TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMISASI *STUCK PIPE* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA DUELIST

TITA OXA ANGGREA
NRP. 02311640000019

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

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK FISIKA
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 STUCK PIPE USING DUELIST ALGORITHM

TITA OXA ANGGREA
NRP. 02311640000019

Supervisor
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Tita Oxa Anggrea
NRP	: 02311640000019
Departemen/Prodi	: Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul "**OPTIMISASI *STUCK PIPE* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA DUELIST**" adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 22 Januari 2020

Yang membuat pernyataan,

Tita Oxa Anggrea

NRP. 02311640000019

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI *STUCK PIPE* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA DUELIST

Oleh:

Tita Oxa Anggrea
NRP 02311640000019

Surabaya, 22 Januari 2020
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing

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

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTIRS-ITS

Dr. Suyanto S.T., M.T.
NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI *STUCK PIPE* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA DUELIST

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Tita Oxa Anggrea
NRP. 02311640000019

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Totok Ruki Biyanto, Ph.D .....(Pembimbing)
2. Hendra Cordova, S.T., M.T .....(Ketua Penguji)
3. Ir. Matradji, MI. Kom .....(Penguji 1)
4. Dr.-Ing Doty Dewi Risanti S.T., M.T .....(Penguji 2)
5. Iwan Cony S., S.T, M.T. .....(Penguji 3)

SURABAYA
JANUARI, 2020

OPTIMISASI *STUCK PIPE* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA DUELIST

Nama Mahasiswa : Tita Oxa Anggrea
NRP : 02311640000019
Departemen : Teknik Fisika FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, S.T., M.,T, Ph.D

Abstrak

Stuck pipe adalah salah satu masalah pengeboran yang paling serius, kondisi *stuck pipe* dapat menelan biaya industri minyak hingga ratusan juta dolar per tahun. Salah satu cara untuk menghindari risiko *stuck pipe* adalah dengan memprediksi keadaan *stuck pipe* dengan parameter pengeboran yang tersedia. Dalam tugas akhir ini, *Artificial Neural Network* (ANN) digunakan untuk prediksi *stuck pipe* dan dioptimisasi menggunakan *Duelist Algorithm* (DA). Berdasarkan kondisi pengeboran dari Petronas Carigali Sdn Bhd (PSCB), variabel yang didapat terlebih dahulu dianalisa melalui metode PCA-PLS. Pada permodelan pertama terdapat 19 input sedangkan setalah melalui pembuangan variabel redundant pada PCA dan memilih variabel penting pada metode PLS dengan hanya menggunakan variabel yang memiliki nilai VIP diatas 0,5 terdapat 12 input hal ini dikarenakan semakin sedikit data yang digunakan maka semakin mudah untuk mengumpulkan data. Serta Semakin sedikit data semakin mudah untuk membuat model. Pada model kali ini, dilakukan dengan menggunakan 1 *input layer* yang terdapat 12 *input node*, 14 *hidden layer* dengan ditraining 1 hingga 30 *hidden node*, dan 1 *output layer* dalam 14 *hidden layer* dengan nilai RMSE 0. Pada akhir optimisasi diperoleh biaya terendah sebesar USD 17300/hour pada RPM 195, 69 dan laju aliran *mud* 722,28 GPM. Serta kondisi konstrain tetap terjaga pada kondisi tidak *stuck.*

Kata kunci: Jaringan Syaraf Tiruan, *Stuck pipe*, Algoritma Duelist, Optimasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMIZATION OF STUCK PIPE USING DUELIST ALGORITHM

Name ***: Tita Oxa Anggrea***
NRP ***: 02311640000019***
Department ***: Department of Engineering Physics***
Supervisor ***: 1. Totok Ruki Biyanto, PhD***

Abstract

Stuck pipe is one of the most serious drilling problems, stuck pipe conditions can cost the oil industry up to hundreds of millions of dollars per year. One way to avoid the risk of being stuck in a pipe is to predict the state of a stuck pipe with the available drilling parameters. In this final project, Artificial Neural Network (ANN) is used for prediction of stuck pipes and is optimized using Duelist Algorithm (DA). Based on the drilling conditions of the PSCB, the variables obtained were first analyzed through the PCA-PLS method. In the first modeling there are 19 inputs while after removing the redundant variable on the PCA and selecting important variables in the PLS method using only variables that have VIP values above 0.5 there are 12 inputs this is because the less data used the easier it is to collect data . And the less data the easier it is to make a model. In this model, it is done by using 1 input layer which has 12 input nodes, 14 hidden layers trained by 1 to 30 hidden nodes, and 1 output layer in 14 hidden layers with a value of RMSE 0. At the end of the optimization the lowest cost is USD 17300 / hour at RPM 195, 69 and mud flow rate 722.28 GPM. And the condition of the construction is maintained in a condition that is not stuck.

Keywords: Artificial Neural Networks, Stuck Pipes, Duelist Algorithms, Optimization

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Oleh karena dukungan dari beberapa pihak pula, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

"OPTIMISASI STUCK PIPE DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA DUELIST"

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

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing I tugas akhir ini yang selalu memberikan motivasi dan ide ide baru.
3. Bapak Hendra Cordova, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis.
4. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar Teknik Fisika ITS.
5. Bapak Denny Setiawan dan Ibu Kamalia Shinta Dewi selaku orang tua yang telah memberikan dukungan penuh mulai do'a, dana dan motivasi dalam kondisi apapun.
6. Rahajeng Okta Viona Regina Firdaus selaku adik kandung yang selalu menghibur penulis di saat lelah dan *low motivation*.
7. Segenap keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan, doa dan motivasi terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
8. Pramodana Haekal teman terdekat yang telah memberikan do'a, motivasi dan dukungan kepada penulis.

9. Teman laboratorium yang selalu mengajak penulis untuk senantiasa mengaji dan shalat tepat waktu ketika sibuk mengerjakan tugas akhir.
10. Teman-teman pejuang TW 121 yang telah memberikan semangat dan dukungan.
11. Teman-teman asisten laboratorium yang telah memberikan semangat kepada penulis atas penyelesaian tugas akhir ini.
12. Rekan-rekan F51 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam laporan kali ini. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran yang membangun demi kesempurnaan dan kebaikan laporan ini. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 24 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....**Error! Bookmark not defined.**
LEMBAR PENGESAHAN.....vii
LEMBAR PENGESAHAN.....xi
Abstrak…….,..……..…..……..xii
Abstract……..……..……..…….xiii
KATA PENGANTAR.....xv
DAFTAR ISI.....xvii
DAFTAR GAMBAR xixx
DAFTAR TABEL xxi
DAFTAR NOTASI xxiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1Latar Belakang.....1
1.2Rumusan Masalah.....3
1.3Tujuan.....3
1.4Lingkup Kajian.....3
1.5Sistematika Laporan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....6
2.1Proses Terbentuknya Minyak Bumi 6
2.2 *Stuck Pipe* and NPT.....6
2.3 Mekanisme *Stuck Pipe*…….……8
2.3.1Menempel Differensial…….. ……..8
2.3.2 Terjebak Mekanik……..…….. 13
2.4 Model Prediksi *Stuck Pipe*.....22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....29
3.1. Pengumpulan Data *Stuck Pipe*.....30
3.2. Analisis Data.....30
3.4. Pemodelan *Stuck Pipe* Menggunakan Artificial Neural Network 33
3.5. Teknik Optimisasi Menggunakan Duelist Algorithm.....34
3.6. Analisis Hasil Optimisasi Data.....35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....37
4.1. Analisis PCA-PLS 37
4.1.1Hasil PCA 38

4.2.1Hasil PLS 40
4.2. Permodelan *Stuck Pipe* Menggunakan Artificial Neural Network 44
4.3. Optimisasi Kondisi *Stuck Pipe* menggunakan Duelist Algorithm 46
BABV PENUTUP 49
5.1 Kesimpulan 49
5.2. Saran 49
DAFTAR PUSTAKA 51
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Notifikasi NPT PCSB dan Diagram Alir Proses….11
Gambar 2.2 Penampang melintang dari *string bor* yang tertanam dalam mudcake……. 9
Gambar 2.3 *Tampak samping string bor* yang disematkan dalamMudcake…...…….9
Gambar 2.4 Tekanan kue disekitar lubang sumur dan waktu setelah diam…..……11
Gambar 2.5 Jenis penyebab kemacetan mekanis…...……14
Gambar 2.6 Analisa Variabel yang berpengaruh…...……23
Gambar 2.7 Peta jalan pemrosesan sinyal jaringan syaraf tiruan…….....26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian 29
Gambar 3. 2 Diagram Alir Optimisasi.....33
Gambar 4. 1 Hasil PCA variabel *stuck pipe* 38
Gambar 4. 2 Scatter plot zonasi variabel *stuck pipe* 39
Gambar 4. 3 Hasil PLS variabel *stuck pipe* 41
Gambar 4. 4 Banyak *hidden node* terhadap RMSE 44
Gambar 4. 5 Banyak hidden node terhadap RMSE 45
Gambar 4. 6 Hasil prediksi keadaan *stuck pipe* 46
Gambar 4. 1 Arsitektur ANN pada Tugas Akhir ini……..46
Gambar 4. 8 Hasil iterasi Duelist Algorithm 47

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tingkat NPT perusahaan Amerika Latin……...7
Tabel 2.2 Analisa Variabel yang Berpengaruh (Hempkins et al., 1987)……..23
Tabel 3. 1 *Drilling* Parameters untuk model training……31
Tabel 4. 1 Hasil praproses Data PCA-PLS……43
Tabel 4. 2 Perbandingan hasil optimisasi……..48
Tabel 4. 3 Hasil Praproses Data PCA-PLS……42

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Notasi	Nama	Satuan
W	Bobot lapisan input ANN	-
V	Bobot lapisan tersembunyi ANN	-
Y	Nilai keluaran ANN	-
X	Nilai masukan ANN	-
P	Vektor input	-
T	Target	-
Q	Vektor pasangan input-target	-
R	Jumlah variabel input ANN	-
S	Jumlah variabel target ANN	-
GR	Nilai log *gamma ray*	API
Vsh	Volume *shale*	fraksi desimal
P	Densitas lapisan	g/cc
R	Regresi	-
Dept	Kedalaman lapisan	feet
SP	Log *spontaneus potentia*l	mv
CALI	Log *caliper*	inch
ILM	*Induction* Log *Medium Resistivity*	ohmm
MSFL	Log *micro spherically focused*	ohmm
RHOB	Log *density*	g/cc
NPHI	Log porositas neutron	%
ILD	*Induction deep resistivity*	ohmm

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan adanya kemajuan teknologi terbaru dalam operasi pengeboran, memunculkan sumur yang lebih bervariasi seperti *deepwater*, *High Pressure-High Temperature* (HPHT), dan sumur bor yang pada awalnya kurang seimbang menjadi semakin layak dan dapat dicapai dalam hal aspek ekonomi dan teknis. Meskipun operasi pengeboran dengan tingkat kerumitan yang tinggi sekarang dapat diselesaikan dengan adanya material, metode, teknik, dan peralatan yang baru, masalah *stuck pipe* selalu menjadi masalah yang terjadi dalam operasi pengeboran di seluruh dunia. Peristiwa pipa yang tersumbat ini berpengaruh pada waktu non-produktif atau *Non Productive Time* (NPT)[1].

Sepanjang tahun, banyak penelitian yang telah didedikasikan untuk menemukan penyebab yang menyebabkan peristiwa *stuck pipe*. Penelitian-penelitian tersebut sebatas untuk memodelkan *stuck pipe* dan hanya untuk mengatasi peristiwa *stuck pipe* yang sudah terjadi, belum ada penelitian untuk menghindarinya[2]. Pemodelan *stuck pipe* pertama kali telah dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan *Articial Neural Network* (ANN) oleh Siruvuri [3]. Secara umum, *stuck pipe* dapat disebabkan oleh penempelan diferensial dan penahan mekanis atau kombinasi keduanya. Dengan mengetahui penyebab *stuck pipe*, banyak pengebor mencoba mencegah adanya *stuck pipe* dengan cara pemantauan visual terhadap perubahan parameter pengeboran seperti torsi, tekanan pipa tegak dan beban kait [3].

Sebelum pemantauan dengan software tersedia, beberapa peneliti telah mencoba untuk memprediksi *stuck pipe* dengan cara analisis statistik seperti analisis regresi dan multivarian. Data pengeboran yang dimasukkan ke dalam model analisis meliputi sifat lumpur *Plastic Viscosity* (PV), *Yield Point* (YP), kekuatan gel, dll. Ukuran lubang dan spesifikasi *Bottom Hole Assembly* (BHA)[3]. Analisis statistik awal ini telah menjadi landasan

prediksi modern *stuck pipe* dengan menggunakan algoritma pembelajaran mesin.

Dengan perkembangan komputasi modern, kekuatan komputasi telah meningkat secara signifikan selama beberapa dekade terakhir. Secara historis, pembelajaran mesin ini hanya ide teoritis di atas kertas karena kekuatan komputasi tidak cukup untuk membuat algoritma menjadi pembelajaran mesin. Namun, hal ini dapat diimplementasikan saat ini dengan menggunakan kekuatan komputasi yang sedang berkembang [5]. Salah satunya adalah dengan menggunakan optimisasi *duelist algorithm*. Duelist algorithm merupakan suatu algoritma yang meniru dari kelakuan seorang petarung tentang cara meningkatkan kemampuannya dalam hal bertarung dengan lawannya. Pertama, populasi petarung terdaftar. Setiap petarung memiliki sifat yang dikodekan ke dalam *array biner* dari satu dan nol. Setelah itu, masing-masing petarung dievaluasi untuk menentukan kemampuan bertempur mereka dan kemudian jadwal duel diatur untuk setiap petarung yang berisi satu set peserta duel. Dalam duel ini, setiap petarung akan bertarung satu lawan satu dengan petarung lainnya. Dalam pertarungan satu lawan satu ini digunakan gladiator pertempuran untuk menghindari lokal optimum [6].

Sejalan dengan visi revolusi industri 4.0, pembelajaran mesin telah diidentifikasi sebagai salah satu bidang utama yang dapat mendorong transisi industri tradisional ke industri yang sangat otomatis dan terkomputerisasi. Saat ini, pembelajaran mesin telah diterapkan di berbagai bidang seperti transportasi, perawatan kesehatan, pemasaran dan penjualan, layanan pemerintah dan keuangan. Namun, industri minyak dan gas baru mulai mengadopsi digitalisasi akhir-akhir ini terlebih pembelajaran mesin yang dimaksudkan untuk membangun lingkungan kerja yang sangat digital [7]. Masih banyak peluang optimisasi yang dapat diwujudkan melalui penerapan pembelajaran mesin di industri minyak dan gas. Salah satu peluangnya adalah penggunaan pembelajaran mesin untuk memprediksi peristiwa *stuck pipe* dan kemudian mengambil tindakan untuk mengurangi risiko dari terjadinya hal tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan diangkat dalam tugas akhir ini yaitu :

a. Bagaimana cara untuk memilih variabel yang berhubungan dengan *stuck pipe*?
b. Bagaimana cara memodelkan *stuck pipe* dan variabel-variabel yang berhubungan dengan *stuck pipe* menggunakan ANN?
c. Bagaimana cara mengoptimisasi kondisi operasi *drilling* agar *stuck pipe* tidak terjadi dan biaya operasi yang rendah?

1.3. Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Untuk memilih variabel yang berhubungan dengan kondisi *stuck pipe*.
b. Untuk memodelkan *stuck pipe* dan variabel-variabel yang berhubungan dengan *stuck pipe* dengan menggunakan ANN.
c. Melakukan optimisasi kondisi operasi *drilling* dengan menggunkan *duelist algorithm* untuk mendapatkan prediksi *stuck pipe* dan mendapat biaya operasi yang rendah.

1.4. Lingkup Kajian

Adapun lingkup kajian yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

a. Pemrosesan data pada salah satu sumur di PCSB menggunakan metode PCA-PLS.
b. Pemrosesan data dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi dan mencegah adanya kondisi *stuck pipe*.
c. Data yang diolah merupakan data pengeboran yang dimasukkan ke dalam model analisis meliputi sifat lumpur *Plastic Viscosity* (PV), *Yield Point* (YP), kekuatan gel, dll.

Ukuran lubang dan spesifikasi *Bottom Hole Assembly* (BHA) yang sudah menjadi data digital.

d. 30 *hidden node* digunakan sebagai sampel dalam mendapatkan bobot terbaik pada *hidden layer* dan *output layer* dengan *Duelist Algorithm.*

1.5. Sistematika Laporan

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

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, lingkup kerja, dan sistematika laporan dari tugas akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari penelitian. Teori tersebut diantaranya meliputi proses pembentukan minyak bumi, variabel-variabel yang dipakai dalam penelitian ini, hingga metode-metode yang akan digunakan dalam penyelesaian penelitian ini yaitu metode PCA, PLS, ANN dan *Duelist Algorithm*.

BAB III Metodologi Penelitian

Pada bab ini dijelaskan tentang langkah-langkah dan tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan data berupa data log dari sumur, pra-proses PCA-PLS untuk mencari hubungan antar variabel, kemudian dilakukan normalisasi data yang hilang dengan arsitektur ANN dan *Duelist Algorithm* untuk memprediksi kondisi *stuck pipe*.

BAB IV Analisis Data dan Pembahasan

Bab ini menunjukkan data beserta analisis dan pembahasan yang telah diperoleh selama pengerjaan penelitian.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini memaparkan kesimpulan dan saran terkait dengan tugas akhir yang telah dilaksanakan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Terbentuknya Minyak Bumi

Migas (*oil and gas*) atau dengan satu istilah ilmiah secara umum disebut petroleum merupakan komplek hidrokarbon (senyawa dari unsur kimia hidrogen dan karbon) yang terjadi secara alamiah dan terperangkap dalam batuan kerak bumi. Wujudnya dalam bentuk bermacam-macam dari padat, cair, atau gas. Bentuk hidrokarbon padat dikenal sebagai aspal, bitumen, tar dan sebagainya. Bentuk hidrokarbon cair dikenal sebagai minyak mentah dan dalam bentuk wujud gas adalah gas alam.

Proses pembentukan minyak dan gas dihasilkan dari pembusukan organisme yang mayoritas tumbuhan laut (terutama ganggang dan tumbuhan sejenis) dan juga binatang kecil seperti ikan, yang terkubur dalam lumpur yang berubah menjadi bebatuan. Proses pemanasan dan tekanan di lapisan-lapisan bumi membantu proses terjadinya minyak dan gas bumi.

Tidak semua tempat di dalam bumi dapat menyimpan migas,akan tetapi memiliki aturan dan tatanan geo*log*i tertentu, sehingga dapat menjadi migas. Begitupun posisi kedalamannya, mulai dekat sekali dengan permukaan bumi bahkan sebagian dapat diperlihatkan adanya rembesannya secara langsung di permukaan sampai kedalaman ratusan bahkan ribuan kilometer didalam bumi.

Untuk mengetahui kemungkinan suatu daerah memiliki cadangan migas, para ahli geo*log*i dapat mengetahui dari hubungan yang erat antara lokasi geografis dengan tatanan geo*log*i daerah tersebut khususnya daerah yang memiliki batuan sedimen, yang harus dipenuhi untuk terjadinya minyak bumi adalah ;

a. Adanya batuan induk, yakni batuan yang terbentuk dari unsur sedimen yang memiliki banyak unsur organik, melalui proses jutaan tahun yang lampau. Dengan proses geo*log*i tertentu disertai dengan perubahan tekanan dan tempertaur, terjadilah suatu proses konversi menjadi bahan hidrokarbon.
b. Adanya batuan *reservoir*, yakni batuan yang berfungsi sebagai tempat terakumulasinya minyak bumi. Biasanya

batuan yang memiliki sifat poros dan permeabel. Misalkan batu pasir (*sandstone*) atau batu gamping (*limestone*).

c. Adanya lapisan penutup, yakni batuan yang bersifat impermeabel atau kedap air. Sehingga dengan adanya lapisan penutup tersebut minyak akan tererangkap [7].

2.2 *Stuck Pipe* dan NPT

Stuck pipe dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan pengambilan *string bor* dengan cara menarik keluar *hole* meskipun *string bor* telah kehilangan kemampuannya untuk bergerak ke bawah, memutar dan beredar sebagian atau bergerak bebas [3]. Definisi lain dari *stuck pipe* termasuk pipa yang tidak dapat dipindahkan dan dibutuhkan upaya ekstra seperti penyumbatan dan penempatan cairan mud yang tidak semestinya [4]. Studi telah dilakukan oleh Hayward sejauh tahun 1937 untuk menyelidiki penyebab dan solusi dari kondisi *stuck pipe* [5]. Pada penelitian ini *stuck pipe* yang ditinjau adalah jenis *stuck pipe* yang terjadi pada saat proses *drilling.*

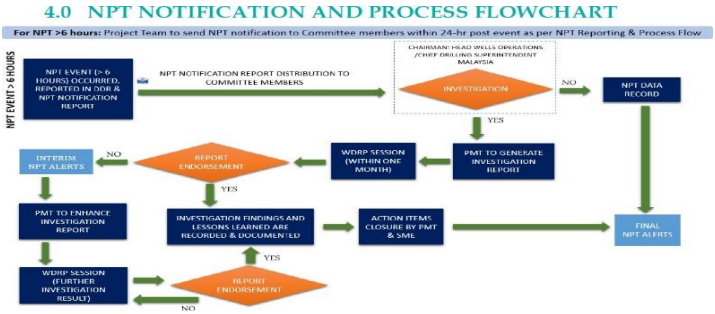
Stuck pipe dapat memiliki dampak besar pada *Non Productive Time* (NPT) di mana kemajuan operasi pengeboran terhambat yang menghasilkan biaya sumur yang lebih tinggi. NPT dapat didefinisikan sebagai peristiwa yang menyebabkan operasi pengeboran berhenti [6]. Beberapa peneliti mendefinisikan NPT sebagai waktu yang hilang karena waktu yang disebabkan oleh masalah seperti masalah *well hole* dan kegagalan peralatan [7]. Waktu datar dapat dipahami sebagai waktu yang dialokasikan untuk melakukan kegiatan yang tidak meningkatkan kedalaman lubang. Menurut sebuah studi yang dilakukan oleh Saudi Aramco pada tahun 2012, pipa yang macet menyumbang 25% dari NPT atau setara dengan biaya tambahan 2 *rig-years* setiap tahun [8]. Sebuah laporan dari Petronas Carigali Sdn Bhd (PCSB) juga mengungkapkan bahwa total 81 hari diakumulasikan untuk NPT karena pipa yang macet dari tahun 2014 hingga tahun 2016 di Malaysia [9]. Di sisi lain, untuk operasi perusahaan di Amerika Latin, NPT digunakan untuk mengukur tingkat keparahan insiden

pipa yang macet [10]. Tabel 2.1 menunjukkan tingkat keparahan NPT perusahaan yang digunakan di Amerika Latin.

Tabel 2. 1 Tingkat NPT perusahaan Amerika Latin *[11]*

NPT(jam)	Pengeluaran (USD)	Severity
>48	>$1 million	Catastrophic Incident
>24	>$100,000 and <$1 million	Major Incident
>4	>$10,000 dan <$100,000	Serious Incident

Dalam praktik Petronas Carigali Sdn Bhd (PCSB), tim proyek operasi pengeboran diharuskan memberi tahu Anggota Komite NPT dalam waktu 24 jam untuk peristiwa apa pun (termasuk insiden *stuck pipe*) yang telah menyebabkan lebih dari 6 jam NPT [11]. Untuk NPT *stuck pipe*, investigasi biasanya akan dibuka dan laporan investigasi yang disetujui diharapkan akan siap dalam waktu satu bulan dari waktu kejadian. Gambar 2.1 menunjukkan diagram alur proses pelaporan peristiwa NPT yang lebih dari 6 jam.



Gambar 2.1 Notifikasi NPT PCSB dan Diagram Alir Proses [11]

2.3 Mekanisme *Stuck Pipe*

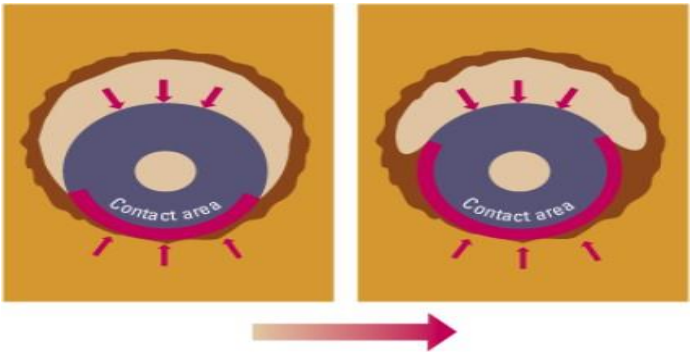
Mekanisme *stuck pipe* dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama secara umum: *diferensial sticking* dan penahan mekanis. Mekanisme *stuck pipe* bisa karena beragam faktor-faktor seperti *pack-off* dan *bridging* serta geometri *wellbor*e [3]. Kedua mekanisme ini dapat dipicu oleh faktor-faktor seperti *cleaning hole* yang buruk, reologi lumpur yang buruk, ketidakstabilan sumur, praktik pengeboran yang tidak tepat, kualitas *mud cake* dan *reaming* yang berlebihan [12]. Sangat penting untuk memahami teori dan faktor-faktor yang terlibat yang mendorong mekanisme ini sehingga tindakan yang tepat dapat diambil untuk mengurangi risiko *stuck pipe*.

2.3.1 Differensial Sticking

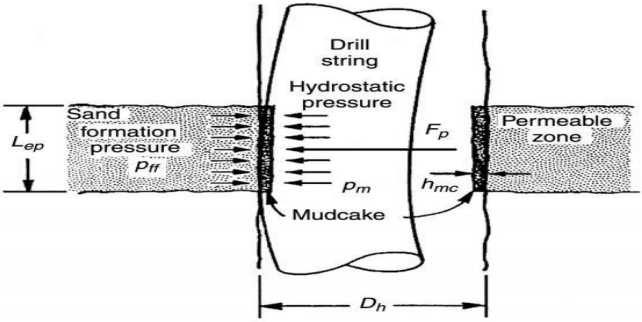
Gagasan *stuck pipe* yang disebabkan oleh *diferensial sticking* pertama kali diusulkan oleh insinyur Shell, Helmick dan Longley dalam penelitian mereka pada tahun 1957 [13]. Mereka berhasil menunjukkan efek *diferensial sticking* dalam percobaan laboratorium. Hasilnya menunjukkan bahwa gaya yang diperlukan untuk menarik keluar pipa meningkat secara proporsional dengan tekanan diferensial. Tekanan diferensial didefinisikan sebagai perbedaan tekanan antara tekanan hidrostatik fluida pengeboran dan tekanan formasi. *Diferensial sticking* disebabkan oleh kondisi lubang sumur di mana tekanan diferensial hadir di daerah lubang sumur bersama dengan lumpur tebal dan permeabel di seluruh formasi permeabel. Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 di bawah ini mengilustrasikan skenario *diferensial sticking* di mana *string bor* didorong ke dinding lubang bor dengan tekanan diferensial dan tertanam ke dalam lumpur. Rasio diameter pipa-ke-lubang dapat memiliki efek pada area kontak awal antara tali bor dan *mud cake* [13]. Area kontak meningkat seiring waktu jika *string bor* tetap statis [14]. Hal ini disebabkan *mud cake* yang terbentuk disebabkan oleh penyaringan lumpur yang terus menerus ke dalam formasi [15]. Oleh karena itu, area kontak secara tidak langsung diatur oleh

kehilangan filtrat dan persentase padat dalam lumpur [13]. Ada beberapa kriteria yang dapat mendorong fenomenal stick diferensial [3]. Diantaranya adalah:

a. Formasi keropos dan permeabel
b. Tekanan overbalance
c. Kontak dinding (antara *bor string* dan *mud cake*)
d. Pipa statis (Tidak ada rotasi atau tersandung)



Gambar 2.2 Penampang melintang dari *string bor* yang tertanam dalam *mudcake* [16]

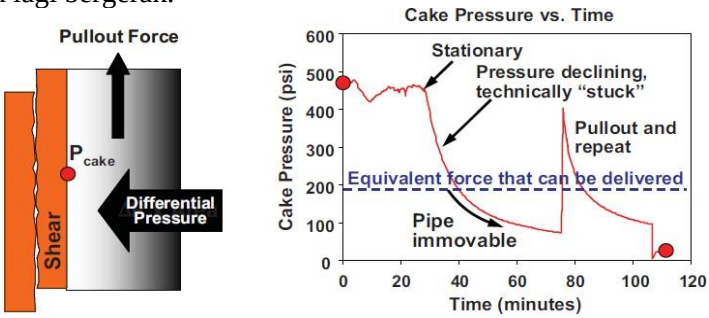


Gambar 2.3 Tampak samping *string bor* yang disematkan dalam *mudcake* [17]

Tekanan di sekitar area kontak turun setelah pipa stasioner. Tekanan diferensial mendorong ekstraksi filtrat dari *mud* ke dalam

formasi. Aliran filtrat berhenti ketika tekanan di dalam kue disamakan dengan tekanan formasi. Gaya diferensial bergeser ke padatan dalam *mud* ketika tekanan fluida menurun. Kondisi ini menyebabkan stres yang efektif dalam *mud* itu sendiri. Formasi permeabel yang lebih tinggi memperburuk masalah karena sebagian besar penurunan tekanan terjadi di dalam *mud* dan tidak sampai ke formasi [18]. Hal ini pada gilirannya membuat *mud* mengalami stres efektif yang lebih tinggi. Stres efektif yang lebih tinggi meningkatkan kekuatan geser *mud* dan juga meningkatkan kekuatan kontak antara *cake solid* dan pipa [19]. Untuk membebaskan pipa, gaya yang diterapkan harus lebih besar dari kekuatan geser kue untuk memecahkan *mud* atau, gaya yang diterapkan pada pipa harus mengatasi gaya gesekan antara pipa dan *mud* sehingga pipa dapat melintasi permukaan *mud* [20].

Perlu ditunjukkan bahwa mekanisme di atas juga menyebabkan pelekatan *mud* mekanis. Kedua penempelan *mud* diferensial dan mekanis dipengaruhi oleh desain *mud cake* dan cairan. Satu-satunya perbedaan antara penempelan diferensial dan penempelan *mud* mekanis adalah penempelan mekanis terjadi saat pipa bergerak, dan penempelan diferensial terjadi saat ia masih duduk [20]. Alasan utama untuk penempelan kue mekanis adalah peningkatan tarikan saat tersandung karena peningkatan ketebalan *mud cake*. Gambar 2.4 menunjukkan perubahan tekanan *mud* ketika pipa tidak bergerak. Tekanan *mud* mulai menurun ketika pipa berhenti bergerak sampai mencapai melampaui titik pamungkas (garis putus-putus biru dalam grafik) di mana pipa tidak lagi bergerak.



Gambar 2.4 Tekanan *mud* di sekitar lubang sumur dan waktu setelah pipa diam [20]

Gaya tarik yang diperlukan untuk membebaskan pipa adalah fungsi dari area kontak. Semakin besar area kontak, semakin sulit untuk membebaskan pipa agar tidak lengket ke dalam *mud*. Selain itu, gaya tarik juga berfungsi sebagai tekanan diferensial dan koefisien gesekan. Persamaan di bawah ini mengilustrasikan perhitungan gaya tarik yang diperlukan untuk membebaskan *stuck pipe* karena diferensial yang menempel [17]. Gaya tarik yang diperlukan untuk membebaskan pipa adalah fungsi dari area kontak. Semakin besar area kontak, semakin sulit untuk membebaskan pipa agar tidak lengket ke dalam mud. Selain itu, gaya tarik juga berfungsi sebagai tekanan diferensial dan koefisien gesekan. Persamaan di bawah ini mengilustrasikan perhitungan gaya tarik yang diperlukan untuk membebaskan pipa yang macet karena *diferensial sticking* [17].

$$Fp = f * \Delta p * Ac \tag{2.1}$$

Dimana :
Fp = Gaya Gesek
f = Koefisien gesekan
ΔP = Tekanan diferensial
Ac = Area kontak

Tekanan diferensial dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini [17].

$$\Delta p = Pm - Pff \tag{2.2}$$

Dimana :
ΔP = Tekanan diferensial
Pm = Tekanan hidrostatik cairan pengeboran
Pff = Tekanan formasi

Area kontak tergantung pada panjang busur dan panjang tubuh pipa seperti yang ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini [17] [21] [22].

$$\text{Ac} = \psi_{\text{arc}} * L_{ep} \quad (2.3)$$

$$\psi_{arc} = 2\left\{\left(\frac{D_h}{2} - h_{mc}\right)^2 - \left[\frac{D_h}{2} - \frac{h_{mc}(D_h - h_{mc})}{D_h - D_{op}}\right]^2\right\}^{0.5} \quad (2.4)$$

dimana :
ψarc = Panjang busur
Lep = Panjang bagian tubuh pipa
ψarc = Panjang busur
Dop = Diameter luar pipa
Dh = Diameter lubang
hmc = Tebal *mud cake*
* Dop harus sama dengan atau lebih besar dari 2 hmc dan sama dengan atau kurang dari (Dh - hmc)

Di antara penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan *diferensial sticking* adalah:

- Penyebab

a. Tekanan hidrostatik melebihi tekanan formasi
b. Formasi permeabel berpori
c. Kehilangan cairan yang tinggi
d. Tebal *filter cake* buruk
e. Pipa diam terlalu lama

- Tanda peringatan

a. Sirkulasi tidak dibatasi saat macet
b. Peningkatan torsi dan seret
c. Pengeboran dengan overbalance tinggi

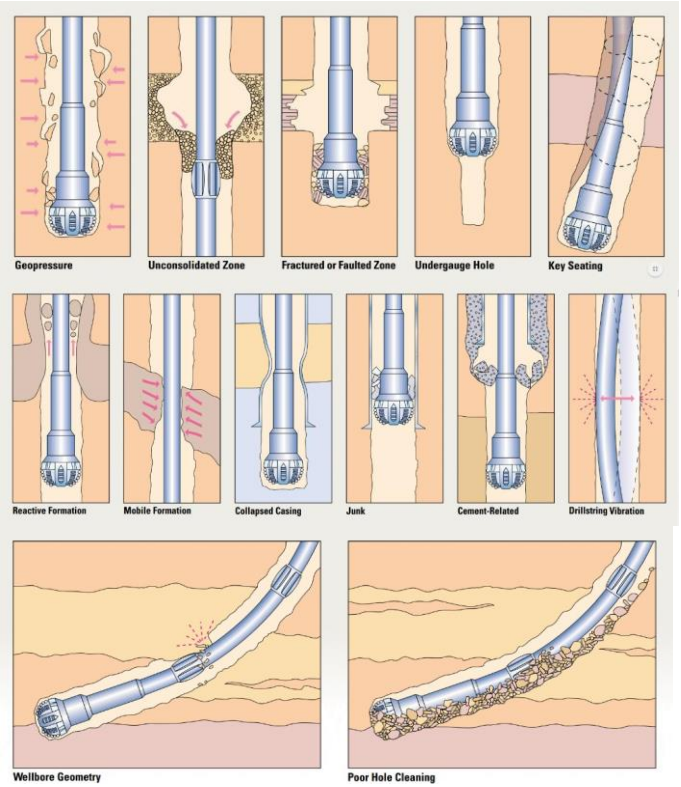
d. Sifat filtrasi yang buruk
e. Overpull formasi berpori berlawanan
f. Lubang melekat pada koneksi

• Pencegahan
a. Minimalkan kelebihan keseimbangan
b. Kontrol penyaringan downhole
c. Minimalkan pipa waktu yang diam
d. Minimalkan area kontak dengan menggunakan *Heavy Weight Drill Pipe* (HWDP) & kerah bor spiral
e. Pertahankan hidrolika yang optimal
f. Tingkatkan kualitas *filter cake.*

2.3.2 Mechanical Stuck

Mechanical stuck adalah mekanisme besar lainnya yang mengarah pada peristiwa *stuck pipe*. Secara umum, insiden *stuck pipe* ini biasanya ditandai oleh gangguan fisik yang menghambat pergerakan pipa. Ada banyak penyebab yang berkontribusi pada kemacetan mekanis. Di antara penyebab macet mekanis adalah [23]:

a. *Geopressure*
b. Zona tidak terkonsolidasi
c. Zona fraktur atau rusak
d.Pembentukan yang reaktif
e. Formasi Seluler
f. Casing yang tertutup
g. Sampah yang diakibatkan oleh jatuhnya *caving*
h. Getaran *drillstring*
i. Geometri lubang bor
j. *Cleanimg hole* yang buruk



Gambar 2.5 Jenis penyebab kemacetan mekanis. [12]

2.3.2.1 *Cleaning Hole* yang Buruk

Masalah utama dengan pembersihan lubang yang buruk adalah ketidakmampuannya untuk mengangkat potongan yang dibor secara efektif keluar dari lubang. *Caving* yang menetap jatuh ke bagian bawah lubang dan kemudian mendorong torsi berlebihan dan seret ke titik di mana pipa tidak dapat berputar atau macet. Di antara penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan pembersihan lubang yang buruk adalah:

- Penyebab

a. Pengeboran terlalu cepat

b. Kecepatan annular atau reologi yang tidak memadai
c. Akumulasi *cutting*
d. Waktu sirkulasi tidak cukup
e. Pengeboran secara terus menerus
f. Pengeboran yang tidak menyebar

- Tanda peringatan

a. ROP tinggi dengan *cutting return* yang buruk
b. Peningkatan torsi, seret dan tekanan pompa
c. *Overpull* pada koneksi dan saat tersandung
d. Isi di bagian bawah setelah koneksi dan perjalanan
e. Sirkulasi dibatasi
f. Peningkatan padatan Low Gravity Solids (LGS) dan berat lumpur

- Pencegahan

a. Reologi lumpur yang tepat
b.Gunakan laju alir maksimum (GPM) untuk ukuran lubang masing-masing
c. Kontrol ROP jika perlu
d. Pompa untuk membersihkan lubang
e. *Wiper trip* setelah motor dijalankan
f. Meningkatkan rotasi *string bor*
g. Sirkulasikan waktu yang lebih lama

2.3.2.2 Reactive Formation

Reactive Formation yang paling umum ditemui selama operasi pengeboran adalah formasi serpih, terutama serpihan montmorillonit dan bentonit. Jenis serpih ini cenderung banyak ketika terhidrasi saat bersentuhan dengan lumpur berbasis air. Formasi serpihan bertekanan juga memiliki tantangan karena dapat dipecah dengan mudah karena sifat serpih yang rapuh. Solusi umum untuk mengatasi pembentukan reaktif adalah dengan menggunakan cairan pengeboran penghambat yang dapat menghambat reaksi pembentukan. Di antara

penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan pembentukan reaktif yang macet adalah:

- Penyebab

a. Pengeboran serpih reaktif dengan lumpur non-penghambat
b. Pengeboran serpih bertekanan dengan berat lumpur tidak mencukupi

- Tanda peringatan

a. Peningkatan *Funnel Viscosity* (FV), *Viskositas Plastik* (PV), *Yield Point* (YP), *Cation Exchange Capasity* (CEC)
b. Peningkatan torsi, seret dan tekanan pompa
c. Overpull pada koneksi dan saat tersandung
d. Bit dan BHA baling
e. Tekanan pori meningkat
f. Isi koneksi dan setelah perjalanan
g. Sirkulasi dibatasi

- Pencegahan

a. Gunakan lumpur yang dihambat (misalnya: lumpur KCL PHPA, lumpur berbasis minyak)
b. Meningkatkan berat lumpur
c. Minimalkan waktu pembukaan sumur
d. Gunakan sapuan untuk membersihkan sumur

2.3.2.3 Unconsolidated Zone

Pengeboran melalui formasi yang tidak terkonsolidasi dapat menyebabkan jatuhnya formasi yang berlebihan ke dalam lubang bor karena ketidakstabilan lubang sumur. Studi geomekanik wellbore harus dilakukan jika potensi zona lemah diharapkan selama operasi pengeboran. Studi geomekanik akan dapat memberikan wawasan tentang kemampuan kekuatan sumur bor untuk mempertahankan tekanan formasi. Di antara penyebabnya,

tanda-tanda peringatan dan pencegahan zona tidak terkonsolidasi macet adalah:

- Penyebab

a. Pengeboran formasi yang tidak disemen
b. *Filter cake* sedikit atau tidak ada
c. Pengeboran formasi retak alami

- Tanda peringatan

a. Peralatan kontrol padatan sarat dengan pasir
b. Kerugian rembesan
c. Isi koneksi dan setelah / *stuck*
d. Peningkatan torsi secara mendadak
e. Sirkulasi dibatasi
f. Rongga besar yang terdapat di shaker

- Pencegahan

a. Berikan kualitas *filter cake* yang baik
b. Gunakan bahan jembatan yang sesuai
c. Hindari waktu sirkulasi yang berlebihan
d. Gunakan sweep untuk menjaga lubang tetap bersih
e. Meningkatkan reologi lumpur

2.3.2.4 Cement Related Stuck

Jatuhnya blok semen ke dalam lubang sumur dapat menyebabkan pipa menjadi tidak bergerak hal ini umum terjadi pada casing ratholes atau *mud*. Di antara penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan semen terkait macet adalah:

- Penyebab

a. Blok semen jatuh dari sekitar sepatu casing, squeeze atau *sidetrack*

b. Berusaha bersirkulasi saat bor direndam dalam semen lunak

- Tanda peringatan

a. *Mouse Hole casing* yang berlebihan
b. Peningkatan torsi
c. Sirkulasi dibatasi
d. Gerakan pipa terbatas

- Pencegahan

a. Batasi *mouse hole* yang terjadi pada casing
b. Berikan waktu yang cukup untuk memasang semen
c. Kurangi kecepatan trip pada bagian semen yang berlawanan
d. Hitung puncak semen dan mulailah sirkulasi dua tegakan di atas
e. Kontrol pengeboran di semen lunak

2.3.2.5 Junk in Hole

Sampah adalah benda apa pun yang tidak boleh ada di lubang. Sampah seperti pecahan kerucut rol atau pemotong PDC cukup besar untuk menyumbat pipa. Setelah pipa bebas dari macet, sampah harus diambil dari lubang menggunakan teknik seperti magnet dan keranjang sampah. Jika memancing *junk out* dari lubang tidak memungkinkan, junk mill akan digunakan untuk menggiling junk. Di antara penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan sampah di dalam lubang adalah:

- Penyebab

a. Sampah tak sengaja jatuh ke dalam lubang
b. Kegagalan peralatan downhole

- Tanda peringatan

a. Dapat terjadi kapan saja

b. Bagian logam di shaker
c. Gerakan pipa parsial dimungkinkan

- Pencegahan

a. Ikuti praktik yang baik
b. Tutup lubangnya
c. Periksa alat downhole secara teratur

2.3.2.6 Key Setting

Key seat dihasilkan oleh pipa bor yang berputar melawan dinding lubang, atau penyimpangan lainnya. Ini menciptakan alur dalam formasi, dengan perkiraan diameter badan pipa bor. Selama perjalanan keluar dari lubang, sambungan alat dapat mengganjal di *key seat* karena diameternya yang lebih besar. Doglegs adalah penyebab paling umum dari kursi utama, karena mereka menyebabkan pipa bor terpaksa kontak dengan formasi. Semakin besar tingkat keparahan dogleg, semakin besar beban samping, dan semakin *key seat* utama dapat dikembangkan. Di antara penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan kunci tempat duduk macet adalah:

- Penyebab

a. Pipa Bor memakai *key seat* dalam formasi
b. Sering dikaitkan dengan dogleg
c. Bor kerah kerah ke alur sempit kursi kunci

- Tanda peringatan

a. Bagian dogleg parah
b. Pipa berputar di tempat yang sama untuk waktu yang lama

- Pencegahan

a. Minimalkan keparahan dogleg
b. Wiper trip / rim bagian dogleg

c. Gunakan penghapus key seat atau reamer

2.3.2.7 *Undergauge Hole*

U*ndergauge Hole* biasanya disebabkan oleh pengeboran menggunakan bit yang tidak lagi di terukur. Bit yang aus dapat disebabkan oleh pengeboran berlebihan dari formasi abrasif. Lubang undergauge akan menyebabkan masalah saat berjalan di lubang sedikit baru. Di antara penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan lubang undergauge macet adalah:

- Penyebab

a. Jalankan di lubang (RIH) dengan bit pengukur penuh dan BHA dalam lubang undergauge

- Tanda peringatan

a. Undergauge bit diamati di permukaan setelah selesai pengeboran
b. Lubang yang ketat
c. Hilangnya berat tali secara tiba-tiba

- Pencegahan

a. Ukur bit lama dan baru
b. Rim 3 sendi terakhir setidaknya ke bawah
c. Jangan pernah memaksa bit melewati titik ketat, zsebaliknya lakukan reaming

2.3.2.8 Mobile Formation

Dalam beberapa formasi garam atau serpih, mereka dapat berubah bentuk secara plastis setelah ruang kosong dibuat melalui pengeboran. Jenis formasi ini dapat merambah ke dalam lubang menyebabkan pipa macet. Di antara penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan pembentukan ponsel yang macet adalah:

- Penyebab

a. Pengeboran *plastic salt* atau pembentukan serpih

- Tanda peringatan

a. Peningkatan torsi dan seret
b. Overpull saat tersandung keluar dari lubang

- Pencegahan

a. Pertahankan berat lumpur yang cukup
b. Pilih sistem lumpur yang tepat
c. Sering reaming / tersandung
d. Gunakan bit eksentrik
e. Minimalkan waktu pembukaan lubang

2.3.2.9 Wellbore Geometry

Dogleg dan tepian yang dibuat saat pengeboran adalah masalah utama dalam geometri lubang sumur. Tali bor cenderung macet di bagian sumur dengan perubahan radikal dalam sudut dan arah lubang pada jarak pendek. Kondisi ini menjadi semakin kritis jika perakitan lubang dasar yang kaku dikerahkan ke dalam lubang sumur. BHA kaku memiliki waktu yang sulit untuk ditoleransi dan melewati bagian baik dengan dogleg tinggi. Di antara penyebabnya, tanda-tanda peringatan dan pencegahan geometri lubang sumur yang tersangkut adalah:

- Penyebab

a. Bor formasi keras / lembut
b. Sering berubah sudut / arah lubang
c. Pengeboran formasi retak / salah
d. Sudut kemiringan tinggi

- Tanda peringatan

a. Overpull pada koneksi & perjalanan
b. Peningkatan torsi dan seret

- Pencegahan

a. Minimalkan perubahan mata bor yang tajam dan sering
b. Hindari sirkulasi berlarut-larut pada pembentukan lunak
c. Minimalkan perubahan BHA

2.4 Model Prediksi *Stuck Pipe*

Beberapa tahun belakangan, banyak peneliti telah berusaha untuk menghasilkan model prediksi menggunakan komputer untuk mengukur risiko *stuck pipe*. Dengan meninjau penelitian yang telah dilakukan selama, didapati bahwa metodologi yang digunakan bergeser dari analisis statistik sederhana berupa regresi kearah menggabungkan berbagai teknik komputasi dalam beberapa tahun terakhir.

2.4.1 Statistical Analysis Model

Prediksi *stuck pipe* menggunakan model komputasi telah dipelopori oleh Hempkins et al. pada tahun 1987 [25]. Dalam penelitian ini, analisis statistik multivariat telah diterapkan untuk membuat model statistik yang dapat digunakan untuk membedakan antara 3 kelompok: mekanik macet, diferensial terjebak dan kasus tidak macet. Data dari 131 kasus peristiwa terjebak pipa dikumpulkan. Set data terdiri dari parameter pengeboran seperti spesifikasi BHA, kedalaman dan sudut lubang, sifat lumpur, hidrolik, torsi dan seret dll. Tabel di bawah ini merangkum parameter pengeboran yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2.2 Analisa Variabel yang Berpengaruh (Hempkins et al., 1987)

Variabel	Parameter *Drilling*
1	Measure Depth
2	True Vertical Depth (TVD)
3	Average drill Gas
4	Maximum Drill Gas
5	Connection Gas
6	Trip Gas
7	Survey Angle
8	Mud Weight
9	Plastic Viscosity
10	Yield Point
11	10-second Gel
12	10-minute gel
13	Water Loss
14	Filtrate PH
15	Filtrate Chloride
16	Filtrate Calcium
17	Oil Percent
18	Water Percent
19	Hole Size
20	Drill-Collar length
21	Time *Stuck*
22	Torque
23	Drag

2.4.2 Metode *Principal Component Analysis* (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) adalah transformasi linear untuk menentukan sistem koordinat yang baru dari dataset. Teknik PCA dapat mengurangi dimensi dari dataset tanpa tidak menghilangkan informasi penting dari dataset.

Di PCA, jumlah komponen sama dengan jumlah variabel asli sehingga tidak ada informasi yang hilang dalam proses. Komponen baru adalah fungsi linear dari variabel asli dan memiliki dua sifat penting dan berguna, yaitu independen satu sama lain dan nilai eigen yang berhubungan mencerminkan kepentingan relatif mereka.

Properti pertama memastikan bahwa multikolinearitas dihindari jika komponen yang dihasilkan digunakan dalam regresi, dan properti kedua memungkinkan kita untuk menggunakan komponen yang lebih sedikit untuk menangkap sebagian besar informasi dalam kumpulan data multivariat. Secara umum, rekening beberapa komponen pertama untuk sebagian besar dari total varian.

Variabel-variabel baru yang terbentuk hasil dari PCA disebut sebagai *principle component* dan nilai-nilai bentukan dari variabel ini disebut sebagai *Principle Component Score*. Variabel yang baru merupakan kombinasi linear dari variabel-variabel asli. Variabel baru pertama berhubungan dengan *variance* maximum dari data. Variabel baru kedua menunjukkan variance maximum yang belum terhitung pada variabel pertama. Variabel baru ketiga menunjukkan *variance* maximum yang belum terhitung pada kedua variabel pertama. Variabel baru ke-p menunjukkan variansi maximum yang belum terhitung pada p-1 variabel terdahulu. Seluruh p variabel baru tidak berkorelasi [21].

2.4.3 Metode Partial Least Squares (PLS)

Partial Least Squares (PLS) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah multikolinier. PLS merupakan perpaduan antara *Principal Component Analysis* (PCA) dan regresi linier ganda. PCA merupakan suatu metode untuk mereduksi banyaknya peubah bebas menjadi beberapa peubah baru yang dapat menjelaskan dengan baik keragaman data dan peubah baru tersebut tidak berkorelasi. Untuk membentuk hubungan antara peubah respon dan peubah bebas, PLS membentuk peubah bebas yang baru yang disebut faktor, peubah laten, atau komponen, di mana masing-masing komponen yang terbentuk merupakan kombinasi linier dari peubah-peubah bebas. Tujuan utama dari PLS adalah membentuk komponen yang dapat menangkap informasi dari peubah bebas untuk menduga peubah respon [22].

Partial Least Square (PLS) adalah metode untuk membangun model prediksi ketika faktor banyak dan sangat kolinier. Perhatikan bahwa penekanannya pada memprediksi respon dan belum tentu berusaha untuk memahami hubungan yang mendasari antara variabel. Sebagai contoh, PLS biasanya tidak sesuai untuk menyaring faktor yang memiliki efek yang dapat diabaikan pada respon, namun ketika prediksi adalah
tujuan dan tidak perlu praktis untuk membatasi jumlah faktor yang diukur, PLS dapat menjadi alat yang berguna.

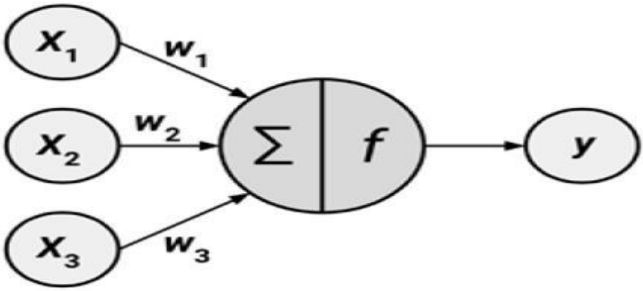
Metode ini berguna untuk menghubungkan dua matriks data (X dan Y) dengan model *linear* multivariat, tetapi melampaui regresi tradisional karena model juga struktur X dan Y. Kegunaan PLS berasal dari kemampuannya untuk menganalisis data dengan jumlah banyak , *noise*, kolinier, dan variabel yang tidak lengkap di kedua X dan Y. PLS memiliki sifat yang diinginkan bahwa ketepatan parameter model meningkat dengan meningkatnya jumlah variabel dan pengamatan yang relevan. Masalah regresi, yaitu bagaimana model satu atau

beberapa variabel dependen, tanggapan (Y) melalui serangkaian variabel prediktor (X). Hal itu adalah salah satu masalah data analitis yang paling umum dalam ilmu pengetahuan dan teknologi [23].

2.4.4 Model Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan mampu mencapai keberhasilan besar yang dicapai oleh jaringan saraf di bidang keilmuan yang beragam seperti teknik, keuangan, kedokteran, geologi dan fisik [34]. Jaringan saraf tiruan (ANN) dirancang berdasarkan model konseptual aktivitas otak manusia [35]. Transmisi sinyal di otak manusia dimulai dengan proses biokimia yang memungkinkan sinyal masuk diterima oleh dendrit sel. Proses tersebut menimbang impuls berdasarkan frekuensi atau kepentingan relatif. Sinyal yang masuk terakumulasi di badan sel dan akhirnya sel menembak dan mentransmisikan sinyal keluaran melalui proses elektrokimia ke akson setelah ambang batas tercapai. Sinyal listrik sekali lagi diproses sebagai sinyal kimia di terminal akson, dan untuk diteruskan ke neuron tetangga melintasi celah kecil yang dikenal sebagai sinaps.

Jaringan saraf tiruan mendefinisikan hubungan antara sinyal input dan sinyal output [36]. Mirip dengan neuron biologis, setiap sinyal dendrit ditimbang. Kemudian, semua sinyal input berbobot ditambahkan dan selanjutnya diproses oleh fungsi aktivasi. Gambar 2.7 di bawah ini merangkum proses yang disebutkan di atas. x variabel mewakili sinyal input, w variabel mewakili bobot, f mewakili fungsi aktivasi dan y mewakili sinyal output.



Gambar 2.7 Peta jalan pemrosesan sinyal jaringan saraf tiruan[12]

Dimana Sinyal keluaran dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini.

$$y(x) = f\left(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i\right) \quad (2.4)$$

2.4.5 Duelist Algorithm

Duelist algorithm merupakan suatu algoritma yang meniru dari kelakuan seorang petarung tentang cara meningkatkan kemampuannya dalam hal bertarung dengan lawannya. Pertama, populasi petarung terdaftar. Setiap petarung memiliki sifat yang dikodekan ke dalam array biner dari satu dan nol. Setelah itu, masing-masing petarung dievaluasi untuk menentukan kemampuan bertempur mereka dan kemudian jadwal duel diatur untuk setiap petarung yang berisi satu set peserta duel, dalam duel ini, setiap petarung akan bertarung satu lawan satu dengan petarung lainnya. Dalam pertarungan satu lawan satu ini digunakan gladiator pertempuran untuk menghindari lokal optimum.

Setiap duel akan menghasilkan pemenang dan pecundang berdasarkan kemampuan berkelahi mereka dan

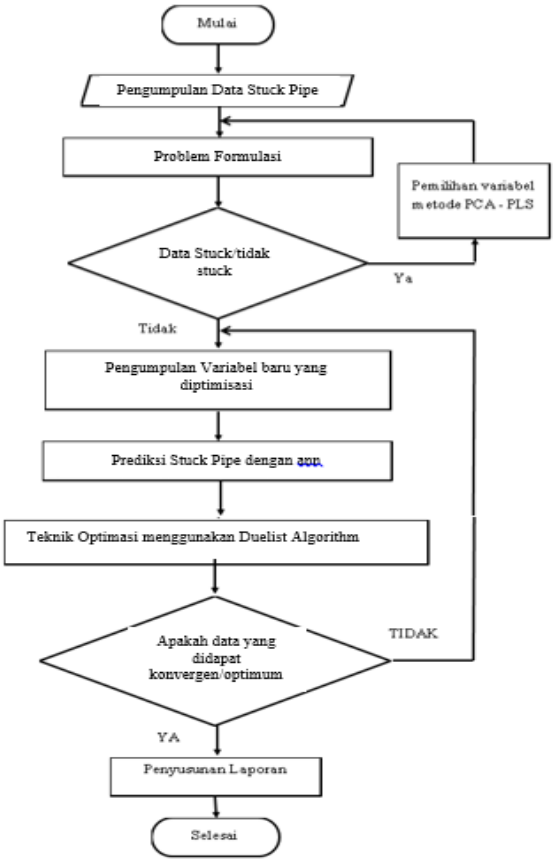
keberuntungan. Setelah pertandingan, juara ditentukan. Juara adalah mereka yang memiliki kemampuan pertempuran terbaik dari semua petarung. Kemudian, masing-masing pemenang dan petarung yang kalah bisa meningkatkan kemampuan mereka berkelahi sementara masing-masing juara melatih petarung baru yang sebagus dirinya sendiri dan akan bergabung pertandingan berikutnya itu.

Setiap petarung yang kalah akan belajar dari lawan mereka bagaimana menjadi petarung (*duelist*) yang lebih baik dengan mengganti bagian tertentu dari berbagai biner mereka dengan berbagai biner pemenang nilai. Di sisi lain, pemenang akan mencoba untuk berinovasi baru teknik atau keterampilan dengan mengubah nilai biner array mereka ke dalam sesuatu yang baru. Setelah itu, masing-masing kemampuan bertarung petarung (*duelist*) dievaluasi kembali untuk pertandingan berikutnya.

Semua petarung kemudian dievaluasi ulang melalui pasca kualifikasi dan diurutkan untuk menentukan yang pantas menjadi juara. Karena ada petarung baru yang dilatih oleh juara, semua petarung terburuk akan dieliminasi untuk mempertahankan petarung jumlah dalam turnamen. *DUELIST ALGORTIHM* memiliki keunggulan daripada aloritma lain, seperti PSO (*Particle Swarm Optimization*) dan *Genetic Algorithm* [28]

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

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



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.1. Pengumpulan Data *Stuck Pipe*

Pada tugas akhir ini, Pengumpulan data *stuck pipe* yang akan digunakan untuk penelitian ini dikumpulkan dari *software data analyze*. *Software* ini merupakan milik perusahaan Halliburton yang dapat menunjukkan akses data pada operasi *drilling* PSCB. Software ini dapat mengambil dan menunjukkan data secara sistematis yang diambil dari database data operasi *drilling*. Database tersebut terdiri dari semua jenis data yang terdapat pada operasi *drilling* termasuk didalamnya terdapat data laporan harian operasi *drilling*, spesifikasi BHA, keadaan lubang seperti kemiringan, azimuth, diameter lubang, MD, TVD; *casing OD* dan ukuran ID, kondisi operasi seperti laju aliran, kecepatan rotasi dan ROP.

3.2. Analisis Data

Setelah mengekstrak data *stuck* dan *non-stuck pipe* dari software data analyzer, parameter pengeboran yang telah didapat, di kumpulkan dan diubah dalam format Excel. Walaupun beberapa penyaringan dasar sudah dilakukan untuk menghilangkan data yang kasar dan data yang tidak teridentifikasi, tetapi data tidak sepenuhnya diperiksa secara menyeluruh. Oleh karena itu langkah selanjutnya adalah memeriksa kualitas dan kelengkapan kerja. Persentase kelengkapan data diukur menggunakan rumus di bawah ini :

$$Data\ Completeness\ (\%) = \frac{Number\ of\ cells\ with\ data\ value}{Total\ number\ of\ data\ row} * 100 \qquad (3.1)$$

Setalah dilakukan pengecekan terhadap data input untuk ann didapat bahwa beberapa nilai data seperti “kalsium (ppm)” dan “Cl- (ppm)” memiliki kelengkapan data yang relatif rendah. Kelengkapan data diukur masing-masing 38,89% dan 61,11% untuk data *stuck*, 19,78% dan 26,92% masing-masing untuk data *non-stuck*. Oleh karena itu, diputuskan bahwa dua kolom data ini akan dihapus pada input pelatihan ann karena parameter

pengeboran tidak lagi representatif dengan titik data yang hilang begitu tinggi.

Tabel di bawah ini menunjukkan daftar parameter pengeboran yang akan dimasukkan ke dalam model Artificial Neural Network (ANN). 20 parameter pengeboran telah diselesaikan setelah mengambil pertimbangan yang disebutkan di atas.

Tabel 3.1 *Drilling parameters* untuk *model training*

No	Parameters	Abbreviation	Unit
1	Yield Point	YP	lbf / 100 ft^2
2	Plastic Viscosity	PV	Cp
3	10 Second Gel	GEL1	lbf / 100 ft^2
4	10 Minute Gel	GEL2	lbf / 100 ft^2
5	Filtrate(API/HPHT)	FILTR	cc / 30 min
6	Mud Type	MUD	*dimensionless
7	Rate of Penetration	ROP	ft / hour
8	Solid Percent	SOLID	*fraction
9	Water Persent	WTR	*fraction
10	Oil Percent	OIL	*fraction
11	pH	PH	*dimensionless
12	Mud Weight	MW	Ppg
13	Open hole diameter	HOLE	In
14	Drill colar outside diameter	DCs	In
15	BHA Length	BHA	Ft
16	Measured Depth	MD	M
17	Well inclination angle	INC	Degree
18	Rotation per Minute	RPM	Rotary/min
19	Flow Rate	GPM	gallon / min
20	Stuck Condition	STUCK	*dimensionless

Langkah terakhir mempersiapkan set data adalah mengubah kolom data kualitatif seperti tipe lumpur dan kondisi *stuck* / tidak *stuck* ke format biner sehingga set data dapat dibaca oleh perangkat lunak pemrograman pembelajaran mesin. Untuk kondisi *stuck* /

non-stuck, 1 ditugaskan untuk semua data yang *stuck* sementara 0 ditugaskan untuk semua data yang *non-stuck.*

Pada akhir proses peninjauan, 123 baris data *stuck* dan 145 baris data non-*stuck* telah berhasil dikumpulkan. Secara total, 268 baris set data akan digunakan dalam pelatihan dan pengujian model pembelajaran mesin. Set data lengkap dapat dilihat di Lampiran

3.3. Perumusan Masalah Optimisasi

Problem formulasi meliputi fungsi objektif, batasan – batasan dan penentuan variabel yang dioptimisasi. Fungsi objektif pada tugas akhir kali ini adalah meminimalkan operational cost dari proses *drilling*. Alasan pemilihan *operational cost* sebagai fungsi objektif dikarenakan setiap perusahaan pasti menginginkan profit yang maksimal dengan tetap menjaga kondisi pipa agar tidak terjadi kondisi *stuck pipe*. Penelitian yang telah dilakukan mengenai *stuck pipe* hingga saat ini masih belum mempertimbangkan sisi ekonomi. Sedangkan batasan pada penelitian kali ini adalah untuk menghindari kondisi *stuck pipe* yang dapat dialami pada proses *drilling*. Variabel yang dioptimisasi adalah RPM dan laju aliran mud. Problem formulasi meliputi fungsi objektif, batasan – batasan dan variabel yang dioptimisasi dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$J_{min} = Biaya\ Listrik\ pada\ motor\ drilling + Biaya\ injeksi\ mud$$

$$= \text{cost.Mlis} + \text{Cost.Mmud}$$

$$= (\text{RPM} * 414{,}76) + (\text{Laju aliran lumpur} * 817)$$

Dimana nilai 414,76 dollar/rpm adalah biaya yang didapat dari hasil perkalian harga listrik per kwh dengan nilai maksimum rotasi dari bor *drilling* dan 817 dollar/GPM merupakan harga dari mud yang digunakan pada proses *drilling*.

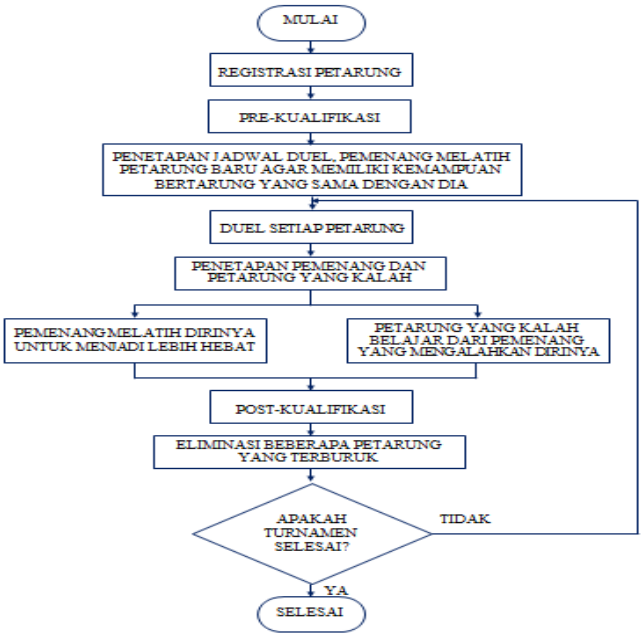
3.4. Pemodelan *Stuck Pipe* Menggunakan Artificial Neural Network

Pada penelitian kali ini variabel input yang digunakan adalah menggunakan artificial neural network. Model terbaik dari ANN

dipilih untuk dibandingkan untuk menentukan model pembelajaran mesin terbaik dalam memprediksi pipa yang tersangkut. Sebagai perbandingan, disimpulkan bahwa model ANN dapat bekerja lebih baik dalam memprediksi pipa yang macet. Akurasi, Sensitivitas dan Spesifisitas model ANN terbaik secara konsisten lebih tinggi. Model ANN terbaik memiliki jumlah kasus yang diprediksi dengan benar dan lebih rendah. Kesimpulannya, sejauh penelitian ini menyangkut, model pembelajaran mesin terbaik untuk diterapkan dalam membangun prediksi pipa yang tersangkut.

3.5. Teknik Optimisasi Menggunakan Duelist Algorithm

Optimisasi yang dilakukan kali ini adalah optimisasi bobot yang berpengaruh pada nilai hidden node. Pada penelitian kali ini ,digunakan 2 hidden node pada model artificial neural network. Setelah dilakukan training hingga didapatkan bobot pada hidden layer (W) dan bobot pada output layer (V), maka dilakukan optimisasi dengan menggunakan Duelist Algorithm. Tolok ukur dari optimisasi kali ini adalah menurunnya harga RMSE yang dihasilkan dari proses optimisasi Duelist Algorithm ini.



Gambar 3.3 Diagram alur optimisasi

3.6. Analisis Hasil Optimisasi Data

Analisis yang akan dilakukan dari hasil permodelan *stuck pipe* dengan menggunakan artificial neural network dan dioptimisasi menggunakan duelist algorithm kali ini adalah dengan membandingkan hasil data setelah dilakukan optimisasi dengan data sebelum dilakukan optimisasi.

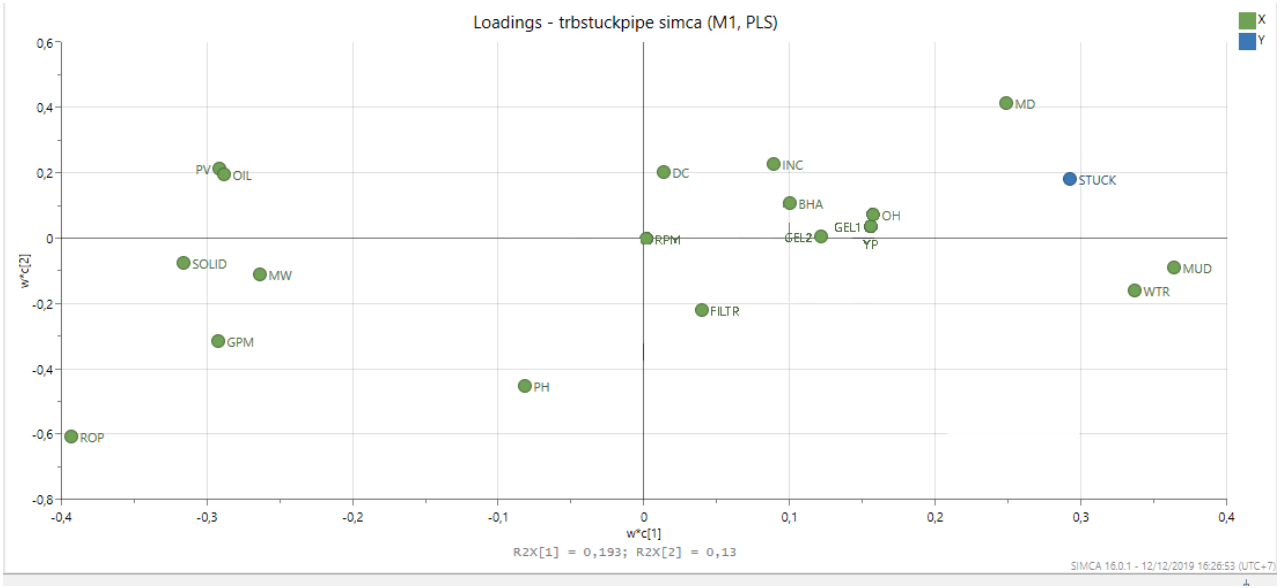
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis PCA-PLS

Data *stuck pipe* yang telah didapat dianalisis tingkat keeratan hubungan antara variabel bebas melalui besaran koefisien korelasi. Pada penelitian kali ini, digunakan metode PCA dan PLS untuk mendapatkan varaibel terpenting yang akan digunakan untuk proses selanjutnya, yaitu menentukan variabel mana yang paling berpengaruh pada *stuck pipe* dan akan digunakan dalam pemodelan artificial neural network. Namun, sebelum metode PCA, terlebih dahulu dilakukan proses zonasi antara variabel MUD (sebagai sumbu x) dan variabel kedalaman atau ROP (sebagai sumbu y). Proses zonasi ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi pengolahan dalam mendapatkan hubungan variabel-variabel.

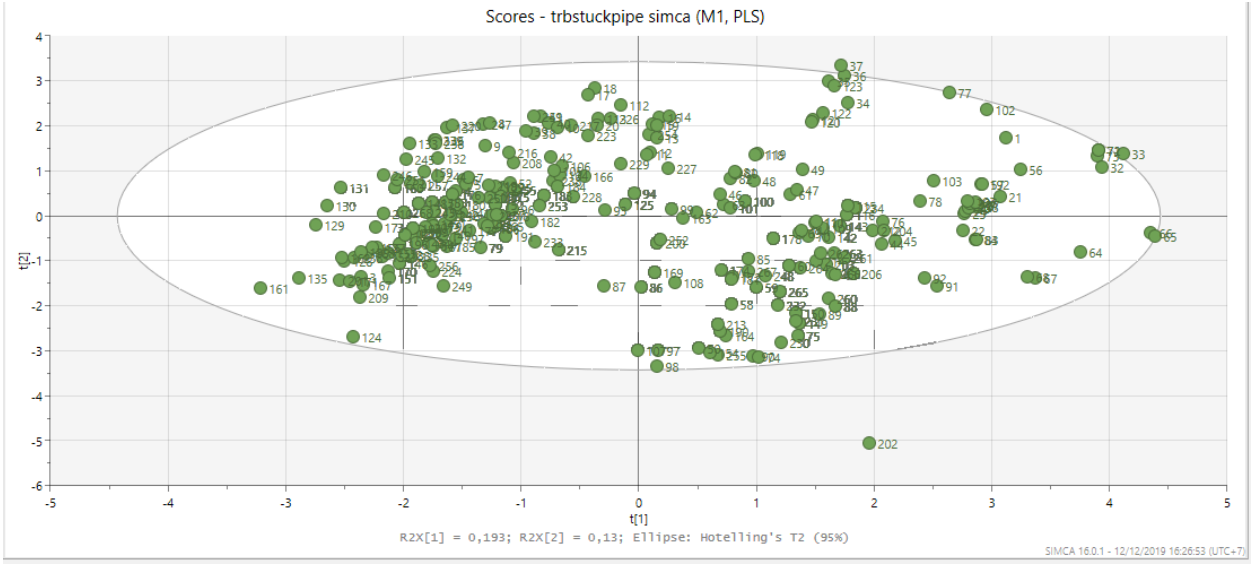
Setelah itu maka dilakukan metode PCA – PLS untuk mendapat variabel penting. Metode PCA dilakukan dengan cara membuat *cluster* untuk variabel yang berdekatan. Keragaman cenderung terkumpul pada beberapa komponen utama pertama dan semakin sedikit yang terkumpul pada komponen utama terakhir, sehingga komponen-komponen utama pada urutan terakhir dapat diabaikan tanpa kehilangan informasi. Keragaman data ini memiliki prosentase yang tinggi untuk mewakili data-data yang lain [32]. Pada tugas akhir kali ini, disajikan juga hasil PCA berupa *scatter plot*. Untuk beberapa data yang berada di *outlier*, maka data pada zonasi tersebut masih mengandung variabel yang multikolinier.

4.1.1 Hasil PCA



Gambar 4. 1 PCA Zonasi 1

Pada grafik hasil PCA di atas, didapatkan 2 cluster variabel yang tidak multikolinier dan saling berdekatan, yaitu PV-OIL dan OH-GEL1-YP. Dua *Cluster* di atas menunjukkan bahwa variabel-variabel tersebut memiliki keragaman yang tinggi, sehingga dapat mewakili variabel lain untuk diproses lebih lanjut. Dari data tersebut diambil masing masing satu variabel yang dapat di interpretasi dan dapat diukur. Pada kasus kali ini variabel yang diambil adalah OIL dan OH. Sehingga variabel sisanya tidak di proses.

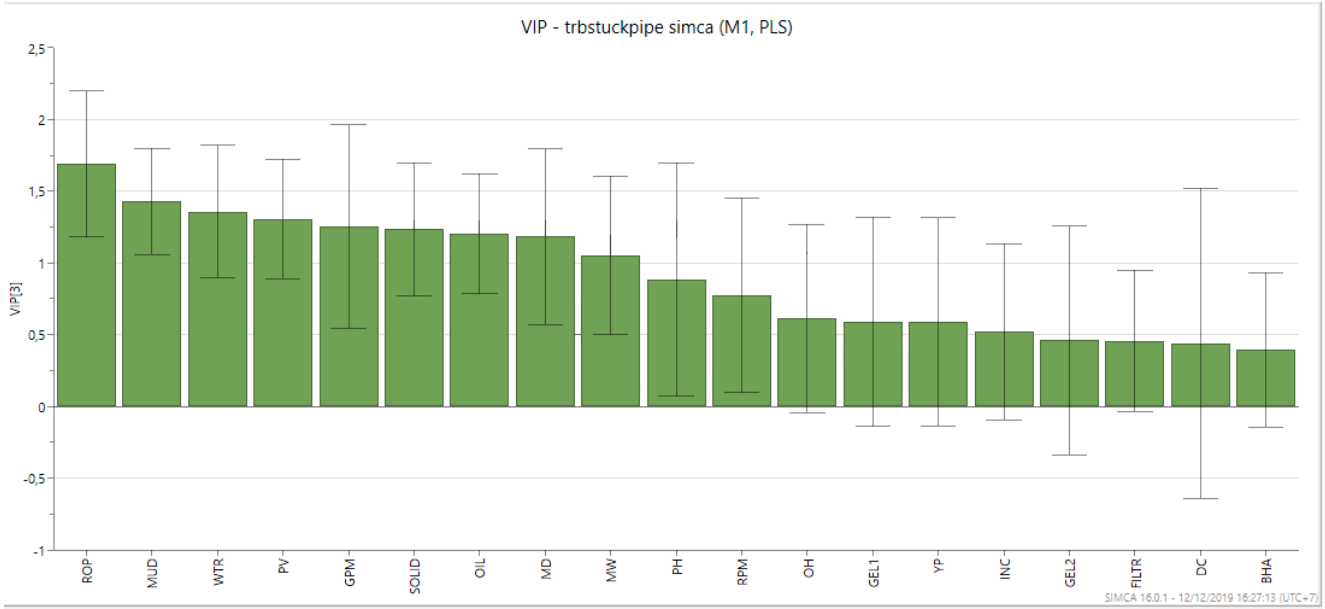


Gambar 4. 2 *Scatter Plot* Zonasi 1

Gambar 4.2 menunjukkan terkumpulnya beberapa variabel yang menggambarkan bahwa terdapat keragaman data yang dapat mewakili variabel lain [32]. Hasil variabel yang diperoleh dari metode PCA adalah PV, OIL, OH, GEL1 dan YP oleh karena variabel PV, GEL 1 dan YP sulit untuk di interpretasi maka ketiga variabel ini tidak diproses. Sehingga hanya variabel OIL dan OH yang akan digunakan. Tidak ada variabel penting dikarenakan fluktuasi data tinggi yang menyebabkan standar deviasi tinggi

4.2.1 Hasil PLS

Metode PLS ini bertujuan untuk mengetahui kompleksitas hubungan variabel-variabel. Variabel yang dijadikan output (y) adalah ROP. Hal ini dikarenakan log ROP memiliki komponen terkecil dalam prosesnya dibandingkan dengan log lain. Sumbu y pada gambar 4.21 adalah *Variabel Importance for the Projection* (VIP) yang mengartikan besar pengaruh suatu variabel x terhadap variabel y dan ini merupakan hasil dari keluaran perangkat lunak SIMCA-P. Nilai VIP lebih dari 1 mengindikasikan variabel x yang penting, nilai kurang dari 0.5 mengindikasikan variabel x yang tidak penting dan nilai antara 0.5 – 1 merupakan variabel dalam zona abu-abu yang artinya pengaruh variabel x tersebut terhadap y tergantung dari data set yang digunakan [33]. Batasan nilai minimal 1 pada tugas akhir ini untuk menentukan variabel yang berpengaruh dalam predisiksi terjadinya kondisi *stuck pipe* pada proses *drilling*.



Gambar 4.3 PLS Zonasi

Hasil PLS didapatkan variabel yang GEL2, FILTR,DC dan BHA. Hal ini ditunjukkan dari nilai VIP keempat variabel tersebut bernilai kurang dari 0,5. Hal ini mengindikasikan bahwa mengindikasikan variabel x yang tidak penting dan variabel tersebut tidak digunakan pada pemodelan *artificial neural network*. Sedangkan variabel yang berada di atas 1 yang artinya variabel tersebut berpengaruh pada terjadinya kondisi *stuck pipe* pada proses *drilling*. Sumbu Y adalah variabel ROP. Hal ini dikarenakan variabel ROP memiliki kompleksitas nilai yang terbaik dibadingkan variabel lain.

Hasil dari metode PLS di atas, apabila direkapitulasi dalam bentuk tabel, maka seperti berikut:

Tabel 4. 1 Hasil proses data PLS

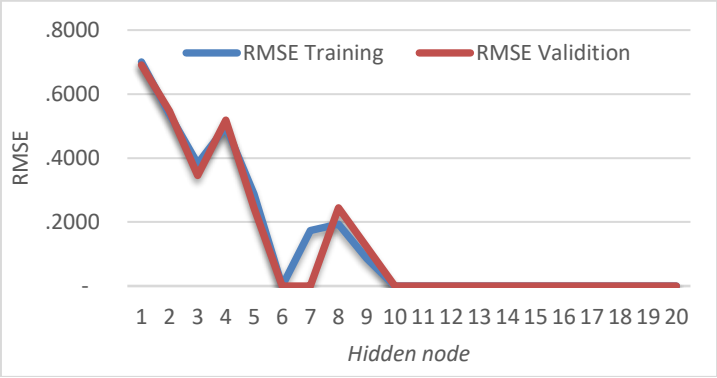
VARIABEL	KETERANGAN
ROP	Variabel penting
MUD	Variabel penting
WTR	Variabel penting
GEL2	Variabel tidak penting
FILTR	Variabel tidak penting
DC	Variabel tidak penting
BHA	Variabel tidak penting
PV	Variabel penting
GPM	Variabel penting
SOLID	Variabel penting
OIL	Variabel penting
MD	Variabel penting
MW	Variabel penting
PH	Variabel penting
RPM	Variabel penting
OH	Variabel penting
GEL1	Variabel penting
YP	Variabel penting
INC	Variabel penting
DEPT	Variabel penting

Didapatkan variabel penting dari proses data dengan metode PLS, yaitu ROP, MUD, WTR, PV, GPM, SOLID, OIL, MD, MW, PH, RPM, OH, GEL1, YP, INC dan DEPT, namun setelah dilakukan analisa VIP menunjukkan bahwa variabel GEL2, FILTR, DC, dan BHA, maka tidak bisa diikutkan untuk proses selanjutnya, sehingga diperoleh variabel didapatkan variabel diatas yang akan diproses selanjutnya.

4.3. Permodelan *Stuck Pipe* Menggunakan *Artificial Neural Network*

Pada penelitian kali ini dilakukan perbandingan antara data yang belum dilakukan metode PCA-PLS dengan data yang telah melalui metode PCA-PLS sehingga terdapat perbedaan jumlah input pada permodelan jaringan syaraf tiruan. Pada permodelan pertama terdapat 19 input sedangkan setalah melalui pembuangan variabel redundant pada PCA dan memilih variabel penting pada metode PLS dengan hanya menggunakan variabel yang memiliki nilai VIP diatas 0,5 terdapat 12 input.

Berikut merupakan hasil latih jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan 19 variabel sebelum menggunakan variabel yang telah melalui metode PCA-PLS.



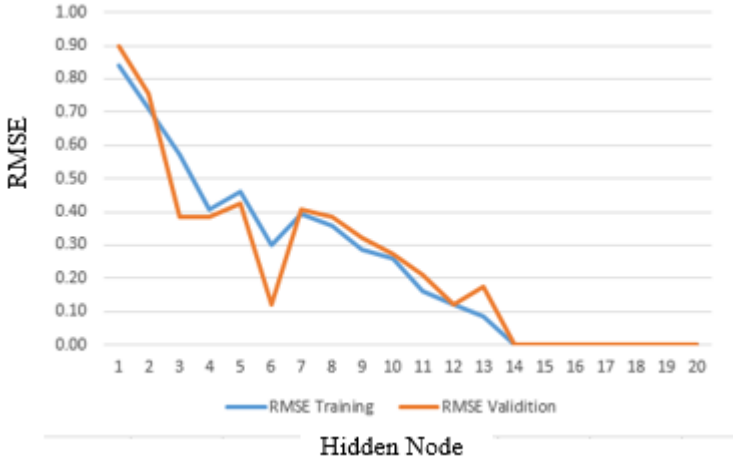
Gambar 4.4 Jumlah *Hidden Node* Terhadap RMSE

Hasil *training* dan validasi dari pelatihan jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan 19 variabel didapat nilai RMSE terkecil dengan *hidden node* terkecil dengan nilai RMSE yaitu 0 pada *hidden node* 7. Garis berwarna biru merupakan nilai RMSE training dan garis berwarna kuning merupakan data RMSE Validasi.

Data yang digunakan pada prediksi keadaan *stuck pipe* kali ini adalah 12 variabel yang dilatih dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. *Output* dari *training* ini adalah operasional status

(1=stuck, 0=tidak stuck). Pada model kali ini, dilakukan dengan menggunakan 1 *input layer* yang terdapat 12 *input node*, 14 *hidden layer* dengan ditraining 1 hingga 30 *hidden node*, dan 1 *output layer* dalam 14 *hidden layer*.

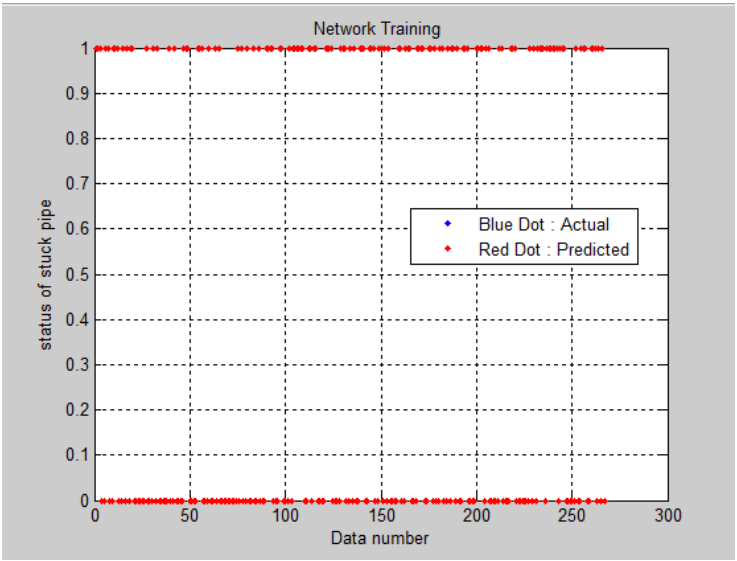
Hasil dari pelatihan jaringan syaraf tiruan pada tugas akhir ini didapat nilai RMSE terkecil dengan *hidden node* terkecil dengan nilai RMSE yaitu 0 pada *hidden node* 14. Garis berwarna biru merupakan nilai RMSE training dan garis berwarna kuning merupakan data RMSE Validasi. Sumbu x merupakan *hidden layer* dan sumbu y merupakan data RMSE seperti pada gambar 4.5 berikut:



Gambar 4. 5 Jumlah *Hidden Node* Terhadap RMSE

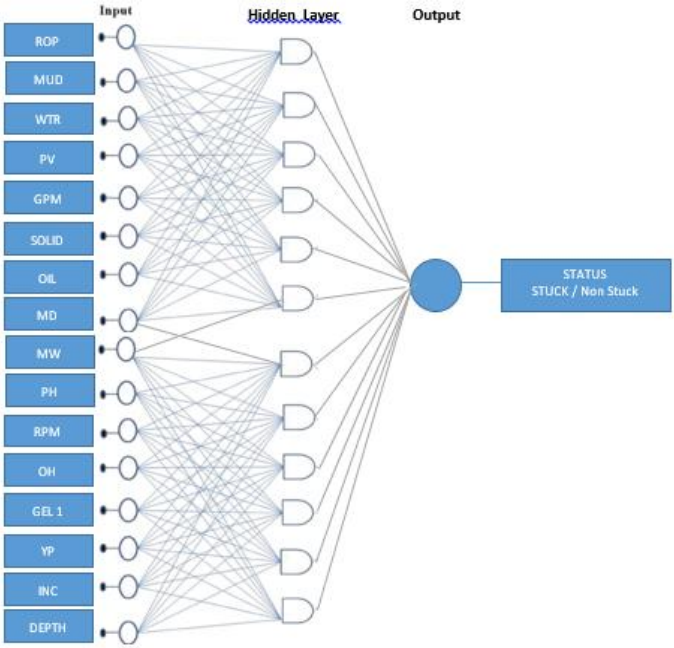
Didapatkan bahwa RMSE terkecil dan model terkecil pada hidden node 14 yang didapat dari hasil training dan validasi dengan menggunakan 12 input variabel setelah melalui proses PCA-PLS. Pada penelitian ini digunakan input data dengan menggunakan 12 input variabel dikarenakan semakin sedikit data yang digunakan maka semakin mudah untuk mengumpulkan data. Serta Semakin sedikit data semakin mudah untuk membuat model.

Hasil prediksi keadaan *stuck pipe* pada tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut dengan keterangan grafik berwarna merah menunjukkan hasil pelatihan dengan Ann dan grafik berwarna biru adalah data aktual:



Gambar 4. 6 Hasil Prediksi Keadaan *Stuck Pipe*

Pada hasil hasil prediksi keadaan *stuck pipe* diatas didapatkan bahwa prediksi ANN sama dengan data aktual dimana 1 menunjukkan keadaan *stuck* dan 0 menunjukkan keadaan tidak *stuck*. Dengan kata lain model ANN telah siap dipergunakan dalam optimisasi kondisi *stuck pipe*. Skema pelatihan jaringan syaraf tiruan ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 2 Arsitektur ANN pada Tugas Akhir ini

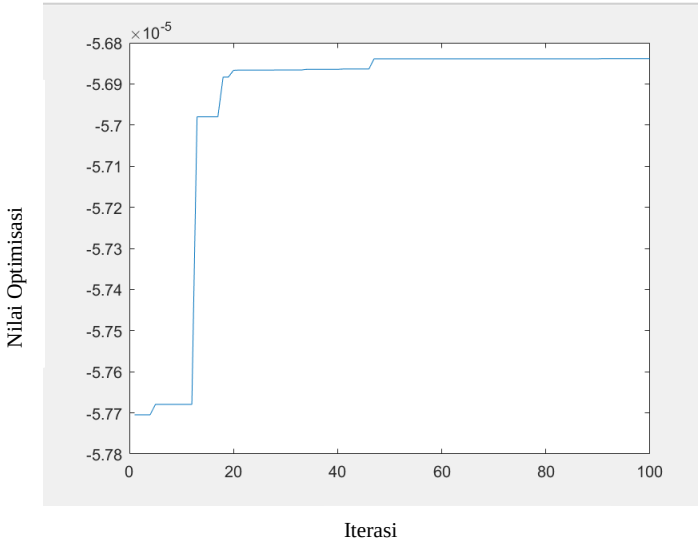
Hasil dari pelatihan jaringan syaraf tiruan pada tugas akhir ini dengan arsitektur sesuai dengan gambar diatas dimana output yang dihasilkan adalah status dari kondisi drilling pipe apakah *stuck* atau *non-stuck.*

4.4. Optimisasi Kondisi *Stuck Pipe* Menggunakan *Duelist Algorithm*

Fungsi objektif dari optimisasi kali ini adalah untuk meminimalkan biaya operasi *drilling* yang tetap menajaga tidak terjadinya kondisi *stuck pipe* dengan variabel yang dioptimisasi adalah getaran motor *drilling* laju aliran mud yang digunakan pada

proses *drilling*. Teknik optimisasi yang digunakan untuk memecahkan permasalahan ini adalah dengan menggunakan *duelist algorithm*.

Proses optimisasi untuk mendapatkan biaya terendah harus di *invers* menjadi kemampuan bertanding dalam DA, sehingga fungsi biaya menjadi 1/biaya yang akan dimaksimalkan oleh DA. Iterasi kemampuan bertanding sepanjang waktu dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.8 Hasil iterasi Duelist Algorithm

Pada akhir optimisasi diperoleh biaya terendah sebesar USD 17300/hour pada RPM 195, 69 dan laju aliran mud 722,28 GPM Serta kondisi konstrain tetap terjaga pada kondisi tidak *stuck*. Perbandingan kondisi operasi dan biaya operasi sebelum dan sesudah optimisasi dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan hasil optimisasi

	Sebelum Optimisasi	Setelah Optimisasi
RPM	470	195,69
MUD	1.150 GPM	722,28 GPM
Biaya terendah	52.599 USD/hour	17.300 USD/hour

Setelah dilakukan optimisasi dengan menggunakan *duelist aldorithm* didapatkan nilai variabel sebelum dan setelah optimisasi dengan hasil yang tertera pada tabel 4.2. Dengan parameter kondisi operasi dan properties tertera pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Parameter kondisi operasi

Parameter	Nilai
MUD	0,6277771671676
ROP	32,4362461633323
SOLID	5,92565644440150
WTR	82,2461766587238
OIL	28,7628824277583
PH	7,48408211920063
MW	11,0622589871211
OH	1454,01655308379
MD	4373,94056951808
INC	80,1312396144714

Dikarenakan variabel input yang digunakan sebanyak 12 maka terdapat beberapa parameter kondisi operasi yang dihasilkan dari optimisasi menggunakan *duelist algorithm. Stuck pipe* dipengaruhi oleh gaya gesek yang lebih besar dari gaya yang dihasilkan *drilling pipe* yang digerakkan oleh motor dengan RPM tertentu. Gaya gesek ini bisa naik bila *density mud* setelah mata bor terlalu besar dan terjadi penyumbatan lubang *annulus bor*. Seperti dijelaskan di subab sebelumnya. Untuk mencegah *stuck pipe* bisa dengan mengoptimisasi laju aliran massa mud dan RPM *drill pipe*.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Terdapat beberapa kesimpulan pada tugas akhir ini, yaitu:

a. *Stuck pipe* telah dimodelkan menggunakan *Finite Impulse Response* (FIR) ANN dengan dua struktur input. Struktur input 12 variabel dipilih setelah melalui metode PCA dan PLS. Hasil dari pelatihan jaringan syaraf tiruan pada tugas akhir ini didapatkan RMSE terkecil serta hidden node terkecil dengan nilai rmse yaitu 0 pada hidden node 14, sehingga FIR ANN dengan 1 *hidden layer* yang terdiri 14 *hidden node* dan 12 input variabel dipilih sebagai model akhir yang akan digunakan untuk optimisasi *stuck pipe.*

b. ANN dengan struktur input yang lebih sedikit dipakai sebagai model pada optimisasi disebabkan memerlukan pengumpulan data yang lebih sedikit. DA mencapai nilai optimum pada iterasi ke-48

c. Hasil optimisasi menunjukkan biaya terendah pada akhir optimisasi sebesar USD 17300/hour pada RPM 195,69 dan laju aliran mud 722,28 GPM Serta kondisi konstrain tetap terjaga pada kondisi tidak *stuck.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. Fox, "Using the R Statistical Computing Environment to Teach Social Statistics Courses," Department of Sociology, McMaster University, 2005.

[2] J. Vance, "Data Analysts Captivated by R's Power," The New YorkTimes,6January2009.[Online].Available:https://www.nytimes.com/2009/01/07/technology/business-computing/07program.html. [Accessed 3 January 2019].

[3] D. Aljubran, "Best Practices to Prevent Stuck Pipe Incidents inOffshore Shaly Formations," in *SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference*, Manama, Kingdom of Bahrain, 2017.

[4] H. Howard, "Tracking Stuck Pipe Probability While Drilling," in *SPE/IADC Drilling Conference*, Dallas, Texas, 1994.

[5] A. Matroushi, "Intrinsic Potential," *Middle East and Asia Reservoir Review*, pp. 1-23, 2003.

[6] J. Hayward, "Cause and Cure of Frozen Drill Pipe and Casing," in *Drilling and Production Practice*, New York, 1937.

[7] S. Nandi, Handouts Geologi Lingkungan : Minyak Bumi dan Gas, Universitas Pendidikan indonesia, 2006.

[8] J. Saket Mahesh Javeri, "Mitigating Loss Circulation And Differential Sticking Problems Using Silicon Nanoparticles," in *SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition*, Muscat, Oman, 2011.

[9] PCSB, "Analysis of Stuck Pipe Incidents in PETRONAS Carigali Operations in Malaysia," PETRONAS, Kuala

Lumpur, 2017.

[10] M. Rider, The Geological Interpretation of Well Logs 2nd Edition, Scotland: Rider-French Consulting Limited, 2011.

[11] PCSB, "Wells Downtime Review Panel (WDRP) Terms of Reference Rev 1,"PETRONAS, Kuala Lumpur, 2016.

[12] C. Gokhan Yarim, "Stuck Pipe Prevention--A Proactive Solution to an Old Problem," in *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Anaheim, California, U.S.A, 2007.

[13] .E. Helmic, "Pressure-differential Sticking of Drill Pipe and How It Can BeAvoided or Relieved," in *Drilling and Production Practice*, New York, 1957.

[14] M. Ramsey, "Oilfield Glossary - differential sticking," Schlumberger, 2018. [Online]. Available: https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/d/differential_sticking.aspx.[Accessed 4 January 2019].

[15] . Louise Bailey, "Causes, Detection and Prevention," *Oilfield Review*, pp. 13-26, 1991.

[16] Ottesen, "Down-Hole Simulation Cell for Measurement of Lubricity and Differential Pressure Sticking," in *SPE/IADC Drilling Conference*, Amsterdam, Netherlands, 1999.

[17] H. Outmans, "Mechanics of Differential Pressure Sticking of Drill Collars," *Petroleum Transactions, AIME*, vol. 213, pp. 265-274, 1957.

[18] A. Hidayat, ”Statistikian,” 2016. [Online]. Available: http://www.statistikian.com/2016/11/multikolinearitas.html . [Använd 16 January 2017].

[19] Fred E. Dupriest, "Design Methodology and Operational Practices
Eliminate Differential Sticking," *SPE Drilling & Completion*, vol. 26, no. 1, pp. 115 - 123, 2011

[20] G. Vining, ”Introduction to linear regression analysis,” New Jersey, 2012.

[21] C. Leng och H. Wang, ”On General Adaptive Sparse Principal Component Analysis,” 2008.

[22] Grag, ”Comparison of regression analysis, Artificial Neural Network and genetic programming in Handling the multicollinearity problem,” Singapore, 2012.

[23] Dell, ”Partial least squares (PLS) statistic text book,” 2015.

[24] Russel, ”The application of multivariate statistics and neural networks to the prediction of reservoir parameters using seismic attributes.,” 2004.

[25] L. Fausset, Fundamentals of Neural Network.

[26] Anonym, ”Limestone,” [Online]. Available: http://www.sandatlas.org/limestone/.

[27] J. Schoen, Properties of Rocks, 2011.

[28] H. Y. Fibrianto, ”Duelist Algorithm : An Algorithm Inspired by How Duelist Improve Their Capabilities in a Duel,” Surabaya, 2015.

[29] K. S. D. Mineral, ”Navigation Selat Sunda Utara Area,” 2016.

[30] Fadli, ”Dawai Simfoni,” [Online]. Available: https://dawaisimfoni.wordpress.com/karya-tulis-ilmiah-2/metodologi-penelitian/pengujian-asumsi-klasik-model-regresi/.

[31] Z. Bassiouni, Theory, Measurement, and Interpretation of Well Logs, USA, 1994.

[32] L. Raghav Bali, R: Unleash Machine Learning Techniques, Birmingham,
UK: Packt Publishing Ltd, 2016.

[33] SIMCA-P, ”SIMCA-P Help,” 2016.

[34] Cybenko, Artificial Neural Network Multilayer Perceptron.

LAMPIRAN A

Lampiran A. Koding ANN2

```
clc
close all;
clear all;
clc
disp('------------------------')
disp('  TRAINING IN PROGRESS   ')
disp('------------------------')
A =
xlsread('datastuckpipeuntukann.xlsx','sheet1');
[rowTr,colTr] = size(A);

ut = A(1:200,2:13)';
yt = A(1:200,14)';

uv  = A(201:268,2:13)';
yv = A(201:268,14)';

us = A(1:268,2:13)';
ys = A(1:268,14)';

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


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

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

```
end

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


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

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

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

ut1=ut(1,:)';
ut2=ut(2,:)';
ut3=ut(3,:)';
ut4=ut(4,:)';
ut5=ut(5,:)';
ut6=ut(6,:)';
ut7=ut(7,:)';
ut8=ut(8,:)';
ut9=ut(9,:)';
ut10=ut(10,:)';
ut11=ut(11,:)';
```

```
ut12=ut(12,:)';
   data_latih(:,sum(hist(1:10))+s) =
[zeros(hist(11)-s,1);ut11(2:n_rows-hist(11)+s)];
end
for t = 1:hist(12),
   data_latih(:,sum(hist(1:11))+t) =
[zeros(hist(12)-t,1);ut12(2:n_rows-hist(12)+t)];
end
% for u = 1:hist(13),
%    data_latih(:,sum(hist(1:12))+u) =
[zeros(hist(13)-u,1);ut13(2:n_rows-hist(13)+u)];
% end
% for v = 1:hist(14),
%    data_latih(:,sum(hist(1:13))+v) =
[zeros(hist(14)-v,1);ut14(2:n_rows-hist(14)+v)];
% end
%
% for w = 1:hist(15),
%    data_latih(:,sum(hist(1:14))+w) =
[zeros(hist(15)-w,1);ut15(2:n_rows-hist(15)+w)];
% end
%
% for x = 1:hist(16),
%    data_latih(:,sum(hist(1:15))+x) =
[zeros(hist(16)-x,1);ut16(2:n_rows-hist(16)+x)];
% end
%
% for y = 1:hist(17),
%    data_latih(:,sum(hist(1:16))+y) =
[zeros(hist(17)-y,1);ut17(2:n_rows-hist(17)+y)];
% end
%
% for z = 1:hist(18),
%    data_latih(:,sum(hist(1:17))+z) =
[zeros(hist(18)-z,1);ut18(2:n_rows-hist(18)+z)];
% end
%
% for a = 1:hist(19),
%    data_latih(:,sum(hist(1:18))+a) =
[zeros(hist(19)-a,1);ut19(2:n_rows-hist(19)+a)];
% end
```

```
%
% for w = 1:hist(15),
%    data_latih(:,sum(hist(1:14))+w) =
[zeros(hist(15)-w,1);yt2(1:n_rows-1-
hist(15)+w)];
% end
%
% for x = 1:hist(16),
%    data_latih(:,sum(hist(1:15))+x) =
[zeros(hist(16)-x,1);yt3(1:n_rows-1-
hist(16)+x)];
% end
%
%
% for y = 1:hist(17),
%    data_latih(:,sum(hist(1:16))+x) =
[zeros(hist(17)-x,1);yt3(1:n_rows-1-
hist(16)+x)];
% end
%
%
% for x = 1:hist(16),
%    data_latih(:,sum(hist(1:15))+x) =
[zeros(hist(16)-x,1);yt3(1:n_rows-1-
hist(16)+x)];
% end

%
% for x = 1:hist(16),
%    data_latih(:,sum(hist(1:15))+x) =
[zeros(hist(16)-x,1);yt3(1:n_rows-1-
hist(16)+x)];
% end


RMSE_train_f(i) = r_m_s_e(Ys(i,:),Yhat(i,:));
end

%Drawing
```

```
for i = 1
figure(i)
plot(Ys(i,:),'b.','LineWidth',1);
hold on
plot(Yhat(i,:),'r.','LineWidth',1);
grid
title('Network Training ');
legend('Blue Dot : Actual','Red Dot : Predicted
', 'Location','Best');
ylabel('status of stuck pipe');
xlabel('Data number');
end
%
% for i = 2
% figure(i)
% plot(Ys(i,:),'b-');
% hold on
% plot(Yhat(i,:),'r.','LineWidth',1);
% grid
% title('Network Training ');
% legend('Solid : Actual','Dot : Predicted ',
'Location','Best');
% ylabel('Product Outlet Temperature (°C)');
% xlabel('Day');
% end
%
% for i = 3
% figure(i)
% plot(Ys(i,:),'b-');
% hold on
% plot(Yhat(i,:),'r.','LineWidth',1);
% grid
% title('Network Training ');
% legend('Solid : Actual','Dot : Predicted ',
'Location','Best');
% ylabel('Cude Outlet Temperature (°C)');
% xlabel('Day');
% end
%
% for i = 4
% figure(i)
```

```
% plot(Ys(i,:),'b-');
% hold on
% plot(Yhat(i,:),'r.','LineWidth',1);
% grid
% title('Network Training ');
% legend('Solid : Actual','Dot : Predicted ',
'Location','Best');
% ylabel('Cude Outlet Temperature (°C)');
% xlabel('Day');
% end

% for i = 5
% figure(i)
% plot(Ys(i,:),'b-');
% hold on
% plot(Yhat(i,:),'r.','LineWidth',1);
% grid
% title('Network Training ');
% legend('Solid : Actual','Dot : Predicted ',
'Location','Best');
% ylabel('Cude Outlet Temperature (°C)');
% xlabel('Day');
% end


q) = [zeros(hist(9)-q,1);uv9(2:n_rows-
hist(9)+q)];
end
for r = 1:hist(10),
   data_uji(:,sum(hist(1:9))+r) =
[zeros(hist(10)-r,1);uv10(2:n_rows-hist(10)+r)];
end
for s = 1:hist(11),
   data_uji(:,sum(hist(1:10))+s) =
[zeros(hist(11)-s,1);uv11(2:n_rows-hist(11)+s)];
end
for t = 1:hist(12),
   data_uji(:,sum(hist(1:11))+t) =
[zeros(hist(12)-t,1);uv12(2:n_rows-hist(12)+t)];
```

```
end
% for u = 1:hist(13),
%    data_uji(:,sum(hist(1:12))+u) =
[zeros(hist(13)-u,1);uv13(2:n_rows-hist(13)+u)];
% end
% for v = 1:hist(14),
%    data_uji(:,sum(hist(1:13))+v) =
[zeros(hist(14)-v,1);uv14(2:n_rows-hist(14)+v)];
% end
%
% for w = 1:hist(15),
%    data_uji(:,sum(hist(1:14))+w) =
[zeros(hist(15)-w,1);uv15(2:n_rows-hist(15)+w)];
% end
%
% for x = 1:hist(16),
%    data_uji(:,sum(hist(1:15))+x) =
[zeros(hist(16)-x,1);uv16(2:n_rows-hist(16)+x)];
% end
%
% for y = 1:hist(17),
%    data_uji(:,sum(hist(1:16))+y) =
[zeros(hist(17)-y,1);uv17(2:n_rows-hist(17)+y)];
% end
%
% for z = 1:hist(18),
%    data_uji(:,sum(hist(1:17))+z) =
[zeros(hist(18)-z,1);uv18(2:n_rows-hist(18)+z)];
% end
%
% for a = 1:hist(19),
%    data_uji(:,sum(hist(1:18))+a) =
[zeros(hist(19)-a,1);uv19(2:n_rows-hist(19)+a)];
% end

PHI_uji = data_uji';

Y_uji = zeros(n_rows-1,1);
Y_uji(:,1) = yv1(2:end);
% Y_uji(:,2) = yv2(2:end);
```

```
% Y_uji(:,3) = yv3(2:end);
% Y_uji(:,4) = yv4(2:end);
% Y_uji(:,5) = yv5(2:end);

Ys_uji = Y_uji';

[y2_uji]=marq_rev_uji(NetDef,W1,W2,PHI_uji,Ys_uj
i);

y2_uji = round(y2_uji);


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

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

Yhat_test = round(Yhat_test);

%Drawing
for i = 1
figure(i+1)
plot(Ys_test(i,:),'k.','LineWidth',1);
hold on
plot(Yhat_test(i,:),'r.','LineWidth',1);
grid
title('Network Validation ');
```

```
legend('Black Dot : Actual','Red Dot : Predicted
', 'Location','Best');
ylabel('status of stuck pipe');
xlabel('Data number');
end
%
% for i = 2
% figure(i+4)
% plot(Ys_test(i,:),'k-');
% hold on
% plot(Yhat_test(i,:),'r.','LineWidth',1);
% grid
% title('Network Validation ');
% legend('Solid : Actual','Dot : Predicted ',
'Location','Best');
% ylabel('Product Outlet Temperature (°C)');
% xlabel('Day');
% end
%
% for i = 3
% figure(i+4)
% plot(Ys_test(i,:),'k-');
% hold on
% plot(Yhat_test(i,:),'r.','LineWidth',1);
% grid
% title('Network Validation ');
% legend('Solid : Actual','Dot : Predicted ',
'Location','Best');
% ylabel('Crude Outlet Temperature (°C)');
% xlabel('Day');
% end
%
% for i = 4
% figure(i+4)
% plot(Ys_test(i,:),'k-');
% hold on
% plot(Yhat_test(i,:),'r.','LineWidth',1);
% grid
% title('Network Validation ');
% legend('Solid : Actual','Dot : Predicted ',
'Location','Best');
```

```
% ylabel('Crude Outlet Temperature (°C)');
% xlabel('Day');
% end

% for i = 5
% figure(i+3)
% plot(Ys_test(i,:),'k-');
% hold on
% plot(Yhat_test(i,:),'r.','LineWidth',1);
% grid
% title('Network Validation ');
% legend('Solid : Actual','Dot : Predicted ',
end
xlswrite('SPs.xlsx', Data_RMSE, 'data')

% save E1101_RMSEfind RMSE_train RMSE_test
RMSE_train_f RMSE_test_f
```

LAMPIRAN B

Lampiran B. Koding *Duelist Algorithm*

```
clear all;
close all;
clc;

Hasilmax=[];
fitnessvector =[];
XDueler=[];
convergemax = [];
convergeiter = [];
DFDAfit = [];
xmax = [];
minmax = 'min';          % 'max' Maximum or 'min'
Minimum
Population = 10;        % Total number of
duelists in a population
MaxGeneration = 100;     % Maximum
Generation/Iteration
FightCapabilities = 50; % Fighting Capabilities
Champion = 0.1;          % Champion Percentage
ProbLearning = 0.8;      % Learning Probability
ProbInnovate = 0.1;      % Innovate Probability
Luckcoeff = 0.01;        % Luck Coefficient
LuckA = 0;               % First Duelist Luck
Coefficient
LuckB = 0;               % Second Duelist Luck
Coefficient
Duelist = [];
Duelisttemp1 = [];
Duelisttemp2 = [];
Duelisttemp3 = [];
DuelistInteger = [];
Datafit = [];
Data1fit = [];
DataSort = [];
ElitDuelist = [];
HMI = [];
```

```
DataFDAfit = [];
maxall = [];

load WTpipas.mat
A =
xlsread('datastuckpipeuntukann.xlsx','sheet1');

[rowTr,colTr] = size(A);

ut = A(1:200,2:13)';
yt = A(1:200,14)';

uv  = A(201:268,2:13)';
yv = A(201:268,14)';

us = A(1:268,2:13)';
ys = A(1:268,14)';


        for i=1:2:M-1
            LuckA = (fitnessvector(i)*(Luckcoeff
+ rand*2*Luckcoeff));
            LuckB =
(fitnessvector(i+1)*(Luckcoeff +
rand*2*Luckcoeff));
            if fitnessvector(i)+LuckA <=
fitnessvector(i+1)+LuckB
                Winner(i) = 0;
                Winner(i+1) = 1;
            elseif fitnessvector(i)+LuckA >
fitnessvector(i+1)+LuckB
                Winner(i) = 1;
                Winner(i+1) = 0;
            end
        end


        %=====Skill Transfer + Innovate=====
```

```
        [M,d] = size(XDueler);
        XAftermatch = XDueler;
        for i=1:2:M-1
            if (Winner(i)==1)
                p = ceil(((d/2)-
1)*rand*ProbLearning);
                str = ceil(p+1+(((d/2)-2-
p)*rand*ProbLearning));
                end
            end
        end

        Xnew = XAftermatch;

        sort_fitnew = sortrows(Xnew, (
    Datafit = [];


    for k = 1:Population

        for ii=1:Dimension
            X0(ii,k) =
(((DuelistInteger(k,ii)+1)/(10^FightCapabilities
))*RangeB(ii))+LB(ii);
        end
%         CM = 81;
%         CL = 100;
%         cost1 =
((X0(11,k)*414.76)+(X0(12,k)*817))
%         cost = -
((((X0(1,k).^2)+(X0(2,k).^2)).^0.5).*cos((X0(1,k
))-
(X0(2,k)))).*exp(cos(((X0(1,k)).*(X0(2,k)+5)./7
));
        yt = pipeintegrationtrbs(X0);

%         for i = 1:1
```

```
          yt=(((max(ys(1,1))-
min(ys(1,1))))*(yt(1,1)+1)/2)+min(ys(1,1));
%Descaling
%          end
          for i = 1:rowu

%              X0(i,:)=(((max(us(i,:))-
min(us(i,:))))*(X0(i,:)+1)/2)+min(us(i,:));
%Descaling
%              yhat_data(i,:)=(((max(ys(i,:))-
min(ys(i,:))))*(yhat_data(i,:)+1)/2)+min(ys(i,:)
);     %Descaling
%              RMSEf(i) =
r_m_s_e(yt(i,tmax),yhat_data(i,tmax));
          end
%            cost1 =
((X0(11,k)*414.76)+(X0(12,k)*817))
%          cost = -
((((X0(1,k).^2)+(X0(2,k).^2)).^0.5).*cos((X0(1,k
))-
(X0(2,k)))).*exp(cos(((X0(1,k)).*(X0(2,k)+5)).*7
));
         yt = pipeintegrationtrbs(X0);
           cost1 =
((X0(11,k)*414.76)+(X0(12,k)*817))

          fitness = 1/cost1
         Datafit = [Datafit; mm*fitness];
    end

    Data1fit = Datafit;
    [fitnessmax, nmax] = max(Data1fit);
    DataFDAfit = [DataFDAfit;fitnessmax];
    DuelistMax = Duelist(nmax,:);
    DuelistMaxLast = DuelistMax;
    Hasilmax = DuelistMax;
    sort = [Duelist Datafit];
    maxall = [maxall; sort];
    for i = 1:Dimension
```

```
        HasilMaxtemp1 =
Hasilmax(1,(((i*FightCapabilities)-
FightCapabilities)+1):(i*FightCapabilities));
        HasilMaxtemp2 = num2str(HasilMaxtemp1);
min(us(i,:))))*(X0maxfix(i,:)+1)/2)+min(us(i,:))
;                %Descaling
% % % % %
yhat_data(i,:)=(((max(ys(i,:))-
min(ys(i,:))))*(yhat_data(i,:)+1)/2)+min(ys(i,:)
);     %Descaling
% % % % %             RMSEf(i) =
r_m_s_e(yt(i,tmax),yhat_data(i,tmax));
% % % %          end
% % % X0maxfix
% % % [fitnessmaxf, nmaxf] = max(DataFDAfit)
% % %
% % % convergemax = [convergemax;fitnessmaxf];
% % % convergeiter = [convergeiter;nmaxf];
% % % xmax = [xmax;X0maxfix];
% % % DFDAfit = [DFDAfit,DataFDAfit];
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Nama lengkap lengkap penulis adalah Tita Oxa Anggrea, lahir di Pamekasan pada tanggal 29 Mei 1998 dari pasangan Bapak Denny Setiawan dan ibu Kamalia Shinta Dewi. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pada tahun 2013 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Pamekasan, pada tahun 2016 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Pamekasan. Penulis sangat aktif dalam mengikuti kegiatan akademik maupun non akademik. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan perlombaan akademik baik nasional maupun Internasional. Pada tahun 2019 penulis berhasil membawa 8 penghargaan di Internasional Oil and Gas Competition di India. Di tahun yang sama penulis juga berhasil menjadi juara 1 dalam paper dan poster competition yang diadakan oleh SPE Internasional Romania. Penulis juga meraih juara 1 dalam ajang paper dan olimpiade petroleum di Rusia. Pada tahun 2019 penulis juga berhasl meraih predikat Mahasiswa berprestasi 3 ITS. Dalam kegiatan di kampus telah aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan diantaranya menjadi dewan pengawas BEM FTIRS ITS. Serta ikut dalam berbagai kepanitian. Penulis juga aktif mengikuti organisasi diluar kampus seperti GENPI dibawah Kemenpar. Sejak tahun 2016 penulis juga menjadi *news anchor* di salah satu media televisi swasta. Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang rekayasa intrumentasi dan kontrol. Pada bulan Desember 2019 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **OPTIMISASI *STUCK PIPE* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA DUELIST**

Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir, serta memberikan kritik dan saran maka dapat menghubungipenulismelalui*email*: Titaoxa12@gmail.com