TUGAS AKHIR – TF 181801

OPTIMISASI KONDISI OPERASI DAN KONTROL *DRILLING* DENGAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* TERHADAP PENGARUH *MUD DENSITY* MENGGUNAKAN KONTROL PID

MUHAMMAD DHIAZ RAFILIANZA
NRP. 02311640000061

Dosen Pembimbing:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMISASI KONDISI OPERASI DAN KONTROL *DRILLING* DENGAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* TERHADAP PENGARUH *MUD DENSITY* MENGGUNAKAN KONTROL PID

MUHAMMAD DHIAZ RAFILIANZA
NRP. 02311640000061

Dosen Pembimbing:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - **TF 181801**

OPTIMIZATION OF DRILLING OPERATION AND CONTROL WITH STOCHASTIC METODE TOWARDS MUD DENSITY EFFECT WITH PID CONTROL

MUHAMMAD DHIAZ RAFILIANZA
NRP. 02311640000061

Supervisors:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama	: Muhammad Dhiaz Rafilianza
NRP	: 02311640000061
Departemen / Prodi	: Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **"OPTIMISASI KONDISI OPERASI DAN KONTROL *DRILLING* DENGAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* TERHADAP PENGARUH *MUD DENSITY* MEGGUNAKAN KONTROL PID"** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 01 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

Muhammad Dhiaz Rafilianza

NRP. 02311640000061

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

OPTIMISASI KONDISI OPERASI DAN KONTROL *DRILLING* DENGAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* TERHADAP PENGARUH *MUD DENSITY* MENGGUNAKAN KONTROL PID

Oleh:

Muhammad Dhiaz Rafilianza
NRP. 02311640000061

Surabaya,

Menyetujui
Pembimbing I

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

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FT-IRS ITS

Dr. Suyanto, S.T., M.T.
NIP. 19171113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI KONDISI OPERASI DAN KONTROL *DRILLING* DENGAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* TERHADAP PENGARUH *MUD DENSITY* MENGGUNAKAN KONTROL PID

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD DHIAZ RAFILIANZA

NRP. 02311640000061

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. (Ketua Penguji)
3. Ir. Matraji, M.Kom. (Penguji I)
4. Iwan Cony Setiadi, S.T.,M.T. (Penguji II)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMISASI KONDISI OPERASI DAN KONTROL *DRILLING* DENGAN METODE STOCHASTIC ALGORITHM TERHADAP PENGARUH *MUD DENSITY* MENGGUNAKAN KONTROL PID

Nama	**:**	**Muhammad Dhiaz Rafilianza**
NRP	**:**	**02311640000061**
Departemen	**:**	**Teknik Fisika FT-IRS ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Totok Ruki Biyanto, ST, MT, Ph.D**

ABSTRAK

Minyak dan gas masih berkontribusi besar dalam pasokan energi dunia. *Drilling* merupakan suatu proses untuk memproduksi minyak dan gas dalam bumi. Salah satu parameter yang diperhatikan terpenting dalam *drilling* adalah laju penetrasi atau *rate of penetration* (ROP). Dalam operasi *drilling*, *drilling mud* memiliki peran penting, salah satunya adalah menjaga kestabilan tekanan sumur. *Mud* dapat digunakan berulang kali setelah proses filtrasi. Ketidaksempurnaan filtrasi menyebabkan gangguan berupa perubahan massa jenis *mud*. Perubahan massa jenis *mud* dapat mempengaruhi performa *drilling* itu sendiri. Optimisasi dan sistem kontrol pada *drilling* digunakan bertujuan untuk mencapat laju penetrasi yang optimal. Optimisasi dilakukan pada 4 variabel yaitu *mud flow rate, rotary speed, weight on bit*, dan *pressure choke*. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *genetic algorithm.* Validasi dari algoritma GA dilakukan dengan menggunakan suatu fungsi *benchmark,* dimana nilai optimumnya telah diketahui.. Didapat bahwa optimisasi dapat mencapai nilai optimum sebesar 30,35. Didapat nilai Optimisasi pada *mud* 1400 , 1401 , 1403 , dan 1405 Kg/m^3adalah 4,64 ; 4,63; 4,62 dan 4,61 m/ jam Didapat juga bahwa penggunaan PID pada sistem mampu mengatasi perubahan tekanan akibat perubahan massa jenis *mud*

Kata Kunci: *drilling,*optimisasi *, genetic algorithm, drilling mud*

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMIZATION OF DRILLING OPERATION AND CONTROL WITH STOCHASTIC ALGORITHM METODE TOWARDS MUD DENSITY EFFECT WITH PID CONTROL

Name	**:**	**Muhammad Dhiaz Rafilianza**
NRP	**:**	**02311640000061**
Department	**:**	**Engineering Physics FT-IRS ITS**
Supervisors	**:**	**Totok Ruki Biyanto, ST, MT, Ph.D**

ABSTRACT

Oil and gas are still contributing towars world's energy supply. Drilling is a process for producing oil from beneath the earth's surface. One of parameter when drilling is the rate of penetration. An important factor which influence ROP is the drilling mud. Drilling mud is use to stabilize the well's pressure. Mud can be used repeteadly, however the imperfection on the filtration system could lead to change in the mud density. This change could affect the drilling performance. Optimization and control system is done to ensure optimum rate of penetration.Optimization is use on 4 variable which are mud flow rate, rotary speed, weight on bit, and pressure choke.In this research , genetic algorithm is used for optimization. Validation for genetic algorithm is done with benchmark function in which the optimum value is already known. Optimization towards benchmark function is done to see if genetic algorithm could reach the optimum value. Genetic algorithm could reach the optimum value of the benchmark function which is 30,35. Variation value of mutation probability and crossover probability is done, and genetic algorithm could reach the optimum value.The result for optimization on mud with density of 1400 , 1401 , 1403 , and 1405 Kg/m^3 *are 4,64 , 4,63, 4,62, dan 4,61 m/hour.It is also found that using PID in the system could overcome the disturbance of changes in the mud*

Keywords: drilling, optimization , genetic algorithm , drilling mud

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul

"OPTIMISASI KONDISI OPERASI DAN KONTROL *DRILLING* DENGAN METODE *STOCHASTIC ALGORITHM* TERHADAP PENGARUH *MUD DENSITY* MENGGUNAKAN KONTROL PID"

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika dan juga selaku dosen wali yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Kedua orang tua yang selalu mendukung, membantu dan mendoakan yang terbaik demi kelancaran pendidikan hingga kelulusan penulis.
3. Alm Eyang Putri penulis, yang selalu mendukung dan mendoakan kebahagiaan kepada anak-anak dan cucu-cucunya
4. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T.,M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing dan selaku kepala laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, nasihat, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
5. Seluruh teman-teman angkatan F51, yang telah mendukung dalam susah maupun senang.
6. Seluruh teman teman pengurus Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang memberi saya bantuan dan semangat dalam mengerjakan TA.
7. Yuavil Lavayeki dan M. Ghofur Rahmatullah selaku teman seperjuangan dalam pengerjaan tugas akhir yang telah memberi arahan dan pemahaman.

8. Teman–teman TA–wan Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang selalu memberikan semangat satu sama lain
9. Seluruh dosen dan civitas akademik Teknik Fisika, terima kasih sebesar besarnya atas kesempatan yang diberikan.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 1 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

COVER PAGE v

LEMBAR PENGESAHAN ix

LEMBAR PENGESAHAN xi

ABSTRAK xiii

ABSTRACT xv

KATA PENGANTAR xvii

DAFTAR ISI xix

DAFTAR GAMBAR xxi

DAFTAR TABEL xxiii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan 3

1.4 Lingkup Kajian 3

1.5 Sistematika Laporan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5

2.1 *Drilling* Process 5

2.2 *Managed Pressured drilling* 7

2.3 Drilling Fluid 8

2.4 Model Tekanan Dinamik 10

2.5 *Rate of Penetration* 12

2.6 Pemodelan *Steady State* 14

2.7 Kontroller PID 15

2.8 Feedforward Control 16
2.9 Genetic Algorithm 16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 21
3.1 Penentuan Parameter dan Pemodelan Fungsi Objektif 22
3.2 Optimisasi Metode *Stochastic* 23
3.3 Pengendalian Operasi *Drilling* 24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 25
4.1 Perancangan Plant *Drilling* System 25
4.2 Optimisasi Metode *Stochastic* 26
4.3 Kontrol Sistem PID 31
4.3.1 Perubahan Kenaikan *Mud Density* 32
4.3.2 Perubahan Penurunan *Mud Density* 45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 59
5.1 Kesimpulan 59
5.2 Saran 59
DAFTAR PUSTAKA 61
LAMPIRAN 63
BIODATA PENULIS 73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur *drilling rig offsore* ……5
Gambar 2. 2 Sirkulasi *drilling mud* 10
Gambar 2. 3 Diagram blok pengendalian *feed forward* 16
Gambar 2.4 Diagram alir optimisasi *Genetic Algorithm*……...……..……17
Gambar 3. 1 Flowchart pengerjaan penelitian 21
Gambar 4. 1 Plant *drilling system* 25
Gambar 4. 2 Grafik validasi optimisasi GA pada fungsi *benchmark*..... 27
Gambar 4. 3 Hasil optimisasi *mud* 1400 $Kg/m3$ 29
Gambar 4. 4 Hasil optimisasi *mud* 1401 $Kg/m3$ 29
Gambar 4. 5 Hasil optimisasi *mud* 1403 $Kg/m3$ 29
Gambar 4. 6 Hasil optimisasi *mud* 1405 $Kg/m3$ 30
Gambar 4. 7 Grafik pengaruh *mud density* terhadap RoP 31
Gambar 4. 8 Grafik perubahan massa jenis *mud* terhadap waktu (1401 – 1405) 33
Gambar 4. 9 Grafik perubahan penurunan laju alir *main pump* (1401 – 1405).. 33
Gambar 4. 10 Grafik penurunan tekanan pada *choke* (1401 – 1405)..... 34
Gambar 4. 11 Grafik posisi valve (1401 – 1405)..... 35
Gambar 4. 12 Grafik laju alir backpump (1401 – 1405) 35
Gambar 4. 13 Grafik alir *mud* pada *choke* (1401 – 1405) 36
Gambar 4. 14 Grafik tekanan di dasar sumur (1401 – 1405) 36
Gambar 4. 15 Grafik perubahan massa jenis *mud* (1401 – 1403)..... 37
Gambar 4. 16 Grafik perubahan nilai laju alir *mainpump* (1401 – 1403) 38
Gambar 4. 17 Grafik perubahan nilai tekanan *choke* (1401 – 1403) 38
Gambar 4. 18 Grafik perubahan posisi valve pada *choke* (1401 – 1403)..... 39
Gambar 4. 19 Grafik laju alir *backpump* (1401 – 1403) 39
Gambar 4. 20 Grafik laju alir *mud* pada *choke* (1401 – 1403) 40
Gambar 4. 21 Grafik nilai tekanan pada dasar sumur (1401 – 1403) 40
Gambar 4. 22 Grafik perubahan massa jenis *mud* (1403 – 1405)..... 41
Gambar 4. 23 Grafik laju alir *mud* pada *mainpump* (1403 – 1405) 42

Gambar 4. 24 Grafik perubahan tekanan *choke* (1403 – 1405) 42
Gambar 4. 25 Grafik posisi *valve* pada *choke* (1403 – 1405)..... 43
Gambar 4. 26 Grafik laju alir *mud* pada *backpump* (1403 – 1405)..... 43
Gambar 4. 27 Grafik laju alir *mud* pada *choke* (1403 – 1405) 44
Gambar 4. 28 Grafik nilai tekanan di dasar sumur (1403 – 1405)..... 45
Gambar 4. 29 Grafik nilai perubahan massa jenis *mud* (1403 – 1401) 46
Gambar 4. 30 Grafik nilai perubahan laju alir *main pump* (1403 – 1401) 46
Gambar 4. 31 Grafik nilai perubahan tekanan pada *choke* (1403 – 1401) 47
Gambar 4. 32 Posisi *valve* pada *choke* (1403 – 1401)..... 48
Gambar 4. 33 Grafik laju alir pada *backpump* (1403 – 1401) 48
Gambar 4. 34 Grafik laju alir pada *choke* (1403 – 1401) 49
Gambar 4. 35 Grafik nilai tekanan pada bawah sumur (1403 – 1401)..... 49
Gambar 4. 36 Grafik perubahan nilai massa jenis *mud* (1405 – 1403) 50
Gambar 4. 37 Grafik perubahan laju alir *mainpump* (1405 – 1403) 51
Gambar 4. 38 Grafik perubahan nilai tekanan pada *choke* (1405 – 1403) 51
Gambar 4. 39 Grafik posisi valve pada *choke* (1405 – 1403)..... 52
Gambar 4. 40 Grafik nilai laju alir pada *backpump* (1405 – 1403) 52
Gambar 4. 41 Grafik nilai laju alir pada *choke* (1405 – 1403) 53
Gambar 4. 42 Grafik nilai tekanan pada dasar sumur (1405 – 1403) 54
Gambar 4. 43 Grafik nilai perubahan massa jenis *mud* (1405 – 1401) 55
Gambar 4. 44 Grafik nilai perubahan laju alir pada *mainpump* (1405 – 1401) ... 55
Gambar 4. 45 Grafik nilai perubahan nilai tekanan pada *choke* (1405 – 1401) .. 56
Gambar 4. 46 Grafik perubahan posisi *valve* (1405 – 1401) 56
Gambar 4. 47 Grafik nilai laju alir *backpump* (1405 – 1401)..... 57
Gambar 4. 48 Grafik nilai laju alir pada *choke* (1405 – 1401) 57
Gambar 4. 49 Grafik nilai tekanan pada dasar sumur (1405 – 1401) 58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Parameter *Drilling* 12
Tabel 2. 2 Parameter Laju Penetrasi..... 14
Tabel 2. 3 Rekombinasi GA 18
Tabel 2. 4 Mutasi GA 19
Tabel 3. 1 Tabel Parameter *Drilling* 23
Tabel 3. 2 Tabel *Constraint* Optimisasi GA 24
Tabel 3. 3 Tabel Nilai Massa Jenis *mud* 24
Tabel 4. 1 Hasil Solusi GA Dengan Variasi Probabilitas Mutasi 27
Tabel 4. 2 Hasil Solusi GA Dengan Variasi Probabilitas *Crossover* 28
Tabel 4. 3 Hasil Optimisasi *Genetic Algorithm* 30

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak bumi masih menjadi salah satu sumber energi yang digunakan manusia. Ketergantungan manusia terhadapa sumber energi ini tidak bisa dipungkiri, hal ini dapat dilihat dari konsumsi dunia terhadap minyak bumi. Secara data, konsumsi minyak bumi dunia 2009 – 2018 terus meningkat (BP, 2019). Minyak bumi terbentuk dari sisa sisa makhluk hidup yang mati dan mengendap dalam lapisan batuan sejak zaman dahulu, sekitar 10 – 600 juta tahun yang lalu. Untuk mendapatkan minyak dan gas bumi melewati proses yang terbilang cukup kompleks, manusia membutuhkan alat alat berat yang dapat membantu pengerjaanya dalam mendapatkan minyak dan gas bumi. . Dalam proses pencarian minyak dan gas bumi digunakan metode seismologi atau seismic. Seismologi dapat digunakan untuk mencari keberadaan cadangan minyak baik di darat maupun di laut. Pada operasi pengeboran , tipe dan komposisi *mud* dapat merepresentasikan seperlima (15 – 18 %) dari total pengeboran sumur minyak bumi (Elshreef & Lashin, 2016). Densitas dari *mud* itu sendiri dapat mempengaruhi kinerja dari pengeboran. Pada proses *drilling, mud* yang diinjeksikan tidak memiliki massa jenis yang sama dengan *mud* yang kembali ke permukaan. Hal ini disebabkan oleh serpihan batuan yang terangkat dari dasar sumur. Maka diperlukan filtrasi agar massa jenis kembali seperti awal dan *mud* siap diinjeksikan kembali ke dasar sumur. Ketidaksempurnaan pada sistem filtrasi dapat menyebabkan perubahan massa jenis *mud* menjadi tetap bertambah ketika diinjeksikan kembali. Perubahan ini dapat mempengaruhi kinerja dari sistem operasi *drilling*. Maka dari itu , diperlukan strategi kontrol untuk memastikan sistem tetap bekerja pada *setpoint* meski terdapat *disturbance* berupa perubahan *mud density*.

Karena kompleksnya operasi disertai biaya yang besar , perlu dilakukan efisiensi sebaik mungkin. Metode terbaru pada *drilling* di implementasikan untuk meningkatkan performasi. Pada penelitian kali ini , metode yang digunakan

merupakan metode yang digunakan adalah *managed pressure drilling*. Metode ini menyediakan jalan untuk mengendalikan tekanan , yang mana merupakan faktor sangat penting untuk mencapai operasi *drilling* yang efisien (Helgestad, 2010). Dengan demikian, diharapkan bahwa *disturbance* yang terjadi, yang dapat mengakibatkan perubahan tekanan dapat diatasi. Dalam mengatasi *disturbance* yang terjadi, perlu diimplementasikan sebuah strategi kontrol untuk menjaga kestabilan operasi pengeboran pada sumur. Optimisasi pada kondisi operasi *drilling* juga dapat dilakukan untuk meningkatkan performansi. Optimisasi dilakukan untuk mendapatkan nilai laju penetrasi pada kondisi pengeboran. Karena sistem yang kompleks dan non linier, digunakan optimisasi metode stokastik. Metode stokastik digunakan karena lebih mudah mencapai *global optimum* karena berprinsip *random*. Prinsip *random* pada metode stokastik dapat mencegah mendapatkan hasil *local optimum*. Pada sistem kompleks ini, metode stakastik juga lebih mudah untuk mencapai konvergen. Pada penelitian ini, digunakan metode optimisasi berupa *genetic algorithm* (GA). GA dipilih karena performa yang baik dan dapat menghasilkan hasil pada waktu yang lebih cepat.

Perkembangan teknologi *drilling* diharapkan mendorong performa produksi minyak dan gas untuk membantu dalam pasokan konsumsi energi dunia. Pada penelitian ini dilakukan optimisasi metode *stochastic* dan strategi kontrol PID untuk mencapai dan menjaga kondisi *drilling* yang optimal. (Lim & Haron, 2013)

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah yang akan diselesaikan sebagai berikut:

a) Bagaimana mengatasi perubahan massa jenis *mud* terhadap *rate of penetration*?
b) Bagaimana kinerja PID pada sistem operasi *drilling*?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah tersebut didapatkan tujuan penelitian yang akan dilakukan, yaitu sebagai berikut

a) Untuk mengatasi perubahan *density mud* terhadap *rate of penetration*
b) Menguji strategi kontrol PID pada sistem operasi *drilling*

1.4 Lingkup Kajian

Adapun lingkup kajian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a) Pada penelitian ini *disturbance* yang dipertimbangkan hanya perubahan massa jenis dari *drilling fluid*
b) Perubahan nilai massa jenis *mud* disebabkan oleh ketidaksempurnaan pada proses penyaringan/ pemisahan *mud* dari *cuttings*/ batuan pada permukaan

1.5 Sistematika Laporan

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

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, lingkup kerja, dan sistematika laporan

BAB II Tinjauan pustaka

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka yang digunakan dalam tugas akhir ini yang mencakup pembuatan sumur minyak, peran dan pengaruh *drilling mud*, kontrol PID ,pemodelan sistem *drilling*, dan teknik optimisasi metode stokastik

BAB III Metodologi penelitian

Bab ini berisi tentang langkah-langlah yang dilakukan dalam perngerjaan tugas akhir ini yang terdiri dari pengambilan data sekunder, penentuan parameter *drilling*, penentuan fungsi objektif, pemodelan sistem *drilling* , dan variable teknik optimisasi menggunakan metode stokastik

BAB IV Hasil dan pembahasan

Bab ini menyediakan hasil pengolahan analisa dan pembahasan dari data sekunder tugas akhir ini

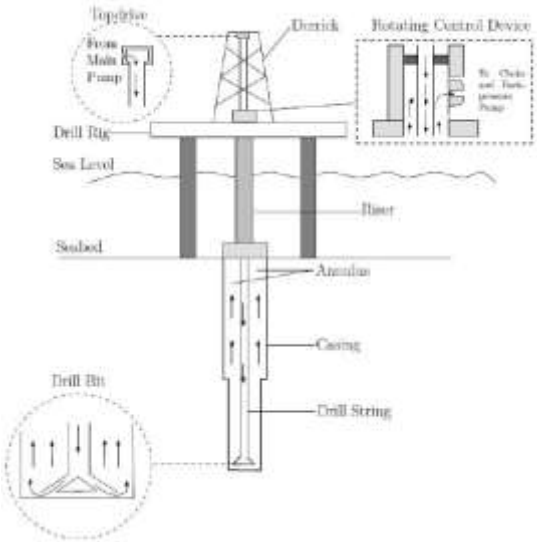
BAB V Penutup

Bab ini menyediakan kesimpulan dari tujuan dilakukannya penelitian ini dan saran yang didapatkan setelah pengerjaan tugas akhir ini selesai.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Drilling* Process

Pengambilan minyak bumi ke permukaan dilakukan dengan proses *drilling.* Pengeboran menuju sumur minysk dilakukan menggunakan *drilling rig*. Salah satu contoh struktur dari *drilling* rig dapat terlihat pada gambar 2.1. *Drill string* dan *drill bit* digerakan menggunakan sebuah motor elektrik pada puncak yang disebut *topdrive.* Semakin mata bor menembus tanah, maka ketinggian *topdrive* juga akan turun. Hingga *topdrive* mencapai ketinggian tertentu, *drill pipe* ditambahkan dan *topdrive* dipindah keatas, untuk mencapai kedalaman yang baru. Tiap *stand pipe* memiliki ketinggian berkisar 27 meter (Helgestad, 2010). *Drilling* rig juga memelurkan sistem sirkulasi *mud* yang lancar. Sisrkulasi *drilling mud* berawal dari permukaan, ditembakan ke *drill bit* dan kembali ke permukaan. Adapun tahapan-tahapan pada proses pengeboran minyak sebagai berikut (Kuncoro, 2019):



Gambar 2. 1 Struktur *drilling rig offsore* (Helgestad, 2010)

- Pengeboran (*drilling*)

  Pengeboran merupakan langkah awal dalam pembuatan lubang sumur minyak. Pengeboran dilakukan dengan gaya berat dan rotasi yang dilakukan

oleh mata bora tau *drill bit*. Pengeboran hingga suatu kedalaman dilakukan secara bertahap. Pertama mata bor akan mencapai kedalam maksimal yang dapat dicapai oleh pipa. Setelah itu sambungan pipa akan ditambahkan untuk mencapai kedalaman yang baru. Sistem sirkulasi *drilling mud* juga dipasang sehingga dapat melancarkan proses pengeboran. *Casing* dan *cementing* juga dipasangkan untuk mencegah runtuhnya formasi batuan dan mencegah bocornya *drilling mud* keluar lubang.

- Kontrol Sumur (*Well Control*)

  Kontrol sumur dilakukan agar kondisi sumur tetap stabil dan optimal. Salah satu alasan pentingya kontrol sumur adalah untuk mencegas adanya *kick* and *blowout*. *Kick* merupakan kondisi dimana tekanan di dasar sumur lebih besar daripada tekanan hidrostatik yang dihasilkan oleh injeksi lumpur. Sebagai hasil, akan terjadi *kick* yang tidak dapat dikontrol dan berpontensi menyebabkan *blowout* pada permukaan.

- *Well Completion*

  Well Completion dilakukan sebelum sumur dapat memproduksi minyak. Well completion meliputi pemasangan peralatan dalam sumur sehingga dapat mengendalikan dan mengawasi sumur dengan baik. Tahapan dalam proses *well completion* terdiri atas pemasangan *christmas tree*, pemasangan *wellhead*, pemasangan *casing, cementing, perforation,* dan pemasangan *tubing*.

  Christmas tree pada permukaan digunakan untuk mengontrol proses pengambilan fluida hidrokarbon. *Wellhead* berfungsi sebagai isolasi dan penahan casing, sekaligus berperan sebagai *blowout preventer*. *Casing* pada pengeboran dipasang untuk penopang dinding sumur, mencegas keluar masuknya air dari samping lubang, isolasi fluida, mengontrol tekanan formasi, dan tempat mengalirnya fluida produksi. *Cementing* dilakukan pada lubang bor untuk melindungi dan mendukung casing. *Perforation* adalah pembuatan lubang pada casing dasar agar fluida dapat mengalir kedalam lubang. Setelah bor diangkat, tubing dipasang untuk jalur fluida keatas permukaan

- *Well Testing*

  Well Testing merupakan pengujian performansi sumur. Proses ini dilakukan untuk mengetahui informasi mengenai sumur tersebut, mulai dari suhu, tekanan, dan minyak yang akan dihasilkan.

Gambar 2.1 merupakan contoh *drilling* rig yang terletak pada *offshore*. Tanda panah yang terdapat pada gambar menandakan sirkulasi *mud* yang terjadi. *Drilling mud* merupakan komponen penting dari *drilling*. *Drilling mud* akan dibahas lebih rinci dalam sub bab berikutnya.

2.2 *Managed Pressured drilling*

Managed pressure driling merupakan suatu proses *drilling adaptive* yang digunakan untuk mengendalikan tekanan pada lubang sumur (Helgestad, 2010). Pada *drilling* konvensional, *drilling mud* kembali pada tekanan atmosper. Pada *Managed pressure drilling*, *mud* keluar akan melalui sebuah *choke valve*, dan besarnya bukaan *choke valve* akan dapat dikendalikan. Sistem ini menyediakan cara untuk mengendalikan tekanan pada annulus sumur.

Jika tekanan pada sumur terlalu rendah, maka lubang sumur dapat runtuh dikarenakan perbedaan tekanan yang ada pada luar lubang dan dalam lubang. Sebaliknya jika tekanan pada sumur terlalu tinggi dapat menyebabkan 2 hal. Yang pertama adalah menyebabkan *hydraulic fracturing* pada formasi batuan. Selain itu, tekanan yang berlebih juga dapat berpotensi menyebabkan *kick* yang menyebabkan *blowout*.

Kemampuan untuk mengendalikan dan menambahkan tekanan pada annulus dapat mengurangi resiko *kick*s yang menyebabkan *blowout*. Sehinngga, Keuntungan dari pengendalian tekanan ini adalah kita dapat melakukan *drilling* secara *underbalanced*. *Underballanced drilling* dapat meningkatkan *rate of penetration*, menghilangkan kerusakan formasi, dan mengurangi kehilangan sirkulasi. Sehingga, Komponen utama dari *managed pressure drilling* terletak pada annulus.

2.3 Drilling Fluid

Fluida *drilling* merupakan faktor penting dari operasi *drilling*. Densitas dan tipe fluida *drilling* merupakan variable yang dapat mempengaruhi operasi. Fluida *drilling* memiliki peran yang meliputi (Schlumberger, 2013)

- Menjaga tekanan formasi batuan

Fluida *drilling* merupakan komponen vital dalam menjaga kontrol dari sumur. Fluida di injeksi ke *drillstring* melalui bit dan kembali ke annulus. Pada lubang terbuka, tekanan hydrostatic yang ditimbulan oleh kolom *mud* dapat digunakan untuk meningkatkan keseimbangan dalam tekanan formasi. Saat tekanan formasi tidak seimbang, akan menyebabkan fluida dari formasi untuk masuk ke *borehole*, dan menimbulkan kemungkinan untuk kehilangan kontrol dari sumur. Namun, tekanan yang ditimbulkan oleh fluida *drilling* harus lebih kecil dari tekanan fraktur dari batuan tersebut untuk mencegah fluida untuk masuk ke batuan. Kondisi tersebut dikenal sebagai *lost circulation*

- Menghilangkan serpihan-serpihan pengeboran dalam sumur

Fluida yang bersirkulasi juga membawa *cuttings* yaitu fragmentasi dari batuan yang terbentuk oleh bit yang disalurkan menuju permukaan. Menjaga kemampuan fluida untuk memindahkan pecahan padat ini keluar lubang sumur (*carrying capacity*) merupakan kunci untuk mencegah secara efisien dan meminimalisir potensi *stuck pipe*. Untuk mencapa hal ini, diperlukan keseimbangan dari *rheology* dan laju alir fluida untuk mengatur *carrying capacity* dan menghindari *equivalent circulating density* (ECD). ECD dapat menyebabkan kehilangan sirkulasi

- Pendinginan dan lubrikasi bit *drilling*

Fluida yang melewati dan melingkari bor *drilling*, fluida tersebut juga membantu dalam pendinginan peralatan tersebut. Energi *thermal* yang di transfer menuju fluida, dimana akan membawa panas menuju permukaan. Dalan kondisi-kondisi panas ekstrim, *heat exchanger* dapat juga dapat digunakan pada permukaan untuk mendinginkan fluida tersebut

- Mentransmisikan energi hidraulik menuju komponen dibawah lubang

Fluida *drilling* disalurkan dan dikeluarkan oleh saluran yang terdapat pada muka bit. Energi hidrolik yang dilepaskan menuju formasi melemah dan menyingkirkan *cutting* dari formasi. Energi ini juga dapat memberkan daya motor dan hardware lainya yang menggerakan bit dan mendapatkan data *drilling* atau formasi secara *real time*. Data yang dikumpulkan pada sumur di transmisikan menuju permukaan menggunakan *mud pulse telemetry*, yaitu sebuah metode yang menggunakan pulsa tekanan melalui kolom *mud* untuk mengirim data menuju permukaan

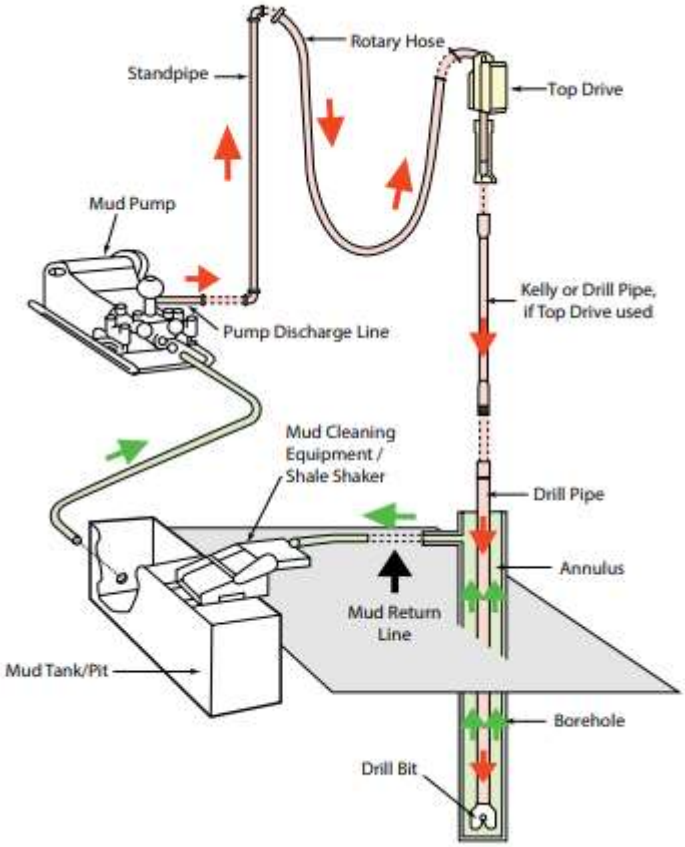
- Menjaga stabilitas sumur

Fluida ini sering dikatakan sebagai *mud*, pertama kali dikenalkan pada tahun 1913 untuk menjaga tekanan dibawah permukaan (Schlumberger, 2013)Dari segi operasinya, kebanyakan masalah yang muncul pada pengeboran minyak, berhubungan dengan berat dan massa jenis *mud* (Elshreef & Lashin, 2016)

- *Mud logging*

Mud logging merupakan suatu metode untuk mengawasi respon formasi pada proses *drilling*. Pada awalnya *mud logger* hanya digunakan untuk mencatat kedalaman sumur dan mendeskripsikan litologi dari formasi batuan yang berinteraksi dengan *drill bit*, yang ke*mud*ian dapat dianalisa apakah formasi batuan tersebut mengandung hidrokarbon. Seiring perkembangan tekniologi, kegunaan mud logging semakin bertambahn. *Mud logging* pada dasarnya sekarang berfungsi sebagai pemantau laju *drilling*, litologi, indikator hidrokabron secara visual, total gas *combustible* dalam *mud*, dan ikatan hidrokarbon individu pada gas dengan parameter lainnya (Schlumberger, 2015)

Percobaan pada fluida *drilling* dilakukan untuk menentukan karakteristik *mud*, yang didasarkan oleh 4 klasifikasi umum, yaitu berat, viskositas, *fluid loss*, dan *reactivity*. Pada suatu waktu , satu atau dua tes akan lebih unggul daripada yang lain, sebagai contoh pada sumur horizontal dangkal, viskositas untuk pembersihan lubang akan menjadi prioritas utama. (Caenn & Chillingar, 1995) Pada formasi batuan lemah, dibutuhkan *mud* weight yang ringan untuk menghasilkan ROP yang maksimum, namun pada formasi keras, dibutuhkan sebaliknya (Al-Maliki, 2018)



Gambar 2. 2 Sirkulasi *drilling mud* (Al-Maliki, 2018)

Gambar 2.2 merupakan ilustrasi dari sirkulasi *drilling mud* pada proses pengeboran. Pada permukaan *drilling mud* dipompa kedalam sumur dan keluar melalui *nozzle* yang terdapat pada mata bor. Ini menyediakan tekanan hidrostatik pada dasar sumur. Setelah itu, *mud* kembali ke permukaan sumur melalui annulus. Setelah sampai pada permukaan, *mud* akan di filter dan ditampung pada tangka agar nantinya dipompa kembali ke dasar sumur

2.4 Model Tekanan Dinamik

Seperti yang dibahas pada sub bab 2.2, bahwa salah satu peran penting *drilling mud* untuk menjaga stabilitas sumur pengeboran, dan juga untuk membawa serpihan batu hasil pengeboran / *cuttings* ke permukaan. Stabilitas dijaga dengan cara mengendalikan tekanan yang berada pada bawah sumur (Helgestad, 2010).

Jika tekanan yang didapat terlalu kecil , maka akan menyebabkan *cuttings*/ serpihan batu tidak akan terangkat, dan akan menghambat laju penetrasi. Jika tekanan yang didapat terlalu besar dapat menyebabkan *blowout*. Dengan asumsi flow 1 dimensi dan *density* konstan, stamnes memberikan persamaan differensial model sebagai berikut

$$\frac{V_a}{\beta_a} p_c = q_{bit} \dot{-} q_c + q_{bck} \tag{2.1}$$

$$\frac{V_a}{\beta_a} p_c = q_{bit} \dot{-} q_c + q_{bck} \tag{2.2}$$

$$M\dot{q}_{bit} = p_p - p_c - \theta_1 q_{bit} - \theta_2 |q_{bit}| q_{bit} \tag{2.1}$$

Maka dari itu, sebuah pemodelan dinamis digunakan untuk menguji perforrma kontrol permodelan. Tekanan pada bawah lubang dan tekanan pada *choke* dapat dirumuskan sebagai berikut

$$Pbh = Pc + \theta_1 qbit + \rho g D \tag{2.4}$$

$$wc = Kc\, Zc \sqrt{\frac{2}{\rho m}(pc - p0)} \tag{2.5}$$

Pada pemodelan juga terdapat parameter M, yaitu merupakan penjumlahan koefisien massa Ma dan Md, dimana didefinisikan pada persamaan 2.4 dan 2.5. Pada persamaan ini, diasumsikan bahwa *mud density* pada *drill string* dan pada annulus sama, dan dengan kondisi stasioner , dengan *rate of penetration* nol. *Mud* yang terangkat tidak terpengaruh cutting yang meningkatkan massa jenis yang kembali pada permukaan. Pameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel2.1

$$Ma = \frac{\rho D}{A_a} \tag{2.6}$$

$$Md = \frac{\rho D}{A_d} \tag{2.7}$$

Tabel 2. 1 Tabel Parameter *Drilling*

Parameter	Deskripsi	Unit
d_b	Drill Bit Diameter	m
d_s	Drill Stringg Outer Diameter	m
d_i	Drill String Inner	m
V_a	Annulus Volume	m^3
V_d	Drill String Internal Volume	m^3
β	Bulk Modulus	bar
θ_1	Annulus friction parameter	kg/m^4s
θ_2	Drill String Friction Parameter	kg/m^7
M	Mass Coefficient	kg/m^4
D	Depth of Well	m
ρ	*Drilling Mud Density*	kg/m^3
K_c	Valve flow Constant	m^2

2.5 *Rate of Penetration*

Rate of penetration (RoP) merupakan kecepatan dimana bor akan mendorong formasi batuan. ROP dapat bergantung pada beberapa faktor, seperti *weight on bit* (WOB), kecepatan rotasi dari bit tersebut, gradient tekanan dibawah sumur, dan gaya hidrolik dari *drilling* fluid (Helgestad, 2010). A.T Bourgoyne , JR dan P. S. Young , Jr , telah memodelkan *rate of penetration* pada suatu pengeboran sebagai berikut. (Bourgoyne Jr & Young Jr, 1991) (Boutgoyne Jr & Young Jr, 1974)

$$\boldsymbol{ROP = f1 * f2 * f3 * f4 * f5 * f6 * f7 * f8} \quad \textbf{(2.8)}$$

Faktor – faktor f1-f8 merupakan berbagai efek pada *rate of penetration* seperti kekuatan formasi , kedalaman, *weight on bit*, rotasi drill , perbedaan tekanan, gaya dari *mud* , dll. f1 – f8 dapat dijelaskan sebagai berikut :

$f1$ = efek dari kekuatan formasi dan tipe bit

$f2$ = efek dari kepadatan dan kedalaman

f_3 = efek tekanan pori-pori

f_4 = efek tekanan diferensial

f_5 = efek diameter *bit* dan WOB

f_6 = efek *rotary speed*

f_7 = efek mahkota *bit*

f_8 = efek gaya tubrukan *bit hydraulic*

Faktor – faktor tersebut dapat dimodelkan seperti berikut :

$$\boldsymbol{f_4 = e^{a4(pf-pbh)}} \tag{2.9}$$

$$\boldsymbol{f_5 = \left[\frac{\left(\frac{W}{db}\right) - \left(\frac{W}{db}\right)t}{71.4 - \left(\frac{W}{db}\right)t}\right]^{a5}} \tag{2.10}$$

$$\boldsymbol{f_6 = \left(\frac{N}{60}\right)^{a6}} \tag{2.11}$$

$$\boldsymbol{f_8 = \left(\frac{f_j}{4482}\right)^{a8}} \tag{2.12}$$

Dimana:

e^{a4} = *Parameter Laju Penetrasi*

p_f = *Formation Pressure*

p_{bh} = *Pressure Bottom Hole*

f_j = *Hidraulic Jet Impact Force*

d_b = *Drill Bit Diameter*

N = *Drill Speed Rotation*

W = *Weight On Bit*

Konstanta *f1 – f3* dan *f7* digabungkan dalam satu konstanta , yaitu R0 . Konstanta ini merepresentasikan *formation drillability* dalam m/hr. Hasil persamaan dari ROP dapat dilihat pada persamaan 2.8. Parameter a4, a5, a6 ,a8 dipilih melalui studi literature dan ada pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Parameter Laju Penetrasi

Parameter	**a_4**	**a_5**	**a_6**	**a_8**
Nilai	0,01	1	0,7	0,3

Sehingga, dari perumusan tersebut, *rate* of penetration dapat dimodelkan sebagai persamaan 2.13.

$$\boldsymbol{ROP = R_0 e^{0.01(pf-pbh)}\left[\frac{\left(\frac{W}{d_B}\right)-\left(\frac{W}{d_B}\right)_t}{71.4-\left(\frac{W}{d_B}\right)_t}\right]\left(\frac{N}{60}\right)^{0.7}\left(\frac{F_j}{4482}\right)^{0.3}} \quad (2.13)$$

2.6 Pemodelan *Steady State*

Pemodelan tekanan di dasar sumur dimodelkan menggunakan mekanika fluida. Laju alir *mud* melalui *annulus* menuju permukaan dapat digunakan untuk menentukan tekanan. *Flow* pada annulus diasumsikan sebagai satu dimensi dan asumsi tidak ada efek momentum yang disebabkan oleh rotasi dari *drill string*. Diasumsikan kan juga bahwa fluida *drilling* tidak dapat di compress.

Pemodelan tekanan dilakukan dengan menghitung tekanan sepanjang operasi *drilling*. Pemodelan dimulai dari tekanan yang dihasilkan oleh *main pump*, tekanan sepanjang *drilling pipe*, tekanan yang disebabkan oleh *choke valve* dan *back pump*. Penambahan tekanan harus melihat kesetimbangan massa dimana tekanan masuk sama dengan tekanan keluar

$$\boldsymbol{\theta qin + Pbit + \rho gD + \theta qbck = pc} \quad \textbf{(2.14)}$$

Dimana:

Pbh = Tekanan di dasar sumur

Pc = Tekanan pada *choke*

ρ = Massa Jenis *mud*

g = Gravitasi

D = Kedalaman

Θ = Parameter Friksi Annulus

Qbck = Laju Alir *Backpump*

2.7 Kontroller PID

Dalam sistem kontrol dinamik , salah satu kontroler yang paling umum digunakan adalah controller PID. Lebih dari 85% dari semua kontroler dinamik merupakan suatu variasi dari kontroler PID (Paz, 2001) . Kontroller PID memiliki 3 bagian, yaitu *proportional* , *integral* dan *derivative.* Ketiga bagian ini memiliki peranya masing-masing. Sebagai nilai proporsional dari error, nilai integral dari error, dan nilai turunan dari error. Output dari kontroller PID merupakan nilai untuk *manipulated input* u(t). Persamaan dari kontroller PID dapat dilihat pada persamaan 2.5

$$\boldsymbol{u(t) = Kpe(t) + Ki\int_0^t e(t)d_\tau + K_D\frac{de(t)}{dt}} \qquad \textbf{(2.15)}$$

Nilai Kp, Ki, dan Kd , merupakan gain dari masing-masing bagian. Kp merupakan *gain* dari *proportional*, Ki merupakan *gain* dari *integral* dan Kd merupakan *gain* dari *derivative*. *Gain* tersebut dapat dimanipulasi untuk mendapatkan hasil yang dianggap terbaik. Proses pengubahan nilai gain ini disebut sebagai *tuning.* Proses tuning memiliki berbagai macam metode. Metode yang paling umum digunakan adalah zieger Nichols. Pada umumnya, pada controller PID memiliki nilai Gain Kp, Ki, dan Kd masing-masing. Namun controller dapat dimanipulasi dengan menguah nilai gain. Sebagai contoh, *controller* PI merupakan *controller* PID tanpa melibatkan D, *controller* PD juga merupakan *controller* PID tanpa melibatkan I. Nilai gain dari *controller* yang tidak dilibatkan bernilai 0

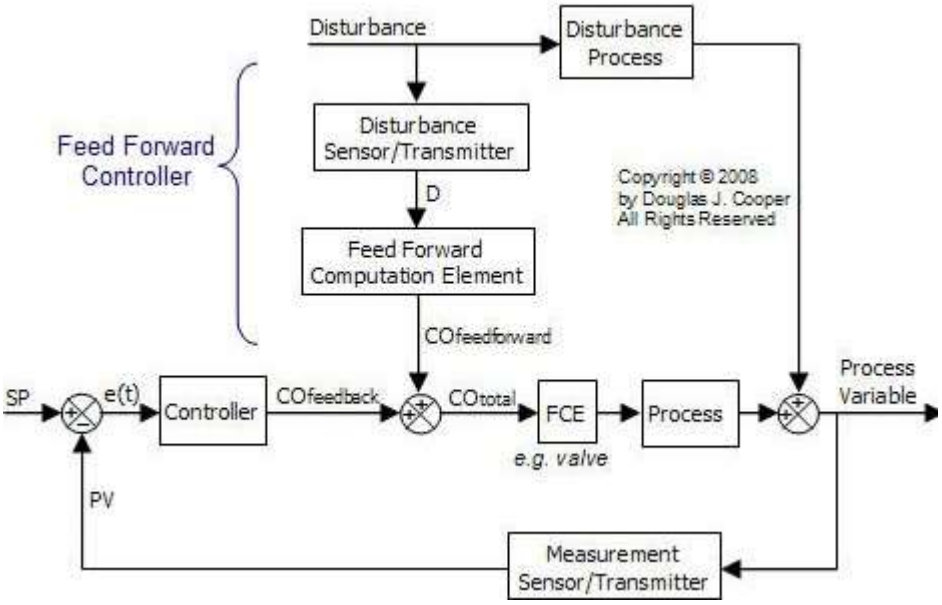
2.8 Feedforward Control

Kontroller PID akan memulai aksi pada saat *process variable* telah bergerak dari setpoint. Pergerakan tersebut maka akan menghasilkan error. Pada pandangan ini, sebuah strategi feedback dapat dikatakan terlambat karena bekerja setelah error telah terjadi.

Kontroller *feed forward* mengukur *disturbance* D dan memprediksi efeknya terhadap PV dan mengadakan tindakan. Dengan adanya pengukuran *disturbance* yang dini , maka *feed forward* dapat lebih baik menjaga PV pada set point. Dengan mengukur gain dari *disturbance*, maka gain dari feed forward akan dapat diukur dengan persamaan 2.16 (Marlin, 2015)

$$\boldsymbol{G_{ff}(s) = -\frac{G_d(s)}{G_p(s)}} \qquad \textbf{(2.16)}$$

Diagram blok untuk pengendalian feed forward dapat dilihat pada gambar



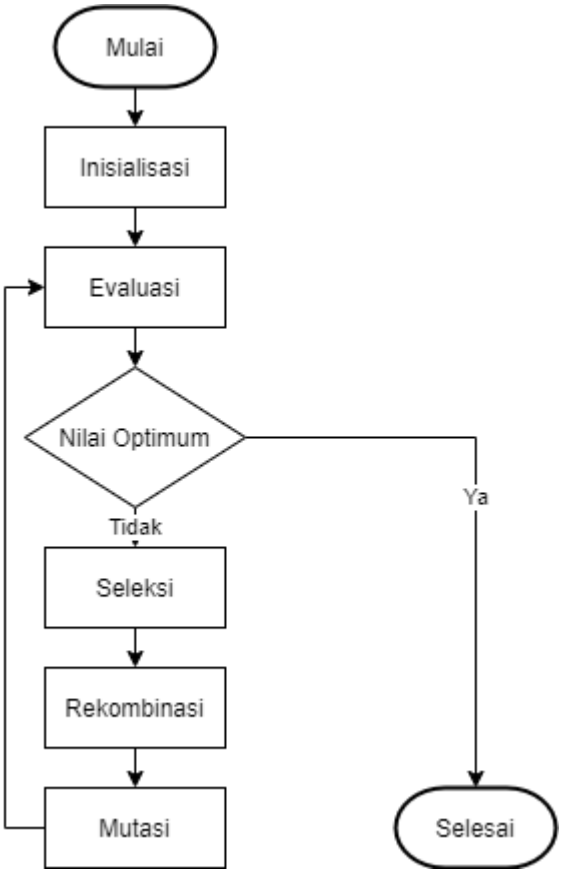
Gambar 2. 3 Diagram blok pengendalian *feed forward*

2.9 Genetic Algorithm

Teknik Optimisasi yang digunakan pada laporan ini adalah *genetic algorithm* (GA). Konsep dasar *genetic algorithm* adalah untuk mensimulasikan suatu proses pada alam yang membutuhkan evolusi (Kumar, 2010). Sebuah populasi dari

individual, yang masing-masing merepresentasikan solusi dalam suatu masalah.Tiap individual memiliki chromosome masing-masing. Suatu GA memiliki 2 hal yang harus didefinisikan:

a) Genetic Representation dari solution domain
b) Fitness Function



Gambar 2. 4 Diagram alir optimisasi *genetic algorithm*

Representasi genetik biasanya tersusun dari *array*. Nilai-nilai dalam array ini digunakan dalam proses persilangan dari 1 individual dengan individual lainnya. *Fitness function* merupakan suatu nilai kecocokan. Fungsi ini berperan untuk meninjau kualitas dari solusi yang diberikan. Operasi *genetic algorithm* akan berulang hingga mendapatkan hasil yang optimal. Diagram alir optimisasi *genetic algorithm* dapat dilihat pada gambar 2.3

1. Inisialisasi

Pembentukan populasi awal secara acak. Individu – individu yang berada pada populasi merupakan kandidat solusi yang nanti akan diuji. Ukuran populasi bergantung pada permasalahan masing-masing

2. Evaluasi

   Evaluasi nilai *fitness* dari tiap individu. Semakin besar *fitness* dari suatu individu mengindikasikan semakin besar kesempatan individu tersebut untuk bertahan.

3. Seleksi

   Di setiap generasi, sebagian dari populasi akan menghasilkan keturunan untuk generasi selanjutnya. Solusi individual dipilih bedasarkan *fitness*, sehingga fitness rendah tidak terpilih. Metode seleksi yang digunakan secara stokastik, sehingga sebuah bagian kecil dari *fitness* kecil ikut terpilih. Metode yang umumnya digunakan adalah *roulette wheel* dan *tournament selection.*

4. Rekombinasi

   Rekombinasi merupakan gabungan antara kromosom orang tua sehingga menghasilkan keturunan yang baru. Mekanisme yang digunakan merupakan mekanisme *crossover*. Gen dari kromosom orang tua dipilih untuk menjadi gen keturunan. Cara paling mudah untuk ini adalah *parent* 1 dipilih gen kromosom hingga suatu titik dan sisanya adalah gen dari *parent* 2. Ilustrasi *crossover* dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2. 3 Rekombinasi GA

Kromosom	Gen
Chromosome 1	11011 | 00100110110
Chromosome 2	10001 | 11000011110
Offspring 1	11011 | 11000011110
Offspring 2	10001 | 00100110110

5. Mutasi

   Setelah *crossover* selesai, mutasi akan terjadi. Ini akan mencegah semua solusi pada suatu solusi ke local optimum dari masalah. Mutasi secara random terjadi pada keturunan. Untuk *binary encoding*, kita dapat secara random mengubah

nilai 0 menjadi 1 atau 1 menjadi 0. Ilustrasi Mutasi adalah sebagai berikut pada tabel 2.4

Tabel 2. 4 Mutasi GA

Kromosom	Gen
Original Offspring 1	110**0**111000011110
Original Offspring 2	1**0**00100100110110
Mutated Offspring 1	110**0**111000011110
Mutated Offspring 2	1**1**00100100110100

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada *flowchart* sebagai berikut:

Gambar 3. 1 Flowchart pengerjaan penelitian

Dari *flowchart* pada Gambar 3.1, didapar beberapa langkah dalam pelaksanaan tugas akhir, yaitu :

- Pengumpulan data dan pemodelan fungsi objektif

  Pada tahap ini , dilakukan pengambilan data yang sesuai dengan parameter *drilling* yang dibutuhkan dan juga menentukan penentuan *objective function* yang sesuai untuk proses *drilling*. *Objective function* yang diambil mempertimbangkan perubahan tekanan pada bit.
- Optimisasi kondisi *drilling*

  Dilakukan optimisasi kondisi *drilling* dengan metode *genetic algorithm* untuk mendapatkan 4 nilai variabel yang nantinya akan menjadi *set point* yang telah ditentukan. Variabel yang di optimisasi merupakan *weight on bit, flowrate mud , pressure choke*,dan kecepatan putaran dari mata bor.
- Pengendalian operasi *drilling* dengan metode PID

  Dilakukan pengujian perfomansi dengan set point yang telah ditentukan. Pengendalian dilakukan dengan strategi kontrol PID. Terdapat 4 variabel proses untuk menjaga tekanan pada dasar sumur stabil ketika terdapat gangguan massa jenis *mud* yaitu tekanan pada *choke* , laju alir pada pompa utama , laju alir pada pompa belakang dan posisi valve pada choke
- Analisa data

  Analisa data didapatkan untuk melihat kinerja kontrol PID dalam menjaga tekanan di dasar sumur stabil. Data yang didapat lalu ditarik kesimpulannya

3.1 Penentuan Parameter dan Pemodelan Fungsi Objektif

Pada tahap ini , dilakukan pengambilan data yang sesuai dengan parameter *drilling* yang dibutuhkan, dan melakukan pemodelan fungsi objektif. Penentuan fungsi objektif yang sesuai mempertimbangkan *rate of Penetration*, karena bertujuan untuk mendapatkan *rate of penetration* yang paling optimum. Fungsi objektif yang digunakan ada pada persamaan 2.6. Nilai dari Parameter lainnya didapat dari studi literature dan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Tabel Parameter *Drilling*

Parameter	Deskripsi	Nilai	Unit
d_b	Drill Bit Diameter	0,0254	m
d_s	Drill Stringg Outer Diameter	0,1000	m
d_i	Drill String Inner	0,0850	m
V_a	Annulus Volume	128,4500	m^3
V_d	Drill String Internal Volume	17,0200	m^3
β	Bulk Modulus	20000	bar
θ_1	Annulus friction parameter	900	kg/m^4s
θ_2	Drill String Friction Parameter	180000	kg/m^7
M	Mass Coefficient	8384	$10^5\ kg/m^4$
D	Depth of Well	3000	m
ρ	*Drilling Mud Density*	0,0140	$10^5\ kg/m^3$
K_c	Valve flow Constant	0,0025	m^2

3.2 Optimisasi Metode *Stochastic*

Pada penelitian kali ini digunkana sebuah metode stochastic berupa *genetic algorithm*. Nilai optimal yang dicari merupakan nilai variable yang telah diuji sensitivitas terhadap *rate of penetration*, yaitu *rotary speed, mud flow , pressure choke* , dan WOB. Penjelasan algoritma *genetic algorithm* telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Sebelum menjalankan optimisasi , berikut parameter yang ditentukan.Sebelum proses optimisasi dimulai , terlebih dahulu ditetapkan constrain dari tiap variable berupa *upper bond* dan *lower bond* pada tabel 3.2 . Hasil yang didapat pada proses optimisasi berikut akan menjadi setpoint pada simulasi kontrol kondisi *drilling*.

Tabel 3. 2 Tabel *Constraint* Optimisasi GA

Simbol	Deskripsi	Lower Bond	Upper Bond	Unit
W	Berat Bit	10	200	Tons
N	Putaran Bit	100	200	Rpm
qin	Flowrate	0,001	50	Litre/s
pc	Choke Pressure	0,001	100	Bar

3.3 Pengendalian Operasi *Drilling*

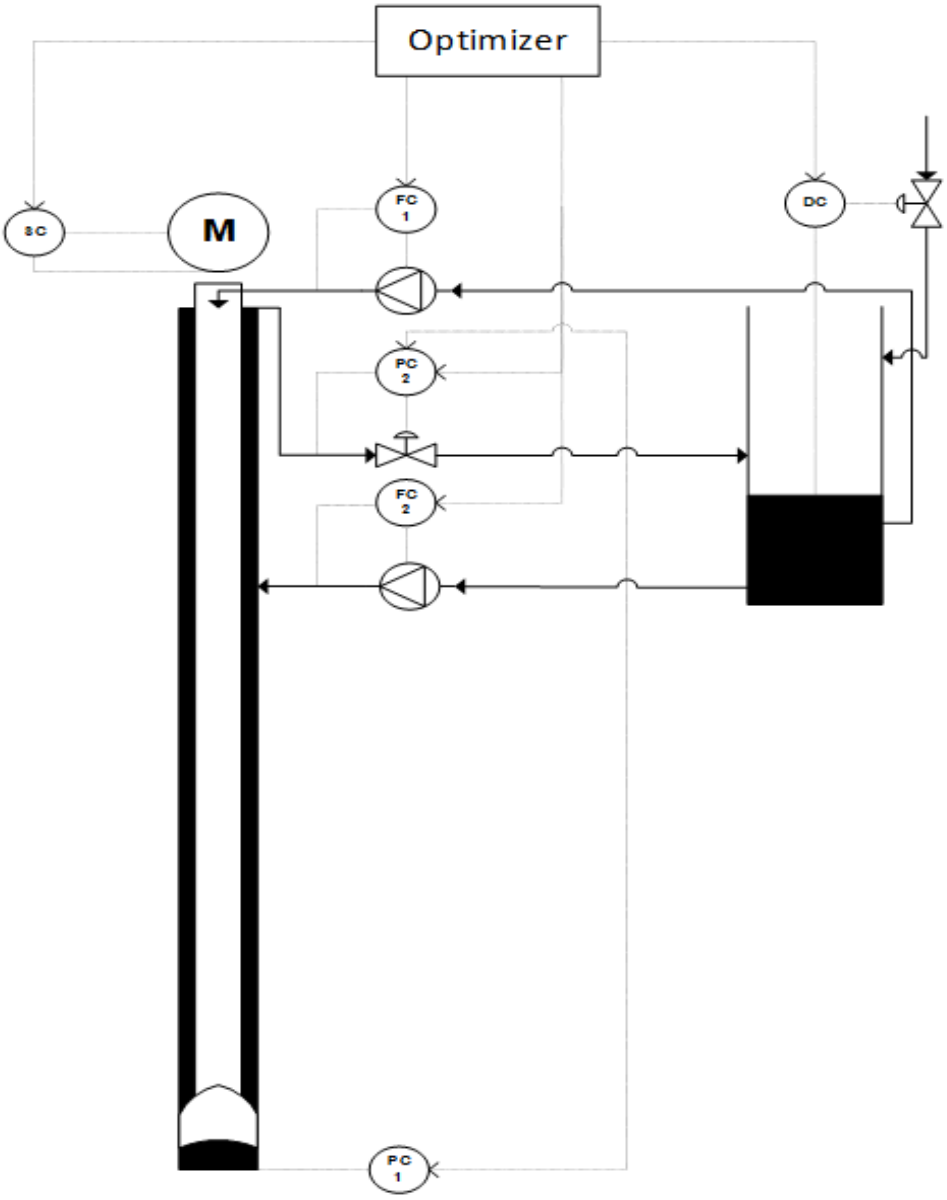
Simulasi pengendalian operasi *drilling* digunakan menggunakan software MATLAB. Setelah Variabel di optimisasi, hasil akan menjadi setpoint untuk pengendalian tekanan dalam lubang sumur. *Disturbance* yang disebabkan oleh *mud density* disajikan pada tabel 3.3

Tabel 3. 3 Tabel Nilai Massa Jenis *Mud*

no	*Mud*	*Density* (kg/m3)
1	Steady State	1400
2	*Mud*	1401,906671
3	*Mud* 2	1403,805631
4	*Mud* 3	1405,696946

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Plant *Drilling* System



Gambar 4. 1 *Plant drilling system* (Kuncoro, 2019)

Pada laporan Tugas Akhir ini digunakan perancangan plant sebagai berikut. *Manipulated variable* yang terdapat pada sistem tersebut terdiri dari *choke valve* , *main mud pump,* dan *back pump.* Dalam sistem ini , *main mud pump* meninjeksikan lumpur pengeboran ke dasar sumur. *Drilling mud* akan kembali ke atas permukaan melalui annulus. *Mud* yang kembali pada permukaan akan mengalami perubahan massa jenis akibat *cuttings* yang ikut terbawa dari dasar sumur. *Mud* yang telah melewati *choke valve* akan ditampung dan dilakukan filtrasi untuk mengembalikan massa jenis *mud* dan diinjeksikan kembali ke dasar sumur.

Manipulated variable yang terpasang dalam sistem diharapkan dapat mengatasi *disturbance* berupa perubahan massa jenis *mud* yang diinjeksikan. Perubahan massa jenis *mud* yang diinjeksikan dapat mengakibatkan perubahan tekanan pada bit . Strategi kontrol dilakukan untuk mengatur manipulated variable untuk menjaga kondisi tekanan dibawah sumur. Gambar perancangan sistem *drilling* ada pada gambar 4.1

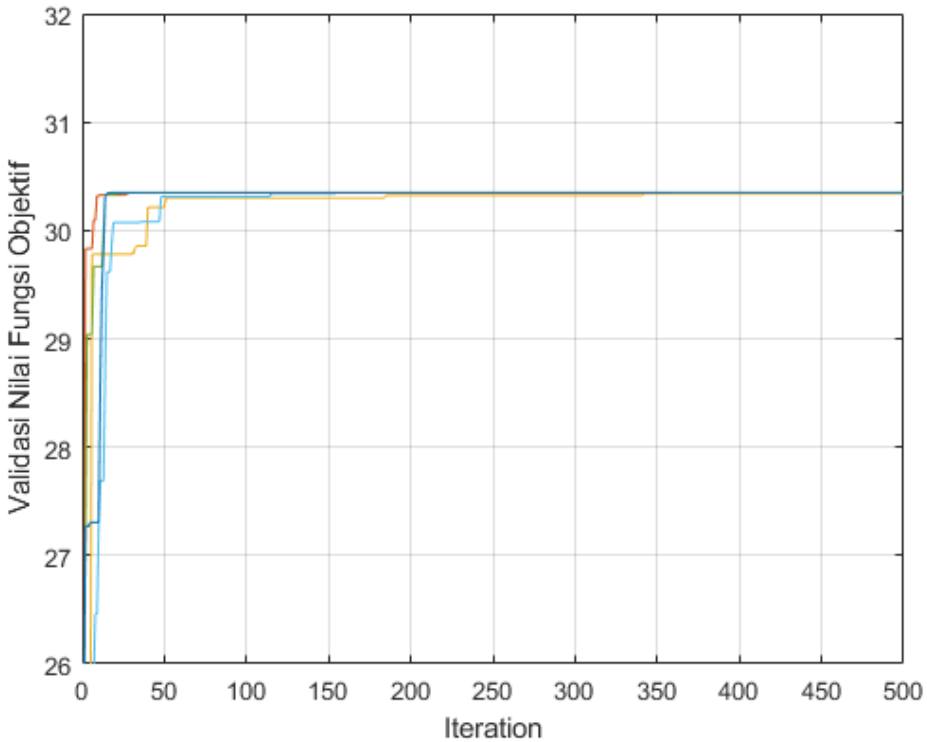
4.2 Optimisasi Metode *Stochastic*

Fungsi objektif pada optimisasi ini adalah untuk menentukan nilai variable-variabel agar menghasilkan ROP yang optimal. Algoritma yang digunakan pada optimisasi ini adalah *genetic algorithm*. Penjelasan tentang algoritma ini dan constrain yang ditetapkan telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Proses optimisasi GA akan dijalankan menggunakan *software* MATLAB. Sebelum menjalankan proses optimisasi dilakukan , dilakukan validasi untuk memastikan performa dari optimisasi. Validasi dilakukan dengan menggunakan satu persamaan *benchmark* . Persamaan yang digunakan terdapat pada persamaan 4.1 dimana nilai maksimumnya adalah 30.35 (Biyanto, Nugroho, & Fibrianto, 2016)

$$\boldsymbol{f} = -(\sqrt{\boldsymbol{x}^2 + \boldsymbol{y}^2}.\cos(\boldsymbol{x} - \boldsymbol{y}) \,.\, \boldsymbol{e}^{(\cos(\frac{\boldsymbol{x}(\boldsymbol{y}+5)}{7}))} \tag{4.1}$$

Inisialisasi populasi pada GA bernilai 100 , probabilitas *crossver* 0.8 , generasi maximum sebesar 500. Dilakukan variasi dari probabilitas mutasi bernilai 0.5 hingga 0.1 untuk melihat kinerja dari GA. Didapat bahwa GA dapat

mendapatkan nilai maksimum sebesar 30.35. Hasil performa GA dalam fungsi *benchmark* dapat terlihat pada gambar 4.2



Gambar 4. 2 Grafik validasi optimisasi GA pada fungsi *benchmark*

Percobaan GA dengan melakukan variasi pada probabilitas mutasi menghasilkan pencapaian global optimum pada iterasi yang berbeda-beda. Tabel 4.1 menunjukan nilai probabilitas mutasi dengan hasil yang didapat. Terlihat bahwa iterasi terbaik didapat pada saat probabilitas mutase bernilai 0.1

Tabel 4. 1 Hasil Solusi GA Dengan Variasi Probabilitas Mutasi

Probabilitas Mutasi	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Solusi Terbaik	30,35	30,35	30,35	30,35	30,35
Iterasi	348	149	30	37	25

Setelah melakukan validasi dan melihat pengaruh nilai probabilitas mutase terhadap kinerja GA, dilakukan test menggunakan probabilitas mutase terbaik dan variasi pada probabilitas *crossover*. Hal ini dilkakukan untuk evaluasi parameter GA terhadap performa GA. Tabel 4.2 menunjukan hasil yang didapat pada tiap variasi nilai probabilitas *crossover*. Terlihat bahwa untuk mendapatkan performa

terbaik pada fungsi *benchmark*, probabilitas *crossover* bernilai 0.6 yang akan mencapai hasil optimum di diterasi 20

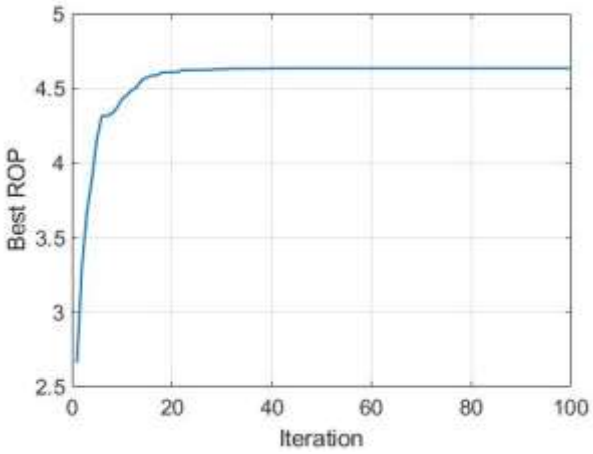
Tabel 4. 2 Hasil Solusi GA Dengan Variasi Probabilitas *Crossover*

Probabilitas Crossover	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Solusi Terbaik	30,35	30,35	30,35	30,35	30,35
Iterasi	181	41	20	22	40

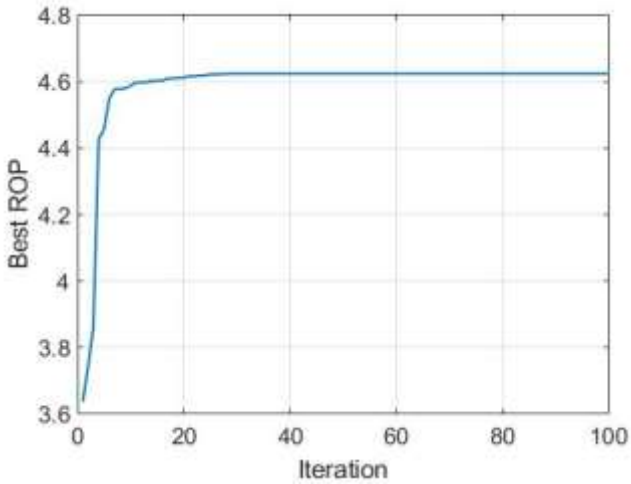
Setelah proses validasi dilakuakn, maka optimisasi GA dapat dilakukan. Sebelum optimisasi dilakukan, dilakukan penentuan *constrain* pada variabel-variabel yang akan di optimisasi. Variabel- variabel tersebut adalah WOB, laju alir pompa utama, kecepatan rotasi, dan tekanan pada *choke.* Variabel dipilih karena, pada persamaan laju penetrasi, variabel-variabel tersebut dapat mempengaruhi laju penetrasi. Batas atas dan batas bawah ditentukan melalui performa maksimum dan minimum yang dapat dijalankan *constrain* tersebut.

Sebelum menjalankan optimisasi, dilakukan inisialisasi parameter. Jumlah populasi bernilai 100, Generasi maximum bernilai 100, probabilitas *crossover* bernilai 0.8 dan probabilitas mutasi sebesar 0.1. probabilitas *crossover* adalah probabilitas terjadinya suatu *crossover* pada generasi selanjutnya. Semakin kecil probabilitas *crossover* maka generasi selanjutnya akan memiliki kromosom yang sama dengan generasi sebelumnya. Probabilitas mutasi merupakan probabilitas terjadinya suatu mutase pada nilai secara random. Semakin besar kemungkinan mutasi, maka semakin besar kemungkinan kromosom berganti. Mutasi dilakukan untuk mencegah GA terjebak dalam *local optimum*. Jumlah populasi adalah berapa banyak kromosom dalam satu generasi. Jika terlalu sedikit, maka GA akan melakukan *crossover* yang terlalu sedikit. Jika terlalu banyak, maka akan menyebabkan GA lambat.

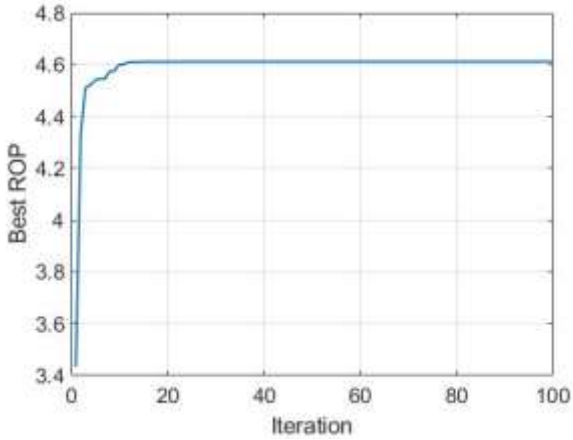
Optimisasi dijalankan dengan *software* MATLAB. Optimisasi dilakukan pada massa jenis *mud* tanpa gangguan, dan massa jenis *mud* setelah adanya gangguan. Hal ini dilakukan untuk dapat melihat antara nilai massa jenis mud dengan laju penetrasi. Optimisasi di berbagai kondisi dilakukan dengan nilai parameter yang sama. Grafik hasil optimisasi GA dapat dilihat pada gambar 4.3 hingga 4.6



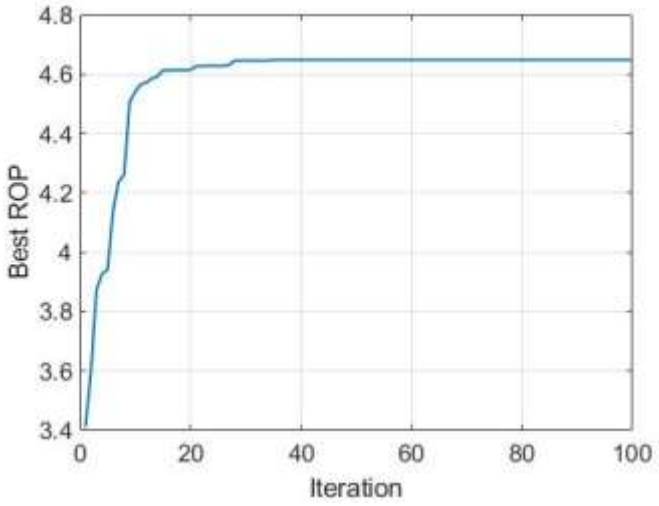
Gambar 4. 3 Hasil optimisasi *mud* 1400 $^{Kg}/_{m^3}$



Gambar 4. 4 Hasil optimisasi *mud* 1401 $^{Kg}/_{m^3}$



Gambar 4. 5 Hasil optimisasi *mud* 1403 $^{Kg}/_{m^3}$



Gambar 4. 6 Hasil optimisasi *mud* 1405 $^{Kg}/_{m^3}$

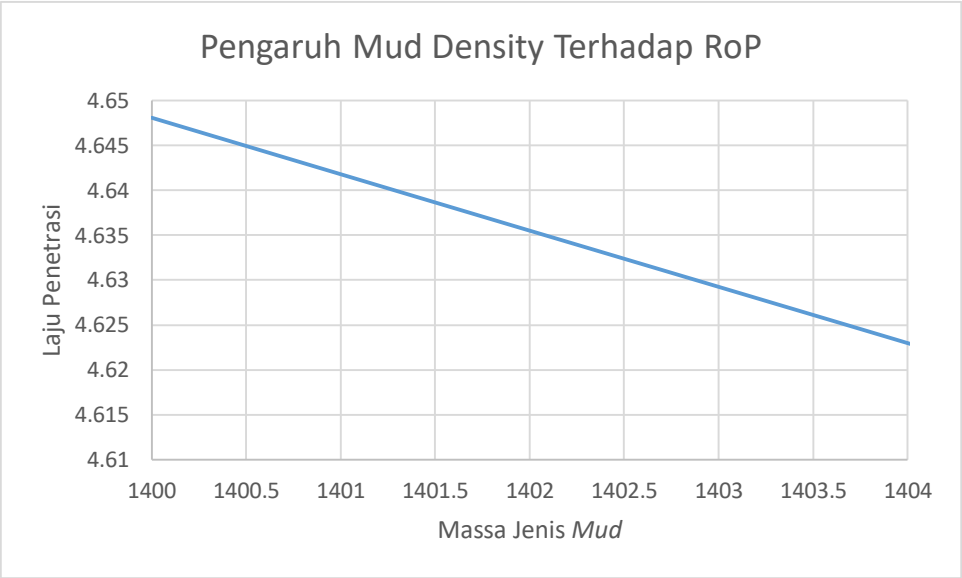
Hasil nilai optimisasi *genetic algorithm* terdapat pada tabel 4.3 berikut

Tabel 4. 3 Hasil Optimisasi *Genetic Algorithm*

Variabel	***Mud Density*** ($^{Kg}/_{m^3}$)			
	1400	**1401.907**	**1403.806**	**1405.697**
Weight on Bit (WOB)	29,4	29,2	29,5	29,5
Kecepatan Rotasi	165,2	156,6	157,1	114,2
flowrate mud	50	50	50	50
Pressure Choke	$9 * 10^{-4}$	$9 * 10^{-4}$	$9 * 10^{-4}$	$9 * 10^{-4}$
Rate of Penetration	**4,6482**	**4,6361**	**4,6242**	**4,6123**

Gambar 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 menunjukan nilai dari fungsi objektif berupa laju penetrasi dari optimisasi *genetic algorithm*. Dari keempat grafik yang dihasilkan, terlihat bahwa nilai optimum yang didapat mulai konvergen sebelum iterasi ke 50. Nilai variabel yang teroptimisasi dan nilai fungsi objektif berupa laju penetrasidapat dilihat pada tabel 4.1. Dari hasil optimisasi yang didapat, terlihat bahwa terdapat hubungan antara nilai massa jenis *mud* terhadap laju penetrasi. Hubungan tersebut dapat digambarkan pada gambar 4.6. Gambar hubungan antara massa jenis *mud* terhadap laju pentrasi juga merupakan suatu analisa sensitivitas, dimana terlihat hubungan antara kedua variabel tersebut. Terlihat bahwa perubahan massa jenis *mud* dapat mempengaruhi kinerja sistem *drilling*. Maka dari itu, sistem

kontrol PID dibutuhkan uintuk mengatasi perubahan tersebut dan menjaga kinerja dari sistem *drilling*



Gambar 4. 7 Grafik pengaruh *mud density* terhadap RoP

Terlihat pada gambar 4.7 hubungan antara massa jenis *mud* terhadap laju penetrasi. Massa jenis *mud* memiliki hubungan berbanding terbalik dengan *rate of penetration*. Hal ini ditunjukkan dengan berkurannya laju penetrasi seiring bertambahnya massa jenis *mud*.

4.3 Kontrol Sistem PID

Pada subbab ini , akan dibahas mengenai proses sistem pengeboran dengan strategi kontrol PID yang akan diterapkan pada *drilling process* dimana dilakukan setelah mendapat nilai hasil optimisasi.

Pada laporan ini , diambil *disturbance* pada proses *drilling* berupa perubahan massa jenis *mud* yang diinjeksikan. *Mud* awal akan diinjeksikan ke dasar sumur , pada proses sirkulasi *mud* ke atas permukaan, sehingga , *mud* yang telah mengalami perubahan massa jenis di injeksikan kembali ke dasar sumur.Jika *mud* yang akan diinjeksikan mengalami kenaikan massa jenis , maka ini akan berpengaruh terhadap tekanan pada bit bor. Tekanan pada bit bor akan menjadi semakin besar.Sehingga , diperlukan kontrol untuk mendapatkan laju penetrasi terbaik pada saat terjadi perubahan tekanan pada bit yang disebabkan oleh perubahan *mud density* yang

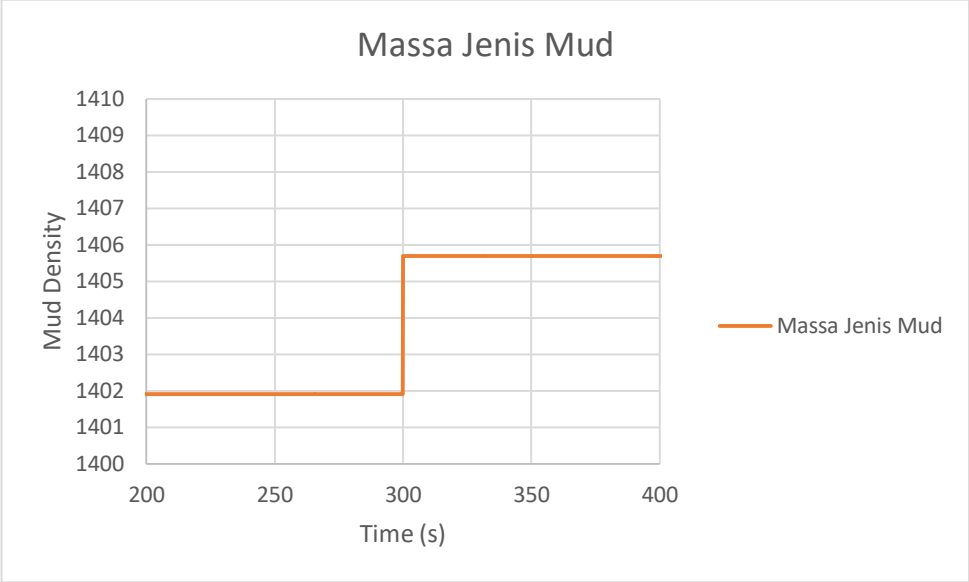
diinjeksikan. Tujuan dari pengendalian ini adalah untuk menjaga tekanan di dasar sumur , sehingga saat terjadi gangguan berupa perubahan massa jenis yang diinjeksikan, sistem dapat menjaga kestabilan tekanan pada dasar sumur. Pada penelitian ini , dalam keadalaman 3000 m , tekanan akan dijaga pada 470 bar. Simulasi dilakukan pada software MATLAB. Simulasi dilakukan dalam beberapa kali variasi untuk melihat performa dari sistem kontrol dalam mengatasi perubahasan massa jenis *mud* berupa peningkatan massa jenis dan penurunan massa jenis. Menjaga tekanan pada dasar sumur diperlukan untuk memastikan performa dari sistem *drilling*, dan merupakan keamanan dari sistem tersebut. Gangguan yang menyebabkan perubahan tekanan pada dasar sumur dapat menyebabkan *kick* dan *blowout*. *Kick* dapat terjadi jika tekanan pada formasi lebih besar daripada tekanan hidrostastik lumpur yang menyebabkan fluida mengalir dari formasi menuju *wellbore*. Maka dari itu , sistem kontrol PID diperlukan untuk menjaga tekanan sehingga performa dan keamanan sistem *drilling* dapat terjaga. Dalam penelitian ini , sistem pengendalian PID terdapat 4 proses variabel , yaitu *pressure choke* , *flow main pump* , *flow back pump* dan posisi valve. Penelitian ini dilakukan untuk melihat kinerja sistem PID terhadap proses variabel tersebut , untuk tetap menghasilkan tekanan pada dasar sumur yang stabil saat terjadi gangguan perubahan massa jenis lumpur.

4.3.1 Perubahan Kenaikan *Mud Density*

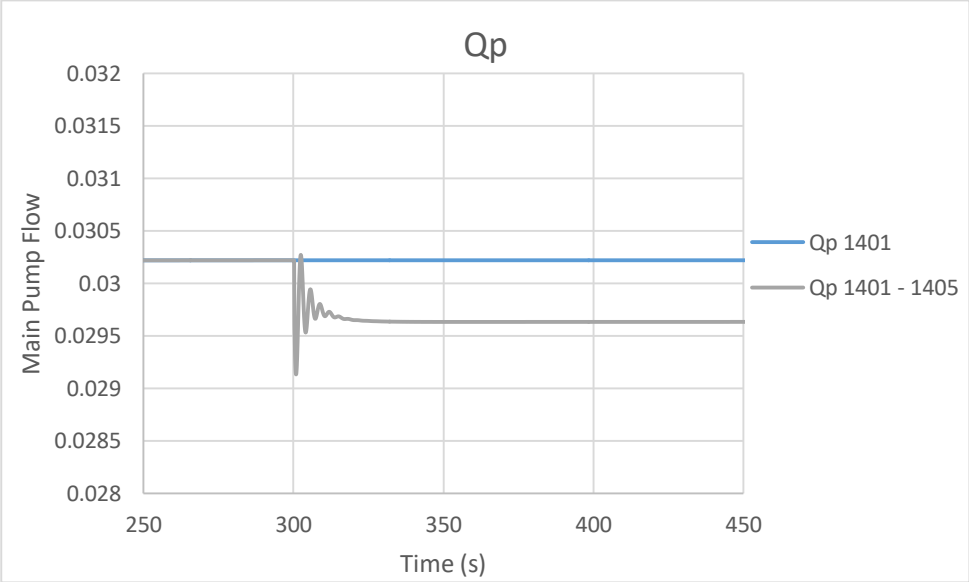
Perubahan yang berupa peningkatan nilai massa jenis *mud* akan menyebabkan kenaikan pada dasar sumur. Pada simulasi ini , gangguan dimulai pada detik ke 300. Pada penelitian kali ini, perubahan kenaikan massa jenis *mud* dilakukan dalam 3 variasi, yaitu pada massa jenis 1401 – 1403 $^{Kg}/_{m^3}$, 1401 – 1405 Kg/m^3,dan 1403 – 1405 Kg/m^3. Gangguan pada massa jenis dari *mud* dapat diatasi dengan mengendalikan 4 process variable, yaitu *pressure choke* , *flow main pump* , *flow back pump* dan posisi valve. Perubahan dalam variabel ini dalam penanganan perubahan massa jenis *mud* dapat dilihat pada sub bab berikutnya.

4.3.1.1 Massa Jenis 1401 – 1405 Kg/m^3

Pada simulasi ini , massa jenis akan berubah dari 1401 ke 1405 Kg/m^3. pada detik 300. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik perubahan massa jenis *mud* terhadap waktu (1401 – 1405)

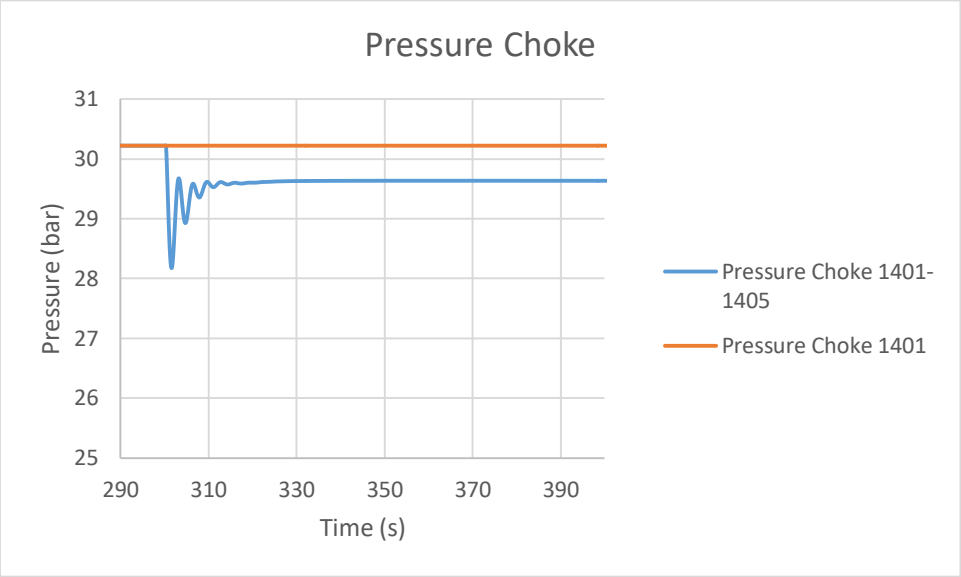


Gambar 4. 9 Grafik perubahan penurunan laju alir *main pump* (1401 – 1405)

Dengan adanya penambahan penambahan massa jenis dari 1401 ke 1405 Kg/m^3, akan mengakibatkan kenaikan pada tekanan di dasar sumur. Salah satu cara menanggulanginya adalah mengurangi jumlah fluida *mud* yang mengalir menuju dasar sumur. Fluida *mud* di injeksikan ke dasar sumur dari permukaan menggunakan *main pump*. Sehingga , untuk mengurangi tekanan pada dasar sumur , dilakukan pengurangan laju alir *mud* pada dasar sumur.Pengurangan laju alir *mud*

pada *main pump* dapat dilihat di gambar 4.9. Terlihat bahwa nilai laju alir berkurang dari 0,030 m^3/s menjadi 0,029 m^3/s

Kenaikan tekanan pada dasar sumur berbanding lurus dengan tekanan pada *choke*. Sehingga , saat terjadi kenaikan pada dasar sumur , akan menyebabkan peningkatan pada tekanan di *choke.* Sehingga , untuk mengatasi gangguan berupa kenaikan tekanan pada dasar sumur, setpoint tekanan pada *choke* akan diturunkan, sehingga , dapat menurunkan juga tekanan pada dasar sumur. Penurunan tekanan pada choke dapat terlihat di gambar 4.10. Terlihat bahwa nilai tekanan *choke* berubah dari 30,22 bar menuju 29,63 bar.

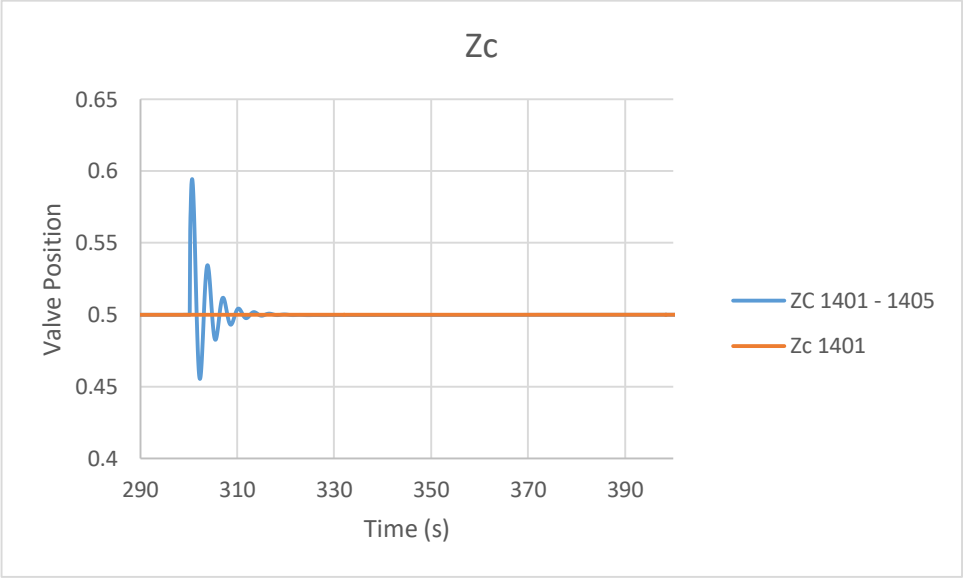


Gambar 4. 10 Grafik penurunan tekanan pada *choke* (1401 – 1405)

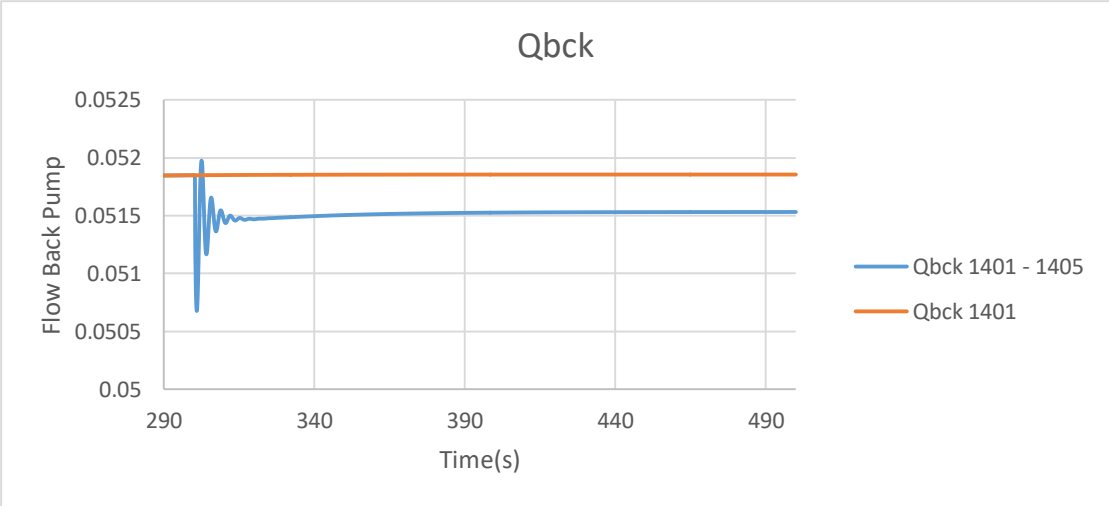
Penurunan tekanan pada *choke* dapat dilakukan dengan 2 cara , yaitu dengan cara mengubah menjadi posisi yang semakin terbuka , dan juga mengurangi laju pada *back pump*. Pertama , valve akan semakin membuka. Valve yang membuka akan perlahan kembali ke setpoint awal yaitu 0,5. Valve dapat kembali ke setpoint awal dikarenakan pengurangan aliran dari backpump. Grafik posisi valve ini dapat dilihat pada gambar 4.11

Setelah terjadi pembukaan posisi valve, backpump akan membantu untuk mengurangi tekanan pada *choke* dengan cara mengurangi laju alir *mud*. Pengurangan laju alir *mud* ini bertujuan membantu kinerja valve dalam mengurangi

tekanan. Tanpa pengurangan alir dari *backpump* , valve dapat sepenuhnya terbuka tapi tekanan yang dihasilkan masih terlalu besar. Maka dari itu , pengurangan alir dari *backpump* akan menyebabkan *valve* tidak pernuh membuka sepenuhnya dan dapat kembali ke setpoint valve awal. Laju alir *mud* dapat dapat dilihat di grafik pada gambar 4.12 . Terlihat bahwa nilai laju alir *mud* mengalami penurunan dari 0,0518 ke 0,0513 m^3/s



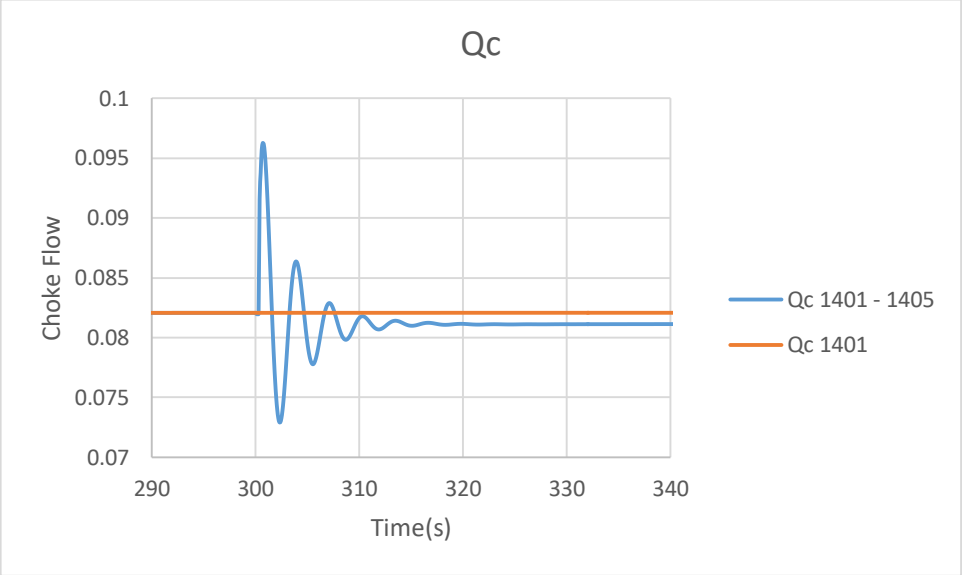
Gambar 4. 11 Grafik posisi valve (1401 – 1405)



Gambar 4. 12 Grafik laju alir backpump (1401 – 1405)

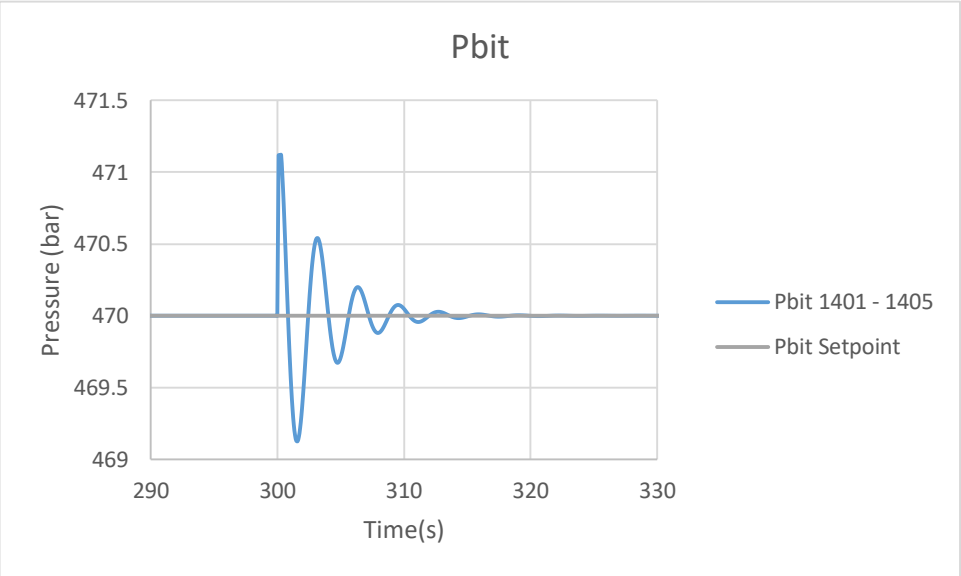
Penurunan pada *backpump* akan berakibat pada aliran di *choke*. *Backpump* berfungsi untuk membantu aliran *mud* dari dasar mengalir ke *choke*. Penurunan

backpump dapat mengakibatkan penurunan aliran di *choke*. Grafik aliran *mud* dapat dilihat pada gambar 4.13 . Terlihat bahwa laju alir berkurang dari 0,082 ke 0,081



Gambar 4. 13 Grafik alir *mud* pada *choke* (1401 – 1405)

Perubahan – perubahan dilakukan untuk menjaga kestabilan tekanan dalam dasar sumur. Dalam penelitian ini, tekanan di dasar sumur dapat di jaga pada tekanan 470 bar. Terlihat bahwa , saat terdapat *disturbance* , tekanan mengalami kenaikan, dan berosilasi dan ke*mud*ian kembali pada 470 bar pada detik ke 320. Grafik nilai tekanan pada dasar sumur dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4. 14 Grafik tekanan di dasar sumur (1401 – 1405)

Maka , dilihat dari gambar 4.13 , sistem pengendalian dapat menjaga tekanan di bawah sumur di setpoint saat ada gangguan berupa kenaikan massa jenis *mud*.

4.3.1.2 Massa Jenis 1401 – 1403 Kg/m^3

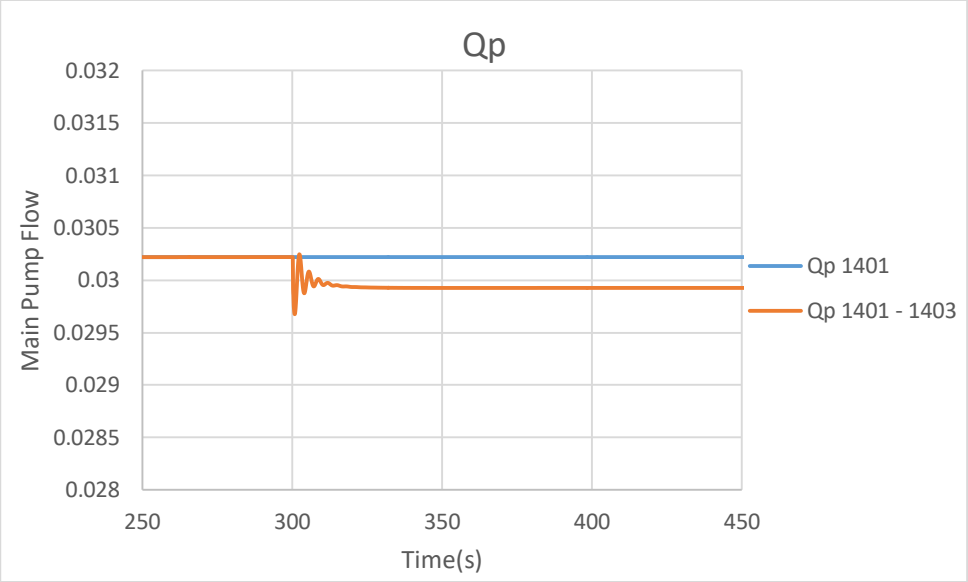
Pada simulasi ini , massa jenis akan berubah darai 1401 ke 1403 Kg/m^3 pada detik 300. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.15.

Gambar 4. 15 Grafik perubahan massa jenis *mud* (1401 – 1403)

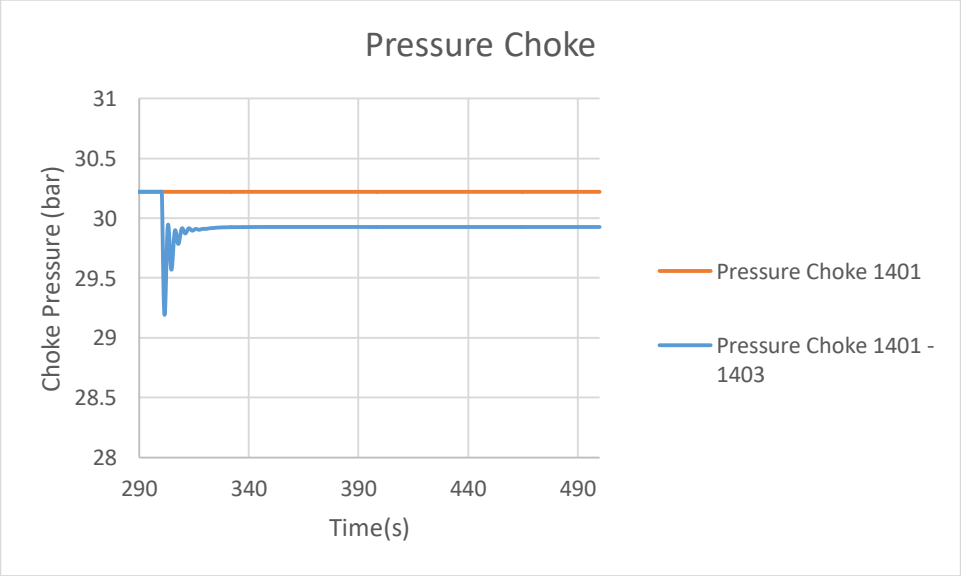
Dengan adanya penambahan penambahan massa jenis dari 1401 ke 1403 kg/m^3, akan mengakibatkan kenaikan pada tekanan di dasar sumur. Salah satu cara menanggulanginya adalah mengurangi jumlah fluida *mud* yang mengalir menuju dasar sumur. Fluida *mud* di injeksikan ke dasar sumur dari permukaan menggunakan *main pump*. Sehingga , untuk mengurangi tekanan pada dasar sumur , dilakukan pengurangan laju alir *mud* pada dasar sumur.Pengurangan laju alir *mud* pada *main pump* dapat dilihat di gambar 4.16. Terlihat bahwa nilai laju alir berkurang dari 0,030 m^3/s menjadi 0,029 m^3/s

Kenaikan tekanan pada dasar sumur berbanding lurus dengan tekanan pada *choke*. Sehingga , saat terjadi kenaikan pada dasar sumur , akan menyebabkan peningkatan pada tekanan di *choke.* Sehingga , untuk mengatasi gangguan berupa kenaikan tekanan pada dasar sumur, setpoint tekanan pada *choke* akan diturunkan,

sehingga , dapat menurunkan juga tekanan pada dasar sumur. Penurunan tekanan pada choke dapat terlihat di gambar 4.17. Terlihat bahwa nilai tekanan *choke* berubah dari 30,22 bar menuju 29,92 bar.



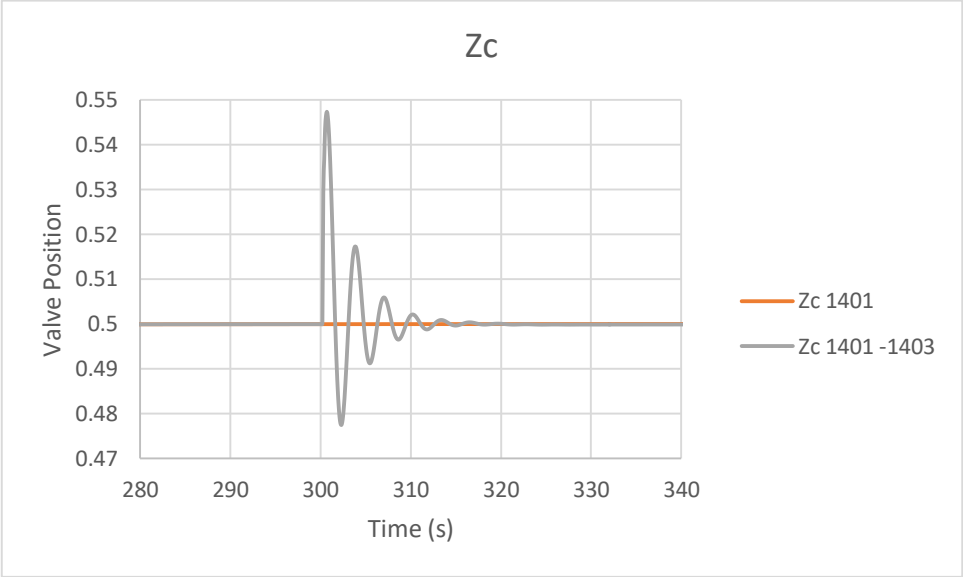
Gambar 4. 16 Grafik perubahan nilai laju alir *mainpump* (1401 – 1403)



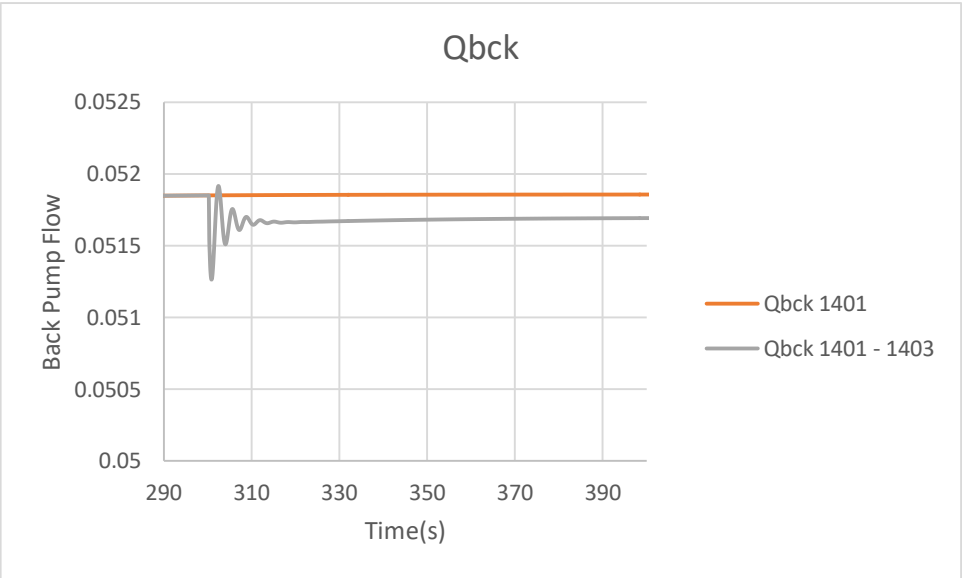
Gambar 4. 17 Grafik perubahan nilai tekanan *choke* (1401 – 1403)

Penurunan tekanan pada *choke* dapat dilakukan dengan 2 cara , yaitu dengan cara mengubah menjadi posisi yang semakin terbuka , dan juga mengurangi laju

pada *back pump*. Pertama , valve akan semakin membuka. Valve yang membuka akan perlahan kembali ke setpoint awal yaitu 0,5. Valve dapat kembali ke setpoint awal dikarenakan pengurangan aliran dari backpump. Grafik posisi valve ini dapat dilihat pada gambar 4.18



Gambar 4. 18 Grafik perubahan posisi valve pada *choke* (1401 – 1403)

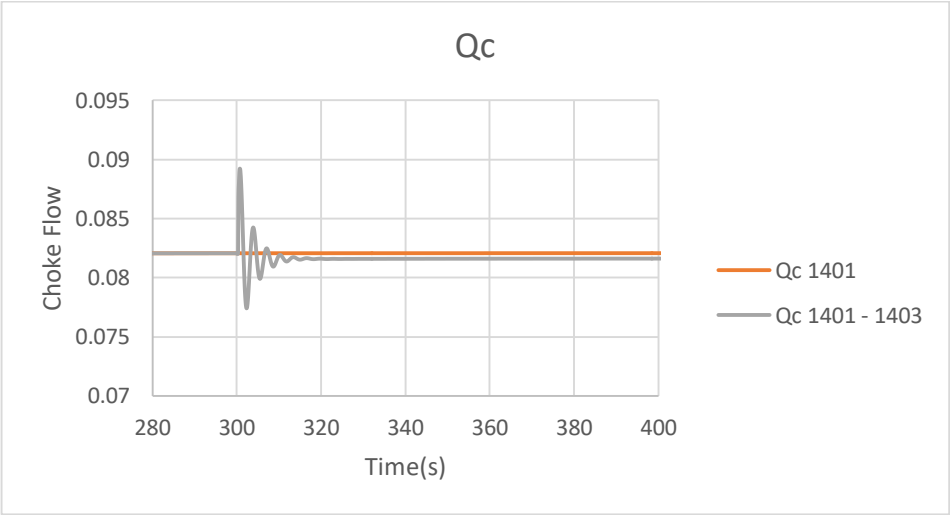


Gambar 4. 19 Grafik laju alir *backpump* (1401 – 1403)

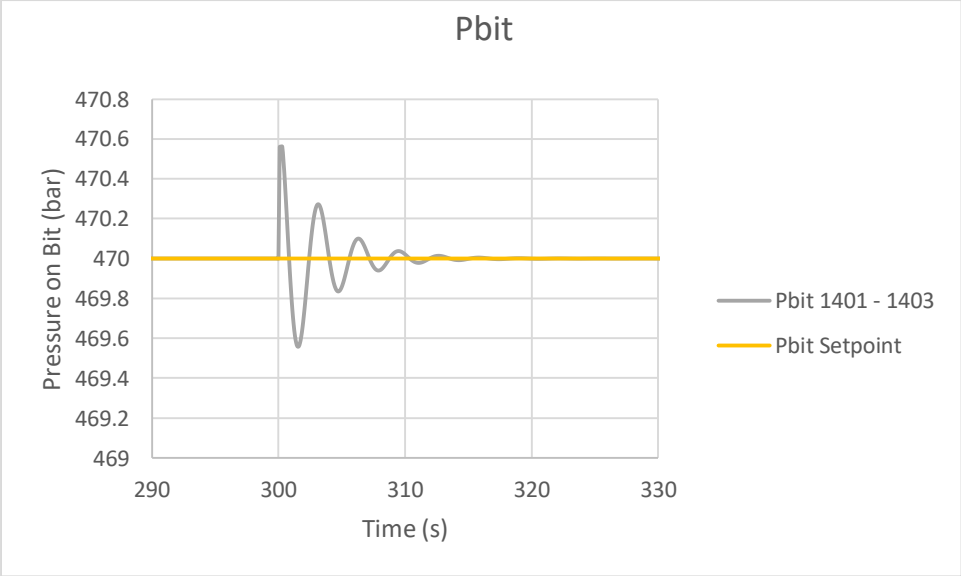
Setelah terjadi pembukaan posisi valve, backpump akan membantu untuk mengurangi tekanan pada *choke* dengan cara mengurangi laju alir *mud*. Pengurangan laju alir *mud* ini bertujuan membantu kinerja valve dalam mengurangi

tekanan. Tanpa pengurangan alir dari *backpump* , valve dapat sepenuhnya terbuka tapi tekanan yang dihasilkan masih terlalu besar. Maka dari itu , pengurangan alir dari *backpump* akan menyebabkan *valve* tidak pernuh membuka sepenuhnya dan dapat kembali ke setpoint valve awal. Laju alir *mud* dapat dapat dilihat di grafik pada gambar 4.19 . Terlihat bahwa nilai laju alir *mud* mengalami penurunan dari 0,0518 ke 0,0516 m^3/s

Penurunan pada *backpump* akan berakibat pada aliran di *choke*. *Backpump* berfungsi untuk membantu aliran *mud* dari dasar mengalir ke *choke*. Penurunan *backpump* dapat mengakibatkan penurunan aliran di *choke*. Grafik aliran *mud* dapat dilihat pada gambar 4.20 . Terlihat bahwa laju alir berkurang dari 0,082 ke 0,081



Gambar 4. 20 Grafik laju alir *mud* pada *choke* (1401 – 1403)



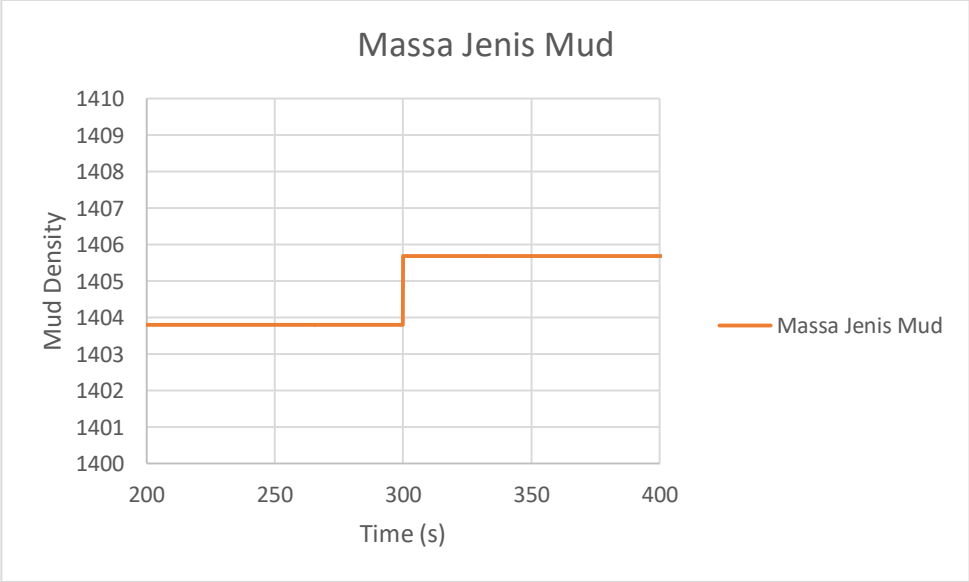
Gambar 4. 21 Grafik nilai tekanan pada dasar sumur (1401 – 1403)

Perubahan – perubahan dilakukan untuk menjaga kestabilan tekanan dalam dasar sumur. Dalam penelitian ini, tekanan di dasar sumur dapat di jaga pada tekanan 470 bar. Grafik nilai tekanan pada dasar sumur dapat dilihat pada gambar 4.21. Terlihat bahwa , saat terdapat *disturbance* , tekanan mengalami kenaikan, dan berosilasi dan ke*mud*ian kembali pada 470 bar pada detik ke 320. Maka , dilihat dari gambar 4.21 , sistem pengendalian dapat menjaga tekanan di bawah sumur di setpoint saat ada gangguan berupa kenaikan massa jenis *mud*.

4.3.1.3 Massa Jenis 1403 – 1405 Kg/m^3

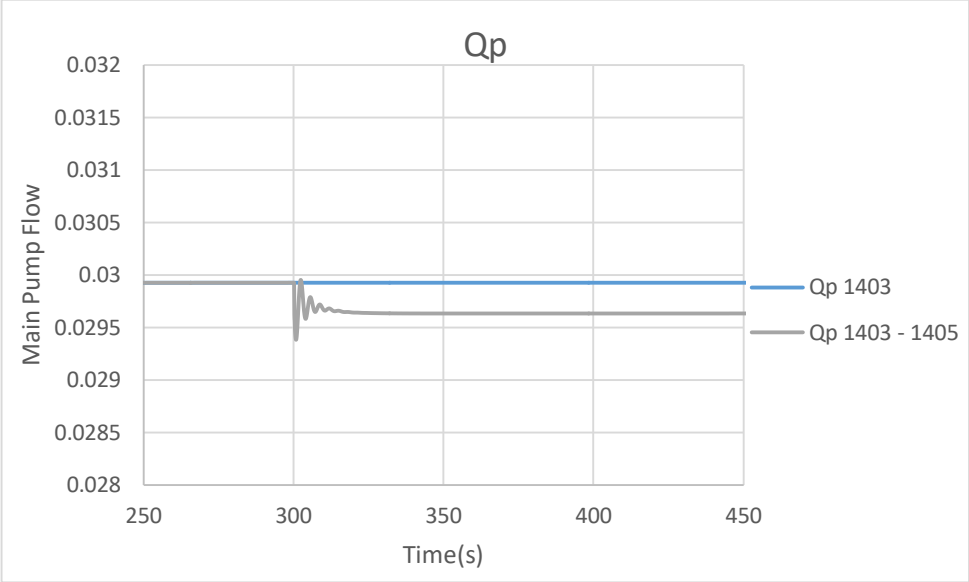
Pada simulasi ini , massa jenis akan berubah darai 1403 ke 1405 Kg/m^3 pada detik 300. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.22

.



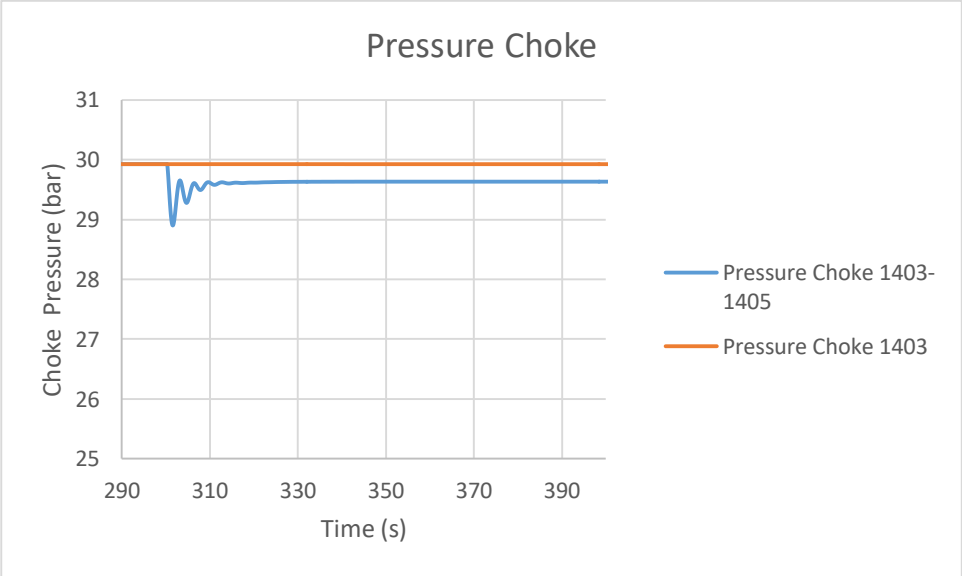
Gambar 4. 22 Grafik perubahan massa jenis *mud* (1403 – 1405)

Dengan adanya penambahan penambahan massa jenis dari 1403 ke 14035kg/m^3, akan mengakibatkan kenaikan pada tekanan di dasar sumur. Salah satu cara menanggulanginya adalah mengurangi jumlah fluida *mud* yang mengalir menuju dasar sumur. Fluida *mud* di injeksikan ke dasar sumur dari permukaan menggunakan *main pump*. Sehingga , untuk mengurangi tekanan pada dasar sumur , dilakukan pengurangan laju alir *mud* pada dasar sumur.Pengurangan laju alir *mud* pada *main pump* dapat dilihat di gambar 4.23. Terlihat bahwa nilai laju alir berkurang dari 0,0299 m^3/s menjadi 0,0296 m^3/s



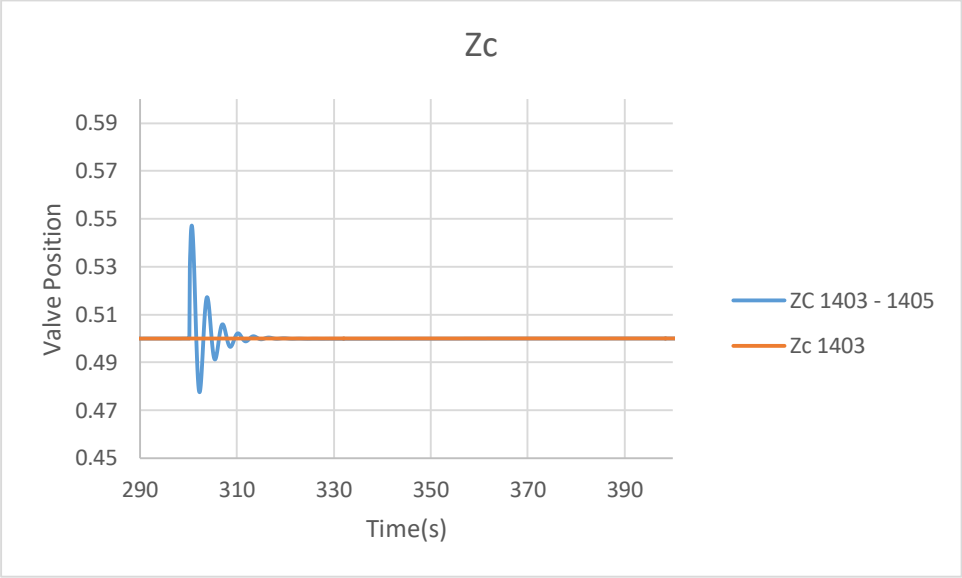
Gambar 4. 23 Grafik laju alir *mud* pada *mainpump* (1403 – 1405)

Kenaikan tekanan pada dasar sumur berbanding lurus dengan tekanan pada *choke*. Sehingga , saat terjadi kenaikan pada dasar sumur , akan menyebabkan peningkatan pada tekanan di *choke.* Sehingga , untuk mengatasi gangguan berupa kenaikan tekanan pada dasar sumur, setpoint tekanan pada *choke* akan diturunkan, sehingga , dapat menurunkan juga tekanan pada dasar sumur. Penurunan tekanan pada choke dapat terlihat di gambar 4.24. Terlihat bahwa nilai tekanan *choke* berubah dari 29,92 bar menuju 29,63 bar.

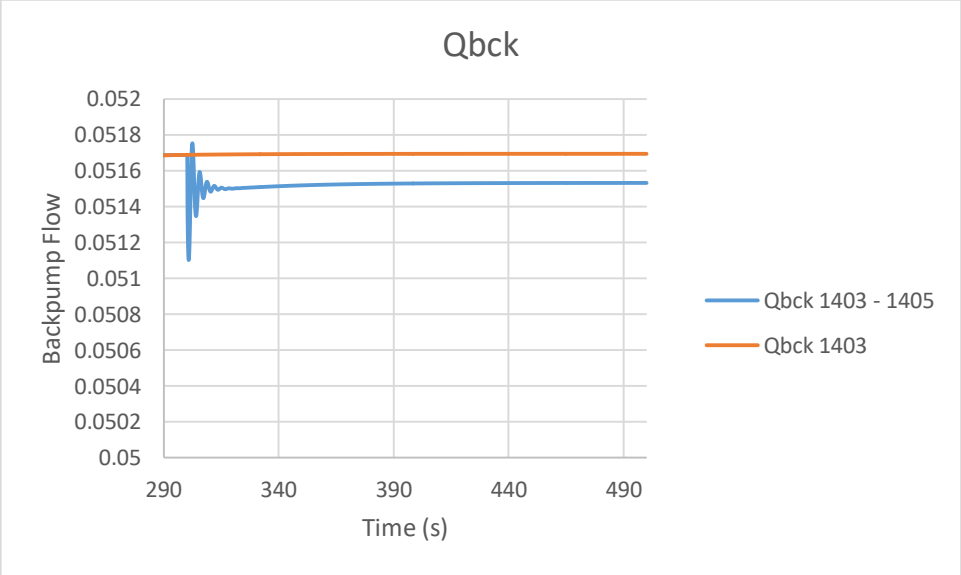


Gambar 4. 24 Grafik perubahan tekanan *choke* (1403 – 1405)

Penurunan tekanan pada *choke* dapat dilakukan dengan 2 cara , yaitu dengan cara mengubah menjadi posisi yang semakin terbuka , dan juga mengurangi laju pada *back pump*. Pertama , valve akan semakin membuka. Valve yang membuka akan perlahan kembali ke setpoint awal yaitu 0,5. Valve dapat kembali ke setpoint awal dikarenakan pengurangan aliran dari backpump. Grafik posisi valve ini dapat dilihat pada gambar 4.25



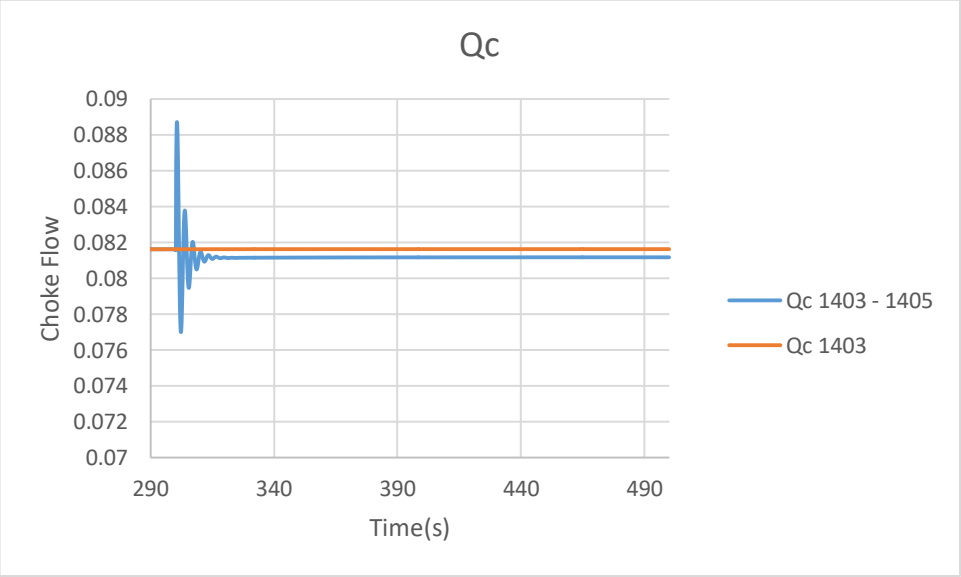
Gambar 4. 25 Grafik posisi *valve* pada *choke* (1403 – 1405)



Gambar 4. 26 Grafik laju alir *mud* pada *backpump* (1403 – 1405)

Setelah terjadi pembukaan posisi valve, backpump akan membantu untuk mengurangi tekanan pada *choke* dengan cara mengurangi laju alir *mud*. Pengurangan laju alir *mud* ini bertujuan membantu kinerja valve dalam mengurangi tekanan. Tanpa pengurangan alir dari *backpump* , valve dapat sepenuhnya terbuka tapi tekanan yang dihasilkan masih terlalu besar. Maka dari itu , pengurangan alir dari *backpump* akan menyebabkan *valve* tidak pernuh membuka sepenuhnya dan dapat kembali ke setpoint valve awal. Laju alir *mud* dapat dapat dilihat di grafik pada gambar 4.26 . Terlihat bahwa nilai laju alir *mud* mengalami penurunan dari 0,0516 ke 0,0515 m^3/s

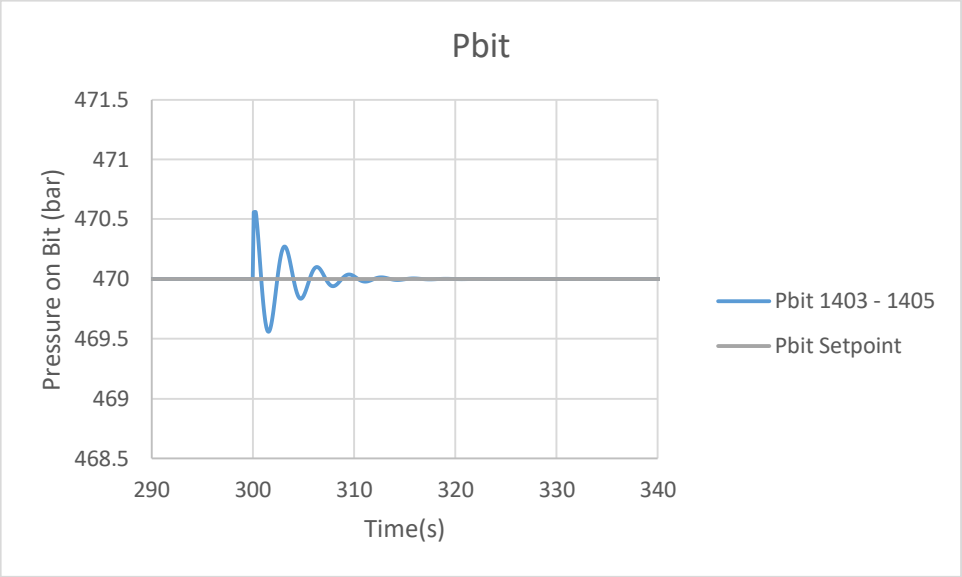
Penurunan pada *backpump* akan berakibat pada aliran di *choke*. *Backpump* berfungsi untuk membantu aliran *mud* dari dasar mengalir ke *choke*. Penurunan *backpump* dapat mengakibatkan penurunan aliran di *choke*. Grafik aliran *mud* dapat dilihat pada gambar 4.27 . Terlihat bahwa laju alir berkurang dari 0,0816 ke 0,0811 m^3/s



Gambar 4. 27 Grafik laju alir *mud* pada *choke* (1403 – 1405)

Perubahan – perubahan dilakukan untuk menjaga kestabilan tekanan dalam dasar sumur. Dalam penelitian ini, tekanan di dasar sumur dapat di jaga pada tekanan 470 bar. Grafik nilai tekanan pada dasar sumur dapat dilihat pada gambar 4.28. Terlihat bahwa , saat terdapat *disturbance* , tekanan mengalami kenaikan, dan

berosilasi dan ke*mud*ian kembali pada 470 bar pada detik ke 320. Maka , dilihat dari gambar 4.28 , sistem pengendalian dapat menjaga tekanan di bawah sumur di setpoint saat ada gangguan berupa kenaikan massa jenis *mud*.



Gambar 4. 28 Grafik nilai tekanan di dasar sumur (1403 – 1405)

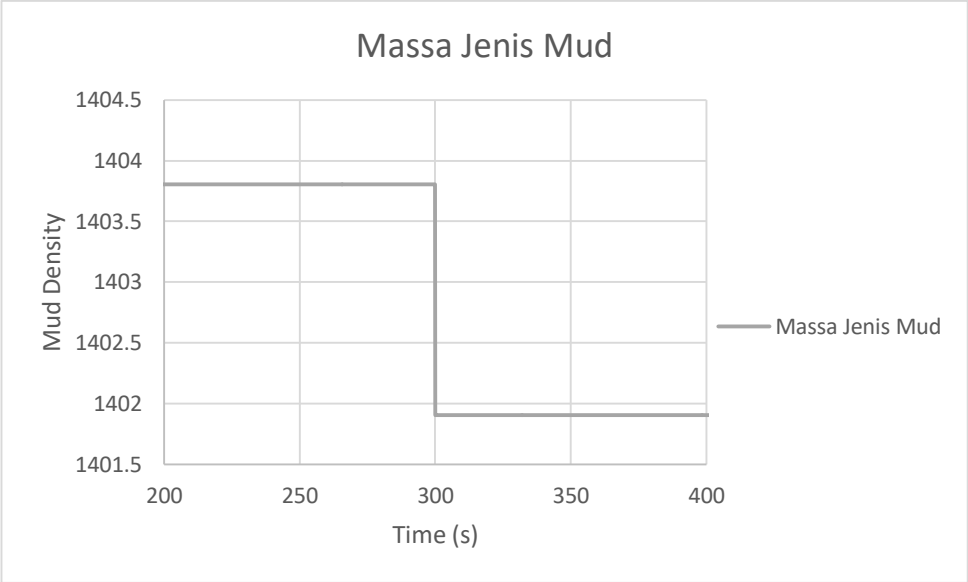
4.3.2 Perubahan Penurunan *Mud Density*

Perubahan yang berupa peningkatan nilai massa jenis *mud* akan menyebabkan kenaikan pada dasar sumur. Pada simulasi ini , gangguan dimulai pada detik ke 300. Pada penelitian kali ini, perubahan kenaikan massa jenis *mud* dilakukan dalam 3 variasi, yaitu pada massa jenis 1403 – 1401 Kg/m^3, 1405 – 1401 Kg/m^3 ,dan 1405 – 1403 Kg/m^3.

4.3.2.1 Massa Jenis 1403 – 1401 Kg/m^3

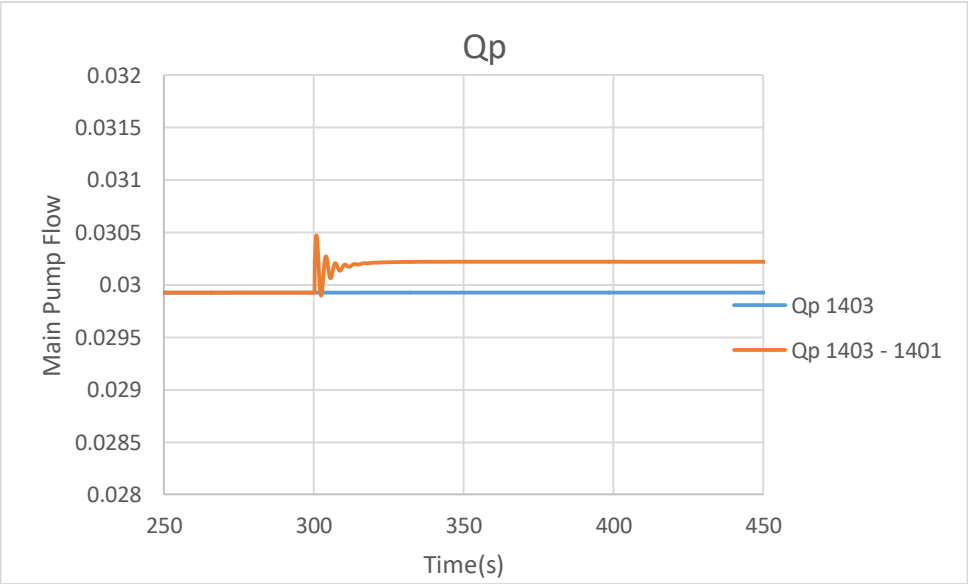
Pada simulasi ini , massa jenis akan berubah darai 1403 ke 1401 Kg/m^3 pada detik 300. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.29. Dengan adanya penurunan massa jenis dari 1403 ke 1401 Kg/m^3, akan mengakibatkan penurunan pada tekanan di dasar sumur. Salah satu cara menanggulanginya adalah menambah jumlah fluida *mud* yang mengalir menuju dasar sumur. Fluida *mud* di injeksikan ke dasar sumur dari permukaan menggunakan *main pump*. Sehingga , untukmenambahtekanan pada dasar sumur , dilakukan pengurangan laju alir *mud*

pada dasar sumur.Penambahan laju alir *mud* pada *main pump* dapat dilihat di gambar 4.30. Terlihat bahwa nilai laju alir bertambah dari 0,029 m^3/s menjadi



0.030 m^3/s

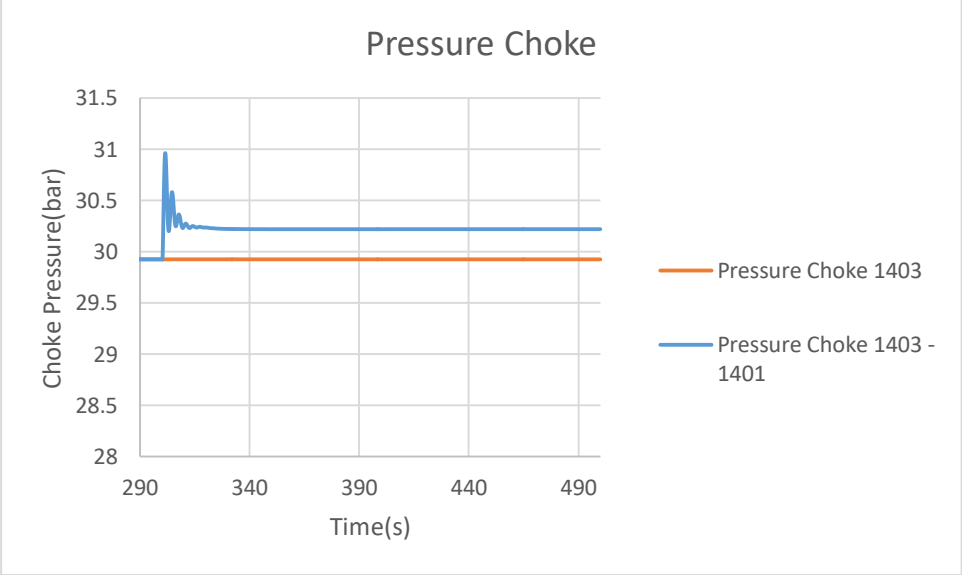
Gambar 4. 29 Grafik nilai perubahan massa jenis *mud* (1403 – 1401)



Gambar 4. 30 Grafik nilai perubahan laju alir *main pump* (1403 – 1401)

Penurunan tekanan pada dasar sumur berbanding lurus dengan tekanan pada *choke*. Sehingga , saat terjadi penurunan pada dasar sumur , akan menyebabkan

penurunan pada tekanan di *choke*. Sehingga , untuk mengatasi gangguan berupa penurunan tekanan pada dasar sumur, setpoint tekanan pada *choke* akan dinaikan, sehingga , dapat meningkatkan juga tekanan pada dasar sumur. Peningkatan tekanan pada choke dapat terlihat di gambar 4.31. Terlihat bahwa nilai tekanan *choke* berubah dari 29,92 bar menuju 30,22 bar.

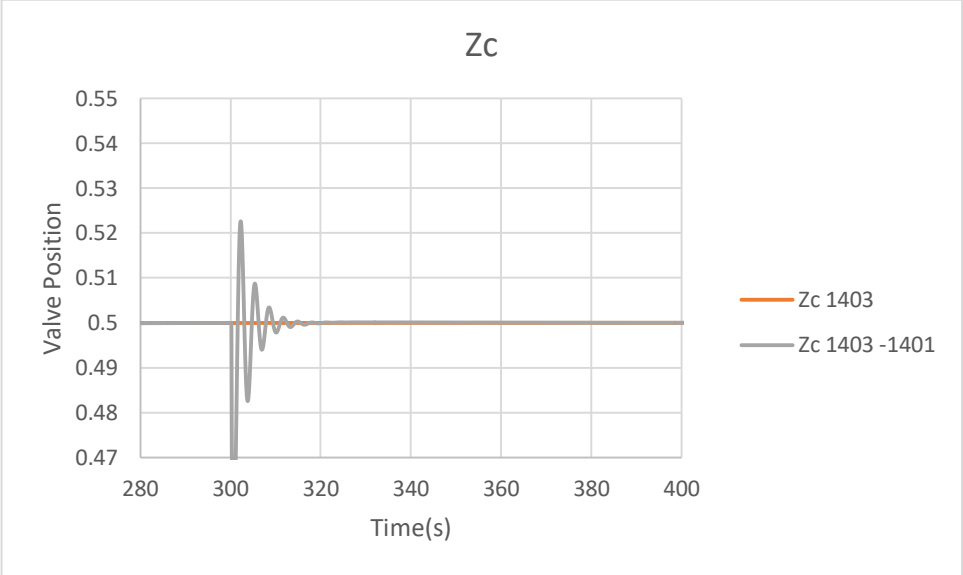


Gambar 4. 31 Grafik nilai perubahan tekanan pada *choke* (1403 – 1401)

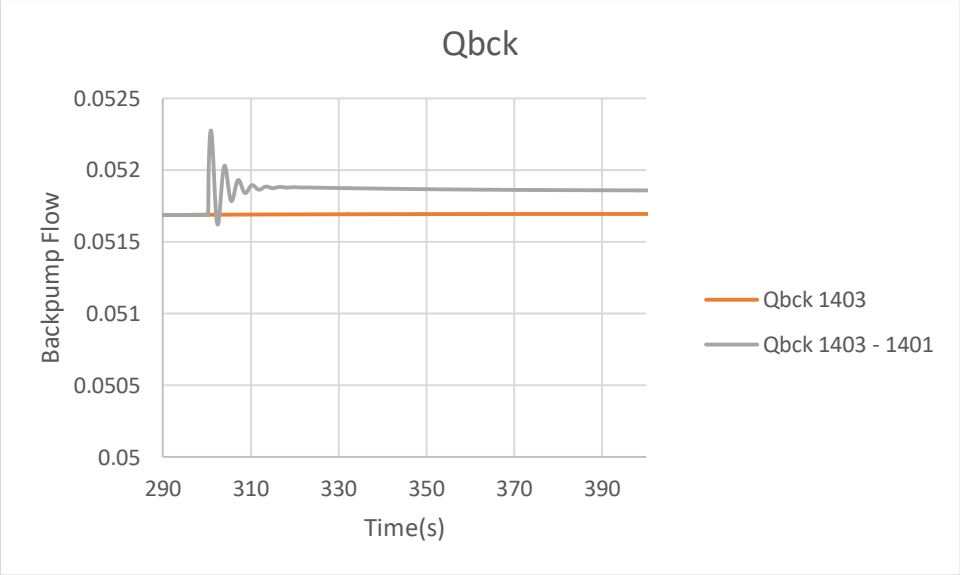
Peningkatan tekanan pada *choke* dapat dilakukan dengan 2 cara , yaitu dengan cara mengubah menjadi posisi yang semakin tertutup, dan juga meningkatkan laju pada *back pump*. Pertama , valve akan semakin menutup. Valve yang menutup akan perlahan kembali ke setpoint awal yaitu 0,5. Valve dapat kembali ke setpoint awal dikarenakan peningkatan aliran dari backpump. Grafik posisi valve ini dapat dilihat pada gambar 4.32.

Setelah terjadi penutupan posisi valve, backpump akan membantu untuk meningkatkan tekanan pada *choke* dengan cara meningkatkan laju alir *mud*. Peningkatan laju alir *mud* ini bertujuan membantu kinerja valve dalam meningkatkan tekanan. Tanpa penambahan alir dari *backpump* , valve dapat sepenuhnya tertutup tapi tekanan yang dihasilkan masih terlalu kecil. Maka dari itu , peningkatan alir dari *backpump* akan menyebabkan *valve* tidak perlu menutup sepenuhnya dan dapat kembali ke setpoint valve awal. Laju alir *mud* dapat dapat

dilihat di grafik pada gambar 4.33 . Terlihat bahwa nilai laju alir *mud* mengalami peningkatan dari 0,0516 ke 0,0518 m^3/s



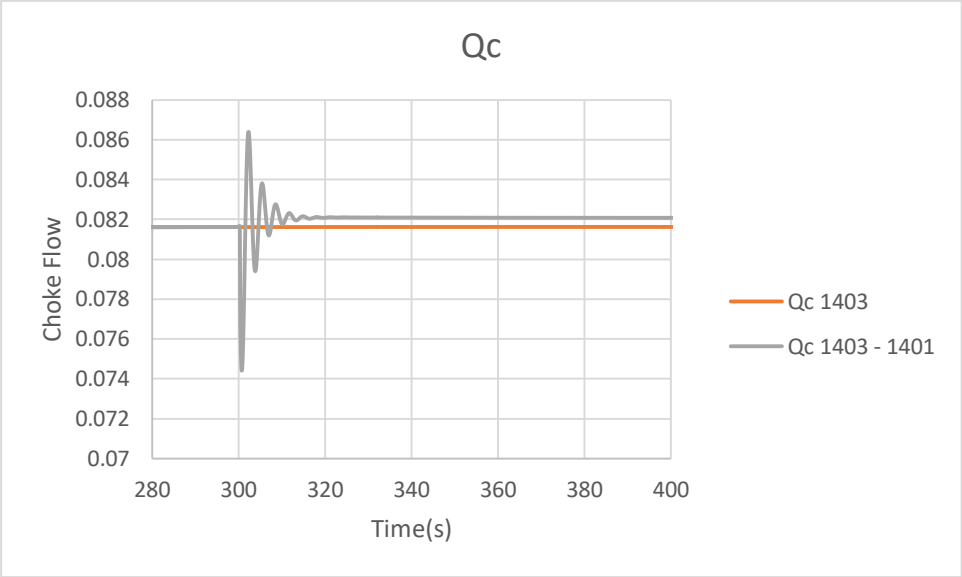
Gambar 4. 32 Posisi *valve* pada *choke* (1403 – 1401)



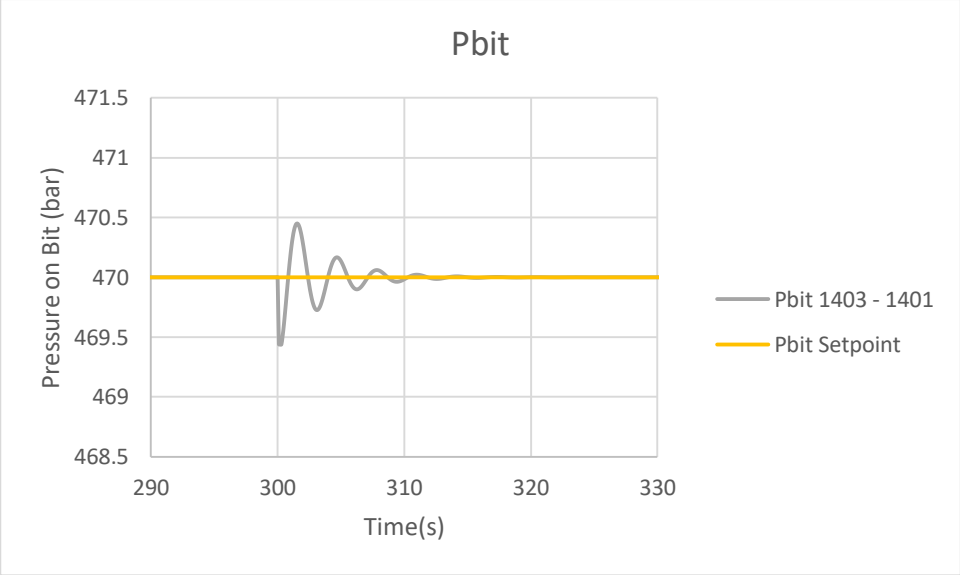
Gambar 4. 33 Grafik laju alir pada *backpump* (1403 – 1401)

Peningkatan pada *backpump* akan berakibat pada aliran di *choke*. *Backpump* berfungsi untuk membantu aliran *mud* dari dasar mengalir ke *choke*. Peningkatan *backpump* dapat mengakibatkan peningkatan aliran di *choke*. Grafik aliran *mud*

dapat dilihat pada gambar 4.34 . Terlihat bahwa laju alir meningkat dari 0,0816 ke 0,0820 m^3/s



Gambar 4. 34 Grafik laju alir pada *choke* (1403 – 1401)



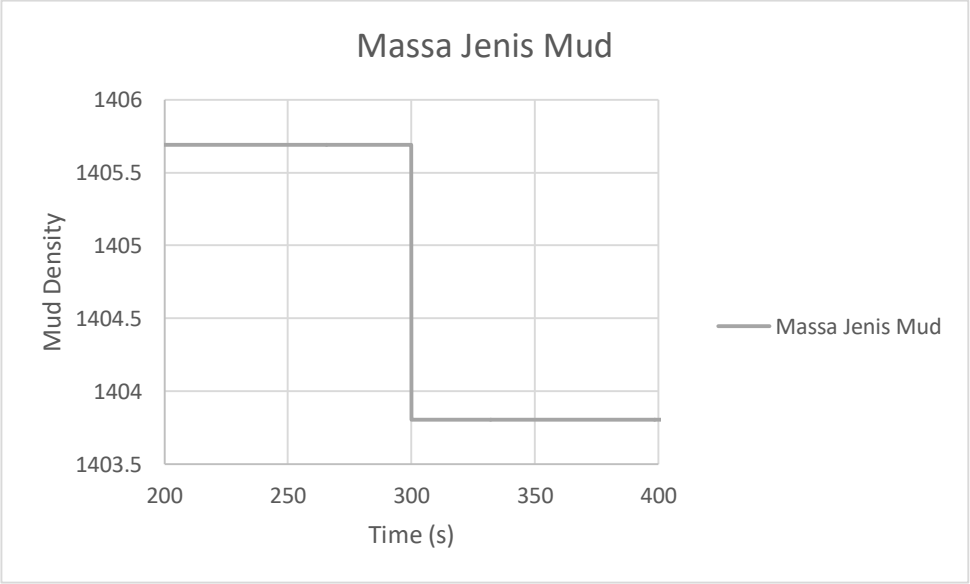
Gambar 4. 35 Grafik nilai tekanan pada bawah sumur (1403 – 1401)

Perubahan – perubahan dilakukan untuk menjaga kestabilan tekanan dalam dasar sumur. Dalam penelitian ini, tekanan di dasar sumur dapat di jaga pada tekanan 470 bar. Grafik nilai tekanan pada dasar sumur dapat dilihat pada gambar 4.35. Terlihat bahwa , saat terdapat *disturbance* , tekanan mengalami penurunan,

dan berosilasi dan ke*mud*ian kembali pada 470 bar pada detik ke 320. Maka , dilihat dari gambar 4.35 , sistem pengendalian dapat menjaga tekanan di bawah sumur di setpoint saat ada gangguan berupa Penurunan massa jenis *mud*.

4.3.2.2Massa Jenis 1405 – 1403 Kg/m^3

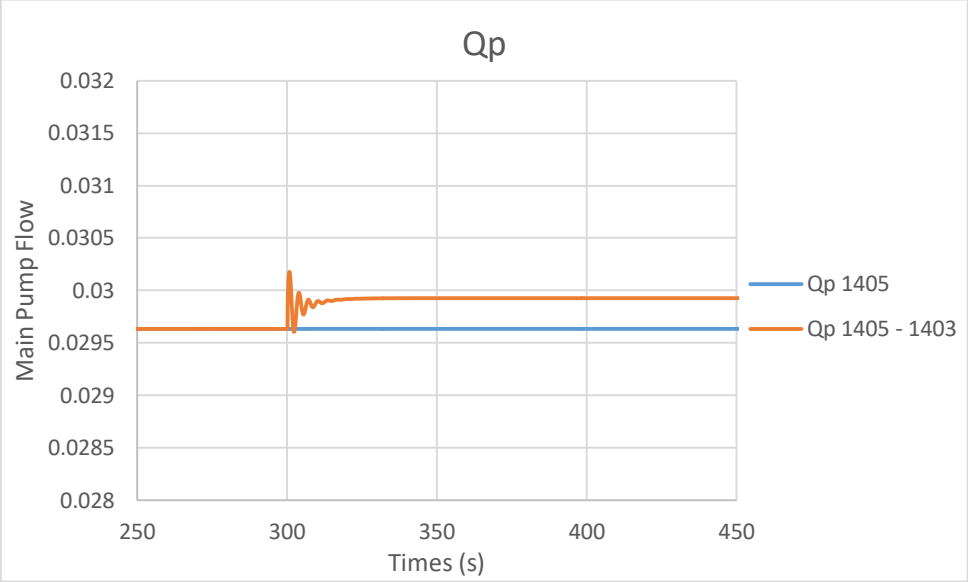
Pada simulasi ini , massa jenis akan berubah dari 1405 ke 1403 Kg/m^3. pada detik 300. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.36. Dengan adanya penurunan massa jenis dari 1405 ke 1403 Kg/m^3., akan mengakibatkan penurunan pada tekanan di dasar sumur. Salah satu cara menanggulanginya adalah menambah jumlah fluida *mud* yang mengalir menuju dasar sumur. Fluida *mud* di injeksikan ke dasar sumur dari permukaan menggunakan *main pump*. Sehingga , untukmenambahtekanan pada dasar sumur , dilakukan pengurangan laju alir *mud* pada dasar sumur. Penambahanlaju alir *mud* pada *main pump* dapat dilihat di gambar 4.37. Terlihat bahwa nilai laju alir bertambah dari 0,0296 m^3/s menjadi 0,0299 m^3/s



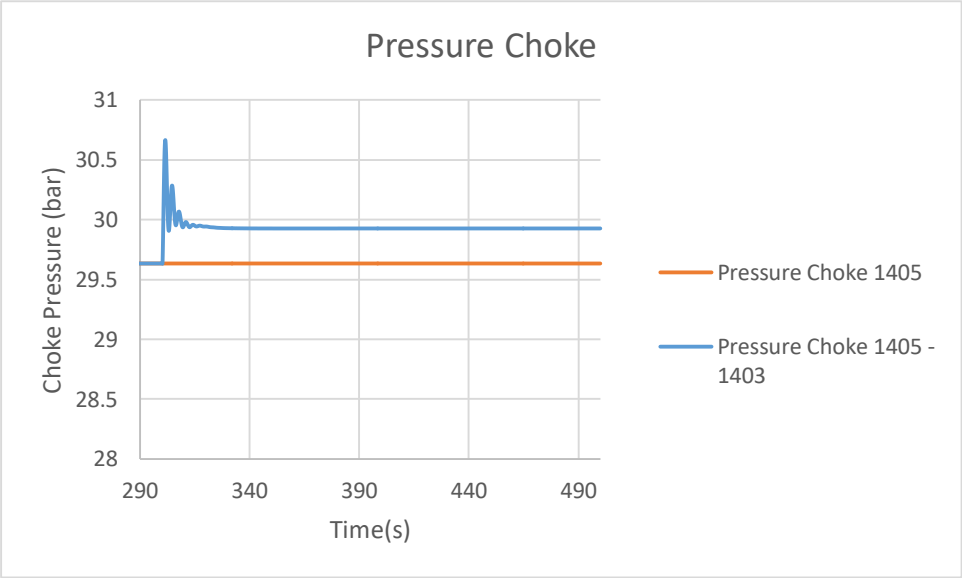
Gambar 4. 36 Grafik perubahan nilai massa jenis *mud* (1405 – 1403)

Penurunan tekanan pada dasar sumur berbanding lurus dengan tekanan pada *choke*. Sehingga , saat terjadi penurunan pada dasar sumur , akan menyebabkan penurunan pada tekanan di *choke.* Sehingga , untuk mengatasi gangguan berupa penurunan tekanan pada dasar sumur, setpoint tekanan pada *choke* akan dinaikan, sehingga , dapat meningkatkan juga tekanan pada dasar sumur. Peningkatan

tekanan pada choke dapat terlihat di gambar 4.38. Terlihat bahwa nilai tekanan *choke* berubah dari 29,6 bar menuju 29,9 bar.



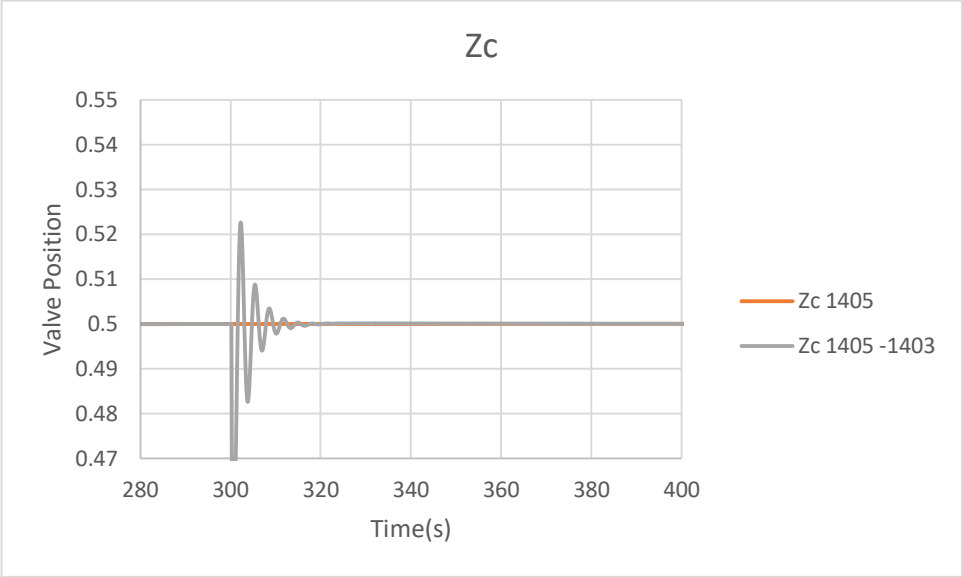
Gambar 4. 37 Grafik perubahan laju alir *mainpump* (1405 – 1403)



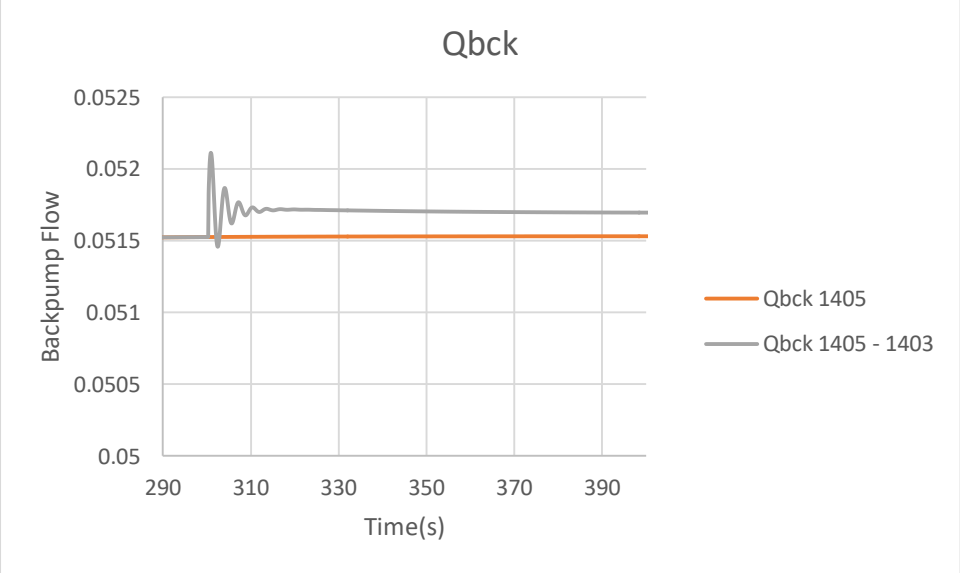
Gambar 4. 38 Grafik perubahan nilai tekanan pada *choke* (1405 – 1403)

Peningkatan tekanan pada *choke* dapat dilakukan dengan 2 cara , yaitu dengan cara mengubah menjadi posisi yang semakin tertutup, dan juga meningkatkan laju

pada *back pump*. Pertama , valve akan semakin menutup. Valve yang menutup akan perlahan kembali ke setpoint awal yaitu 0,5. Valve dapat kembali ke setpoint awal dikarenakan peningkatan aliran dari backpump. Grafik posisi valve ini dapat dilihat pada gambar 4.39



Gambar 4. 39 Grafik posisi valve pada *choke* (1405 – 1403)

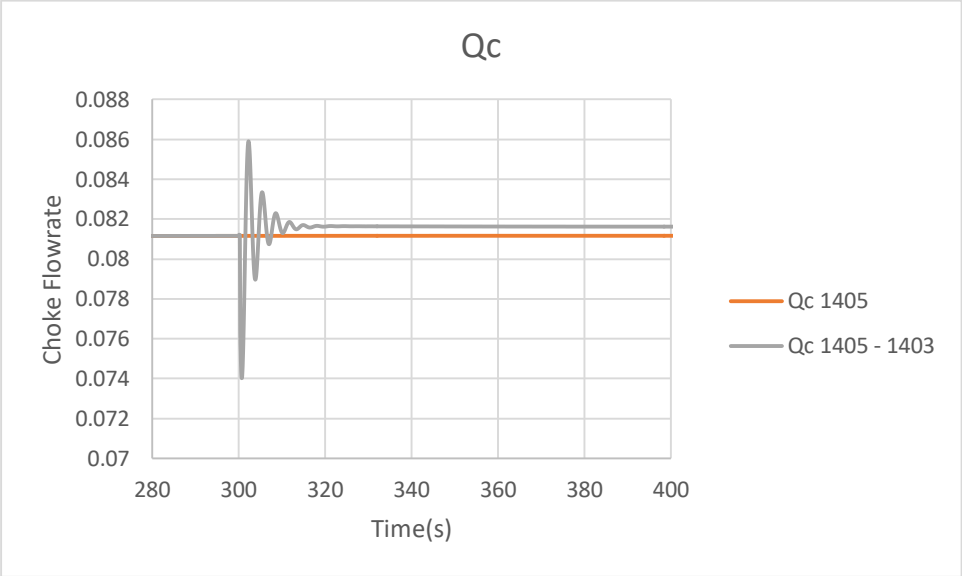


Gambar 4. 40 Grafik nilai laju alir pada *backpump* (1405 – 1403)

Setelah terjadi penutupan posisi valve, backpump akan membantu untuk meningkatkan tekanan pada *choke* dengan cara meningkatkan laju alir *mud*. Peningkatan laju alir *mud* ini bertujuan membantu kinerja valve dalam

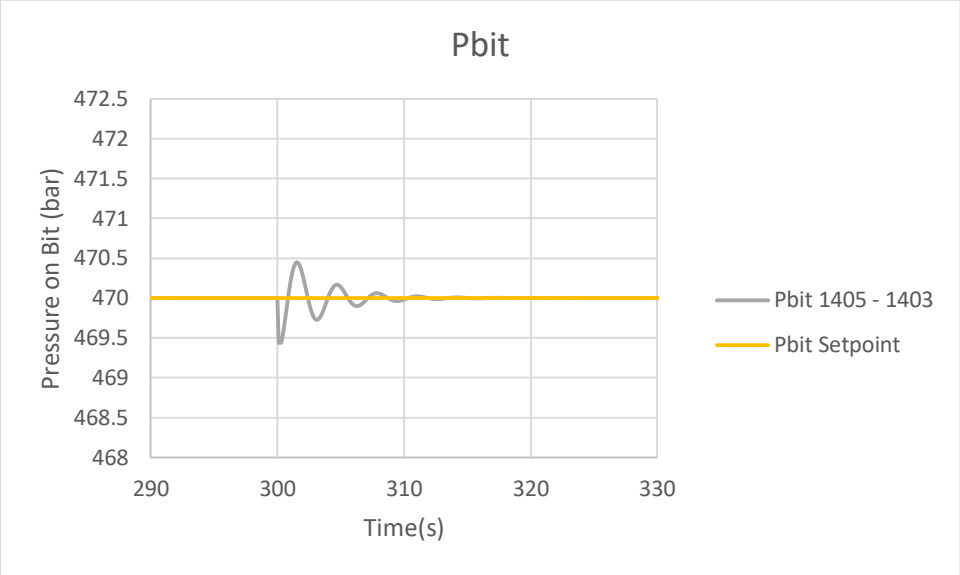
meningkatkan tekanan. Tanpa penambahan alir dari *backpump* , valve dapat sepenuhnya tertutup tapi tekanan yang dihasilkan masih terlalu kecil. Maka dari itu , peningkatan alir dari *backpump* akan menyebabkan *valve* tidak perlu menutup sepenuhnya dan dapat kembali ke setpoint valve awal. Laju alir *mud* dapat dapat dilihat di grafik pada gambar 4.40 . Terlihat bahwa nilai laju alir *mud* mengalami peningkatan dari 0,0515 ke 0,0516 m^3/s

Peningkatan pada *backpump* akan berakibat pada aliran di *choke*. *Backpump* berfungsi untuk membantu aliran *mud* dari dasar mengalir ke *choke*. Peningkatan *backpump* dapat mengakibatkanpeningkatan aliran di *choke*. Grafik aliran *mud* dapat dilihat pada gambar 4.40 . Terlihat bahwa laju alir meningkat dari 0,0811 ke 0,0816 m^3/ detik.



Gambar 4. 41 Grafik nilai laju alir pada *choke* (1405 – 1403)

Perubahan – perubahan dilakukan untuk menjaga kestabilan tekanan dalam dasar sumur. Dalam penelitian ini, tekanan di dasar sumur dapat di jaga pada tekanan 470 bar. Grafik nilai tekanan pada dasar sumur dapat dilihat pada gambar 4.42. Terlihat bahwa , saat terdapat *disturbance* , tekanan mengalami penurunan, dan berosilasi dan ke*mud*ian kembali pada 470 bar pada detik ke 320. Maka , dilihat dari gambar 4.42 , sistem pengendalian dapat menjaga tekanan di bawah sumur di setpoint saat ada gangguan berupa Penurunan massa jenis *mud*.



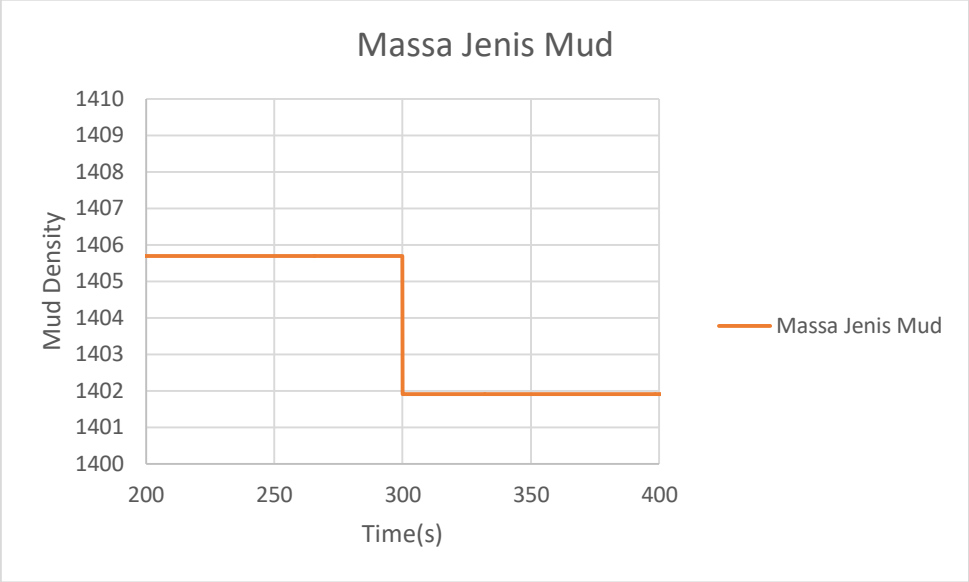
Gambar 4. 42 Grafik nilai tekanan pada dasar sumur (1405 – 1403)

4.3.2.3 Massa Jenis 1405 – 1401 Kg/m^3

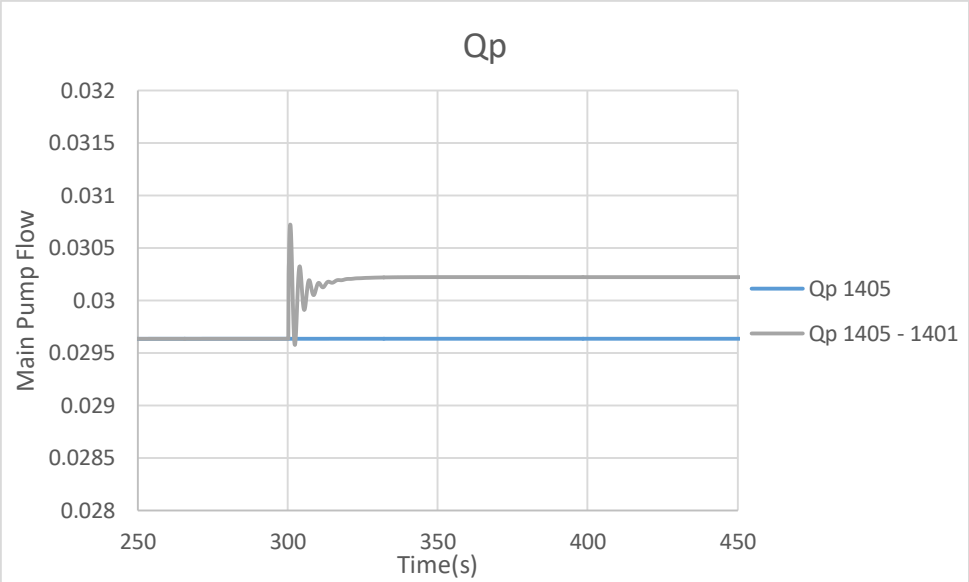
Pada simulasi ini , massa jenis akan berubah darai 1405 ke 1401 Kg/m^3. pada detik 300. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.43. Dengan adanya penurunan massa jenis dari 1405 ke 1401 Kg/m^3., akan mengakibatkan penurunan pada tekanan di dasar sumur.

Salah satu cara menanggulanginya adalah menambah jumlah fluida *mud* yang mengalir menuju dasar sumur. Fluida *mud* di injeksikan ke dasar sumur dari permukaan menggunakan *main pump*. Sehingga , untuk menambah tekanan pada dasar sumur , dilakukan pengurangan laju alir *mud* pada dasar sumur.Penambahan laju alir *mud* pada *main pump* dapat dilihat di gambar 4.44. Terlihat bahwa nilai laju alir bertambah dari 0,0296 m^3/s menjadi 0,0302 m^3/s .

Penurunan tekanan pada dasar sumur berbanding lurus dengan tekanan pada *choke*. Sehingga , saat terjadi penurunan pada dasar sumur , akan menyebabkan penurunan pada tekanan di *choke.* Sehingga , untuk mengatasi gangguan berupa penurunan tekanan pada dasar sumur, setpoint tekanan pada *choke* akan dinaikan, sehingga , dapat meningkatkan juga tekanan pada dasar sumur. Peningkatan tekanan pada choke dapat terlihat di gambar 4.45. Terlihat bahwa nilai tekanan *choke* berubah dari 29,63 bar menuju 30,22 bar.

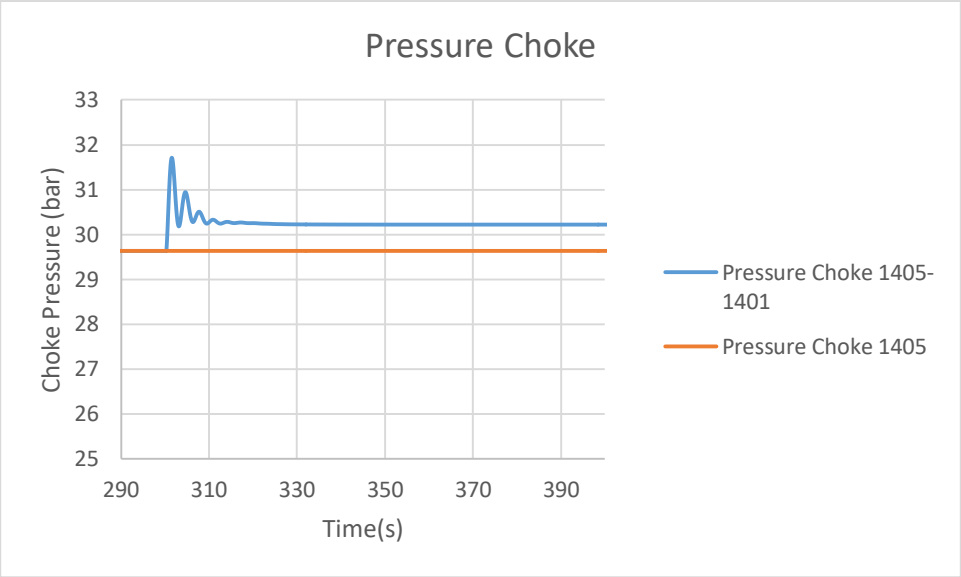


Gambar 4. 43 Grafik nilai perubahan massa jenis *mud* (1405 – 1401)

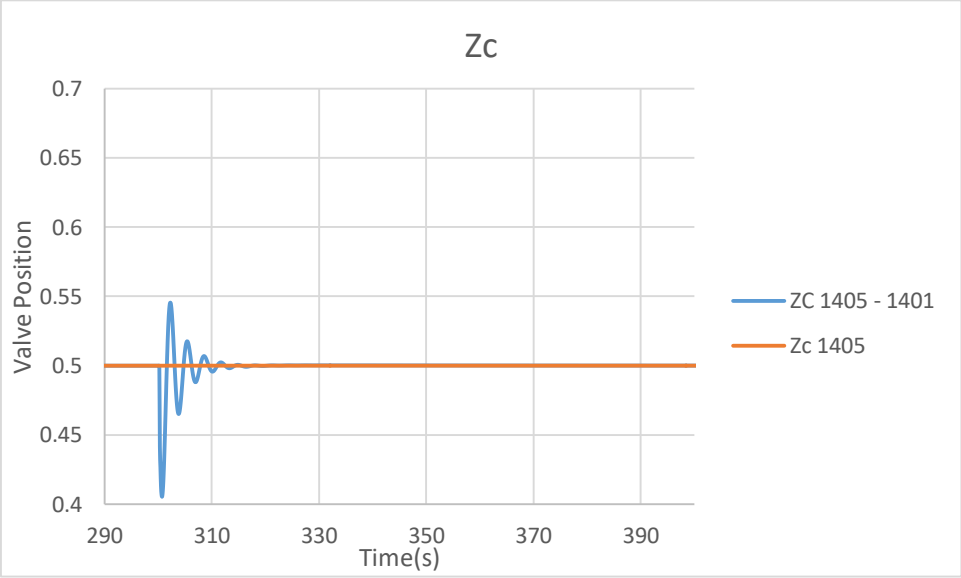


Gambar 4. 44 Grafik nilai perubahan laju alir pada *mainpump* (1405 – 1401)

Peningkatan tekanan pada *choke* dapat dilakukan dengan 2 cara , yaitu dengan cara mengubah menjadi posisi yang semakin tertutup, dan juga meningkatkan laju pada *back pump*. Pertama , valve akan semakin menutup. Valve yang menutup akan perlahan kembali ke setpoint awal yaitu 0,5. Valve dapat kembali ke setpoint awal dikarenakan peningkatan aliran dari backpump. Grafik posisi valve ini dapat dilihat pada gambar 4.46



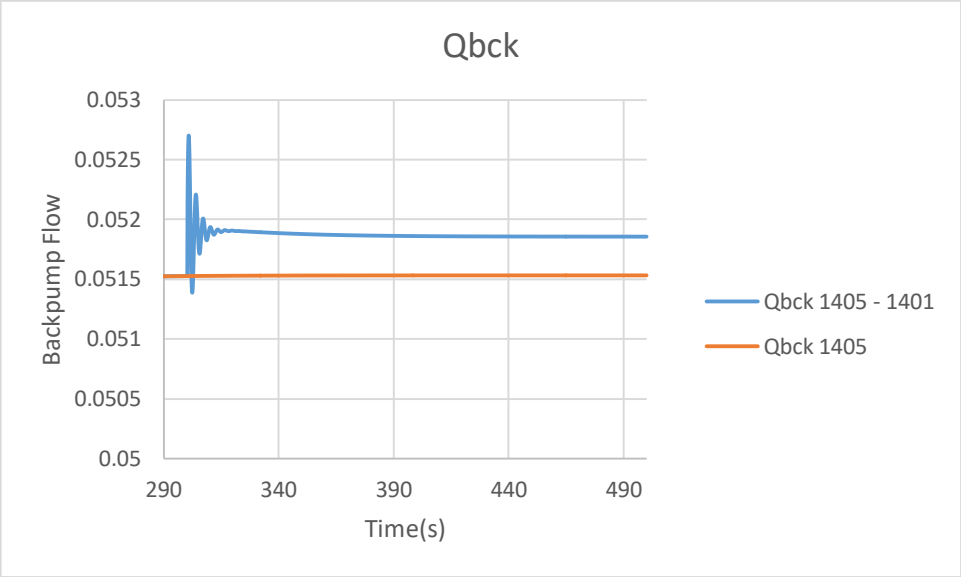
Gambar 4. 45 Grafik nilai perubahan nilai tekanan pada *choke* (1405 – 1401)



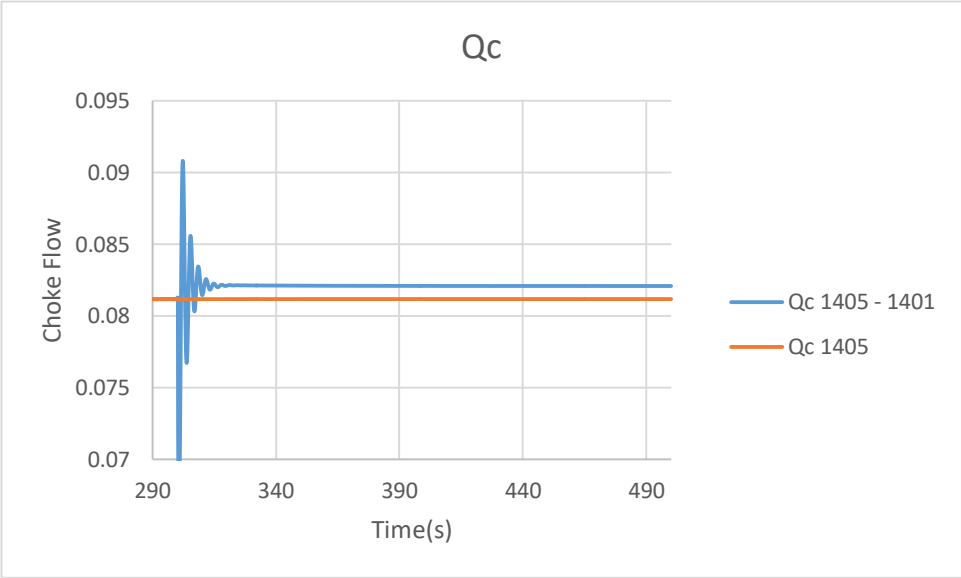
Gambar 4. 46 Grafik perubahan posisi *valve* (1405 – 1401)

Setelah terjadi penutupan posisi valve, backpump akan membantu untuk meningkatkan tekanan pada *choke* dengan cara meningkatkan laju alir *mud*. Peningkatan laju alir *mud* ini bertujuan membantu kinerja valve dalam meningkatkan tekanan. Tanpa penambahan alir dari *backpump* , valve dapat sepenuhnya tertutup tapi tekanan yang dihasilkan masih terlalu kecil. Maka dari itu , peningkatan alir dari *backpump* akan menyebabkan *valve* tidak perlu menutup sepenuhnya dan dapat kembali ke setpoint valve awal. Laju alir *mud* dapat dapat

dilihat di grafik pada gambar 4.47 . Terlihat bahwa nilai laju alir *mud* mengalami peningkatan dari 0,0515 ke 0,0518 m^3/s .



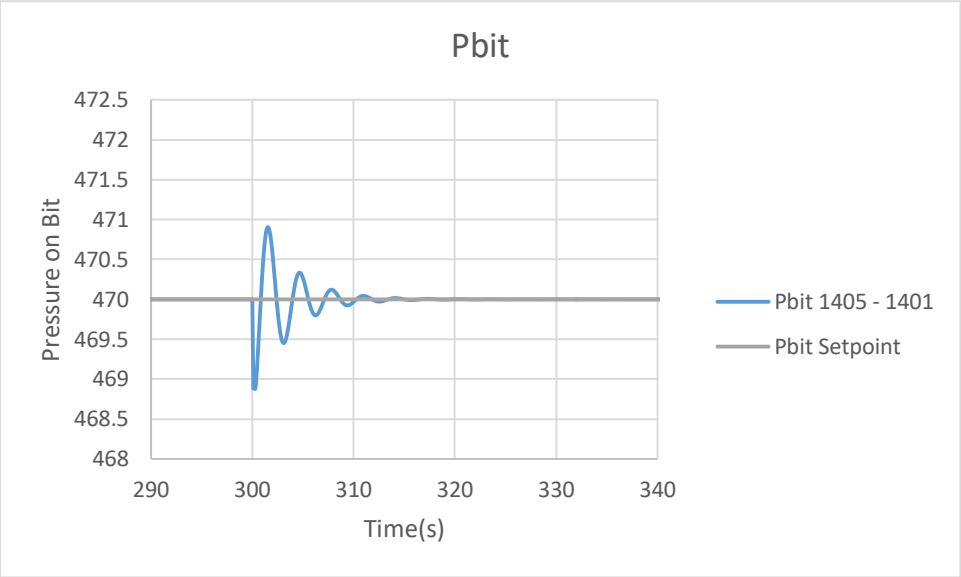
Gambar 4. 47 Grafik nilai laju alir *backpump* (1405 – 1401)



Gambar 4. 48 Grafik nilai laju alir pada *choke* (1405 – 1401)

Peningkatan pada *backpump* akan berakibat pada aliran di *choke*. *Backpump* berfungsi untuk membantu aliran *mud* dari dasar mengalir ke *choke*. Peningkatan *backpump* dapat mengakibatkanpeningkatan aliran di *choke*. Grafik aliran *mud*

dapat dilihat pada gambar 4.48 . Terlihat bahwa laju alir meningkat dari 0,0811 ke 0,0820 m^3/s .



Gambar 4. 49 Grafik nilai tekanan pada dasar sumur (1405 – 1401)

Perubahan – perubahan dilakukan untuk menjaga kestabilan tekanan dalam dasar sumur. Dalam penelitian ini, tekanan di dasar sumur dapat di jaga pada tekanan 470 bar. Grafik nilai tekanan pada dasar sumur dapat dilihat pada gambar 4.49 Terlihat bahwa , saat terdapat *disturbance* , tekanan mengalami penurunan, dan berosilasi dan ke*mud*ian kembali pada 470 bar pada detik ke 320. Maka , dilihat dari gambar 4.49 , sistem pengendalian dapat menjaga tekanan di bawah sumur di setpoint saat ada gangguan berupa Penurunan massa jenis *mud.*

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah diperoleh , didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 4 Variabel yang dapat mempengaruhi laju penetrasi berupa *Weigh on Bit, Rotary speed, Mud flow rate* dan *pressure choke.* Hasil optimisasi pada massa jenis 1400 , 1401 , 1403 , dan 1405 Kg/m^3. bernilai 4,64 ; 4,63; 4,62 dan 4,61.m/ jam Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai ROP akan mengalami penurunan selama kenaikan massa jenis *mud*
- bahwa sistem *drilling* dengan kontrol PID mampu mengatasi gangguan berupa perubahan massa jenis *mud* yang terjadi pada saat filtrasi.Sistem akan mampu mencapai kesetimbangan tekanan sehingga sistem dan performa dapat terjaga keamanan dan kestabilannya.

5.2 Saran

Berikut adalah saran yang diberikan terkait penelitian ini untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

- Untuk mendapat data yang lebih komprehensif, peneliti selanjutnya dapat menambahkan variasi jenis susunan turbin atau variasi jarak antar turbin
- Penambahan controller selain PID untuk membandingkan hasil dan dapatkan hasil lebih baik

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Al-Maliki, M. A. (2018). *Examination of the Relationship between Rate of Penetration and Mud Weight Based on Unconfined Compressive Strenght of Rock.* Journal of King Saudi University.

Biyanto, T. R., Nugroho, G., & Fibrianto, H. Y. (2016). Duelist Algorithm : An Algorithm Inspired by How Duelist Improve Their Capabilities in a Duel.

Bourgoyne Jr, A. T., & Young Jr, F. S. (1991). *Applied Drilling Engineering.*

Boutgoyne Jr, A. T., & Young Jr, F. S. (1974). A Multiple Regression Approach to Optimal *Drilling* and Abnormal Pressure Detection. *Society of Petroleum Journal*.

BP. (2019). BP Stastistical Review of World Energy. *68th edition*.

Caenn, R., & Chillingar, G. V. (1995). *Drilling Fluids : State of the art.* USA: Elsevier.

Camacho , E., & Bordons, C. (2007). *Model Predictive Control second edition.* Springer.

Elshreef, K., & Lashin, A. (2016). Investigation of Mud Density and Weighting Material Filter Cake Properties and Formation Damage. *Journal of African Earth Sciences*.

Findeisen, R., & Allgower, F. (2002). *An Introduction to Non Linear Model Predictive Control.* Stuttgart, Germany: University of stuttgart.

Helgestad, D.-E. (2010). The *Drilling* Process : A Plantwide Control Approach. *Norwegian University of Science and Technology*.

KUMAR, D. M. (2010). Genetic Algorithm - an Approach to Solve Global Optimization Problems. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*.

Kuncoro, F. D. (2019). Optimisasi Kondisi Operasi Pada Control *Drilling* Dengan Konsep Plant Wide Control.

Lim, S. P., & Haron, H. (2013). Performance Comparison of Genetic Algorithm, Differential Evolution and Particle Swarm Optimization Towards Benchmark Functions.

Marlin, T. E. (2015). *Process Control , Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance.* McMaster University.

Paz, R. (2001). The Design of the PID Controller.

Schlumberger. (2013). Oilfield Review, *Drilling* Fluid Basics. (D. Williamson, Ed.) *The Defining Series*, 2.

Schlumberger. (2015). Oilfied Review , Mud Logging. (M. Varhaug, Ed.) *The Defining Series*, 1-2.

LAMPIRAN

Fob*drilling*.m

```
function ROP=fobdrilling(x)
%optimized variable
WOB=x(1)     %weight on bit (tons)
RPM=x(2) %rotary speed (RPM)
qmud=x(3) %flow rate lumpur (L/s)
pc=x(4) %pressure choke (bar)
rho= 1403.805631 %density lumpur (kg/m3)

%Parameter drilling model
R0=5; %formation drillability (m/hr)
pf=470; %formation pressure at bottom well (bar)
tt0= 10; %trip time hours
wdbmax=178.583; %maximum WOB per diameter (tons/m)
wdbt=63/R0; %threshold WOB per m diameter (tons/m)
N=100; %drill string RPM (min-1)
db=0.254; %drill bit diameter (m)
theta1=900; %annulus friction parameter (kg/m4s)
dstring=0.1; %drill string outter diameter (m)
D=3000; %depth well (m)
dp=0.005; %particle diameter (m)
phi=pi;
rhos=2700; %formation density (kg/m3)
g=9.8; %gravity (m/s2)


%Rate of Penetration Modelling
kc=5e5/R0; %valve flow konstan (m2)
Aa=(db^2-dstring^2)*phi/4; %cross-sectional area of annulus (m2)
An=3*pi*(0.01^2)/4; %nozzle x-sec area (m2)
F=x(1)/db*kc*db^2*phi/4; %force
T=F*dstring/2000; %torque (kNm)
newrho=rho*(1-T/100)+rhos*T/100; %rho friction (kg/m3)
pbh=x(4)+(theta1*x(3)/1000)+newrho*g*D/1e5   %bottom hole pressure
(bar)
P=T*2*phi*x(2)/60; %power (kW)
Fj=x(3)^2*rho/An/1e6; %hydraulic jet impact force (N)
ROP=(R0*((x(1)/db-wdbt)/(71.4-
wdbt))*((N/60)^0.7)*((Fj/4482)*0.3)*exp(0.01*(pf-pbh)))

K=15*R0; %formation of abrasiveness constant (hours)
va=qmud/100/Aa; %annulus velocity (m/s)
vslip=sqrt(8/9*g*dp*(rhos-newrho)/rho); %slip velocity (m/s)
vT=va-vslip; %transport velocity (m/s)
qs=ROP*phi/4*db^2*1000/3600; %cutting feed rate (1/s)
xc=qs/1000/Aa/vT*100; %cuttings fraction

%cost of drilling
td0=K*(60/ROP)^1.7*(wdbmax-x(1)/db)/(wdbmax-71.433); %bit life-
time
cost=D*((1/ROP)+(tt0/(ROP*td0))) %cost drilling
```

```
end
```

GAdrill.m

```
clear all
clc

Dimension = 4;                          % dimensi diganti sesuai
dengan jumlah variabel yang dioptimasi
UB = [200 200 50 100 ];                 % Upper Bounds diganti
sesuai dengan constraint fungsi objektif
LB = [10 100 0.001 0.001 ];             % Lower Bounds diganti
sesuai dengan constraint fungsi objektif

Npop = 200;      %Number of Population
Maxit = 100;     % Maximum Iteration
el = 0.95;       % Elitisim
Pc = 0.8;        % Probabilitas CrossOver
Pm = 0.01;       % Probabilitas Mutasi
%Psilang = 0.8;   %
Nbit = 20;       %


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


Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Dimension));
popsize = size(Bangkit,1);
for i = 1:Dimension
batas(i) = UB(i)-LB(i);
end
for i =1:Npop
for j = 1:Dimension
Desimal(i,j)= bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-1)):(j*Nbit)),'left-
msb');
Individu(i,j) = floor((Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+LB(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1));
end
end
Datfit = [];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
fitness = fobdrilling(Individu(i,:));
Datfit = [Datfit;fitness];
[fitemax,nmax]=max(Datfit);
end
Dadatfit = [];
```

```
for generasi=1:Maxit
disp('GA processing')
clear command windows
clear command history
clear memory
if generasi > 1
sort_fit = sortrows(sort,Nbit*Dimension+1);
Individu1 = sort_fit(round((1-el)*Npop+1):Npop,:);
remain = sort_fit(round(el*Npop)+1:Npop,:);
X = Individu1;
M = size(X,1);
sumfitness = sum(Datfit);
for i=1:M
Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
end
for i=2:M
Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
end
for i=1:M
n=rand;
k=1;
for j=1:M-1
if (n>Prob(j))
k=j+1;
end
end
Xparents(i,:) = X(k,:);
end
%=============Crossover========
[M,d] = size(Xparents);
Xcrossed = Xparents;
for i=1:2:M-1
c=rand;
if (c<=Pc)
p=ceil((d-1)*rand);
Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p) Xparents(i+1,p+1:d)];
Xcrossed(i+1,:) = [Xparents(i+1,1:p) Xparents(i,p+1:d)];
end
end
if (M/2~=floor(M/2))
c=rand;
if (c<=Pc)
p=ceil((d-1)*rand);
str=ceil((M-1)*rand);
Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p) Xparents(str,p+1:d)]; %the first
child is chosen
end
end
%============Mutation==============
[M,d] = size(Xcrossed);
Xnew=Xcrossed;
for i=1:M
for j=1:d
p=rand;
if (p<=Pm)
Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
end
end
```

```
end
disp('New fitness calculation');
Bangkit = [Xnew(:,1:Nbit*Dimension);remain(:,1:Nbit*Dimension)];
end
eBangkit = [eBangkit; Bangkit];
for i =1:Npop
for j = 1:Dimension;
Desimal(i,j) = bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)),'left-msb');
Individu(i,j) = (Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+LB(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
end
end
Datfit = [];
for i = 1:Npop
fitness = fobdrilling(Individu(i,:));
Datfit = [Datfit;fitness];
[fitemax,nmax] = max(Datfit);
end
Dadatfit = Datfit;
eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
eIndividu = [eIndividu;Individu];
[fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
h = plot (efitnessmax);
xlabel('Iteration');
ylabel('Best ROP');
hold on
grid on
refreshdata (h, 'caller')
drawnow;
hold off
BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
BangkitMaxlast = BangkitMax;
schedmax = BangkitMax;
clear z;
sort = [Bangkit Dadatfit];
summary = [summary; sort];
david = [david; Dadatfit];
end
```

Simulation

```
%Script for simulating performance of an automated pressure
control
%structure using a simple dynamic pressure model.
%Script needs to use external functions calcf_pru.m.

clear all
close all
clc
```

```
% set up simulation
% stepsize
dT = 0.1;
% time vector
time=0:dT:500;
% system parameters
Va = 128.45;
Vd = 17.02;
VaDot = 0;
betaa = 20000;
betad = 20000;
M = 8384;
%massa jenis mud

rhod = 0.01401906671;
rhoa = 0.01401906671;

%rhod = 0.01403805631;
%rhoa = 0.01403805631;

%rhod = 0.01405696946;
%rhoa = 0.01405696946;




g = 9.81;
theta1= 900;
theta2= 60000;
hBit = 3000;
Atot = 0.0485; %Va/hBit + Vd/hBit
Apipe = 0.00218; %7" OD 3" ID

%intial conditions
pc0 = 13;
pp0 = 208;
qbit0 = 3000/60000;
zc0 = 0.5;
pbit0 = 470;
pcref0 = 13;
hmud0 = 3000;
qbck0 = 235/60000;
qp0 = 3000/60000;
hpipe0 = 3000;
qc0 = qp0+qbck0;

% storage arrays
pc = zeros(length(time),1);
pp = zeros(length(time),1);
qbit = zeros(length(time),1);
qbck = zeros(length(time),1);
qp = zeros(length(time),1);
zc = zeros(length(time),1);
pbit = zeros(length(time),1);
pcref = zeros(length(time),1);
```

```
hmud = zeros(length(time),1);
qc = zeros(length(time),1);
hpipe = zeros(length(time),1);

pc(1) = pc0;
pp(1) = pp0;
qbit(1)= qbit0;
zc(1) = zc0;
pbit(1) = pbit0;
pcref(1) = pcref0;
hmud(1) = hmud0;
qbck(1) = qbck0;
qp(1) = qp0;
hpipe(1) = hpipe0;
qc(1) = qc0;

%PI controller to keep pbit at a setpoint
pbitref = 470;
Kppcref = 4;
Kipcref = 10;
eipcref = pcref0/Kipcref;

%PI controller to keep pc at a setpoint
Kp = 0.01;
Ki = 5e-3;
ei = zc0/Ki;

%PI controller to keep zc at a setpoint
zcref = 0.5;
Kpbck = 0.01;
Kibck = 0.005;
eibck = qbck0/Kibck;%test

%PI controller to keep qp at a setpoint
qpref = 3000/60000;
Kpqp = 0.1;
Kiqp = 0.1;
eiqp = qp0/Kiqp;

%PI controller to keep hpipe at a setpoint
hpiperef = 3000;
Kphpipe = 0.1;
Kihpipe = 0.5;
eihpipe = hpipe0/Kihpipe;

%Euler integration
for i=1:length(time)-1
%Define current state vectors
x = [pc(i); pp(i);qbit(i)];

%Set inputs
if time(i)<300 %P TRB (50)

rhod = 0.01401906671;
rhoa = 0.01401906671;
```

```
%rhod = 0.01403805631;
%rhoa = 0.01403805631;

%rhod = 0.01405696946;
%rhoa = 0.01405696946;

elseif time(i)>= 300
%rhod = 0.01401906671;
%rhoa = 0.01401906671;

%rhod = 0.01403805631;
%rhoa = 0.01403805631;

rhod = 0.01405696946;
rhoa = 0.01405696946;

    %elseif time(i)>=225
    %%Ramp up pump
    %pbit(i)= 470.179446763799;
    %qpref = 3000/60000;
    %zcref = 0.5;
    %pbitref = 470.179446763799; %+seprihan clay
    %pbitref = 470.174169356617; %+seprihan sandstone
    %pbitref = 470; %+seprihan limestone
    %pbitref = 470.162927342442; %+seprihan granite
% %
    end

%Controllers
if i >=2

% controller to keep pbit at setpoint by changing pcref
epcref = pbitref - pbit(i-1);
eipcref = eipcref + dT*epcref;
pcref(i) = max(Kppcref*epcref + Kipcref*eipcref,0);

qpref(i) = 0.001*(max(Kppcref*epcref + Kipcref*eipcref,0)); %line
141-142 dr Pa TRB
%qpref(i) = qpref;

%Controller to keep qp at setpoint, with switch
%eqp = qpref - qp(i-1);
eqp = qpref(i-1) - qp(i - 1);
eiqp = eiqp + dT*eqp;
if abs(epcref) < 5
qp(i) = Kpqp*eqp + Kiqp*eiqp;
else
qp(i) = qp(i-1);
end

%Controller to keep hpipe at setpoint, with switch
ehpipe = hpiperef - hpipe(i-1);
eihpipe = eihpipe + dT*ehpipe;
if abs(epcref) < 5
hpipe(i) = Kphpipe*ehpipe + Kihpipe*eihpipe;
else
```

```
hpipe(i) = hpipe(i-1);
end

%Simple controller to keep pc at pcref by changing zc
e = pc(i-1)-pcref(i-1);
ei = ei + dT*e;
zc(i) = min(max(Kp * e + Ki * ei,0),100);

%Input reset controller to keep zc at setpoint by changing qbck
ebck = zcref - zc(i-1);
eibck = eibck + dT*ebck;
qbck(i) = max( Kpbck*ebck + Kibck*eibck,0);% ini tjuy

end

%Calculate right?hand side
[f, qccalc_pru] =
calcf_pru(time(i),x,zc(i),qbck(i),qp(i),hBit,Va,...
    VaDot,Vd,betaa,betad,M,theta1,theta2,rhod,rhoa,g);

%Step states
x = x + dT*f;

if i>2
vpipe = (hpipe(i)-hpipe(i-1))/dT;
else
vpipe = 0;
end

qc(i+1) = qccalc_pru + Apipe*vpipe;
hmud(i+1) = hmud(i)+Apipe*vpipe/Atot*dT + (qp(i) + qbck(i) -...
qc(i))/Atot*dT;

%Store results

pc(i+1) = x(1);
pp(i+1) = x(2);
qbit(i+1) = x(3);

%Calculate pbit
pbit(i+1) = pc(i+1)+theta1*qbit(i+1)+rhod*g*hBit;

end

%Store last results
zc(length(time)) = zc(length(time)-1);
qp(length(time)) = qp(length(time)-1);
qbck(length(time)) = qbck(length(time)-1);
pcref(length(time)-1:length(time)) = pcref(length(time)-2);
hmud(length(time)) = hmud(length(time)-1);
hpipe(length(time)) = hpipe(length(time)-1);
qc(length(time)) = qc(length(time)-1);

%% Plot results
set(0,'defaultaxesfontsize',14);
```

```
set(0,'defaulttextfontsize',14);
set(0,'DefaultLineLineWidth',1.5);
set(0,'DefaultFigureColor','none');
legFontSize = 16;
scrsz = get(0,'ScreenSize');

figure
plot(time,pc,time,pcref,time,pbit-400)
h(1)=legend('$p_c$','$p_{c,s}$','$p_{bit}$','Location','Best'); %
di TRB gaada -400
xlabel('Time [s]');
ylabel('Pressure [bar]')
set(h,'Interpreter','latex','FontSize',legFontSize)
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto')
% Use screen size
print -djpeg cascadecontrol % ? diganti -

figure
plot(time,zc*100)
h(1)=legend('$z_c$');
%axis([0 600 0 100]); % TRB 600 jd 200
ylabel('Valve Position [%]');
xlabel('Time [s]');
set(h,'Interpreter','latex','FontSize',legFontSize)
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto') % Use screen size
print -djpeg cascadecontrol2

figure
plot(time,qp*60000,time,qbit*60000)
h(1)=legend('$q_p$','$q_{bit}$','Location','Best');
axis([0 500 0 3500]);
ylabel('Volume flow [liter/min]');
xlabel('Time [s]');
set(h,'Interpreter','latex','FontSize',legFontSize)
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto') % Use screen size
print -djpeg cascadecontrol3

figure
plot(time,qbck*60000,time,qc*60000)
h(1)=legend('$q_bck$','$q_c$','Location','Best'); %trb gapake $
axis([0 500 0 8000]);  % line 254-280 gadipake TRB
ylabel('Volume flow [liter/min]');
xlabel('Time [s]');
set(h,'Interpreter','latex','FontSize',legFontSize)
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto') % Use screen size
print -djpeg cascadecontrol4

figure
plot(time,-hpipe)
h(1)=legend('$h_{bit}$');
%axis([0 200 3010 2960]);
xlabel('Time [s]');
ylabel('Height [m]')
set(h,'Interpreter','latex','FontSize',legFontSize)
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto') % Use screen size
print -djpeg cascadecontrol5
```

```
figure
plot(time,pbit)
h(1)=legend('$p_{bh}$');
%axis([0 200 0 500]);
xlabel('Time [s]');
ylabel('Pressure [bar]')
set(h,'Interpreter','latex','FontSize',legFontSize)
set(gcf, 'PaperPositionMode', 'auto') % Use screen size
print -djpeg cascadecontrol6
```

calcf.m

```
function [f, qc] =
calcf_pru(t,x,zc,qbck,qp,hBit,Va,VaDot,Vd,betaa,betad,M,...
theta1,theta2,rhod,rhoa,g)
%Function calculates right hand side f = [f1;f2;f3] of system
equations
%x = [pc;pp;qbit]
%?NS ? 2009
%Modified: DEH ? 2010

% get states
pc = x(1);
pp = x(2);
qbit = x(3);

% calc qc
qc = 0.0025*zc*sqrt(2/rhoa*(pc-0));

% calc f
f1 = (betaa/Va) * (qbit - qc + qbck + VaDot);%pc equation 6.1
f2 = (betad/Vd) * (qp - qbit);%Pp Equation 6.2

% project
if qbit>0
f3 = (1/M) * (pp-pc-theta1*qbit-theta2*abs(qbit)*qbit +...
(rhod-rhoa)*g*hBit);%Equation 6.3
else
f3 = max((1/M) * (pp-pc+(rhod-rhoa)*g*hBit),0);
end

f = [f1;f2;f3];
```

BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis adalah Muhammad Dhiaz Rafilianza, dilahirkan di Jakarta, 6 Desember 1998. Menempuh pendidikan formal di SD Triguna Jakarta pada 20, dilanjutkan di SMPN 19 Jakarta pada 2010-2013,dan di SMAN 82 Jakarta pada 2013 – 2016. Penulis melanjutkan pendidikandi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Departemen Teknik Fisika, Program Studi S1 pada tahun 2016. Penulis mengambil tugas akhir di departemen teknik fisika dengan judul **" Optimisasi Kondisi Operasi dan Kontrol *Drilling* Dengan Metode *Stochastic Algorithm* Terhadap Pengaruh *Mud Density* Menggunakan Kontrol PID"** di bawah bimbingan bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D. Selama perkuliahan , penulis pernah mendapatkan kesempatan untuk kerja praktek di PT GMF AeroAsia pada tahun 2019.Selama perkuliahan , penulis juga aktif berorganisasi yakni Asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol , Aiesec in Surabaya, dan Society of Petroleum Engineers. Apabila terdapat pertanyaan dan saran tentang penelitian penulis silahkan menghubungi e-mail penulis yaitu : dhiazrafilianza@gmail.com