.711
0.57	700	4909.810	67.849	4907.560	69.549	1.467	0.391
0.57	750	4870.925	67.285	4868.675	68.985	1.564	0.252
0.57	800	4832.039	66.728	4829.789	68.428	1.663	0.404
0.57	850	4793.153	66.176	4790.903	67.876	1.762	0.019
0.57	900	4754.266	65.630	4752.016	67.330	1.862	0.440
0.57	950	4715.380	65.087	4713.130	66.787	1.963	0.857
0.57	1000	4676.492	64.548	4674.242	66.248	2.065	1.272
0.57	1050	4637.605	64.011	4635.355	65.711	2.168	1.685
0.57	1100	4598.717	63.477	4596.467	65.177	2.272	0.854
0.57	1150	4559.829	62.945	4557.579	64.645	2.376	0.010
0.57	1200	4520.940	62.415	4518.690	64.115	2.482	0.021
0.57	1250	4482.052	61.885	4479.802	63.585	2.588	0.391
0.57	1300	4443.162	61.357	4440.912	63.057	2.696	0.803
0.57	1350	4404.273	60.830	4402.023	62.530	2.804	1.216
0.57	1400	4365.383	60.303	4363.133	62.003	2.097	0.019

Tabel I. 2(lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.57	1450	4326.493	59.777	4324.243	61.477	1.372	0.396
0.57	1500	4287.602	59.251	4285.352	60.951	1.477	0.813
0.57	1550	4248.712	58.726	4246.462	60.426	1.584	1.231
0.57	1600	4209.820	58.201	4207.570	59.901	1.691	1.652
0.57	1650	4170.929	57.676	4168.679	59.376	1.800	1.396
0.57	1700	4132.037	57.152	4129.787	58.852	1.910	1.134
0.57	1750	4093.145	56.627	4090.895	58.327	1.371	0.864
0.57	1800	4054.252	56.103	4052.002	57.803	0.821	0.587
0.57	1850	4015.360	55.579	4013.110	57.279	0.258	0.302
0.57	1900	3976.466	55.054	3974.216	56.754	0.319	0.010
0.57	1950	3937.573	54.530	3935.323	56.230	0.909	0.290
0.57	2000	3898.679	54.006	3896.429	55.706	1.513	0.598
0.57	2050	3859.785	53.481	3857.535	55.181	1.033	0.152
0.57	2100	3820.890	52.957	3818.640	54.657	0.552	0.298
0.57	2150	3781.996	52.432	3779.746	54.132	0.070	0.752
0.57	2200	3743.100	51.908	3740.850	53.608	0.413	1.210
0.57	2250	3704.205	51.383	3701.955	53.083	0.897	0.908
0.57	2300	3665.309	50.859	3663.059	52.559	1.458	0.599
0.57	2350	3626.413	50.334	3624.163	52.034	0.791	0.281
0.57	2400	3587.516	49.809	3585.266	51.509	0.106	0.045
0.57	2450	3548.619	49.285	3546.369	50.985	0.216	0.380
0.57	2500	3509.722	48.760	3507.472	50.460	0.327	0.724
0.57	2550	3470.825	48.235	3468.575	49.935	0.439	1.078
0.57	2600	3431.927	47.710	3429.677	49.410	0.553	1.441
0.66	0	5448	78	5445.295	79.503	1.822	1.060
0.66	50	5407.953	76.809	5405.703	78.509	1.682	0.237
0.66	100	5369.072	75.888	5366.822	77.588	1.530	0.557
0.66	150	5330.190	75.029	5327.940	76.729	1.377	0.070
0.66	200	5291.309	74.222	5289.059	75.922	1.470	0.458
0.66	250	5252.426	73.461	5250.176	75.161	1.564	1.026
0.66	300	5213.544	72.738	5211.294	74.438	1.658	1.634
0.66	350	5174.661	72.046	5172.411	73.746	1.754	0.920
0.66	400	5135.778	71.382	5133.528	73.082	1.850	0.222
0.66	450	5096.894	70.742	5094.644	72.442	1.946	0.461
0.66	500	5058.010	70.120	5055.760	71.820	2.044	1.132
0.66	550	5019.126	69.515	5016.876	71.215	2.142	1.791
0.66	600	4980.242	68.923	4977.992	70.623	2.242	1.114
0.66	650	4941.357	68.343	4939.107	70.043	2.342	1.760
0.66	700	4902.472	67.773	4900.222	69.473	2.443	0.338

Tabel I. 2 (lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.66	750	4863.586	67.211	4861.336	68.911	2.544	0.307
0.66	800	4824.700	66.656	4822.450	68.356	2.647	0.348
0.66	850	4785.814	66.106	4783.564	67.806	2.751	0.077
0.66	900	4746.927	65.561	4744.677	67.261	2.855	0.499
0.66	950	4708.041	65.020	4705.791	66.720	2.960	0.917
0.66	1000	4669.153	64.482	4666.903	66.182	3.066	1.333
0.66	1050	4630.266	63.947	4628.016	65.647	3.173	1.748
0.66	1100	4591.378	63.414	4589.128	65.114	3.281	0.918
0.66	1150	4552.490	62.883	4550.240	64.583	3.390	0.055
0.66	1200	4513.601	62.354	4511.351	64.054	3.500	0.045
0.66	1250	4474.712	61.825	4472.462	63.525	3.611	0.458
0.66	1300	4435.823	61.298	4433.573	62.998	3.723	0.870
0.66	1350	4396.933	60.771	4394.683	62.471	3.836	1.283
0.66	1400	4358.044	60.245	4355.794	61.945	3.142	0.051
0.66	1450	4319.153	59.720	4316.903	61.420	2.431	0.466
0.66	1500	4280.263	59.195	4278.013	60.895	2.541	0.883
0.66	1550	4241.372	58.670	4239.122	60.370	2.653	1.302
0.66	1600	4202.481	58.146	4200.231	59.846	2.765	1.723
0.66	1650	4163.589	57.622	4161.339	59.322	2.879	1.468
0.66	1700	4124.697	57.098	4122.447	58.798	2.993	1.206
0.66	1750	4085.805	56.574	4083.555	58.274	2.467	0.937
0.66	1800	4046.912	56.050	4044.662	57.750	1.929	0.661
0.66	1850	4008.019	55.526	4005.769	57.226	1.379	0.377
0.66	1900	3969.126	55.002	3966.876	56.702	0.816	0.086
0.66	1950	3930.233	54.479	3927.983	56.179	0.239	0.213
0.66	2000	3891.339	53.955	3889.089	55.655	0.351	0.520
0.66	2050	3852.444	53.431	3850.194	55.131	0.130	0.074
0.66	2100	3813.550	52.907	3811.300	54.607	0.612	0.377
0.66	2150	3774.655	52.383	3772.405	54.083	1.096	0.831
0.66	2200	3735.760	51.859	3733.510	53.559	1.580	1.289
0.66	2250	3696.864	51.335	3694.614	53.035	2.066	0.989
0.66	2300	3657.968	50.811	3655.718	52.511	2.628	0.681
0.66	2350	3619.072	50.287	3616.822	51.987	1.976	0.364
0.66	2400	3580.175	49.762	3577.925	51.462	1.306	0.039
0.66	2450	3541.278	49.238	3539.028	50.938	1.422	0.295
0.66	2500	3502.381	48.714	3500.131	50.414	1.540	0.638
0.66	2550	3463.484	48.189	3461.234	49.889	1.658	0.990
0.66	2600	3424.586	47.664	3422.336	49.364	1.778	1.353
0.75	0	5444	78	5442.066	79.429	0.627	1.074

Tabel I. 2 (lanjutan)

m Kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.75	50	5404.725	76.729	5402.475	78.429	0.486	0.243
0.75	100	5365.844	75.805	5363.594	77.505	0.334	0.557
0.75	150	5326.962	74.944	5324.712	76.644	0.180	0.075
0.75	200	5288.080	74.138	5285.830	75.838	0.024	0.448
0.75	250	5249.198	73.377	5246.948	75.077	0.134	1.012
0.75	300	5210.315	72.655	5208.065	74.355	0.294	1.615
0.75	350	5171.433	71.965	5169.183	73.665	0.456	0.898
0.75	400	5132.549	71.303	5130.299	73.003	0.621	0.197
0.75	450	5093.666	70.665	5091.416	72.365	0.788	0.489
0.75	500	5054.782	70.045	5052.532	71.745	0.956	1.162
0.75	550	5015.898	69.443	5013.648	71.143	1.128	1.823
0.75	600	4977.013	68.853	4974.763	70.553	1.301	1.148
0.75	650	4938.128	68.276	4935.878	69.976	1.477	1.795
0.75	700	4899.243	67.707	4896.993	69.407	1.656	0.300
0.75	750	4860.357	67.147	4858.107	68.847	1.837	0.346
0.75	800	4821.471	66.594	4819.221	68.294	2.020	0.308
0.75	850	4782.585	66.045	4780.335	67.745	2.207	0.118
0.75	900	4743.699	65.502	4741.449	67.202	1.677	0.541
0.75	950	4704.812	64.962	4702.562	66.662	1.148	0.960
0.75	1000	4665.925	64.426	4663.675	66.126	0.619	1.376
0.75	1050	4627.037	63.892	4624.787	65.592	0.089	1.791
0.75	1100	4588.149	63.360	4585.899	65.060	0.441	0.962
0.75	1150	4549.261	62.830	4547.011	64.530	0.971	0.101
0.75	1200	4510.372	62.301	4508.122	64.001	1.501	0.092
0.75	1250	4471.483	61.773	4469.233	63.473	2.032	0.504
0.75	1300	4432.594	61.247	4430.344	62.947	1.873	0.917
0.75	1350	4393.704	60.721	4391.454	62.421	1.712	1.330
0.75	1400	4354.815	60.196	4352.565	61.896	1.549	0.099
0.75	1450	4315.924	59.671	4313.674	61.371	1.384	0.515
0.75	1500	4277.034	59.147	4274.784	60.847	1.216	0.932
0.75	1550	4238.143	58.623	4235.893	60.323	1.045	1.351
0.75	1600	4199.251	58.099	4197.001	59.799	0.872	1.772
0.75	1650	4160.360	57.575	4158.110	59.275	0.697	1.518
0.75	1700	4121.468	57.052	4119.218	58.752	0.518	1.257
0.75	1750	4082.576	56.528	4080.326	58.228	0.337	0.988
0.75	1800	4043.683	56.005	4041.433	57.705	0.153	0.712
0.75	1850	4004.790	55.481	4002.540	57.181	0.034	0.429
0.75	1900	3965.897	54.958	3963.647	56.658	0.223	0.139
0.75	1950	3927.003	54.435	3924.753	56.135	0.416	0.160

Tabel I. 2 (lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.75	2000	3888.109	53.911	3885.859	55.611	0.612	0.466
0.75	2050	3849.215	53.388	3846.965	55.088	0.811	0.019
0.75	2100	3810.320	52.864	3808.070	54.564	1.014	0.431
0.75	2150	3771.425	52.341	3769.175	54.041	1.219	0.886
0.75	2200	3732.530	51.817	3730.280	53.517	1.428	1.344
0.75	2250	3693.635	51.294	3691.385	52.994	1.641	1.045
0.75	2300	3654.739	50.770	3652.489	52.470	1.857	0.737
0.75	2350	3615.842	50.246	3613.592	51.946	2.077	0.422
0.75	2400	3576.946	49.722	3574.696	51.422	2.300	0.097
0.75	2450	3538.049	49.198	3535.799	50.898	2.528	0.236
0.75	2500	3499.151	48.674	3496.901	50.374	1.888	0.578
0.75	2550	3460.254	48.150	3458.004	49.850	1.247	0.929
0.75	2600	3421.356	47.626	3419.106	49.326	0.606	1.291
0.84	0	5445	78	5442.999	79.355	0.023	1.085
0.84	50	5405.657	76.652	5403.407	78.352	0.126	0.248
0.84	100	5366.776	75.725	5364.526	77.425	0.285	0.558
0.84	150	5327.895	74.865	5325.645	76.565	0.447	0.082
0.84	200	5289.013	74.059	5286.763	75.759	0.610	0.436
0.84	250	5250.131	73.300	5247.881	75.000	0.776	0.995
0.84	300	5211.248	72.579	5208.998	74.279	0.944	1.595
0.84	350	5172.365	71.892	5170.115	73.592	0.502	0.874
0.84	400	5133.482	71.233	5131.232	72.933	0.059	0.171
0.84	450	5094.598	70.596	5092.348	72.296	0.385	0.518
0.84	500	5055.715	69.979	5053.465	71.679	0.223	1.192
0.84	550	5016.830	69.379	5014.580	71.079	0.060	1.855
0.84	600	4977.946	68.792	4975.696	70.492	0.107	1.182
0.84	650	4939.061	68.216	4936.811	69.916	0.275	1.832
0.84	700	4900.176	67.650	4897.926	69.350	0.446	0.262
0.84	750	4861.290	67.091	4859.040	68.791	0.619	0.385
0.84	800	4822.404	66.539	4820.154	68.239	0.795	0.267
0.84	850	4783.518	65.993	4781.268	67.693	0.973	0.160
0.84	900	4744.631	65.451	4742.381	67.151	1.154	0.583
0.84	950	4705.744	64.912	4703.494	66.612	1.337	1.003
0.84	1000	4666.857	64.377	4664.607	66.077	1.523	1.420
0.84	1050	4627.970	63.844	4625.720	65.544	1.712	1.835
0.84	1100	4589.082	63.313	4586.832	65.013	1.904	1.007
0.84	1150	4550.193	62.784	4547.943	64.484	2.098	0.147
0.84	1200	4511.305	62.256	4509.055	63.956	1.609	0.138
0.84	1250	4472.416	61.729	4470.166	63.429	1.119	0.551

Tabel I. 2 (lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.84	1300	4433.527	61.203	4431.277	62.903	0.628	0.964
0.84	1350	4394.637	60.678	4392.387	62.378	0.137	1.378
0.84	1400	4355.747	60.153	4353.497	61.853	0.355	0.147
0.84	1450	4316.857	59.629	4314.607	61.329	0.848	0.563
0.84	1500	4277.966	59.105	4275.716	60.805	0.657	0.981
0.84	1550	4239.075	58.582	4236.825	60.282	0.464	1.400
0.84	1600	4200.184	58.058	4197.934	59.758	0.267	1.821
0.84	1650	4161.293	57.535	4159.043	59.235	0.067	1.568
0.84	1700	4122.401	57.012	4120.151	58.712	0.135	1.307
0.84	1750	4083.508	56.489	4081.258	58.189	0.342	1.039
0.84	1800	4044.616	55.966	4042.366	57.666	0.551	0.764
0.84	1850	4005.723	55.443	4003.473	57.143	0.764	0.482
0.84	1900	3966.830	54.920	3964.580	56.620	0.980	0.192
0.84	1950	3927.936	54.397	3925.686	56.097	1.200	0.106
0.84	2000	3889.042	53.874	3886.792	55.574	1.424	0.412
0.84	2050	3850.148	53.351	3847.898	55.051	1.651	0.035
0.84	2100	3811.253	52.828	3809.003	54.528	1.882	0.486
0.84	2150	3772.358	52.305	3770.108	54.005	2.118	0.941
0.84	2200	3733.463	51.782	3731.213	53.482	2.357	1.399
0.84	2250	3694.567	51.259	3692.317	52.959	2.600	1.101
0.84	2300	3655.671	50.735	3653.421	52.435	2.041	0.794
0.84	2350	3616.775	50.212	3614.525	51.912	1.480	0.479
0.84	2400	3577.878	49.688	3575.628	51.388	0.918	0.156
0.84	2450	3538.982	49.165	3536.732	50.865	0.356	0.177
0.84	2500	3500.084	48.641	3497.834	50.341	0.208	0.518
0.84	2550	3461.187	48.118	3458.937	49.818	0.772	0.869
0.84	2600	3422.289	47.594	3420.039	49.294	1.338	1.229
0.93	0	5450	80	5448.146	79.280	0.020	1.096
0.93	50	5410.805	78.976	5408.555	78.276	0.027	0.251
0.93	100	5371.924	78.050	5369.674	77.350	0.043	0.561
0.93	150	5333.042	77.190	5330.792	76.490	0.060	0.090
0.93	200	5294.160	76.386	5291.910	75.686	0.076	0.423
0.93	250	5255.278	75.629	5253.028	74.929	0.093	0.978
0.93	300	5216.396	74.911	5214.146	74.211	0.110	1.573
0.93	350	5177.513	74.226	5175.263	73.526	0.127	0.850
0.93	400	5138.630	73.569	5136.380	72.869	0.144	0.143
0.93	450	5099.746	72.935	5097.496	72.235	0.162	0.547
0.93	500	5060.862	72.321	5058.612	71.621	0.180	1.224
0.93	550	5021.978	71.723	5019.728	71.023	0.197	1.889

Tabel I. 2 (lanjutan)

m Kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
0.93	600	4983.094	71.138	4980.844	70.438	0.215	1.218
0.93	650	4944.209	70.564	4941.959	69.864	0.234	1.868
0.93	700	4905.324	70.000	4903.074	69.300	0.252	0.223
0.93	750	4866.438	69.443	4864.188	68.743	0.271	0.425
0.93	800	4827.552	68.892	4825.302	68.192	0.289	0.226
0.93	850	4788.666	68.347	4786.416	67.647	0.308	0.202
0.93	900	4749.780	67.806	4747.530	67.106	0.328	0.626
0.93	950	4710.893	67.269	4708.643	66.569	0.347	1.046
0.93	1000	4672.005	66.735	4669.755	66.035	0.367	1.464
0.93	1050	4633.118	66.203	4630.868	65.503	0.387	1.879
0.93	1100	4594.230	65.673	4591.980	64.973	0.407	1.052
0.93	1150	4555.342	65.144	4553.092	64.444	0.427	0.193
0.93	1200	4516.453	64.617	4514.203	63.917	0.448	0.185
0.93	1250	4477.564	64.091	4475.314	63.391	0.468	0.598
0.93	1300	4438.675	63.566	4436.425	62.866	0.489	1.011
0.93	1350	4399.786	63.041	4397.536	62.341	0.511	1.425
0.93	1400	4360.896	62.517	4358.646	61.817	0.532	0.196
0.93	1450	4322.006	61.993	4319.756	61.293	0.554	0.612
0.93	1500	4283.115	61.470	4280.865	60.770	0.576	1.030
0.93	1550	4244.224	60.947	4241.974	60.247	0.598	1.449
0.93	1600	4205.333	60.424	4203.083	59.724	0.621	1.871
0.93	1650	4166.441	59.901	4164.191	59.201	0.644	1.618
0.93	1700	4127.549	59.378	4125.299	58.678	0.667	1.358
0.93	1750	4088.657	58.856	4086.407	58.156	0.690	1.090
0.93	1800	4049.765	58.333	4047.515	57.633	0.714	0.816
0.93	1850	4010.872	57.811	4008.622	57.111	0.738	0.534
0.93	1900	3971.979	57.288	3969.729	56.588	0.762	0.245
0.93	1950	3933.085	56.765	3930.835	56.065	0.787	0.053
0.93	2000	3894.191	56.243	3891.941	55.543	0.812	0.358
0.93	2050	3855.297	55.720	3853.047	55.020	0.837	0.090
0.93	2100	3816.402	55.198	3814.152	54.498	0.862	0.541
0.93	2150	3777.507	54.675	3775.257	53.975	0.888	0.996
0.93	2200	3738.612	54.152	3736.362	53.452	0.914	1.455
0.93	2250	3699.717	53.629	3697.467	52.929	0.941	1.157
0.93	2300	3660.821	53.106	3658.571	52.406	0.968	0.851
0.93	2350	3621.924	52.583	3619.674	51.883	0.995	0.537
0.93	2400	3583.028	52.060	3580.778	51.360	1.023	0.214
0.93	2450	3544.131	51.537	3541.881	50.837	1.051	0.118
0.93	2500	3505.234	51.014	3502.984	50.314	1.079	0.458

Tabel I. 2 (lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
0.93	2550	3466.336	50.490	3464.086	49.790	1.108	0.808
0.93	2600	3427.438	49.967	3425.188	49.267	1.137	1.168
1.02	0	5460	80	5457.566	79.206	0.637	1.105
1.02	50	5420.225	78.902	5417.975	78.202	0.634	0.254
1.02	100	5381.344	77.977	5379.094	77.277	0.621	0.565
1.02	150	5342.462	77.120	5340.212	76.420	0.608	0.100
1.02	200	5303.581	76.318	5301.331	75.618	0.595	0.409
1.02	250	5264.698	75.564	5262.448	74.864	0.582	0.959
1.02	300	5225.816	74.849	5223.566	74.149	0.568	1.551
1.02	350	5186.933	74.167	5184.683	73.467	0.555	0.824
1.02	400	5148.050	73.513	5145.800	72.813	0.541	0.115
1.02	450	5109.167	72.881	5106.917	72.181	0.527	0.578
1.02	500	5070.283	72.269	5068.033	71.569	0.514	1.257
1.02	550	5031.399	71.673	5029.149	70.973	0.500	1.923
1.02	600	4992.514	71.091	4990.264	70.391	0.485	1.254
1.02	650	4953.630	70.519	4951.380	69.819	0.471	1.906
1.02	700	4914.745	69.956	4912.495	69.256	0.456	0.183
1.02	750	4875.859	69.401	4873.609	68.701	0.442	0.465
1.02	800	4836.973	68.852	4834.723	68.152	0.427	0.184
1.02	850	4798.087	68.308	4795.837	67.608	0.412	0.244
1.02	900	4759.201	67.768	4756.951	67.068	0.397	0.669
1.02	950	4720.314	67.232	4718.064	66.532	0.381	1.090
1.02	1000	4681.427	66.699	4679.177	65.999	0.366	1.508
1.02	1050	4642.539	66.168	4640.289	65.468	0.350	1.924
1.02	1100	4603.652	65.638	4601.402	64.938	0.334	1.098
1.02	1150	4564.763	65.111	4562.513	64.411	0.318	0.240
1.02	1200	4525.875	64.584	4523.625	63.884	0.302	0.232
1.02	1250	4486.986	64.059	4484.736	63.359	0.286	0.645
1.02	1300	4448.097	63.534	4445.847	62.834	0.269	1.059
1.02	1350	4409.208	63.010	4406.958	62.310	0.253	1.473
1.02	1400	4370.318	62.486	4368.068	61.786	0.236	0.245
1.02	1450	4331.428	61.963	4329.178	61.263	0.218	0.661
1.02	1500	4292.537	61.440	4290.287	60.740	0.201	1.079
1.02	1550	4253.646	60.917	4251.396	60.217	0.183	1.499
1.02	1600	4214.755	60.395	4212.505	59.695	0.166	1.920
1.02	1650	4175.864	59.872	4173.614	59.172	0.148	1.668
1.02	1700	4136.972	59.350	4134.722	58.650	0.129	1.408
1.02	1750	4098.080	58.828	4095.830	58.128	0.111	1.142
1.02	1800	4059.187	58.306	4056.937	57.606	0.092	0.868

Tabel I. 2 (lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
1.02	1850	4020.294	57.783	4018.044	57.083	0.074	0.586
1.02	1900	3981.401	57.261	3979.151	56.561	0.054	0.298
1.02	1950	3942.508	56.739	3940.258	56.039	0.035	0.001
1.02	2000	3903.614	56.217	3901.364	55.517	0.015	0.303
1.02	2050	3864.720	55.694	3862.470	54.994	0.004	0.144
1.02	2100	3825.825	55.172	3823.575	54.472	0.025	0.596
1.02	2150	3786.930	54.650	3784.680	53.950	0.045	1.051
1.02	2200	3748.035	54.127	3745.785	53.427	0.065	1.510
1.02	2250	3709.140	53.605	3706.890	52.905	0.086	1.213
1.02	2300	3670.244	53.082	3667.994	52.382	0.108	0.907
1.02	2350	3631.348	52.559	3629.098	51.859	0.129	0.594
1.02	2400	3592.451	52.037	3590.201	51.337	0.151	0.272
1.02	2450	3553.554	51.514	3551.304	50.814	0.173	0.058
1.02	2500	3514.657	50.991	3512.407	50.291	0.195	0.398
1.02	2550	3475.760	50.468	3473.510	49.768	0.218	0.747
1.02	2600	3436.862	49.945	3434.612	49.245	0.241	1.106
1.1	0	5472	80	5469.576	79.140	1.295	1.113
1.1	50	5432.234	78.838	5429.984	78.138	1.294	0.255
1.1	100	5393.353	77.916	5391.103	77.216	1.285	0.570
1.1	150	5354.472	77.061	5352.222	76.361	1.275	0.110
1.1	200	5315.590	76.262	5313.340	75.562	1.266	0.394
1.1	250	5276.708	75.511	5274.458	74.811	1.256	0.940
1.1	300	5237.826	74.798	5235.576	74.098	1.246	1.528
1.1	350	5198.943	74.119	5196.693	73.419	1.236	0.798
1.1	400	5160.060	73.468	5157.810	72.768	1.226	0.086
1.1	450	5121.177	72.839	5118.927	72.139	1.216	0.609
1.1	500	5082.293	72.229	5080.043	71.529	1.206	1.290
1.1	550	5043.409	71.635	5041.159	70.935	1.196	1.958
1.1	600	5004.525	71.054	5002.275	70.354	1.185	1.290
1.1	650	4965.640	70.484	4963.390	69.784	1.175	1.943
1.1	700	4926.755	69.923	4924.505	69.223	1.164	0.144
1.1	750	4887.870	69.369	4885.620	68.669	1.154	0.506
1.1	800	4848.984	68.821	4846.734	68.121	1.143	0.142
1.1	850	4810.098	68.278	4807.848	67.578	1.132	0.287
1.1	900	4771.212	67.739	4768.962	67.039	1.121	0.712
1.1	950	4732.325	67.204	4730.075	66.504	1.109	1.134
1.1	1000	4693.438	66.671	4691.188	65.971	1.098	1.552
1.1	1050	4654.551	66.141	4652.301	65.441	1.087	1.969
1.1	1100	4615.663	65.612	4613.413	64.912	1.075	1.144

Tabel I. 2 (lanjutan)

m Kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
1.1	1150	4576.775	65.085	4574.525	64.385	1.063	0.286
1.1	1200	4537.887	64.559	4535.637	63.859	1.051	0.279
1.1	1250	4498.998	64.034	4496.748	63.334	1.039	0.693
1.1	1300	4460.109	63.510	4457.859	62.810	1.027	1.106
1.1	1350	4421.220	62.986	4418.970	62.286	1.015	1.521
1.1	1400	4382.330	62.463	4380.080	61.763	1.003	0.293
1.1	1450	4343.440	61.940	4341.190	61.240	0.990	0.710
1.1	1500	4304.549	61.417	4302.299	60.717	0.977	1.128
1.1	1550	4265.659	60.895	4263.409	60.195	0.965	1.548
1.1	1600	4226.768	60.373	4224.518	59.673	0.952	1.970
1.1	1650	4187.876	59.851	4185.626	59.151	0.938	1.718
1.1	1700	4148.985	59.329	4146.735	58.629	0.925	1.459
1.1	1750	4110.092	58.807	4107.842	58.107	0.912	1.193
1.1	1800	4071.200	58.285	4068.950	57.585	0.898	0.920
1.1	1850	4032.307	57.763	4030.057	57.063	0.884	0.639
1.1	1900	3993.414	57.241	3991.164	56.541	0.870	0.351
1.1	1950	3954.521	56.719	3952.271	56.019	0.856	0.055
1.1	2000	3915.627	56.197	3913.377	55.497	0.842	0.249
1.1	2050	3876.733	55.675	3874.483	54.975	0.827	0.199
1.1	2100	3837.839	55.153	3835.589	54.453	0.813	0.650
1.1	2150	3798.944	54.631	3796.694	53.931	0.798	1.106
1.1	2200	3760.049	54.109	3757.799	53.409	0.783	1.565
1.1	2250	3721.154	53.587	3718.904	52.887	0.767	1.269
1.1	2300	3682.258	53.064	3680.008	52.364	0.752	0.964
1.1	2350	3643.362	52.542	3641.112	51.842	0.736	0.652
1.1	2400	3604.465	52.020	3602.215	51.320	0.721	0.331
1.1	2450	3565.569	51.497	3563.319	50.797	0.704	0.001
1.1	2500	3526.672	50.974	3524.422	50.274	0.688	0.338
1.1	2550	3487.774	50.452	3485.524	49.752	0.672	0.686
1.1	2600	3448.876	49.929	3446.626	49.229	0.655	1.044
1.2	0	5492	80	5489.472	79.058	1.951	1.120
1.2	50	5452.131	78.760	5449.881	78.060	1.954	0.255
1.2	100	5413.250	77.842	5411.000	77.142	1.948	0.576
1.2	150	5374.369	76.992	5372.119	76.292	1.942	0.121
1.2	200	5335.487	76.197	5333.237	75.497	1.936	0.378
1.2	250	5296.606	75.450	5294.356	74.750	1.930	0.920
1.2	300	5257.723	74.742	5255.473	74.042	1.924	1.504
1.2	350	5218.841	74.066	5216.591	73.366	1.917	0.771
1.2	400	5179.958	73.418	5177.708	72.718	1.911	0.057

Tabel I. 2 (lanjutan)

m Kg/s	Kedalaman m	PIPESIM		Model		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
1.2	450	5141.075	72.792	5138.825	72.092	1.905	0.641
1.2	500	5102.191	72.185	5099.941	71.485	1.898	1.323
1.2	550	5063.308	71.593	5061.058	70.893	1.892	1.993
1.2	600	5024.423	71.014	5022.173	70.314	1.885	1.328
1.2	650	4985.539	70.446	4983.289	69.746	1.878	1.982
1.2	700	4946.654	69.887	4944.404	69.187	1.872	0.103
1.2	750	4907.769	69.334	4905.519	68.634	1.865	0.547
1.2	800	4868.883	68.788	4866.633	68.088	1.858	0.099
1.2	850	4829.997	68.246	4827.747	67.546	1.851	0.330
1.2	900	4791.111	67.709	4788.861	67.009	1.844	0.756
1.2	950	4752.225	67.174	4749.975	66.474	1.837	1.178
1.2	1000	4713.338	66.643	4711.088	65.943	1.830	1.597
1.2	1050	4674.451	66.113	4672.201	65.413	1.822	2.014
1.2	1100	4635.563	65.585	4633.313	64.885	1.815	1.190
1.2	1150	4596.675	65.059	4594.425	64.359	1.808	0.333
1.2	1200	4557.787	64.533	4555.537	63.833	1.800	0.326
1.2	1250	4518.899	64.009	4516.649	63.309	1.792	0.740
1.2	1300	4480.010	63.485	4477.760	62.785	1.785	1.154
1.2	1350	4441.120	62.962	4438.870	62.262	1.777	1.569
1.2	1400	4402.231	62.439	4399.981	61.739	1.769	0.342
1.2	1450	4363.341	61.917	4361.091	61.217	1.761	0.759
1.2	1500	4324.451	61.395	4322.201	60.695	1.753	1.177
1.2	1550	4285.560	60.873	4283.310	60.173	1.745	1.598
1.2	1600	4246.669	60.351	4244.419	59.651	1.737	2.020
1.2	1650	4207.778	59.829	4205.528	59.129	1.729	1.768
1.2	1700	4168.887	59.307	4166.637	58.607	1.720	1.510
1.2	1750	4129.995	58.786	4127.745	58.086	1.712	1.244
1.2	1800	4091.103	58.264	4088.853	57.564	1.703	0.971
1.2	1850	4052.210	57.743	4049.960	57.043	1.694	0.691
1.2	1900	4013.317	57.221	4011.067	56.521	1.685	0.404
1.2	1950	3974.424	56.700	3972.174	56.000	1.677	0.109
1.2	2000	3935.530	56.178	3933.280	55.478	1.668	0.195
1.2	2050	3896.636	55.656	3894.386	54.956	1.658	0.253
1.2	2100	3857.742	55.135	3855.492	54.435	1.649	0.705
1.2	2150	3818.848	54.613	3816.598	53.913	1.640	1.161
1.2	2200	3779.953	54.091	3777.703	53.391	1.630	1.621
1.2	2250	3741.057	53.569	3738.807	52.869	1.621	1.325
1.2	2300	3702.162	53.047	3699.912	52.347	1.611	1.021
1.2	2350	3663.266	52.525	3661.016	51.825	1.601	0.709

Tabel I. 2 (lanjutan)

m	Kedalaman	PIPESIM		Model		%Error	
Kg/s	m	P out	T out	P out	T out	P	T
1.2	2400	3624.370	52.003	3622.120	51.303	1.591	0.389
1.2	2450	3585.473	51.481	3583.223	50.781	1.581	0.060
1.2	2500	3546.576	50.959	3544.326	50.259	1.571	0.278
1.2	2550	3507.679	50.436	3505.429	49.736	1.560	0.625
1.2	2600	3468.781	49.914	3466.531	49.214	1.550	0.982

Pada tabel I.3 divariasikan nilai temperatur injeksi CO₂ dengan tekanan dan massa jenis injeksi tetap yaitu sebesar 2400 psi dan 0.3044. Validasi dilakukan setiap segmen, dan didapatkan rata-rata *error* tekanan dan temperatur masing-masing sebesar 0.750% dan 0.727 %

Tabel I. 3 Validasi model *production well* dengan variasi temperatur

T	Kedalaman	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
C	m	P out	T out	P out	T out	P	T
51	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
51	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
51	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
51	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.329	0.115
51	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
51	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
51	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.473	0.247
51	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.522	0.411
51	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
51	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
51	500	5110.481	72.923	5108.231	72.223	0.671	1.020
51	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
51	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
51	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.825	1.786

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
51	700	4954.944	70.544	4952.694	69.844	0.877	1.351
51	750	4916.059	69.974	4913.809	69.274	0.929	0.922
51	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
51	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
51	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
51	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.145	0.756
51	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.200	1.169
51	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
51	1100	4643.854	66.131	4641.604	65.431	1.311	1.991
51	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
51	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133
51	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
51	1300	4488.301	63.996	4486.051	63.296	1.541	0.689
51	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100
51	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
51	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.309	0.277
51	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
51	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.149	1.111
51	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.531
51	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.985	1.273
51	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
51	1750	4138.287	59.244	4136.037	58.544	0.816	0.738
51	1800	4099.395	58.717	4097.145	58.017	0.730	0.459
51	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
51	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121
51	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.466	0.422
51	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
51	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287
51	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
51	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
51	2200	3788.246	54.508	3785.996	53.808	0.001	1.072
51	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.096	0.769
51	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
51	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.294	0.139
51	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
51	2450	3593.767	51.875	3591.517	51.175	0.498	0.526
51	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.602	0.873
51	2550	3515.973	50.822	3513.723	50.122	0.708	1.228
51	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
52	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
52	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
52	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
52	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.329	0.115
52	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
52	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
52	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.473	0.247
52	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.522	0.411
52	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
52	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
52	500	5110.481	72.923	5108.231	72.223	0.671	1.020
52	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
52	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
52	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.825	1.786
52	700	4954.944	70.544	4952.694	69.844	0.877	1.351
52	750	4916.059	69.974	4913.809	69.274	0.929	0.922
52	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
52	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
52	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
52	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.145	0.756
52	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.200	1.169
52	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
52	1100	4643.854	66.131	4641.604	65.431	1.311	1.991
52	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
52	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133
52	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
52	1300	4488.301	63.996	4486.051	63.296	1.541	0.689
52	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100
52	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
52	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.309	0.277
52	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
52	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.149	1.111
52	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.531
52	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.985	1.273
52	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
52	1750	4138.287	59.244	4136.037	58.544	0.816	0.738
52	1800	4099.395	58.717	4097.145	58.017	0.730	0.459
52	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
52	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
52	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.466	0.422
52	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
52	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287
52	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
52	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
52	2200	3788.246	54.508	3785.996	53.808	0.000	1.072
52	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.096	0.769
52	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
52	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.294	0.139
52	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
52	2450	3593.767	51.875	3591.517	51.175	0.498	0.526
52	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.602	0.873
52	2550	3515.973	50.822	3513.723	50.122	0.708	1.228
52	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594
53	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
53	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
53	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
53	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.328	0.115
53	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
53	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
53	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.473	0.247
53	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.522	0.411
53	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
53	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
53	500	5110.481	72.923	5108.231	72.223	0.671	1.020
53	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
53	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
53	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.825	1.786
53	700	4954.944	70.544	4952.694	69.844	0.877	1.351
53	750	4916.059	69.974	4913.809	69.274	0.929	0.922
53	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
53	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
53	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
53	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.145	0.756
53	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.200	1.169
53	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
53	1100	4643.854	66.131	4641.604	65.431	1.311	1.991
53	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
53	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133

Tabel I. 3 (lanjutan)

T	Kedalaman	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		m	P out	T out	P out	T out	P
53	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	4527.190	64.528
53	1300	4488.301	63.996	4486.051	63.296	4488.301	63.996
53	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	4449.412	63.466
53	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	4410.523	62.936
53	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	4371.633	62.407
53	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	4332.743	61.879
53	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	4293.853	61.351
53	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	4254.962	60.824
53	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	4216.071	60.297
53	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	4177.179	59.770
53	1750	4138.287	59.244	4136.037	58.544	4138.287	59.244
53	1800	4099.395	58.717	4097.145	58.017	4099.395	58.717
53	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	4060.503	58.191
53	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	4021.610	57.665
53	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	3982.717	57.139
53	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	3943.824	56.612
53	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	3904.930	56.086
53	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	3866.036	55.560
53	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	3827.141	55.034
53	2200	3788.246	54.508	3785.996	53.808	3788.246	54.508
53	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	3749.351	53.981
53	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	3710.456	53.455
53	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	3671.560	52.929
53	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	3632.664	52.402
53	2450	3593.767	51.875	3591.517	51.175	3593.767	51.875
53	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	3554.871	51.349
53	2550	3515.973	50.822	3513.723	50.122	3515.973	50.822
53	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	3477.076	50.295
54	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
54	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
54	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
54	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.328	0.115
54	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
54	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
54	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.473	0.247
54	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.522	0.411
54	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
54	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
54	500	5110.481	72.923	5108.231	72.223	0.671	1.020
54	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
54	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
54	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.824	1.786
54	700	4954.944	70.544	4952.694	69.844	0.877	1.351
54	750	4916.059	69.974	4913.809	69.274	0.929	0.922
54	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
54	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
54	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
54	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.144	0.756
54	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.200	1.169
54	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
54	1100	4643.854	66.131	4641.604	65.431	1.311	1.991
54	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
54	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133
54	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
54	1300	4488.301	63.996	4486.051	63.296	1.541	0.689
54	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100
54	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
54	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.309	0.277
54	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
54	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.149	1.111
54	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.530
54	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.984	1.273
54	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
54	1750	4138.288	59.244	4136.038	58.544	0.816	0.738
54	1800	4099.395	58.717	4097.145	58.017	0.730	0.459
54	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
54	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121
54	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.466	0.422
54	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
54	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287

Tabel I. 3 (lanjutan)

T	Kedalaman	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
C	m	P out	T out	P out	T out	P	T
54	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
54	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
54	2200	3788.246	54.508	3785.996	53.808	0.000	1.072
54	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.097	0.769
54	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
54	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.295	0.139
54	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
54	2450	3593.767	51.875	3591.517	51.175	0.498	0.526
54	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.602	0.873
54	2550	3515.974	50.822	3513.724	50.122	0.708	1.228
54	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594
55	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
55	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
55	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
55	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.328	0.115
55	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
55	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
55	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.473	0.247
55	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.522	0.411
55	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
55	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
55	500	5110.481	72.923	5108.231	72.223	0.671	1.020
55	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
55	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
55	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.824	1.786
55	700	4954.944	70.544	4952.694	69.844	0.877	1.351
55	750	4916.059	69.974	4913.809	69.274	0.929	0.922
55	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
55	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
55	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
55	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.144	0.756
55	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.200	1.169
55	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
55	1100	4643.855	66.131	4641.605	65.431	1.311	1.991
55	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
55	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133
55	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
55	1300	4488.301	63.996	4486.051	63.296	1.541	0.689
55	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
55	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
55	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.309	0.277
55	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
55	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.149	1.111
55	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.530
55	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.984	1.273
55	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
55	1750	4138.288	59.244	4136.038	58.544	0.816	0.738
55	1800	4099.395	58.717	4097.145	58.017	0.730	0.459
55	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
55	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121
55	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.466	0.422
55	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
55	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287
55	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
55	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
55	2200	3788.246	54.508	3785.996	53.808	0.000	1.072
55	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.097	0.769
55	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
55	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.295	0.139
55	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
55	2450	3593.767	51.875	3591.517	51.175	0.498	0.526
55	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.602	0.873
55	2550	3515.974	50.822	3513.724	50.122	0.708	1.228
55	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594
56	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
56	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
56	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
56	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.328	0.115
56	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
56	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
56	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.473	0.247
56	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.522	0.411
56	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
56	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
56	500	5110.481	72.923	5108.231	72.223	0.671	1.020
56	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
56	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
56	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.824	1.786

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman M	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
56	700	4954.945	70.544	4952.695	69.844	0.877	1.351
56	750	4916.059	69.974	4913.809	69.274	0.929	0.922
56	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
56	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
56	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
56	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.144	0.756
56	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.199	1.169
56	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
56	1100	4643.855	66.131	4641.605	65.431	1.311	1.991
56	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
56	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133
56	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
56	1300	4488.301	63.996	4486.051	63.296	1.541	0.689
56	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100
56	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
56	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.309	0.277
56	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
56	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.149	1.111
56	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.530
56	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.984	1.273
56	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
56	1750	4138.288	59.244	4136.038	58.544	0.816	0.738
56	1800	4099.395	58.717	4097.145	58.017	0.730	0.459
56	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
56	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121
56	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.466	0.422
56	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
56	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287
56	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
56	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
56	2200	3788.246	54.508	3785.996	53.808	0.000	1.072
56	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.097	0.769
56	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
56	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.295	0.139
56	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
56	2450	3593.768	51.875	3591.518	51.175	0.498	0.526
56	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.602	0.873
56	2550	3515.974	50.822	3513.724	50.122	0.708	1.228
56	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
	m	P out	T out	P out	T out	P	T
57	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
57	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
57	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
57	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.328	0.115
57	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
57	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
57	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.473	0.247
57	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.521	0.411
57	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
57	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
57	500	5110.482	72.923	5108.232	72.223	0.671	1.020
57	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
57	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
57	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.824	1.786
57	700	4954.945	70.544	4952.695	69.844	0.876	1.351
57	750	4916.059	69.974	4913.809	69.274	0.929	0.922
57	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
57	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
57	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
57	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.144	0.756
57	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.199	1.169
57	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
57	1100	4643.855	66.131	4641.605	65.431	1.311	1.991
57	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
57	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133
57	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
57	1300	4488.302	63.996	4486.052	63.296	1.541	0.689
57	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100
57	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
57	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.309	0.277
57	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
57	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.148	1.111
57	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.530
57	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.984	1.273
57	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
57	1750	4138.288	59.244	4136.038	58.544	0.816	0.738
57	1800	4099.395	58.717	4097.145	58.017	0.730	0.459
57	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
57	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
57	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.466	0.422
57	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
57	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287
57	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
57	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
57	2200	3788.247	54.508	3785.997	53.808	0.000	1.072
57	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.097	0.769
57	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
57	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.295	0.139
57	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
57	2450	3593.768	51.875	3591.518	51.175	0.498	0.526
57	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.602	0.873
57	2550	3515.974	50.822	3513.724	50.122	0.708	1.228
57	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594
58	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
58	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
58	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
58	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.328	0.115
58	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
58	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
58	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.473	0.247
58	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.521	0.411
58	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
58	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
58	500	5110.482	72.923	5108.232	72.223	0.671	1.020
58	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
58	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
58	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.824	1.786
58	700	4954.945	70.544	4952.695	69.844	0.876	1.351
58	750	4916.059	69.974	4913.809	69.274	0.929	0.922
58	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
58	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
58	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
58	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.144	0.756
58	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.199	1.169
58	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
58	1100	4643.855	66.131	4641.605	65.431	1.311	1.991
58	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
58	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133

Tabel I. 3 (lanjutan)

T	Kedalaman	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		C	m	P out	T out	P out	T out
58	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
58	1300	4488.302	63.996	4486.052	63.296	1.541	0.688
58	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100
58	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
58	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.308	0.277
58	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
58	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.148	1.111
58	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.530
58	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.984	1.273
58	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
58	1750	4138.288	59.244	4136.038	58.544	0.816	0.738
58	1800	4099.395	58.717	4097.145	58.017	0.730	0.459
58	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
58	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121
58	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.465	0.422
58	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
58	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287
58	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
58	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
58	2200	3788.247	54.508	3785.997	53.808	0.000	1.072
58	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.097	0.769
58	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
58	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.295	0.139
58	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
58	2450	3593.768	51.875	3591.518	51.175	0.498	0.526
58	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.602	0.873
58	2550	3515.974	50.822	3513.724	50.122	0.708	1.228
58	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594
59	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
59	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
59	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
59	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.328	0.115
59	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
59	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
59	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.472	0.247
59	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.521	0.411
59	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
59	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
59	500	5110.482	72.923	5108.232	72.223	0.671	1.020

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
59	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.722	1.259
59	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
59	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.824	1.786
59	700	4954.945	70.544	4952.695	69.844	0.876	1.351
59	750	4916.060	69.974	4913.810	69.274	0.929	0.922
59	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
59	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
59	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
59	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.144	0.756
59	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.199	1.169
59	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
59	1100	4643.855	66.131	4641.605	65.431	1.311	1.991
59	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
59	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133
59	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
59	1300	4488.302	63.996	4486.052	63.296	1.541	0.688
59	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100
59	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
59	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.308	0.277
59	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
59	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.148	1.111
59	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.530
59	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.984	1.273
59	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
59	1750	4138.288	59.244	4136.038	58.544	0.816	0.738
59	1800	4099.396	58.717	4097.146	58.017	0.730	0.459
59	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
59	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121
59	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.465	0.422
59	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
59	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287
59	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
59	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
59	2200	3788.247	54.508	3785.997	53.808	0.000	1.072
59	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.097	0.769
59	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
59	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.295	0.139
59	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
59	2450	3593.768	51.875	3591.518	51.175	0.498	0.526

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Kedalaman	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
	m	P out	T out	P out	T out	P	T
59	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.602	0.873
59	2550	3515.974	50.822	3513.724	50.122	0.708	1.228
59	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594
60	0	5500	80	5497.761	79.784	0.064	0.370
60	50	5460.420	79.539	5458.170	78.839	0.234	0.232
60	100	5421.539	78.653	5419.289	77.953	0.281	0.187
60	150	5382.658	77.819	5380.408	77.119	0.328	0.115
60	200	5343.777	77.028	5341.527	76.328	0.376	0.018
60	250	5304.895	76.275	5302.645	75.575	0.424	0.103
60	300	5266.013	75.555	5263.763	74.855	0.472	0.247
60	350	5227.131	74.864	5224.881	74.164	0.521	0.411
60	400	5188.248	74.197	5185.998	73.497	0.571	0.595
60	450	5149.365	73.551	5147.115	72.851	0.621	0.799
60	500	5110.482	72.923	5108.232	72.223	0.671	1.020
60	550	5071.598	72.310	5069.348	71.610	0.721	1.259
60	600	5032.714	71.711	5030.464	71.011	0.773	1.514
60	650	4993.829	71.123	4991.579	70.423	0.824	1.786
60	700	4954.945	70.544	4952.695	69.844	0.876	1.351
60	750	4916.060	69.974	4913.810	69.274	0.929	0.922
60	800	4877.174	69.411	4874.924	68.711	0.982	0.498
60	850	4838.288	68.854	4836.038	68.154	1.036	0.077
60	900	4799.402	68.302	4797.152	67.602	1.090	0.341
60	950	4760.516	67.754	4758.266	67.054	1.144	0.756
60	1000	4721.629	67.210	4719.379	66.510	1.199	1.169
60	1050	4682.742	66.669	4680.492	65.969	1.255	1.581
60	1100	4643.855	66.131	4641.605	65.431	1.311	1.991
60	1150	4604.967	65.595	4602.717	64.895	1.368	2.401
60	1200	4566.079	65.061	4563.829	64.361	1.425	0.133
60	1250	4527.190	64.528	4524.940	63.828	1.483	0.278
60	1300	4488.302	63.996	4486.052	63.296	1.541	0.688
60	1350	4449.412	63.466	4447.162	62.766	1.465	1.100
60	1400	4410.523	62.936	4408.273	62.236	1.387	0.137
60	1450	4371.633	62.407	4369.383	61.707	1.308	0.277
60	1500	4332.743	61.879	4330.493	61.179	1.229	0.693
60	1550	4293.853	61.351	4291.603	60.651	1.148	1.111
60	1600	4254.962	60.824	4252.712	60.124	1.067	1.530
60	1650	4216.071	60.297	4213.821	59.597	0.984	1.273
60	1700	4177.179	59.770	4174.929	59.070	0.901	1.009
60	1750	4138.288	59.244	4136.038	58.544	0.816	0.738

Tabel I. 3 (lanjutan)

T C	Elevation m	PIPESIM		Model Beggs Brill		%Error	
		P out	T out	P out	T out	P	T
60	1800	4099.396	58.717	4097.146	58.017	0.730	0.459
60	1850	4060.503	58.191	4058.253	57.491	0.643	0.173
60	1900	4021.610	57.665	4019.360	56.965	0.555	0.121
60	1950	3982.717	57.139	3980.467	56.439	0.465	0.422
60	2000	3943.824	56.612	3941.574	55.912	0.375	0.732
60	2050	3904.930	56.086	3902.680	55.386	0.283	0.287
60	2100	3866.036	55.560	3863.786	54.860	0.190	0.162
60	2150	3827.141	55.034	3824.891	54.334	0.096	0.615
60	2200	3788.247	54.508	3785.997	53.808	0.000	1.072
60	2250	3749.351	53.981	3747.101	53.281	0.097	0.769
60	2300	3710.456	53.455	3708.206	52.755	0.195	0.458
60	2350	3671.560	52.929	3669.310	52.229	0.295	0.139
60	2400	3632.664	52.402	3630.414	51.702	0.396	0.189
60	2450	3593.768	51.875	3591.518	51.175	0.498	0.526
60	2500	3554.871	51.349	3552.621	50.649	0.603	0.873
60	2550	3515.974	50.822	3513.724	50.122	0.708	1.228
60	2600	3477.076	50.295	3474.826	49.595	0.815	1.594

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran J Contoh Perhitungan *Profit*

Profit pada operasi injeksi CO₂ EGR dan *carbon sequestration* pada batuan shale dilakukan perhitungan pendapatan dari perkalian laju produksi metana dan kondensate dikali dengan harga jual natural gas dan kondensat. Input parameter kondisioperasi yang digunakan adalah pada tekanan 2400 psi, temperature 50 derajat celcius, dan laju massa injeksi CO₂ sebesar 1.2 kg/s. Perhitungan pendapatan menggunakan rumus 3.1.

- Menghitung *mobility ratio*

$$M = \frac{\mu_{ng}}{\mu_{mix}}$$
$$M = \frac{0.0000344341}{0.00002652} = 1.298$$

- Menghitung *fractional gas flow*

$$f_g = \frac{1}{(1+M)}$$
$$f_g = \frac{1}{(1+1.298)}$$
$$f_g = 0.435$$

- Menghitung *gas saturation*

$$S_{gi} = -0.0000005 \times f_g^5 + 0.00004 \times f_g^4$$
$$- 0.001 \times f_g^3 + 0.0071 \times f_g^2$$
$$+ 0.0521 \times f_g + 0.2623$$
$$S_{gi} = 0.286$$

- Menghitung *initial gas formation volume factor*

$$B_{gi} = 2.8793 \times z \times \frac{T_{reservoir}}{P_{reservoir}}$$
$$B_{gi} = 0.028793 \times 0.23 \times \frac{80.048}{3800}$$

$$B_{gi} = 0.014 L^3 / std L^3$$

- Menghitung *volume original gas in place*

$$G = \frac{Ah \phi S_{gi}}{B_{gi}}$$

$$G = \frac{11304 \times 200 \times 0.04 \times 0.286}{0.014}$$

$$G = 1855485.432 m^3 = 65.53 MMCF$$

- Menghitung *cummulative production*

$$Gp = G \times \left(1 - \frac{p/z}{p_i/z_i}\right)$$

$$Gp = 1855485.432 \times \left(1 - \frac{16522}{346956.522}\right)$$

$$Gp = 1767128.983 m^3 = 62.41 MMCF$$

- Menghitung laju produksi total *natural gas*

$$V_{pd \text{ natural gas}} = \frac{Gp}{t}$$

$$V_{pd \text{ natural gas}} = \frac{1855485.432}{15441.602}$$

$$V_{pd \text{ natural gas}} = 114.439 \frac{m^3}{day}$$

$$= 2.76505816 MMBTU/day$$

- Pendapatan *natural gas* (USD/hari)

$$P_t \text{ natural gas} = V_{pd} \times P_o$$

$$P_t \text{ natural gas} = 2.76505816 \frac{MMBTU}{day} \times 2.337 \frac{USD}{MMBTU}$$

$$P_t \text{ natural gas} = 6.462 USD/day$$

Dengan harga jual *natural gas* sebesar 2.337 USD/MMBTU, maka didapatkan pendapatan dari *natural gas* sebesar 6.462 USD/day dengan laju total produksi *natural gas* 2.76505816 MMBTU/day.

- Menghitung *cummulative production gas condensate*

$$CNG_{\text{gas condensate}} = 0.3171 \times Gp$$

$$CNG_{\text{gas condensate}} = 560352.593 \text{ m}^3$$

- Menghitung laju produksi total gas kondensat

$$V_{pd \text{ gas condensate}} = \frac{CNG_{\text{methana}}}{t}$$

$$V_{pd \text{ gas condensate}} = \frac{560352.593}{15441.602}$$

$$V_{pd \text{ gas condensate}} = 36.289 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} = 213.411808 \frac{\text{bbl}}{\text{day}}$$

- Menghitung pendapatan gas kondensat (USD/hari)

$$P_t \text{ gas condensate} = V_{pd} \times P_o$$

$$P_t \text{ gas condensate} = 213.411808 \frac{\text{bbl}}{\text{day}} \times 68.096 \frac{\text{USD}}{\text{bbl}}$$

$$P_t \text{ gas condensate} = 14532.37 \text{ USD/day}$$

Dengan harga jual gas *condensate* jenis EDMONTON *condensate* sebesar 68.096 USD/bbl, maka didapatkan pendapatan dari gas *condensate* sebesar 14532.37 USD/day dengan laju total produksi gas *condensate* 213.41 bbl/day. Sehingga pendapatan total adalah penjumlahan pendapatan *natural gas* dengan gas *condensate* didapatkan sebesar 14538.832 USD/hari.

- Menghitung volume CO₂

$$V_{CO_2} = \dot{m} \times 3600 \times 24$$

$$V_{CO_2} = 1.2 \times 3600 \times 24$$

$$V_{CO_2} = 103680 \frac{\text{kg}}{\text{day}} = 103.68 \frac{\text{ton}}{\text{day}}$$

- Menghitung biaya pengadaan CO₂

$$B_{CO_2} = V_{CO_2} \times P_{CO_2}$$

$$B_{CO_2} = 103.68 \frac{\text{ton}}{\text{day}} \times 15.5432 \frac{\text{USD}}{\text{ton}}$$

$$B_{CO_2} = 1611.519 \frac{\text{USD}}{\text{day}}$$

Biaya pengadaan CO₂ pada operasi CO₂-EGR dan *carbon sequestration* dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 3.9. Harga beli CO₂ per ton sebesar 15.5432 sehingga didapatkan pengeluaran untuk biaya pengadaan sebesar 1611.519 USD/hari.

- Menghitung CO₂ production

$$V_{CO_2 \text{ production}} = 0.2765694 \times Gp$$

$$V_{CO_2 \text{ production}} = 0.2765694 \times 1767128.983$$

$$V_{CO_2 \text{ production}} = 488733.803 \text{ m}^3$$

- Menghitung CO₂ production per hari

$$V_{prod} = \frac{V_{CO_2 \text{ production}}}{t} \times \rho$$

$$V_{prod} = \frac{488733.803}{15441.602} \times 862.84$$

$$V_{prod} = 27309.253 \frac{\text{kg}}{\text{day}} = 27.30925275 \frac{\text{ton}}{\text{day}}$$

- Menghitung biaya recycling CO₂

$$B_R = V_{prod} \times BR_{CO_2}$$

$$B_R = 27.30925275 \frac{\text{ton}}{\text{day}} \times 15 \frac{\text{USD}}{\text{ton}}$$

$$B_R = 409.639 \frac{\text{USD}}{\text{day}}$$

Volume CO₂ yang terbawa ke produksi adalah sebesar 27.30925 ton/hari. Sehingga biaya total *recycling* CO₂ sebesar 409.639 USD/hari. Perhitungan biaya *recycling* CO₂ dan biaya

operasional pompa digunakan rumus 3.10 dan 3.11. Total biaya operasional pompa pada kondisi operasi sebesar 110.876 USD/hari dengan biaya listrik di Barnett, USA sebesar 0.1049 USD/Kwh.

- Menghitung besar usaha pompa yang digunakan

$$W_p = \frac{q \times \Delta P}{\eta}$$

Dengan efisiensi pompa yang digunakan sebesar 0.8

$$W_p = 0.00033786973 \times 3600 \times (3268.979708 - 2400)$$

$$W_p = 1056.966989 \text{ KWh}$$

- Menghitung biaya operasional pompa CO₂

$$B_{OP} = W_p \times Y \times K$$

$$B_{OP} = 1056.966989 \text{ KWh} \times 0.1049 \frac{\text{USD}}{\text{KWh}}$$

$$B_{OP} = 110.876 \frac{\text{USD}}{\text{day}}$$

Profit pada kondisi operasi injeksi CO₂ EGR dan *carbon sequestration* pada batuan *shale* Barnett, TEXAS, USA didapatkan dengan selisih total pendapatan dikurangi biaya pengeluaran yaitu biaya pengadaan CO₂, biaya *recycling* CO₂, biaya operasional pompa operasi CO₂-EGR dan *carbon sequestration* adalah sebesar 12421.649 USD/hari

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Siti Sofiya. Penulis lahir di Malang pada tanggal 8 maret 1996 dan dibesarkan dikota Surabaya. Penulis menempuh Pendidikan di TK WIMA Surabaya pada tahun 2000 dan lulus tahun 2002. Tahun 2002-2008 penulis melanjutkan di SDN Dukuh Kupang V/534 Surabaya, lalu tahun 2008-2011 penulis menenmpuh Pendidikan di SMPN 10 Surabaya, dan SMAN 18 Surabaya pada tahun 2014. Penulis melanjutkan Pendidikan di perguruan tinggi yaitu di D3 Teknik Instrumentasi tahun 2014 dengan judul thesis “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Laju Aliran Produksi Brown Gas Berbasis Mikrokontroller ATMega 8538” dan lulus tahun 2017 setelah itu Lintas Jalur di Departemen Teknik Fisika ITS. Selama aktif menjadi mahasiswa penulis bergabung dalam organisasi dan kepanitian jurusan dan kampus seperti EPW dan ITS EXPO. Penulis memiliki ketertarikan dalam kegiatan keilmiahan bidang instrumentasi dan kontrol. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* :sitisofiya8@gmail.com