



TUGAS AKHIR - TF181801

**OPTIMISASI KONDISI OPERASI CO_2 -FOAM
FLOODING ENHANCED OIL RECOVERY
PADA LAPISAN BATUAN GAMPING
DI SELAT SUNDA**

MESTIKA ANDALA RAHMAH
NRP. 02311745000010

Dosen Pembimbing
Ir. Matradji, M.Sc

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



FINAL PROJECT - TF181801

***OPTIMIZATION OF CONDITIONS OF CO₂-FOAM
FLOODING ENHANCED OIL RECOVERY AT
LIMESTONE IN SUNDA STRAIT***

MESTIKA ANDALA RAHMAH
NRP. 02311745000010

Supervisor
Ir. Matradji, M.Sc

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Mestika Andala Rahmah
NRP : 02311745000010
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 CO₂-Foam Flooding Enhanced Oil Recovery pada Lapisan Batuan Gamping di Selat Sunda” 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 dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 26 Juli 2019

Pembuat Pernyataan,



Mestika
Mestika Andala Rahmah
NRP. 02311745000010

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**OPTIMISASI KONDISI OPERASI CO₂-FOAM FLOODING
ENHANCED OIL RECOVERY PADA LAPISAN BATUAN
GAMPING DI SELAT SUNDA**

Oleh:

**Mestika Andala Rahmah
NRP. 0231174500010**

**Surabaya, 26 Juli 2019
Menyetujui.**

Dosen Pembimbing



**Ir. Matradji, M.Sc.
NIP. 19560720 198503 1003**

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Fisika ITS



**Agus Muhamad Hatta, ST, M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002**

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI KONDISI OPERASI CO₂-FOAM FLOODING ENHANCED OIL RECOVERY PADA LAPISAN BATUAN GAMPING DI SELAT SUNDA

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 :

Mestika Andala Rahmah
NRP. 02311745000010

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Matradji, S.T., M.Sc(Pembimbing)
2. Hendra Cordova, S.T, M.T. (Ketua Penguji)
3. Dyah Sawitri, S.T., M.T. (Penguji 1)
4. Iwan Cony Setiadi, S.T.,M.T.(Penguji 2)

SURABAYA
Juli, 2019

OPTIMISASI KONDISI OPERASI CO_2 -FOAM FLOODING ENHANCED OIL RECOVERY

PADA LAPISAN BATUAN GAMPING DI SELAT SUNDA

Nama Mahasiswa : Mestika Andala Rahmah
NRP : 02311745000010
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Matradji, M.Sc

Abstrak

Pada eksplorasi minyak terdapat tiga metode yang bergantung, pada fase dari reservoir yang terdiri dari fase primer, sekunder dan tersier. Pada fase primer, memanfaatkan perbedaan tekanan yang sangat besar di dalam sumur dan di permukaan. Pada fase sekunder biasanya dengan menggunakan injeksi air (waterflooding) dan injeksi ulang natural. Pada fase tersier, peningkatan produksi minyak dilakukan dengan cara *Enhanced Oil Recovery (EOR)*. *EOR* adalah salah satu teknik dalam meningkatkan jumlah minyak yang dapat diproduksi. Dalam hal ini dilakukan *EOR* pada lapisan batuan gamping diselat sunda dikarenakan pada batuan gamping di selat Sunda terdapat adanya kandungan hidrokarbon sebesar 2/3 dari lapisan batuan gamping. Pada titik terdalam lapisan batuan gamping di selat Sunda, dengan kedalaman 1100m digunakan training Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk memperkirakan terdapat kandungan minyak bumi sebesar 50%. Pada *EOR* ini menggunakan CO_2 karena CO_2 mudah larut dalam minyak bumi namun sulit larut pada air dan ketersediaan CO_2 pada lapangan migas sangat berlimpah. Pada penggunaan *foam* bermanfaat untuk mengendalikan gerakan gas dalam media berpori. Kontrol pergerakan pada penggunaan *foam* dapat memberikan pergerakan yang lebih baik, dengan demikian dapat meningkatkan produksi minyak. Penginjeksian CO_2 -foam ini dilakukan pada lapisan batuan gamping (*limestone*), pada penggunaan teknologi ini diperlukan biaya yang dari aspek investasi maupun operasional. Metode Beggs-Brill digunakan untuk memodelkan pada *injection well* dan *production well*. Rata-rata error pemodelan metode Beggs-Brill secara berurutan sebesar 2.60% dan 3.48% untuk tekanan serta 3.18% dan 2.68% untuk temperatur jika dibandingkan dengan software PIPESIM. Pada reservoir menunjukkan rata-rata error sebesar 0.22% untuk tekanan dan 2.613% untuk temperatur jika dibandingkan dengan software COMSOL Multiphysics. Genetic algorithm dapat mengoptimalkan kondisi operasi sehingga hasil paling optimum kondisi operasi CO_2 -foam flood didapatkan peningkatan profit sebesar 84% jika dibandingkan dengan teknik optimisasi Duelist algorithm yang memiliki peningkatan profit sebesar 69%. Profit yang didapatkan 15735.258USD/hari menjadi 28912.08228USD/hari

Kata Kunci: Beggs-Brill, Darcy, genetic algorithm, EOR

**OPTIMIZATION CONDITIONS OF CO₂-FOAM FLOODING
ENHANCED OIL RECOVERY AT LIMESTONE
IN SUNDA STRAIT**

Name : Mestika Andala Rahmah
NRP : 02311745000010
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisor : Ir. Matradji, M.Sc

Abstract

In oil exploration, there are three dependent methods, in the phase of the reservoir consisting of primary, secondary and tertiary phases. In the primary phase, utilizing a very large pressure difference in the well and on the surface. In the second phase usually by using waterflooding and natural re-injection. In the tertiary phase, an increase in oil production is carried out using Enhanced Oil Recovery (EOR). EOR is one technique in increasing the amount of oil that can be produced. In this case, EOR was carried out on the limestone rock layer held by Sunda because there were 2/3 of the limestone rock in the Sunda Strait. At the deepest point of limestone rocks in the Sunda Strait, with a depth of 1100m, Artificial Neural Network (ANN) training was used to estimate 50% of the oil content. In this EOR, CO₂ is used because CO₂ is easily soluble in petroleum, but it is difficult to dissolve in water and the availability of CO₂ in the oil and gas field is very abundant. The use of foam is useful for controlling the movement of gas in porous media. Control of movement in the use of foam can provide better movement, thus increasing oil production. CO₂-foam injection is carried out in the limestone layer, the use of this technology requires investment and operational costs. The Beggs-Brill method is used to model injection well and production well. The average error of the Beggs-Brill method modeling is 2.60% and 3.48% for pressures and 3.18% and 2.68% for temperature when compared to PIPESIM software. The reservoir shows an average error of 0.22% for pressure and 2.613% for temperature when compared with COMSOL Multiphysics software. The genetic algorithm can optimize operating conditions so that the most optimum result of CO₂-foam flood operating conditions is an increase in profit of 84% when compared to the Duelist algorithm optimization technique which has a profit increase of 69%. The profit obtained is 15735.258USD / day to 28912.08228USD / day

Keywords : Beggs-Brill, Darcy, genetic algorithm, EOR

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 CO₂ FOAM FLOODING ENHANCED OIL RECOVERY PADA LAPISAN BATUAN GAMPING DI SELAT SUNDA”

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. Segenap keluarga penulis yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
2. Ir. Matrdji, M.Kom dan Totok Ruki Biyanto, Ph.D selaku dosen yang telah membimbing tugas akhir ini dan selalu memberikan semangat dan ide-ide baru.
3. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Fisika ITS.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di jurusan Teknik Fisika - ITS.
5. Rekan-rekan Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
6. Siti Sofiyah dan Atika Diyanasari selaku teman seperjuangan Tugas Akhir
7. Funlibin tim, Kiykik dan Putri selaku teman penyemangat Tugas Akhir

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, Juni 2019
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME Error! Bookmark not defined.	
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Mekanisme Recovery untuk Crude Oil Reservoir	5
2.2 Karbon dioksida (CO ₂).....	6
2.3 <i>Foam</i>	7
2.4 <i>Foam</i> sebagai Metode <i>Enhanced Oil Recovery (EOR)</i>	9
2.5 Batuan gamping (<i>limestone</i>).....	10
2.6 Permeabilitas.....	11
2.7 Reynold Number.....	12
2.8 Metode Begg's-Brill	13
2.9 Porositas.....	17
2.10 Pemodelan Transfer Panas pada <i>Injection</i> dan <i>Production Well</i>	17
2.11 Pemodelan Transfer Panas pada Reservoir.....	18
2.12 Duelist Algorithm	19
2.13 Genetic Algorithm.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Penentuan Input CO ₂ <i>Foam Flood Operation</i> dan Formasi Properti Reservoir.....	28

3.2	Penentuan Problem Formulasi	28
3.3	Pemodelan CO ₂ <i>Foam Flood Operation</i>	29
3.4	Validasi Model dengan Perangkat Lunak PIPESIM dan COMSOL	30
3.5	Perhitungan peningkatan produksi minyak dan biaya operasional injeksi	31
3.6	Optimisasi CO ₂ foam flood operation	35
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1	Hasil Pemodelan pada <i>Injection</i> dan <i>Production Well</i> dengan Metode Beggs-Brill	37
4.2	Hasil Pemodelan pada Reservoir dengan Persamaan Darcy	39
4.3	Hasil Pemodelan Tekanan dan Temperatur pada Production Well dengan Metode Begg's-Brill	41
4.4	Hasil Perhitungan <i>Oil Recovery</i> dan Biaya Operasional	43
4.5	Analisa sensitivitas	44
4.6	Optimisasi CO ₂ - <i>Foam Flood Operation</i>	48
	BAB V KESIMPULAN.....	55
	DAFTAR PUSTAKA	57
	LAMPIRAN.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Pergerakan CO ₂	7
Gambar 2. 2	Skema foam gas kontinyu dan diskontinyu	8
Gambar 2. 3	Mekanisme Lamella	8
Gambar 2. 4	Perbedaan skema Injeksi gas dengan foam gas	9
Gambar 2. 5	Batuan gamping (limestone)	10
Gambar 3. 1	Diagram alir metode penelitian	27
Gambar 3. 2	Segmentasi model CO ₂ foam flood operation.....	29
Gambar 4. 1	Grafik tekanan CO ₂ terhadap kedalaman pada injection well dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071 psia, temperatur 31°C	38
Gambar 4. 2	Grafik temperatur CO ₂ terhadap kedalaman pada injection well dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071 psia, temperatur 31°C	39
Gambar 4. 3	Grafik tekanan CO ₂ dan minyak pada reservoir dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071, temperatur 31°C.....	40
Gambar 4. 4	Grafik temperatur CO ₂ dan minyak pada reservoir dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071, temperatur 31°C.....	41
Gambar 4. 5	Grafik tekanan CO ₂ dan minyak pada production well dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071, temperatur 31°C.....	42
Gambar 4. 6	Grafik temperatur CO ₂ dan minyak pada production well dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071, temperatur 31°C.....	43
Gambar 4. 7	Grafik analisis sensitivitas perubahan laju aliran massa CO ₂ dan surfaktan terhadap profit	45
Gambar 4. 8	Grafik analisis sensitivitas perubahan tekanan CO ₂ dan surfaktan terhadap profit	46

Gambar 4. 9	Grafik analisis sensitivitas perubahan temperatur CO ₂ dan surfaktan terhadap profit.....	47
Gambar 4. 10	Grafik analisis sensitivitas perubahan konsesentrasi surfaktan (wt%) terhadap profit	47
Gambar 4. 11	Plot fitness terbaik setiap generasi GA	51
Gambar 4. 12	Grafik tekanan injeksi CO ₂ -foam terhadap kedalaman pada injection well setelah dilakukan optimisasi	51
Gambar 4. 13	Grafik temperatur injeksi CO ₂ -foam terhadap kedalaman pada injection well setelah dilakukan optimisasi	52
Gambar 4. 14	Grafik tekanan CO ₂ -foam terhadap kedalaman pada reservoir setelah dilakukan optimisasi.....	52
Gambar 4. 15	Grafik temperatur CO ₂ -foam terhadap kedalaman pada reservoir setelah dilakukan optimisasi	53
Gambar 4. 16	Grafik tekanan CO ₂ -foam pada production well setelah dilakukan optimisasi.....	53
Gambar 4. 17	Grafik temperatur CO ₂ -foam pada production well setelah dilakukan optimisasi.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Parameter input untuk pemodelan tekanan Beggs-Brill	37
Tabel 4. 2 Parameter input pemodelan tekanan dan temperatur reservoir.....	40
Tabel 4. 3 Perhitungan profit CO ₂ -foam EOR	44
Tabel 4. 4 Variabel-variabel optimal pada kondisi operasi CO ₂ foam flood	49
Tabel 4. 5 Perhitungan profit CO ₂ -foam EOR setelah dioptimisasi dengan GA.....	49
Tabel 4. 6 Perhitungan profit CO ₂ -foam EOR setelah dioptimisasi dengan DA.....	50
Tabel 4. 7 Hasil profit CO ₂ -foam EOR setelah dioptimisasi	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada eksplorasi minyak terdapat tiga metode yang bergantung, pada fase dari reservoir yang terdiri dari fase primer, sekunder dan tersier [1] Pada fase primer, dorongan minyak dari dalam reservoir .terjadi karena terdapat perbedaan tekanan yang sangat besar di dalam sumur dan di permukaan. Tekanan dari dalam sumur semakin lama akan semakin berkurang, sehingga produksi minyak akan berkurang, untuk mempertahankan produksi minyak pada fase sekunder biasanya dengan menggunakan injeksi air (waterflooding) dan injeksi ulang natural gas [2]. Pada fase tersier, peningkatan produksi minyak dilakukan dengan cara *Enhanced Oil Recovery (EOR)*.

Enhance Oil Recovery (EOR) adalah salah satu teknik dalam meningkatkan jumlah minyak yang dapat diproduksi [3]. Adapaun metode *EOR* diklasifikasikan dalam empat katagori utama yaitu pedesakan Injeksi Kimia (*chemical flooding*), Injeksi Gas Tercampur (*Miscible Gas Injeksi*), metode thermal (panas), dan proses lainnya missal dengan bantuan microba (microbial) [4]. Pada *EOR* ini menggunakan CO_2 karena CO_2 mudah larut dalam minyak bumi namun sulit larut pada air dan ketersediaan CO_2 pada lapangan migas sangat berlimpah. Proses CO_2 -*EOR* adalah dengan menginjeksi CO_2 pada lapisan produktif dengan tekanan dibawah tekanan rekah formasi. Adapun perubahan sifat kimia fisika yang disebabkan oleh adanya injeksi CO_2 adalah adanya pengembangan volume minyak dikarenakan CO_2 yang larut dalam minyak akan menyebabkan pengembangan volume minyak (*swelling factor*), terjadi penurunan viskositas dikarenakan adanya sejumlah CO_2 dalam minyak akan mengakibatkan penurunan viskositas minyak, menurut Simon dan Gause menyatakan bahwa penurunan viskositas tersebut dipengaruhi oleh tekanan dan viskositas minyak awal sebelum dijenuhi CO_2 , adanya kenaikan densitas yang diakibatkan terlarutnya sejumlah CO_2 dalam minyak, dan sifat CO_2

yang terpenting adalah kemampuan untuk mengekstraksikan sebagian komponen minyak. [3].

Pada penggunaan *foam* bermanfaat untuk mengendalikan gerakan gas dalam media berpori. Kontrol pergerakan pada penggunaan *foam* dapat memberikan pergerakan yang lebih baik, dengan demikian dapat meningkatkan produksi minyak [5]. *Foam* yang digunakan pada reservoir untuk menurunkan mobilitas gas, harus stabil dalam waktu yang cukup lama untuk mendapatkan hasil sweep efficiency yang lebih baik. *Lifetime* dari *foam* bergantung pada kestabilan lamella, dimana kestabilan lamella dipengaruhi oleh konsentrasi surfaktan [6]. Jadi performansi dari *foam* ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti tipe dan konsentrasi surfaktan, properties batuan, interaksi antara *foam* dan minyak, *salinitas brine*, temperatur, *pressure*, dan *flow rate* [7]

Penginjeksian CO₂-*foam* ini dilakukan pada lapisan batuan gamping (*limestone*) yang berada pada Selat Sunda, dikarenakan pada batuan gamping di selat Sunda terdapat adanya kandungan hidrokarbon sebesar 2/3 dari lapisan batuan gamping tersebut. Batuan gamping juga memiliki heterogenitas dari sifat batuan reservoir yaitu kompleksitas yang mendasar sehingga memengaruhi produksi efektif dari hidrokarbon. Pada titik terdalam lapisan batuan gamping di selat Sunda, dengan kedalaman 1100m dengan menggunakan training Jaringan Saraf Tiruan (JST) diperkirakan terdapat kandungan minyak bumi sebesar 50% sehingga dapat dilakukan proses EOR.

Pada penggunaan teknologi ini diperlukan biaya yang dari aspek investasi maupun operasional. Biaya operasional terdiri dari biaya pembelian dan penginjeksian CO₂ dan surfaktan yang bergantung pada konsentrasi surfaktan, komposisi gas, *properties* batuan, tekanan dan *flow rate* agar CO₂ *foam* yang diinjeksikan memenuhi kriteria sifat reservoir. Oleh karena itu, perlu adanya optimisasi pada kondisi operasi untuk meningkatkan keuntungan produksi minyak mentah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

- a. Dibutuhkan pemodelan CO₂ *foam flood operation* pada lapisan batuan gamping dari *injection well*, reservoir hingga *production well*
- b. Diperlukan pengoptimalan produksi *crude oil* pada CO₂ *foam flood operation enhanced oil recovery* pada lapisan batuan gamping.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Memodelkan CO₂ *foam flood operation* pada lapisan batuan gamping, mulai dari *injection well* hingga *production well*.
- b. Mengoptimalkan produksi *crude oil* pada CO₂ *foam flood operation enhanced oil recovery* pada lapisan

1.4 Batasan Masalah

Adapun lingkup kerja dalam penelitian ini adalah melakukan pemodelan pada *injection well* dan *production well* menggunakan persamaan Begg's-Brill, sementara pada reservoir menggunakan persamaan Darcy. Variabel yang dioptimisasi konsentrasi surfaktan, laju aliran, tekanan dan temperatur injeksi untuk meningkatkan keuntungan. Hasil pemodelan ini divalidasi menggunakan perangkat lunak PIPESIM dan COMSOL. Model dioptimisasi menggunakan teknik optimisasi *Genetic Algorithm* dan *Duelist Algorithm*.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II DASAR TEORI

2.1 Mekanisme Recovery untuk Crude Oil Reservoir

Ketika reservoir baru digunakan untuk produksi, tekanan awal pada reservoir biasanya cukup tinggi untuk mengalirkan minyak ke permukaan melalui sumur produksi dengan energi alami reservoir yang sesuai dengan *water drive*, *gas-drive* atau *drainase* gravitasi. Namun, tekanan akan menurun disebabkan oleh produksi yang secara berkelanjutan atau tekanan awal reservoir tidak akan memadai untuk proses produksi. Teknik *artificial lift* seperti pompa *downhole* dan *gas lift* diperlukan untuk mengurangi tekanan pada *bottomhole* dan mampu membantu produksi *hydrocarbon*. Fase penerapan dari dua metode seperti aliran alami dan *artificial lift* ini dikenal sebagai tahap *primary recovery* dari reservoir. Jika di rata-rata, sekitar 10% dari *original oil in place* terproduksi selama tahap *primary recovery* ini.

Tahap *secondary recovery* dimulai pada saat tekanan reservoir sangat terkuras dan produksi minyak sudah tidak lagi ekonomis, dengan tujuan utama untuk maintenance tekanan di dalam reservoir untuk memindahkan minyak. Selama tahap ini, fluida berupa air atau gas di injeksikan melalui sumur injeksi untuk meniru aliran alami yang terdapat di tempat seperti keadaan semula. *Waterflooding* dan injeksi gas adalah teknik yang banyak digunakan di tahap *secondary recovery*. Air dan/gas diinjeksikan ke dalam reservoir untuk mendorong minyak menuju ke sumur produksi. Tahap *secondary recovery* ini berhenti ketika produksi minyak menurun, dan fluida yang diinjeksikan tidak mampu lagi memproduksi minyak secara ekonomis lagi. Pada bagian akhir dari *secondary recovery*, faktor *recovery* minyak biasanya 15 dan 50%.

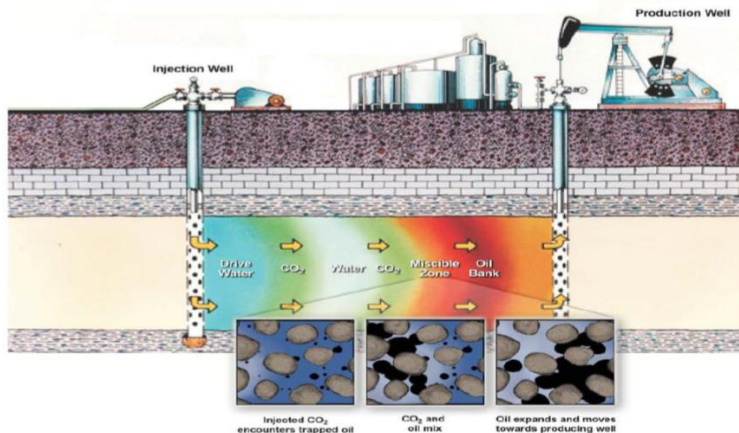
Untuk meningkatkan produksi minyak, tahap selanjutnya adalah *tertiary recovery* yang dapat digunakan untuk meningkatkan *sweep efficiency*. Tahap ini mengubah properties fluida dan/atau properties interaksi antara fluida dan batuan. Beberapa diantaranya terutama *thermal flooding* dan *miscible gas injection* adalah

memodifikasi properties dari minyak. Terdapat tiga kategori pada *tertiary recovery* ini yakni *thermal flooding*, *miscible/immiscible gas injection*, dan *chemical flooding*. Masing-masing metode melakukan yang terbaik jika diterapkan pada kondisi reservoir yang sesuai dengan metode tersebut. Kondisi ini melibatkan saturasi air dan minyak pada awal dari *tertiary recovery*, properties minyak (komposisi, API gravity, dan viskositas), temperatur reservoir, tekanan, ketebalan, kedalaman, porositas, permeabilitas tipe reservoir dan tipe batuan. *Tertiary recovery* ini disebut juga dengan enhanced oil recovery (EOR) [8]

2.2 Karbon dioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) adalah gas alam dan sebagai salah satu penyebab *global warming*. Bertambahnya jumlah CO₂ di atmosfer menyebabkan suhu di bumi meningkat. Efek CO₂ menyebabkan jumlah energi yang sama masuk ke atmosfer, tetapi lebih sedikit energi yang dilepaskan dari atmosfer.

Menyimpan CO₂ di reservoir minyak memiliki potensi yang sangat baik karena reservoir minyak telah menyimpan minyak dan gas selama jutaan tahun. Salah satu kelebihan CO₂ adalah dapat digunakan dalam industri perminyakan sebagai *CCUS (Carbon Capture Utilization and Storage)*. CO₂ dapat digunakan untuk menggantikan minyak dan pada saat yang sama akan meninggalkan bagian-bagian dari CO₂ di bawah tanah untuk menggantikan minyak. CO₂ memiliki *Minimum miscibility Pressure (MMP)* yang relatif rendah dibandingkan dengan gas injeksi lainnya seperti metana, dan berkisar antara 100-300 bar, tergantung pada suhu dan komposisi fluida yang dipindahkan. *MMP* adalah dua fase yang tidak dapat bercampur dan memungkinkan menjadi larut pada tekanan yang lebih tinggi. Artinya, dalam skala mikroskopis, CO₂ secara teori dapat menggantikan semua minyak. Ditunjukkan pada gambar 2.1 adalah gambar dasar yang menunjukkan bagaimana CO₂ mencampur dan mengembangkan minyak, sementara pada saat yang sama terjadi pergerakan minyak dengan skala mikroskopis [5].

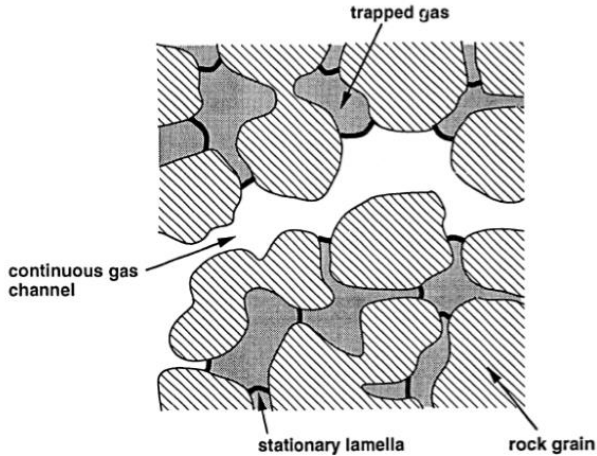


Gambar 2. 1 Pergerakan CO₂ [5]

2.3 Foam

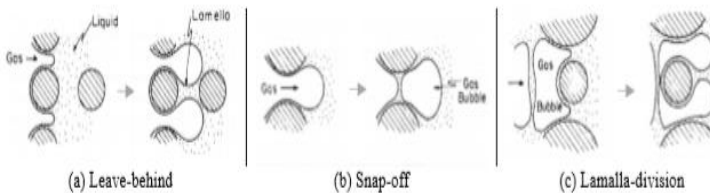
Foam digunakan untuk mengurangi pergerakan fase gas melalui pembentukan gas cair yang stabil [9]. *Foam* juga dapat mengurangi kekakuan antar cairan, *foam* memiliki sifat yang dapat menghalangi lapisan permeabel tinggi, yang berarti ia menghalangi lapisan zona yang sudah disapu, sehingga mengarahkan fluida ke area atau lapisan yang tidak tersapu [5].

Ada dua jenis *foam* yaitu, *foam* gas diskontinyu dan kontinyu. Pada *foam* gas kontinyu, gas dapat memiliki jalur melalui *foam*, tetapi harus menempuh jalur yang lebih panjang untuk bergerak melalui batuan berpori, ini hanya mempengaruhi permeabilitas relatif dari CO₂. Pada *foam* gas diskontinyu gas tidak memiliki jalan melalui *foam* karena semua jalur aliran dihalangi oleh lamella [10]. Sehingga, agar gas dapat bergerak melalui media berpori, membutuhkan perbedaan tekanan yang besar agar dapat memindahkan lamella melalui media berpori. Hal ini dapat mempengaruhi permeabilitas relatif dari CO₂ dan memberikan viskositas CO₂ yang lebih tinggi dari viskositas sebelumnya. Viskositas yang lebih tinggi ini disebabkan oleh peningkatan resistensi aliran lamella [5].



Gambar 2. 2 Skema *foam gas* kontinyu dan diskontinyu [11]

Pembuatan lamella sangat penting, terdapat tiga mekanisme untuk pembentukan lamella di pori batuan yaitu, *leave-behind*, *snap-off* dan *lamella division*. *Leave-behind* adalah karena mekanisme ini membuat lamella dalam rongga antar pori-pori yang berdekatan ketika pori-pori yang berdekatan dimasuki oleh gas dari segala arah. Hal ini hanya muncul selama *drainase*, *snap-off* adalah mekanisme ini terjadi karena berkumpulnya liquid di rongga yang sempit dalam media berpori, kemudian kumpulan liquid tersebut membuat seperti jembatan antar rongga sehingga terbentuklah antarmuka di dalam rongga, dan *lamella division* terjadi karena pergerakan lamella masuk ke pori-pori batuan dan terjadinya pemisahan karena melewati pori-pori tersebut [12]

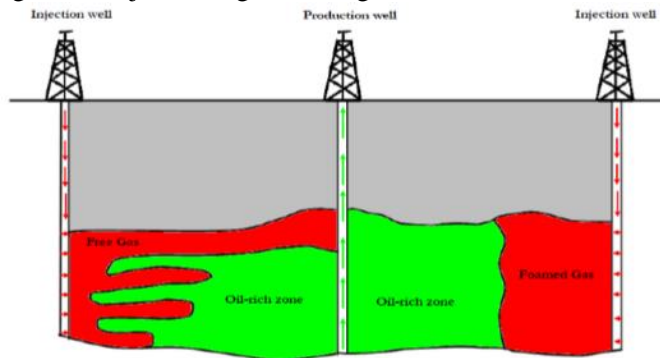


Gambar 2. 3 Mekanisme Lamella [12]

Pada *foam* reservoir gas yang mengalir melalui reservoir sebagian besar mengalir melalui lapisan batuan, meninggalkan hampir semua minyak dalam batuan. Sehingga gas perlahan akan mulai berdifusi ke dalam batuan, bertukar tempat dengan minyak dan mendorong minyak ke dalam fraktur. Pada proses ini dapat dipercepat oleh *foam*. *Foam* akan membuat penurunan tekanan viskositas, gas mendorong masuk ke batuan, bersamaan dengan perubahan viskositas dan difusi [5].

2.4 *Foam* sebagai Metode *Enhanced Oil Recovery (EOR)*

Foam sebagai metode *Enhanced Oil Recovery (EOR)* secara umum terdapat dua tujuan utama yakni, penyumbatan dan kontrol pada mobilitas gas. Penyumbatan dilakukan di dekat *injection well* dan *production well* dan memiliki tujuan untuk meningkatkan sweep efficiency dengan cara menghalangi lapisan yang tidak produktif dan memiliki permeabilitas yang tinggi. Tujuan menggunakan *foam* untuk kontrol mobilitas adalah mengurangi mobilitas gas dengan meningkatkan viskositas dan permeabilitas relatif gas. Gambar 2.4 menunjukkan perbedaan antara injeksi dengan gas dan injeksi dengan *foam*-gas.



Gambar 2. 4 Perbedaan skema Injeksi gas dengan *foam gas* [13]

Foam sebagai metode *EOR* memiliki potensi yang tinggi, terutama pada reservoir berkarbonasi dimana banyak patahan dan batuan yang permeabilitasnya rendah. Meskipun terdapat potensi

yang besar dan beberapa *field-test* menunjukkan hasil yang positif, metode ini masih belum banyak digunakan. Tingkat perolehan minyak yang paling tinggi adalah pada mekanisme injeksi gas CO₂ yang dilakukan secara kontinyu, sedangkan untuk injeksi CO₂ dan air secara simultan itu baik untuk reservoir yang *homogeny* [3].

2.5 Batuan gamping (*limestone*)

Di Indonesia, jenis dari batuan sedimen yang banyak menjadi reservoir minyak dan gas adalah *limestone* (batu kapur) dan *sandstone* (batu pasir). *Limestone* adalah batuan sedimen yang sebagian besar tersusun atas kalsium karbonat (CaCO₃). Ciri utama dari *limestone* adalah berwarna putih keabu-abuan, agak lunak, dan jika ditetesi asam akan membentuk gas karbon dioksida [14].



Gambar 2. 5 Batuan gamping (*limestone*) [15]

Limestone biasanya terbentuk di perairan dangkal, tenang, dan hangat. Lingkungan tersebut mampu membuat cangkang dan rangka dari organisme yang sudah mati akan menumpuk sebagai sedimen dan membentuk kalsium karbonat. Pembentukan *limestone* tersebut merupakan pembentukan organik (*biologis*). Beberapa *limestone* dapat juga terbentuk langsung dari pengendapan kalsium karbonat dari air laut. Proses ini berlangsung secara kimia. Dalam kaitannya dengan dunia migas, batuan *limestone* sangat disukai karena mempunyai sifat yang sangat porous dan permeabel

Batuan gamping termasuk ke dalam batuan karbonat yang terbentuk dari mineral kalsit (CaCO_3). Karbonat secara biologis mengandung fragmen fosil dan partikel lainnya dengan morfologi dan bentuk yang rumit. Hal ini menyebabkan struktur pori pada umumnya kompleks. Curah hujan, rekristalisasi, dolomitisasi, dan proses lainnya meningkatkan kompleksitas ini dari skala.

Berbagai jenis porositas dan distribusi ukuran pori yang kompleks juga mengakibatkan variasi permeabilitas lebar untuk porositas total yang sama, sehingga sulit untuk memprediksi produktivitas batuan karbonat. [16]



Gambar 2.1 Tekstur batuan karbonat di bawah permukaan laut [17]

2.6 Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan media berpori untuk menghantarkan fluida. Darcy melakukan penelitian dan didapatkan hubungan sebagai berikut [19]

$$q = \frac{cA\Delta P}{L} \quad (2.1)$$

Dimana:

q : Laju volumetric aliran fluida (m^3/s)

ΔP : Perbedaan tekanan dan titik awal hingga titik akhir (psi)

- A : Luas area yang dilalui fluida (m^2)
 L : Panjang medium yang dilalui (m)

Nilai c didapatkan dari persamaan

$$c = \frac{k}{\mu} \quad (2.2)$$

Sehingga persamaan 2.1 dan 2.2 disubstitusi menjadi persamaan beriku,

$$q = \frac{kA\Delta P}{\mu L} \quad (2.3)$$

Dimana:

- k : Nilai pemeliharaan dari medium dengan dimensi cm^2
 μ : Nilai viskositas

Terdapat satuan yang dibuat untuk mengukur nilai permeabilitas yang biasanya dinamakan dengan Darcy, jadi nilai 1 Darcy setara dengan $9.869 \times 10^{-9} cm^2$. Dengan persamaan tersebut, nilai pressure drop pada reservoir bisa didapatkan.

2.7 Reynold Number

Reynold Number adalah bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia dan gaya *viscous* pada suatu fluida. *Reynold Number* merupakan hasil dari percobaan yang ditemukan untuk menganalisis dinamika fluida. Pada Reynold Number yang besar, gaya inersia, yang sebanding dengan massa jenis dan kuadrat kecepatan fluida, relatif lebih besar terhadap gaya viskos, yang menyebabkan gaya viskos tidak mampu menahan fluktuasi acak dan cepat dari fluida. Pada *Reynold Number* yang kecil atau sedang, gaya viskos cukup besar untuk menekan fluktuasi ini, sehingga semakin besar nilai Reynold Number aliran fluida semakin turbulenta begitu pula sebaliknya semakin kecil nilai *Reynold Number* maka aliran fluida semakin *laminar* [20]

Karakteristik aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai *Reynold Number*. Adapun klasifikasi karakteristik aliran adalah sebagai berikut:

- Laminar flow*, merupakan aliran dengan nilai *reynold number* dibawah 2000
- Turbulent flow*, merupakan aliran dengan nilai *reynold number* diatas 4000

Nilai *reynold number* bisa didapatkan dengan persamaan (2.5sz)

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

Dimana,

- N_{Re} : *Reynold Number*
 ρ : Masa jenis (kg/m^3)
 v : Kecepatan aliran fluida (m/s)
 μ : Viskositas dinamik (kg/m.s)
 u : Viskositas kinematic (m^2/s)

2.8 Metode Begg's-Brill

Berdasarkan eksperimen, Beggs-Brill mendapatkan persamaan gradien tekanan pada aliran multifase dengan analisis kesetimbangan energi, dan mengasumsikan tidak ada gaya eksternal dari atau terhadap fluida alir.

$$\frac{dp}{dz} = \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{friction} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{elevation} + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{acceleration} \quad (2.6)$$

Pressure Drop pada aliran multifase terjadi karena adanya rugi gesekan atau *friction loss*, perbedaan elepasan atau perubahan energi potensial, dan akselerasi atau perubahan energi kinetik. Rugi akselerasi begitu kecil sehingga dapat diabaikan [21]

Rugi akibat gaya gesek pada aliran *single-phase* dan *multiphase* terjadi karena adanya gesekan fluida dengan pipa. Rugi akibat gaya gesek pada *single-phase* dipengaruhi oleh pola aliran laminar dan turbulent, serta dipengaruhi oleh dinding pipa yang halus (*smooth wall*) dan dinding pipa kasar (*rough wall*) [*Pressure drop* akibat gaya gesek dinyatakan dalam persamaan (2.7).

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{gaya\ gesek} = \frac{f_{tp} \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot g_c \cdot d} \quad (2.7)$$

Dimana:

- f_{tp} : Faktor gesekan
 ρ : Masa jenis (kg/m^3)

- v : Kecepatan aliran fluida (m/s)
 d : Diamter pipa (m)
 g_c : Faktor gravitasi

Persamaan faktor gesekan untuk aliran *single phase* dengan aliran *turbulent* dan *rough wall pipeline* telah diusulkan oleh Jain dan dibandingkan tingkat akurasi dengan persamaan *Colebrook*. Jain menemukan bahwa untuk *range* dari *relative roughness* antara 10^{-6} dan 10^{-2} dan *range* dari *Reynolds number* antara 5×10^{-3} dan 10^8 memiliki *error* sebesar $\pm 1\%$ [21]. Faktor gesekan tersebut dinyatakan dalam persamaan (2.8).

$$\frac{1}{\sqrt{f_{tp}}} = 1.14 - 2 \text{Log} \left(\frac{\varepsilon}{d} + \frac{21.25}{N_{Re}^{0.9}} \right) \quad (2.8)$$

Dimana:

- f_{tp} : Faktor gesekan
 N_{Re} : *Reynold Number*
 d : Diameter pipa (m)
 ε : Kekerasan pipa

Sedangkan persamaan faktor gesekan untuk aliran *multiphase* didapatkan dari nilai *holdup* pada kemiringan tertentu. Nilai *holdup* tersebut dapat diketahui dengan cara membandingkan nilai *holdup* pada kemiringan tertentu (θ), dengan kemiringan 0° . Sehingga *holdup* pada kemiringan tertentu dinyatakan dalam persamaan (2.9).

$$\frac{H_L(\theta)}{H_L(0)} = \Psi \quad (2.9)$$

Dimana:

- $H_L(\theta)$: *Holdup* pada kemiringan θ
 $H_L(0)$: *Holdup* pada aliran horizontal
 Ψ : Faktor koreksi inklinasi

Faktor koreksi inklinasi dapat diprediksi untuk seluruh kondisi aliran dengan persamaan berikut:

$$\Psi = 1 + (\sin\theta - 1/3 (\sin\theta)^3) \quad (2.10)$$

Dengan nilai $\emptyset = 1,8\theta$, pada kasus ini nilai θ adalah -90° karena aliran vertikal kebawah. Nilai koefisien C tergantung pada pola aliran sesuai analisis Beggs-Brill. Persamaan untuk menghitung fraksi holdup pada pola aliran *segregated*, *intermittent*, dan *distributed* dinyatakan dalam Persamaan (2.11), (2.12), dan (2.13). Persamaan untuk menghitung koefisien C pada pola aliran *segregated*, *intermittent*, dan *distributed* dinyatakan dalam Persamaan (2.14), (2.15), dan (2.16).

$$H_L(0) = \frac{0.98\lambda^{0.4846}}{N_{FR}^{0.0868}} \quad (2.11)$$

$$H_L(0) = \frac{0.84\lambda^{0.5351}}{N_{FR}^{0.0173}} \quad (2.12)$$

$$H_L(0) = \frac{1.06\lambda^{0.5824}}{N_{FR}^{0.0609}} \quad (2.13)$$

$$C = (1 - \lambda) \ln \left[\frac{4.7N_{LV}^{0.0868}}{\lambda^{0.3692}N_{FR}^{0.5056}} \right] \quad (2.14)$$

$$C = (1 - \lambda) \ln \left[\frac{4.7N_{LV}^{0.1244}}{\lambda^{0.3692}N_{FR}^{0.5056}} \right] \quad (2.15)$$

$$C = (1 - \lambda) \ln \left[\frac{4.7N_{LV}^{0.1244}}{\lambda^{0.3692}N_{FR}^{0.5056}} \right] \quad (2.16)$$

Pola aliran dapat diprediksi dengan melihat perbandingan bilangan Froude (N_{FR}) dengan konstanta pembatas L_1 dan L_2 dengan kriteria sebagai berikut:

- a. Jika $NFR < L1$ maka pola aliran *segregated*.
- b. Jika $NFR > L1$ dan $NFR > L2$ maka pola aliran adalah *distributed*.
- c. Jika $L1 < NFR < L2$ maka pola aliran *intermittent*.

Dengan L_1 dan L_2 dinyatakan dalam Persamaan (2.17) dan (2.18):

$$L_1 = \exp(-4.62 - 3.757X - 0.481X^2 - 0.0207X^3) \quad (2.17)$$

$$L_2 = \exp(1.061 - 4.602X - 1.609X^2 - 0.179X^3 + 0.635 \times 10^{-3}X^5) \quad (2.18)$$

Dimana:

- X : $\ln(\lambda)$
 λ : *Input liquid content* = $q_L / (q_L + q_G)$
 q_L : Laju volumetrik zat cair (m³/s)
 q_G : Laju volumetrik zat gas (m³/s)

Beggs-Brill menggunakan faktor gesekan dua fase (f_{tp}) yang dinormalisasi dengan membagi dengan nilai asumsi tanpa slip yang berlaku apabila fluida mengalir pada kecepatan yang sama. Faktor koreksi tanpa slip diperoleh dari diagram Moody atau untuk pipa yang halus diperoleh dari Persamaan (2.19):

$$f_{ns} = \left[2 \log \left(\frac{N_{Re}}{4.5223 \log(N_{Re} - 3.8215)} \right) \right]^{-2} \quad (2.19)$$

Persamaan untuk mendapatkan factor gesekan dua fase adalah

$$\frac{f_{tp}}{f_{ns}} = e^S \quad (2.20)$$

Dengan nilai S diperoleh dari:

$$S = \frac{\ln y}{-0.0523 + 3.182 \ln y - 0.8725 (\ln y)^2 + 0.01853 (\ln y)^4} \quad (2.21)$$

$$y = \frac{\lambda}{[H_L(\theta)]^2} \quad (2.22)$$

Untuk nilai interval $1 < y < 1.2$ nilai S dapat ditentukan dengan persamaan:

$$S = \ln(2.2y - 1.2) \quad (2.23)$$

Rugi elevasi adalah berkurangnya tekanan fluida dikarenakan fluida kehilangan tekanan hidrostatis dan dipengaruhi oleh densitas fluida serta tinggi kolom fluida. Rugi elevasi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)_{\text{elevasi}} = \frac{g}{g_c} [\rho_l + H_L + \rho_g (1 - H_L)] x \sin \theta \quad (2.24)$$

Dimana:

- f_{tp} : Faktor gesekan
 ρ : Massa jenis campuran (kg/m³)
 v_m : Kecepatan massa campuran (m/s)
 g_c : Faktor gravitasi

d	: Diameter pipa (m)
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
ρ_L	: Massa jenis liquid (kg/m^3)
ρ_g	: Massa jenis gas (kg/m^3)
HL	: Fraksi holdup
θ	: Sudut kemiringan dari horizontal

2.9 Porositas

Porositas merupakan salah satu karakteristik fisik dari batuan yang penting untuk diketahui dalam penelitian kali ini. Terdapat dua tipe porositas yang ada menurut T.D. Van Golf-Racht dalam bukunya. Tipe pertama biasanya disebut dengan porositas primer yakni ruang dalam batuan yang dibentuk oleh butiran batuan, porositas primer ini berupa sandstone atau limestone. Tipe kedua disebut porositas sekunder yakni ruang dalam batuan yang dibentuk oleh patahan batuan, sambungan dan pemisahan batuan oleh air yang bersirkulasi. [22]

Porositas merupakan rasio ruang pori dibanding dengan keseluruhan volume pada formasi batuan [19]

$$\text{persen porositas} = \frac{\text{volume pori-pori}}{\text{volume keseluruhan batuan}} \times 100\% \quad (2.26)$$

Porositas ini dapat digunakan untuk mengetahui potensi kandungan minyak yang terdapat pada formasi batuan. Meskipun tidak semua kandungan minyak ada pada formasi batuan berpori-pori, akan tetapi potensi minyak bumi (*crude oil*) lebih besar, karena untuk mengandung minyak atau gas, batuan harus memiliki pori-pori yang saling terhubung agar minyak dan gas dapat bergerak melalui formasi batuan tersebut

2.10 Pemodelan Transfer Panas pada *Injection* dan *Production Well*

Pada injeksi CO_2 *foam*, penambahan panas pada sistem per satuan panjang, dQ/dZ memiliki nilai negatif karena hilangnya panas ke sekitar ketika temperatur fluida lebih besar daripada

temperatur sekitar. Persamaan gradien hilangnya panas dapat ditunjukkan dengan persamaan (2.31)

$$\frac{dQ}{dz} = 2\pi r_{to} U \times (T - T_h) \quad (2.31)$$

Dimana:

- U : Koefisien total perpindahan panas ($W/m^2 \cdot K$)
 T : Temperatur fluida terhadap dZ ($^{\circ}C$)
 T_h : Temperatur batuan atau temperatur sekitar ($^{\circ}C$)

2.11 Pemodelan Transfer Panas pada Reservoir

Perpindahan panas dari CO_2 foam ke reservoir menggunakan persamaan kesetimbangan perpindahan panas yang ditunjukkan pada persamaan (2.32) sebagai berikut:

$$Q_1 = Q_2 + Q_{total\ losses} \quad (2.32)$$

Dimana:

- Q_1 : Energi panas pada keadaan awal
 Q_2 : Energi panas setelah melalui *reservoir*.
 $Q_{total\ losses}$: Energi panas yang hilang selama proses dalam *reservoir*

Sementara itu, nilai energy Q_1 dan Q_2 didapatkan dari persamaan:

$$Q_1 = m_{CO_2 - foam} C_{p1} T_1 \quad (2.33)$$

$$Q_2 = m_{CO_2 - foam} C_{p2} T_2 \quad (2.34)$$

Dimana m adalah massa CO_2 -foam, C_p adalah kalor spesifik pada tekanan (P) dan suhu (T) tertentu. Terdapat sejumlah energi yang hilang selama perambatan CO_2 -foam dalam *reservoir* baik secara konduksi maupun konveksi. Energi yang hilang tersebut dapat diturunkan melalui persamaan berikut [23]:

$$Q_{total\ losses} = \frac{T_1 - T_{\infty}}{R_{konduksi} + R_{konveksi}} \quad (2.35)$$

Dimana:

- T_1 : Temperatur fluida *reservoir* ($^{\circ}C$)
 T_{∞} : Temperatur *reservoir* ($^{\circ}C$)

$R_{konduksi}$: Resistansi thermal konduksi (m^2-K/W)
 $R_{konveksi}$: Resistansi thermal konveksi (m^2-K/W)

Nilai R merupakan hambatan panas yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$R_{konduksi} = \frac{L_p}{k A_p} \quad (2.36)$$

$$R_{konveksi} = \frac{1}{h A_p} \quad (2.37)$$

Dimana:

L_p : Panjang karakteristik *reservoir* (m)
 k : Konduktivitas thermal *reservoir* (W/m-K)
 A_p : Luas area *reservoir* (m^2)
 h : Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2-K)

Nilai h adalah koefisien perpindahan panas konveksi didapat dari persamaan *Nusselt Number* yang dilambangkan dengan Nu . *Nusselt Number* dapat diturunkan dari nilai *Reynold Number* (Re) dan *Prandalt Number* (Pr).

$$Nu = \frac{0.255}{\phi} Re^{2/3} Pr^{1/3} = \frac{h L_p}{k} \quad (2.38)$$

Dimana:

Nu : *Nusselt number*
 Re : *Reynold number*
 Pr : *Prandlt number*

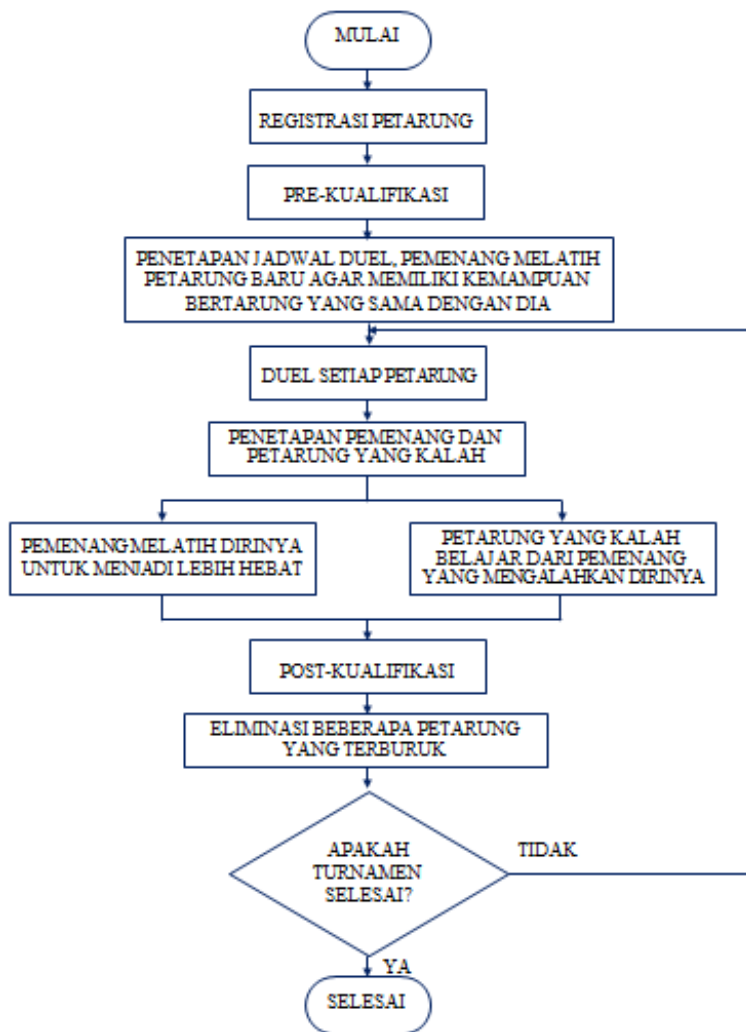
2.12 Duelist Algorithm

Duelist algorithm merupakan suatu algoritma yang meniru dari kelakuan seorang petarung tentang cara meningkatkan kemampuannya dalam hal bertarung dengan lawannya. Pertama, populasi petarung terdaftar. Setiap petarung memiliki sifat yang dikodekan ke dalam array biner dari satu dan nol. Setelah itu, masing-masing petarung dievaluasi untuk menentukan kemampuan bertempur mereka dan kemudian jadwal duel diatur

untuk setiap petarung yang berisi satu set peserta duel, dalam duel ini, setiap petarung akan bertarung satu lawan satu dengan petarung lainnya. Dalam pertarungan satu lawan satu ini digunakan gladiator pertempuran untuk menghindari lokal optimum.

Setiap duel akan menghasilkan pemenang dan pecundang berdasarkan kemampuan berkelahi mereka dan keberuntungan. Setelah pertandingan, juara ditentukan. Juara adalah mereka yang memiliki kemampuan pertempuran terbaik dari semua petarung. Kemudian, masing-masing pemenang dan petarung yang kalah bisa meningkatkan kemampuan mereka berkelahi sementara masing-masing juara melatih petarung baru yang sebagus dirinya sendiri dan akan bergabung pertandingan berikutnya itu. Setiap petarung yang kalah akan belajar dari lawan mereka bagaimana menjadi petarung (*duelist*) yang lebih baik dengan mengganti bagian tertentu dari berbagai biner mereka dengan berbagai biner pemenang nilai. Di sisi lain, pemenang akan mencoba untuk berinovasi baru teknik atau keterampilan dengan mengubah nilai biner array mereka ke dalam sesuatu yang baru. Setelah itu, masing-masing kemampuan bertarung petarung (*duelist*) dievaluasi kembali untuk pertandingan berikutnya.

Semua petarung kemudian dievaluasi ulang melalui pasca kualifikasi dan diurutkan untuk menentukan yang pantas menjadi juara. Karena ada petarung baru yang dilatih oleh juara, semua petarung terburuk akan dieliminasi untuk mempertahankan petarung jumlah dalam turnamen.



Gambar 2. 8 Flowchart Duelist Algorithm [24]

2.13 Genetic Algorithm

Secara umum Genetic Algorithm (GA) merupakan teknik pencarian yang digunakan dalam komputasi untuk mencari solusi yang tepat atau perkiraan solusi untuk optimisasi dan masalah pencarian. Genetic algorithm memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan metode-metode heuristic yang lain, yaitu:

- Genetic algorithm menyelesaikan masalah dengan mengkodekan permasalahan menjadi kromosom, bukan dengan menyelesaikan permasalahan itu sendiri. Karena itu diperlukan pemodelan kromosom yang baik dan efektif yang dapat mewakili solusi dari permasalahan yang dihadapi.
- Genetic algorithm memulai prosesnya dengan sekumpulan initial solutions, berbeda dengan metaheuristic lain yang memulai proses dengan sebuah solusi tunggal, dan berlanjut ke solusi lainnya melalui suatu transisi. Karenanya GA melakukan pencarian multi-directional dalam solution space, yang memperkecil kemungkinan berhentinya pencarian pada kondisi lokal optimum.
- Hanya diperlukan sebuah fungsi evaluasi tunggal yang berbeda untuk tiap permasalahan.

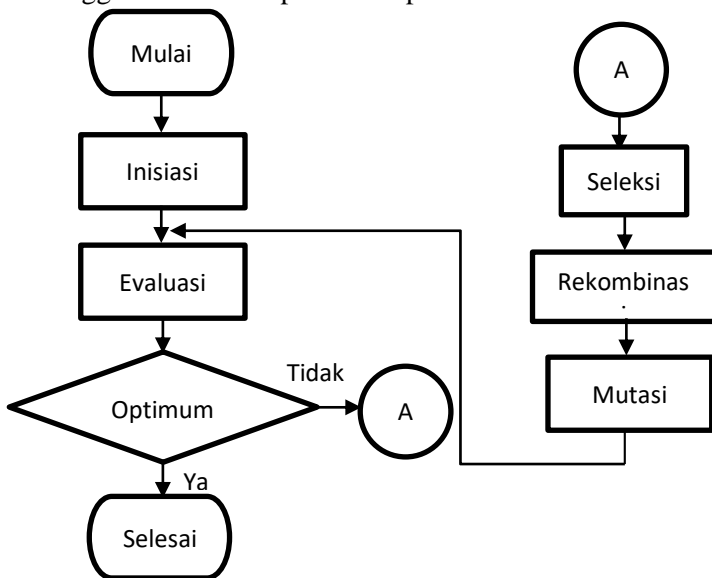
Suatu genetic algorithm standar membutuhkan dua hal untuk didefinisikan, yaitu:

1. Sebuah genetic representation dari sebuah solution domain (domain solusi)
2. Sebuah fitness function untuk mengevaluasi sebuah domain solusi.

Representasi standar dari solusinya adalah sebuah *array of bits* (larik bit). Properti utama yang membuat representasi genetik ini baik adalah bagian-bagiannya yang bisa diakses dengan mudah karena ukuran yang pasti (*fixed*), yang memudahkan suatu operasi persilangan yang sederhana.

Representasi panjang variabel juga digunakan disini, tetapi implementasi persilangan jauh lebih sulit pada kasus ini.

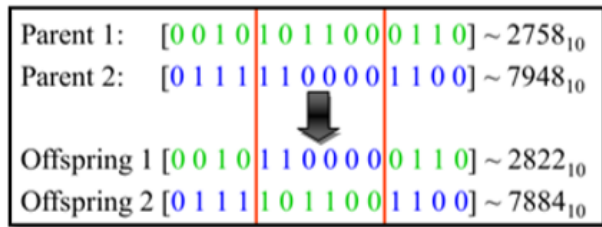
Fungsi penghitung nilai kecocokan (*fitness*) didefinisikan pada representasi genetic dan digunakan untuk mengukur kualitas (quality) pada solusi yang direpresentasikan. Fungsi penghitung ini selalu tergantung pada masalah yang ada (problem dependent). Setelah memiliki representasi genetic dan sebuah fungsi untuk mencari nilai kecocokan (*fitness*) terdefinisi, maka genetic algorithm akan melanjutkan untuk membentuk suatu populasi acak, kemudian meningkatkannya melalui aplikasi yang berulang-ulang dari mutasi, persilangan, dan operator seleksi. Genetic algorithm dapat dituliskan dalam berbagai bahasa pemrograman. Namun tahapan logika yang digunakan dalam GA adalah sama. Diagram alir optimasi menggunakan GA dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Diagram blok optimasi menggunakan genetic algorithm [30]

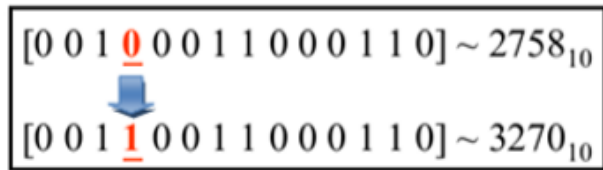
Tahapan-tahapan *gentic algorithm* diantaranya yaitu:

1. Inisiasi Populasi awal dari kandidat solusi biasanya dicari secara acak dalam seluruh ruang pencarian.
2. Pengkodean kromosom
Kromosom pada GA merupakan solusi dari satu variabel. Jenis kode yang digunakan adalah biner, yaitu 0 atau 1. Kromosom diwakili oleh beberapa gen. Kromosom dalam bentuk biner merupakan kromosom genotip dan yang berupa solusi adalah kromosom fenotip.
3. Evaluasi
Ketika populasi yang telah diinisiasi atau populasi keturunan terbentuk, nilai fitness dari tiap individu dievaluasi. Nilai fitness merupakan nilai dari kemampuan solusi untuk bertahan.
4. Seleksi
Seleksi mengalokasikan lebih banyak salinan dari solusi dengan fitness yang lebih tinggi dan memberlakukan mekanisme survival dari tiap fitness pada tiap kandidat solusi. Gagasan utama dari tahapan seleksi adalah untuk mendapatkan solusi terbaik dari generasi terburuk, dan banyak prosedur seleksi telah ditemukan, seperti roulette-wheel, selection stochastic universal, seleksi ranking, seleksi turnamen, dan lain sebagainya.
5. Rekombinasi
Tahap rekombinasi mengkombinasi bagian dari dua atau lebih solusi induk untuk membentuk individu baru dengan kemungkinan menjadi solusi yang lebih baik. Biasanya rekombinasi menggunakan mekanisme crossover. Pada gambar merupakan mekanisme crossover dimana pada kromosom induk dipotong oleh crossover point sehingga gen-gen pada tiap kromosom bertukar silang dan menghasilkan anak.



Gambar 2.10 Mekanisme crossover [25]

6. Mutasi 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 2.11 salah satu gen pada kromosom awal dimutasi sehingga menghasilkan kromosom baru.



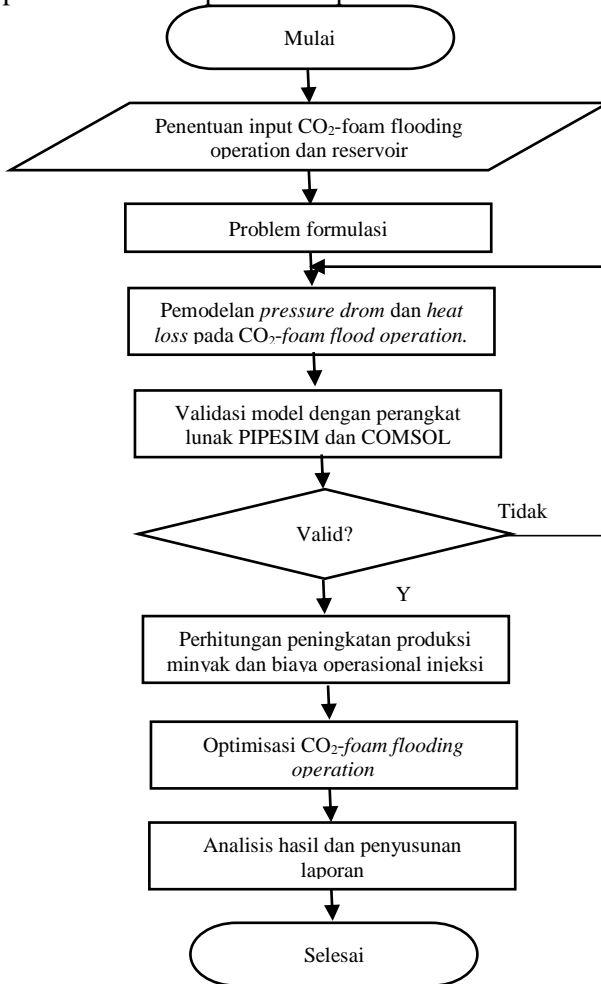
Gambar 2.11 Mekanisme mutasi [25]

Penggantian Keturunan hasil dari seleksi, rekombinasi, dan mutasi akan menggantikan populasi induk. Banyak metode penggantian seperti penggantian elitist, penggantian *generation-wise*, dan penggantian *steady-state*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian pada tugas akhir ini dirancang pada beberapa tahapan, yang digambarkan pada diagram alir seperti pada berikut. Tahapan tersebut meliputi beberapa hal berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir metode penelitian

3.1 Penentuan Input CO₂ Foam Flood Operation dan Formasi Properti Reservoir

Studi kasus kondisi CO₂-foam yang digunakan adalah menggunakan data dari Selat Sunda. Kondisi laju injeksi sebesar 0.3044 kg/s. kedalaman sumur 1100m memiliki tekanan pada reservoir 1087psia, porositas formasi batuan 0.076 dan permeabilitas 19.4 mD . Ketebalan reservoir 37ft, dan jarak antara *injection well* dan *production well* sejauh 100 [26]. Bentuk reservoir diasumsikan berbentuk silinder, dengan tidak ada aliran fluida yang keluar atau masuk ke *control volume* (reservoir).

3.2 Penentuan Problem Formulasi

Problem formulasi dibutuhkan untuk mengetahui tujuan dari optimisasi yang akan dilakukan. Tujuan dari optimisasi CO₂ foam flood adalah memaksimalkan laju produksi minyak pada *production well* untuk meningkatkan profit. Minyak yang dapat dihasilkan sebanding dengan jumlah CO₂ dan foam yang diinjeksikan, akan membutuhkan energi yang besar. Sehingga biaya operasional pun akan meningkat. Selain itu diperlukan pula biaya untuk *recycling* CO₂ dan foam yang terkandung bersama minyak pada hasil *production well* sebelum CO₂ dan foam tersebut dapat digunakan kembali sebagai injeksi bahan terlarut pada *injection well*. Maka dari itu pemodelan keuntungan yang akan dimaksimalkan adalah sebagai berikut.

Profit = pendapatan minyak mentah

$$\begin{aligned}
 & - \text{biaya pembelian CO}_2 \\
 & - \text{biaya pembelian foam} \\
 & - \text{biaya recycling CO}_2 \\
 & - \text{biaya recycling foam} - \text{biaya operasional pompa}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Dengan masing masing variable didapatkan dari:

$$\begin{aligned}
 - \text{Pendapatan} \\
 & = \text{Laju produksi minyak} \times \text{Harga jual minyak}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

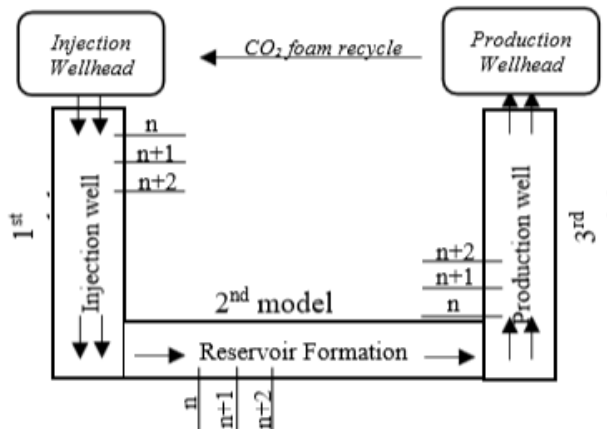
$$\begin{aligned}
 - \text{Biaya pembelian CO}_2 \\
 & = \text{Volume CO}_2 \times \text{Biaya CO}_2 \text{ persatuan volume}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Biaya pembelian Surfaktan} \\
 & = \text{Volume Surfaktan} \times \text{Biaya Surfaktan persatuan massa}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

- Biaya *recycling* CO₂
= Volume CO₂ × Biaya CO₂ persatuan volume (3.5)
- Biaya *recycling* Surfaktan
= Volume Surfaktan × Biaya Surfaktan persatuan volum (3.6)
- Biaya Operasional Pompa
= Daya pompa × Lama operasi × Harga listrik (3.7)

3.3 Pemodelan CO₂ Foam Flood Operation

CO₂ foam pada reservoir dimodelkan menjadi tiga bagian yaitu keadaan awal injeksi CO₂ foam pada injection well, keadaan kedua pada reservoir formation, serta keadaan akhir pada production well. CO₂ foam akan mengalami perubahan tekanan, temperatur dan sifat-sifat dari fluida karena hilangnya energi panas dan tekanan selama melalui proses. Karena perhitungan hilangnya panas dan tekanan membutuhkan properti fluida sedangkan tiap penambahan jarak pada tiap kondisi berubah maka panjang dari CO₂ foam flood operation disegmentasi menjadi bagian-bagian kecil.



Gambar 3. 2 Segmentasi model CO₂ foam flood operation

Segmentasi model CO_2 *foam flood operation* dilakukan seperti pada Gambar 3.2. dimana *injection well* disegmentasi sebanyak n . Panjang *injection well* dibagi menjadi bagian-bagian pendek, dengan demikian dalam perhitungan perubahan panas dan tekanan dapat dihitung dengan lebih akurat karena perubahan properti tiap penambahan jarak tidak diabaikan. Masukan keadaan kedua merupakan hasil akhir dari segmentasi pada bagian pertama, begitu juga pada masukan keadaan ketiga merupakan hasil akhir dari segmentasi pada bagian kedua. Keadaan awal saat injeksi CO_2 *foam* pada *injection well*, *reservoir formation* dan *production well* dimodelkan dengan persamaan berikut.

$$P \text{ akhir} = P \text{ awal} - \sum_{i=1}^n \Delta P_i \quad (3.7)$$

$$T_{\text{akhir}} = T_{\text{awal}} - \sum_{i=1}^n \Delta T_i \quad (3.8)$$

Nilai ΔP_i didapatkan dari persamaan Beggs-Brill untuk *injection well* dan *production well* dan persamaan Darcy untuk di bagian *reservoir formation*. Sedangkan nilai ΔT_i dapat dicari menggunakan perpindahan panas pada pipa dan pada media berpori. Dengan mengetahui nilai Q akhir maka temperatur pada keadaan akhir dapat diketahui.

3.4 Validasi Model dengan Perangkat Lunak PIPESIM dan COMSOL

Untuk mengetahui kebenaran model yang digunakan maka dilakukan validasi menggunakan perangkat lunak PIPESIM dan COMSOL Multiphysics. Hasil pemodelan pada *injection well* dan *production well* divalidasi dengan perangkat lunak PIPESIM karena cukup mensimulasikan fluida yang mengalir pada pipa. Sedangkan pada *reservoir* dibutuhkan validasi menggunakan perangkat lunak COMSOL Multiphysics untuk mensimulasikan reaksi yang terjadi pada media berpori

3.5 Perhitungan peningkatan produksi minyak dan biaya operasional injeksi

Perhitungan estimasi jumlah produksi minyak yang dapat diproduksi dari CO_2 -foam yang akan digunakan untuk perhitungan laju produksi minyak, yang didasarkan pada daerah yang berkontak dengan proses surfaktan pada reservoir [24], untuk memprediksi perolehan setelah CO_2 -foam yang diinjeksi.

Laju produksi minyak dihitung melalui nilai additional recovery, cumulative production, laju aliran massa. Selain itu, besarnya volume original oil in place atau banyaknya minyak yang terdapat dalam reservoir dipertimbangkan dalam proses perhitungan laju produksi minyak. Hasil perhitungan laju produksi minyak dapat diperoleh nilai pendapatan yang merupakan perkalian antara laju produksi minyak terhadap harga jual minyak.

$$Pt = Vpd \times Po \quad (3.9)$$

$$Vpd = \frac{CP}{t} \quad (3.10)$$

$$t = \frac{Vroip}{q} \quad (3.11)$$

$$V_{ROI P} = V_R \times \phi \quad (3.12)$$

$$CP = N_P \times V_{ROI P} \quad (3.13)$$

$$N_P = \frac{\alpha + (F_i)_{BT}}{1 + \alpha} \quad (3.14)$$

$$(F_i)_{BT} = \sqrt{\frac{0.9}{(M+1.1)}} \quad (3.15)$$

$$\alpha = \frac{1.6}{K^{0.61}} + \left[\frac{F_i - (F_i)_{BT}}{1 - (F_i)_{BT}} \right]^{(1.28)} \left(\frac{1.28}{K^{0.26}} \right) \quad (3.16)$$

$$M = \frac{\mu_o}{\mu_s} \quad (3.17)$$

$$K = EHG \quad (3.18)$$

$$E = \left[0.78 + 0.22M^{1/4} \right]^4 \quad (3.19)$$

$$H = \left[\frac{V_{DP}}{(1-V_{DP})^{0.2}} \right]^{10} \quad (3.20)$$

$$G = 0.565 \log \left(\frac{t_h}{t_v} \right) + 0.87 \quad (3.21)$$

$$\frac{t_h}{t_v} = 2.571 K_v A \frac{\Delta \rho}{q_{gross} \mu_s} \quad (3.22)$$

Dimana:

- P_t : Pendapatan (USD/hari)
 V_{pd} : Laju produksi minyak (bbl/hari)
 P_o : Harga jual minyak (USD/bbl)
 CP : *Cummulative production* (bbl)
 V_{ROIIP} : *Volume residual oil in place* (bbl)
 V_R : *Volume reservoir* (bbl)
 \emptyset : Porositas *reservoir* (%)
 N_p : Fraksi minyak
 $(F_i)_{BT}$: *HCPV of CO₂-foam injected at the point at which CO₂-foam reaches the production wells*
 F_i : *HCPV* dari *CO₂-foam* yang diinjeksi
 M : Rasio mobilitas dari 2 fluida
 K : Faktor *Koval*
 E : Faktor mobilitas *Koval*
 H : Faktor heterogentias *Permeability*
 G : Faktor segregasi *gravity*
 μ_o : Viskositas minyak (kg/m.s)
 μ_s : Viskositas *CO₂-foam* (kg/m.s)
 V_{DP} : Koefisien *Dykstra-Parsons*
 k_v : Permeabilitas vertikal *reservoir* (m²)
 A : Luas penampang *reservoir* (m²)
 q_{gross} : Total laju injeksi dari *CO₂-foam* (m³/s)

Untuk memprediksi perolehan jumlah *oil recovery* yang didapatkan dari injeksi surfaktan digunakan persamaan sebagai berikut.

$$N_{pc} = \frac{A_p \times h \times \emptyset \times E_{vm}}{B_o} \times (S_{orw} - S_{of}) \quad (3.23)$$

$$E_{vm} = \frac{\frac{N_p + \frac{B_{oi}}{B_o} - 1}{N}}{\frac{B_{oi}}{B_o} \left(1 - \frac{S_{orw}}{S_{oi}}\right)} \quad (3.24)$$

$$B_o = 1 + \alpha(T_R - 60) \quad (3.25)$$

$$\alpha = 0.000288 + 8.0411 \times 10^{-6} API - 1.890 \times 10^{-7} (API)^2 \quad (3.26)$$

Dimana:

N_{pc} : Minyak yang dipindahkan oleh surfaktan (STB)

A_p : Luas penampang *reservoir* (m²)

h : Ketebalan *reservoir* (m)

\emptyset : Porositas (%)

E_{vm} : Fraksi volume *reservoir* yang berkontak dengan surfaktan

B_o : Rasio volume minyak pada tekanan dan temperatur *reservoir* terhadap volume yang ter-recover

S_{orw} : Saturasi minyak pada *reservoir* setelah *waterflooding*

S_{of} : Saturasi minyak pada *reservoir* oleh chemical floodin

N_p : Total *recovery* minyak pada fase sebelumnya (STB)

N : Estimasi jumlah minyak awal pada *reservoir* (STB)

B_{oi} : Rasio volume minyak awal yang terdapat pada *reservoir* terhadap volume minyak yang terproduksi

S_{oi} : Saturasi minyak awal

T_R : Temperatur *reservoir*

API : Derajat API minyak

Untuk mendapatkan biaya pengadaan *CO₂ foam* maka didapatkan dari besar laju aliran masa *CO₂*, harga *CO₂* per volume

dan juga besar laju aliran massa *foam* serta harga *foam* per volume

$$B_{CO_2-foam} = (V_{CO_2} \times P_{CO_2}) + (V_{foam} \times P_{foam}) \quad (3.27)$$

Dimana:

B_{CO_2} : Biaya CO_2 -foam (USD/hari)

V_{CO_2} : Volume CO_2 per hari (bbl/hari)

P_{CO_2} : Harga CO_2 (USD/bbl)

V_{foam} : Volume *foam* per hari (bbl/hari)

P_{foam} : Harga *foam* (USD/bbl)

Dalam penerapan CO_2 foam EOR perlu adanya *recycle* untuk memisahkan gas CO_2 dan *foam* dari fluida produksi yang dihasilkan selama proses CO_2 foam EOR sehingga perlu dipertimbangkan biaya *recycle*

$$B_R = (V_{CO_2} \times B_{CO_2}) + (V_{foam} \times B_{foam}) \quad (3.28)$$

Dimana:

B_R : Total biaya *Recycling* (USD/hari)

V_{CO_2} : Volume *recovery* CO_2 per hari (bbl/hari)

B_{CO_2} : Biaya *recycling* CO_2 (USD/bbl)

V_{foam} : Volume *recovery* foam per hari (bbl/hari)

B_{foam} : Biaya *recycling* foam (USD/bbl)

Biaya operasional pompa untuk CO_2 foam EOR dapat dihitung dari energi listrik yang digunakan pompa selama beroperasi. Biaya operasional pompa adalah hasil perkalian daya pompa dengan lama operasional pompa dan tariff dasar listrik per kWh.

$$W_p = \frac{q \times \Delta P}{\eta} \quad (3.29)$$

Dimana:

W_p : Besar usaha pompa persatuan waktu/ daya pompa (Watt)

ΔP	: <i>Pressure drop</i> (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)

3.6 Optimisasi CO₂ foam flood operation

Untuk menentukan keadaan optimal CO₂ *foam flood operation* digunakan teknik optimisasi *genetic algorithm* dan *duelist algorithm*. Terdapat 4 variabel yang dioptimisaasi, yaitu laju aliran massa injeksi (m), tekanan injeksi (P), temperatur (T) dan konsentrasi surfaktan. Hasil individu dengan fitness terbesar akan menjadi solusi yang menghasilkan nilai fungsi objektif yang maksimal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemodelan pada *Injection* dan *Production Well* dengan Metode Beggs-Brill

Pemodelan tekanan dengan metode Beggs-Brill dibagi menjadi dua bagian, pada *injection well*, dan pada *production well*. Input untuk pemodelan pada *injection well* dan *production well* disesuaikan dengan kondisi input di Selat Sunda, Jawa Barat, Indonesia. Kondisi input yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel (4.1).

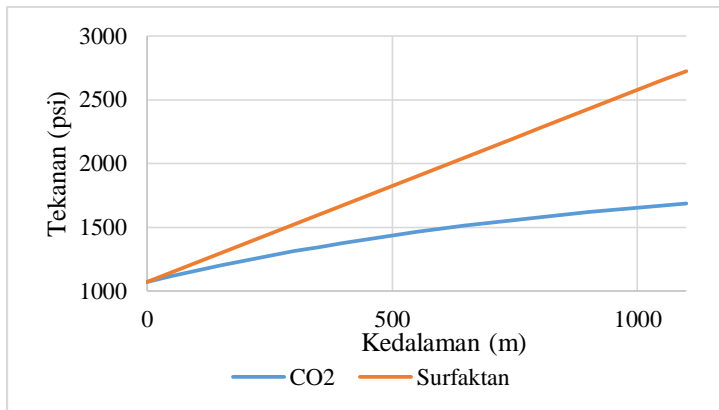
Tabel 4. 1 Parameter input untuk pemodelan tekanan Beggs-Brill

Parameter	Nilai	Satuan
Gravitasi	9.8	m/s ²
Kedalaman sumur	1100	m
Temperatur Reservoir	60.74456	°C
Tekanan injeksi CO ₂	1071	psia
Laju aliran massa injeksi CO ₂	0.3044	kg/s
Temperatur injeksi CO ₂	31.0	°C
Temperatur Injeksi Surfaktan	31.0	°C
Tekanan injeksi surfaktan	1071	psia
Laju aliran massa injeksi surfaktan	o.3044	Kg/s
Temperatur injeksi surfaktan	31.0	°C
Konsentrasi surfaktan	0.5	wt%

Pemodelan gradien tekanan dan temperatur pada *injection well* menggunakan persamaan Begg's-Brill telah divalidasi dengan perangkat lunak PIPESIM, didapatkan hasil rata-rata error pada CO₂ untuk tekanan sebesar 1.26% dan temperatur sebesar 4.26% dan pada surfaktan untuk tekanan sebesar 2.72 % dan temperature sebesar 0.97%. Hasil validasi ditampilkan pada lampiran A.

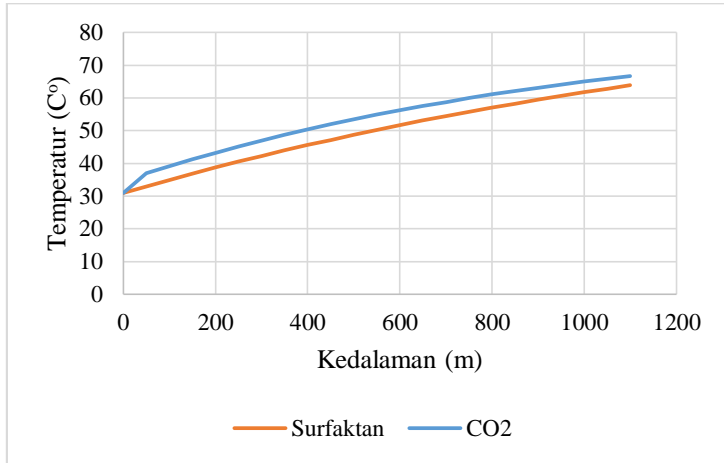
Nilai eror ini dikarenakan adanya perbedaan perhitungan *properties* pada *software* PIPESIM dan pemodelan dalam tugas akhir ini. Pada tugas akhir ini, perhitungan *properties* CO₂-foam menggunakan regresi *multivariable* dari tekanan dan temperatur

Sehingga perhitungan properties pada tugas akhir ini dianggap *linier*, sementara itu pada software PIPESIM perhitungan properties CO_2 -foam sesuai dengan keadaan sesungguhnya dimana properties CO_2 -foam ini sebenarnya *nonlinier*. Hasil grafik gradien tekanan pada injection well dengan menggunakan persamaan Begg's-Brill dengan fungsi kedalaman ditunjukkan pada Gambar 4.1. Dan hasil grafik gradien temperatur terhadap fungsi kedalaman ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Grafik tekanan CO_2 terhadap kedalaman pada *injection well* dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071 psia, temperatur 31°C

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa tekanan CO_2 dan surfaktan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kedalaman dari *injection well*. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah perubahan elevasi karena kedalaman dari *injection well*. Selain itu, kenaikan tekanan juga disebabkan oleh rugi-rugi gesekan. Rugi-rugi gesekan ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara CO_2 dan surfaktan yang mengalir pada dinding-dinding pipa yang memiliki tingkat kekasaran tertentu sehingga menyebabkan terjadinya perubahan tekanan.



Gambar 4. 2 Grafik temperatur CO₂ terhadap kedalaman pada *injection well* dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071 psia, temperatur 31°C

Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa temperatur CO₂ dan surfaktan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kedalaman dari *injection well*. Hal ini disebabkan oleh perubahan panas yang terjadi karena adanya perpindahan panas antara CO₂ dan surfaktan dengan reservoir, ketika temperatur CO₂ dan surfaktan lebih kecil daripada temperatur reservoir sehingga, suhu dari CO₂ dan surfaktan akan meningkat. Temperatur CO₂, surfaktan dan temperatur reservoir ditunjukkan pada Tabel 4.1.

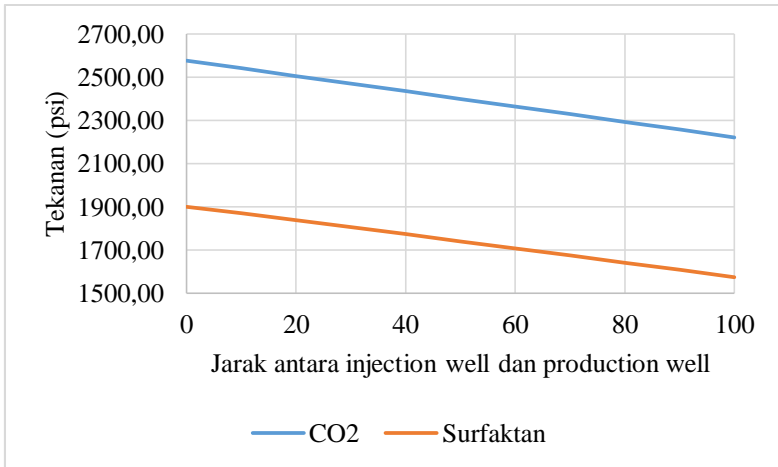
4.2 Hasil Pemodelan pada Reservoir dengan Persamaan Darcy

Pemodelan tekanan pada reservoir dimodelkan dengan persamaan Darcy. Karakteristik reservoir yang digunakan sebagai input untuk persamaan Darcy dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Parameter input pemodelan tekanan dan temperatur reservoir

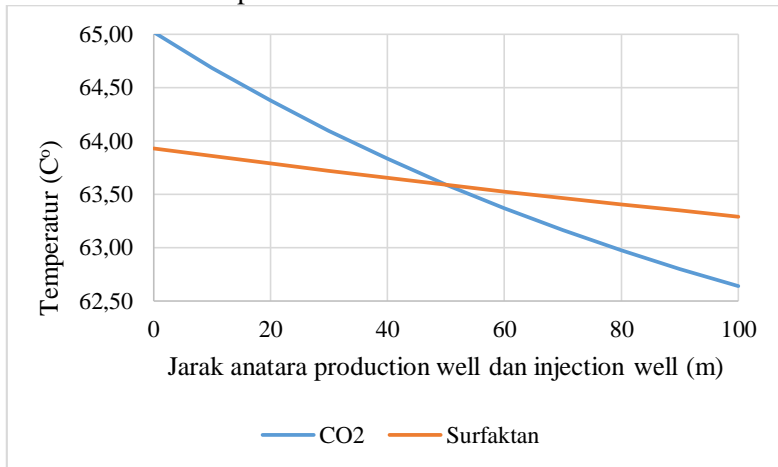
Parameter	Nilai	Satuan
Jarak <i>injection</i> - <i>production well</i>	100	m
Tebal formasi	3.44424	m
Permeabilitas	19.4	mD
Porositas	0.076	-
Deg API	41	° API

Parameter input fluida dalam pemodelan tekanan ini, merupakan output dari fluida pada *injection well*. Karakteristik fluida output dari pemodelan tekanan Darcy, merupakan input untuk pemodelan pada *production well*. Didapatkan rata rata error pada tekanan dan temperatur pada CO₂ berturut-turut adalah 0.89% dan 0.55%, sedangkan untuk rata-rata error pada tekanan dan temperature surfaktan secara berturut-turut adalah 1.65% dan 1.1% Kurva tekanan pada reservoir ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik tekanan CO₂ dan minyak pada reservoir dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071, temperatur 31°C

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa tekanan CO₂ dan surfaktan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya panjang dari reservoir. Hal ini terjadi karena selama melewati melewati media berpori.



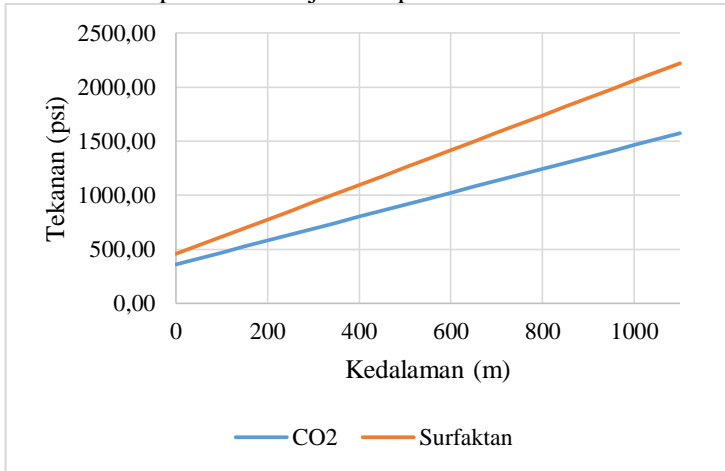
Gambar 4. 4 Grafik temperatur CO₂ dan minyak pada reservoir dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071, temperatur 31°C

Pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa temperatur CO₂ dan surfaktan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya panjang dari reservoir. Hal ini disebabkan oleh perubahan panas yang terjadi karena perpindahan panas antara CO₂ dan surfaktan dengan reservoir, karena input temperature pada reservoir CO₂ dan surfaktan lebih besar daripada temperatur reservoir

4.3 Hasil Pemodelan Tekanan dan Temperatur pada Production Well dengan Metode Begg's-Brill

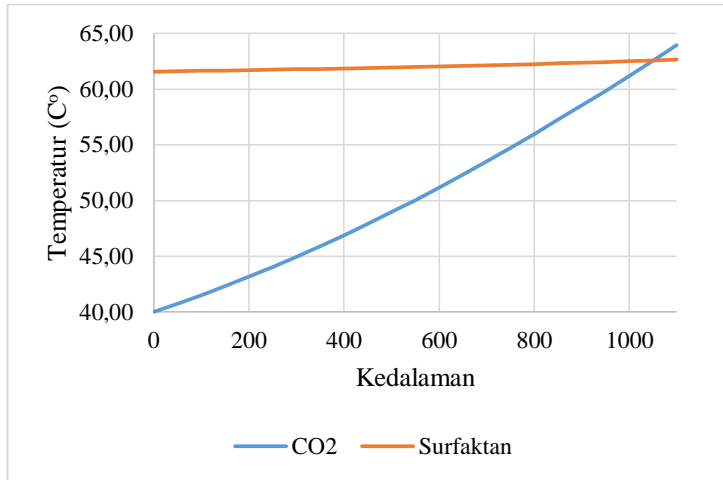
Tekanan dan temperatur dari hasil pemodelan dengan metode Darcy pada reservoir, digunakan sebagai parameter input untuk pemodelan pada *production well*. Hasil pemodelan tekanan dan temperatur pada production well telah divalidasi dengan perangkat lunak PIPESIM. Sehingga didapatkan rata-rata error pada CO₂ tekanan dan temperature secara berturut-turut adalah 3.57% dan

1.68% sedangkan pada tekanan dan temperature surfaktan didapatkan rata-rata error secara berurutan sebesar 2.68% dan 0.89%. Hasil validasi ditampilkan pada lampiran C. Hasil pemodelan tekanan ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan hasil pemodelan temperatur ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 5 Grafik tekanan CO₂ dan minyak pada *production well* dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071, temperatur 31°C

Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa tekanan fluida mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya kedalaman dari *production well*. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah perubahan elevasi karena kedalaman dari *production well*, karena fluida akan terangkat secara horizontal, sehingga menyebabkan tekanan hidrostatik berkurang pada arah aliran fluida campuran. Selain itu, penurunan tekanan juga disebabkan oleh rugi-rugi gesekan. Rugi-rugi gesekan ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara fluida yang mengalir dengan dinding-dinding pipa yang memiliki tingkat kekasaran tertentu sehingga menyebabkan terjadinya perubahan tekanan.



Gambar 4. 6 Grafik temperatur CO₂ dan minyak pada *production well* dengan laju aliran massa injeksi 0.3044 kg/s, tekanan injeksi 1071, temperatur 31°C

Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa temperatur fluida juga mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh perubahan panas yang terjadi karena perpindahan panas antara CO₂-foam dan minyak dengan lingkungan, ketika temperatur CO₂-foam dan minyak lebih tinggi daripada temperatur lingkungan

4.4 Hasil Perhitungan *Oil Recovery* dan Biaya Operasional

Oil recovery merupakan jumlah crude oil yang terproduksi setelah penginjeksian CO₂ dan surfaktan ke dalam reservoir. Berdasarkan kondisi input yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 diperoleh nilai laju produksi crude oil sebesar 388.603 barrel per hari. Pendapatan merupakan hasil penjualan minyak per hari, dan dinyatakan dalam persamaan (3.8). Dengan laju produksi minyak 388.603 barrel per hari, dan harga jual minyak yang digunakan sebagai acuan adalah harga minyak mentah jenis West Texas Intermediate (WTI) yakni 53.26 USD/bbl, maka didapatkan nilai pendapatan sebesar 15469.64

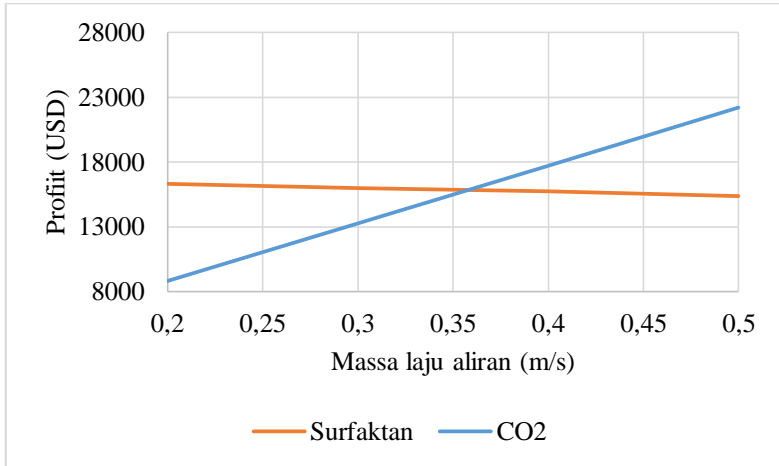
USD/hari. Volume CO₂-foam yang terbawa ke *production line* diasumsikan sama dengan volume CO₂-foam yang diinjeksikan pada injection well. Volume CO₂ dan surfaktan yang diinjeksikan dengan kondisi input sesuai pada Tabel 4.1 adalah masing-masing 0.5 MMscfd. Biaya pengadaan CO₂-foam dihitung menggunakan persamaan (3.27) dan diperoleh biaya sebesar 4095.872779 USD/hari. Biaya pengolahan CO₂-foam dihitung menggunakan persamaan (3.28), sehingga didapatkan biaya sebesar 777.206501 USD/hari. Sedangkan biaya operasional kompresor dapat dihitung menggunakan persamaan (3.29) dan (3.30), sehingga didapatkan biaya operasional pompa sebesar 88.67184362 USD/hari. Perhitungan nilai profit merupakan total pendapatan dikurangi dengan biaya pengadaan CO₂-foam, biaya *recycling* CO₂-foam dan biaya operasional pompa pada kondisi operasi parameter input sesuai dengan Tabel 4.1, dan didapatkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perhitungan profit CO₂-foam EOR

Parameter	Nilai	Satuan
Pendapatan	26164.6331	USD/hari
Biaya CO ₂ Surfaktan	4095.872779	USD/hari
Baiaya recycling	777.2057953	USD/hari
Biaya operasional pompa	88.67184362	USD/hari
Profit	15735.258	USD/hari

4.5 Analisa sensitivitas

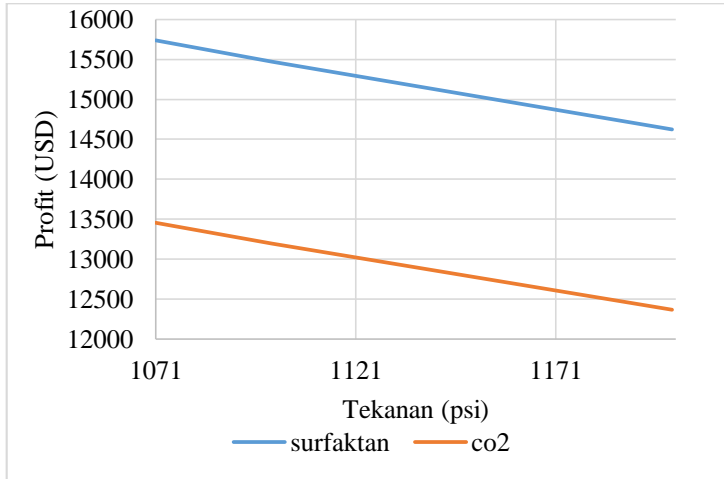
Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan salah satu dari variabel yang dioptimisasi terhadap estimasi nilai profit yang akan didapatkan.



Gambar 4. 7 Grafik analisis sensitivitas perubahan laju aliran massa CO₂ dan surfaktan terhadap profit

Pada Gambar 4.7 menampilkan grafik analisis sensitivitas perubahan laju aliran masa injeksi terhadap profit dengan tekanan, temperatur dan konsentrasi surfaktan tetap. Grafik tersebut menunjukkan peningkatan laju aliran massa pada CO₂ dan terjadi penurunan pada surfaktan. Penurunan profit pada setiap kenaikan laju aliran massa surfaktan terjadi karena harga pembelian surfaktan yang mahal, meskipun massa injeksi mempengaruhi penambahan recovery minyak.

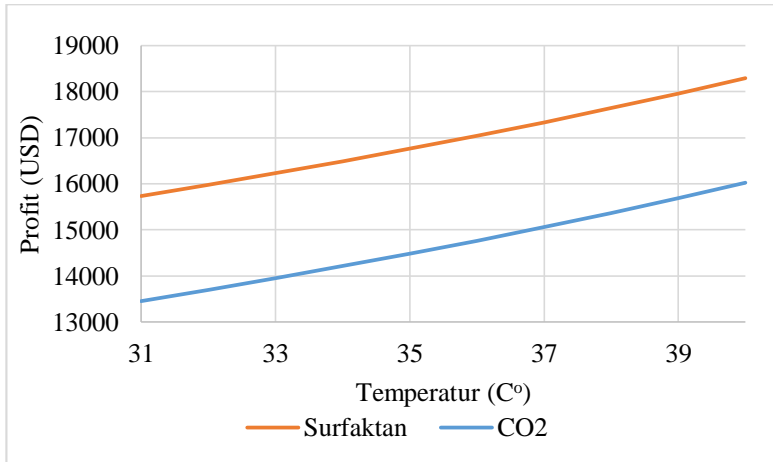
Analisis sensitivitas untuk tekanan injeksi CO₂ dan surfaktan sebagai variabel terhadap profit dengan laju aliran massa, temperatur dan konsentrasi surfaktan yang konstan ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik analisis sensitivitas perubahan tekanan CO₂ dan surfaktan terhadap profit

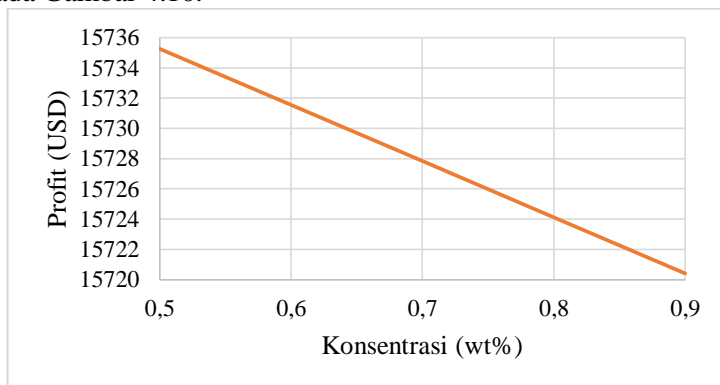
Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa kenaikan tekanan injeksi akan menurunkan profit yang didapatkan. Pada surfaktan, kenaikan tekanan injeksi memberikan pengaruh penurunan profit yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan CO₂.

Analisis sensitivitas untuk temperatur injeksi CO₂ dan surfaktan sebagai variabel terhadap profit dengan laju aliran massa, tekanan dan konsentrasi surfaktan yang konstan ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Grafik analisis sensitivitas perubahan temperatur CO₂ dan surfaktan terhadap profit

Pada Gambar 4.9 terlihat bahwa kenaikan nilai temperatur injeksi akan meningkatkan profit yang didapatkan. Analisis sensitivitas Selanjutnya dilakukan dengan perubahan pada konsentrasi injeksi surfaktan dengan laju aliran massa, temperatur dan tekanan injeksi yang tetap terhadap profit yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Grafik analisis sensitivitas perubahan konsentrasi surfaktan (wt%) terhadap profit

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa kenaikan nilai dari konsentrasi injeksi surfaktan akan menurunkan profit yang didapat.

Dari beberapa grafik tersebut, dapat menunjukkan laju aliran massa injeksi merupakan variabel optimisasi yang lebih sensitif dibandingkan dengan variabel temperatur injeksi, tekanan injeksi dan konsentrasi injeksi, karena perubahan laju aliran massa injeksi memberikan perubahan volume injeksi yang lebih banyak, semakin banyak volume injeksi maka produksi minyak akan lebih tinggi dan biaya pengadaan akan semakin besar. Variabel optimisasi yang lain juga dapat memengaruhi profit seiring bertambahnya nilai dari variabel-variabel tersebut. Seperti pada tekanan injeksi dan konsentrasi surfaktan. Pada tekanan injeksi terjadi karena meningkatnya tekanan injeksi CO_2 dan surfaktan akan menambah biaya operasional pompa sehingga dapat menurunkan profit. Pada konsentrasi surfaktan, semakin banyak konsentrasi surfaktan yang dibutuhkan akan menurunkan profit, hal ini disebabkan oleh semakin tinggi nilai konsentrasi maka akan semakin banyak massa yang diinjeksikan, semakin banyak massa yang diinjeksikan maka semakin tinggi biaya yang diperlukan. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah driving force atau penggerak dari aliran fluida CO_2 dan surfaktan adalah tekanan, hal tersebut menyebabkan laju aliran massa yang besar membutuhkan tekanan yang besar pula. Sedangkan dalam analisis sensitivitas, laju aliran massa injeksi dan tekanan injeksi mengakibatkan kenaikan dan penurunan profit. Sehingga untuk mendapatkan profit yang maksimal maka dibutuhkan kombinasi laju aliran massa injeksi, tekanan injeksi, temperatur injeksi dan konsentrasi injeksi surfaktan yang optimum.

4.6 Optimisasi CO_2 -Foam Flood Operation

Fungsi objektif dari optimisasi ini adalah profit, yang merupakan jumlah dari pendapatan dari penjualan minyak dikurangi biaya pembelian CO_2 dan surfaktan, biaya recycling dan biaya operasional pompa. Variabel yang dioptimisasi adalah laju aliran massa injeksi, tekanan injeksi, temperatur injeksi dan konsentrasi surfaktan. Teknik optimisasi stochastic algorithms

yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah GA dan DA. Berdasarkan hasil optimisasi diperoleh hasil terbaik dari setiap jenis teknik optimisasi dapat dilihat pada Tabel 4.4 untuk hasil variabel yang yang dioptimisasi.

Hasil perhitungan pendapatan, biaya pengadaan CO₂ dan surfaktan, biaya recycling, biaya operasional pompa dan profit pada setiap teknik optimisasi berdasarkan hasil variabel yang dioptimisasi dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4. 4 Variabel-variabel optimal pada kondisi operasi CO₂ foam flood

Variabel yang dioptimisasi	Teknik Optimisasi	
	GA	DA
Tekanan injeksi CO ₂	1071.999	1071
Tekanan injeksi Surfaktan	1072.875	1071
Laju aliran massa CO ₂	0.5	0.5
Laju aliran massa surfaktan	0.344	0.3
Temperatur injeksi CO ₂	39.85	36
Temperatur injeksi Surfaktan	39.97	38
Konsentrasi surfaktan	0.745	0.6

Tabel 4. 5 Perhitungan profit CO₂-foam EOR setelah dioptimisasi dengan GA

Parameter	Nilai	Satuan
Pendapatan	35109.21494	USD/hari
Biaya CO ₂ Surfaktan	4710.257316	USD/hari
Biaya recycling	1318.408372	USD/hari
Biaya operasional pompa	168.466975	USD/hari
Profit	28912.08228	USD/hari

Tabel 4. 6 Perhitungan profit CO₂-foam EOR setelah dioptimisasi dengan DA

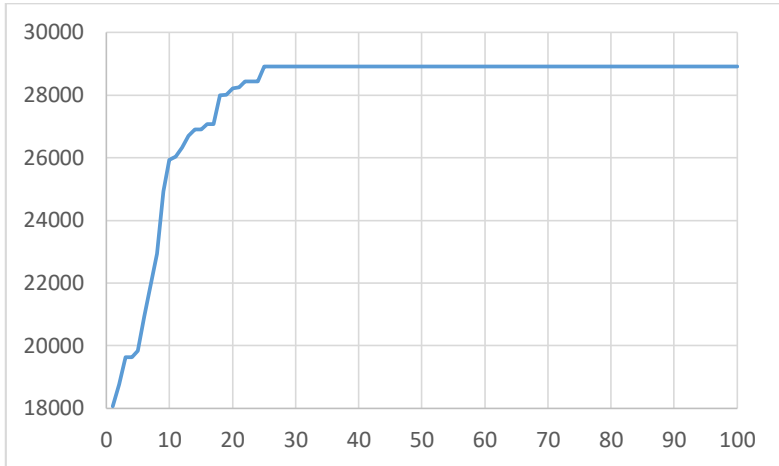
Parameter	Nilai	Satuan
Pendapatan	32126.03636	USD/hari
Biaya CO ₂ Surfaktan	4141.21231	USD/hari
Baiaya recycling	1206.385143	USD/hari
Biaya operasional pompa	148.6015634	USD/hari
Profit	26629.83734	USD/hari

Hasil variabel yang telah dioptimisasi tersebut kemudian dibandingkan pada teknik optimisasi menggunakan GA dan DA untuk mengetahui teknik optimisasi yang dapat memperoleh hasil paling maksimum terhadap nilai profit. Tabel 4.7 menunjukkan hasil nilai profit dari CO₂-foam EOR setelah dioptimisasi dengan dua jenis teknik optimisasi tersebut.

Tabel 4. 7 Hasil profit CO₂-foam EOR setelah dioptimisasi

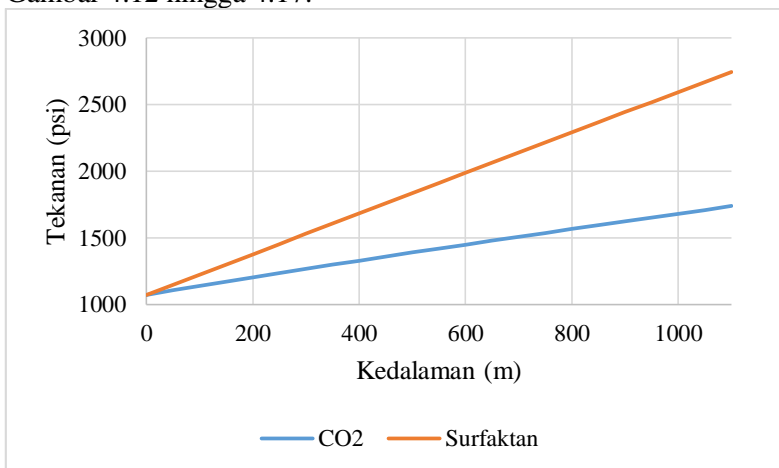
Teknik Optimisasi	Profit	Satuan	Peningkatan
GA	28912.08228	USD/hari	84%
DA	26629.83734	USD/hari	69%

Berdasarkan hasil profit dari kedua jenis teknik optimisasi diperoleh hasil optimisasi terbaik dari teknik optimisasi GA dengan hasil plot fitness terbaik setiap generasi pada proses optimisasi GA ditunjukkan pada Gambar 4.11. Proses optimisasi GA menghasilkan nilai profit sebesar 28912.08228USD/hari atau mengalami peningkatan profit dibandingkan sebelum dilakukan optimisasi sebesar 84%, sedangkan optimisasi dengan DA menghasilkan nilai profit yang lebih rendah dibandingkan dengan GA dengan peningkatan 69%.

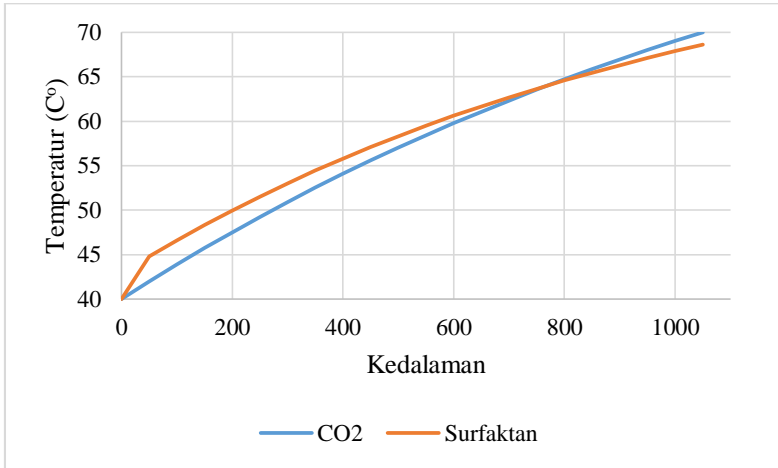


Gambar 4.11 Plot fitness terbaik setiap generasi GA

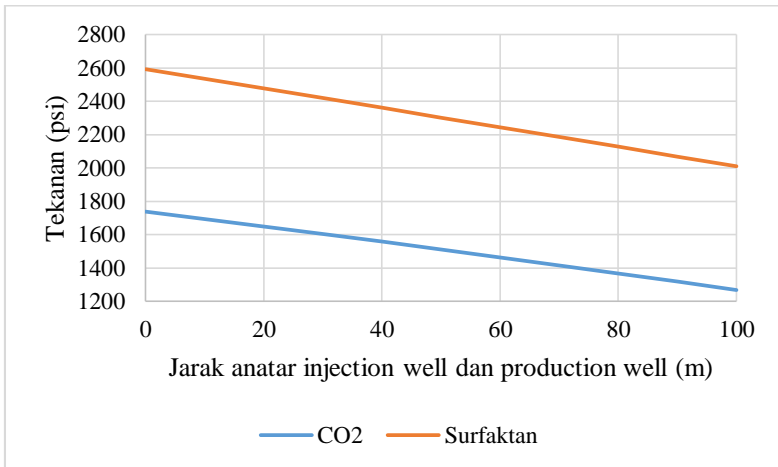
Dengan parameter input sesuai dengan Tabel 4.4 untuk hasil optimisasi GA, maka plot grafik tekanan dan temperatur CO₂-foam EOR pada injection hingga production well ditunjukkan pada Gambar 4.12 hingga 4.17.



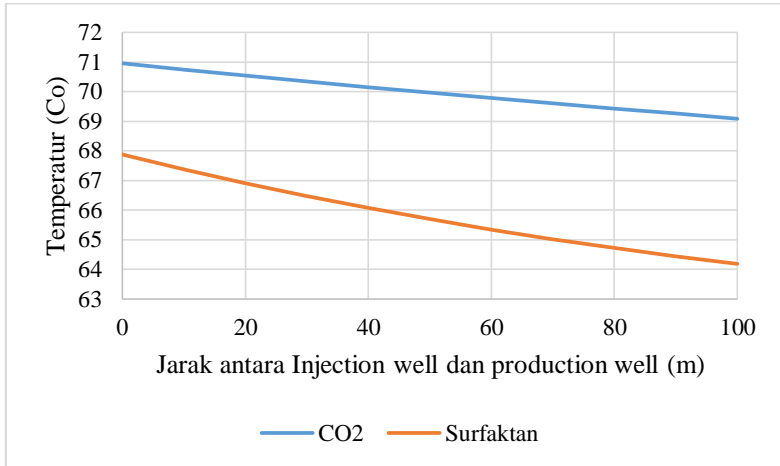
Gambar 4.12 Grafik tekanan injeksi CO₂-foam terhadap kedalaman pada injection well setelah dilakukan optimisasi



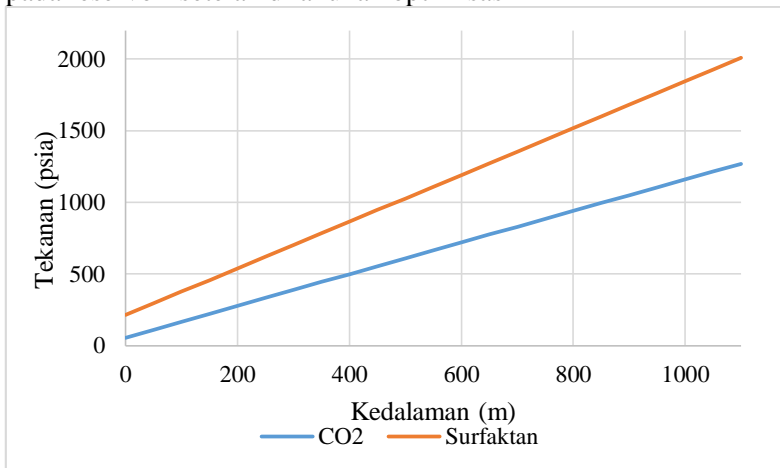
Gambar 4. 13 Grafik temperatur injeksi CO₂-foam terhadap kedalaman pada injection well setelah dilakukan optimisasi



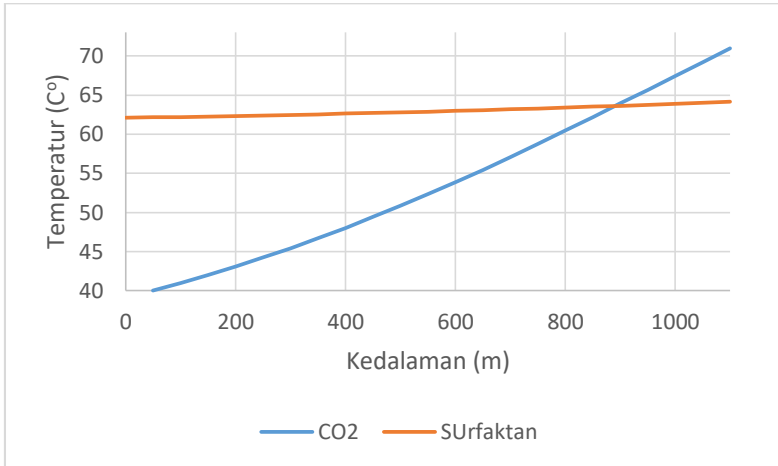
Gambar 4. 14 Grafik tekanan CO₂-foam terhadap kedalaman pada reservoir setelah dilakukan optimisasi



Gambar 4. 15 Grafik temperatur CO₂-foam terhadap kedalaman pada reservoir setelah dilakukan optimisasi



Gambar 4. 16 Grafik tekanan CO₂-foam pada production well setelah dilakukan optimisasi



Gambar 4. 17 Grafik temperatur CO₂-foam pada production well setelah dilakukan optimisasi.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil tugas akhir mengenai optimisasi kondisi operasi CO₂-foam flood EOR adalah sebagai berikut:

- a. CO₂-foam flood EOR dimodelkan dengan baik, terbukti dengan pemodelan pada *injection well* dan *production well* menunjukkan rata-rata error pada CO₂ pada tekanan dan temperature secara berurutan sebesar 0.89% 0.55% dan 3.57% 1.68% untuk surfaktan sebesar 2.27% 0.98% dan 2.68% 0.89% Pada reservoir menunjukkan error pada CO₂ tekanan dan temperature secara berturut-turut adalah 3.57% dan 1.68% sedangkan pada tekanan dan temperature surfaktan didapatkan rata-rata error secara berurutan sebesar 2.68% dan 0.89%. jika dibandingkan dengan software COMSOL Multiphysics
- b. Hasil paling optimum kondisi operasi CO₂-foam flood didapatkan menggunakan teknik optimisasi GA dengan peningkatan profit sebesar 84% dengan variable tekanan untuk CO₂ dan surfaktan sebesar 1071.999 psi dan 1072.825 psi, laju aliran pada CO₂ dan surfaktan sebesar /0.5 kg³/s dan 0.344 kg/s, temperatur pada CO₂ dan surfaktan sebesar 39.85 °C dan 39.37°C, dan konsesntrasi surfatan sebesar 0.745 wt%.Jika dibandingkan dengan teknik optimisasi DA yang memiliki peningkatan profit sebesar 69% dengan variable tekanan CO₂ dan surfaktan sebesar 1071 psi, laju aliran CO₂ dan surfaktan sebesar 0.5 dan 0.3, temperature CO₂ dan surfaktan sebesar 36°C dan 38°C, dan konsesntrasi surfaktan sebesar 0.6 wt% . Dalam hal ini pada Selat Sunda, Jawa Barat Indonesia dengan batuan gamping profit dapat dioptimisasi dari 15735.258USD/hari menjadi 28912.08228USD/hari untuk GA dan DA sebesar 26629.83734USD/hari, hasil teknik optimisasi paling optimum ada dengan menggunakan GA

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N, Alias S; S, Ridha; U, Yerikania, "Effect of Chemical EOR on Class G Oilwell Cement Integrity under Elevated Conditions," *Elsevier*, pp. 1066-1073, 2016.
- [2] P, James; J, Sheng, *Modern Chemical Enhanced Oil Recovery Theory and Practice*, Kiddlington, Oxford: Elsevier, 2011.
- [3] E. Y. Kaesti and B. Bintarto , "Peningkatan Perolehan Minyak Dengan CO₂ Flooding Pada Lapangan "X" Lapisan "Y," Vols. ISSN: 2549-564X, 2017.
- [4] H. Pramadika , S. Kasmungin and K. , "PENINGKATAN PEROLEHAN MINYAK DENGAN INJEKSI AIR DENGAN PENEMBAHAN POLIMER KONSENTRASI RENDAH SKALA LABORATORIUM," Vols. ISSN: 2460-8696 , 2015.
- [5] Langlo , Stig André Winter, *Enhanced Oil Recovery by CO₂ and CO₂-foam Injection in Fractured Limestone Rocks*, Bergen, 2013.
- [6] T, Ydstebø, *Enhanced Oil Recovery by CO₂ and CO₂ Foam in Fractured Carbonates*, 2013.
- [7] S, Solbakken J, *Experimental Studies of N₂ and CO₂- Foam Properties in Relation to Enhanced Oil Recovery Applications*, Centre for Integrated Petroleum Engineer, 2015.
- [8] N, Zanganeh, *Simulation and Optimization of Foam EOR Process*, Teheran: Proefschriftmaken.nl, 2011.
- [9] W, Lake L, *Enhanced Oil Recovery*, Prentice Hall Incorporate. Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.
- [10] W, ROSSEN R, *Foams - Theory, Measurements and Application*, Chapter 11: Foams in Enhanced Oil Recovery, 1996.

- [11] A. R. KOVSCEK, T. W. PATZEK and C. J. RADKE, Fundamentals of Foam Transport in Porous Media, Houston, Texas: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, Inc., 1993.
- [12] T. C. Ransohoff and C. J. Radke, "Mechanisms of Foam Generation in Glass-Bead Packs," *Society of Petroleum Engineers*, no. doi:10.2118/15441-PA, 1988.
- [13] R. Farajzadeh, A. Andrianov and P. Zitha, "Foam Assited Enhanced Oil Recovery at Miscible and Immiscible Conditions," *Society of Petroleum Engineers*, 2009.
- [14] R. A. M. S, ""Intrinsic Potential" Middle East and Asia Reservoir Review," Vols. pp. 1-23, 2003.
- [15] anonim, "Limestone," [Online]. Available: [http://www.sandatlas.org/limestone/.](http://www.sandatlas.org/limestone/), Använd , 2016.
- [16] R. M, "The Geological Interpretation of Well Logs 2nd Edition," Rider-French Consulting Limited, Scotland, 2011.
- [17] S. J, "Properties of Rocks," 2011.
- [18] C. Leng and H. Wang, "On General Adaptive Sparse Principal Component Analysis," 2008.
- [19] D. Tiab and E. C. Donaldson, Petrophysics , ": Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties, Kidlington," *Gulf Professional Publishin*, 2012.
- [20] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala , "Fluid Mechanics Fundamental and Applications," *New York: McGraw-Hill*, 2006..
- [21] H. D. B. Beggs, "A Study of Two-Phase Flow in Inclined Pipes," Vols. SPE-AIME, pp. 616-617, 1973.
- [22] T. V. Golf-Racht, "Fundamentals of Fractured Reservoir Engineering," *Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company*, 1982.

- [23] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman and A. S. Lavine "Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc," 2005.
- [24] T. R. Biyanto, G. Nugroho, H. Huda and E. Listijorini, " Duelist Algorithm: An Algorithm Inspired by How Duelist Improve Their Capabilities in a Duel," in *International Conference in Swarm Intelligence, Bali*, 2016.
- [25] e. a. Ce'sar, "Multi-objective optimization of steam power plants for sustainable generation of electricity," *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vols. no. 4, pp. 551-566, 2013.
- [26] V. M. I. P. Al Amin, "PREDIKSI KEDALAMAN LAPISAN BATUAN GAMPING DI AREA SELAT SUNDA UTARA MENGGUNAKAN MULTILAYER PERCEPTRON DUELIST ALGORTIHM," Intitut Teknologi Speuluh Nopember, Surabaya, 2017.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A Validasi Pemodelan Temperatur dan Tekanan pada Injection Well

Validasi model pada injection well dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan hasil simulasi pada perangkat lunak PIPESIM. Pada Tabel A1, nilai laju aliran massa injeksi CO₂ divariasikan, tekanan dan temperatur injeksi yang tetap. Nilai variasi berada diantara nilai 0.2 hingga 0.5 kg/s.

Tabel A1 Validasi model injeksi CO₂ terhadap variasi laju aliran massa injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				C	psi	kg/s	m	P out	T out
31	1071	0.2	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.2	50	1093.57	31.70	1116.56	32.78	2.10	3.41
31	1071	0.2	100	1116.51	33.64	1160.96	34.51	3.98	2.58
31	1071	0.2	150	1239.86	35.16	1203.00	36.20	2.97	2.95
31	1071	0.2	200	1263.50	37.75	1242.81	37.85	1.64	0.28
31	1071	0.2	250	1287.30	39.99	1280.50	39.46	0.53	1.34
31	1071	0.2	300	1311.07	39.97	1316.20	41.02	0.39	2.65
31	1071	0.2	350	1334.84	41.85	1350.01	42.55	1.14	1.68
31	1071	0.2	400	1358.52	43.91	1382.03	44.03	1.73	0.28
31	1071	0.2	450	1481.94	46.83	1412.36	45.48	4.69	2.89
31	1071	0.2	500	1405.31	46.58	1441.10	46.88	2.55	0.66
31	1071	0.2	550	1429.30	47.15	1468.31	48.25	2.73	2.33
31	1071	0.2	600	1454.20	48.60	1494.10	49.58	2.74	2.02
31	1071	0.2	650	1579.44	49.69	1518.52	50.88	3.86	2.38
31	1071	0.2	700	1503.94	51.59	1541.66	52.14	2.51	1.06

Tabel A1 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.2	800	1551.69	54.48	1584.36	54.56	2.11	0.15
31	1071	0.2	850	1675.27	56.72	1604.03	55.71	4.25	1.77
31	1071	0.2	900	1698.48	57.77	1622.68	56.84	4.46	1.62
31	1071	0.2	950	1621.25	58.88	1640.35	57.94	1.18	1.60
31	1071	0.2	1000	1643.68	59.16	1657.09	59.00	0.82	0.27
31	1071	0.2	1050	1665.80	60.29	1672.95	60.03	0.43	0.42
31	1071	0.2	1100	1687.56	61.42	1687.99	61.04	0.03	0.62
31	1071	0.3	0	1071.00	31.00	1071.00	31.00	0.00	0.00
31	1071	0.3	50	1094.33	31.71	1116.63	33.01	2.04	4.08
31	1071	0.3	100	1118.06	32.68	1159.93	34.96	3.74	6.99
31	1071	0.3	150	1242.29	34.23	1201.03	36.86	3.32	7.69
31	1071	0.3	200	1266.86	36.77	1240.03	38.70	2.12	5.24
31	1071	0.3	250	1291.63	38.98	1277.06	40.49	1.13	3.87
31	1071	0.3	300	1316.47	40.86	1312.21	42.22	0.32	3.33
31	1071	0.3	350	1341.19	41.70	1345.58	43.91	0.33	5.30
31	1071	0.3	400	1365.90	43.71	1377.26	45.54	0.83	4.20
31	1071	0.3	450	1390.67	45.37	1407.34	47.13	1.20	3.87
31	1071	0.3	500	1415.32	47.01	1435.91	48.66	1.45	3.52
31	1071	0.3	550	1440.04	48.46	1463.03	50.15	1.60	3.49
31	1071	0.3	600	1465.55	49.79	1488.79	51.60	1.59	3.62
31	1071	0.3	650	1491.90	50.19	1513.27	52.99	1.43	5.59
31	1071	0.3	700	1517.58	51.97	1536.51	54.35	1.25	4.57
31	1071	0.3	750	1542.63	52.67	1558.60	55.66	1.04	5.68
31	1071	0.3	800	1567.65	54.91	1579.58	56.93	0.76	3.68
31	1071	0.3	850	1593.04	55.13	1599.52	58.17	0.41	5.50

Tabel A1 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3	900	1618.32	56.18	1618.47	59.36	0.01	5.67
31	1071	0.3	950	1643.25	58.06	1636.48	60.52	0.41	4.22
31	1071	0.3	1000	1667.78	59.82	1653.61	61.63	0.85	3.03
31	1071	0.3	1050	1691.96	61.92	1669.89	62.72	1.30	1.29
31	1071	0.3	1100	1715.87	63.95	1685.38	63.77	1.78	0.30
31	1071	0.4	0	1071.00	31.00	1071.00	31.00	0.00	0.00
31	1071	0.4	50	1094.73	32.72	1116.73	33.18	2.01	1.39
31	1071	0.4	100	1118.80	33.69	1160.13	35.29	3.69	4.73
31	1071	0.4	150	1153.33	36.24	1201.34	37.33	4.16	3.00
31	1071	0.4	200	1178.24	38.77	1240.47	39.31	5.28	1.39
31	1071	0.4	250	1223.45	40.96	1277.61	41.23	4.43	0.65
31	1071	0.4	300	1278.85	42.81	1312.89	43.08	2.66	0.64
31	1071	0.4	350	1284.21	42.63	1346.39	44.88	4.84	5.28
31	1071	0.4	400	1329.59	44.61	1378.21	46.62	3.66	4.50
31	1071	0.4	450	1355.09	47.09	1408.43	48.29	3.94	2.57
31	1071	0.4	500	1391.60	48.87	1437.15	49.92	3.27	2.14
31	1071	0.4	550	1406.24	50.66	1464.42	51.49	4.14	1.64
31	1071	0.4	600	1452.20	52.44	1490.34	53.01	2.63	1.08
31	1071	0.4	650	1398.83	54.23	1514.97	54.47	8.30	0.45
31	1071	0.4	700	1482.20	56.01	1538.38	55.89	3.79	0.22
31	1071	0.4	750	1509.91	57.80	1560.63	57.26	3.36	0.93
31	1071	0.4	800	1537.61	59.58	1581.79	58.58	2.87	1.68
31	1071	0.4	850	1565.31	61.37	1601.91	59.86	2.34	2.46
31	1071	0.4	900	1593.02	63.15	1621.04	61.09	1.76	3.26
31	1071	0.4	950	1620.72	64.94	1639.24	62.28	1.14	4.09

Tabel A1 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.4	1000	1581.09	66.72	1656.56	63.43	4.77	4.93
31	1071	0.4	1050	1606.78	68.51	1673.04	64.54	4.12	5.79
31	1071	0.4	1100	1632.18	70.29	1688.74	65.61	3.47	6.66
31	1071	0.5	0	1071.00	31.00	1071.00	31.00	0.00	0.00
31	1071	0.5	50	1094.96	32.73	1116.85	33.31	2.00	1.78
31	1071	0.5	100	1119.21	33.70	1160.39	35.55	3.68	5.47
31	1071	0.5	150	1153.85	36.25	1201.73	37.71	4.15	4.02
31	1071	0.5	200	1198.90	38.77	1241.00	39.79	3.51	2.65
31	1071	0.5	250	1244.36	39.95	1278.29	41.81	2.73	4.66
31	1071	0.5	300	1260.09	41.77	1313.72	43.76	4.26	4.75
31	1071	0.5	350	1285.80	43.57	1347.38	45.64	4.79	4.73
31	1071	0.5	400	1331.57	45.54	1379.36	47.45	3.59	4.20
31	1071	0.5	450	1357.47	47.02	1409.74	49.20	3.85	4.65
31	1071	0.5	500	1373.46	49.58	1438.62	50.89	4.74	2.65
31	1071	0.5	550	1399.67	51.96	1466.08	52.52	4.74	1.08
31	1071	0.5	600	1456.15	52.19	1492.17	54.09	2.47	3.64
31	1071	0.5	650	1472.88	53.20	1516.99	55.61	2.99	4.51
31	1071	0.5	700	1499.46	56.59	1540.59	57.07	2.74	0.84
31	1071	0.5	750	1535.57	57.15	1563.03	58.47	1.79	2.32
31	1071	0.5	800	1551.54	58.66	1584.39	59.83	2.12	2.01
31	1071	0.5	850	1567.83	59.13	1604.72	61.14	2.35	3.41
31	1071	0.5	900	1574.87	61.66	1624.07	62.40	3.12	1.21
31	1071	0.5	950	1582.09	62.48	1642.49	63.62	3.82	1.82
31	1071	0.5	1000	1589.09	63.10	1660.04	64.79	4.47	2.66
31	1071	0.5	1050	1615.87	64.64	1676.76	65.91	3.77	1.98

Tabel A1 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.5	1100	1642.36	65.74	1692.70	67.00	3.07	1.91
AVERAGE ERROR								2.54	2.78

Pada Tabel A2 tekanan injeksi CO₂ divariasikan dengan laju aliran massa dan temperatur injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 1071 hingga 1200 psia.

Tabel A2 Validasi model injeksi CO₂ terhadap variasi tekanan injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.3044	50	1094.33	31.71	1116.63	33.02	2.04	4.11
31	1071	0.3044	100	1118.06	32.68	1159.94	34.98	3.75	7.04
31	1071	0.3044	150	1242.29	34.23	1201.04	36.88	3.32	7.76
31	1071	0.3044	200	1266.86	36.77	1240.05	38.73	2.12	5.32
31	1071	0.3044	250	1291.63	38.98	1277.08	40.53	1.13	3.97
31	1071	0.3044	300	1316.47	40.86	1312.24	42.27	0.32	3.44
31	1071	0.3044	350	1341.19	41.70	1345.61	43.96	0.33	5.42
31	1071	0.3044	400	1365.90	43.71	1377.30	45.60	0.83	4.32
31	1071	0.3044	450	1390.67	45.37	1407.38	47.19	1.20	4.00
31	1071	0.3044	500	1415.32	47.01	1435.96	48.73	1.46	3.65
31	1071	0.3044	550	1440.04	48.46	1463.09	50.22	1.60	3.63
31	1071	0.3044	600	1465.55	49.79	1488.86	51.67	1.59	3.76
31	1071	0.3044	650	1491.90	50.19	1513.33	53.07	1.44	5.74

Tabel A2 (Lanjutan)

T	P	m	Elev ation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	700	1517.58	51.97	1536.59	54.43	1.25	4.73
31	1071	0.3044	750	1542.63	52.67	1558.68	55.74	1.04	5.84
31	1071	0.3044	800	1567.65	54.91	1579.67	57.02	0.77	3.83
31	1071	0.3044	850	1593.04	55.13	1599.62	58.25	0.41	5.66
31	1071	0.3044	900	1618.32	56.18	1618.58	59.45	0.02	5.83
31	1071	0.3044	950	1643.25	58.06	1636.60	60.61	0.40	4.38
31	1071	0.3044	1000	1667.78	59.82	1653.73	61.73	0.84	3.18
31	1071	0.3044	1050	1691.96	61.92	1670.02	62.81	1.30	1.45
31	1071	0.3044	1100	1715.87	63.95	1685.51	63.86	1.77	0.15
31	1100	0.3044	0	1100	31.96	1100	31	0	2.00
31	1100	0.3044	50	1126.24	33.36	1144.10	33.02	1.59	1.00
31	1100	0.3044	100	1152.84	35.02	1185.96	34.99	2.87	0.09
31	1100	0.3044	150	1179.99	36.27	1225.69	36.90	3.87	1.73
31	1100	0.3044	200	1207.82	36.97	1263.41	38.75	4.60	4.82
31	1100	0.3044	250	1235.82	38.83	1299.21	40.55	5.13	4.42
31	1100	0.3044	300	1263.71	40.91	1333.20	42.30	5.50	3.39
31	1100	0.3044	350	1291.57	41.32	1365.47	43.99	5.72	6.45
31	1100	0.3044	400	1319.50	42.02	1396.12	45.63	5.81	8.60
31	1100	0.3044	450	1347.63	43.51	1425.22	47.22	5.76	8.53
31	1100	0.3044	500	1376.06	44.57	1452.85	48.76	5.58	9.41
31	1100	0.3044	550	1404.35	45.73	1479.10	50.26	5.32	9.91
31	1100	0.3044	600	1432.17	47.14	1504.03	51.71	5.02	9.68
31	1100	0.3044	650	1459.76	48.89	1527.72	53.11	4.66	8.63
31	1100	0.3044	700	1487.07	50.57	1550.22	54.47	4.25	7.71
31	1100	0.3044	750	1514.11	52.21	1571.60	55.79	3.80	6.85

Tabel A2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1100	0.3044	800	1541.58	53.97	1591.92	57.06	3.27	5.73
31	1100	0.3044	850	1569.87	55.78	1611.23	58.30	2.63	4.50
31	1100	0.3044	900	1598.16	57.54	1629.59	59.49	1.97	3.39
31	1100	0.3044	950	1626.09	59.30	1647.04	60.65	1.29	2.28
31	1100	0.3044	1000	1653.62	61.29	1663.64	61.77	0.61	0.78
31	1100	0.3044	1050	1680.77	63.36	1679.42	62.85	0.08	0.80
31	1100	0.3044	1100	1707.57	63.36	1694.43	63.90	0.77	0.85
31	1200	0.3044	0	1200	31	1200	31	0	0
31	1200	0.3044	50	1241.96	32.11	1238.83	33.05	0.25	2.91
31	1200	0.3044	100	1284.80	34.16	1275.70	35.03	0.71	2.54
31	1200	0.3044	150	1323.21	35.95	1310.71	36.96	0.95	2.80
31	1200	0.3044	200	1359.68	76.94	1343.95	38.83	1.16	49.54
31	1200	0.3044	250	1389.98	39.05	1375.52	40.64	1.04	4.05
31	1200	0.3044	300	1422.60	41.09	1405.50	42.39	1.20	3.17
31	1200	0.3044	350	1455.02	43.34	1433.98	44.10	1.45	1.75
31	1200	0.3044	400	1497.53	44.83	1461.03	45.74	2.44	2.05
31	1200	0.3044	450	1533.73	46.23	1486.73	47.34	3.06	2.41
31	1200	0.3044	500	1569.92	47.48	1511.15	48.89	3.74	2.97
31	1200	0.3044	550	1576.11	49.77	1534.35	50.39	2.65	1.25
31	1200	0.3044	600	1592.31	50.22	1556.40	51.84	2.26	3.24
31	1200	0.3044	650	1608.50	52.82	1577.35	53.25	1.94	0.81
31	1200	0.3044	700	1653.02	53.44	1597.27	54.61	3.37	2.18
31	1200	0.3044	750	1679.92	54.16	1616.21	55.93	3.79	3.26
31	1200	0.3044	800	1706.82	56.63	1634.21	57.20	4.25	1.01
31	1200	0.3044	850	1733.72	58.72	1651.33	58.44	4.75	0.48

Tabel A2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1200	0.3044	900	1745.63	59.88	1667.62	59.63	4.47	0.41
31	1200	0.3044	950	1787.53	60.63	1683.11	60.79	5.84	0.26
31	1200	0.3044	1000	1814.43	61.47	1697.85	61.91	6.42	0.72
31	1200	0.3044	1050	1841.33	61.42	1711.88	62.99	7.03	2.56
31	1200	0.3044	1100	1868.23	62.47	1725.24	64.04	7.65	2.52
AVERAGE ERROR								2.60	4.39

Pada Tabel A3 Temperatur injeksi CO₂ divariasikan dengan laju aliran massa dan tekanan injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 31 hingga 40 °C.

Tabel A3 Validasi model injeksi CO₂ terhadap variasi temperatur injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.3044	50	1094.33	31.71	1116.63	33.02	2.04	4.11
31	1071	0.3044	100	1118.06	32.68	1159.94	34.98	3.75	7.04
31	1071	0.3044	150	1242.29	34.23	1201.04	36.88	3.32	7.76
31	1071	0.3044	200	1266.86	36.77	1240.05	38.73	2.12	5.32
31	1071	0.3044	250	1291.63	38.98	1277.08	40.53	1.13	3.97
31	1071	0.3044	300	1316.47	40.86	1312.24	42.27	0.32	3.44
31	1071	0.3044	350	1341.19	41.70	1345.61	43.96	0.33	5.42
31	1071	0.3044	400	1365.90	43.71	1377.30	45.60	0.83	4.32

Tabel 3A (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	450	1390.67	45.37	1407.38	47.19	1.20	4.00
31	1071	0.3044	500	1415.32	47.01	1435.96	48.73	1.46	3.65
31	1071	0.3044	550	1440.04	48.46	1463.09	50.22	1.60	3.63
31	1071	0.3044	600	1465.55	49.79	1488.86	51.67	1.59	3.76
31	1071	0.3044	650	1491.90	50.19	1513.33	53.07	1.44	5.74
31	1071	0.3044	700	1517.58	51.97	1536.59	54.43	1.25	4.73
31	1071	0.3044	750	1542.63	52.67	1558.68	55.74	1.04	5.84
31	1071	0.3044	800	1567.65	54.91	1579.67	57.02	0.77	3.83
31	1071	0.3044	850	1593.04	55.13	1599.62	58.25	0.41	5.66
31	1071	0.3044	900	1618.32	56.18	1618.58	59.45	0.02	5.83
31	1071	0.3044	950	1643.25	58.06	1636.60	60.61	0.40	4.38
31	1071	0.3044	1000	1667.78	59.82	1653.73	61.73	0.84	3.18
31	1071	0.3044	1050	1691.96	61.92	1670.02	62.81	1.30	1.45
31	1071	0.3044	1100	1715.87	63.95	1685.51	63.86	1.77	0.15
32	1071	0.3044	0	1071	32	1071	32	0	0
32	1071	0.3044	50	1091.36	32.71	1116.67	33.98	2.32	3.91
32	1071	0.3044	100	1132.19	34.91	1160.01	35.91	2.46	2.86
32	1071	0.3044	150	1153.36	36.55	1201.15	37.79	4.14	3.39
32	1071	0.3044	200	1224.83	38.81	1240.19	39.60	1.25	2.05
32	1071	0.3044	250	1236.61	39.82	1277.25	41.37	3.29	3.88
32	1071	0.3044	300	1299.23	41.69	1312.43	43.08	1.02	3.36
32	1071	0.3044	350	1322.61	42.49	1345.83	44.75	1.76	5.31
32	1071	0.3044	400	1362.04	44.85	1377.53	46.36	1.14	3.37
32	1071	0.3044	450	1399.97	46.57	1407.64	47.92	0.55	2.89
32	1071	0.3044	500	1437.89	48.09	1436.23	49.44	0.12	2.80

Tabel 3A (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
32	1071	0.3044	550	1475.81	45.47	1463.37	50.91	0.84	11.97
32	1071	0.3044	600	1513.73	46.77	1489.15	52.33	1.62	11.89
32	1071	0.3044	650	1551.65	48.64	1513.64	53.71	2.45	10.43
32	1071	0.3044	700	1589.57	50.31	1536.90	55.05	3.31	9.41
32	1071	0.3044	750	1627.49	51.89	1559.00	56.34	4.21	8.58
32	1071	0.3044	800	1655.41	53.47	1580.00	57.60	4.56	7.72
32	1071	0.3044	850	1683.33	55.54	1599.95	58.81	4.95	5.90
32	1071	0.3044	900	1701.25	57.45	1618.92	59.99	4.84	4.43
32	1071	0.3044	950	1729.17	59.23	1636.94	61.13	5.33	3.21
32	1071	0.3044	1000	1750.43	61.17	1654.08	62.23	5.50	1.74
32	1071	0.3044	1050	1773.35	63.21	1670.37	63.30	5.81	0.14
32	1071	0.3044	1100	1796.27	65.14	1685.87	64.33	6.15	1.24
33	1071	0.3044	0	1071	33	1071	33	0	0
33	1071	0.3044	50	1090.40	34.43	1116.71	34.95	2.41	1.51
33	1071	0.3044	100	1139.63	36.02	1160.09	36.85	1.80	2.30
33	1071	0.3044	150	1189.17	37.22	1201.26	38.69	1.02	3.95
33	1071	0.3044	200	1209.37	39.20	1240.33	40.48	2.56	3.27
33	1071	0.3044	250	1230.45	41.02	1277.42	42.21	3.82	2.91
33	1071	0.3044	300	1292.47	42.73	1312.62	43.90	1.56	2.74
33	1071	0.3044	350	1315.16	44.10	1346.04	45.54	2.35	3.25
33	1071	0.3044	400	1337.22	46.82	1377.77	47.12	3.03	0.65
33	1071	0.3044	450	1358.98	47.30	1407.89	48.66	3.60	2.88
33	1071	0.3044	500	1380.94	49.62	1436.49	50.15	4.02	1.06
33	1071	0.3044	550	1403.54	50.95	1463.66	51.60	4.28	1.27
33	1071	0.3044	600	1426.38	51.74	1489.45	53.00	4.42	2.44

Tabel A3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
33	1071	0.3044	650	1449.11	52.34	1513.95	54.35	4.47	3.84
33	1071	0.3044	700	1571.67	54.81	1537.22	55.67	2.19	1.57
33	1071	0.3044	750	1593.96	55.22	1559.33	56.94	2.17	3.12
33	1071	0.3044	800	1606.14	56.18	1580.33	58.18	1.61	3.56
33	1071	0.3044	850	1638.21	57.04	1600.29	59.37	2.31	4.10
33	1071	0.3044	900	1660.14	58.78	1619.26	60.53	2.46	2.99
33	1071	0.3044	950	1681.85	60.54	1637.29	61.65	2.65	1.84
33	1071	0.3044	1000	1703.40	62.54	1654.43	62.74	2.87	0.32
33	1071	0.3044	1050	1724.79	64.43	1670.72	63.79	3.13	0.99
33	1071	0.3044	1100	1745.97	66.23	1686.22	64.81	3.42	2.15
34	1071	0.3044	0	1071	34	1071	34	0	0
34	1071	0.3044	50	1090.40	34.43	1116.75	35.92	2.42	4.31
34	1071	0.3044	100	1139.63	36.02	1160.17	37.78	1.80	4.90
34	1071	0.3044	150	1189.17	37.22	1201.37	39.59	1.03	6.37
34	1071	0.3044	200	1209.37	39.20	1240.47	41.35	2.57	5.50
34	1071	0.3044	250	1230.45	41.02	1277.59	43.06	3.83	4.97
34	1071	0.3044	300	1292.47	42.73	1312.82	44.72	1.57	4.65
34	1071	0.3044	350	1315.16	44.10	1346.26	46.32	2.36	5.04
34	1071	0.3044	400	1337.22	46.82	1378.01	47.88	3.05	2.28
34	1071	0.3044	450	1358.98	47.30	1408.15	49.40	3.62	4.44
34	1071	0.3044	500	1380.94	49.62	1436.76	50.86	4.04	2.50
34	1071	0.3044	550	1403.54	50.95	1463.94	52.28	4.30	2.62
34	1071	0.3044	600	1426.38	51.74	1489.75	53.66	4.44	3.72

Tabel A3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
34	1071	0.3044	650	1449.11	52.34	1514.26	55.00	4.50	5.07
34	1071	0.3044	700	1571.67	54.81	1537.54	56.29	2.17	2.71
34	1071	0.3044	750	1593.96	55.22	1559.65	57.55	2.15	4.21
34	1071	0.3044	800	1606.14	56.18	1580.67	58.76	1.59	4.60
34	1071	0.3044	850	1638.21	57.04	1600.63	59.94	2.29	5.08
34	1071	0.3044	900	1660.14	58.78	1619.60	61.07	2.44	3.91
34	1071	0.3044	950	1681.85	60.54	1637.63	62.18	2.63	2.71
34	1071	0.3044	1000	1703.40	62.54	1654.78	63.25	2.85	1.13
34	1071	0.3044	1050	1724.79	64.43	1671.07	64.28	3.11	0.23
34	1071	0.3044	1100	1745.97	66.23	1686.57	65.28	3.40	1.44
35	1071	0.3044	0	1071	35	1071	35	0	0
35	1071	0.3044	50	1090.40	35.43	1116.79	36.89	2.42	4.10
35	1071	0.3044	100	1139.63	36.02	1160.24	38.72	1.81	7.50
35	1071	0.3044	150	1189.17	37.22	1201.48	40.50	1.04	8.80
35	1071	0.3044	200	1209.37	39.20	1240.61	42.23	2.58	7.73
35	1071	0.3044	250	1230.45	41.02	1277.76	43.90	3.84	7.03
35	1071	0.3044	300	1292.47	42.73	1313.01	45.53	1.59	6.56
35	1071	0.3044	350	1315.16	44.10	1346.47	47.11	2.38	6.83
35	1071	0.3044	400	1337.22	46.82	1378.24	48.65	3.07	3.91
35	1071	0.3044	450	1358.98	47.30	1408.40	50.13	3.64	6.00
35	1071	0.3044	500	1380.94	49.62	1437.03	51.58	4.06	3.94
35	1071	0.3044	550	1403.54	50.95	1464.22	52.97	4.32	3.97
35	1071	0.3044	600	1426.38	51.74	1490.04	54.33	4.46	5.01
35	1071	0.3044	650	1449.11	52.34	1514.57	55.64	4.52	6.30
35	1071	0.3044	700	1571.67	54.81	1537.86	56.91	2.15	3.84

Tabel A3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
35	1071	0.3044	750	1593.96	55.22	1559.98	58.15	2.13	5.29
35	1071	0.3044	800	1606.14	56.18	1581.00	59.34	1.57	5.63
35	1071	0.3044	850	1638.21	57.04	1600.97	60.50	2.27	6.07
35	1071	0.3044	900	1660.14	58.78	1619.95	61.62	2.42	4.83
35	1071	0.3044	950	1681.85	60.54	1637.98	62.70	2.61	3.58
35	1071	0.3044	1000	1703.40	62.54	1655.12	63.75	2.83	1.95
35	1071	0.3044	1050	1724.79	64.43	1671.42	64.77	3.09	0.53
35	1071	0.3044	1100	1745.97	66.23	1686.92	65.75	3.38	0.72
36	1071	0.3044	0	1071	36	1071	36	0	0
36	1071	0.3044	50	1090.40	36.43	1116.83	37.85	2.42	3.90
36	1071	0.3044	100	1139.63	38.02	1160.32	39.65	1.82	4.30
36	1071	0.3044	150	1189.17	40.22	1201.59	41.40	1.04	2.93
36	1071	0.3044	200	1209.37	42.20	1240.75	43.10	2.59	2.14
36	1071	0.3044	250	1230.45	43.02	1277.92	44.75	3.86	4.02
36	1071	0.3044	300	1292.47	45.73	1313.20	46.35	1.60	1.35
36	1071	0.3044	350	1315.16	46.10	1346.69	47.90	2.40	3.91
36	1071	0.3044	400	1337.22	48.42	1378.48	49.41	3.08	2.04
36	1071	0.3044	450	1358.98	50.11	1408.65	50.87	3.66	1.52
36	1071	0.3044	500	1380.94	51.79	1437.30	52.29	4.08	0.96
36	1071	0.3044	550	1403.54	53.48	1464.51	53.66	4.34	0.34
36	1071	0.3044	600	1426.38	55.17	1490.34	55.00	4.48	0.31
36	1071	0.3044	650	1449.11	56.85	1514.87	56.29	4.54	1.00
36	1071	0.3044	700	1571.67	58.54	1538.17	57.54	2.13	1.72
36	1071	0.3044	750	1593.96	60.23	1560.31	58.75	2.11	2.46
36	1071	0.3044	800	1606.14	61.91	1581.33	59.92	1.54	3.22

Tabel A3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
36	1071	0.3044	850	1638.21	63.60	1601.31	61.06	2.25	4.00
36	1071	0.3044	900	1660.14	65.29	1620.29	62.16	2.40	4.79
36	1071	0.3044	950	1681.85	66.97	1638.33	63.23	2.59	5.60
36	1071	0.3044	1000	1703.40	68.66	1655.47	64.26	2.81	6.41
36	1071	0.3044	1050	1724.79	70.35	1671.77	65.26	3.07	7.23
36	1071	0.3044	1100	1745.97	72.03	1687.27	66.23	3.36	8.06
37	1071	0.3044	0	1071	37	1071	37	0	0
37	1071	0.3044	50	1090.40	38.09	1116.87	38.82	2.43	1.92
37	1071	0.3044	100	1139.63	39.93	1160.40	40.59	1.82	1.65
37	1071	0.3044	150	1189.17	41.62	1201.70	42.31	1.05	1.64
37	1071	0.3044	200	1209.37	42.51	1240.89	43.97	2.61	3.43
37	1071	0.3044	250	1230.45	44.76	1278.09	45.59	3.87	1.86
37	1071	0.3044	300	1292.47	45.92	1313.40	47.17	1.62	2.72
37	1071	0.3044	350	1315.16	47.01	1346.90	48.69	2.41	3.58
37	1071	0.3044	400	1337.22	48.82	1378.71	50.17	3.10	2.78
37	1071	0.3044	450	1358.98	50.31	1408.91	51.61	3.67	2.58
37	1071	0.3044	500	1380.94	51.81	1437.58	53.00	4.10	2.30
37	1071	0.3044	550	1403.54	53.30	1464.79	54.35	4.36	1.97
37	1071	0.3044	600	1426.38	54.80	1490.64	55.66	4.51	1.57
37	1071	0.3044	650	1449.11	56.30	1515.18	56.93	4.56	1.13
37	1071	0.3044	700	1571.67	57.79	1538.49	58.16	2.11	0.64
37	1071	0.3044	750	1593.96	59.29	1560.63	59.35	2.09	0.11
37	1071	0.3044	800	1606.14	60.78	1581.66	60.50	1.52	0.46
37	1071	0.3044	850	1638.21	62.28	1601.64	61.62	2.23	1.06
37	1071	0.3044	900	1660.14	60.30	1620.63	62.70	2.38	3.98

Tabel A3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
37	1071	0.3044	950	1681.85	62.20	1638.67	63.75	2.57	2.50
37	1071	0.3044	1000	1703.40	64.00	1655.82	64.77	2.79	1.20
37	1071	0.3044	1050	1724.79	65.73	1672.13	65.75	3.05	0.03
37	1071	0.3044	1100	1745.97	67.55	1687.63	66.70	3.34	1.26
38	1071	0.3044	0	1071	38	1071	38	0	0
38	1071	0.3044	50	1090.40	38.85	1116.91	39.79	2.43	2.41
38	1071	0.3044	100	1139.63	40.54	1160.47	41.52	1.83	2.43
38	1071	0.3044	150	1189.17	41.28	1201.81	43.21	1.06	4.68
38	1071	0.3044	200	1209.37	42.44	1241.04	44.85	2.62	5.67
38	1071	0.3044	250	1230.45	45.54	1278.26	46.44	3.89	1.98
38	1071	0.3044	300	1292.47	46.57	1313.59	47.98	1.63	3.03
38	1071	0.3044	350	1315.16	48.56	1347.12	49.48	2.43	1.90
38	1071	0.3044	400	1337.22	50.06	1378.95	50.94	3.12	1.74
38	1071	0.3044	450	1358.98	51.75	1409.16	52.35	3.69	1.15
38	1071	0.3044	500	1380.94	53.44	1437.85	53.72	4.12	0.51
38	1071	0.3044	550	1403.54	55.13	1465.08	55.04	4.38	0.16
38	1071	0.3044	600	1426.38	56.82	1490.94	56.33	4.53	0.86
38	1071	0.3044	650	1449.11	58.51	1515.49	57.58	4.58	1.59
38	1071	0.3044	700	1571.67	60.19	1538.81	58.78	2.09	2.35
38	1071	0.3044	750	1593.96	61.88	1560.96	59.95	2.07	3.12
38	1071	0.3044	800	1606.14	63.57	1582.00	61.09	1.50	3.91
38	1071	0.3044	850	1638.21	58.95	1601.98	62.18	2.21	5.48
38	1071	0.3044	900	1660.14	60.62	1620.97	63.25	2.36	4.34
38	1071	0.3044	950	1681.85	62.47	1639.02	64.28	2.55	2.89
38	1071	0.3044	1000	1703.40	64.25	1656.17	65.28	2.77	1.60

Tabel A3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
38	1071	0.3044	1050	1724.79	65.95	1672.48	66.24	3.03	0.44
38	1071	0.3044	1100	1745.97	67.79	1687.98	67.18	3.32	0.90
39	1071	0.3044	0	1071	39	1071	39	0	0
39	1071	0.3044	50	1090.40	39.62	1116.95	40.75	2.44	2.86
39	1071	0.3044	100	1139.63	41.32	1160.55	42.46	1.84	2.76
39	1071	0.3044	150	1189.17	43.33	1201.92	44.11	1.07	1.80
39	1071	0.3044	200	1209.37	44.32	1241.18	45.72	2.63	3.17
39	1071	0.3044	250	1230.45	46.27	1278.43	47.29	3.90	2.19
39	1071	0.3044	300	1292.47	48.20	1313.78	48.80	1.65	1.25
39	1071	0.3044	350	1315.16	49.09	1347.34	50.27	2.45	2.40
39	1071	0.3044	400	1337.22	51.04	1379.18	51.70	3.14	1.30
39	1071	0.3044	450	1358.98	52.65	1409.42	53.09	3.71	0.83
39	1071	0.3044	500	1380.94	54.26	1438.12	54.43	4.14	0.31
39	1071	0.3044	550	1403.54	55.87	1465.36	55.73	4.41	0.25
39	1071	0.3044	600	1426.38	57.49	1491.23	57.00	4.55	0.85
39	1071	0.3044	650	1449.11	59.10	1515.80	58.22	4.60	1.48
39	1071	0.3044	700	1571.67	60.71	1539.13	59.41	2.07	2.14
39	1071	0.3044	750	1593.96	62.32	1561.28	60.56	2.05	2.83
39	1071	0.3044	800	1606.14	63.93	1582.33	61.67	1.48	3.54
39	1071	0.3044	850	1638.21	59.20	1602.32	62.75	2.19	5.99
39	1071	0.3044	900	1660.14	60.90	1621.32	63.79	2.34	4.75
39	1071	0.3044	950	1681.85	62.72	1639.37	64.80	2.53	3.32
39	1071	0.3044	1000	1703.40	64.47	1656.52	65.78	2.75	2.04
39	1071	0.3044	1050	1724.79	66.16	1672.83	66.73	3.01	0.87
39	1071	0.3044	1100	1745.97	68.00	1688.33	67.65	3.30	0.52

Tabel A3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
40	1071	0.3044	0	1071	40	1071	40	0	0
40	1071	0.3044	50	1090.40	41.32	1104.61	41.73	1.30	0.99
40	1071	0.3044	100	1139.63	43.33	1137.84	43.40	0.16	0.16
40	1071	0.3044	150	1189.17	44.32	1170.71	45.03	1.55	1.61
40	1071	0.3044	200	1209.37	46.27	1203.25	46.61	0.51	0.73
40	1071	0.3044	250	1230.45	48.20	1235.48	48.15	0.41	0.11
40	1071	0.3044	300	1292.47	49.09	1267.42	49.64	1.94	1.10
40	1071	0.3044	350	1319.53	51.04	1299.11	51.08	1.55	0.08
40	1071	0.3044	400	1355.75	52.56	1330.57	52.49	1.86	0.13
40	1071	0.3044	450	1391.98	54.14	1361.82	53.85	2.17	0.53
40	1071	0.3044	500	1428.20	55.72	1392.88	55.17	2.47	0.98
40	1071	0.3044	550	1464.42	57.30	1423.79	56.45	2.77	1.47
40	1071	0.3044	600	1500.65	58.88	1454.56	57.70	3.07	2.00
40	1071	0.3044	650	1536.87	60.46	1485.23	58.90	3.36	2.57
40	1071	0.3044	700	1573.09	62.04	1515.80	60.07	3.64	3.16
40	1071	0.3044	750	1609.31	63.62	1546.32	61.21	3.91	3.79
40	1071	0.3044	800	1645.54	65.20	1576.79	62.31	4.18	4.43
40	1071	0.3044	850	1681.76	66.78	1607.26	63.37	4.43	5.09
40	1071	0.3044	900	1717.98	68.36	1637.73	64.41	4.67	5.78
40	1071	0.3044	950	1754.21	69.94	1668.23	65.41	4.90	6.47
40	1071	0.3044	1000	1790.43	71.52	1698.79	66.38	5.12	7.18
40	1071	0.3044	1050	1826.65	73.10	1729.44	67.32	5.32	7.90
40	1071	0.3044	1100	1862.88	74.68	1760.18	68.23	5.51	8.63
AVERAGE ERROR								2.59	3.18

Pada Tabel A4 Laju aliran massa injeksi surfaktan divariasikan dengan laju temperatur dan tekanan injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 0.2 hingga 0.5 kg/s.

Tabel A4 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi laju aliran massa injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.2	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.2	50	1180.97	32.81	1181.17	33.98	0.02	3.56
31	1071	0.2	100	1290.90	35.33	1291.33	36.81	0.03	4.18
31	1071	0.2	150	1400.78	38.15	1401.45	39.50	0.05	3.54
31	1071	0.2	200	1510.59	40.06	1511.52	42.06	0.06	5.00
31	1071	0.2	250	1620.31	42.02	1621.53	44.50	0.07	5.90
31	1071	0.2	300	1729.96	45.00	1731.46	46.81	0.09	4.03
31	1071	0.2	350	1839.55	47.19	1841.32	49.02	0.10	3.88
31	1071	0.2	400	1949.02	49.56	1951.10	51.12	0.11	3.14
31	1071	0.2	450	2058.48	51.93	2060.81	53.11	0.11	2.28
31	1071	0.2	500	2167.80	54.30	2170.44	55.01	0.12	1.31
31	1071	0.2	550	2277.11	56.67	2280.00	56.82	0.13	0.26
31	1071	0.2	600	2386.27	59.04	2389.48	58.54	0.13	0.85
31	1071	0.2	650	2495.36	61.41	2498.88	60.18	0.14	2.01
31	1071	0.2	700	2604.44	63.78	2608.21	61.74	0.14	3.20
31	1071	0.2	750	2713.37	66.15	2717.46	63.22	0.15	4.43
31	1071	0.2	800	2822.30	68.52	2826.64	64.64	0.15	5.67
31	1071	0.2	850	2931.08	62.93	2935.73	65.98	0.16	4.85
31	1071	0.2	900	3039.85	64.92	3044.76	67.27	0.16	3.61
31	1071	0.2	950	3148.48	66.92	3153.70	68.49	0.17	2.35

Tabel A4 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.2	1000	3257.03	68.91	3262.57	69.65	0.17	1.08
31	1071	0.2	1050	3365.58	70.90	3371.37	70.76	0.17	0.20
31	1071	0.2	1100	3473.98	72.90	3480.09	71.82	0.18	1.47
31	1071	0.2	0	1071.00	31.00	1071.00	31.00	0.00	0.00
31	1071	0.2	50	1180.97	32.61	1181.56	33.94	0.05	4.07
31	1071	0.2	100	1290.91	35.85	1292.12	36.74	0.09	2.47
31	1071	0.2	150	1400.81	38.44	1402.64	39.40	0.13	2.50
31	1071	0.2	200	1510.65	40.22	1513.10	41.94	0.16	4.27
31	1071	0.2	250	1620.42	43.08	1623.50	44.35	0.19	2.94
31	1071	0.2	300	1730.11	45.00	1733.82	46.64	0.21	3.64
31	1071	0.2	350	1839.74	47.97	1844.08	48.82	0.24	1.78
31	1071	0.2	400	1949.26	48.94	1954.25	50.90	0.26	3.99
31	1071	0.2	450	2058.77	50.93	2064.35	52.88	0.27	3.82
31	1071	0.2	500	2168.14	52.92	2174.37	54.76	0.29	3.47
31	1071	0.2	550	2277.50	55.92	2284.31	56.55	0.30	1.13
31	1071	0.2	600	2386.71	56.91	2394.17	58.26	0.31	2.36
31	1071	0.2	650	2495.85	57.91	2503.96	59.88	0.33	3.41
31	1071	0.2	700	2604.98	58.91	2613.67	61.43	0.33	4.28
31	1071	0.2	750	2713.96	60.90	2723.31	62.90	0.34	3.28
31	1071	0.2	800	2822.94	62.90	2832.86	64.31	0.35	2.24
31	1071	0.2	850	2931.77	63.90	2942.34	65.64	0.36	2.74
31	1071	0.2	900	3040.60	64.89	3051.74	66.92	0.37	3.12
31	1071	0.2	950	3149.28	65.89	3161.06	68.14	0.37	3.41
31	1071	0.2	1000	3257.88	67.88	3270.31	69.29	0.38	2.08

Tabel A4 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.2	1050	3366.48	69.88	3379.48	70.40	0.39	0.74
31	1071	0.2	1100	3474.93	71.87	3488.58	71.45	0.39	0.59
31	1071	0.4	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.4	50	1180.96	32.81	1181.61	33.91	0.05	3.37
31	1071	0.4	100	1290.91	35.33	1292.21	36.68	0.10	3.83
31	1071	0.4	150	1400.82	38.15	1402.78	39.32	0.14	3.07
31	1071	0.4	200	1510.68	40.06	1513.28	41.83	0.17	4.42
31	1071	0.4	250	1620.47	42.02	1623.72	44.22	0.20	5.24
31	1071	0.4	300	1730.20	45.00	1734.09	46.49	0.22	3.32
31	1071	0.4	350	1839.87	47.19	1844.39	48.66	0.25	3.11
31	1071	0.4	400	1949.43	49.56	1954.61	50.72	0.27	2.34
31	1071	0.4	450	2058.98	51.93	2064.75	52.68	0.28	1.44
31	1071	0.4	500	2168.40	54.30	2174.81	54.55	0.30	0.45
31	1071	0.4	550	2277.80	56.67	2284.80	56.32	0.31	0.61
31	1071	0.4	600	2387.06	59.04	2394.71	58.02	0.32	1.73
31	1071	0.4	650	2496.24	61.41	2504.55	59.63	0.33	2.90
31	1071	0.4	700	2605.42	63.78	2614.30	61.17	0.34	4.09
31	1071	0.4	750	2714.45	66.15	2723.98	62.63	0.35	5.31
31	1071	0.4	800	2823.47	68.52	2833.58	64.03	0.36	6.55
31	1071	0.4	850	2932.35	62.93	2943.11	65.36	0.37	3.86
31	1071	0.4	900	3041.22	64.92	3052.55	66.63	0.37	2.63
31	1071	0.4	950	3149.95	66.92	3161.92	67.84	0.38	1.38
31	1071	0.4	1000	3258.60	68.91	3271.22	68.99	0.39	0.12
31	1071	0.4	1050	3367.25	70.90	3380.44	70.09	0.39	1.14

Tabel A4 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.4	1100	3475.74	72.90	3489.58	71.14	0.40	2.40
31	1071	0.5	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.5	50	1180.96	32.81	1181.84	33.88	0.07	3.28
31	1071	0.5	100	1290.90	35.33	1292.67	36.63	0.14	3.67
31	1071	0.5	150	1400.82	38.15	1403.46	39.24	0.19	2.86
31	1071	0.5	200	1510.69	40.06	1514.19	41.73	0.23	4.17
31	1071	0.5	250	1620.51	42.02	1624.86	44.10	0.27	4.95
31	1071	0.5	300	1730.27	45.00	1735.46	46.35	0.30	3.00
31	1071	0.5	350	1839.97	47.19	1845.98	48.50	0.33	2.77
31	1071	0.5	400	1949.57	49.56	1956.43	50.54	0.35	1.98
31	1071	0.5	450	2059.16	51.93	2066.80	52.49	0.37	1.07
31	1071	0.5	500	2168.61	54.30	2177.10	54.34	0.39	0.07
31	1071	0.5	550	2278.06	56.67	2287.31	56.10	0.41	1.00
31	1071	0.5	600	2387.37	59.04	2397.45	57.79	0.42	2.12
31	1071	0.5	650	2496.60	61.41	2507.52	59.39	0.44	3.29
31	1071	0.5	700	2605.82	63.78	2617.51	60.92	0.45	4.49
31	1071	0.5	750	2714.90	66.15	2727.42	62.37	0.46	5.71
31	1071	0.5	800	2823.97	68.52	2837.25	63.76	0.47	6.95
31	1071	0.5	850	2932.90	62.93	2947.01	65.08	0.48	3.42
31	1071	0.5	900	3041.82	64.92	3056.69	66.34	0.49	2.19
31	1071	0.5	950	3150.60	66.92	3166.29	67.55	0.50	0.95
31	1071	0.5	1000	3259.30	68.91	3275.82	68.70	0.51	0.31
31	1071	0.5	1050	3367.99	70.90	3385.27	69.79	0.51	1.57
31	1071	0.5	1100	3476.54	72.90	3494.64	70.84	0.52	2.82
AVERAGE ERROR								0.25	2.77

Pada Tabel A5 Tekanan injeksi surfaktan divariasikan dengan konsesntrasi, temperatur dan laju aliran massa injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 1071 psi, 1100 psi 1200 psi

Tabel A5 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi tekanan injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.3044	50	1094.33	31.71	1116.63	33.02	2.04	4.11
31	1071	0.3044	100	1118.06	32.68	1159.94	34.98	3.75	7.04
31	1071	0.3044	150	1242.29	34.23	1201.04	36.88	3.32	7.76
31	1071	0.3044	200	1266.86	36.77	1240.05	38.73	2.12	5.32
31	1071	0.3044	250	1291.63	38.98	1277.08	40.53	1.13	3.97
31	1071	0.3044	300	1316.47	40.86	1312.24	42.27	0.32	3.44
31	1071	0.3044	350	1341.19	41.70	1345.61	43.96	0.33	5.42
31	1071	0.3044	400	1365.90	43.71	1377.30	45.60	0.83	4.32
31	1071	0.3044	450	1390.67	45.37	1407.38	47.19	1.20	4.00
31	1071	0.3044	500	1415.32	47.01	1435.96	48.73	1.46	3.65
31	1071	0.3044	550	1440.04	48.46	1463.09	50.22	1.60	3.63
31	1071	0.3044	600	1465.55	49.79	1488.86	51.67	1.59	3.76
31	1071	0.3044	650	1491.90	50.19	1513.33	53.07	1.44	5.74
31	1071	0.3044	700	1517.58	51.97	1536.59	54.43	1.25	4.73
31	1071	0.3044	750	1542.63	52.67	1558.68	55.74	1.04	5.84
31	1071	0.3044	800	1567.65	54.91	1579.67	57.02	0.77	3.83
31	1071	0.3044	850	1593.04	55.13	1599.62	58.25	0.41	5.66
31	1071	0.3044	900	1618.32	56.18	1618.58	59.45	0.02	5.83
31	1071	0.3044	950	1643.25	58.06	1636.60	60.61	0.40	4.38
31	1071	0.3044	1000	1667.78	59.82	1653.73	61.73	0.84	3.18

Tabel A5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	1050	1691.96	61.92	1670.02	62.81	1.30	1.45
31	1071	0.3044	1100	1715.87	63.95	1685.51	63.86	1.77	0.15
31	1100	0.3044	0	1100	31.96	1100	31	0	3.00
31	1100	0.3044	50	1126.24	33.36	1144.10	33.02	1.59	1.00
31	1100	0.3044	100	1152.84	35.02	1185.96	34.99	2.87	0.09
31	1100	0.3044	150	1179.99	36.27	1225.69	36.90	3.87	1.73
31	1100	0.3044	200	1207.82	36.97	1263.41	38.75	4.60	4.82
31	1100	0.3044	250	1235.82	38.83	1299.21	40.55	5.13	4.42
31	1100	0.3044	300	1263.71	40.91	1333.20	42.30	5.50	3.39
31	1100	0.3044	350	1291.57	41.32	1365.47	43.99	5.72	6.45
31	1100	0.3044	400	1319.50	42.02	1396.12	45.63	5.81	8.60
31	1100	0.3044	450	1347.63	43.51	1425.22	47.22	5.76	8.53
31	1100	0.3044	500	1376.06	44.57	1452.85	48.76	5.58	9.41
31	1100	0.3044	550	1404.35	45.73	1479.10	50.26	5.32	9.91
31	1100	0.3044	600	1432.17	47.14	1504.03	51.71	5.02	9.68
31	1100	0.3044	650	1459.76	48.89	1527.72	53.11	4.66	8.63
31	1100	0.3044	700	1487.07	50.57	1550.22	54.47	4.25	7.71
31	1100	0.3044	750	1514.11	52.21	1571.60	55.79	3.80	6.85
31	1100	0.3044	800	1541.58	53.97	1591.92	57.06	3.27	5.73
31	1100	0.3044	850	1569.87	55.78	1611.23	58.30	2.63	4.50
31	1100	0.3044	900	1598.16	57.54	1629.59	59.49	1.97	3.39
31	1100	0.3044	950	1626.09	59.30	1647.04	60.65	1.29	2.28
31	1100	0.3044	1000	1653.62	61.29	1663.64	61.77	0.61	0.78
31	1100	0.3044	1050	1680.77	63.36	1679.42	62.85	0.08	0.80
31	1100	0.3044	1100	1707.57	63.36	1694.43	63.90	0.77	0.85

Tabel A5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1200	0.3044	0	1200.00	31.00	1200.00	31.00	0.00	0.00
31	1200	0.3044	50	1241.96	32.11	1238.83	33.05	0.25	2.91
31	1200	0.3044	100	1284.80	34.16	1275.70	35.03	0.71	2.54
31	1200	0.3044	150	1323.21	35.95	1310.71	36.96	0.95	2.80
31	1200	0.3044	200	1359.68	76.94	1343.95	38.83	1.16	49.54
31	1200	0.3044	250	1389.98	39.05	1375.52	40.64	1.04	4.05
31	1200	0.3044	300	1422.60	41.09	1405.50	42.39	1.20	3.17
31	1200	0.3044	350	1455.02	43.34	1433.98	44.10	1.45	1.75
31	1200	0.3044	400	1497.53	44.83	1461.03	45.74	2.44	2.05
31	1200	0.3044	450	1533.73	46.23	1486.73	47.34	3.06	2.41
31	1200	0.3044	500	1569.92	47.48	1511.15	48.89	3.74	2.97
31	1200	0.3044	550	1576.11	49.77	1534.35	50.39	2.65	1.25
31	1200	0.3044	600	1592.31	50.22	1556.40	51.84	2.26	3.24
31	1200	0.3044	650	1608.50	52.82	1577.35	53.25	1.94	0.81
31	1200	0.3044	700	1653.02	53.44	1597.27	54.61	3.37	2.18
31	1200	0.3044	750	1679.92	54.16	1616.21	55.93	3.79	3.26
31	1200	0.3044	800	1706.82	56.63	1634.21	57.20	4.25	1.01
31	1200	0.3044	850	1733.72	58.72	1651.33	58.44	4.75	0.48
31	1200	0.3044	900	1745.63	59.88	1667.62	59.63	4.47	0.41
31	1200	0.3044	950	1787.53	60.63	1683.11	60.79	5.84	0.26
31	1200	0.3044	1000	1814.43	61.47	1697.85	61.91	6.42	0.72
31	1200	0.3044	1050	1841.33	61.42	1711.88	62.99	7.03	2.56
31	1200	0.3044	1100	1868.23	62.47	1725.24	64.04	7.65	2.52
AVERAGE ERROR								2.60	4.39

Pada Tabel A6 Temperatur injeksi surfaktan divariasikan dengan konsentrasinya, temperatur dan laju aliran massa injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 1071 psi, 1100 psi 1200 psi

Tabel A6 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi temperature injeksi

T C	P psi	m kg/s	Elevation m	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.3044	50	1183.70	35.71	1146.29	36.94	3.16	3.44
31	1071	0.3044	100	1259.47	38.68	1222.07	39.16	2.97	1.24
31	1071	0.3044	150	1335.23	41.23	1297.79	41.27	2.80	0.10
31	1071	0.3044	200	1410.97	44.77	1373.43	43.27	2.66	3.35
31	1071	0.3044	250	1486.71	45.98	1449.01	45.18	2.54	1.73
31	1071	0.3044	300	1562.47	46.86	1524.52	47.00	2.43	0.30
31	1071	0.3044	350	1645.49	49.24	1599.97	48.74	2.77	1.03
31	1071	0.3044	400	1721.28	51.05	1675.36	50.38	2.67	1.31
31	1071	0.3044	450	1797.04	52.86	1750.71	51.96	2.58	1.72
31	1071	0.3044	500	1872.86	54.68	1826.00	53.45	2.50	2.24
31	1071	0.3044	550	1968.14	55.46	1901.24	54.88	3.40	1.06
31	1071	0.3044	600	2043.18	56.79	1976.44	56.23	3.27	0.99
31	1071	0.3044	650	2118.29	57.19	2051.59	57.53	3.15	0.59
31	1071	0.3044	700	2193.35	58.97	2126.70	58.76	3.04	0.36
31	1071	0.3044	750	2268.42	59.84	2201.78	59.93	2.94	0.16
31	1071	0.3044	800	2343.50	60.93	2276.82	61.05	2.85	0.20
31	1071	0.3044	850	2428.58	62.02	2351.82	62.12	3.16	0.15
31	1071	0.3044	900	2501.87	63.11	2426.79	63.13	3.00	0.03
31	1071	0.3044	950	2575.17	64.21	2501.73	64.10	2.85	0.16
31	1071	0.3044	1000	2648.47	65.30	2576.64	65.02	2.71	0.42
31	1071	0.3044	1050	2721.79	66.39	2651.53	65.90	2.58	0.73

Tabel A6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
C	psi	kg/s	m						
31	1071	0.3044	1100	2795.11	67.48	2726.39	66.74	2.46	1.10
32	1071	0.3044	0	1071	32	1071	32	0	0
32	1071	0.3044	50	1153.66	32.71	1116.67	33.98	3.21	3.91
32	1071	0.3044	100	1189.40	35.71	1160.01	35.91	2.47	0.56
32	1071	0.3044	150	1235.12	37.19	1201.15	37.79	2.75	1.61
32	1071	0.3044	200	1274.19	39.05	1240.19	39.60	2.67	1.43
32	1071	0.3044	250	1314.93	40.90	1277.25	41.37	2.87	1.14
32	1071	0.3044	300	1355.66	42.76	1312.43	43.08	3.19	0.76
32	1071	0.3044	350	1396.39	44.62	1345.83	44.75	3.62	0.29
32	1071	0.3044	400	1437.13	46.47	1377.53	46.36	4.15	0.25
32	1071	0.3044	450	1477.86	48.33	1407.64	47.92	4.75	0.85
32	1071	0.3044	500	1492.57	50.19	1436.23	49.44	3.77	1.50
32	1071	0.3044	550	1517.82	52.05	1463.37	50.91	3.59	2.19
32	1071	0.3044	600	1536.03	53.90	1489.15	52.33	3.05	2.92
32	1071	0.3044	650	1556.01	55.76	1513.64	53.71	2.72	3.67
32	1071	0.3044	700	1575.99	57.62	1536.90	55.05	2.48	4.46
32	1071	0.3044	750	1595.96	59.48	1559.00	56.34	2.32	5.27
32	1071	0.3044	800	1615.94	61.33	1580.00	57.60	2.22	6.09
32	1071	0.3044	850	1635.92	63.19	1599.95	58.81	2.20	6.93
32	1071	0.3044	900	1655.89	65.05	1618.92	59.99	2.23	7.77
32	1071	0.3044	950	1675.87	66.90	1636.94	61.13	2.32	8.63
32	1071	0.3044	1000	1695.85	68.76	1654.08	62.23	2.46	9.50
32	1071	0.3044	1050	1715.82	70.62	1670.37	63.30	2.65	10.37
32	1071	0.3044	1100	1735.80	72.48	1685.87	64.33	2.88	11.24
33	1071	0.3044	0	1071	33	1071	33	0	0
33	1071	0.3044	50	1153.66	34.43	1116.71	34.95	3.20	1.51

Tabel A6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
33	1071	0.3044	100	1189.40	36.02	1160.09	36.85	2.46	2.30
33	1071	0.3044	150	1235.12	37.22	1201.26	38.69	2.74	3.95
33	1071	0.3044	200	1274.19	39.20	1240.33	40.48	2.66	3.27
33	1071	0.3044	250	1314.93	41.02	1277.42	42.21	2.85	2.91
33	1071	0.3044	300	1355.66	42.73	1312.62	43.90	3.17	2.74
33	1071	0.3044	350	1396.39	44.10	1346.04	45.54	3.61	3.25
33	1071	0.3044	400	1437.13	46.82	1377.77	47.12	4.13	0.65
33	1071	0.3044	450	1477.86	47.30	1407.89	48.66	4.73	2.88
33	1071	0.3044	500	1492.57	49.62	1436.49	50.15	3.76	1.06
33	1071	0.3044	550	1517.82	50.95	1463.66	51.60	3.57	1.27
33	1071	0.3044	600	1536.03	51.74	1489.45	53.00	3.03	2.44
33	1071	0.3044	650	1556.01	52.34	1513.95	54.35	2.70	3.84
33	1071	0.3044	700	1575.99	54.81	1537.22	55.67	2.46	1.57
33	1071	0.3044	750	1595.96	55.22	1559.33	56.94	2.30	3.12
33	1071	0.3044	800	1615.94	56.18	1580.33	58.18	2.20	3.56
33	1071	0.3044	850	1635.92	57.04	1600.29	59.37	2.18	4.10
33	1071	0.3044	900	1655.89	58.78	1619.26	60.53	2.21	2.99
33	1071	0.3044	950	1675.87	60.54	1637.29	61.65	2.30	1.84
33	1071	0.3044	1000	1695.85	62.54	1654.43	62.74	2.44	0.32
33	1071	0.3044	1050	1715.82	64.43	1670.72	63.79	2.63	0.99
33	1071	0.3044	1100	1735.80	66.23	1686.22	64.81	2.86	2.15
34	1071	0.3044	0	1071	34	1071	34	0	0
34	1071	0.3044	50	1153.66	34.43	1116.75	35.92	3.20	4.31
34	1071	0.3044	100	1189.40	36.02	1160.17	37.78	2.46	4.90
34	1071	0.3044	150	1235.12	37.22	1201.37	39.59	2.73	6.37
34	1071	0.3044	200	1274.19	39.20	1240.47	41.35	2.65	5.50

Tabel A6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
34	1071	0.3044	250	1314.93	41.02	1277.59	43.06	2.84	4.97
34	1071	0.3044	300	1355.66	42.73	1312.82	44.72	3.16	4.65
34	1071	0.3044	350	1396.39	44.10	1346.26	46.32	3.59	5.04
34	1071	0.3044	400	1437.13	46.82	1378.01	47.88	4.11	2.28
34	1071	0.3044	450	1477.86	47.30	1408.15	49.40	4.72	4.44
34	1071	0.3044	500	1492.57	49.62	1436.76	50.86	3.74	2.50
34	1071	0.3044	550	1517.82	50.95	1463.94	52.28	3.55	2.62
34	1071	0.3044	600	1536.03	51.74	1489.75	53.66	3.01	3.72
34	1071	0.3044	650	1556.01	52.34	1514.26	55.00	2.68	5.07
34	1071	0.3044	700	1575.99	54.81	1537.54	56.29	2.44	2.71
34	1071	0.3044	750	1595.96	55.22	1559.65	57.55	2.28	4.21
34	1071	0.3044	800	1615.94	56.18	1580.67	58.76	2.18	4.60
34	1071	0.3044	850	1635.92	57.04	1600.63	59.94	2.16	5.08
34	1071	0.3044	900	1655.89	58.78	1619.60	61.07	2.19	3.91
34	1071	0.3044	950	1675.87	60.54	1637.63	62.18	2.28	2.71
34	1071	0.3044	1000	1695.85	62.54	1654.78	63.25	2.42	1.13
34	1071	0.3044	1050	1715.82	64.43	1671.07	64.28	2.61	0.23
34	1071	0.3044	1100	1735.80	66.23	1686.57	65.28	2.84	1.44
35	1071	0.3044	0	1071	35	1071	35	0	0
35	1071	0.3044	50	1153.66	35.43	1116.79	36.89	3.20	4.10
35	1071	0.3044	100	1189.40	36.02	1160.24	38.72	2.45	7.50
35	1071	0.3044	150	1235.12	37.22	1201.48	40.50	2.72	8.80
35	1071	0.3044	200	1274.19	39.20	1240.61	42.23	2.64	7.73
35	1071	0.3044	250	1314.93	41.02	1277.76	43.90	2.83	7.03
35	1071	0.3044	300	1355.66	42.73	1313.01	45.53	3.15	6.56
35	1071	0.3044	350	1396.39	44.10	1346.47	47.11	3.58	6.83

Tabel A6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
35	1071	0.3044	400	1437.13	46.82	1378.24	48.65	4.10	3.91
35	1071	0.3044	450	1477.86	47.30	1408.40	50.13	4.70	6.00
35	1071	0.3044	500	1492.57	49.62	1437.03	51.58	3.72	3.94
35	1071	0.3044	550	1517.82	50.95	1464.22	52.97	3.53	3.97
35	1071	0.3044	600	1536.03	51.74	1490.04	54.33	2.99	5.01
35	1071	0.3044	650	1556.01	52.34	1514.57	55.64	2.66	6.30
35	1071	0.3044	700	1575.99	54.81	1537.86	56.91	2.42	3.84
35	1071	0.3044	750	1595.96	55.22	1559.98	58.15	2.25	5.29
35	1071	0.3044	800	1615.94	56.18	1581.00	59.34	2.16	5.63
35	1071	0.3044	850	1635.92	57.04	1600.97	60.50	2.14	6.07
35	1071	0.3044	900	1655.89	58.78	1619.95	61.62	2.17	4.83
35	1071	0.3044	950	1675.87	60.54	1637.98	62.70	2.26	3.58
35	1071	0.3044	1000	1695.85	62.54	1655.12	63.75	2.40	1.95
35	1071	0.3044	1050	1715.82	64.43	1671.42	64.77	2.59	0.53
35	1071	0.3044	1100	1735.80	66.23	1686.92	65.75	2.82	0.72
36	1071	0.3044	0	1071	36	1071	36	0	0
36	1071	0.3044	50	1153.66	36.43	1116.83	37.85	3.19	3.90
36	1071	0.3044	100	1189.40	38.02	1160.32	39.65	2.45	4.30
36	1071	0.3044	150	1235.12	40.22	1201.59	41.40	2.71	2.93
36	1071	0.3044	200	1274.19	42.20	1240.75	43.10	2.62	2.14
36	1071	0.3044	250	1314.93	43.02	1277.92	44.75	2.81	4.02
36	1071	0.3044	300	1355.66	45.73	1313.20	46.35	3.13	1.35
36	1071	0.3044	350	1396.39	46.10	1346.69	47.90	3.56	3.91
36	1071	0.3044	400	1437.13	48.42	1378.48	49.41	4.08	2.04
36	1071	0.3044	450	1477.86	50.11	1408.65	50.87	4.68	1.52
36	1071	0.3044	500	1492.57	51.79	1437.30	52.29	3.70	0.96

Tabel A6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
36	1071	0.3044	550	1517.82	53.48	1464.51	53.66	3.51	0.34
36	1071	0.3044	600	1536.03	55.17	1490.34	55.00	2.97	0.31
36	1071	0.3044	650	1556.01	56.85	1514.87	56.29	2.64	1.00
36	1071	0.3044	700	1575.99	58.54	1538.17	57.54	2.40	1.72
36	1071	0.3044	750	1595.96	60.23	1560.31	58.75	2.23	2.46
36	1071	0.3044	800	1615.94	61.91	1581.33	59.92	2.14	3.22
36	1071	0.3044	850	1635.92	63.60	1601.31	61.06	2.12	4.00
36	1071	0.3044	900	1655.89	65.29	1620.29	62.16	2.15	4.79
36	1071	0.3044	950	1675.87	66.97	1638.33	63.23	2.24	5.60
36	1071	0.3044	1000	1695.85	68.66	1655.47	64.26	2.38	6.41
36	1071	0.3044	1050	1715.82	70.35	1671.77	65.26	2.57	7.23
36	1071	0.3044	1100	1735.80	72.03	1687.27	66.23	2.80	8.06
37	1071	0.3044	0	1071	37	1071	37	0	0
37	1071	0.3044	50	1153.66	38.09	1116.87	38.82	3.19	1.92
37	1071	0.3044	100	1189.40	39.93	1160.40	40.59	2.44	1.65
37	1071	0.3044	150	1235.12	41.62	1201.70	42.31	2.71	1.64
37	1071	0.3044	200	1274.19	42.51	1240.89	43.97	2.61	3.43
37	1071	0.3044	250	1314.93	44.76	1278.09	45.59	2.80	1.86
37	1071	0.3044	300	1355.66	45.92	1313.40	47.17	3.12	2.72
37	1071	0.3044	350	1396.39	47.01	1346.90	48.69	3.54	3.58
37	1071	0.3044	400	1437.13	48.82	1378.71	50.17	4.06	2.78
37	1071	0.3044	450	1477.86	50.31	1408.91	51.61	4.67	2.58
37	1071	0.3044	500	1492.57	51.81	1437.58	53.00	3.68	2.30
37	1071	0.3044	550	1517.82	53.30	1464.79	54.35	3.49	1.97
37	1071	0.3044	600	1536.03	54.80	1490.64	55.66	2.96	1.57
37	1071	0.3044	650	1556.01	56.30	1515.18	56.93	2.62	1.13

Tabel A6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
37	1071	0.3044	700	1575.99	57.79	1538.49	58.16	2.38	0.64
37	1071	0.3044	750	1595.96	59.29	1560.63	59.35	2.21	0.11
37	1071	0.3044	800	1615.94	60.78	1581.66	60.50	2.12	0.46
37	1071	0.3044	850	1635.92	62.28	1601.64	61.62	2.09	1.06
37	1071	0.3044	900	1655.89	60.30	1620.63	62.70	2.13	3.98
37	1071	0.3044	950	1675.87	62.20	1638.67	63.75	2.22	2.50
37	1071	0.3044	1000	1695.85	64.00	1655.82	64.77	2.36	1.20
37	1071	0.3044	1050	1715.82	65.73	1672.13	65.75	2.55	0.03
37	1071	0.3044	1100	1735.80	67.55	1687.63	66.70	2.78	1.26
38	1071	0.3044	0	1071	38	1071	38	0	0
38	1071	0.3044	50	1153.66	38.85	1116.91	39.79	3.19	2.41
38	1071	0.3044	100	1189.40	40.54	1160.47	41.52	2.43	2.43
38	1071	0.3044	150	1235.12	41.28	1201.81	43.21	2.70	4.68
38	1071	0.3044	200	1274.19	42.44	1241.04	44.85	2.60	5.67
38	1071	0.3044	250	1314.93	45.54	1278.26	46.44	2.79	1.98
38	1071	0.3044	300	1355.66	46.57	1313.59	47.98	3.10	3.03
38	1071	0.3044	350	1396.39	48.56	1347.12	49.48	3.53	1.90
38	1071	0.3044	400	1437.13	50.06	1378.95	50.94	4.05	1.74
38	1071	0.3044	450	1477.86	51.75	1409.16	52.35	4.65	1.15
38	1071	0.3044	500	1492.57	53.44	1437.85	53.72	3.67	0.51
38	1071	0.3044	550	1517.82	55.13	1465.08	55.04	3.47	0.16
38	1071	0.3044	600	1536.03	56.82	1490.94	56.33	2.94	0.86
38	1071	0.3044	650	1556.01	58.51	1515.49	57.58	2.60	1.59
38	1071	0.3044	700	1575.99	60.19	1538.81	58.78	2.36	2.35
38	1071	0.3044	750	1595.96	61.88	1560.96	59.95	2.19	3.12
38	1071	0.3044	800	1615.94	63.57	1582.00	61.09	2.10	3.91

Tabel A6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
38	1071	0.3044	850	1635.92	58.95	1601.98	62.18	2.07	5.48
38	1071	0.3044	900	1655.89	60.62	1620.97	63.25	2.11	4.34
38	1071	0.3044	950	1675.87	62.47	1639.02	64.28	2.20	2.89
38	1071	0.3044	1000	1695.85	64.25	1656.17	65.28	2.34	1.60
38	1071	0.3044	1050	1715.82	65.95	1672.48	66.24	2.53	0.44
38	1071	0.3044	1100	1735.80	67.79	1687.98	67.18	2.75	0.90
39	1071	0.3044	0	1071	39	1071	39	0	0
39	1071	0.3044	50	1153.66	39.62	1116.95	40.75	3.18	2.86
39	1071	0.3044	100	1189.40	41.32	1160.55	42.46	2.43	2.76
39	1071	0.3044	150	1235.12	43.33	1201.92	44.11	2.69	1.80
39	1071	0.3044	200	1274.19	44.32	1241.18	45.72	2.59	3.17
39	1071	0.3044	250	1314.93	46.27	1278.43	47.29	2.78	2.19
39	1071	0.3044	300	1355.66	48.20	1313.78	48.80	3.09	1.25
39	1071	0.3044	350	1396.39	49.09	1347.34	50.27	3.51	2.40
39	1071	0.3044	400	1437.13	51.04	1379.18	51.70	4.03	1.30
39	1071	0.3044	450	1477.86	52.65	1409.42	53.09	4.63	0.83
39	1071	0.3044	500	1492.57	54.26	1438.12	54.43	3.65	0.31
39	1071	0.3044	550	1517.82	55.87	1465.36	55.73	3.46	0.25
39	1071	0.3044	600	1536.03	57.49	1491.23	57.00	2.92	0.85
39	1071	0.3044	650	1556.01	59.10	1515.80	58.22	2.58	1.48
39	1071	0.3044	700	1575.99	60.71	1539.13	59.41	2.34	2.14
39	1071	0.3044	750	1595.96	62.32	1561.28	60.56	2.17	2.83
39	1071	0.3044	800	1615.94	63.93	1582.33	61.67	2.08	3.54
39	1071	0.3044	850	1635.92	59.20	1602.32	62.75	2.05	5.99
39	1071	0.3044	900	1655.89	60.90	1621.32	63.79	2.09	4.75
39	1071	0.3044	950	1675.87	62.72	1639.37	64.80	2.18	3.32

Tabel A6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
39	1071	0.3044	1000	1695.85	64.47	1656.52	65.78	2.32	2.04
39	1071	0.3044	1050	1715.82	66.16	1672.83	66.73	2.51	0.87
39	1071	0.3044	1100	1735.80	68.00	1688.33	67.65	2.73	0.52
40	1071	0.3044	0	1071	40	1071	40	0	0
40	1071	0.3044	50	1153.66	44.32	1145.96	44.92	0.67	1.35
40	1071	0.3044	100	1189.40	46.27	1221.45	46.75	2.69	1.04
40	1071	0.3044	150	1285.12	48.20	1296.89	48.50	0.92	0.64
40	1071	0.3044	200	1394.32	49.09	1372.27	50.17	1.58	2.19
40	1071	0.3044	250	1397.14	51.04	1447.59	51.76	3.61	1.41
40	1071	0.3044	300	1499.95	52.66	1522.86	53.27	1.53	1.15
40	1071	0.3044	350	1555.95	54.29	1598.08	54.71	2.71	0.77
40	1071	0.3044	400	1620.68	55.92	1673.26	56.08	3.24	0.29
40	1071	0.3044	450	1685.41	57.54	1748.39	57.38	3.74	0.28
40	1071	0.3044	500	1750.14	59.17	1823.49	58.62	4.19	0.92
40	1071	0.3044	550	1814.87	60.80	1898.54	59.81	4.61	1.62
40	1071	0.3044	600	1879.60	62.42	1973.56	60.94	5.00	2.38
40	1071	0.3044	650	1944.33	64.05	2048.54	62.01	5.36	3.18
40	1071	0.3044	700	2009.05	65.67	2123.49	63.04	5.70	4.02
40	1071	0.3044	750	2073.78	67.30	2198.41	64.01	6.01	4.89
40	1071	0.3044	800	2138.51	68.93	2273.29	64.94	6.30	5.78
40	1071	0.3044	850	2203.24	70.55	2348.16	65.83	6.58	6.70
40	1071	0.3044	900	2267.97	72.18	2422.99	66.67	6.84	7.63
40	1071	0.3044	950	2332.70	73.81	2497.80	67.48	7.08	8.57
40	1071	0.3044	1000	2397.43	75.43	2572.59	68.25	7.31	9.52
40	1071	0.3044	1050	2462.15	77.06	2647.36	68.98	7.52	10.48
40	1071	0.3044	1100	2526.88	78.69	2722.10	69.68	7.73	11.44
AVERAGE ERROR								2.91	2.86

Pada Tabel A7 konsentrasi injeksi surfaktan divariasikan dengan tekanan, temperature dan masa laju injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan dari 0.5 hingga 0.9 wt%

Tabel A7 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi temperature injeksi

T	P	x	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	wt %	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.5	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.5	50	1183.70	35.71	1146.29	36.94	3.16	3.44
31	1071	0.5	100	1259.47	38.68	1222.07	39.16	2.97	1.24
31	1071	0.5	150	1335.23	41.23	1297.79	41.27	2.80	0.10
31	1071	0.5	200	1410.97	44.77	1373.43	43.27	2.66	3.35
31	1071	0.5	250	1486.71	45.98	1449.01	45.18	2.54	1.73
31	1071	0.5	300	1562.47	46.86	1524.52	47.00	2.43	0.30
31	1071	0.5	350	1645.49	49.24	1599.97	48.74	2.77	1.03
31	1071	0.5	400	1721.28	51.05	1675.36	50.38	2.67	1.31
31	1071	0.5	450	1797.04	52.86	1750.71	51.96	2.58	1.72
31	1071	0.5	500	1872.86	54.68	1826.00	53.45	2.50	2.24
31	1071	0.5	550	1968.14	55.46	1901.24	54.88	3.40	1.06
31	1071	0.5	600	2043.18	56.79	1976.44	56.23	3.27	0.99
31	1071	0.5	650	2118.29	57.19	2051.59	57.53	3.15	0.59
31	1071	0.5	700	2193.35	58.97	2126.70	58.76	3.04	0.36
31	1071	0.5	750	2268.42	59.84	2201.78	59.93	2.94	0.16
31	1071	0.5	800	2343.50	60.93	2276.82	61.05	2.85	0.20
31	1071	0.5	850	2428.58	62.02	2351.82	62.12	3.16	0.15
31	1071	0.5	900	2501.87	63.11	2426.79	63.13	3.00	0.03
31	1071	0.5	950	2575.17	64.21	2501.73	64.10	2.85	0.16

Tabel A7 (Lanjutan)

T	P	x	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	wt %	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.5	1000	2648.47	65.30	2576.64	65.02	2.71	0.42
31	1071	0.5	1050	2721.79	66.39	2651.53	65.90	2.58	0.73
31	1071	0.5	1100	2795.11	67.48	2726.39	66.74	2.46	1.10
31	1071	0.6	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.6	50	1183.62	35.01	1146.41	36.94	3.14	5.52
31	1071	0.6	100	1259.40	38.47	1222.32	39.16	2.94	1.80
31	1071	0.6	150	1335.15	41.15	1298.16	41.27	2.77	0.30
31	1071	0.6	200	1410.90	42.44	1373.92	43.27	2.62	1.97
31	1071	0.6	250	1486.64	44.56	1449.62	45.19	2.49	1.39
31	1071	0.6	300	1562.39	46.25	1525.25	47.00	2.38	1.63
31	1071	0.6	350	1645.40	47.56	1600.81	48.74	2.71	2.48
31	1071	0.6	400	1721.19	49.12	1676.32	50.39	2.61	2.59
31	1071	0.6	450	1796.94	50.61	1751.77	51.96	2.51	2.66
31	1071	0.6	500	1872.75	52.11	1827.16	53.45	2.43	2.58
31	1071	0.6	550	1968.01	53.60	1902.51	54.88	3.33	2.38
31	1071	0.6	600	2043.05	55.10	1977.81	56.23	3.19	2.06
31	1071	0.6	650	2118.14	56.60	2053.06	57.53	3.07	1.65
31	1071	0.6	700	2193.19	58.09	2128.27	58.76	2.96	1.15
31	1071	0.6	750	2268.25	59.59	2203.44	59.93	2.86	0.58
31	1071	0.6	800	2343.32	61.08	2278.58	61.05	2.76	0.05
31	1071	0.6	850	2428.38	62.58	2353.67	62.12	3.08	0.74
31	1071	0.6	900	2501.65	64.07	2428.74	63.13	2.91	1.47
31	1071	0.6	950	2574.94	65.57	2503.77	64.10	2.76	2.24
31	1071	0.6	1000	2648.23	67.07	2578.77	65.03	2.62	3.04
31	1071	0.6	1050	2721.53	68.56	2653.74	65.91	2.49	3.87
31	1071	0.6	1100	2794.83	70.06	2728.68	66.75	2.37	4.73

Tabel A7 (Lanjutan)

T	P	x	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	wt %	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.7	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.7	50	1183.79	35.01	1146.39	36.94	3.16	5.52
31	1071	0.7	100	1259.67	38.47	1222.31	39.16	2.97	1.80
31	1071	0.7	150	1335.53	41.15	1298.14	41.27	2.80	0.30
31	1071	0.7	200	1411.37	42.44	1373.90	43.27	2.66	1.97
31	1071	0.7	250	1487.22	44.56	1449.57	45.19	2.53	1.39
31	1071	0.7	300	1563.08	46.25	1525.18	47.01	2.42	1.64
31	1071	0.7	350	1646.20	47.89	1600.72	48.74	2.76	1.77
31	1071	0.7	400	1722.10	49.05	1676.19	50.39	2.67	2.72
31	1071	0.7	450	1797.96	50.54	1751.61	51.96	2.58	2.81
31	1071	0.7	500	1873.87	51.94	1826.96	53.45	2.50	2.91
31	1071	0.7	550	1969.27	53.34	1902.27	54.88	3.40	2.88
31	1071	0.7	600	2044.41	54.75	1977.52	56.24	3.27	2.72
31	1071	0.7	650	2119.61	56.15	2052.72	57.53	3.16	2.46
31	1071	0.7	700	2194.77	57.55	2127.87	58.76	3.05	2.10
31	1071	0.7	750	2269.93	58.95	2202.98	59.94	2.95	1.66
31	1071	0.7	800	2345.10	60.36	2278.05	61.05	2.86	1.15
31	1071	0.7	850	2430.28	61.76	2353.08	62.12	3.18	0.58
31	1071	0.7	900	2503.66	63.16	2428.07	63.14	3.02	0.04
31	1071	0.7	950	2577.05	64.57	2503.02	64.11	2.87	0.71
31	1071	0.7	1000	2650.44	65.97	2577.95	65.03	2.74	1.43
31	1071	0.7	1050	2723.84	67.37	2652.84	65.91	2.61	2.17
31	1071	0.7	1100	2811.33	68.78	2727.70	66.75	2.97	2.95
31	1071	0.7	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.7	50	1184.00	35.01	1146.30	36.94	3.18	5.52

Tabel A7 (Lanjutan)

T	P	x	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
C	psi	wt %	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.7	100	1260.02	38.47	1222.09	39.16	3.01	1.80
31	1071	0.7	150	1336.01	41.15	1297.81	41.27	2.86	0.30
31	1071	0.7	200	1412.00	42.44	1373.46	43.28	2.73	1.97
31	1071	0.7	250	1487.98	44.56	1449.05	45.19	2.62	1.40
31	1071	0.7	300	1563.98	46.25	1524.57	47.01	2.52	1.64
31	1071	0.7	350	1647.26	47.56	1600.03	48.74	2.87	2.48
31	1071	0.7	400	1723.29	49.86	1675.43	50.39	2.78	1.05
31	1071	0.7	450	1799.29	50.17	1750.78	51.96	2.70	3.56
31	1071	0.7	500	1875.34	51.48	1826.07	53.45	2.63	3.84
31	1071	0.7	550	1970.92	53.18	1901.32	54.88	3.53	3.20
31	1071	0.7	600	2046.20	54.57	1976.52	56.24	3.41	3.06
31	1071	0.7	650	2121.53	55.96	2051.68	57.53	3.29	2.81
31	1071	0.7	700	2196.83	57.35	2126.80	58.76	3.19	2.47
31	1071	0.7	750	2272.13	58.74	2201.88	59.94	3.09	2.04
31	1071	0.7	800	2347.44	60.13	2276.92	61.06	3.00	1.54
31	1071	0.7	850	2432.78	61.52	2351.92	62.12	3.32	0.98
31	1071	0.7	900	2506.29	62.91	2426.90	63.14	3.17	0.37
31	1071	0.7	950	2579.82	64.30	2501.84	64.11	3.02	0.30
31	1071	0.7	1000	2653.35	65.69	2576.76	65.03	2.89	1.00
31	1071	0.7	1050	2726.88	67.08	2651.64	65.91	2.76	1.74
31	1071	0.7	1100	2800.43	68.47	2726.50	66.75	2.64	2.51
31	1071	0.9	0	1071	31	1071	31	0	0
31	1071	0.9	50	1184.08	36.01	1146.24	36.94	3.20	2.59
31	1071	0.9	100	1260.14	38.47	1221.97	39.16	3.03	1.80
31	1071	0.9	150	1336.18	41.15	1297.64	41.27	2.88	0.30

Tabel A7 (Lanjutan)

T	P	x	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	wt %	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.9	200	1412.21	42.44	1373.23	43.28	2.76	1.97
31	1071	0.9	250	1488.25	44.56	1448.75	45.19	2.65	1.40
31	1071	0.9	300	1564.29	46.25	1524.21	47.01	2.56	1.64
31	1071	0.9	350	1647.62	48.56	1599.61	48.74	2.91	0.38
31	1071	0.9	400	1723.70	50.08	1674.96	50.39	2.83	0.62
31	1071	0.9	450	1799.75	52.07	1750.25	51.96	2.75	0.22
31	1071	0.9	500	1875.85	53.96	1825.48	53.46	2.68	0.93
31	1071	0.9	550	1971.48	55.72	1900.67	54.88	3.59	1.50
31	1071	0.9	600	2046.81	57.54	1975.82	56.24	3.47	2.26
31	1071	0.9	650	2122.20	59.36	2050.92	57.53	3.36	3.08
31	1071	0.9	700	2197.54	61.18	2125.98	58.77	3.26	3.95
31	1071	0.9	750	2272.89	63.00	2201.00	59.94	3.16	4.86
31	1071	0.9	800	2348.25	64.82	2275.98	61.06	3.08	5.80
31	1071	0.9	850	2433.64	66.64	2350.93	62.13	3.40	6.78
31	1071	0.9	900	2507.20	68.46	2425.85	63.14	3.24	7.77
31	1071	0.9	950	2580.77	70.28	2500.73	64.11	3.10	8.78
31	1071	0.9	1000	2654.35	72.10	2575.59	65.04	2.97	9.80
31	1071	0.9	1050	2727.93	73.92	2650.42	65.92	2.84	10.83
31	1071	0.9	1100	2801.52	75.74	2725.22	66.76	2.72	11.86
AVERAGE ERROR								2.77	2.15

LAMPIRAN B Validasi Pemodelan Temperatur dan Tekanan pada Reservoir Validasi model pada reservoir dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan hasil simulasi pada perangkat lunak COMSOL Multiphysics. Pada Tabel B1, tekanan injeksi CO₂ divariasikan, laju aliran massa dan temperatur injeksi yang tetap. Nilai variasi berada diantara nilai 1071 hingga 1200 psi.

Tabel B1 Validasi model injeksi CO₂ terhadap variasi laju aliran massa injeksi

m	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error		
	m/s	x	y	P	T	P	T	P	T
0.2	0	0	1897.21	62.00	1931.80	61.07	1.82	1.50	
0.2	10	0	1889.20	61.30	1909.50	61.07	1.07	0.38	
0.2	20	0	1872.15	61.30	1887.13	61.06	0.80	0.39	
0.2	30	0	1835.05	61.27	1864.67	61.05	1.61	0.36	
0.2	40	0	1797.92	61.22	1842.12	61.04	2.46	0.28	
0.2	50	0	1760.75	61.20	1819.49	61.04	3.34	0.27	
0.2	60	0	1753.55	61.17	1796.78	61.03	2.47	0.24	
0.2	70	0	1726.36	61.15	1773.98	61.02	2.76	0.21	
0.2	80	0	1704.17	61.12	1751.10	61.02	2.75	0.17	
0.2	90	0	1681.99	61.09	1728.13	61.01	2.74	0.14	
0.2	100	0	1659.80	61.07	1705.07	61.00	2.73	0.11	
0.3	0	0	1897.21	64.00	1900.95	63.93	0.20	0.11	
0.3	10	0	1889.20	63.30	1869.23	63.86	1.06	0.89	
0.3	20	0	1872.15	63.30	1837.29	63.79	1.86	0.78	
0.3	30	0	1835.05	63.27	1805.11	63.72	1.63	0.72	
0.3	40	0	1797.92	63.22	1772.70	63.65	1.40	0.69	
0.3	50	0	1760.75	63.20	1740.07	63.59	1.17	0.61	
0.3	60	0	1723.55	63.17	1707.20	63.53	0.95	0.56	
0.3	70	0	1686.30	63.15	1674.10	63.47	0.72	0.50	
0.3	80	0	1649.01	63.12	1640.77	63.41	0.50	0.45	

Tabel B1 (Lanjutan)

m	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	m/s	x	y	P	T	P	T	P
0.3	90	0	1611.69	63.09	1607.21	63.34	0.28	0.40
0.3	100	0	2403.69	63.07	2363.81	63.28	1.66	0.34
0.4	0	0	2875.50	66.00	2875.50	65.70	0.00	0.45
0.4	10	0	2838.62	65.30	2834.65	65.60	0.14	0.46
0.4	20	0	2801.70	65.30	2793.76	65.50	0.28	0.31
0.4	30	0	2764.74	65.27	2752.82	65.40	0.43	0.20
0.4	40	0	2727.75	65.22	2711.85	65.30	0.58	0.13
0.4	50	0	2690.71	65.20	2670.83	65.21	0.74	0.01
0.4	60	0	2653.64	65.17	2629.77	65.12	0.90	0.09
0.4	70	0	2616.53	65.14	2588.66	65.03	1.07	0.17
0.4	80	0	2579.38	65.11	2547.51	64.94	1.24	0.26
0.4	90	0	2542.19	65.08	2506.32	64.85	1.41	0.34
0.4	100	0	2504.96	65.05	2465.09	64.77	1.59	0.42
0.5	0	0	1875.50	67.00	1870.35	67.10	0.27	0.15
0.5	10	0	1838.62	66.30	1822.32	66.98	0.89	1.03
0.5	20	0	1801.70	66.30	1773.69	66.86	1.55	0.84
0.5	30	0	1764.74	66.27	1724.47	66.74	2.28	0.70
0.5	40	0	1727.75	66.26	1674.64	66.62	3.07	0.54
0.5	50	0	1690.71	66.24	1624.21	66.51	3.93	0.39
0.5	60	0	1653.64	66.23	1573.18	66.39	4.87	0.25
0.5	70	0	1616.53	66.21	1521.54	66.29	5.88	0.11
0.5	80	0	1579.38	66.20	1469.30	66.18	6.97	0.03
0.5	90	0	1542.19	66.19	1416.44	66.08	8.15	0.16
0.5	100	0	1504.96	66.17	1362.97	65.98	9.43	0.30
AVERAGE ERROR							2.08	0.40

Pada Tabel B2 temperatur injeksi CO₂ divariasikan dengan tekanan dan laju aliran massa injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 31 hingga 40 °C.

Tabel B2 Validasi model injeksi CO₂ terhadap variasi temperatur injeksi

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	x	y	P	T	P	T	P	T
31	0	0	1897.21	64.00	1900.95	63.93	0.20	0.11
31	10	0	1889.20	63.30	1869.23	63.86	1.06	0.89
31	20	0	1872.15	63.30	1837.29	63.79	1.86	0.78
31	30	0	1835.05	63.27	1805.11	63.72	1.63	0.72
31	40	0	1797.92	63.22	1772.70	63.65	1.40	0.69
31	50	0	1760.75	63.20	1740.07	63.59	1.17	0.61
31	60	0	1723.55	63.17	1707.20	63.53	0.95	0.56
31	70	0	1686.30	63.15	1674.10	63.47	0.72	0.50
31	80	0	1649.01	63.12	1640.77	63.41	0.50	0.45
31	90	0	1611.69	63.09	1607.21	63.35	0.28	0.40
31	100	0	1574.33	63.07	1573.41	63.29	0.06	0.36
32	0	0	1875.42	64.00	1885.29	64.00	0.53	0.00
32	10	0	1871.40	64.11	1853.89	64.41	0.94	0.46
32	20	0	1865.45	64.11	1822.25	64.33	2.32	0.34
32	30	0	1773.26	64.10	1790.37	64.24	0.97	0.23
32	40	0	1759.12	64.12	1758.26	64.17	0.05	0.08
32	50	0	1710.05	64.15	1725.90	64.09	0.93	0.10
32	60	0	1667.15	64.17	1693.31	64.02	1.57	0.25
32	70	0	1624.24	64.20	1660.48	63.94	2.23	0.39

Tabel B2 (Lanjutan)

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	C	x	y	P	T	P	T	P
32	80	0	1581.34	64.22	1627.42	63.87	2.91	0.54
32	90	0	1538.44	64.24	1594.11	63.80	3.62	0.68
32	100	0	1495.53	64.26	1560.57	63.74	4.35	0.82
33	0	0	1827.62	65.01	1869.64	64.89	2.30	0.19
33	10	0	1827.61	64.92	1838.55	64.79	0.60	0.20
33	20	0	1826.55	64.92	1807.22	64.70	1.06	0.34
33	30	0	1733.46	64.93	1775.64	64.61	2.43	0.49
33	40	0	1732.92	64.92	1743.81	64.52	0.63	0.61
33	50	0	1704.57	64.92	1711.74	64.44	0.42	0.74
33	60	0	1676.21	64.92	1679.43	64.36	0.19	0.87
33	70	0	1647.86	64.92	1646.87	64.28	0.06	0.99
33	80	0	1619.50	64.92	1614.07	64.20	0.34	1.11
33	90	0	1591.15	64.92	1581.02	64.12	0.64	1.22
33	100	0	1562.79	64.92	1547.74	64.05	0.96	1.34
34	0	0	1843.83	65.01	1853.99	65.36	0.55	0.54
34	10	0	1826.81	64.74	1823.21	65.26	0.20	0.81
34	20	0	1769.75	64.74	1792.18	65.16	1.27	0.65
34	30	0	1763.66	64.76	1760.90	65.06	0.16	0.45
34	40	0	1725.53	64.77	1729.37	64.96	0.22	0.29
34	50	0	1698.35	64.79	1697.58	64.86	0.05	0.12
34	60	0	1676.24	64.80	1665.54	64.77	0.64	0.04
34	70	0	1651.01	64.81	1633.26	64.68	1.08	0.20
34	80	0	1625.77	64.83	1600.72	64.60	1.54	0.36
34	90	0	1600.54	64.84	1567.93	64.51	2.04	0.51
34	100	0	1575.31	64.85	1534.90	64.43	2.57	0.66
35	0	0	1843.03	65.75	1838.34	65.84	0.25	0.14

Tabel B2 (Lanjutan)

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	x	y	P	T	P	T	P	T
35	10	0	1826.01	65.55	1807.88	65.72	0.99	0.27
35	20	0	1768.95	65.45	1777.16	65.61	0.46	0.25
35	30	0	1738.59	65.28	1746.17	65.50	0.44	0.33
35	40	0	1701.55	65.13	1714.93	65.39	0.79	0.40
35	50	0	1664.52	64.98	1683.43	65.29	1.14	0.47
35	60	0	1627.48	64.83	1651.67	65.19	1.49	0.54
35	70	0	1590.44	64.69	1619.65	65.09	1.84	0.62
35	80	0	1553.41	64.54	1587.37	64.99	2.19	0.71
35	90	0	1516.37	64.39	1554.85	64.90	2.54	0.79
35	100	0	1479.33	64.24	1522.06	64.80	2.89	0.89
36	0	0	2742.23	66.02	2742.23	66.32	0.00	0.45
36	10	0	2705.21	65.36	2701.24	66.19	0.15	1.27
36	20	0	2668.16	65.36	1822.70	66.07	31.69	1.08
36	30	0	2631.06	65.43	1792.55	65.95	31.87	0.80
36	40	0	2593.93	65.32	1762.13	65.83	32.07	0.78
36	50	0	2556.75	64.32	1731.45	65.71	32.28	2.16
36	60	0	2519.54	64.16	1700.49	65.60	32.51	2.25
36	70	0	2482.29	63.61	1669.27	65.49	32.75	2.97
36	80	0	2445.00	63.13	1637.79	65.39	33.01	3.58
36	90	0	2407.67	62.65	1606.04	65.28	33.29	4.21
36	100	0	2370.30	62.17	1574.03	65.18	33.59	4.85
37	0	0	1841.43	66.73	1807.06	66.80	1.87	0.10
37	10	0	1794.42	66.57	1777.23	66.66	0.96	0.13
37	20	0	1767.36	66.18	1747.11	66.52	1.15	0.52
37	30	0	1730.26	65.94	1716.72	66.39	0.78	0.68
37	40	0	1699.86	65.67	1686.06	66.26	0.81	0.91

Tabel B2 (Lanjutan)

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	C	x	y	P	T	P	T	P
37	50	0	1667.78	65.39	1655.12	66.14	0.76	1.14
37	60	0	1635.70	65.11	1623.92	66.01	0.72	1.38
37	70	0	1603.62	64.84	1592.44	65.90	0.70	1.63
37	80	0	1571.54	64.56	1560.69	65.78	0.69	1.89
37	90	0	1539.47	64.28	1528.68	65.67	0.70	2.15
37	100	0	1507.39	64.01	1496.39	65.56	0.73	2.42
38	0	0	1774.64	67.04	1791.43	67.28	0.95	0.35
38	10	0	1770.62	66.99	1761.91	67.12	0.49	0.21
38	20	0	1766.56	66.79	1732.10	66.98	1.95	0.28
38	30	0	1762.46	66.49	1702.01	66.83	3.43	0.52
38	40	0	1692.32	66.21	1671.63	66.70	1.22	0.74
38	50	0	1655.15	65.93	1640.98	66.56	0.86	0.96
38	60	0	1651.93	65.82	1610.05	66.43	2.54	0.92
38	70	0	1598.28	65.79	1578.84	66.30	1.22	0.78
38	80	0	1561.40	65.42	1547.35	66.17	0.90	1.16
38	90	0	1524.53	65.10	1515.59	66.05	0.59	1.46
38	100	0	1487.65	65.01	1483.56	65.93	0.28	1.42
39	0	0	1739.84	67.05	1775.80	67.75	2.07	1.05
39	10	0	1702.82	66.80	1746.59	67.59	2.57	1.19
39	20	0	1696.76	66.81	1717.09	67.43	1.20	0.94
39	30	0	1678.66	65.92	1687.29	67.28	0.51	2.06
39	40	0	1661.52	65.72	1657.21	67.13	0.26	2.14
39	50	0	1641.68	65.73	1626.84	66.98	0.90	1.91
39	60	0	1623.60	65.27	1596.18	66.84	1.69	2.41
39	70	0	1605.52	64.96	1565.24	66.70	2.51	2.68

Tabel B2 (Lanjutan)

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	x	y	P	T	P	T	P	T
39	80	0	1587.44	64.66	1534.02	66.57	3.37	2.96
39	90	0	1569.36	64.35	1502.52	66.44	4.26	3.24
39	100	0	1551.28	64.04	1470.73	66.31	5.19	3.54
40	0	0	1789.04	68.76	1760.18	68.23	1.61	0.77
40	10	0	1702.02	68.62	1731.28	68.06	1.72	0.81
40	20	0	1664.95	67.63	1702.09	67.89	2.23	0.39
40	30	0	1627.86	67.66	1672.59	67.72	2.75	0.09
40	40	0	1590.72	67.53	1642.79	67.56	3.27	0.05
40	50	0	1553.54	67.54	1612.70	67.41	3.81	0.19
40	60	0	1516.42	67.61	1582.32	67.25	4.35	0.53
40	70	0	1479.26	67.55	1551.65	67.11	4.89	0.65
40	80	0	1442.12	67.53	1520.69	66.96	5.45	0.84
40	90	0	1404.97	67.52	1489.44	66.82	6.01	1.03
40	100	0	1367.82	67.50	1457.90	66.68	6.59	1.21
AVERAGE ERROR							4.09	0.95

Pada Tabel B3 tekanan CO₂ divariasikan dengan tekanan dan temperatur injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 1071 hingga 1200 psi.

Tabel B3 Validasi model injeksi CO₂ terhadap tekanan injeksi

P psi	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	x	y	P	T	P	T	P	T
1071	0	0	1897.21	64.00	1900.95	63.93	0.20	0.11
1071	10	0	1889.20	63.30	1869.23	63.86	1.06	0.89
1071	20	0	1872.15	63.30	1837.29	63.79	1.86	0.78

Tabel B3 (Lanjutan)

P psi	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	x	y	P	T	P	T	P	T
1071	30	0	1835.05	63.27	1805.11	63.72	1.63	0.72
1071	40	0	1797.92	63.22	1772.70	63.65	1.40	0.69
1071	50	0	1760.75	63.20	1740.07	63.59	1.17	0.61
1071	60	0	1723.55	63.17	1707.20	63.53	0.95	0.56
1071	70	0	1686.30	63.15	1674.10	63.47	0.72	0.50
1071	80	0	1649.01	63.12	1640.77	63.41	0.50	0.45
1071	90	0	1611.69	63.09	1607.21	63.35	0.28	0.40
1071	100	0	1574.33	63.07	1573.41	63.29	0.06	0.36
1100	0	0	1897.21	64.00	1950.80	63.99	2.82	0.02
1100	10	0	1889.20	63.30	1919.40	63.91	1.60	0.97
1100	20	0	1872.15	63.30	1887.77	63.84	0.83	0.86
1100	30	0	1835.05	63.27	1855.92	63.77	1.14	0.80
1100	40	0	1797.92	63.22	1823.83	63.71	1.44	0.78
1100	50	0	1760.75	63.20	1791.51	63.64	1.75	0.69
1100	60	0	1723.55	63.17	1758.96	63.58	2.05	0.64
1100	70	0	1686.30	63.15	1726.18	63.51	2.37	0.58
1100	80	0	1649.01	63.12	1693.18	63.45	2.68	0.53
1100	90	0	1611.69	63.09	1659.94	63.39	2.99	0.47
1100	100	0	1574.33	63.07	1626.47	63.33	3.31	0.43
1200	0	0	2127.21	64.00	2122.76	64.18	0.21	0.28
1200	10	0	2089.20	63.30	2092.46	64.10	0.16	1.27
1200	20	0	2072.15	63.30	2061.93	64.03	0.49	1.16
1200	30	0	2035.05	63.27	2031.16	63.95	0.19	1.08
1200	40	0	1997.92	63.22	2000.17	63.88	0.11	1.05
1200	50	0	1960.75	63.20	1968.96	63.81	0.42	0.96
1200	60	0	1923.55	63.17	1937.51	63.74	0.73	0.90

Tabel B3 (Lanjutan)

P psi	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	x	y	P	T	P	T	P	T
1200	70	0	1886.30	63.15	1905.84	63.67	1.04	0.83
1200	80	0	1849.01	63.12	1873.94	63.61	1.35	0.77
1200	90	0	1811.69	63.09	1841.81	63.54	1.66	0.71
1200	100	0	1774.33	63.07	1809.45	63.48	1.98	0.66
AVERAGE ERROR							1.25	0.68

Pada Tabel B4 teknana injeksi surfaktan divariasikan dengan laju aliran massa, temperatur dan konsentrasi injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 1071 hingga 1200 psi

Tabel B4 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi tekanan

P psi	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	x	y	P	T	P	T	P	T
1071	0	0	2546.21	65.00	2576.64	65.02	1.20	0.03
1071	10	0	2509.20	64.30	2541.33	64.69	1.28	0.61
1071	20	0	2472.15	64.30	2505.98	64.38	1.37	0.13
1071	30	0	2435.05	64.27	2470.60	64.09	1.46	0.27
1071	40	0	2398.02	64.26	2435.19	63.83	1.55	0.66
1071	50	0	2360.97	64.24	2399.74	63.59	1.64	1.02
1071	60	0	2323.91	64.23	2364.27	63.37	1.74	1.34
1071	70	0	2286.86	64.21	2328.76	63.16	1.83	1.64
1071	80	0	2249.81	64.20	2293.22	62.98	1.93	1.91
1071	90	0	2212.75	64.19	2257.65	62.80	2.03	2.16
1071	100	0	2175.70	64.17	2222.04	62.64	2.13	2.38
1100	0	0	2646.21	65.00	2605.70	65.02	1.53	0.02
1100	10	0	2609.20	64.30	2570.41	64.68	1.49	0.60

Tabel B4 (Lanjutan)

P	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	psi	x	y	P	T	P	T	P
1100	20	0	2572.15	64.30	2535.08	64.37	1.44	0.12
1100	30	0	2535.05	64.27	2499.73	64.09	1.39	0.28
1100	40	0	2498.02	64.26	2464.34	63.83	1.35	0.67
1100	50	0	2460.97	64.24	2428.92	63.59	1.30	1.02
1100	60	0	2423.91	64.23	2393.48	63.37	1.26	1.35
1100	70	0	2386.86	64.21	2357.99	63.16	1.21	1.64
1100	80	0	2349.81	64.20	2322.48	62.97	1.16	1.91
1100	90	0	2312.75	64.19	2286.93	62.80	1.12	2.16
1100	100	0	2275.70	64.17	2251.36	62.64	1.07	2.39
1200	0	0	2846.21	65.00	2875.50	65.00	1.03	0.01
1200	10	0	2809.20	64.30	2834.65	64.66	0.91	0.57
1200	20	0	2772.15	64.30	2793.76	64.36	0.78	0.09
1200	30	0	2735.05	64.27	2752.82	64.07	0.65	0.30
1200	40	0	2698.02	64.26	2711.85	63.81	0.51	0.69
1200	50	0	2660.97	64.24	2670.83	63.57	0.37	1.04
1200	60	0	2623.91	64.23	2629.77	63.35	0.22	1.37
1200	70	0	2586.86	64.21	2588.66	63.15	0.07	1.66
1200	80	0	2549.81	64.20	2547.51	62.96	0.09	1.93
1200	90	0	2512.75	64.19	2506.32	62.79	0.26	2.18
1200	100	0	2475.70	64.17	2465.09	62.63	0.43	2.41
AVERAGE ERROR							1.14	1.11

Pada Tabel B5 laju aliran massa injeksi surfaktan divariasikan dengan laju aliran massa, temperatur dan konsentrasi injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 0.2 hingga 0.3044 m/s

Tabel B5 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi laju aliran massa

m	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	m/s	x	y	P	T	P	T	P
0.2	0	0	2546.21	65.00	2573.95	65.27	1.09	0.41
0.2	10	0	2539.20	64.30	2550.74	64.88	0.45	0.91
0.2	20	0	2522.15	64.30	2527.52	64.53	0.21	0.36
0.2	30	0	2535.05	64.27	2504.29	64.21	1.21	0.10
0.2	40	0	2497.92	64.26	2481.04	63.91	0.68	0.54
0.2	50	0	2497.89	64.24	2457.78	63.64	1.61	0.94
0.2	60	0	2487.82	64.23	2434.51	63.40	2.14	1.30
0.2	70	0	2477.74	64.21	2411.22	63.17	2.68	1.63
0.2	80	0	2467.67	64.20	2387.92	62.96	3.23	1.93
0.2	90	0	2457.60	64.19	2364.60	62.77	3.78	2.20
0.2	100	0	2447.53	64.17	2341.27	62.60	4.34	2.45
0.3	0	0	2546.21	65.00	2576.64	65.02	1.20	0.03
0.3	10	0	2509.20	64.30	2541.33	64.69	1.28	0.61
0.3	20	0	2472.15	64.30	2505.98	64.38	1.37	0.13
0.3	30	0	2435.05	64.27	2470.60	64.09	1.46	0.27
0.3	40	0	2398.02	64.26	2435.19	63.83	1.55	0.66
0.3	50	0	2360.97	64.24	2399.74	63.59	1.64	1.02
0.3	60	0	2323.91	64.23	2364.27	63.37	1.74	1.34
0.3	70	0	2286.86	64.21	2328.76	63.16	1.83	1.64
0.3	80	0	2249.81	64.20	2293.22	62.98	1.93	1.91
0.3	90	0	2212.75	64.19	2257.65	62.80	2.03	2.16
0.3	100	0	2175.70	64.17	2222.04	62.64	2.13	2.38

Tabel B5 (Lanjutan)

m	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	m/s	x	y	P	T	P	T	P
0.4	0	0	2546.21	65.00	2580.27	64.81	1.34	0.29
0.4	10	0	2539.20	64.30	2533.86	64.51	0.21	0.34
0.4	20	0	2522.15	64.30	2487.40	64.24	1.38	0.10
0.4	30	0	2535.05	64.27	2440.89	63.98	3.71	0.45
0.4	40	0	2497.92	64.26	2394.32	63.74	4.15	0.81
0.4	50	0	2447.89	64.24	2347.70	63.52	4.09	1.13
0.4	60	0	2387.82	64.23	2301.02	63.31	3.64	1.43
0.4	70	0	2344.23	64.21	2254.28	63.12	3.84	1.70
0.4	80	0	2295.06	64.20	2207.49	62.95	3.82	1.95
0.4	90	0	2245.89	64.19	2160.65	62.79	3.80	2.18
0.4	100	0	2196.71	64.17	2113.75	62.64	3.78	2.39
0.5	0	0	2546.21	65.00	2585.12	64.61	1.53	0.60
0.5	10	0	2539.20	64.30	2527.12	64.34	0.48	0.06
0.5	20	0	2522.15	64.30	2469.04	64.08	2.11	0.33
0.5	30	0	2535.05	64.27	2410.87	63.85	4.90	0.65
0.5	40	0	2497.92	64.26	2352.61	63.63	5.82	0.98
0.5	50	0	2347.89	64.24	2294.27	63.43	2.28	1.27
0.5	60	0	2287.82	64.23	2235.84	63.24	2.27	1.54
0.5	70	0	2241.42	64.21	2177.33	63.06	2.86	1.79
0.5	80	0	2175.84	64.20	2118.73	62.90	2.62	2.02
0.5	90	0	2110.25	64.19	2060.04	62.75	2.38	2.24
0.5	100	0	2044.67	64.17	2001.27	62.61	2.12	2.43
AVERAGE ERROR							2.33	1.17

Pada Tabel B6 temperatur injeksi surfaktan divariasikan dengan tekanan, laju aliran massa dan konsentrasi injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 31 hingga 40 °C

Tabel B6 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi temperatur injeksi

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	C°	x	y	P	T	P	T	P
31	0	0	2546.21	65.00	2576.64	65.02	1.20	0.03
31	10	0	2509.20	64.30	2541.33	64.69	1.28	0.61
31	20	0	2472.15	64.30	2505.98	64.38	1.37	0.13
31	30	0	2435.05	64.27	2470.60	64.09	1.46	0.27
31	40	0	2398.02	64.26	2435.19	63.83	1.55	0.66
31	50	0	2360.97	64.24	2399.74	63.59	1.64	1.02
31	60	0	2323.91	64.23	2364.27	63.37	1.74	1.34
31	70	0	2286.86	64.21	2328.76	63.16	1.83	1.64
31	80	0	2249.81	64.20	2293.22	62.98	1.93	1.91
31	90	0	2212.75	64.19	2257.65	62.80	2.03	2.16
31	100	0	2175.70	64.17	2222.04	62.64	2.13	2.38
32	0	0	2574.42	65.02	2576.19	65.38	0.07	0.56
32	10	0	2570.40	65.11	2540.88	65.02	1.15	0.14
32	20	0	2566.35	65.11	2505.53	64.68	2.37	0.66
32	30	0	2563.26	65.10	2470.15	64.38	3.63	1.11
32	40	0	2497.12	64.12	2434.73	64.09	2.50	0.04
32	50	0	2439.95	64.12	2399.29	63.83	1.67	0.45
32	60	0	2376.81	64.11	2363.81	63.59	0.55	0.81
32	70	0	2315.16	64.10	2328.31	63.37	0.57	1.14
32	80	0	2253.51	64.10	2292.77	63.16	1.74	1.46

Tabel B6 (Lanjutan)

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	C°	x	y	P	T	P	T	P
32	90	0	2191.86	64.09	2257.19	62.97	2.98	1.74
32	100	0	2130.21	64.09	2221.59	62.80	4.29	2.01
33	0	0	2544.62	66.01	2575.74	65.74	1.22	0.41
33	10	0	2517.61	65.92	2540.43	65.35	0.91	0.87
33	20	0	2506.55	65.92	2505.08	64.99	0.06	1.42
33	30	0	2484.86	64.93	2469.70	64.66	0.61	0.42
33	40	0	2465.82	64.92	2434.28	64.35	1.28	0.87
33	50	0	2446.78	64.42	2398.84	64.07	1.96	0.55
33	60	0	2427.75	64.02	2363.36	63.81	2.65	0.33
33	70	0	2408.71	63.62	2327.85	63.57	3.36	0.08
33	80	0	2389.68	63.22	2292.31	63.35	4.07	0.20
33	90	0	2370.64	62.82	2256.74	63.15	4.80	0.52
33	100	0	2351.61	62.42	2256.74	62.96	4.03	0.87
34	0	0	2544.62	66.01	2575.29	66.10	1.21	0.13
34	10	0	2517.61	65.74	2539.98	65.68	0.89	0.09
34	20	0	2506.55	65.74	2504.63	65.29	0.08	0.68
34	30	0	2484.86	64.76	2469.24	64.94	0.63	0.27
34	40	0	2465.82	64.72	2433.83	64.61	1.30	0.17
34	50	0	2446.78	64.72	2398.39	64.31	1.98	0.64
34	60	0	2427.75	63.73	2362.91	64.03	2.67	0.46
34	70	0	2408.71	63.52	2327.40	63.77	3.38	0.40
34	80	0	2389.68	63.11	2291.86	63.54	4.09	0.67
34	90	0	2370.64	62.71	2256.29	63.32	4.82	0.97
34	100	0	2351.61	62.30	2220.68	63.12	5.57	1.30
35	0	0	2544.62	67.02	2574.84	66.46	1.19	0.84

Tabel B6 (Lanjutan)

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	C ^o	x	y	P	T	P	T	P
35	10	0	2517.61	66.60	2539.53	66.01	0.87	0.88
35	20	0	2506.55	66.55	2504.17	65.60	0.09	1.43
35	30	0	2484.86	65.59	2468.79	65.22	0.65	0.58
35	40	0	2465.82	65.36	2433.38	64.87	1.32	0.76
35	50	0	2446.78	64.93	2397.93	64.54	2.00	0.59
35	60	0	2427.75	64.50	2362.46	64.25	2.69	0.39
35	70	0	2408.71	64.06	2326.95	63.97	3.39	0.14
35	80	0	2389.68	63.63	2291.40	63.72	4.11	0.14
35	90	0	2370.64	63.20	2255.83	63.49	4.84	0.46
35	100	0	2351.61	62.77	2220.23	63.28	5.59	0.81
36	0	0	2544.62	67.02	2574.39	66.81	1.17	0.31
36	10	0	2517.61	67.02	2539.07	66.34	0.85	1.02
36	20	0	2506.55	66.56	2503.72	65.90	0.11	1.00
36	30	0	2484.86	66.43	2468.34	65.50	0.66	1.40
36	40	0	2465.82	66.32	2432.93	65.12	1.33	1.80
36	50	0	2446.78	66.32	2397.48	64.78	2.02	2.32
36	60	0	2427.75	66.04	2362.00	64.47	2.71	2.38
36	70	0	2408.71	65.87	2326.49	64.18	3.41	2.58
36	80	0	2389.68	65.71	2290.95	63.91	4.13	2.74
36	90	0	2370.64	65.54	2255.38	63.66	4.86	2.87
36	100	0	2351.61	65.38	2219.77	63.43	5.61	2.98
37	0	0	2544.62	67.02	2573.94	67.17	1.15	0.22
37	10	0	2517.61	67.02	2538.62	66.67	0.83	0.52
37	20	0	2506.55	66.56	2503.27	66.20	0.13	0.54
37	30	0	2484.86	66.43	2467.89	65.78	0.68	0.98

Tabel B6 (Lanjutan)

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	C°	x	y	P	T	P	T	P
37	40	0	2465.82	66.32	2432.47	65.38	1.35	1.41
37	50	0	2446.78	66.32	2397.03	65.02	2.03	1.96
37	60	0	2427.75	66.04	2361.55	64.69	2.73	2.05
37	70	0	2408.71	65.87	2326.04	64.38	3.43	2.27
37	80	0	2389.68	65.71	2290.50	64.10	4.15	2.46
37	90	0	2370.64	65.54	2254.92	63.83	4.88	2.61
37	100	0	2351.61	65.38	2219.32	63.59	5.63	2.73
38	0	0	2544.62	67.02	2573.49	67.53	1.13	0.76
38	10	0	2517.61	67.02	2538.17	67.00	0.82	0.03
38	20	0	2506.55	66.56	2502.82	66.51	0.15	0.08
38	30	0	2484.86	66.43	2467.44	66.06	0.70	0.55
38	40	0	2465.82	66.32	2432.02	65.64	1.37	1.02
38	50	0	2446.78	66.32	2396.58	65.26	2.05	1.60
38	60	0	2427.75	66.04	2361.10	64.91	2.75	1.71
38	70	0	2408.71	65.87	2325.59	64.58	3.45	1.96
38	80	0	2389.68	65.71	2290.04	64.28	4.17	2.17
38	90	0	2370.64	65.54	2254.47	64.01	4.90	2.35
38	100	0	2351.61	65.38	2218.86	63.75	5.64	2.49
39	0	0	2544.62	67.02	2573.04	67.89	1.12	1.29
39	10	0	2517.61	67.02	2537.72	67.33	0.80	0.46
39	20	0	2506.55	66.56	2502.37	66.81	0.17	0.38
39	30	0	2484.86	66.43	2466.99	66.34	0.72	0.13
39	40	0	2465.82	66.32	2431.57	65.90	1.39	0.63
39	50	0	2446.78	66.32	2396.12	65.50	2.07	1.24
39	60	0	2427.75	66.04	2360.64	65.13	2.76	1.38

Tabel B6 (Lanjutan)

T	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	C ^o	x	y	P	T	P	T	P
39	70	0	2408.71	65.87	2325.13	64.78	3.47	1.65
39	80	0	2389.68	65.71	2289.59	64.47	4.19	1.89
39	90	0	2370.64	65.54	2254.01	64.18	4.92	2.08
39	100	0	2351.61	65.38	2218.41	63.91	5.66	2.25
40	0	0	2544.62	67.02	2572.59	68.25	1.10	1.83
40	10	0	2517.61	67.02	2537.27	67.66	0.78	0.96
40	20	0	2506.55	66.56	2501.92	67.12	0.18	0.83
40	30	0	2484.86	66.43	2466.53	66.62	0.74	0.29
40	40	0	2465.82	66.32	2431.12	66.16	1.41	0.24
40	50	0	2446.78	66.32	2395.67	65.74	2.09	0.88
40	60	0	2427.75	66.04	2360.19	65.35	2.78	1.05
40	70	0	2408.71	65.87	2324.68	64.99	3.49	1.35
40	80	0	2389.68	65.71	2289.14	64.66	4.21	1.60
40	90	0	2370.64	65.54	2253.56	64.35	4.94	1.82
40	100	0	2351.61	65.38	2217.95	64.07	5.68	2.01
AVERAGE ERROR							2.30587318	1.106446

Pada Tabel B7 konsentrasi injeksi surfaktan divariasikan dengan tekanan, temperatur dan laju aliran massa injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 0.5 hingga 0.9 wt%

Tabel B7 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi laju aliran massa injeksi

Konsentrasi (x) Wt%	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	x	y	P	T	P	T	P	T
0.5	0	0	2546.21	65.00	2576.64	65.02	1.20	0.03
0.5	10	0	2509.20	64.30	2541.33	64.69	1.28	0.61
0.5	20	0	2472.15	64.30	2505.98	64.38	1.37	0.13
0.5	30	0	2435.05	64.27	2470.60	64.09	1.46	0.27
0.5	40	0	2398.02	64.26	2435.19	63.83	1.55	0.66
0.5	50	0	2360.97	64.24	2399.74	63.59	1.64	1.02
0.5	60	0	2323.91	64.23	2364.27	63.37	1.74	1.34
0.5	70	0	2286.86	64.21	2328.76	63.16	1.83	1.64
0.5	80	0	2249.81	64.20	2293.22	62.98	1.93	1.91
0.5	90	0	2212.75	64.19	2257.65	62.80	2.03	2.16
0.5	100	0	2175.70	64.17	2222.04	62.64	2.13	2.38
0.6	0	0	2549.95	65.00	2578.77	65.03	1.13	0.04
0.6	10	0	2510.63	64.32	2543.45	64.69	1.31	0.58
0.6	20	0	2471.26	64.32	2508.10	64.38	1.49	0.10
0.6	30	0	2431.92	64.29	2472.72	64.10	1.68	0.29
0.6	40	0	2392.58	64.27	2437.31	63.84	1.87	0.68
0.6	50	0	2353.24	64.26	2401.87	63.59	2.07	1.03
0.6	60	0	2313.89	64.24	2366.40	63.37	2.27	1.36
0.6	70	0	2274.55	64.23	2330.89	63.17	2.48	1.65
0.6	80	0	2235.21	64.21	2295.35	62.98	2.69	1.92
0.6	90	0	2195.86	64.19	2259.78	62.80	2.91	2.16
0.6	100	0	2354.86	64.18	2224.18	62.64	5.55	2.39

Tabel B7 (Lanjutan)

Konsentrasi (x)	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	Wt%	x	y	P	T	P	T	P
0.7	0	0	2551.06	65.00	2577.95	65.03	1.05	0.04
0.7	10	0	2473.42	64.30	2542.63	64.69	2.80	0.61
0.7	20	0	2455.74	64.30	2507.28	64.38	2.10	0.14
0.7	30	0	2438.03	64.27	2471.90	64.10	1.39	0.26
0.7	40	0	2420.34	64.32	2436.49	63.84	0.67	0.75
0.7	50	0	2402.64	64.32	2401.05	63.60	0.07	1.12
0.7	60	0	2384.94	64.32	2365.58	63.37	0.81	1.47
0.7	70	0	2367.24	64.32	2330.07	63.17	1.57	1.79
0.7	80	0	2349.55	64.33	2294.53	62.98	2.34	2.10
0.7	90	0	2331.85	64.33	2258.96	62.80	3.13	2.37
0.7	100	0	2314.15	64.34	2223.36	62.64	3.92	2.63
0.8	0	0	2546.61	65.00	2576.76	65.03	1.18	0.05
0.8	10	0	2510.65	64.32	2541.44	64.70	1.23	0.59
0.8	20	0	2474.65	64.32	2506.09	64.39	1.27	0.11
0.8	30	0	2438.62	64.29	2470.71	64.10	1.32	0.29
0.8	40	0	2402.55	63.34	2435.30	63.84	1.36	0.79
0.8	50	0	2366.53	63.32	2399.85	63.60	1.41	0.44
0.8	60	0	2330.50	63.02	2364.38	63.38	1.45	0.56
0.8	70	0	2294.47	62.73	2328.87	63.17	1.50	0.71
0.8	80	0	2258.43	62.43	2293.33	62.98	1.55	0.88
0.8	90	0	2222.40	62.13	2257.76	62.81	1.59	1.08
0.8	100	0	2186.37	61.84	2222.16	62.65	1.64	1.31
0.9	0	0	2545.23	65.00	2575.59	65.04	1.19	0.05
0.9	10	0	2510.96	64.30	2540.27	64.70	1.17	0.63
0.9	20	0	2476.64	64.30	2504.92	64.39	1.14	0.15
0.9	30	0	2442.30	64.27	2469.54	64.11	1.12	0.26

Tabel B7 (Lanjutan)

Konsentrasi (x)	Jarak		COMSOL Multiphysics		Hasil Pemodelan		% Error	
	Wt%	x	y	P	T	P	T	P
0.9	40	0	2407.92	63.32	2434.13	63.84	1.09	0.83
0.9	50	0	2373.59	63.30	2398.68	63.60	1.06	0.47
0.9	60	0	2339.24	63.01	2363.20	63.38	1.02	0.59
0.9	70	0	2304.89	62.71	2327.70	63.17	0.99	0.74
0.9	80	0	2270.55	62.41	2292.15	62.98	0.95	0.92
0.9	90	0	2236.20	62.11	2256.58	62.81	0.91	1.12
0.9	100	0	2201.85	61.82	2220.98	62.65	0.87	1.34
AVERAGE ERROR							1.64	0.94

LAMPIRAN C Validasi Pemodelan Temperatur dan Tekanan pada Production well

Validasi model pada production well dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan hasil simulasi pada perangkat lunak PIPESIM. Pada Tabel C1, laju aliran massa CO₂ divariasikan, tekanan dan temperatur injeksi yang tetap. Nilai variasi berada diantara nilai 0.2 hingga 0.5 m/s.

Tabel C1 Validasi model injeksi CO₂ terhadap variasi laju aliran massa injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.2	1100	1705.40	61.09	1705.07	61.07	0.02	0.02
31	1071	0.2	1050	1657.73	60.09	1650.32	59.94	0.45	0.25
31	1071	0.2	1000	1599.71	58.94	1595.53	58.82	0.26	0.21
31	1071	0.2	950	1567.91	57.86	1540.70	57.72	1.74	0.26
31	1071	0.2	900	1493.32	56.75	1485.83	56.63	0.50	0.20
31	1071	0.2	850	1450.62	55.69	1430.92	55.57	1.36	0.22
31	1071	0.2	800	1399.22	54.59	1375.97	54.52	1.66	0.13
31	1071	0.2	750	1347.83	53.51	1320.99	53.50	1.99	0.01
31	1071	0.2	700	1296.43	52.42	1265.96	52.50	2.35	0.15
31	1071	0.2	650	1245.03	51.33	1210.90	51.52	2.74	0.36
31	1071	0.2	600	1193.63	50.24	1155.81	50.56	3.17	0.63
31	1071	0.2	550	1142.24	49.15	1100.68	49.62	3.64	0.96
31	1071	0.2	500	1090.84	48.06	1045.52	48.71	4.15	1.34
31	1071	0.2	450	999.44	46.98	990.33	47.82	0.91	1.80
31	1071	0.2	400	948.04	45.89	935.10	46.96	1.37	2.33
31	1071	0.2	350	884.64	44.80	879.85	46.12	0.54	2.95
31	1071	0.2	300	821.25	43.71	824.56	45.30	0.40	3.64

Tabel C1 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.2	250	757.85	42.62	769.25	44.51	1.50	4.44
31	1071	0.2	200	694.45	41.53	713.90	43.75	2.80	5.33
31	1071	0.2	150	631.05	40.45	658.54	43.01	4.36	6.33
31	1071	0.2	100	567.66	39.36	603.14	42.29	6.25	7.45
31	1071	0.2	50	504.26	38.27	547.72	41.60	8.62	8.70
31	1071	0.2	0	440.86	37.18	492.28	40.93	11.66	10.09
31	1071	0.3	1100	1573.67	64.00	1573.41	63.93	0.02	0.11
31	1071	0.3	1050	1532.78	62.71	1518.72	62.55	0.92	0.26
31	1071	0.3	1000	1478.29	61.68	1463.98	61.19	0.97	0.79
31	1071	0.3	950	1412.28	60.23	1409.19	59.85	0.22	0.63
31	1071	0.3	900	1376.57	58.77	1354.34	58.53	1.61	0.42
31	1071	0.3	850	1320.31	57.98	1299.45	57.23	1.58	1.29
31	1071	0.3	800	1268.84	56.86	1244.52	55.96	1.92	1.59
31	1071	0.3	750	1217.37	55.49	1189.53	54.72	2.29	1.40
31	1071	0.3	700	1165.90	54.29	1134.50	53.50	2.69	1.45
31	1071	0.3	650	1114.43	53.08	1079.43	52.32	3.14	1.44
31	1071	0.3	600	1062.97	51.88	1024.31	51.17	3.64	1.37
31	1071	0.3	550	991.50	50.67	969.15	50.05	2.25	1.23
31	1071	0.3	500	950.03	49.46	913.95	48.96	3.80	1.02
31	1071	0.3	450	892.56	48.26	858.72	47.91	3.79	0.72
31	1071	0.3	400	837.95	47.05	803.44	46.89	4.12	0.34
31	1071	0.3	350	783.33	45.84	748.13	45.91	4.49	0.14
31	1071	0.3	300	728.72	44.64	692.78	44.96	4.93	0.72
31	1071	0.3	250	674.11	43.43	637.40	44.05	5.45	1.42
31	1071	0.3	200	607.50	42.23	581.98	43.17	4.20	2.24

Tabel C1 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3	150	561.05	41.02	526.54	42.33	6.15	3.20
31	1071	0.3	100	506.12	39.81	471.06	41.53	6.93	4.30
31	1071	0.3	50	451.20	38.61	415.56	40.76	7.90	5.57
31	1071	0.3	0	396.27	37.40	360.03	40.02	9.15	7.01
31	1071	0.4	1100	1469.69	65.79	1466.44	65.70	0.22	0.13
31	1071	0.4	1050	1434.03	64.46	1411.74	64.16	1.55	0.48
31	1071	0.4	1000	1378.10	62.69	1356.99	62.63	1.53	0.11
31	1071	0.4	950	1323.39	61.74	1302.18	61.11	1.60	1.02
31	1071	0.4	900	1278.24	60.07	1247.31	59.63	2.42	0.74
31	1071	0.4	850	1203.45	58.96	1192.39	58.17	0.92	1.35
31	1071	0.4	800	1158.85	57.81	1137.42	56.73	1.85	1.87
31	1071	0.4	750	1107.46	56.28	1082.39	55.33	2.26	1.69
31	1071	0.4	700	1054.12	54.94	1027.31	53.97	2.54	1.78
31	1071	0.4	650	1000.78	53.60	972.19	52.64	2.86	1.80
31	1071	0.4	600	947.44	52.26	917.01	51.35	3.21	1.75
31	1071	0.4	550	894.10	50.92	861.79	50.10	3.61	1.62
31	1071	0.4	500	830.76	49.58	806.52	48.89	2.92	1.39
31	1071	0.4	450	777.42	48.24	751.20	47.72	3.37	1.07
31	1071	0.4	400	721.09	46.90	695.85	46.60	3.50	0.63
31	1071	0.4	350	664.75	45.56	640.45	45.52	3.65	0.07
31	1071	0.4	300	608.41	44.22	585.01	44.49	3.84	0.62
31	1071	0.4	250	552.07	42.88	529.54	43.50	4.08	1.46
31	1071	0.4	200	495.73	41.54	474.03	42.56	4.38	2.46
31	1071	0.4	150	439.39	40.20	418.49	41.66	4.76	3.64

Tabel C1 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.4	100	383.05	38.85	362.92	40.81	5.25	5.02
31	1071	0.4	50	326.71	37.51	307.32	39.99	5.94	6.61
31	1071	0.4	0	270.37	36.17	251.69	39.23	6.91	8.44
31	1071	0.5	1100	1363.09	67.68	1362.97	67.10	0.01	0.86
31	1071	0.5	1050	1334.08	65.73	1308.23	65.42	1.94	0.48
31	1071	0.5	1000	1271.21	64.00	1253.43	63.74	1.40	0.41
31	1071	0.5	950	1203.85	63.25	1198.57	62.08	0.44	1.85
31	1071	0.5	900	1157.92	61.41	1143.64	60.45	1.23	1.57
31	1071	0.5	850	1103.86	59.91	1088.65	58.84	1.38	1.78
31	1071	0.5	800	1049.80	58.40	1033.61	57.26	1.54	1.96
31	1071	0.5	750	995.75	56.90	978.50	55.72	1.73	2.07
31	1071	0.5	700	941.69	55.40	923.34	54.22	1.95	2.13
31	1071	0.5	650	887.63	53.89	868.12	52.76	2.20	2.10
31	1071	0.5	600	833.58	52.39	812.85	51.35	2.49	1.99
31	1071	0.5	550	769.52	50.89	757.53	49.98	1.56	1.77
31	1071	0.5	500	720.46	49.38	702.16	48.67	2.54	1.45
31	1071	0.5	450	665.57	47.88	646.74	47.41	2.83	0.99
31	1071	0.5	400	610.68	46.38	591.27	46.20	3.18	0.39
31	1071	0.5	350	555.79	44.87	535.76	45.04	3.60	0.37
31	1071	0.5	300	500.90	43.37	480.21	43.94	4.13	1.30
31	1071	0.5	250	446.01	41.87	424.61	42.89	4.80	2.43
31	1071	0.5	200	391.12	40.37	368.98	41.89	5.66	3.78
31	1071	0.5	150	336.23	38.86	313.32	40.95	6.81	5.37
31	1071	0.5	100	281.34	37.36	257.62	40.06	8.43	7.23
31	1071	0.5	50	226.45	35.86	201.89	39.22	10.85	9.39

Tabel C1 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.5	0	171.56	34.35	146.13	38.44	14.82	11.89
AVERAGE ERROR								3.30	2.24

Pada Tabel C2 temperatur injeksi CO₂ divariasikan dengan tekanan dan laju aliran massa injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 31 hingga 40 °C.

Tabel C2 Validasi model injeksi CO₂ terhadap variasi laju aliran massa injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	1100	1573.67	64.00	1573.41	63.93	0.02	0.11
31	1071	0.3044	1050	1532.78	62.71	1518.72	62.55	0.92	0.26
31	1071	0.3044	1000	1478.29	61.68	1463.98	61.19	0.97	0.79
31	1071	0.3044	950	1412.28	60.23	1409.19	59.85	0.22	0.63
31	1071	0.3044	900	1376.57	58.77	1354.34	58.53	1.61	0.42
31	1071	0.3044	850	1320.31	57.98	1299.45	57.23	1.58	1.29
31	1071	0.3044	800	1268.84	56.86	1244.52	55.96	1.92	1.59
31	1071	0.3044	750	1217.37	55.49	1189.53	54.72	2.29	1.40
31	1071	0.3044	700	1165.90	54.29	1134.50	53.50	2.69	1.45
31	1071	0.3044	650	1114.43	53.08	1079.43	52.32	3.14	1.44
31	1071	0.3044	600	1062.97	51.88	1024.31	51.17	3.64	1.37
31	1071	0.3044	550	991.50	50.67	969.15	50.05	2.25	1.23
31	1071	0.3044	500	950.03	49.46	913.95	48.96	3.80	1.02
31	1071	0.3044	450	892.56	48.26	858.72	47.91	3.79	0.72

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	400	837.95	47.05	803.44	46.89	4.12	0.34
31	1071	0.3044	350	783.33	45.84	748.13	45.91	4.49	0.14
31	1071	0.3044	300	728.72	44.64	692.78	44.96	4.93	0.72
31	1071	0.3044	250	674.11	43.43	637.40	44.05	5.45	1.42
31	1071	0.3044	200	607.50	42.23	581.98	43.17	4.20	2.24
31	1071	0.3044	150	561.05	41.02	526.54	42.33	6.15	3.20
31	1071	0.3044	100	506.12	39.81	471.06	41.53	6.93	4.30
31	1071	0.3044	50	451.20	38.61	415.56	40.76	7.90	5.57
31	1071	0.3044	0	396.27	37.40	360.03	40.02	9.15	7.01
32	1071	0.3044	1100	1560.83	64.41	1560.57	64.41	0.02	0.00
32	1071	0.3044	1050	1532.81	63.31	1505.90	63.01	1.76	0.46
32	1071	0.3044	1000	1472.19	62.01	1451.18	61.64	1.43	0.60
32	1071	0.3044	950	1403.36	61.05	1396.40	60.28	0.50	1.26
32	1071	0.3044	900	1364.83	59.07	1341.58	58.94	1.70	0.21
32	1071	0.3044	850	1310.37	58.09	1286.71	57.63	1.81	0.79
32	1071	0.3044	800	1258.22	56.79	1231.79	56.34	2.10	0.80
32	1071	0.3044	750	1206.08	55.50	1176.82	55.08	2.43	0.76
32	1071	0.3044	700	1153.93	54.21	1121.80	53.85	2.78	0.66
32	1071	0.3044	650	1101.79	52.91	1066.74	52.65	3.18	0.50
32	1071	0.3044	600	1049.64	51.62	1011.64	51.48	3.62	0.28
32	1071	0.3044	550	997.49	50.33	956.49	50.34	4.11	0.02
32	1071	0.3044	500	935.35	49.03	901.31	49.23	3.64	0.41
32	1071	0.3044	450	876.54	47.74	846.08	48.16	3.47	0.89
32	1071	0.3044	400	802.96	46.45	790.81	47.13	1.51	1.47
32	1071	0.3044	350	757.14	45.15	735.51	46.13	2.86	2.16

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
32	1071	0.3044	300	699.37	43.86	680.17	45.17	2.74	2.98
32	1071	0.3044	250	641.59	42.56	624.80	44.24	2.62	3.93
32	1071	0.3044	200	583.82	41.27	569.39	43.35	2.47	5.03
32	1071	0.3044	150	526.04	39.98	513.96	42.49	2.30	6.29
32	1071	0.3044	100	468.27	38.68	458.49	41.67	2.09	7.72
32	1071	0.3044	50	410.49	37.39	402.99	40.89	1.83	9.35
32	1071	0.3044	0	352.72	36.10	347.47	40.14	1.49	11.20
33	1071	0.3044	1100	1547.97	64.97	1547.74	64.89	0.02	0.13
33	1071	0.3044	1050	1500.40	63.73	1493.08	63.48	0.49	0.40
33	1071	0.3044	1000	1449.63	62.32	1438.38	62.09	0.78	0.37
33	1071	0.3044	950	1399.77	60.92	1383.62	60.72	1.15	0.34
33	1071	0.3044	900	1349.37	59.60	1328.82	59.36	1.52	0.39
33	1071	0.3044	850	1300.08	58.24	1273.96	58.03	2.01	0.35
33	1071	0.3044	800	1250.29	56.88	1219.06	56.73	2.50	0.27
33	1071	0.3044	750	1200.51	55.53	1164.10	55.45	3.03	0.14
33	1071	0.3044	700	1150.73	54.17	1109.10	54.20	3.62	0.05
33	1071	0.3044	650	1100.94	52.81	1054.06	52.98	4.26	0.31
33	1071	0.3044	600	1041.16	51.46	998.97	51.79	4.05	0.65
33	1071	0.3044	550	975.38	50.10	943.84	50.63	3.23	1.06
33	1071	0.3044	500	929.59	48.74	888.66	49.51	4.40	1.57
33	1071	0.3044	450	875.24	47.39	833.45	48.42	4.78	2.18
33	1071	0.3044	400	799.88	46.03	778.19	47.37	2.71	2.91
33	1071	0.3044	350	749.82	44.68	722.90	46.35	3.59	3.75
33	1071	0.3044	300	691.73	43.32	667.57	45.37	3.49	4.74
33	1071	0.3044	250	633.65	41.96	612.21	44.43	3.38	5.87
33	1071	0.3044	200	575.57	40.61	556.81	43.52	3.26	7.18

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
33	1071	0.3044	150	517.48	39.25	501.38	42.65	3.11	8.66
33	1071	0.3044	100	459.40	37.89	445.92	41.82	2.93	10.35
33	1071	0.3044	50	401.32	36.54	390.43	41.02	2.71	12.26
33	1071	0.3044	0	343.23	35.18	334.91	40.26	2.42	14.42
34	1071	0.3044	1100	1534.97	65.54	1534.90	65.36	0.00	0.27
34	1071	0.3044	1050	1490.40	64.03	1480.26	63.94	0.68	0.14
34	1071	0.3044	1000	1439.63	62.92	1425.58	62.54	0.98	0.60
34	1071	0.3044	950	1389.17	61.22	1370.84	61.15	1.32	0.11
34	1071	0.3044	900	1339.37	60.00	1316.05	59.78	1.74	0.36
34	1071	0.3044	850	1280.45	58.72	1261.21	58.44	1.50	0.48
34	1071	0.3044	800	1234.71	57.28	1206.33	57.11	2.30	0.29
34	1071	0.3044	750	1183.96	55.91	1151.39	55.82	2.75	0.16
34	1071	0.3044	700	1133.22	54.74	1096.41	54.55	3.25	0.35
34	1071	0.3044	650	1082.47	53.33	1041.38	53.31	3.80	0.04
34	1071	0.3044	600	1011.72	52.00	986.30	52.10	2.51	0.20
34	1071	0.3044	550	964.97	50.67	931.18	50.93	3.50	0.52
34	1071	0.3044	500	910.23	49.34	876.02	49.79	3.76	0.92
34	1071	0.3044	450	855.48	48.00	820.81	48.68	4.05	1.42
34	1071	0.3044	400	800.73	46.67	765.57	47.61	4.39	2.02
34	1071	0.3044	350	745.98	45.34	710.29	46.58	4.78	2.73
34	1071	0.3044	300	691.24	44.01	654.97	45.58	5.25	3.57
34	1071	0.3044	250	636.49	42.68	599.61	44.62	5.79	4.56
34	1071	0.3044	200	581.74	41.34	544.23	43.70	6.45	5.69
34	1071	0.3044	150	526.99	40.01	488.80	42.81	7.25	6.99
34	1071	0.3044	100	472.25	38.68	433.35	41.96	8.24	8.48
34	1071	0.3044	50	417.50	37.35	377.87	41.15	9.49	10.18

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
34	1071	0.3044	0	362.75	36.02	322.35	40.37	11.14	12.10
35	1071	0.3044	1100	1522.38	65.97	1522.06	65.84	0.02	0.19
35	1071	0.3044	1050	1480.40	64.63	1467.45	64.41	0.87	0.34
35	1071	0.3044	1000	1439.63	63.02	1412.78	62.99	1.86	0.04
35	1071	0.3044	950	1379.17	61.92	1358.06	61.59	1.53	0.54
35	1071	0.3044	900	1329.37	60.60	1303.29	60.20	1.96	0.65
35	1071	0.3044	850	1230.45	59.02	1248.47	58.84	1.46	0.30
35	1071	0.3044	800	1202.47	57.73	1193.60	57.50	0.74	0.40
35	1071	0.3044	750	1144.85	56.36	1138.68	56.19	0.54	0.31
35	1071	0.3044	700	1088.79	54.99	1083.71	54.90	0.47	0.16
35	1071	0.3044	650	1032.72	53.62	1028.69	53.65	0.39	0.05
35	1071	0.3044	600	976.65	52.25	973.63	52.42	0.31	0.33
35	1071	0.3044	550	920.58	50.88	918.53	51.23	0.22	0.68
35	1071	0.3044	500	864.52	49.51	863.38	50.07	0.13	1.13
35	1071	0.3044	450	808.45	48.14	808.18	48.95	0.03	1.67
35	1071	0.3044	400	752.38	46.77	752.95	47.86	0.08	2.32
35	1071	0.3044	350	696.31	45.40	697.68	46.81	0.20	3.09
35	1071	0.3044	300	640.25	44.03	642.37	45.79	0.33	3.99
35	1071	0.3044	250	584.18	42.66	587.02	44.81	0.49	5.04
35	1071	0.3044	200	528.11	41.29	531.64	43.87	0.67	6.25
35	1071	0.3044	150	472.05	39.92	476.23	42.97	0.89	7.64
35	1071	0.3044	100	415.98	38.55	420.78	42.11	1.15	9.22
35	1071	0.3044	50	359.91	37.18	365.31	41.28	1.50	11.02
35	1071	0.3044	0	303.84	35.81	309.80	40.49	1.96	13.06
36	1071	0.3044	1100	1509.42	66.56	1509.23	66.32	0.01	0.36
36	1071	0.3044	1050	1460.40	65.01	1454.63	64.88	0.39	0.21

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
36	1071	0.3044	1000	1409.63	63.72	1399.98	63.44	0.68	0.43
36	1071	0.3044	950	1359.17	62.22	1345.28	62.03	1.02	0.31
36	1071	0.3044	900	1309.37	60.90	1290.53	60.63	1.44	0.44
36	1071	0.3044	850	1230.45	59.42	1235.73	59.25	0.43	0.29
36	1071	0.3044	800	1189.90	58.02	1180.87	57.89	0.76	0.21
36	1071	0.3044	750	1135.66	56.60	1125.97	56.56	0.85	0.07
36	1071	0.3044	700	1081.42	55.18	1071.02	55.26	0.96	0.14
36	1071	0.3044	650	1027.18	53.77	1016.01	53.98	1.09	0.40
36	1071	0.3044	600	972.93	52.35	960.97	52.74	1.23	0.74
36	1071	0.3044	550	918.69	50.94	905.87	51.53	1.40	1.16
36	1071	0.3044	500	864.45	49.52	850.74	50.35	1.59	1.68
36	1071	0.3044	450	810.21	48.10	795.56	49.21	1.81	2.30
36	1071	0.3044	400	755.97	46.69	740.34	48.10	2.07	3.03
36	1071	0.3044	350	701.73	45.27	685.07	47.03	2.37	3.89
36	1071	0.3044	300	647.49	43.86	629.77	46.00	2.74	4.89
36	1071	0.3044	250	593.25	42.44	574.44	45.01	3.17	6.05
36	1071	0.3044	200	539.01	41.02	519.06	44.05	3.70	7.37
36	1071	0.3044	150	484.77	39.61	463.66	43.13	4.36	8.89
36	1071	0.3044	100	430.53	38.19	408.22	42.25	5.18	10.63
36	1071	0.3044	50	376.29	36.78	352.75	41.41	6.26	12.60
36	1071	0.3044	0	322.05	35.36	297.25	40.61	7.70	14.84
37	1071	0.3044	1100	1496.53	66.98	1496.39	66.80	0.01	0.28
37	1071	0.3044	1050	1446.40	65.59	1441.82	65.34	0.32	0.37
37	1071	0.3044	1000	1392.63	64.03	1387.19	63.90	0.39	0.20
37	1071	0.3044	950	1349.17	62.62	1332.51	62.47	1.23	0.25
37	1071	0.3044	900	1289.37	61.51	1277.77	61.05	0.90	0.75

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
37	1071	0.3044	850	1230.45	59.76	1222.99	59.66	0.61	0.17
37	1071	0.3044	800	1182.47	58.52	1168.15	58.29	1.21	0.39
37	1071	0.3044	750	1125.16	57.01	1113.26	56.94	1.06	0.13
37	1071	0.3044	700	1074.79	55.62	1058.32	55.62	1.53	0.01
37	1071	0.3044	650	1021.63	54.21	1003.34	54.32	1.79	0.22
37	1071	0.3044	600	968.47	52.79	948.30	53.06	2.08	0.52
37	1071	0.3044	550	915.31	51.37	893.22	51.83	2.41	0.90
37	1071	0.3044	500	862.15	49.95	838.10	50.64	2.79	1.37
37	1071	0.3044	450	808.99	48.94	782.93	49.48	3.22	1.10
37	1071	0.3044	400	755.83	47.52	727.72	48.35	3.72	1.75
37	1071	0.3044	350	702.66	46.22	672.47	47.26	4.30	2.26
37	1071	0.3044	300	649.50	44.92	617.18	46.21	4.98	2.87
37	1071	0.3044	250	596.34	43.62	561.85	45.20	5.78	3.61
37	1071	0.3044	200	543.18	42.33	506.49	44.23	6.75	4.49
37	1071	0.3044	150	490.02	41.03	451.09	43.29	7.94	5.52
37	1071	0.3044	100	436.86	39.73	395.66	42.40	9.43	6.71
37	1071	0.3044	50	383.69	38.43	340.19	41.54	11.34	8.09
37	1071	0.3044	0	330.53	37.14	284.70	40.73	13.87	9.66
38	1071	0.3044	1100	1483.76	67.29	1483.56	67.28	0.01	0.02
38	1071	0.3044	1050	1437.40	65.85	1429.01	65.81	0.58	0.06
38	1071	0.3044	1000	1389.63	64.54	1374.40	64.35	1.10	0.29
38	1071	0.3044	950	1339.17	63.28	1319.73	62.91	1.45	0.58
38	1071	0.3044	900	1289.37	61.74	1265.02	61.48	1.89	0.43
38	1071	0.3044	850	1230.45	60.40	1210.25	60.07	1.64	0.54
38	1071	0.3044	800	1172.47	59.07	1155.43	58.68	1.45	0.67
38	1071	0.3044	750	1115.16	57.56	1100.56	57.31	1.31	0.43

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
38	1071	0.3044	700	1069.74	56.26	1045.63	55.98	2.25	0.50
38	1071	0.3044	650	1016.97	54.87	990.66	54.66	2.59	0.38
38	1071	0.3044	600	964.21	53.49	935.64	53.38	2.96	0.21
38	1071	0.3044	550	911.44	52.11	880.58	52.14	3.39	0.04
38	1071	0.3044	500	858.68	50.73	825.46	50.92	3.87	0.37
38	1071	0.3044	450	790.92	49.35	770.31	49.74	2.61	0.79
38	1071	0.3044	400	738.15	47.97	715.11	48.60	3.12	1.31
38	1071	0.3044	350	680.89	46.59	659.87	47.49	3.09	1.93
38	1071	0.3044	300	623.62	45.91	604.59	46.43	3.05	1.12
38	1071	0.3044	250	566.36	44.39	549.27	45.40	3.02	2.26
38	1071	0.3044	200	509.10	43.15	493.91	44.41	2.98	2.91
38	1071	0.3044	150	451.83	41.91	438.52	43.46	2.95	3.69
38	1071	0.3044	100	394.57	40.67	383.10	42.55	2.91	4.61
38	1071	0.3044	50	337.30	39.43	327.64	41.67	2.86	5.69
38	1071	0.3044	0	280.04	38.19	272.15	40.84	2.82	6.95
39	1071	0.3044	1100	1479.87	67.92	1470.73	67.75	0.62	0.24
39	1071	0.3044	1050	1426.40	66.52	1416.20	66.28	0.72	0.36
39	1071	0.3044	1000	1369.63	65.03	1361.61	64.81	0.59	0.34
39	1071	0.3044	950	1319.17	63.53	1306.96	63.35	0.93	0.28
39	1071	0.3044	900	1271.37	62.03	1252.26	61.91	1.50	0.20
39	1071	0.3044	850	1203.45	60.67	1197.51	60.48	0.49	0.31
39	1071	0.3044	800	1162.47	59.17	1142.71	59.08	1.70	0.15
39	1071	0.3044	750	1099.42	57.70	1087.85	57.69	1.05	0.01
39	1071	0.3044	700	1048.68	56.24	1032.95	56.34	1.50	0.17
39	1071	0.3044	650	994.71	54.78	977.99	55.01	1.68	0.42
39	1071	0.3044	600	940.74	53.32	922.98	53.71	1.89	0.74

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
39	1071	0.3044	550	886.76	51.85	867.93	52.44	2.12	1.14
39	1071	0.3044	500	832.79	50.39	812.83	51.21	2.40	1.63
39	1071	0.3044	450	778.82	48.93	757.69	50.01	2.71	2.22
39	1071	0.3044	400	724.85	47.46	702.50	48.85	3.08	2.92
39	1071	0.3044	350	670.87	47.20	647.27	47.73	3.52	1.11
39	1071	0.3044	300	616.90	45.23	592.00	46.64	4.04	3.13
39	1071	0.3044	250	562.93	43.89	536.69	45.59	4.66	3.88
39	1071	0.3044	200	508.96	42.56	481.34	44.59	5.43	4.77
39	1071	0.3044	150	454.99	41.22	425.96	43.62	6.38	5.81
39	1071	0.3044	100	401.01	39.89	370.54	42.69	7.60	7.03
39	1071	0.3044	50	337.04	38.96	315.09	41.81	6.51	7.32
39	1071	0.3044	0	263.07	37.62	259.61	40.96	1.31	8.88
40	1071	0.3044	1100	1457.93	68.62	1457.90	68.23	0.00	0.56
40	1071	0.3044	1050	1410.40	66.92	1403.39	66.75	0.50	0.25
40	1071	0.3044	1000	1349.63	65.33	1348.82	65.27	0.06	0.10
40	1071	0.3044	950	1309.17	63.92	1294.19	63.80	1.14	0.19
40	1071	0.3044	900	1209.37	62.57	1239.51	62.34	2.49	0.37
40	1071	0.3044	850	1190.45	61.00	1184.78	60.90	0.48	0.16
40	1071	0.3044	800	1123.06	59.47	1129.99	59.48	0.62	0.01
40	1071	0.3044	750	1066.46	57.97	1075.15	58.08	0.81	0.19
40	1071	0.3044	700	1009.86	56.47	1020.26	56.70	1.03	0.42
40	1071	0.3044	650	953.26	54.96	965.32	55.36	1.26	0.71
40	1071	0.3044	600	896.66	53.46	910.33	54.04	1.52	1.08
40	1071	0.3044	550	840.06	51.96	855.29	52.75	1.81	1.52
40	1071	0.3044	500	783.47	50.46	800.20	51.50	2.14	2.06
40	1071	0.3044	450	726.87	48.96	745.07	50.28	2.50	2.71

Tabel C2 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
40	1071	0.3044	400	670.27	47.45	689.90	49.10	2.93	3.47
40	1071	0.3044	350	613.67	45.95	634.68	47.96	3.42	4.37
40	1071	0.3044	300	557.07	44.45	579.42	46.86	4.01	5.41
40	1071	0.3044	250	500.47	42.95	524.12	45.79	4.72	6.62
40	1071	0.3044	200	443.87	41.45	468.78	44.77	5.61	8.01
40	1071	0.3044	150	387.27	39.95	413.40	43.78	6.75	9.61
40	1071	0.3044	100	330.67	38.44	357.99	42.84	8.26	11.44
40	1071	0.3044	50	274.08	36.94	302.55	41.94	10.39	13.53
40	1071	0.3044	0	217.48	35.44	247.07	41.08	13.61	15.91
AVERAGE ERROR								2.79	2.68

Pada Tabel C3 tekanan injeksi CO₂ divariasikan dengan temperature dan laju aliran massa injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 31 hingga 40 °C.

Tabel C3 Validasi model injeksi CO₂ terhadap variasi tekanan

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	1100	1573.67	64.00	1573.41	63.93	0.02	0.11
31	1071	0.3044	1050	1532.78	62.71	1518.72	62.55	0.92	0.26
31	1071	0.3044	1000	1478.29	61.68	1463.98	61.19	0.97	0.79
31	1071	0.3044	950	1412.28	60.23	1409.19	59.85	0.22	0.63
31	1071	0.3044	900	1376.57	58.77	1354.34	58.53	1.61	0.42
31	1071	0.3044	850	1320.31	57.98	1299.45	57.23	1.58	1.29
31	1071	0.3044	800	1268.84	56.86	1244.52	55.96	1.92	1.59

Table C3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	750	1217.37	55.49	1189.53	54.72	2.29	1.40
31	1071	0.3044	700	1165.90	54.29	1134.50	53.50	2.69	1.45
31	1071	0.3044	650	1114.43	53.08	1079.43	52.32	3.14	1.44
31	1071	0.3044	600	1062.97	51.88	1024.31	51.17	3.64	1.37
31	1071	0.3044	550	991.50	50.67	969.15	50.05	2.25	1.23
31	1071	0.3044	500	950.03	49.46	913.95	48.96	3.80	1.02
31	1071	0.3044	450	892.56	48.26	858.72	47.91	3.79	0.72
31	1071	0.3044	400	837.95	47.05	803.44	46.89	4.12	0.34
31	1071	0.3044	350	783.33	45.84	748.13	45.91	4.49	0.14
31	1071	0.3044	300	728.72	44.64	692.78	44.96	4.93	0.72
31	1071	0.3044	250	674.11	43.43	637.40	44.05	5.45	1.42
31	1071	0.3044	200	607.50	42.23	581.98	43.17	4.20	2.24
31	1071	0.3044	150	561.05	41.02	526.54	42.33	6.15	3.20
31	1071	0.3044	100	506.12	39.81	471.06	41.53	6.93	4.30
31	1071	0.3044	50	451.20	38.61	415.56	40.76	7.90	5.57
31	1071	0.3044	0	396.27	37.40	360.03	40.02	9.15	7.01
31	1100	0.3044	1100	2251.76	62.96	2251.36	62.64	0.02	0.51
31	1100	0.3044	1050	2196.24	62.76	2170.66	62.56	1.16	0.31
31	1100	0.3044	1000	2097.84	62.62	2089.97	62.50	0.38	0.20
31	1100	0.3044	950	2039.99	62.60	2009.34	62.43	1.50	0.27
31	1100	0.3044	900	1963.03	62.43	1928.75	62.37	1.75	0.11
31	1100	0.3044	850	1889.65	62.31	1848.21	62.31	2.19	0.01
31	1100	0.3044	800	1816.28	62.19	1767.72	62.25	2.67	0.09
31	1100	0.3044	750	1742.91	62.07	1687.28	62.19	3.19	0.19

Table C3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1100	0.3044	700	1669.54	61.95	1606.89	62.14	3.75	0.30
31	1100	0.3044	650	1576.16	61.83	1526.56	62.08	3.15	0.41
31	1100	0.3044	600	1492.79	61.71	1446.27	62.03	3.12	0.53
31	1100	0.3044	550	1431.02	61.59	1366.03	61.99	4.54	0.65
31	1100	0.3044	500	1345.26	61.47	1285.85	61.94	4.42	0.77
31	1100	0.3044	450	1264.84	61.35	1205.71	61.90	4.68	0.89
31	1100	0.3044	400	1165.47	61.23	1125.62	61.85	3.42	1.02
31	1100	0.3044	350	1094.67	61.11	1045.59	61.81	4.48	1.16
31	1100	0.3044	300	1013.16	60.99	965.61	61.77	4.69	1.29
31	1100	0.3044	250	931.65	60.87	885.67	61.74	4.93	1.43
31	1100	0.3044	200	850.13	60.75	805.79	61.70	5.22	1.57
31	1100	0.3044	150	768.62	60.62	725.96	61.67	5.55	1.72
31	1100	0.3044	100	687.11	60.50	646.18	61.63	5.96	1.86
31	1100	0.3044	50	605.59	60.38	566.45	61.60	6.46	2.01
31	1100	0.3044	0	524.08	60.26	486.77	61.57	7.12	2.17
31	1200	0.3044	1100	1809.79	64.28	1809.45	64.18	0.02	0.15
31	1200	0.3044	1050	1771.06	62.97	1754.75	62.86	0.92	0.18
31	1200	0.3044	1000	1704.80	61.76	1700.01	61.55	0.28	0.35
31	1200	0.3044	950	1673.21	60.95	1645.22	60.26	1.67	1.14
31	1200	0.3044	900	1597.98	59.04	1590.37	58.99	0.48	0.09
31	1200	0.3044	850	1554.93	58.05	1535.49	57.74	1.25	0.53
31	1200	0.3044	800	1502.78	56.80	1480.56	56.52	1.48	0.49
31	1200	0.3044	750	1450.64	55.55	1425.58	55.32	1.73	0.40
31	1200	0.3044	700	1398.49	54.30	1370.56	54.16	2.00	0.26
31	1200	0.3044	650	1346.34	53.05	1315.50	53.02	2.29	0.06

Table C3 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1200	0.3044	600	1294.20	51.80	1260.39	51.91	2.61	0.21
31	1200	0.3044	550	1242.05	50.55	1205.25	50.82	2.96	0.55
31	1200	0.3044	500	1189.90	49.30	1150.06	49.77	3.35	0.97
31	1200	0.3044	450	1137.76	48.05	1094.84	48.75	3.77	1.47
31	1200	0.3044	400	1085.61	46.80	1039.58	47.77	4.24	2.07
31	1200	0.3044	350	1033.46	45.55	984.29	46.81	4.76	2.78
31	1200	0.3044	300	971.32	44.30	928.96	45.89	4.36	3.59
31	1200	0.3044	250	909.17	43.04	873.60	45.00	3.91	4.53
31	1200	0.3044	200	863.09	41.79	818.21	44.14	5.20	5.61
31	1200	0.3044	150	808.69	40.54	762.79	43.31	5.68	6.82
31	1200	0.3044	100	754.28	39.29	707.34	42.52	6.22	8.20
31	1200	0.3044	50	699.87	38.04	651.86	41.75	6.86	9.76
31	1200	0.3044	0	645.46	36.79	596.36	41.02	7.61	11.50
AVERAGE ERROR								3.4802 9429	1.7371 898

Pada Tabel C4 tekanan injeksi surfaktan divariasikan, dengan temperatur dan laju aliran massa injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 1071 hingga 1200 psi.

Tabel C4 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi tekanan injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	1100	2232.88	62.86	2222.04	62.64	0.49	0.35
31	1071	0.3044	1050	2156.71	62.71	2141.37	62.57	0.71	0.23

Tabel C4 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	1000	2080.54	62.70	2060.70	62.50	0.95	0.31
31	1071	0.3044	950	1997.35	62.56	1980.08	62.43	0.86	0.20
31	1071	0.3044	900	1908.16	62.50	1899.51	62.37	0.45	0.21
31	1071	0.3044	850	1851.96	62.40	1818.99	62.31	1.78	0.15
31	1071	0.3044	800	1775.75	62.31	1738.53	62.25	2.10	0.10
31	1071	0.3044	750	1699.53	62.23	1658.11	62.19	2.44	0.05
31	1071	0.3044	700	1623.31	62.14	1577.74	62.14	2.81	0.00
31	1071	0.3044	650	1544.73	62.05	1497.42	62.09	3.06	0.06
31	1071	0.3044	600	1468.65	61.96	1417.15	62.04	3.51	0.12
31	1071	0.3044	550	1392.57	61.88	1336.93	61.99	4.00	0.18
31	1071	0.3044	500	1316.49	61.79	1256.77	61.94	4.54	0.25
31	1071	0.3044	450	1221.41	61.70	1176.65	61.90	3.66	0.32
31	1071	0.3044	400	1134.33	61.61	1096.58	61.86	3.33	0.39
31	1071	0.3044	350	1041.92	61.53	1016.57	61.82	2.43	0.47
31	1071	0.3044	300	950.84	61.44	936.60	61.78	1.50	0.55
31	1071	0.3044	250	859.76	61.35	856.69	61.74	0.36	0.63
31	1071	0.3044	200	768.68	61.27	776.83	61.70	1.06	0.71
31	1071	0.3044	150	677.60	61.18	697.02	61.67	2.87	0.80
31	1071	0.3044	100	586.52	61.09	617.26	61.63	5.24	0.89
31	1071	0.3044	50	505.44	61.00	537.55	61.60	6.35	0.98
31	1071	0.3044	0	493.36	60.92	457.89	61.57	7.19	1.08
31	1100	0.3044	1100	1638.23	63.96	1626.47	63.99	0.72	0.05
31	1100	0.3044	1050	1593.24	63.36	1571.78	62.62	1.35	1.16
31	1100	0.3044	1000	1538.84	62.02	1517.03	61.27	1.42	1.21
31	1100	0.3044	950	1479.99	61.27	1462.24	59.94	1.20	2.17

Tabel C4 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1100	0.3044	900	1430.29	60.97	1407.40	58.63	1.60	3.83
31	1100	0.3044	850	1377.38	59.83	1352.51	57.35	1.81	4.15
31	1100	0.3044	800	1324.46	57.91	1297.57	56.09	2.03	3.14
31	1100	0.3044	750	1271.55	56.32	1242.59	54.86	2.28	2.60
31	1100	0.3044	700	1218.63	56.02	1187.56	53.66	2.55	4.21
31	1100	0.3044	650	1165.72	54.97	1132.49	52.48	2.85	4.53
31	1100	0.3044	600	1112.81	53.93	1077.38	51.34	3.18	4.81
31	1100	0.3044	550	1059.89	52.89	1022.22	50.23	3.55	5.03
31	1100	0.3044	500	1006.98	51.85	967.03	49.15	3.97	5.20
31	1100	0.3044	450	954.06	50.81	911.79	48.11	4.43	5.31
31	1100	0.3044	400	901.15	49.76	856.52	47.10	4.95	5.36
31	1100	0.3044	350	842.24	48.72	801.21	46.12	4.87	5.34
31	1100	0.3044	300	775.32	47.68	745.87	45.18	3.80	5.25
31	1100	0.3044	250	723.41	46.64	690.49	44.27	4.55	5.08
31	1100	0.3044	200	665.89	45.60	635.09	43.40	4.63	4.82
31	1100	0.3044	150	608.38	44.55	579.65	42.56	4.72	4.47
31	1100	0.3044	100	550.87	43.51	524.18	41.76	4.84	4.03
31	1100	0.3044	50	493.35	42.47	468.68	40.99	5.00	3.48
31	1100	0.3044	0	435.84	41.43	413.16	40.26	5.20	2.83
31	1200	0.3044	1100	2387.87	62.64	2352.44	62.63	1.48	0.01
31	1200	0.3044	1050	2301.96	62.11	2271.68	62.55	1.32	0.71
31	1200	0.3044	1000	2284.80	62.16	2190.92	62.49	4.11	0.52
31	1200	0.3044	950	2193.21	61.95	2110.22	62.42	3.78	0.76
31	1200	0.3044	900	2091.68	61.94	2029.56	62.36	2.97	0.67
31	1200	0.3044	850	2007.57	61.69	1948.95	62.30	2.92	0.97

Tabel C4 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1200	0.3044	800	1941.27	61.54	1868.40	62.24	3.75	1.13
31	1200	0.3044	750	1833.08	61.38	1787.89	62.18	2.47	1.30
31	1200	0.3044	700	1752.16	61.23	1707.44	62.13	2.55	1.47
31	1200	0.3044	650	1665.09	61.07	1627.03	62.08	2.29	1.64
31	1200	0.3044	600	1578.02	60.92	1546.68	62.03	1.99	1.82
31	1200	0.3044	550	1490.95	60.76	1466.37	61.98	1.65	2.00
31	1200	0.3044	500	1403.89	60.61	1386.12	61.93	1.27	2.18
31	1200	0.3044	450	1316.82	60.45	1305.92	61.89	0.83	2.37
31	1200	0.3044	400	1229.75	60.30	1225.76	61.85	0.32	2.57
31	1200	0.3044	350	1142.68	60.14	1145.66	61.81	0.26	2.76
31	1200	0.3044	300	1055.61	59.99	1065.61	61.77	0.95	2.96
31	1200	0.3044	250	968.55	59.83	985.61	61.73	1.76	3.17
31	1200	0.3044	200	881.48	59.68	905.66	61.69	2.74	3.38
31	1200	0.3044	150	794.41	59.52	825.76	61.66	3.95	3.59
31	1200	0.3044	100	707.34	59.37	745.92	61.63	5.45	3.80
31	1200	0.3044	50	620.27	59.21	666.12	61.59	7.39	4.02
31	1200	0.3044	0	533.21	59.06	586.38	61.56	9.97	4.24
AVERAGE ERROR								2.95	2.10

Pada Tabel C5 temperatur injeksi surfaktan divariasikan, dengan tekanan, laju aliran massa dan konsentrasi injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 31 hingga 40 °C.

Tabel C5 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi temperatur injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	1100	2232.88	62.86	2222.04	62.64	0.49	0.35
31	1071	0.3044	1050	2156.71	62.71	2141.37	62.57	0.71	0.23
31	1071	0.3044	1000	2080.54	62.70	2060.70	62.50	0.95	0.31
31	1071	0.3044	950	1997.35	62.56	1980.08	62.43	0.86	0.20
31	1071	0.3044	900	1908.16	62.50	1899.51	62.37	0.45	0.21
31	1071	0.3044	850	1851.96	62.40	1818.99	62.31	1.78	0.15
31	1071	0.3044	800	1775.75	62.31	1738.53	62.25	2.10	0.10
31	1071	0.3044	750	1699.53	62.23	1658.11	62.19	2.44	0.05
31	1071	0.3044	700	1623.31	62.14	1577.74	62.14	2.81	0.00
31	1071	0.3044	650	1544.73	62.05	1497.42	62.09	3.06	0.06
31	1071	0.3044	600	1468.65	61.96	1417.15	62.04	3.51	0.12
31	1071	0.3044	550	1392.57	61.88	1336.93	61.99	4.00	0.18
31	1071	0.3044	500	1316.49	61.79	1256.77	61.94	4.54	0.25
31	1071	0.3044	450	1221.41	61.70	1176.65	61.90	3.66	0.32
31	1071	0.3044	400	1134.33	61.61	1096.58	61.86	3.33	0.39
31	1071	0.3044	350	1041.92	61.53	1016.57	61.82	2.43	0.47
31	1071	0.3044	300	950.84	61.44	936.60	61.78	1.50	0.55
31	1071	0.3044	250	859.76	61.35	856.69	61.74	0.36	0.63
31	1071	0.3044	200	768.68	61.27	776.83	61.70	1.06	0.71
31	1071	0.3044	150	677.60	61.18	697.02	61.67	2.87	0.80
31	1071	0.3044	100	586.52	61.09	617.26	61.63	5.24	0.89
31	1071	0.3044	50	505.44	61.00	537.55	61.60	6.35	0.98

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3044	0	493.36	60.92	457.89	61.57	7.19	1.08
32	1071	0.3044	1100	2222.88	62.91	2221.59	62.80	0.06	0.17
32	1071	0.3044	1050	2146.71	62.91	2140.92	62.72	0.27	0.30
32	1071	0.3044	1000	2070.54	62.71	2060.26	62.65	0.50	0.11
32	1071	0.3044	950	1987.35	62.19	1979.66	62.57	0.39	0.62
32	1071	0.3044	900	1911.18	62.05	1899.09	62.50	0.63	0.74
32	1071	0.3044	850	1832.91	61.90	1818.58	62.44	0.78	0.87
32	1071	0.3044	800	1754.63	61.63	1738.12	62.38	0.94	1.21
32	1071	0.3044	750	1676.35	61.40	1657.71	62.31	1.11	1.49
32	1071	0.3044	700	1598.08	61.17	1577.35	62.26	1.30	1.78
32	1071	0.3044	650	1519.80	60.93	1497.04	62.20	1.50	2.08
32	1071	0.3044	600	1441.53	60.70	1416.78	62.15	1.72	2.38
32	1071	0.3044	550	1363.25	60.47	1336.57	62.09	1.96	2.69
32	1071	0.3044	500	1284.97	60.24	1256.41	62.04	2.22	3.00
32	1071	0.3044	450	1206.70	60.00	1176.30	62.00	2.52	3.32
32	1071	0.3044	400	1128.42	59.77	1096.24	61.95	2.85	3.64
32	1071	0.3044	350	1050.15	59.54	1016.23	61.91	3.23	3.97
32	1071	0.3044	300	971.87	59.31	936.27	61.86	3.66	4.31
32	1071	0.3044	250	893.59	59.07	856.36	61.82	4.17	4.65
32	1071	0.3044	200	815.32	58.84	776.50	61.78	4.76	5.00
32	1071	0.3044	150	737.04	58.61	696.70	61.74	5.47	5.35
32	1071	0.3044	100	658.77	58.38	616.94	61.71	6.35	5.71
32	1071	0.3044	50	580.49	58.15	537.24	61.67	7.45	6.07
32	1071	0.3044	0	502.21	57.91	457.58	61.64	8.89	6.44
33	1071	0.3044	1100	2221.98	63.19	2221.13	62.96	0.04	0.37

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
33	1071	0.3044	1050	2140.82	62.93	2140.48	62.87	0.02	0.10
33	1071	0.3044	1000	2071.94	62.52	2059.83	62.79	0.58	0.44
33	1071	0.3044	950	1987.43	62.22	1979.23	62.71	0.41	0.79
33	1071	0.3044	900	1912.16	62.20	1898.68	62.64	0.71	0.71
33	1071	0.3044	850	1834.16	61.80	1818.17	62.57	0.87	1.24
33	1071	0.3044	800	1756.15	61.53	1737.72	62.50	1.05	1.58
33	1071	0.3044	750	1678.15	61.26	1657.32	62.43	1.24	1.92
33	1071	0.3044	700	1600.15	60.99	1576.96	62.37	1.45	2.27
33	1071	0.3044	650	1522.15	60.72	1496.66	62.31	1.67	2.62
33	1071	0.3044	600	1444.14	60.45	1416.41	62.25	1.92	2.98
33	1071	0.3044	550	1366.14	60.18	1336.20	62.20	2.19	3.35
33	1071	0.3044	500	1288.14	59.91	1256.05	62.14	2.49	3.73
33	1071	0.3044	450	1210.14	59.64	1175.94	62.09	2.83	4.11
33	1071	0.3044	400	1132.13	59.37	1095.89	62.04	3.20	4.50
33	1071	0.3044	350	1054.13	59.10	1015.88	61.99	3.63	4.90
33	1071	0.3044	300	976.13	58.83	935.93	61.95	4.12	5.30
33	1071	0.3044	250	898.12	58.56	856.03	61.90	4.69	5.72
33	1071	0.3044	200	820.12	58.29	776.18	61.86	5.36	6.13
33	1071	0.3044	150	742.12	58.02	696.37	61.82	6.16	6.56
33	1071	0.3044	100	664.12	57.75	616.62	61.78	7.15	6.99
33	1071	0.3044	50	586.11	57.48	536.92	61.74	8.39	7.43
33	1071	0.3044	0	508.11	57.21	457.27	61.71	10.01	7.87
34	1071	0.3044	1100	2220.79	63.37	2220.68	63.12	0.01	0.41
34	1071	0.3044	1050	2139.82	63.03	2140.03	63.02	0.01	0.01
34	1071	0.3044	1000	2060.94	62.92	2059.39	62.94	0.07	0.03
34	1071	0.3044	950	1977.93	62.52	1978.80	62.86	0.04	0.53

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
34	1071	0.3044	900	1902.03	62.20	1898.26	62.78	0.20	0.93
34	1071	0.3044	850	1824.03	62.02	1817.76	62.70	0.34	1.10
34	1071	0.3044	800	1746.70	61.71	1737.32	62.63	0.54	1.49
34	1071	0.3044	750	1665.64	61.43	1656.92	62.56	0.52	1.83
34	1071	0.3044	700	1586.61	61.16	1576.58	62.49	0.63	2.18
34	1071	0.3044	650	1507.58	60.88	1496.28	62.42	0.75	2.54
34	1071	0.3044	600	1428.55	60.60	1416.03	62.36	0.88	2.90
34	1071	0.3044	550	1349.52	60.33	1335.83	62.30	1.01	3.27
34	1071	0.3044	500	1270.50	60.05	1255.69	62.24	1.17	3.65
34	1071	0.3044	450	1191.47	59.77	1175.59	62.19	1.33	4.04
34	1071	0.3044	400	1112.44	59.50	1095.54	62.13	1.52	4.44
34	1071	0.3044	350	1033.41	59.22	1015.54	62.08	1.73	4.84
34	1071	0.3044	300	954.39	58.94	935.59	62.03	1.97	5.25
34	1071	0.3044	250	875.36	58.67	855.70	61.99	2.25	5.66
34	1071	0.3044	200	796.33	58.39	775.85	61.94	2.57	6.09
34	1071	0.3044	150	717.30	58.11	696.05	61.90	2.96	6.51
34	1071	0.3044	100	638.27	57.84	616.31	61.86	3.44	6.95
34	1071	0.3044	50	559.25	57.56	536.61	61.82	4.05	7.40
34	1071	0.3044	0	480.22	57.28	456.97	61.78	4.84	7.85
35	1071	0.3044	1100	2220.69	63.67	2220.23	63.28	0.02	0.63
35	1071	0.3044	1050	2137.72	63.53	2139.59	63.18	0.09	0.56
35	1071	0.3044	1000	2057.94	62.89	2058.96	63.08	0.05	0.31
35	1071	0.3044	950	1976.93	62.69	1978.38	63.00	0.07	0.49
35	1071	0.3044	900	1895.56	62.30	1897.84	62.91	0.12	0.99
35	1071	0.3044	850	1814.45	61.94	1817.36	62.83	0.16	1.44
35	1071	0.3044	800	1733.35	61.58	1736.92	62.75	0.21	1.91

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
35	1071	0.3044	750	1652.25	61.22	1656.53	62.68	0.26	2.38
35	1071	0.3044	700	1571.14	60.86	1576.19	62.60	0.32	2.87
35	1071	0.3044	650	1490.04	60.50	1495.90	62.53	0.39	3.37
35	1071	0.3044	600	1408.93	60.14	1415.66	62.47	0.48	3.88
35	1071	0.3044	550	1327.83	59.78	1335.47	62.40	0.58	4.40
35	1071	0.3044	500	1246.72	59.42	1255.33	62.34	0.69	4.92
35	1071	0.3044	450	1165.62	59.06	1175.23	62.28	0.82	5.46
35	1071	0.3044	400	1084.52	58.70	1095.19	62.23	0.98	6.01
35	1071	0.3044	350	1003.41	58.34	1015.20	62.17	1.17	6.58
35	1071	0.3044	300	922.31	57.98	935.26	62.12	1.40	7.15
35	1071	0.3044	250	841.20	57.62	855.37	62.07	1.68	7.73
35	1071	0.3044	200	760.10	57.26	775.52	62.02	2.03	8.32
35	1071	0.3044	150	679.00	56.90	695.73	61.97	2.46	8.93
35	1071	0.3044	100	597.89	56.54	615.99	61.93	3.03	9.54
35	1071	0.3044	50	516.79	56.18	536.30	61.89	3.78	10.17
35	1071	0.3044	0	435.68	55.82	456.66	61.85	4.81	10.80
36	1071	0.3044	1100	2219.98	63.97	2219.77	63.43	0.01	0.84
36	1071	0.3044	1050	2137.22	63.86	2139.14	63.33	0.09	0.83
36	1071	0.3044	1000	2056.92	62.75	2058.52	63.23	0.08	0.76
36	1071	0.3044	950	1975.63	62.69	1977.95	63.14	0.12	0.71
36	1071	0.3044	900	1896.94	62.50	1897.42	63.05	0.03	0.88
36	1071	0.3044	850	1815.04	61.74	1816.95	62.96	0.10	1.98
36	1071	0.3044	800	1734.28	61.56	1736.52	62.88	0.13	2.14
36	1071	0.3044	750	1653.51	61.22	1656.14	62.80	0.16	2.58
36	1071	0.3044	700	1572.74	60.86	1575.80	62.72	0.19	3.06
36	1071	0.3044	650	1491.98	60.50	1495.52	62.65	0.24	3.55

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
36	1071	0.3044	600	1411.21	60.14	1415.29	62.58	0.29	4.06
36	1071	0.3044	550	1330.44	59.78	1335.10	62.51	0.35	4.57
36	1071	0.3044	500	1249.68	59.42	1254.97	62.44	0.42	5.09
36	1071	0.3044	450	1168.91	59.06	1174.88	62.38	0.51	5.63
36	1071	0.3044	400	1088.15	58.70	1094.84	62.32	0.62	6.17
36	1071	0.3044	350	1007.38	58.34	1014.86	62.26	0.74	6.73
36	1071	0.3044	300	926.61	57.98	934.92	62.21	0.90	7.29
36	1071	0.3044	250	845.85	57.62	855.03	62.15	1.09	7.87
36	1071	0.3044	200	765.08	57.26	775.20	62.10	1.32	8.46
36	1071	0.3044	150	684.31	56.90	695.41	62.05	1.62	9.06
36	1071	0.3044	100	603.55	56.54	615.67	62.00	2.01	9.67
36	1071	0.3044	50	522.78	56.18	535.99	61.96	2.53	10.29
36	1071	0.3044	0	442.01	55.82	456.35	61.91	3.24	10.92
37	1071	0.3044	1100	2220.69	63.67	2219.32	63.59	0.06	0.13
37	1071	0.3044	1050	2137.72	63.53	2138.70	63.48	0.05	0.08
37	1071	0.3044	1000	2057.94	62.89	2058.09	63.38	0.01	0.78
37	1071	0.3044	950	1976.93	62.69	1977.52	63.28	0.03	0.94
37	1071	0.3044	900	1895.56	62.20	1897.00	63.18	0.08	1.58
37	1071	0.3044	850	1814.45	61.87	1816.54	63.09	0.11	1.97
37	1071	0.3044	800	1733.35	61.68	1736.11	63.00	0.16	2.15
37	1071	0.3044	750	1652.25	61.22	1655.74	62.92	0.21	2.78
37	1071	0.3044	700	1571.14	60.99	1575.42	62.84	0.27	3.03
37	1071	0.3044	650	1490.04	60.61	1495.14	62.76	0.34	3.55
37	1071	0.3044	600	1408.93	60.42	1414.91	62.68	0.42	3.75
37	1071	0.3044	550	1327.83	60.25	1334.74	62.61	0.52	3.92
37	1071	0.3044	500	1246.72	59.97	1254.61	62.54	0.63	4.28

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
37	1071	0.3044	450	1165.62	59.79	1174.53	62.48	0.76	4.50
37	1071	0.3044	400	1084.52	59.59	1094.50	62.41	0.92	4.74
37	1071	0.3044	350	1003.41	59.27	1014.52	62.35	1.11	5.20
37	1071	0.3044	300	922.31	58.42	934.58	62.29	1.33	6.62
37	1071	0.3044	250	841.20	58.54	854.70	62.23	1.60	6.30
37	1071	0.3044	200	760.10	58.27	774.87	62.18	1.94	6.71
37	1071	0.3044	150	679.00	57.99	695.09	62.13	2.37	7.13
37	1071	0.3044	100	597.89	57.71	615.36	62.08	2.92	7.56
37	1071	0.3044	50	516.79	57.44	535.67	62.03	3.65	7.99
37	1071	0.3044	0	435.68	57.16	456.04	61.98	4.67	8.43
38	1071	0.3044	1100	2219.10	63.98	2218.86	63.75	0.01	0.35
38	1071	0.3044	1050	2137.56	63.90	2138.25	63.63	0.03	0.41
38	1071	0.3044	1000	2057.65	63.71	2057.65	63.52	0.00	0.29
38	1071	0.3044	950	1976.68	63.67	1977.10	63.42	0.02	0.39
38	1071	0.3044	900	1895.95	63.54	1896.59	63.32	0.03	0.35
38	1071	0.3044	850	1815.24	63.42	1816.13	63.22	0.05	0.32
38	1071	0.3044	800	1734.52	63.31	1735.71	63.13	0.07	0.29
38	1071	0.3044	750	1653.80	63.20	1655.35	63.04	0.09	0.26
38	1071	0.3044	700	1573.09	63.09	1575.03	62.95	0.12	0.22
38	1071	0.3044	650	1492.37	62.98	1494.76	62.87	0.16	0.17
38	1071	0.3044	600	1411.65	62.87	1414.54	62.79	0.20	0.12
38	1071	0.3044	550	1330.94	62.76	1334.37	62.71	0.26	0.06
38	1071	0.3044	500	1250.22	62.64	1254.25	62.64	0.32	0.00
38	1071	0.3044	450	1169.50	62.53	1174.17	62.57	0.40	0.06
38	1071	0.3044	400	1088.79	62.42	1094.15	62.50	0.49	0.13
38	1071	0.3044	350	1008.07	62.31	1014.17	62.44	0.61	0.21

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
38	1071	0.3044	300	927.35	62.20	934.25	62.38	0.74	0.29
38	1071	0.3044	250	846.64	62.09	854.37	62.32	0.91	0.37
38	1071	0.3044	200	765.92	61.98	774.54	62.26	1.13	0.46
38	1071	0.3044	150	685.20	61.86	694.77	62.20	1.40	0.55
38	1071	0.3044	100	604.49	61.75	615.04	62.15	1.75	0.64
38	1071	0.3044	50	523.77	61.64	535.36	62.10	2.21	0.74
38	1071	0.3044	0	443.05	61.53	455.73	62.05	2.86	0.85
39	1071	0.3044	1100	2218.97	64.00	2218.41	63.91	0.03	0.14
39	1071	0.3044	1050	2137.53	63.76	2137.81	63.79	0.01	0.05
39	1071	0.3044	1000	2057.94	63.68	2057.22	63.67	0.04	0.02
39	1071	0.3044	950	1976.93	63.59	1976.67	63.56	0.01	0.05
39	1071	0.3044	900	1895.56	63.46	1896.17	63.45	0.03	0.01
39	1071	0.3044	850	1814.45	63.38	1815.72	63.35	0.07	0.05
39	1071	0.3044	800	1733.35	63.58	1735.31	63.25	0.11	0.51
39	1071	0.3044	750	1652.25	63.22	1654.95	63.16	0.16	0.09
39	1071	0.3044	700	1571.14	63.19	1574.64	63.07	0.22	0.19
39	1071	0.3044	650	1490.04	63.10	1494.38	62.98	0.29	0.19
39	1071	0.3044	600	1408.93	63.01	1414.17	62.90	0.37	0.18
39	1071	0.3044	550	1327.83	62.92	1334.00	62.82	0.46	0.17
39	1071	0.3044	500	1246.72	62.83	1253.89	62.74	0.57	0.15
39	1071	0.3044	450	1165.62	62.75	1173.82	62.67	0.70	0.13
39	1071	0.3044	400	1084.52	62.66	1093.80	62.60	0.86	0.10
39	1071	0.3044	350	1003.41	62.57	1013.83	62.53	1.04	0.07
39	1071	0.3044	300	922.31	62.48	933.91	62.46	1.26	0.03
39	1071	0.3044	250	841.20	62.39	854.04	62.40	1.53	0.01
39	1071	0.3044	200	760.10	62.31	774.22	62.34	1.86	0.05

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
39	1071	0.3044	150	679.00	62.22	694.44	62.28	2.28	0.10
39	1071	0.3044	100	597.89	62.13	614.72	62.22	2.81	0.15
39	1071	0.3044	50	516.79	62.04	535.05	62.17	3.53	0.21
39	1071	0.3044	0	435.68	61.95	455.42	62.12	4.53	0.27
40	1071	0.3044	1100	2217.09	64.29	2217.95	64.07	0.04	0.34
40	1071	0.3044	1050	2137.43	63.98	2137.36	63.94	0.00	0.07
40	1071	0.3044	1000	2056.01	63.90	2056.78	63.82	0.04	0.13
40	1071	0.3044	950	1976.54	63.80	1976.24	63.70	0.02	0.15
40	1071	0.3044	900	1895.09	63.61	1895.75	63.59	0.03	0.03
40	1071	0.3044	850	1814.97	63.49	1815.31	63.48	0.02	0.02
40	1071	0.3044	800	1734.48	63.33	1734.91	63.38	0.02	0.08
40	1071	0.3044	750	1653.99	63.18	1654.56	63.28	0.03	0.16
40	1071	0.3044	700	1573.50	63.03	1574.26	63.18	0.05	0.25
40	1071	0.3044	650	1493.01	62.88	1494.00	63.09	0.07	0.34
40	1071	0.3044	600	1412.52	62.73	1413.79	63.01	0.09	0.44
40	1071	0.3044	550	1332.03	62.58	1333.64	62.92	0.12	0.54
40	1071	0.3044	500	1251.54	62.43	1253.53	62.84	0.16	0.65
40	1071	0.3044	450	1171.05	62.29	1173.46	62.76	0.21	0.77
40	1071	0.3044	400	1090.57	62.14	1093.45	62.69	0.26	0.89
40	1071	0.3044	350	1010.08	61.99	1013.49	62.62	0.34	1.01
40	1071	0.3044	300	929.59	61.84	933.57	62.55	0.43	1.15
40	1071	0.3044	250	849.10	61.69	853.71	62.48	0.54	1.28
40	1071	0.3044	200	768.61	61.54	773.89	62.42	0.69	1.42
40	1071	0.3044	150	688.12	61.39	694.12	62.36	0.87	1.57
40	1071	0.3044	100	607.63	61.25	614.40	62.30	1.11	1.72
40	1071	0.3044	50	527.14	61.10	534.74	62.24	1.44	1.87

Tabel C5 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
40	1071	0.3044	0	446.65	60.95	455.12	62.19	1.89	2.03
AVERAGE ERROR								1.47	2.52

Pada Tabel C6 laju aliran massa injeksi surfaktan divariasikan, dengan tekanan, laju aliran massa dan konsentrasi injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 0.2 hingga 0.5 kg/s.

Tabel C6 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi laju aliran massa injeksi

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.2	1100	2333.70	62.98	2341.27	62.60	0.32	0.60
31	1071	0.2	1050	2298.51	62.81	2260.61	62.54	1.65	0.43
31	1071	0.2	1000	2225.12	62.63	2179.95	62.48	2.03	0.24
31	1071	0.2	950	2151.73	62.45	2099.34	62.42	2.43	0.04
31	1071	0.2	900	2078.33	62.27	2018.78	62.37	2.87	0.15
31	1071	0.2	850	2004.94	62.10	1938.27	62.32	3.33	0.35
31	1071	0.2	800	1919.74	61.92	1857.81	62.27	3.23	0.56
31	1071	0.2	750	1844.53	61.74	1777.41	62.22	3.64	0.77
31	1071	0.2	700	1769.32	61.57	1697.05	62.17	4.08	0.98
31	1071	0.2	650	1694.11	61.39	1616.74	62.12	4.57	1.20
31	1071	0.2	600	1561.84	61.21	1536.49	62.08	1.62	1.42
31	1071	0.2	550	1493.62	61.03	1456.28	62.04	2.50	1.64
31	1071	0.2	500	1398.09	60.86	1376.13	62.00	1.57	1.87
31	1071	0.2	450	1372.06	60.68	1296.02	61.96	5.54	2.10
31	1071	0.2	400	1277.08	60.50	1215.97	61.92	4.78	2.34

Tabel C6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.2	350	1198.35	60.32	1135.97	61.88	5.21	2.58
31	1071	0.2	300	1119.62	60.15	1056.02	61.84	5.68	2.82
31	1071	0.2	250	1040.89	59.97	976.12	61.81	6.22	3.07
31	1071	0.2	200	962.16	59.79	896.28	61.78	6.85	3.32
31	1071	0.2	150	883.43	59.62	816.48	61.74	7.58	3.57
31	1071	0.2	100	804.70	59.44	736.74	61.71	8.45	3.82
31	1071	0.2	50	725.97	59.26	657.05	61.68	9.49	4.08
31	1071	0.2	0	647.24	59.08	577.41	61.65	10.79	4.35
31	1071	0.3	1100	2332.88	62.86	2343.84	62.50	0.47	0.56
31	1071	0.3	1050	2256.71	62.71	2263.08	62.46	0.28	0.40
31	1071	0.3	1000	2180.54	62.70	2182.33	62.42	0.08	0.45
31	1071	0.3	950	2104.35	62.56	2101.64	62.37	0.13	0.29
31	1071	0.3	900	2028.16	62.50	2020.99	62.33	0.35	0.26
31	1071	0.3	850	1951.96	62.40	1940.40	62.29	0.59	0.17
31	1071	0.3	800	1875.75	62.31	1859.86	62.25	0.85	0.10
31	1071	0.3	750	1799.53	62.23	1779.36	62.22	1.12	0.02
31	1071	0.3	700	1723.31	62.14	1698.92	62.18	1.42	0.07
31	1071	0.3	650	1647.08	62.05	1618.53	62.15	1.73	0.15
31	1071	0.3	600	1570.84	61.96	1538.20	62.11	2.08	0.23
31	1071	0.3	550	1494.60	61.88	1457.91	62.08	2.45	0.32
31	1071	0.3	500	1418.34	61.79	1377.68	62.04	2.87	0.41
31	1071	0.3	450	1342.09	61.70	1297.49	62.01	3.32	0.50
31	1071	0.3	400	1265.82	61.61	1217.36	61.98	3.83	0.59
31	1071	0.3	350	1189.56	61.53	1137.28	61.95	4.39	0.69
31	1071	0.3	300	1113.28	61.44	1057.25	61.92	5.03	0.78

Tabel C6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.3	250	1037.00	61.35	977.27	61.89	5.76	0.88
31	1071	0.3	200	960.72	61.27	897.35	61.86	6.60	0.98
31	1071	0.3	150	884.43	61.18	817.47	61.84	7.57	1.08
31	1071	0.3	100	808.13	61.09	737.65	61.81	8.72	1.18
31	1071	0.3	50	731.83	61.00	657.88	61.79	10.11	1.28
31	1071	0.3	0	655.53	60.92	578.16	61.76	11.80	1.39
31	1071	0.4	1100	2331.30	62.63	2347.63	62.41	0.70	0.34
31	1071	0.4	1050	2296.14	62.58	2266.66	62.38	1.28	0.32
31	1071	0.4	1000	2222.81	62.52	2185.70	62.35	1.67	0.29
31	1071	0.4	950	2149.48	62.50	2104.78	62.31	2.08	0.31
31	1071	0.4	900	2076.15	62.46	2023.92	62.28	2.52	0.29
31	1071	0.4	850	2002.82	62.42	1943.10	62.25	2.98	0.27
31	1071	0.4	800	1917.68	62.37	1862.34	62.22	2.89	0.25
31	1071	0.4	750	1842.54	62.33	1781.64	62.19	3.31	0.23
31	1071	0.4	700	1767.39	62.29	1700.98	62.16	3.76	0.21
31	1071	0.4	650	1692.24	62.25	1620.37	62.13	4.25	0.19
31	1071	0.4	600	1577.03	62.21	1539.82	62.10	2.36	0.17
31	1071	0.4	550	1469.11	62.17	1459.32	62.07	0.67	0.15
31	1071	0.4	500	1405.16	62.13	1378.87	62.05	1.87	0.13
31	1071	0.4	450	1318.28	62.08	1298.47	62.02	1.50	0.10
31	1071	0.4	400	1231.40	62.04	1218.12	61.99	1.08	0.08
31	1071	0.4	350	1144.51	62.00	1137.83	61.97	0.58	0.05
31	1071	0.4	300	1057.63	61.96	1057.58	61.94	0.00	0.02
31	1071	0.4	250	970.75	61.92	977.39	61.92	0.68	0.00
31	1071	0.4	200	883.87	61.88	897.25	61.90	1.51	0.03

Tabel C6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.4	150	796.99	61.83	817.16	61.87	2.53	0.06
31	1071	0.4	100	710.10	61.79	737.13	61.85	3.81	0.09
31	1071	0.4	50	623.22	61.75	657.14	61.83	5.44	0.13
31	1071	0.4	0	536.34	61.71	577.21	61.81	7.62	0.16
31	1071	0.5	1100	2052.80	62.23	2001.27	62.61	2.51	0.61
31	1071	0.5	1050	1998.60	62.18	1920.29	62.52	3.92	0.55
31	1071	0.5	1000	1875.18	62.06	1839.27	62.45	1.91	0.61
31	1071	0.5	950	1761.77	61.92	1758.31	62.37	0.20	0.72
31	1071	0.5	900	1698.35	61.76	1677.39	62.30	1.23	0.87
31	1071	0.5	850	1604.94	61.58	1596.52	62.23	0.52	1.07
31	1071	0.5	800	1529.71	61.33	1515.70	62.17	0.92	1.36
31	1071	0.5	750	1454.49	61.10	1434.93	62.11	1.34	1.65
31	1071	0.5	700	1379.27	60.84	1354.21	62.05	1.82	1.98
31	1071	0.5	650	1274.04	60.57	1273.54	61.99	0.04	2.35
31	1071	0.5	600	1218.76	60.27	1192.92	61.94	2.12	2.76
31	1071	0.5	550	1153.53	60.14	1112.36	61.89	3.57	2.90
31	1071	0.5	500	1068.29	59.92	1031.84	61.84	3.41	3.20
31	1071	0.5	450	983.04	59.69	951.37	61.79	3.22	3.51
31	1071	0.5	400	914.79	59.47	870.95	61.74	4.79	3.83
31	1071	0.5	350	821.54	59.24	790.58	61.70	3.77	4.16
31	1071	0.5	300	744.96	59.01	710.26	61.66	4.66	4.49
31	1071	0.5	250	654.22	58.79	630.00	61.62	3.70	4.82
31	1071	0.5	200	563.47	58.56	549.78	61.59	2.43	5.16
31	1071	0.5	150	470.72	58.34	469.61	61.55	0.24	5.51
31	1071	0.5	100	398.97	58.11	389.50	61.52	2.37	5.86

Tabel C6 (Lanjutan)

T	P	m	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	kg/s	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.5	50	313.23	57.89	309.44	61.48	1.21	6.22
31	1071	0.5	0	230.98	57.66	229.42	61.45	0.67	6.58
AVERAGE ERROR								3.17	1.41

Pada Tabel C7 konsentrasi injeksi surfaktan divariasikan, dengan tekanan, laju aliran massa dan temperatur injeksi tetap. Nilai variasi ditentukan antara 0.5 hingga 0.9 wt%.

Tabel C7 Validasi model injeksi surfaktan terhadap variasi konsentrasi injeksi

T	P	WT	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
C	psi	%	m	P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.5	1100	2232.88	62.86	2222.04	62.64	0.49	0.35
31	1071	0.5	1050	2156.71	62.71	2141.37	62.57	0.71	0.23
31	1071	0.5	1000	2080.54	62.70	2060.70	62.50	0.95	0.31
31	1071	0.5	950	1997.35	62.56	1980.08	62.43	0.86	0.20
31	1071	0.5	900	1908.16	62.50	1899.51	62.37	0.45	0.21
31	1071	0.5	850	1851.96	62.40	1818.99	62.31	1.78	0.15
31	1071	0.5	800	1775.75	62.31	1738.53	62.25	2.10	0.10
31	1071	0.5	750	1699.53	62.23	1658.11	62.19	2.44	0.05
31	1071	0.5	700	1623.31	62.14	1577.74	62.14	2.81	0.00
31	1071	0.5	650	1544.73	62.05	1497.42	62.09	3.06	0.06
31	1071	0.5	600	1468.65	61.96	1417.15	62.04	3.51	0.12
31	1071	0.5	550	1392.57	61.88	1336.93	61.99	4.00	0.18
31	1071	0.5	500	1316.49	61.79	1256.77	61.94	4.54	0.25
31	1071	0.5	450	1221.41	61.70	1176.65	61.90	3.66	0.32

Tabel C7 (lanjutan)

T	P	WT	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.5	400	1134.33	61.61	1096.58	61.86	3.33	0.39
31	1071	0.5	350	1041.92	61.53	1016.57	61.82	2.43	0.47
31	1071	0.5	300	950.84	61.44	936.60	61.78	1.50	0.55
31	1071	0.5	250	859.76	61.35	856.69	61.74	0.36	0.63
31	1071	0.5	200	768.68	61.27	776.83	61.70	1.06	0.71
31	1071	0.5	150	677.60	61.18	697.02	61.67	2.87	0.80
31	1071	0.5	100	586.52	61.09	617.26	61.63	5.24	0.89
31	1071	0.5	50	505.44	61.00	537.55	61.60	6.35	0.98
31	1071	0.5	0	493.36	60.92	457.89	61.57	7.19	1.08
31	1071	0.6	1100	2224.31	62.98	2224.18	62.64	0.01	0.54
31	1071	0.6	1050	2161.07	62.90	2143.25	62.57	0.82	0.52
31	1071	0.6	1000	2079.83	62.85	2062.25	62.50	0.85	0.56
31	1071	0.6	950	1995.68	62.77	1981.31	62.44	0.72	0.53
31	1071	0.6	900	1910.71	62.68	1900.42	62.37	0.54	0.49
31	1071	0.6	850	1836.54	62.62	1819.58	62.31	0.92	0.49
31	1071	0.6	800	1757.29	62.54	1738.79	62.26	1.05	0.46
31	1071	0.6	750	1678.03	62.47	1658.05	62.20	1.19	0.44
31	1071	0.6	700	1598.77	62.40	1577.36	62.15	1.34	0.41
31	1071	0.6	650	1519.51	62.33	1496.72	62.09	1.50	0.37
31	1071	0.6	600	1440.25	62.25	1416.14	62.05	1.67	0.33
31	1071	0.6	550	1360.99	62.18	1335.60	62.00	1.87	0.29
31	1071	0.6	500	1281.73	62.11	1255.12	61.95	2.08	0.25
31	1071	0.6	450	1202.47	62.04	1174.69	61.91	2.31	0.21
31	1071	0.6	400	1123.21	61.96	1094.30	61.87	2.57	0.16
31	1071	0.6	350	1043.96	61.89	1013.97	61.83	2.87	0.10

Tabel C7 (lanjutan)

T	P	WT	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.6	300	964.70	61.82	933.69	61.79	3.21	0.05
31	1071	0.6	250	885.44	61.74	853.47	61.75	3.61	0.01
31	1071	0.6	200	806.18	61.67	773.29	61.71	4.08	0.07
31	1071	0.6	150	726.92	61.60	693.17	61.68	4.64	0.13
31	1071	0.6	100	647.66	61.53	613.09	61.64	5.34	0.19
31	1071	0.6	50	568.40	61.45	533.07	61.61	6.22	0.26
31	1071	0.6	0	489.14	61.38	453.11	61.58	7.37	0.33
31	1071	0.7	1100	2223.68	62.98	2223.36	62.64	0.01	0.53
31	1071	0.7	1050	2167.73	62.83	2142.36	62.57	1.17	0.41
31	1071	0.7	1000	2087.86	62.69	2061.33	62.50	1.27	0.29
31	1071	0.7	950	1996.66	62.59	1980.35	62.44	0.82	0.24
31	1071	0.7	900	1901.91	62.48	1899.42	62.38	0.13	0.16
31	1071	0.7	850	1863.81	62.34	1818.53	62.32	2.43	0.04
31	1071	0.7	800	1771.48	62.22	1737.70	62.26	1.91	0.07
31	1071	0.7	750	1694.67	62.10	1656.92	62.21	2.23	0.18
31	1071	0.7	700	1617.87	61.97	1576.18	62.15	2.58	0.29
31	1071	0.7	650	1541.07	61.85	1495.50	62.10	2.96	0.41
31	1071	0.7	600	1464.27	61.72	1414.86	62.05	3.37	0.53
31	1071	0.7	550	1387.47	61.60	1334.28	62.01	3.83	0.66
31	1071	0.7	500	1288.67	61.48	1253.74	61.96	2.71	0.79
31	1071	0.7	450	1198.64	61.35	1173.26	61.92	2.12	0.92
31	1071	0.7	400	1127.51	61.23	1092.82	61.87	3.08	1.05
31	1071	0.7	350	1045.36	61.11	1012.44	61.83	3.15	1.19
31	1071	0.7	300	963.22	60.98	932.10	61.80	3.23	1.33
31	1071	0.7	250	881.07	60.86	851.82	61.76	3.32	1.48

Tabel C7 (lanjutan)

T	P	WT	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.7	200	798.92	60.73	771.58	61.72	3.42	1.63
31	1071	0.7	150	716.78	60.61	691.40	61.69	3.54	1.78
31	1071	0.7	100	634.63	60.49	611.26	61.65	3.68	1.93
31	1071	0.7	50	552.48	60.36	531.18	61.62	3.86	2.08
31	1071	0.7	0	470.34	60.24	451.15	61.59	4.08	2.24
31	1071	0.8	1100	2222.78	62.97	2222.16	62.65	0.03	0.52
31	1071	0.8	1050	2178.79	62.87	2141.47	62.57	1.71	0.47
31	1071	0.8	1000	2057.80	62.81	2060.79	62.51	0.15	0.48
31	1071	0.8	950	1990.81	62.75	1980.15	62.44	0.54	0.49
31	1071	0.8	900	1901.26	62.67	1899.57	62.38	0.09	0.46
31	1071	0.8	850	1877.79	62.60	1819.03	62.32	3.13	0.43
31	1071	0.8	800	1775.75	62.52	1738.55	62.27	2.10	0.41
31	1071	0.8	750	1700.77	62.45	1658.11	62.21	2.51	0.38
31	1071	0.8	700	1625.78	62.38	1577.72	62.16	2.96	0.35
31	1071	0.8	650	1550.79	62.30	1497.39	62.11	3.44	0.31
31	1071	0.8	600	1475.81	62.23	1417.10	62.06	3.98	0.28
31	1071	0.8	550	1373.82	62.16	1336.86	62.01	2.69	0.23
31	1071	0.8	500	1294.59	62.09	1256.68	61.97	2.93	0.19
31	1071	0.8	450	1198.78	62.01	1176.54	61.93	1.85	0.14
31	1071	0.8	400	1098.97	61.94	1096.46	61.88	0.23	0.09
31	1071	0.8	350	1028.23	61.87	1016.42	61.84	1.15	0.04
31	1071	0.8	300	942.30	61.79	936.44	61.80	0.62	0.02
31	1071	0.8	250	856.37	61.72	856.51	61.77	0.02	0.07
31	1071	0.8	200	770.43	61.65	776.62	61.73	0.80	0.13
31	1071	0.8	150	684.50	61.58	696.79	61.70	1.79	0.20

Tabel C7 (lanjutan)

T	P	WT	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.8	100	598.57	61.50	617.01	61.66	3.08	0.26
31	1071	0.8	50	512.64	61.43	537.28	61.63	4.81	0.33
31	1071	0.8	0	426.71	61.36	457.60	61.60	7.24	0.40
31	1071	0.9	1100	2221.00	62.87	2220.98	62.65	0.00	0.36
31	1071	0.9	1050	2173.08	62.79	2140.35	62.58	1.51	0.34
31	1071	0.9	1000	2060.14	62.74	2059.72	62.51	0.02	0.36
31	1071	0.9	950	1999.18	62.65	1979.14	62.45	1.00	0.32
31	1071	0.9	900	1899.71	62.64	1898.61	62.39	0.06	0.40
31	1071	0.9	850	1848.25	62.56	1818.14	62.33	1.63	0.38
31	1071	0.9	800	1759.08	62.45	1737.71	62.27	1.21	0.28
31	1071	0.9	750	1680.66	62.41	1657.33	62.22	1.39	0.31
31	1071	0.9	700	1602.23	62.35	1577.00	62.17	1.57	0.29
31	1071	0.9	650	1523.81	62.28	1496.72	62.12	1.78	0.27
31	1071	0.9	600	1445.39	62.22	1416.50	62.07	2.00	0.24
31	1071	0.9	550	1366.96	62.15	1336.32	62.02	2.24	0.21
31	1071	0.9	500	1288.54	62.09	1256.19	61.98	2.51	0.18
31	1071	0.9	450	1210.12	62.02	1176.12	61.93	2.81	0.14
31	1071	0.9	400	1131.70	61.96	1096.09	61.89	3.15	0.10
31	1071	0.9	350	1053.27	61.89	1016.12	61.85	3.53	0.06
31	1071	0.9	300	974.85	61.83	936.19	61.81	3.97	0.02
31	1071	0.9	250	896.43	61.76	856.32	61.78	4.47	0.02
31	1071	0.9	200	818.01	61.70	776.50	61.74	5.07	0.07
31	1071	0.9	150	739.58	61.63	696.73	61.71	5.79	0.12
31	1071	0.9	100	661.16	61.57	617.00	61.67	6.68	0.17
31	1071	0.9	50	582.74	61.50	537.34	61.64	7.79	0.23

Tabel C7 (lanjutan)

T	P	WT	Elevation	PIPESIM		Model Beggs Brill		Error	
				P out	T out	P out	T out	% error P	% error T
31	1071	0.9	0	504.31	61.44	457.72	61.61	9.24	0.28
AVERAGE ERROR								2.56	0.42

LAMPIRAN D Contoh perhitungan *Pressure Drop* menggunakan metode *Begg's-Brill* pada *Injection Well*

Model CO_2 -foam flooding pada *injection well* dilakukan dengan membagi segmentasi pada well setiap kedalaman 50 m. Parameter input yang digunakan pada model adalah seperti yang tertera pada Tabel D.1

Tabel D. 1 kondisi input pemodelan Begg's-Brill

Parameter	Nilai	Satuan
Gravitasi	9.8	m/s ²
Kedalaman sumur	1100	m
Temperatur Reservoir	60.74456	°C
Tekanan injeksi CO_2	1071	psia
Laju aliran massa injeksi CO_2	0.5	MMscfd
Temperatur injeksi CO_2	31.0	°C
Temperatur Injeksi Surfaktan	31.0	°C
Tekanan injeksi surfaktan	1071	psia
Laju aliran massa injeksi surfaktan	0.5	MMscfd
Temperatur injeksi surfaktan	31.0	°C
Konsentrasi surfaktan	0.5	wt%

Sedangkan rumus yang digunakan untuk menghitung pressure drop adalah sebagai berikut:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{f_{tp} \cdot \rho \cdot v^2}{g_c \cdot d} + \frac{\rho g}{g_c} \quad (1)$$

Untuk nilai f_{tp} pada metode Begg's-Brill didapatkan melalui persamaan berikut:

$$\frac{1}{\sqrt{f_{tp}}} = 1.14 - 2 \text{Log} \left(\frac{\varepsilon}{d} + \frac{21.25}{N_{Re}^{0.9}} \right) \quad (2)$$

Sebelumnya diperlukan nilai bilangan Reynold dari aliran injeksi melalui persamaan:

- Menghitung N_{Re}

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \\
 &= \frac{562.025512 \times 0.08710417 \times 0.089}{0.000178245} \\
 &= 24,443.738
 \end{aligned}$$

- Menghitung f_{tp}

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\sqrt{f_{tp}}} &= 1.14 - 2 \operatorname{Log} \left(\frac{\varepsilon}{d} + \frac{21.25}{N_{Re}^{0.9}} \right) \\
 &= 1.14 - 2 \operatorname{Log} \left(\frac{0.0000254}{0.089} + \frac{21.25}{24,443.738^{0.9}} \right) \\
 &= 0.002531
 \end{aligned}$$

- Menghitung *Pressure Drop*

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) &= \frac{f_{tp} \cdot \rho \cdot v^2}{g_c \cdot d} + \frac{\rho g}{g_c} \\
 &= \frac{0.002531 \times 562.025512 \times 0.08710417^2}{\frac{1 \times 0.089}{562.025512 \times 9.8} + 1} \\
 &= 5,507.971 \frac{Pa}{m}
 \end{aligned}$$

Sehingga apabila tekanan injeksi adalah 1071 psia dan pressure drop didapatkan sebesar $5,507.971 \frac{Pa}{m}$ maka tekanan pada segment berikutnya sebesar 1111.091913 psi.

LAMPIRAN E Contoh perhitungan pressure drop menggunakan metode Darcy pada reservoir

Parameter input yang digunakan dalam perhitungan Pressure drop pada reservoir adalah seperti yang tercantum pada Tabel E.1

Tabel E. 1 kondisi input pemodelan reservoir dengan Darcy

Parameter	Nilai	Satuan
Jarak <i>injection - production well</i>	100	m
Tebal formasi	3.44424	m
Permeabilitas	19.4	mD
Porositas	0.76	-
Deg API	41	° API

Persamaan Darcy mengenai permeabilitas dapat dilihat pada persamaan (2.3)

$$q = \frac{kA\Delta P}{\mu L}$$

$$\Delta P = \frac{q\mu L}{kA}$$

Menghitung μ pada $P = 1900.947174$ psia dan $T = 63.93^\circ\text{C}$

$\mu = 0.000187644$ Kg/ms berdasarkan tekanan dan temperatur di reservoir

- Menghitung q

$$\begin{aligned} q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0.3044}{1360.891} \\ &= 2.237 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

- Menghitung L

L merupakan panjang segment pada reservoir yang ditentukan yakni 10 m. Dengan jarak total segmen yakni 100 m. $L = 10$ •

- Menghitung k

$$\begin{aligned} k &= 19.4 \text{ mD} \\ &= 19.4 \times 9.869E - 9 \\ &= 1.91E - 10 \text{ cm}^2 \\ &= 1.91E - 14 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung A

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi d^2}{4} \\ &= \frac{3.14 \times 11.3^2}{4} \\ &= 100.2367 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung ΔP

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{0.000187644 \times (2.237 \times 10^{-4}) \times 10 \times 0.000145038}{1.91E - 14 \times 100.2367} \\ &= 31.71372 \text{ psi} \end{aligned}$$

LAMPIRAN F Contoh perhitungan *pressure drop* pada *production well*

Segmentasi pada *production well* sama seperti *injection well* yakni 50 m. Serta dengan kondisi input yang sama pada Tabel D.1 Untuk mendapatkan nilai *pressure drop* pada *production well* digunakan persamaan berikut:

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

Sebelumnya diperlukan perhitungan untuk menghitung variabel lain terlebih dahulu

- Menghitung q

$$\begin{aligned} q &= \frac{\dot{m}}{\rho} \\ &= \frac{0.3044}{768.0357} \\ &= 0.000396 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- Menghitung A

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi d^2}{4} \\ &= \frac{3.14 \times 0.089^2}{4} \\ &= 6.218 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung v

$$\begin{aligned} v &= \frac{q}{A} \\ &= \frac{0.000396}{6.218 \times 10^{-3}} \\ &= 0.06374 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Menghitung σ

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

$$\sigma = 0.07275 \times (1 - 0.002 \times (336.9303 - 291))$$

$$\sigma = 0.066067$$

- Menghitung N_{LV}

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

$$N_{LV} = 0.06374 \left(\frac{768.0357}{9.80 \times 0.066067} \right)^{0.25}$$

$$N_{LV} = 0.374073$$

- Menghitung N_F

$$Fr = \frac{v^2}{gd}$$

$$Fr = \frac{0.06374^2}{9.8 \times 0.089}$$

$$Fr = 0.004658$$

Menghitung (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:

$$X = \ln(x)$$

$$X = \ln(1)$$

$$X = 0$$

$$L_1 = \exp(-4.62 - 357x - 0.481x^2 - 0.0207x^3)$$

$$L_1 = \exp(-4.62 - 357(1) - 0.481(1)^2 - 0.0207(1)^3)$$

$$L_1 = 0.009853$$

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

$$L_2 = \exp(1.061 - 4.602(1) - 1.609(1)^2 - 0.179(1)^3 + 0.635 \times 10^{-3}(1)^5)$$

$$L_2 = 2.889259$$

Nilai $< L_1$, sehingga pola aliran nya adalah *segregated*.

$$H_L(0) = \frac{0.98\lambda^{0.48646}}{N_{FR}^{0.0868}}$$

$$H_L(0) = \frac{0.98(1)^{0.48646}}{0.004658^{0.0868}}$$

$$H_L(0) = 1.5618$$

- Menghitung ψ

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

$$C = (1 - 1) \ln \left[\frac{4.70.374073^{0.1244}}{\lambda^{0.3692}0.004658^{0.5056}} \right]$$

$$C = 0$$

$$\psi = 1 + C(\sin\phi - 1/3 (\sin\phi)^3)$$

$$\psi = 1 + 2.3691 \times (\sin\phi - 1/3 (\sin\phi)^3)$$

$$\psi = 1$$

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

- Menghitung $H_L(\theta)$

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

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

$$H_L(\theta) = 1 \times 1.5618$$

$$H_L(\theta) = 1.5618$$

- Menghitung S

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

$$y = \frac{1}{[1.5618]^2}$$

$$y = 0.4997$$

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

$$S = 0.11325$$

- Menghitung f_{ns}

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

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

$$N_{Re} = \frac{[768.0357 \times 0.06374 \times 0.089]}{0.00013}$$

$$N_{Re} = 33592.41$$

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

$$f_{ns} = \left[2 \log \left(\frac{33592.41}{4.5223 \log(33592.41 - 3.8215)} \right) \right]^{-2}$$

$$f_{ns} = 0.004658$$

- Menghitung f_{tp}

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

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

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

$$f_{tp} = 0.004658 \cdot e^{0.11325}$$

$$f_{tp} = 0.42774$$

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

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

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = \frac{0.42774 \times 768.0357 \times 0.0040628}{9.8 \times 0.089} + \frac{768.0357 \times 9.8}{9.8}$$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right) = 7541.747 \frac{Pa}{m}$$

Sehingga apabila tekanan injeksi 1071 psia, dengan *pressure drop* $7541.747 \frac{Pa}{m}$, maka output tekanan segment pertama (segment n) adalah 1573.414 psia. Dengan nilai tekanan ini, maka temperature juga akan berubah dari 63.930 °C menjadi 62.551 °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 G Contoh Perhitungan Pendapatan Minyak

Laju produksi minyak dihitung melalui nilai additional recovery, cumulative production, laju aliran massa. Berikut adaah contoh perhitungan perolehan produksi minyak

$$Pt = Vpd \times Po$$

$$Pt = 266.923 \times 53.26$$

$$Pt = 14216.30064USD/day$$

Dimana

$$\frac{t_h}{t_v} = 2.571 K_v A \frac{\Delta\rho}{q_{gross}\mu_s}$$

$$\frac{t_h}{t_v} = 2.571 \times 5.741 \times 10^{-15} \times 100.237 \times \frac{511.74}{4.203 \times 10^{-5}}$$

$$\frac{t_h}{t_v} = 16.732$$

$$K = EHG$$

$$K = 1.681 \times 0.314 \times 1.561$$

$$K = 0.824$$

$$E = \left[0.78 + 0.22M^{1/4}\right]^4$$

$$E = \left[0.78 + 0.22 \times 7.044^{1/4}\right]^4$$

$$E = 1.681$$

$$H = \left[\frac{V_{DP}}{(1-V_{DP})^{0.2}}\right]^{10}$$

$$H = \left[\frac{0.7}{(1-0.7)^{0.2}}\right]^{10}$$

$$H = 0.314$$

$$G = 0.565 \log \left(\frac{t_h}{t_v} \right) + 0.87$$

$$G = 0.565 \log 16.732 + 0.87$$

$$G = 1.561$$

$$M = \frac{\mu_o}{\mu_s}$$

$$M = \frac{0.00412}{0.0002}$$

$$M = 7.064$$

$$(F_i)_{BT} = \sqrt{\frac{0.9}{(M+1.1)}}$$

$$(F_i)_{BT} = \sqrt{\frac{0.9}{(7.064+1.1)}}$$

$$(F_i)_{BT} = 0.791$$

$$\alpha = \frac{1.6}{K^{0.61}} + \left[\frac{F_i - (F_i)_{BT}}{1 - (F_i)_{BT}} \right] \left(\frac{1.28}{K^{0.26}} \right)$$

$$\alpha = \frac{1.6}{0.824^{0.61}} + \left[\frac{2 - 0.791}{1 - 0.791} \right] \left(\frac{1.28}{0.824^{0.26}} \right)$$

$$\alpha = 6.713$$

$$N_P = \frac{\alpha + (F_i)_{BT}}{1 + \alpha}$$

$$N_P = \frac{6.713 + 0.791}{1 + 6.713}$$

$$N_P = 0.907$$

$$CP = N_p \times V_{ROI P}$$

$$CP = 0.907 \times 761.799$$

$$CP = 4345.334$$

$$V_{ROI P} = V_R \times \phi$$

$$V_{ROI P} = 10023.671 \times 0.076$$

$$V_{ROI P} = 761.799$$

$$t = \frac{V_{roi p}}{q}$$

$$t = \frac{761.799}{84.515}$$

$$t = 9.014$$

$$V_{pd} = \frac{CP}{t}$$

$$V_{pd} = \frac{4351.631}{9.014}$$

$$V_{pd} = 266.932 \text{ stb/day}$$

Biaya operasional pompa untuk CO_2 foam EOR dapat dihitung dari energi listrik yang digunakan pompa selama beroperasi. Biaya operasional pompa adalah hasil perkalian daya pompa dengan lama operasional pompa dan tariff dasar listrik per kWh.

$$Wt = W_p \times W_o$$

$$Wt = 626.472 \times 0.112$$

$$Wt = 70.165 \text{ USD/day}$$

Dimana,

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

$$W_p = \frac{46.795 \times 1071}{0.8\%}$$

$$W_p = 626.472 \text{ watt}$$

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis Mestika Andala Rahmah yang dilahirkan di Kabupaten Sidoarjo pada tanggal 06 April 1996 dari ayah bernama Sujiono dan ibu bernama Muji Dwi S. Penulis merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Kabupaten Sidoarjo di kecamatan Sidoarjo. Pada tahun 2008, penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SD Muhammadiyah 1 Sidoarjo. Pada tahun 2011 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMP Al Falah Deltasari. Tahun 2013 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di MA Amanatul Ummah Surabaya. Tahun 2016 penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi DIII-Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada tahun 2019 penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“OPTIMISASI KONDISI OPERASI CO₂-FOAM FLOODING ENHANCED OIL RECOVERY PADA LAPISAN BATUAN GAMPING DI SELAT SUNDA”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui email mestikandala@gmail.com