



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* TEKNO  
EKONOMI PADA *DRILLING SYSTEM* BERBASIS  
*INTERNET OF THINGS (IOT)***

NIRVANA BANU YOGASWARA  
NRP 02311745000008

Dosen Pembimbing  
Ir. Matradji, M.Sc.

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





FINAL PROJECT - TF181801

***DESIGN OF DRILLING SYSTEM TECHNO ECONOMIC  
MONITORING SYSTEM BASED ON INTERNET OF  
THINGS (IOT)***

*Nirvana Banu Yogaswara  
NRP. 02311745000008*

*Supervisor  
Ir. Matradji, M.Sc.*

*Departement of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019*



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIRISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nirvana Banu Yogaswara  
NRP : 02311745000008  
Departemen : Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Institusi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul “Perancangan Sistem *Monitoring* Tekno Ekonomi Pada *Drilling System* Berbasis *Internet of things (IOT)*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 30 Juli 2019  
Yang membuat pernyataan,



Nirvana Banu Yogaswara  
NRP. 02311745000008



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* TEKNO  
EKONOMI PADA *DRILLING SYSTEM* BERBASIS  
*INTERNET OF THINGS (IOT)***

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**Nirvana Banu Yogaswara**  
NRP. 02311745000008

Surabaya, 30 Juli 2019  
Mengetahui,  
Dosen Pembimbing



**Ir. Matradji, M.Sc.**  
NIP. 19560720 198503 1 003





## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* TEKNO EKONOMI PADA *DRILLING SYSTEM* BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)*

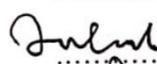
#### TUGAS AKHIR

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

Oleh :

**NIRVANA BANU YOGASWARA**  
NRP. 02311745000008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

**SURABAYA**  
**JULI, 2019**

Scanned by CamScanner



# **PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* TEKNO EKONOMI PADA *DRILLING SYSTEM* BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)***

**Nama** : Nirvana Banu Yogaswara  
**NRP** : 023117400008  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Matradji, M.Sc

## **ABSTRAK**

Untuk kegiatan eksplorasi dilakukan berbagai macam proses, diawali dengan pembuatan sumur atau *wellbore* dengan cara pengeboran. Telah diketahui saat ini bahwa dunia industri yang semakin maju telah mencapai zaman industri 4.0 yang mana disebut ‘pabrik cerdas’ berbasis internet (*internet of things*) dengan penerapan *big data* sebagai direktori didalamnya. Pada tugas akhir ini telah dirancang aplikasi *monitoring drilling system* berbasis *internet of things* pada aplikasi *Android* dan *Windows*, dengan direktori pada SQL Connection. Pada penelitian ini disajikan informasi parameter – parameter yang mempengaruhi performansi *drilling system* beserta waktu dan cost yang harus dikeluarkan perusahaan, serta *control chart* yang berfungsi untuk menganalisis *predictive maintenance* pada *drilling system*. Sehingga diharapkan dengan adanya sistem ini dapat mempermudah dalam analisis performansi, deteksi dini pada failure sampai keuntungan pada perusahaan dapat dipantau dengan jelas. Dengan adanya aplikasi MES yang telah dirancang, analisis maintenance menjadi lebih mudah karena telah terintegrasi dengan interactive chart dan control chart. Pada aplikasi *Android* tidak terdapat error atau 0% error, khususnya pada perubahan data pada saat menampilkan data *monitoring* dalam rentang waktu 5 menit.

**Kata kunci** : *Internet of things*, Pengeboran, Performansi



**DESIGN OF DRILLING SYSTEM  
TECHNO ECONOMIC MONITORING SYSTEM  
BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT)**

**Name** : Nirvana Banu Yogaswara  
**NRP** : 023117400008  
**Departement** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisor** : Ir. Matradji, M.Sc

**ABSTRACT**

*For exploration activities, a variety of processes are carried out, beginning with making wells by drilling. It is known at this time that the increasingly advanced industrial world has reached the industrial age 4.0 called internet of things with the application of big data as a directory inside it. In this final project, an internet of things-based drilling system monitoring application has been designed in Windows and Android operating system, with a directory in SQL Connection. In this study, information on parameters that affect the performance of drilling systems is presented along with the time and cost that must be spent by the company, also the control chart to analyze the predictive maintenance on the process. So that it is expected that the existence of this system can facilitate performance analysis, early detection of failure until profits at the company can be clearly monitored. With the MES application, maintenance analysis is easier because it has been integrated with interactive charts and control charts. In the Android application there is no error or 0% error when displaying monitoring data in a span of 5 minutes.*

**Keywords : Drilling, Internet of things, Performance**



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga pembuatan tugas akhir beserta proses pembuatan laporan tugas akhir yang berjudul “Perancangan Sistem *Monitoring* Tekno Ekonomi Pada Drilling System Berbasis *Internet of things* (Iot)” dapat terlaksana dengan baik dan berjalan sebagaimana semestinya.

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis tidak lepas dari bimbingan berupa fasilitas, beserta materiil dan spiritual. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Mardi Basuki dan Ibu Nunik Sri Wahyuni yang senantiasa mendoakan, mensupport dan mendukung dalam berbagai hal, khususnya kelancaran dan kesuksesan putrinya, keluarga penulis, Naufal Banu Tirta Satria, Mega Zeevanya Banu Wardhani, Albyfachri Banu, Avicenna Banu, Annissa Gianti Larasati,
2. Bapak Ir. Matradji, M.Sc. dan Bapak Totok Ruki Biyanto S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta inspirasi.
3. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
4. Bapak Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. selaku dosen wali penulis yang telah membimbing selama perkuliahan.
5. Seluruh teman Tugas Akhir (Ray Hardyant dan Rizky M. Simatupang), terima kasih untuk semuanya.
6. Seluruh Asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol atas segala bantuannya.
7. Seluruh teman-teman satu angkatan Lintas Jalur Teknik Fisika 2017,

8. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika FTI-ITS, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah 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. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 30 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIRISME</b>	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	vii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	ix
<b>ABSTRAK</b>	xi
<b>ABSTRACT</b>	xiii
<b>KATA PENGANTAR</b>	xv
<b>DAFTAR ISI</b>	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xix
<b>DAFTAR TABEL</b>	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	5
2.1 Operasi Pengeboran	5
2.2 Aspek Pengeboran	11
2.3 Pemodelan <i>Drilling System</i>	13
2.4 <i>Drilling Cost</i> pada Proses Pengeboran	19
2.5 <i>Control Chart</i>	21
2.6 <i>Manufacturing Execution System</i>	22
2.7 <i>Internet of things (IoT)</i>	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	27
3.1 Studi Literatur	27
3.2 Pengambilan Data <i>Historical</i> Pengukuran pada <i>Drilling System</i>	28
3.3 Perancangan Aplikasi <i>Windows</i> untuk <i>Monitoring</i> berbasis <i>Internet of things</i>	30
3.4 Perancangan Aplikasi <i>Android</i> untuk <i>Monitoring</i> berbasis <i>Internet of things</i>	31
3.5 Analisis Penerapan <i>Internet of things</i>	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	35
4.1 Hasil Perancangan <i>Monitoring Drilling System</i>	35

4.2	Hasil Perancangan <i>Monitoring Drilling System</i> pada <i>Android</i>	48
4.3	Pembahasan	54
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b>	57
5.1.	Kesimpulan	57
5.2.	Saran	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		59
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>BIODATA PENULIS</b>		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Tahapan Persiapan Lokasi, Transportasi, Pemasangan <i>Substructure</i> , <i>Overhead Tools</i> sampai Penyelesaian Akhir <i>Rig</i> [4]	6
<b>Gambar 2.2</b>	Skema <i>Equipment</i> Proses Pengeboran [6]	7
<b>Gambar 2.3</b>	Terjadinya <i>Blowout</i> pada <i>platform offshore</i> [6]	8
<b>Gambar 2.4</b>	Skema Kerja Lumpur Pemboran [7]	10
<b>Gambar 2.5</b>	Bentuk Dasar <i>Control Chart</i>	21
<b>Gambar 2.6</b>	Peta Konsep <i>Manufacturing Execution System</i>	22
<b>Gambar 2.7</b>	Ilustrasi Penerapan dan Kinerja <i>Internet of things</i>	24
<b>Gambar 2.8</b>	Arsitektur <i>Internet of things</i>	25
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian	27
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Piping and Instrument Diagram</i> (P&ID) dari <i>Drilling System</i> yang dimonitoring	28
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram Alir Perancangan Aplikasi <i>Monitoring Drilling System</i> pada <i>Windows</i>	30
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram Alir Perancangan Aplikasi <i>Monitoring Drilling System</i> pada <i>Android</i>	31
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram Alir Perancangan Aplikasi <i>Monitoring Drilling System</i> berdasarkan <i>User Authority</i> pada <i>Android</i>	32
<b>Gambar 4.1</b>	Halaman Utama Hasil Perancangan MES	35
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik <i>Machine Diagnosis</i> pada DC-101	36
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Bit RPM SC-101 dan <i>Mud Density</i> DC-101	37
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik <i>Control Chart</i> pada SC-101 (a) dan DC – 101 (b)	38
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Alert Catcher</i> pada SC-101 dan DC-101	40
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Fin FC-101 dan <i>Pressure Choke</i> PC-101	41
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik <i>Control Chart</i> pada FC-101 (a) dan PC – 101 (b)	42

<b>Gambar 4.8</b>	<i>Alert Catcher</i> pada FC-101 dan PC-101	44
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Fout FC-201 dan <i>Pressure Choke Hole</i> PC-201	45
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik <i>Control Chart</i> pada FC-201 (a) dan PC – 201 (b)	46
<b>Gambar 4.11</b>	<i>Alert Catcher</i> pada FC-201 dan PC-201	48
<b>Gambar 4.12</b>	Halaman Utama, <i>login form</i> dan Tampilan Menu pada <i>Operator</i>	49
<b>Gambar 4.13</b>	Pilihan Unit <i>Monitoring</i> pada Halaman <i>Operator</i>	50
<b>Gambar 4.14</b>	Tampilan Menu pada Halaman <i>Engineer</i> beserta <i>Privilleges</i> dalam <i>Monitoring Sub – Unit</i> pada <i>Operator</i>	51
<b>Gambar 4.15</b>	Tampilan Menu pada Halaman <i>Manager</i>	52

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Tabel Parameter Laju Penetrasi	16
<b>Tabel 2.2</b>	Parameter Pemodelan Tekanan Dinamik	18
<b>Tabel 2.3</b>	Tabel Kelas <i>Manufacturing Execution System</i>	23
<b>Tabel 3.1</b>	Tabel Data <i>Historical</i> Parameter <i>Monitoring</i>	29
<b>Tabel 3.2</b>	Tabel Data Parameter Kondisi Aman Operasi	29
<b>Tabel 3.3</b>	Tabel Hasil Perhitungan CL, UCL, LCL dan STD pada Setiap Indikator dari 1 Januari sampai dengan 31 Januari 2019	33
<b>Tabel 4.1</b>	Tabel Perbandingan Hasil Penampilan Parameter <i>Monitoring</i> pada 3 versi <i>Operating System Android</i>	53



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman, perkembangan dan persaingan dalam dunia industri tentunya akan mengalami kemajuan. Agar sebuah industri maju dapat bersaing pada pasar bebas, baik dalam hal teknologi sampai ekonomi, dibutuhkan performansi pada masing – masing *equipment* yang digunakan. Acuan atau standar performansi yang baik pada industri antara lain adalah standar lingkungan, standar desain, sampai pada *maintenance* pada material, *equipment* dan sumber daya manusia yang sesuai dengan jadwal yang ditentukan. Sehingga berdasarkan acuan – acuan tersebut, diharapkan adanya peningkatan pencapaian target pada produksi dan keuntungan pada industri.

Pada era ini, salah satu industri yang memiliki peranan penting terhadap industri lainnya adalah industri pada bidang eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam, khususnya minyak dan gas bumi [1].

Untuk mengeksplorasi minyak bumi, dilakukan berbagai macam proses, diawali dengan pembuatan sumur atau *wellbore*. Proses pembuatan *wellbore* dimulai dengan melakukan pemboran pada lapisan permukaan dengan menggunakan mata bor (*bit*) pada *drill string*. Proses ini bersamaan dengan proses penginjeksian lumpur melalui pipa pemboran. Permukaan yang telah dibor pasti menghasilkan serpihan batuan (*cutting*) yang dapat menghambat kinerja proses pemboran. Oleh karena itu, *cutting* dialirkan bersamaan dengan injeksi lumpur dari *annulus* menuju *mud conditioner* yang mana kemudian dilanjutkan dengan proses penyaringan antara lumpur dan *cutting*. Lumpur yang telah melewati proses penyaringan dialirkan kembali menuju ke sumur. Keseluruhan proses pemboran ini mempertimbangkan identifikasi terhadap beberapa parameter kerja pengeboran antara lain RPM *bit*, *mud flowrate*, *pressure choke*, *pressure buttom hole* dan *mud density*. Nilai dari masing – masing parameter kerja yang digunakan akan mempengaruhi performansi kinerja penetrasi pemboran atau *rate of penetration* (ROP) [2].

Selain memperhatikan performansi, suatu perusahaan eksplorasi minyak saling bersaing dalam peningkatan kinerja produksi dan meminimalisir *cost* dengan tujuan untuk mencapai target produksi dan memperoleh keuntungan. Telah diketahui saat ini bahwa dunia industri yang semakin maju telah mencapai zaman industri 4.0 yang mana disebut ‘pabrik cerdas’ berbasis internet (*internet of things*). Karena adanya perkembangan teknologi informasi dan diselingi dengan konsep baru *internet of things*, industri modern lebih bersifat otomatis, terintegrasi, kompleks dan cerdas. Penerapan teknologi baru ini diharapkan dapat menjanjikan peningkatan performa dalam proses industri, khususnya mendeteksi kesalahan sistem proses, memperingatkan waktu *maintenance*, mengurangi *cost* dan meningkatkan keuntungan. Disisi lain, adanya sistem ini dapat membangun jaringan lokal, regional dan global agar saling terhubung untuk berbagi informasi [3].

Oleh karena itu untuk mencapai perkembangan industri 4.0 dan menerapkannya pada eksplorasi minyak bumi, pada penelitian ini dikembangkan sebuah media bertajuk sistem *monitoring* tekno-ekonomi *drilling system* berbasis *internet of things* (IOT). Pada penelitian ini disajikan informasi parameter – parameter yang mempengaruhi performansi *drilling system* beserta waktu dan *cost* yang harus dikeluarkan perusahaan. Sehingga diharapkan dengan adanya sistem ini dapat mempermudah dalam analisis performansi, deteksi dini pada *failure* sampai keuntungan pada perusahaan dapat dipantau dengan jelas dan mencapai ‘semua dalam genggaman’. Dengan demikian, kecelakaan kerja akibat *human error* maupun waktu *maintenance* dapat dianalisis dan meningkatkan keuntungan perusahaan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, perumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

- a. Bagaimana analisa dari hubungan antara *Rate of Penetration* (ROP) dengan *cost* pada *drilling system*?

- b. Bagaimana analisa hasil penerapan rancangan sistem pada *Windows* dan *Android* untuk *monitoring* performa pada *drilling system* dengan menerapkan IoT?

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut,

- a. Menganalisa hubungan antara *Rate of Penetration* (ROP) dengan cost pada *drilling system*.
- b. Merancang sistem *monitoring* pada *Windows* dan *Android* untuk *monitoring* performa pada *drilling system*.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun lingkup kajian yang meliputi seluruh kajian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut,

- a. Digunakan *plant* berupa *drilling plant wide control* dari penelitian sebelumnya, serta data *historical* dari tanggal 1 – 31 Januari 2019.
- b. Digunakan *Android Studio* sebagai media pembuatan *human machine interface* untuk *monitoring* berbasis *internet of things* dan *SQL server* sebagai *database* dari parameter – parameter yang dipantau terkait dengan performansi *drilling system*. Analisis kinerja mesin berdasarkan *monitoring* keluaran sensor tiap mesin menggunakan software simulator yang dibuat berbasis Delphi XE8
- c. Performansi *plant drilling system* yang dianalisa dan dipantau yaitu *rate of penetration* (ROP) dan *time cost* pekerja pada *plant drilling system*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Operasi Pengeboran**

Pengeboran merupakan suatu usaha secara teknis untuk membuat lubang pada suatu titik atau lapisan formasi yang mana berdasarkan pengukuran secara seismik maupun geologis terdapat kandungan minyak atau gas. Setelah dilakukan proses pengeboran atau *drilling*, lubang tersebut dilapisi oleh *casing* yaitu berupa semen yang berfungsi untuk menghubungkan lapisan formasi dengan permukaan bumi, sehingga kedepannya memungkinkan dilakukan produksi minyak atau gas bumi secara komersial. Secara umum adanya proses pengeboran bertujuan untuk membuktikan dan mengeksplorasi ketersediaan minyak dan gas bumi dalam suatu reservoir, juga sebagai sarana untuk mengalirkan minyak dan gas bumi yang bedari reservoir menuju ke permukaan yang nantinya akan diolah pada proses *refinery*.

Dalam proses pengeboran, terdapat beberapa proses yang harus dilalui. Proses pertama atau pra – pengeboran dimulai dari proses survei yang dilakukan oleh ahli geologi berupa survei geologi permukaan, bawah permukaan dan survei seismik. Dengan melakukan survei – survei tersebut, lokasi sumber minyak dapat dianalisis lebih lanjut yang kemudian dapat dilakukan proses *drilling* untuk mengangkut minyak di dalamnya. Setelah diperoleh titik yang mengandung minyak dan gas, dilakukan persiapan – persiapan seperti persiapan lokasi, air, peralatan pengeboran dan transportasi sebagaimana sesuai dengan kebutuhan secara logistik maupun material dalam proses pengeboran. Selanjutnya, dilakukan *rig up* atau pendirian struktur dari *rig*. Tahap ini terdiri dari pemasangan *substructure* (berupa landasan *rig*, *prime mover* dan

*draw work*) dan pemasangan *over head tools* [4]. Tahapan – tahapan yang dimaksud ditunjukkan pada Gambar 2.1.



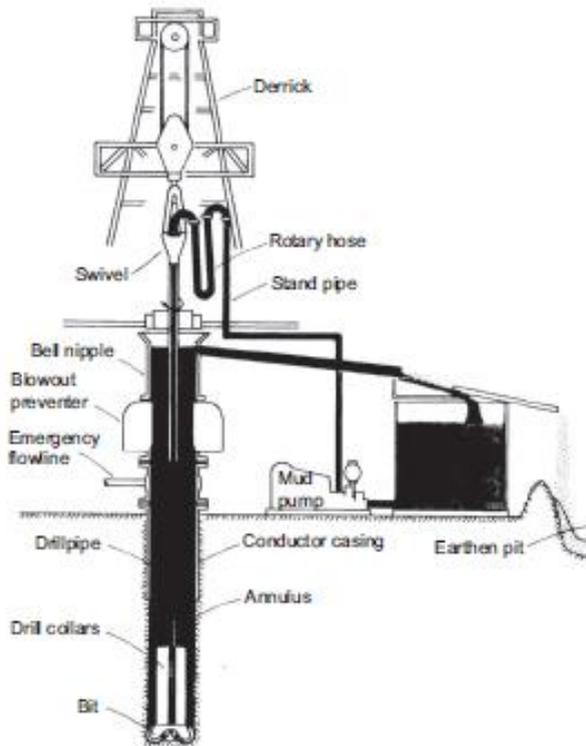
**Gambar 2.1** Tahapan Persiapan Lokasi, Transportasi, Pemasangan *Substructure*, *Overhead Tools* sampai Penyelesaian Akhir *Rig* [4]

Garis merah pada gambar menunjukkan alur urutan tahapan pra pengeboran dimulai dari perisapan lokasi, transportasi, pemasangan *substructure*, *overhead tools* dan penyelesaian akhir *rig*. Setelah semua komponen dan *equipment* telah dipasang sesuai dengan teknis yang ada, barulah dapat dilakukan proses pengeboran pada titik tersebut. Tahapan – tahapan dalam operasi proses pengeboran antara lain adalah sebagai berikut,

### 1. Pengeboran (*drilling*)

Pembuatan sumur minyak dapat dilakukan setelah dilakukan survei seismik terhadap suatu permukaan. Setelah itu dapat dilakukan pengeboran terhadap formasi tanah dengan menggunakan gaya tekan kebawah dan rotasi dari *drill string* yang ditransmisikan menuju mata bor (*bit*).

Adapun skema *equipment* atau peralatan pada proses pengeboran ditunjukkan pada Gambar 2.2 [5].



**Gambar 2.2** Skema *Equipment* Proses Pengeboran [5]

Setelah dilakukan tahapan pembuatan *casing*, *cementing* dan sumur telah terbentuk, pengeboran pada dinding formasi menyebabkan adanya sisa serpihan – serpihan batuan (*cutting*) yang tentunya berpotensi untuk mengganggu kinerja proses pengeboran selanjutnya. Untuk itu, dibutuhkan lumpur yang harus diinjeksikan melalui lubang pada *drill string* menuju dasar sumur, sehingga *cutting* dapat terlarut menuju permukaan. Selanjutnya dapat dilakukan proses pemisahan *cutting* dengan lumpur untuk mendinginkan *bit* dan *cutting* dapat dianalisis oleh tim geologi

guna mengetahui karakteristik lapisan tanah. Lumpur yang pemisahan dengan cara penyaringan *cutting* akan dialirkan kembali menuju sumur (*mud circulation system*).

Proses *mud circulation system* dimulai dengan cara memompa lumpur dari *mud pit* menuju ke *rotary hose* dengan melewati *stand pipe*. Selanjutnya, lumpur akan dialirkan menuju ke dasar lubang melalui *kelly*, *drill pipe*, *drill collar* dan keluar menuju *annulus* melalui *bit nozzle*. Campuran *cutting* dan lumpur kemudian dialirkan menuju ke *mud conditioner* (terdiri atas *shale shaker*, *desander*, *desilter* dan *degasser*) untuk dilakukan penyaringan hingga lumpur dan *cutting* terpisah. Lumpur yang telah dipisahkan dengan *cutting* kemudian dialirkan ke *mud pit* untuk diinjeksikan kembali kedalam sumur.

## 2. Pengontrolan Sumur (*Well Control*)

Dalam proses pengeboran, pengontrolan sumur atau *well control* harus diperhitungkan proses ini dapat berfungsi untuk mencegah dan menghindari kejadian yang tidak diinginkan seperti terjadinya *kick* maupun *blowout*. Ilustrasi *blowout* ditunjukkan pada Gambar 2.3 [5].



**Gambar 2.3** Terjadinya *Blowout* pada *platform offshore* [5]

*Kick* dapat terjadi akibat lebih besarnya tekanan pada formasi daripada tekanan hidrostatik lumpur, sehingga menyebabkan fluida mengalir dari formasi menuju *wellbore*. Sedangkan *blowout* terjadi ketika *kick* yang terjadi tidak terkontrol. Penyebab ketidaksetimbangan tekanan formasi dengan tekanan hidrostatik lumpur karena,

- a. Berat lumpur kurang
- b. Kesalahan ketika proses penginjeksian lumpur, sehingga masih terdapat lubang yang tidak terisi,
- c. Tekanan *swab*,
- d. *Cut mud*,
- e. Kehilangan sirkulasi.

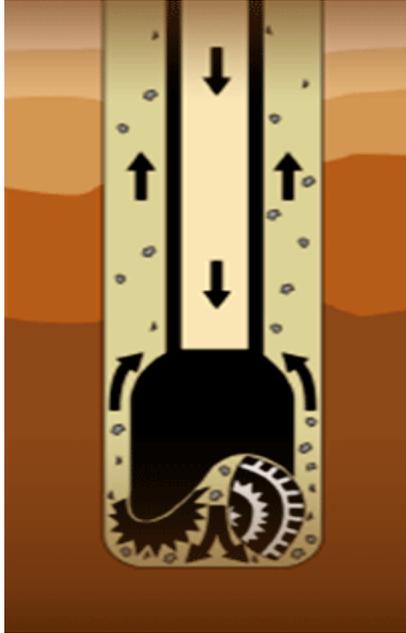
Berdasarkan penyebab *kick* diatas, terdapat tanda-tanda akan terjadi *kick* antara lain,

- a. Peningkatan *flow rate*,
- b. Peningkatan volume *pit*,
- c. Aliran lumpur mengalir keluar dari sumur,
- d. Penurunan tekanan pompa dan stroke pompa meningkat,
- e. Tidak terisinya lubang saat proses,
- f. Perubahan berat *string*,
- g. Hancurnya alat pengeboran,
- h. Penurunan berat lumpur,

*Kick* dan *blowout* dapat menyebabkan kerugian besar, baik bagi sumber daya alam, perusahaan maupun pekerja dan pada akhirnya mengacu pada peningkatan *cost*.

Dalam suatu operasi pengeboran, laju lumpur pemboran juga merupakan suatu parameter yang harus dikontrol, karena lumpur pemboran dijadikan salah satu acuan

penentu keberhasilan proses pengeboran. Skema kerja lumpur pemboran ditunjukkan pada Gambar 2.4 [6].



**Gambar 2.4** Skema Kerja Lumpur Pemboran [6]

Fungsi lumpur pada proses pengeboran antara lain sebagai berikut,

- Mengangkat *cutting* ke permukaan sebagaimana bergantung terhadap kecepatan fluida pada *annulus*,
- Mendinginkan dan melumasi *bit* dan *drill string* akibat panas yang timbul karena adanya gesekan dengan formasi,
- Melumasi dinding pada lubang bor dengan *mud cake* di permukaan formasi yang *permeable*, sehingga

menyebabkan aliran fluida tertahan dan tidak masuk ke formasi berikutnya,

- Mengatur tekanan formasi dengan memperhitungkan besar kecilnya *density* lumpur yang dimasukkan,
- Mendapatkan informasi *mud log* dan *sample log* untuk dianalisis terdapat tidaknya kandungan hidroksida beserta penentuan jenis formasi yang dibor.

### 3. Pengujian sumur (*Well testing*)

Dalam proses pengeboran, proses *well testing* berperan untuk menentukan kelayakan semua sistem dan *equipment* terkait proses pengeboran. *Well testing* mengacu pada pengujian performansi sumur, dimana pada proses ini akan diperoleh data tekanan, temperatur, *specific gravity*, umur dari sumur minyak, serta banyaknya minyak yang dapat dihasilkan [7].

## 2.2 Aspek Pengeboran

Untuk menjaga kelancaran pada saat proses *drilling* pada sebuah *well* (sumur minyak), terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan dan dijaga dengan baik kestabilan pada setiap komponennya sebagaimana sesuai dengan *range* pada perencanaan. Adapun aspek – aspek yang terkait antara lain sebagai berikut,

### a. Laju Aliran Lumpur

Pada saat proses penginjeksian maupun pengangkatan *cutting*, perlu diperhatikan besarnya laju aliran (*flow rate*) pada lumpur yang mengalir kedalam sumur. Besarnya *flow rate* berbanding lurus dengan tekanan pompa. Apabila *flow rate* diperbesar dua kali lipat, maka tekanan pada pompa berubah menjadi 4 kali semula. Semakin banyak lumpur yang dipompa kedalam sumur, semakin cepat pula *flow rate* lumpur. Pada proses pengangkatan, semakin cepat *flow rate* pada lumpur, maka semakin cepat pula proses pengangkatan. Namun pada proses ini perlu diperhatikan besarnya maksimal *flow rate* yang dapat ditahan oleh pompa [8].

### b. *Density* Lumpur

*Density* lumpur adalah salah satu aspek penting yang berpengaruh pada kelancaran dan keamanan proses drilling. *Density* lumpur memiliki peranan langsung terhadap fungsi penahanan tekanan formasi.

*Density* memiliki peranan yang berhubungan langsung dengan fungsi penahanan tekanan formasi. Ketika suatu sistem pengeboran memiliki *density* yang terlalu besar akan menyebabkan lumpur hilang ke formasi (*lost circulation*) dan diperkirakan akan terjadi *kick*. Oleh karena itu, perlu disesuaikan kondisi *density* dengan keadaan formasi.

### c. *Jet Nozzle*

*Jet Nozzle* menjadi suatu komponen penting yang digunakan untuk meningkatkan proses pembersihan dari *drilling fluid* yang terdapat pada dasar sumur [9]. Digunakannya *jet nozzle* harus memerhatikan beberapa faktor antara lain,

#### - Pemilihan Ukuran *Jet Nozzle*

Ukuran *jet nozzle* akan memengaruhi *penetration rate* secara signifikan pada saat proses pembersihan *bottom hole*, karena semakin besar ukuran *jet nozzle* tentunya memiliki kapasitas dan kemampuan untuk mengalirkan fluida dengan *flow rate* yang lebih besar.

#### - *Maximum Nozzle Velocity*

Ketika ukuran *jet nozzle* telah ditetapkan, tekanan pada permukaan sekitar laju aliran bernilai sama dengan tekanan maksimum pada permukaan yang diizinkan. Oleh karena itu, kecepatan maksimum fluida pada *jet nozzle* dapat dicapai sehingga mampu mengangkat *cutting*. Kecepatan maksimum *jet nozzle* dapat tercapai ketika terjadi *pressure drop* pada *bit*, yaitu saat adanya tekanan pompa, *frictional pressure loss* pada *drill string* serta *annulus* yang minimum.

#### - *Maximum Bit Hydraulic Horsepower*

Akan terjadi peningkatan *rate of penetration* seiring dengan meningkatnya *maximum bit hydraulic horsepower* sampai ketika dilakukan pembersihan

*cutting*. Setelah selesainya pembersihan pada *cutting*, peningkatan *rate of penetration* tidak lagi dibutuhkan.

d. *Weight on Bit (WOB)*

WOB atau berat *bit* merupakan jumlah penambahan gaya tekan kebawah yang diberikan pada *bit* untuk menghancurkan bebatuan pada lapisan tanah. Sebagai contoh perhitungan WOB pada pengeboran vertikal. Jika pengukuran di permukaan menunjukkan bahwa berat *drill string* 1000 kg lebih ringan dibandingkan dengan berat *bit* di dasar, maka terdapat gaya sebesar 1000 kg yang ditransferkan ke *bit*. Pengukuran tersebut dibaca menggunakan *hydraulic gauge* di permukaan yang langsung disambungkan ke peralatan agar didapatkan akurasi maksimum. *Weight transfer control* dari WOB dapat mengurangi *operating cost* dan *time* sehingga memperpanjang umur dari *bit*.

Pemilihan WOB dan *rotary speed* yang tepat akan menghasilkan operasi *drilling* yang optimal, meminimalisir *cost*, dan memperpanjang umur *bit*. *Rotary speed* dan WOB dapat mengontrol getaran dan *rate of penetration* dengan tujuan untuk menjaga kehalusan kontak antara *bit* dengan bebatuan, mencegah terjadinya kerusakan, dan memaksimalkan efisiensi energi dengan mengurangi energi yang terbuang sia-sia. *Rotary speed* dan WOB yang ditambahkan terus menerus karena dapat menyebabkan kelelahan ekstrim pada *drill string* dan *bit*. Begitu juga dengan kelebihan penambahan berat dan tekanan dapat menyebabkan *drill pipe* bengkok.

## 2.3 Pemodelan *Drilling System*

Sebagai bahan pertimbangan untuk kegiatan pemantauan performansi dari *drilling system* pada penelitian ini, digunakan dua jenis pemodelan yaitu pemodelan pada *rate of penetration (ROP)* dan pengendalian tekanan.

### 2.3.1 Pemodelan *Rate of Penetration*

ROP dapat dinotasikan sebagai kecepatan dimana *bit* melaju dan menembus bebatuan untuk memperdalam *borehole*.

ROP dinyatakan dengan satuan inchi per menit, meter per jam, atau menit per-*foot*. Peningkatan ROP akan berbanding lurus dengan peningkatan produktifitas, yang tentunya akan berdampak pada kenaikan profit perusahaan.

Terdapat beberapa aspek yang harus dipertimbangkan apabila ingin meningkatkan ROP, yaitu pemilihan jenis *bit*, konfigurasi sistem, pemilihan mahkota *bit*, besarnya aliran lumpur, *rotation speed* dan *pressure* yang tepat. Dalam tugas akhir ini digunakan pemodelan *rate of penetration* (ROP) menggunakan model **Bourgoyne Jr.** dan **Young Jr.** atau lebih dikenal dengan BYM model. Adapun persamaan hasil pemodelan *rate of penetration* BYM yang digunakan adalah sebagai berikut [9]

$$ROP = f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 \times f_6 \times f_7 \times f_8 \quad (2.1)$$

dimana:

ROP = *Rate of Penetration* (meter / jam)

$f_1$  = efek *formation strength*

$f_2$  = efek kedalaman dan pemadatan

$f_3$  = 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*

Berdasarkan persamaan (2.1), faktor – faktor dalam pemodelan BYM yaitu  $f_1$  sampai dengan  $f_8$  merepresentasikan bermacam – macam pengaruh pada *rate of penetration* yaitu pada *formation strength*, kedalaman, berat *bit*, kecepatan rotasi *drill string*, *differential pressure*, gaya *jet impact* lumpur dan lain – lain. Faktor  $f_1$  merupakan efek formulasi dari kekuatan dan tipe *bit*.  $f_1$  akan bernilai konstan untuk kondisi pengeboran dan tipe *bit* yang diberikan. Pengaruh dari peningkatan kekuatan formasi karena efek *normal compaction* dengan kedalaman terkandung dalam  $f_2$ . Sementara  $f_3$  merupakan efek *under compaction* yang tidak normal. Faktor  $f_2$  dan  $f_3$  juga bernilai bernilai konstan. Untuk

faktor  $f_4$  berpengaruh pada *over* atau *under balance* pada *penetration rate*, juga pada *mud density*. Faktor  $f_5$  dan  $f_6$  berkaitan dengan berat *bit* (WOB) dan kecepatan rotasi *bit* sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2.2) dan (2.4). Faktor  $f_7$  memodelkan efek keausan gigi yang mana diasumsikan bernilai konstan dalam kondisi *steady state*. Sementara faktor  $f_8$  memodelkan efek gaya *jet impact* hidraulik dan lumpur pada ROP sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2.8).

$$f_4 = e^{a4(pf-pbh)} \quad (2.2)$$

$$f_5 = \left[ \frac{\left(\frac{W}{db}\right) - \left(\frac{W}{db}\right)t}{71.4 - \left(\frac{W}{db}\right)t} \right]^{a5} \quad (2.3)$$

$$f_6 = \left(\frac{N}{60}\right)^{a6} \quad (2.4)$$

$$f_8 = \left(\frac{f_j}{4482}\right)^{a8} \quad (2.5)$$

dimana:

$e^{a4}$  = Parameter Laju Penetrasi

$p_f$  = Tekanan Formasi (Bar)

$p_{bh}$  = *Pressure Bottom Hole* (Bar)

$f_j$  = *Gaya Jet Impact Hydraulic* (N)

$d_b$  = *Diameter Bit* (Meter)

$N$  = Kecepatan putar *drill* (RPM)

$W$  = Berat *bit* atau WOB (Ton)

$W$  merepresentasikan notasi berat *bit* dalam satuan metrik ton.  $N$  adakah notasi *rotary speed* dari *bit* dalam satuan putaran per menit (RPM). *Diameter bit* dan kedalaman sumur dinotasikan dalam  $d_b$ .  $(W/d_b)t$  merupakan nilai ambang batas berat *bit* per diameter *bit* yang harus dihitung untuk menembus formasi tanah sebagaimana bergantung pada karakteristik formasi.  $p_f$  merupakan notasi tekanan formasi pada bagian bawah sumur, sedangkan  $p_{bh}$  merupakan notasi tekanan lubang bawah di sumur.  $F_j$  merupakan notasi gaya akibat dampak jet *nozzle* dalam  $N$ . Faktor  $f_1$ - $f_3$  dan  $f_7$

yang bernilai konstan digabung menjadi satu konstanta, yaitu  $R_0$ . Konstanta tersebut ada berdasarkan pada kemampuan *drillability* formasi dalam satuan m/jam. Persamaan yang dihasilkan untuk laju penetrasi setelah mempertimbangkan faktor konstan dan faktor yang digunakan disajikan pada persamaan (2.6). Eksponen  $a_4$ ,  $a_5$ ,  $a_6$  dan  $a_8$  dipilih berdasarkan nilai tipikal yang telah disebutkan dalam literatur, dan disajikan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Tabel Parameter Laju Penetrasi

Parameter	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_8$
Nilai	0.01	1	0.7	0.3

Berdasarkan teori yang ada, peningkatan WOB berpengaruh pada peningkatan ROP, namun tidak berpengaruh pada *rotary speed*. Dengan melakukan proses *hole cleaning* yang baik akan menghasilkan ROP yang optimal. Dalam tugas akhir ini, kondisi *hole cleaning* diasumsikan dalam keadaan sempurna. Adapun persamaan dimana ROP dipengaruhi oleh WOB adalah sebagai berikut,

$$ROP = R_0 e^{0.01(pf - pbh)} \left[ \frac{\left(\frac{W}{db}\right) - \left(\frac{W}{db}\right)t}{71.4 - \left(\frac{W}{db}\right)t} \right] \left(\frac{N}{60}\right)^{0.7} \left(\frac{F_j}{4482}\right)^{0.3} \quad (2.6)$$

### 2.3.2 Pemodelan Pengendalian Tekanan

Untuk menguji kinerja kontrol tekanan, dilakukan pemodelan pengendalian tekanan secara dinamik. Diasumsikan bahwa aliran satu dimensi dengan kerapatan konstan pada *annulus* dan luas penampang. Adapun persamaan pemodelan pengendali tekanan yang disajikan merupakan gabungan dari persamaan kontinuitas dan momentum (s) sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut [9],

$$\frac{V_d}{\beta_a} p_c = q_{bit} \dot{\cdot} q_c + q_{bck} \quad (2.7)$$

$$\frac{V_d}{\beta_d} p_p = q_p \dot{\cdot} q_{bit} \quad (2.8)$$

$$M \dot{q}_{bit} = p_p - p_c - \theta_1 q_{bit} - \theta_2 |q_{bit}| q_{bit} \quad (2.9)$$

Tekanan pada lubang bawah dihitung menggunakan persamaan (2.10) dan tekanan pada *choke* dihitung menggunakan persamaan (2.11).

$$pbh = p_c + \theta_1 q_{bit} + \rho g D \quad (2.10)$$

$$q_c = K_c Z_c \sqrt{\frac{2}{\rho_m} (p_c - p_0)} \quad (2.11)$$

dimana:

$p_c$  = *Choke pressure* (Bar)

$pbh$  = *Pressure bottom hole* (Bar)

$p_p$  = *Pressure main pump* (Bar)

$z_c$  = *Bukaan valve* (%)

$q_{bck}$  = *Flow back pump* (Liter/s)

$q_{bit}$  = *Flow bit* (Liter/s)

$q_p$  = *Flow main pump* (Liter/s)

$q_c$  = *Flow choke* (Liter/s)

Dalam pemodelan ini, gesekan linier diasumsikan sebagai *annulus* pada sumur, sedangkan gesekan kuadrat diasumsikan sebagai *bit string*. Penurunan tekanan akibat gesekan dimodelkan dengan parameter gesekan yaitu  $\theta_1$  dan  $\theta_2$ . Tekanan  $p_c$  dan  $p_p$  adalah notasi yang merepresentasikan *pressure back pump* dan *choke pressure* dengan satuan barg.  $p_0$  adalah notasi tekanan atmosfer yang bernilai 0 karena satuan unit yang digunakan adalah barg. *Flowrate*  $q_p$ ,  $q_{bck}$ ,  $q_{bit}$  dan  $q_c$  adalah notasi tingkat pompa utama, pompa tekanan balik, *flowrate* yang melewati *bit* dan *choke valve*.  $K_c$  merupakan konstanta pada *valve* dengan satuan  $m^2$ .  $V_a$  dan  $V_d$  adalah notasi volume *annulus* sumur dan notasi *volume internal* dari *string bit* yang telah dikalkulasi berdasarkan spesifikasi diameter bagian dalam.  $\beta$  adalah notasi *modulus bulk* lumpur pengeboran yang digunakan sebagai parameter ukuran ketahanan lumpur terhadap kompresibilitas.  $M$  adalah notasi jumlah koefisien massa  $M_a$  dan  $M_d$  sebagaimana didefinisikan pada persamaan (2.12) dan (2.13).

$$M_a = \frac{\rho D}{Aa} \quad (2.12)$$

$$M_d = \frac{\rho D}{A_d} \quad (2.13)$$

Parameter-parameter pemodelan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Parameter Pemodelan Tekanan Dinamik

Parameter	Deskripsi	Satuan
$d_b$	<i>Drill bit diameter</i>	m
$d_s$	<i>Drill string outer diameter</i>	m
$d_i$	<i>Drill string inner</i>	m
$V_a$	<i>Annulus volume</i>	m <sup>3</sup>
$V_d$	<i>Drill string internal volume</i>	m <sup>3</sup>
$\beta$	<i>Bulk modulus</i>	-
$\theta_1$	<i>Annulus friction parameter</i>	Kg/m <sup>4</sup> s
$\theta_2$	<i>Drill string friction parameter</i>	-
M	<i>Mass coefficient</i>	-
D	<i>Depth of well</i>	M
$\rho$	<i>Drilling mud density</i>	Kg/m <sup>3</sup>
$K_c$	<i>Valve flow constant</i>	-

### 2.3.3 Pemodelan Tekanan *Drilling Steady State*

Pemodelan untuk tekanan injeksi *drilling* dilakukan dengan melakukan perhitungan tekanan yang dibangkitkan pada pompa *main pump*, tekanan sepanjang *drilling pipe* (hidrostatik), tekanan akibat penambahan massa dari serpihan batuan, tekanan sepanjang *annulus*, tekanan yang disebabkan karena bukaan *choke vlave* dan tekanan karena *back pump*. Penambahan tekanan pada setiap titik tersebut mengacu pada persamaan kesetimbangan massa dimana *input* sama dengan *output*. Berikut ini disajikan persamaan mengenai penambahan tekanan diatas [10].

$$\theta q_{in} + Pbh + \rho gD + \theta q_{back} = \left( \frac{qc}{k_c.zc} \right)^2 \rho m \quad (2.14)$$

Pada persamaan (2.14), kesetimbangan massa pada pemodelan tekanan sistem *drilling steady state* menunjukkan ketika tekanan pada *input* naik dan tekanan pada *bit* konstan maka tekanan pada *back pump* naik. Penjumlahan seluruh titik diatas akan menghasilkan nilai setimbang pada tekanan di *choke*. Notasi  $\theta$  pada persamaan (2.14) merupakan parameter *friction* dari *drill string*. Dari rumus tersebut dapat dilihat bahwa ketika *density main pump* mengecil maka tekanan pada *bit* juga mengecil namun jika tekanan pada *bit* membesar maka akan mengakibatkan bukaan pada *pressure choke* membesar sehingga tekanannya mengecil.

$$\theta q_{in} + P_{bh} + \rho g D + \theta q_{bck} = p_c \quad (2.15)$$

dimana:

- $\theta_{q_{in}}$  = *choke pressure* (Bar)
- $p_{bit}$  = *pressure main pump* (Bar)
- $\theta_{q_{bck}}$  = bukaan *valve* (%)
- $\rho_m$  = *mud density* (Kg/m<sup>3</sup>)
- $z_c$  = bukaan *valve* (%)
- $k_c$  = *valve coefficient*
- $q_c$  = *flow choke valve*

Nilai tekanan dan *flowrate* pada *main pump* bergantung dari putaran mata bor sedangkan nilai  $\rho g D$  pada *drill pipe* bergantung pada kedalaman sumur. Tekanan pada *bit* bergantung pada tingkat *density* dan kecepatan putar *bit* itu sendiri, sedangkan nilai pada *annulus* bergantung pada prinsip yang sama dengan *drill pipe*. Pada *pressure choke* nilainya bergantung pada bukaan *valve* yang diatur untuk mengatur tekanan dan aliran, sedangkan pada *back pump* bergantung dari kecepatan putar pompa dikarenakan tugasnya sebagai *maintenance*.

## 2.4 **Drilling Cost pada Proses Pengeboran**

Biaya merupakan salah satu komponen penting dalam berjalannya suatu perusahaan, tidak terkecuali pada kegiatan pengeboran. Dalam proses pengeboran, biasanya biaya yang

dibutuhkan dihitung berdasarkan banyaknya kontraktor dan waktu pekerjaan per hari. Semakin cepat proses pengerjaan pengeboran pada sebuah *rig* dapat memberikan keuntungan berupa *saving cost* perusahaan, karena waktu pekerja menjadi semakin sempit dan *rig* dapat digunakan untuk pekerjaan yang selanjutnya. Adapun persamaan *drilling cost* yang digunakan adalah sebagai berikut [9],

$$J_{min} = C_f + C_{var}(t_d + t_c + t_t) \quad (2.16)$$

dengan penjabaran:

$$t_d = \frac{D}{R} \quad (2.17)$$

Pada persamaan (2.17) dibawah ini diasumsikan bahwa koneksi pipa sepanjang 27 meter, sehingga:

$$t_c = t_c^0 \frac{D}{27} \quad (2.18)$$

$$t_t = t_t^0 \left( \frac{t_d}{t_d^0} + \frac{D}{1000} \right) = t_t^0 \left( \frac{D}{R} + \frac{D}{1000} \right) \quad (2.19)$$

Persamaan (2.16) digabungkan dengan persamaan (2.19) sehingga menghasilkan persamaan *cost* sebagai berikut:

$$J = C_f + C_{var} \left( \frac{D}{R} + t_c^0 \frac{D}{27} + t_t^0 \left( \frac{D}{R t_d^0} + \frac{D}{1000} \right) \right) \quad (2.20)$$

dimana:

$J$  = Representasi total *drilling cost* (Jam)

$C_f$  = *Fixed Cost* (Jam)

$C_{var}$  = *Variabel Cost* (Jam)

$t_d$  = *Total drill time* (Jam)

$t_c$  = *Total making connection* (Jam)

$t_t$  = *Total trip time* (Jam)

$R$  = *Rate Of Penetration* (m/h)

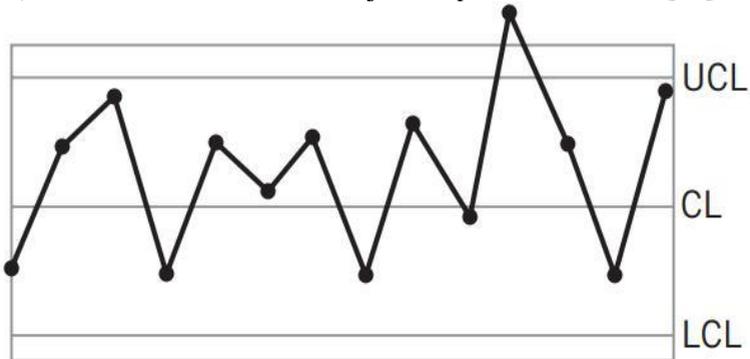
$D$  = *Depth Of Well* (meter)

$K$  = *Bit lifetime constant* (Jam)

$W$  = Weight on Bit (Ton)

## 2.5 Control Chart

*Control chart* merupakan grafik statistik yang digunakan untuk menggambarkan batas kendali dari suatu proses yang terdiri dari batas atas kontrol / *upper control limit* (UCL), batas bawah kontrol / *lower control limit* (LCL), dan batas pusat / *control limit* (CL). Ilustrasi *control chart* ditunjukkan pada Gambar 2.5 [10].



**Gambar 2.5** Bentuk Dasar *Control Chart*

*Control chart*  $\bar{x}$  digunakan untuk menganalisis nilai rata-rata (*mean*) dari parameter yang diamati dalam sebuah proses. Berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan batas kendali *control chart*  $\bar{x}$  :

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s} \quad (2.21)$$

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \quad (2.22)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{s} \quad (2.23)$$

dimana :

$\bar{\bar{x}}$  = Rata-rata dari mean ( $\bar{x}$ )

$\bar{s}$  = Rata-rata dari standar deviasi ( $s$ )

$A_3$  = Konstanta mengacu *tables of constant for control charts*

Sedangkan *control chart*  $S$  digunakan untuk mengukur keakuratan data suatu proses. Berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan batas kendali *control chart*  $S$ ,

$$UCL_s = B_4s \quad (2.24)$$

$$CL_s = \bar{s} \quad (2.25)$$

$$LCL_s = B_3s \quad (2.26)$$

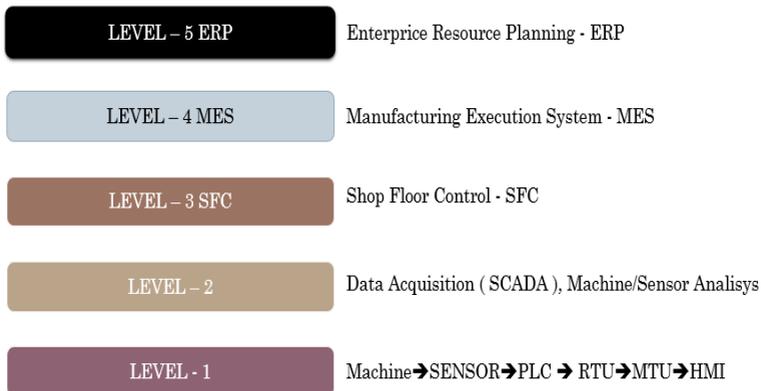
dimana:

$\bar{s}$  = Rata-rata dari standar deviasi (s)

$B_3, B_4$  = Konstanta mengacu *tables of constant for control charts*

## 2.6 Manufacturing Execution System

Sistem Eksekusi Manufaktur (MES) adalah sistem komputerisasi atau software yang digunakan dalam industri manufaktur. MES bekerja secara real time untuk mengaktifkan kontrol beberapa elemen dari suatu proses produksi. MES dapat beroperasi dalam beberapa area layaknya manajemen produksi, penjadwalan sumber daya, analisis produksi untuk keseluruhan efektivitas peralatan (*Overall Equipment Effectiveness*). MES membuat proses manufaktur sempurna dan memberikan umpan balik real-time dari perubahan persyaratan, dan memberikan informasi dari suatu sumber. Penentuan konsep MES dalam suatu industri ditunjukkan pada Gambar 2.6 [10].



**Gambar 2.6** Peta Konsep *Manufacturing Execution System*

Dalam dunia industri, MES dibagi menjadi beberapa kelas. Kelas tertinggi yang dicapai pada industri 4.0 sendiri yaitu kelas 6.0. Pengembangan MES semakin cepat seiring dengan kebutuhan industri yang semakin maju dan proses kompleks, sehingga kebutuhan MES menjadi faktor untuk meningkatkan produktivitas dari suatu proses industri. Adapun pembagian kelas dari MES ditunjukkan pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Tabel Kelas *Manufacturing Execution System*

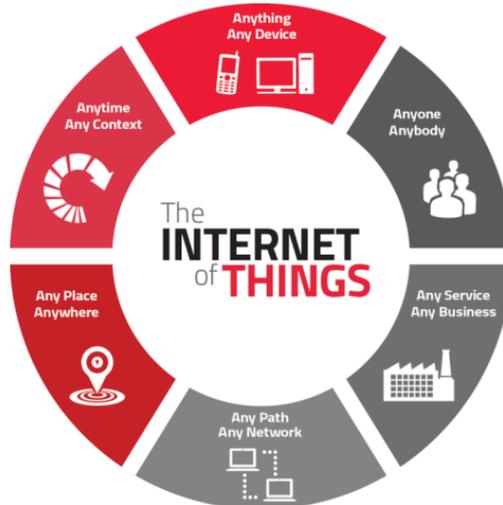
<i>Manufacturing Execution System</i>	
Class 1.0	Pembuatan <i>Maintenance, Schedule Mesin, Production Planning, Man Power Planing</i>
Class 2.0	Class 1.0 + (OEE, Costing, MPS Monitor)
Class 3.0	Class 2.0 + MMS/ <i>Management System</i>
Class 4.0	Class 3.0 + IoT
Class 5.0	Class 4.0 + <i>Predictive Maintenance</i>
Class 6.0	Class 5.0 + <i>Artificial Intelligence</i>

## 2.7 *Internet of things (IoT)*

*Internet of things (IoT)* merupakan sebuah gagasan tentang suatu objek yang mencakup data, dengan elemen – elemen yang *readable, recognisable, locatable* dan *addressable* dengan memanfaatkan informasi dari *sensor device/controllable* yang disalurkan via internet. Tujuan utama dari penggunaan teknologi *internet of things* antara lain yaitu dapat menghubungkan antara suatu pengguna dengan objek/’*things*’ data lainnya kapanpun, dimanapun, dengan *device* apapun dan melewati jenis jaringan apapun [10].

Sistem *internet of things* memungkinkan pengguna untuk mencapai otomatisasi, analisis, dan integrasi yang lebih dalam dalam suatu sistem baik dari segi keakuratan informasi maupun jangkauan area penggunaannya. Karena lengkap dan akuratnya fitur – fitur yang dihadirkan oleh sistem *internet of things*, sudah semestinya sistem *internet of things* dirancang dengan arsitektur tertentu yang memenuhi fungsi kebutuhan pada pengguna *device*.

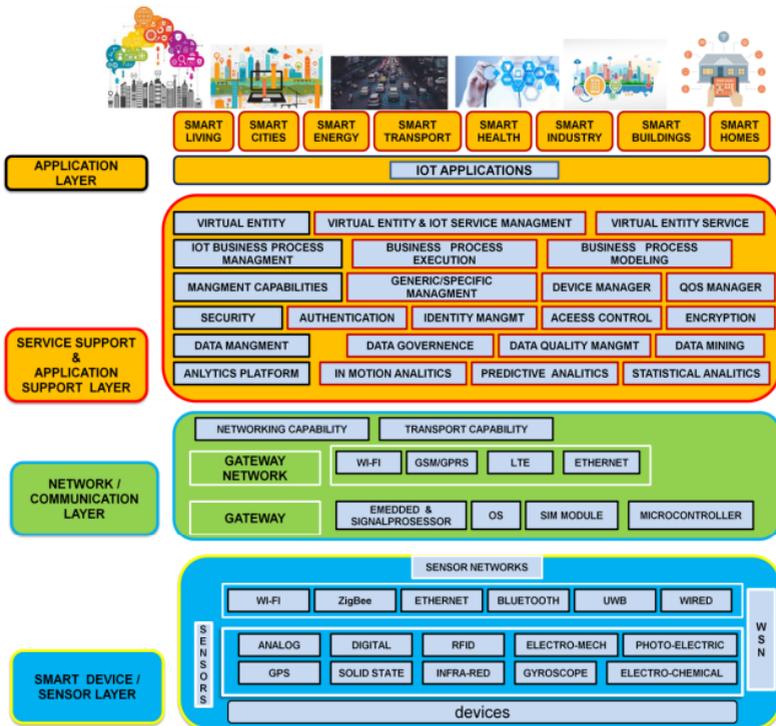
Ilustrasi kinerja dan penerapan *internet of things* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Ilustrasi Penerapan dan Kinerja *Internet of things* [10]

### 2.7.1 Arsitektur *Internet of things*

Arsitektur *internet of things* terdiri dari beberapa *layer* teknologi yang berbeda – beda yang berfungsi untuk mensupport kebutuhan *internet of things*. *Layer* ini mengilustrasikan bagaimana teknologi yang berbeda dapat saling berhubungan dan berkomunikasi secara skalabilitas, modularitas dan terkonfigurasi. Arsitektur *internet of things* ditunjukkan pada Gambar 2.8 [10]



**Gambar 2.8** Arsitektur *Internet of things* [10]

- **Sensor Layer**

Sensor berperan sebagai instrumen yang berubah dari sebuah perangkat yang bersifat pasif menjadi bersifat aktif karena mampu terintegrasi satu sama lain dengan *layer* lainnya, sehingga keseluruhan informasi data dapat diakses.

- **Communication and Networking Layer**

Jaringan dalam *internet of things* berperan untuk menghubungkan data dengan *internet* dan mengakses data lainnya. *Networking layer* diisi dengan *device* yang mampu bekerja sebagai penyedia jaringan (WiFi, Ethernet, SIM, GSM/GPRS).

- ***Service Support Layer***

Pada *support layer* berisi kegiatan *rendering* dan memproses informasi dengan cara *analytics*, kontrol keamanan, *process modelling* dan manajemen *device*. *Internet of things* membawa koneksi dan interaksi antar objek sekaligus menyediakan informasi kejadian secara kontekstual.

Dalam lingkup *analytic*, bermacam peralatan untuk *analytic* digunakan untuk mengekstrak informasi mentahan dari *big data* dan diproses / dikonversi dalam bentuk ‘bit’ laju penyebaran informasi yang lebih cepat.

- ***Application Layer***

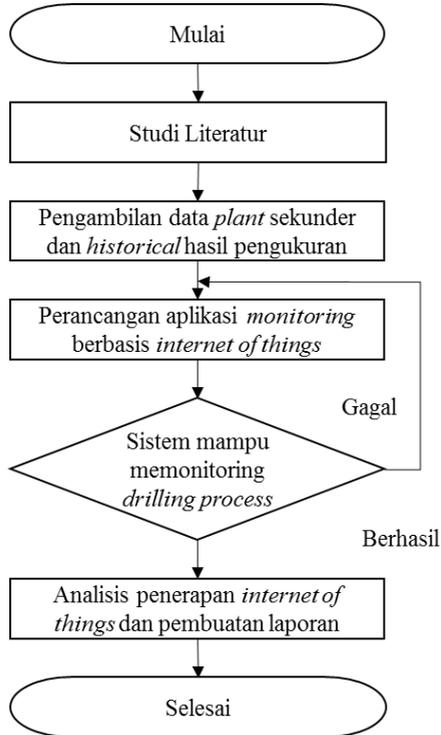
Pada *layer* ini, segala informasi yang telah diolah, dikonversi dan disimpan dalam *big data* telah siap untuk diakses oleh pengguna *internet of things*. Akses tersebut dilakukan melalui *device* yang telah terhubung oleh internet dan memiliki hak akses terhadap *database*. *Device* pengguna bisa berupa *Android*, *IOS*, *website*, *Windows* maupun aplikasi berbasis sistem operasi lainnya. Pada penelitian ini, *application layer* berfokus pada OS *Android* dan *Windows application*.

## **2.7.2 Penerapan *Internet of things* untuk Manufaktur**

Sebagian besar teknologi manufaktur masih menggunakan teknologi standar dalam hal distribusi informasi maupun *analytic*. Teknologi *internet of things* mengenalkan integrasi lebih dalam dan *analytics* yang lebih akurat pada suatu sistem proses. *Analytics* dan aksi yang diberikan *internet of things* dapat pula membantu memastikan *reliability* dari sistem. *Internet of things* dapat mencegah terjadinya *overload* atau mungkin *throttling* dari *equipment* dengan cara menganalisis performa dan stabilitas. Sehingga sebelum terjadi tanda – tanda menuju penurunan kualitas mesin, kerusakan maupun kecelakaan, dapat diberikan peringatan ataupun aksi lainnya [10].

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi penelitian yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini ditunjukkan pada diagram alir sebagaimana pada Gambar 3.1,



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

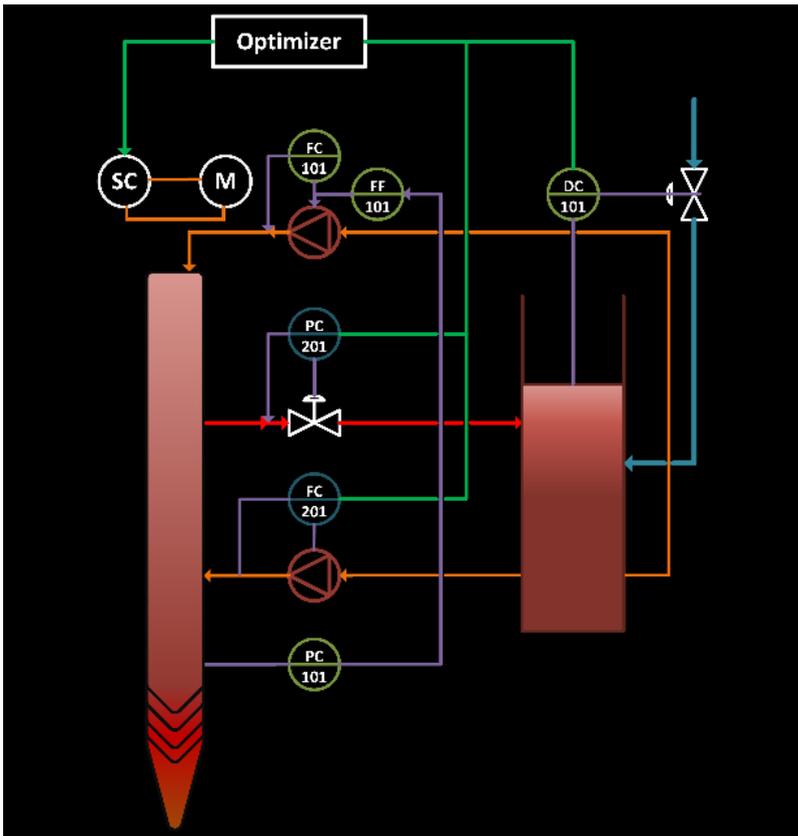
### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur berisi serangkaian kegiatan pencarian dan pengkajian sumber-sumber yang relevan dan terpercaya dalam pengumpulan materi dan menjadi acuan dalam pembuatan tugas akhir ini. Literatur dipilih diambil dari buku-buku, data dari internet serta

jurnal mengenai eksplorasi sumber daya alam berupa minyak dan gas bumi dengan cara pengeboran beserta *internet of things*.

### 3.2 Pengambilan Data *Historical* Pengukuran pada *Drilling System*

Keseluruhan sistem *drilling* yang diteliti untuk dilakukan *monitoring* mengacu pada bagan berupa *pipng & instrument diagram* atau P&ID, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** *Piping and Instrument Diagram (P&ID) dari Drilling System yang dimonitoring*

Dalam tugas akhir ini telah dimonitoring performansi pada *drilling system* yang berdasarkan *Rate of Penetration (ROP)* sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 2. Oleh karena itu, dibutuhkan pengambilan data *historical* dari beberapa indikator yang berpengaruh terhadap nilai ROP dan harus dimonitoring (ditunjukkan pada Lampiran 1). Adapun indikator yang dimaksud ditunjukkan pada Tabel 3.1,

**Tabel 3. 1** Tabel Data *Historical Parameter Monitoring*

<b>Tag Name</b>	<b>Parameter</b>	<b>Satuan</b>
SC-101	Kecepatan putaran pada <i>bit</i>	RPM
DC-101	Densitas <i>mud</i> pada <i>reservoir</i>	Kg/m <sup>3</sup>
FC-101	<i>Flowrate</i> fluida inlet	Liter/s
FC-201	<i>Flowrate</i> fluida outlet	Liter/s
PC-101	Tekanan <i>buttom hole drill</i>	Bar
PC-201	Tekanan <i>choke</i> pada <i>mud</i>	Bar

Pengambilan data dari setiap indikator diambil dari tanggal 1 Januari 2019 sampai dengan 31 Januari 2019. Selain menggunakan beberapa parameter *monitoring* dalam perhitungan *rate of penetration*, terdapat data – data yang menunjukkan kondisi aman pada saat operasi pengeboran. Data – data tersebut antara lain ditunjukkan pada Tabel 3.2,

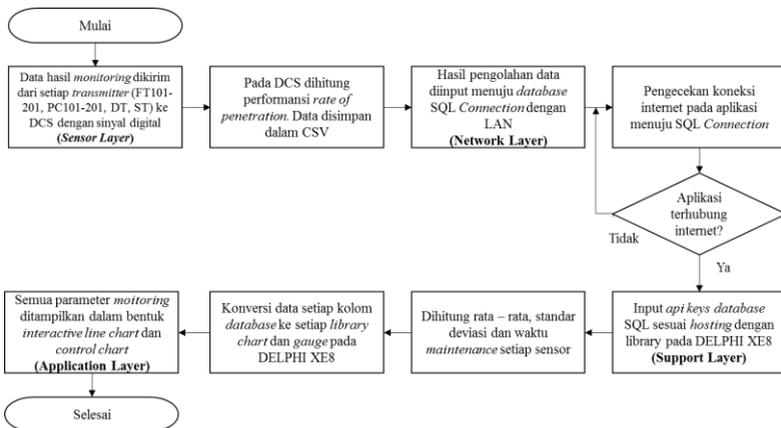
**Tabel 3. 2** Tabel Data Parameter Kondisi Aman Operasi

<b>Simbol</b>	<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
Ro	<i>Formation Drillability</i>	5	Meter/jam
Pf	<i>Formation pressure</i>	470	Bar
Tto	<i>Trip time</i>	10	Jam
RPMmin	<i>RPM minimum</i>	100	RPM
Dbit	Diameter bit	0,254	Meter
$\theta_1$	<i>Annulus trip</i>	900	Kg/m <sup>4</sup> s
Dstring	Diameter <i>string</i>	0,1	Meter
D	Kedalaman Sumur	3000	Meter
$\rho f$	<i>Formation Density</i>	2700	Kg/m <sup>3</sup>
Cost/h	<i>Worker Cost/Jam</i>	19,26	USD

Setelah dihitung performansi dalam pengeboran atau *Rate of Penetration*, diperhitungkan pula *working cost* berdasarkan perhitungan *working time* pada pemodelan *drilling cost* dikalikan dengan *worker cost* per jamnya.

### 3.3 Perancangan Aplikasi Windows untuk Monitoring berbasis Internet of things

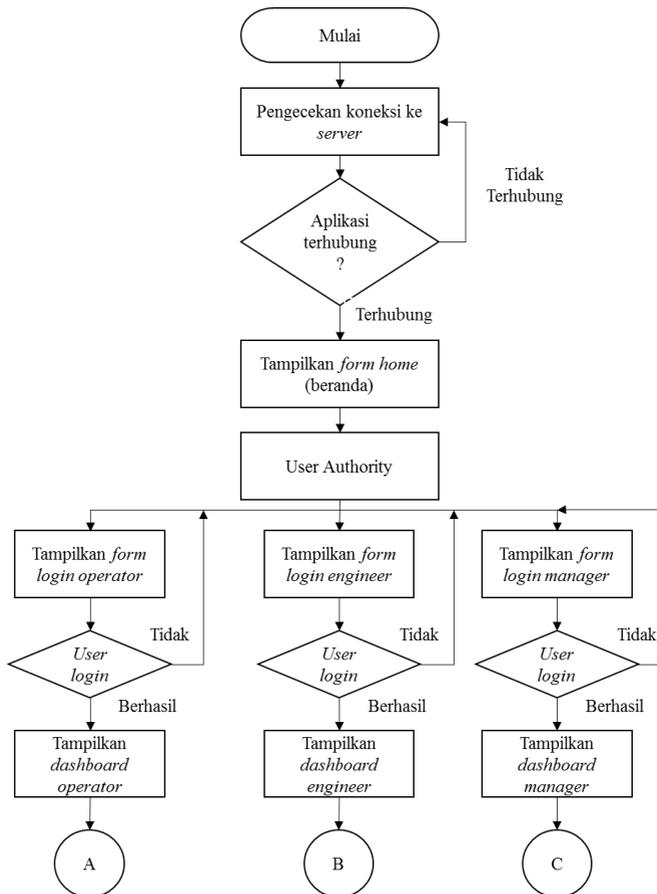
Sebagai media yang berfungsi dalam penerapan industri 4.0 pada sebuah industri, khususnya untuk mempermudah pemantauan produksi pada beberapa parameter di lapangan, performansi alat sampai dengan *cost* yang menghubungkan antara *operator*, *engineer* dan *manager*, dibuatlah sebuah *platform* aplikasi berbasis *internet of things* yang diterapkan menggunakan *Android operating system* yang dirancang menggunakan *Android studio*. Data parameter yang ditampilkan pada *platform Android* mengacu pada *database* yang tersedia didalam *SQL server*. Kemudian dilanjutkan dengan aplikasi *monitoring drilling system* berbasis *Windows* yang dirancang menggunakan *Delphi XE8*. Dalam perancangan aplikasi *MES monitoring drilling system* pada tugas akhir ini mengacu pada arsitektur *internet of things* sebagaimana menggunakan diagram alir pada Gambar 3.3.



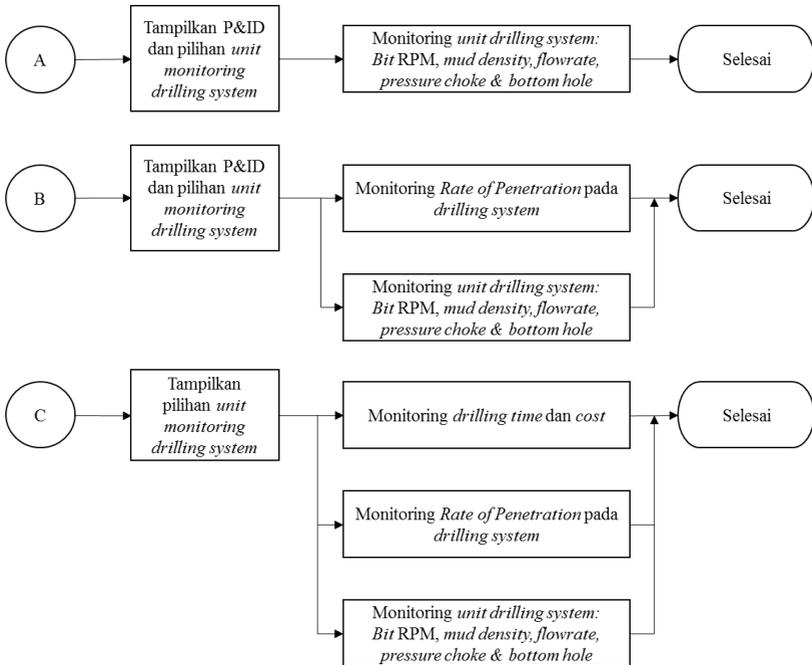
**Gambar 3.3** Diagram Alir Perancangan Aplikasi *Monitoring Drilling System* pada *Windows*

### 3.4 Perancangan Aplikasi *Android* untuk *Monitoring* berbasis *Internet of things*

Dalam tahap perancangan beserta implementasi sebuah aplikasi berbasis *Android*, tentunya juga harus dirancang berdasarkan diagram alir alur kerja sistem. Adapun diagram alir yang menunjukkan alur kerja pada sistem *monitoring* dan berdasarka *user authority* yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



**Gambar 3.4** Diagram Alir Perancangan Aplikasi *Monitoring Drilling System* pada *Android*



**Gambar 3.5** Diagram Alir Perancangan Aplikasi *Monitoring Drilling System* berdasarkan *User Authority* pada *Android*

Aplikasi *monitoring* pada *Android* dibuat menggunakan *Android studio*. Dipilih *Android studio* dalam pembuatan aplikasi karena sistem pada *Android studio* memiliki *gradle* sebagai *build environment* dengan kelebihan berupa editor dengan fitur yang lengkap, terintegrasi dengan akun *hosting*, dapat mem-*build* multiple APK maupun *direct-APK* serta dapat diterapkan di berbagai macam versi OS *Android* lainnya.

Pada *Android studio* menggunakan bahasa pemrograman java untuk saling menghubungkan antara sebuah *layout* dengan *layout* yang lain, serta menghubungkan *api keys* pada *database* atau *SQL server* dengan *Android*. Java juga digunakan untuk mengatur *library* grafik/*line chart* dan *gauge* yang berubah – ubah sesuai data pada *SQL*

*server*. Ketika aplikasi *Android* gagal terhubung ke internet, nilai yang ditampilkan akan berhenti seketika dan tidak berubah.

### 3.5 Analisis Penerapan *Internet of things*

Masing – masing perolehan data *historical* pada setiap indikator akan ditampilkan pada aplikasi berbasis *Windows* dan *Android*. Khusus pada aplikasi *Windows/MES*, ditambahkan fitur *control chart* pada setiap indikator. Dengan tambahan fitur *control chart*, setiap data yang telah dihitung rata – rata setiap waktu, standar deviasi, dibandingkan dengan standar CL (*control limit*), UCL (*upper control limit*) dan LCL (*lower control limit*) yang telah ditetapkan pada vendor dapat dianalisa kondisi terkini dari setiap mesin yang digunakan selama proses pengeboran. Dari *control chart* yang disediakan dijadikan acuan untuk menentukan *predictive maintenance* pada mesin. Adapun nilai CL, UCL dan LCL pada masing – masing indikator yang telah ditentukan oleh vendor ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Tabel Hasil Perhitungan CL, UCL, LCL dan STD pada Setiap Indikator dari 1 Januari sampai dengan 31 Januari 2019

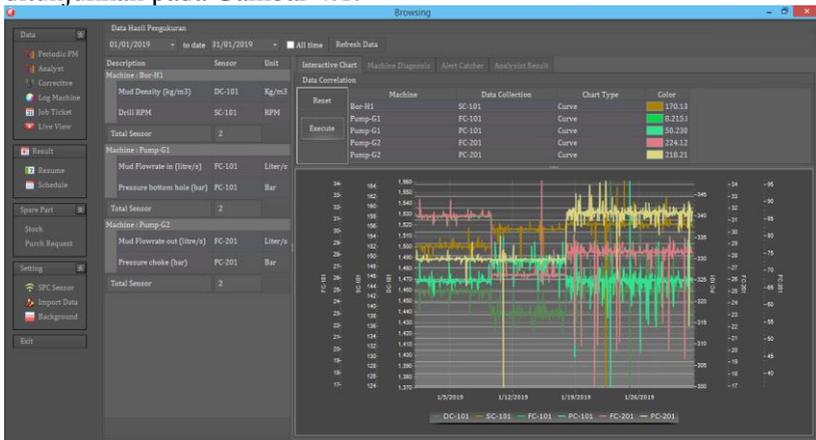
<b>Indikator</b>	<b>CL</b>	<b>UCL</b>	<b>LCL</b>	<b>STD</b>
SC101 (RPM)	156	162	147	2,38
DC101 (Kg/m <sup>3</sup> )	1455	1500	1412	14,2
FC101 (liter/s)	28,45	34,67	22,23	2,07
FC201 (liter/s)	28,2	34,9	22,18	2,12
PC101 (Bar)	326	335	316	3,21
PC201 (Bar)	81,19	100,25	58,14	7,02

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Perancangan *Monitoring Drilling System*

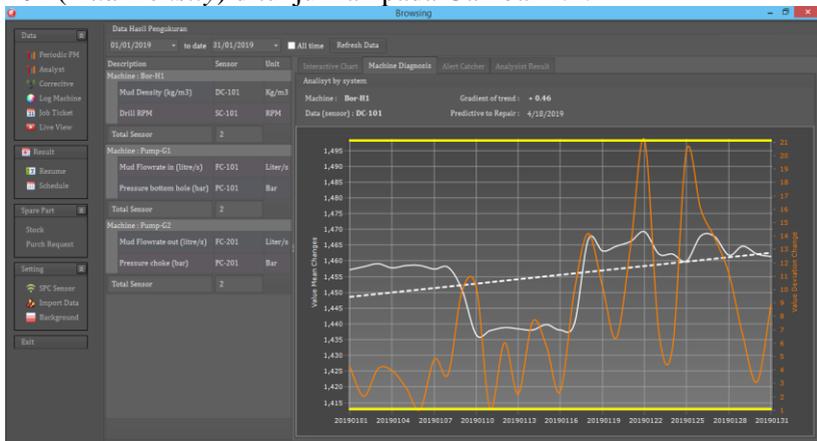
Hasil atau *objective goal* dalam perancangan sistem *monitoring* dalam tugas akhir ini yaitu untuk membuat suatu sistem yang mampu melakukan *monitoring* terhadap setiap parameter dalam suatu proses *drilling*, dari komponen – komponen yang merupakan tanggung jawab dari seorang *operator*, *engineer* sampai dengan *manager*, sehingga mempermudah melakukan analisa berdasarkan masing – masing grafik yang saling berkaitan. Analisa pada grafik berfungsi untuk memantau kinerja atau performansi dari keseluruhan sistem, sampai *predictive maintenance*. Setiap data *historical* pada setiap parameter yang telah melalui pengolahan data dengan .csv dan *SQL server*, semua data ditampilkan dalam MES yang pada halaman utamanya terdapat *interactive line chart*, *control chart*, *machine diagnosis*, P&ID dan alarm *catcher*. Halaman utama dari hasil perancangan MES ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Halaman Utama Hasil Perancangan MES

Penjelasan Gambar 4.1 lebih lanjut ditunjukkan pada lampiran. Pada halaman ini terdapat 3 opsi pada menu *analyst*, yaitu *interactive chart*, *machine diagnosis* dan *alert catcher*. Untuk mengetahui pembacaan sensor setiap waktu dan mempermudah analisa kaitan antara satu sensor dengan sensor lainnya digunakan fitur *interactive chart*.

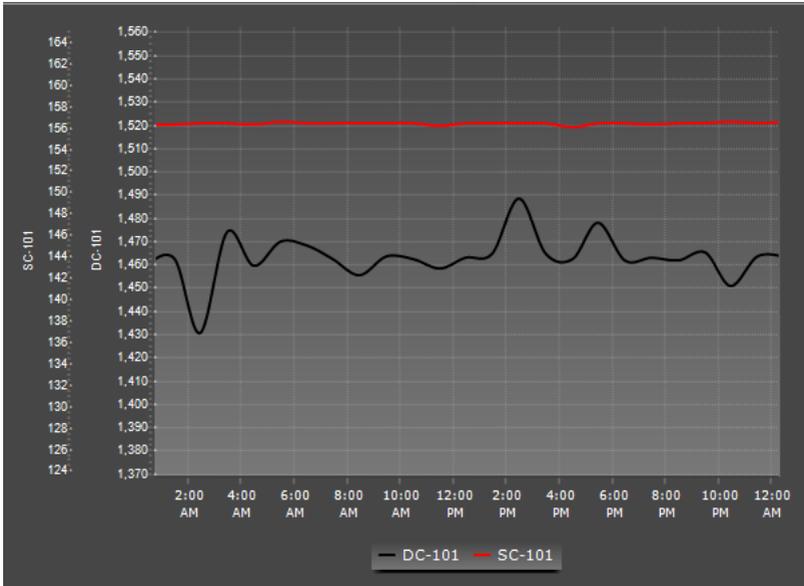
Untuk mendiagnosa performa dan kinerja mesin berdasarkan keluaran sensor dapat digunakan fitur *machine diagnosis*. Pada bagian *machine diagnosis* ditampilkan *control chart* dengan beberapa *line* antara lain yaitu LCL, UCL, CL dan standar deviasi yang telah diproses pada setiap pembacaan sensor. *Machine diagnosis* pada DC-101 (*Mud Density*) ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Grafik *Machine Diagnosis* pada DC-101

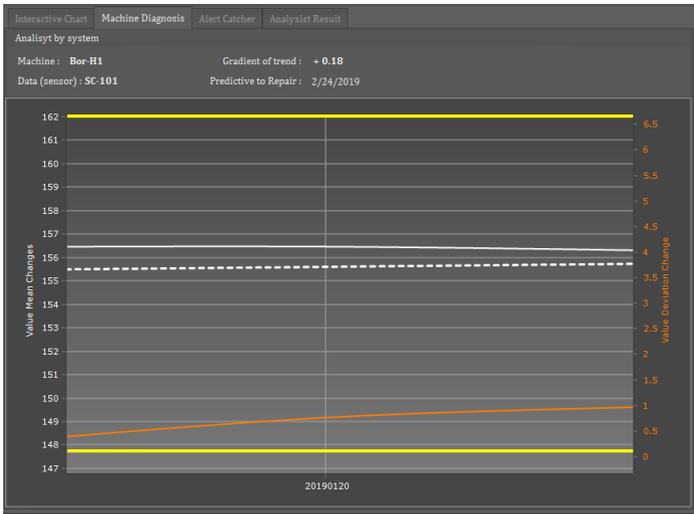
Garis putih merupakan rata – rata aktual pembacaan sensor DC-101, garis putih putus merupakan data CL dari vendor, garis kuning merupakan batas UCL dan LCL, sedangkan garis orange merupakan standar deviasi. Untuk menganalisis, dikelompokkan pembacaan sensor terhadap setiap mesin.

Pada mesin pertama yaitu Bor H-1, terdapat 2 sensor yaitu DC-101 dan SC-101. Hasil pembacaan sensor pada tanggal 20 Januari 2019 ditunjukkan pada Gambar 4.3.

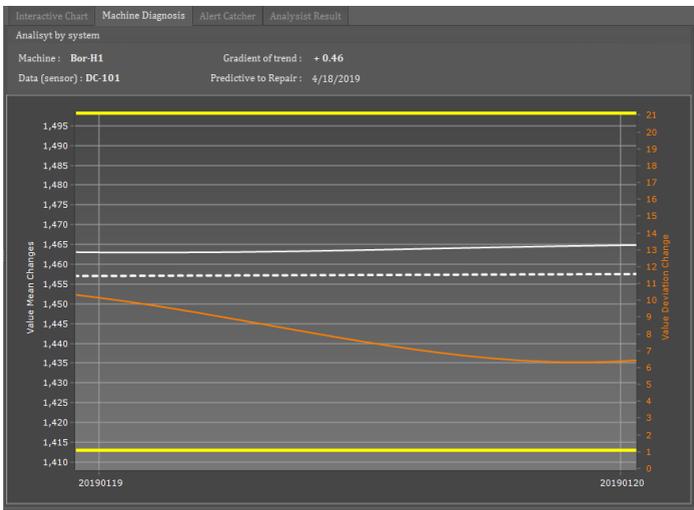


**Gambar 4.3** Grafik Bit RPM SC-101 dan *Mud Density* DC-101

Pada grafik, garis hitam menunjukkan grafik pembacaan sensor DC – 101, sedangkan garis merah menunjukkan grafik pembacaan sensor SC – 101. Pada saat dilakukannya pengeboran pada tanggal 20 Januari 2019, terlihat bahwa kecepatan putar bor tidak bersifat fluktuatif atau dalam keadaan konstan. Sedangkan densitas pada lumpur lebih fluktuatif. Dengan rentang waktu yang sama, grafik *control chart* DC-101 dan SC – 101 ditunjukkan pada Gambar 4.5(a) dan (b).



(a)

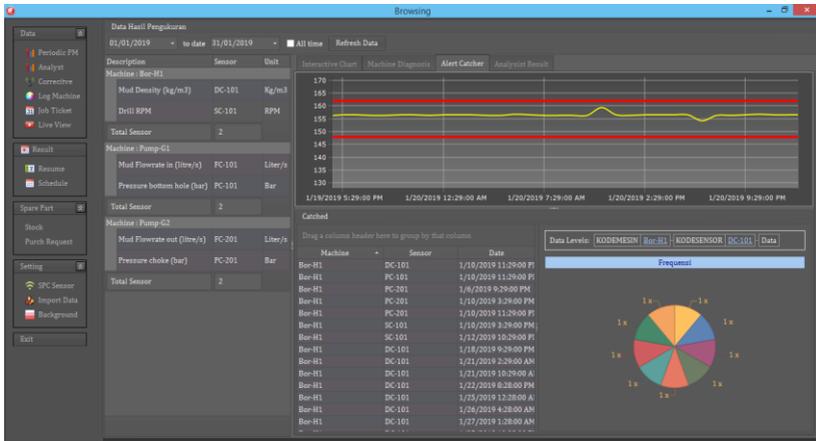


(b)

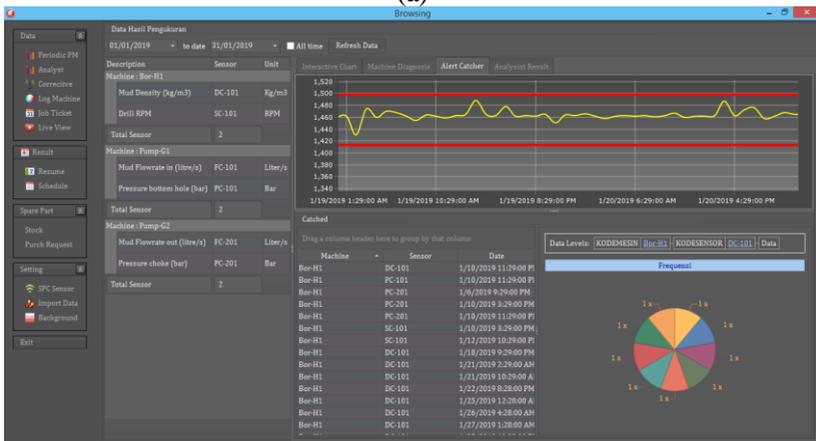
**Gambar 4.4** Grafik *Control Chart* pada SC-101 (a) dan DC – 101 (b)

Penjelasan Gambar 4.4 (a) dan (b) ditunjukkan pada lampiran. Berdasarkan pembacaan grafik 4.4 (a) dan (b), telah terjadi perubahan kinerja mesin apabila dibandingkan dengan kinerja saat awal installasi (garis putih putus) maupun kinerja batas aman yang telah ditetapkan vendor/CL (garis putih). Terjadi penurunan secara kurva pada SC-101 menjauhi garis CL. Hal ini dapat terjadi karena ada kemungkinan bor yang digunakan merupakan bor yang telah dimaintenance berulang kali ataupun faktor eksternal dari semakin kerasnya formasi tanah yang harus ditembus seiring dengan bertambahnya kedalaman pengeboran. Oleh karena kerasnya permukaan formasi, RPM harus ditingkatkan, sehingga terbukti bahwa RPM mengalami peningkatan dari CL yaitu dari 155 menuju 157 RPM. Saat ini standar deviasi juga mengalami peningkatan dari 0,5 menuju 1. Dalam hal ini peningkatan tingkat kekerasan formasi juga demikian mempengaruhi densitas lumpur yang harus ditambah untuk mengangkat *cutting* dalam *well hole*.

Meskipun demikian, belum terdapat indikasi bahwa akan terjadi penurunan performa mesin, karena standar CL tidak melewati UCL maupun LCL, juga standar deviasi tidak melewati batas *upper* dan *lower*. Oleh karena itu berdasarkan analisis *predictive maintenance* pada kedua *control chart*, disarankan waktu yang cukup jauh 24 Februari dan 18 April untuk dilakukan *preventive maintenance*. Karena kedua sensor pada mesin Bor H-1 tidak melewati UCL dan LCL, tidak ada peringatan pada menu *alert catcher* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5 (a) dan (b).



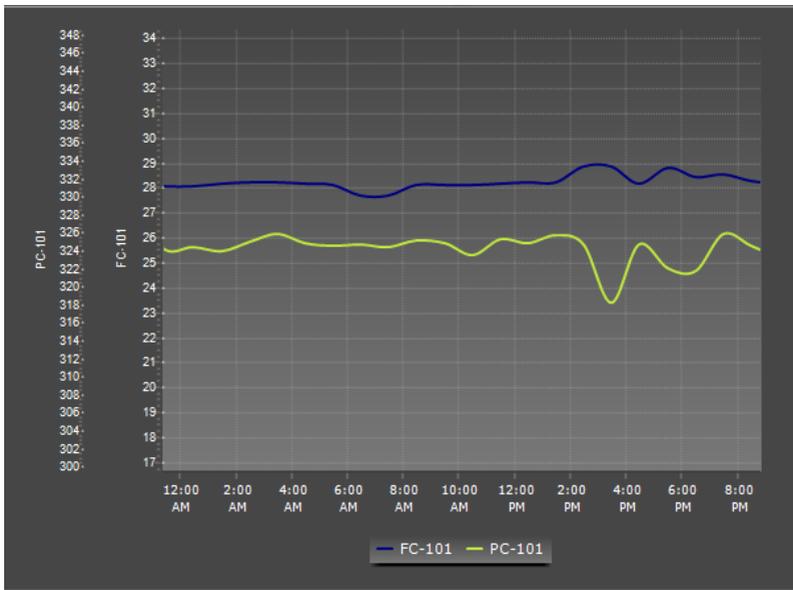
(a)



(b)

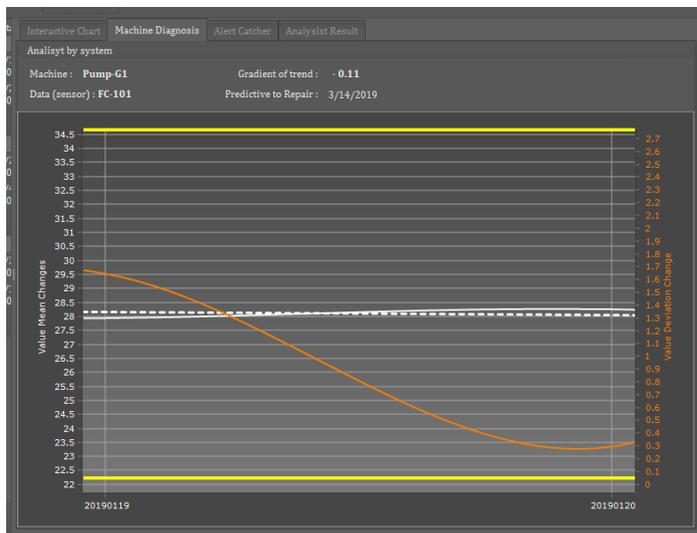
**Gambar 4.5 Alert Catcher pada SC-101 dan DC-101**

Analisis dilanjutkan pada mesin kedua yaitu Pompa G-1. Terdapat 2 sensor yaitu FC-101 dan PC-101. Hasil pembacaan sensor pada tanggal 20 Januari 2019 ditunjukkan pada Gambar 4.6.

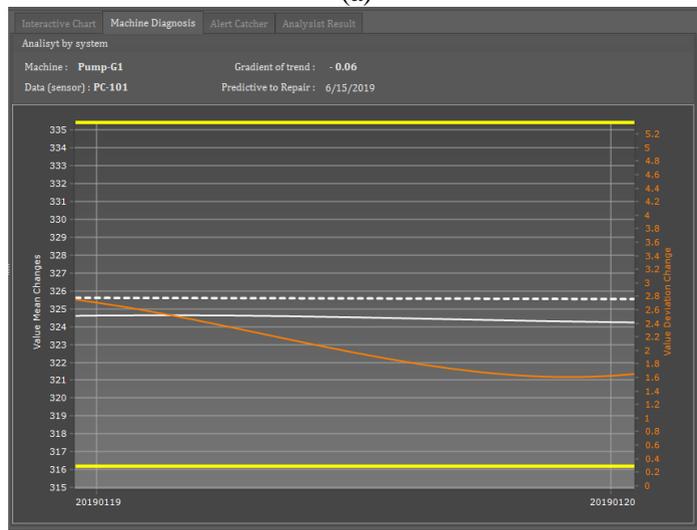


**Gambar 4.6** Grafik Fin FC-101 dan *Pressure Choke* PC-101

Pada grafik, garis biru tua menunjukkan grafik pembacaan sensor FC – 101, sedangkan garis kuning menunjukkan grafik pembacaan sensor PC – 101. Pada saat dilakukannya pengeboran pada tanggal 20 Januari 2019, terjadi fluktuasi *mud flowrate in* dan *pressure choke* pada pukul 2-6 sore. Dengan rentang waktu yang sama, grafik *control chart* FC-101 dan PC – 101 ditunjukkan pada Gambar 4.8(a) dan (b).



(a)

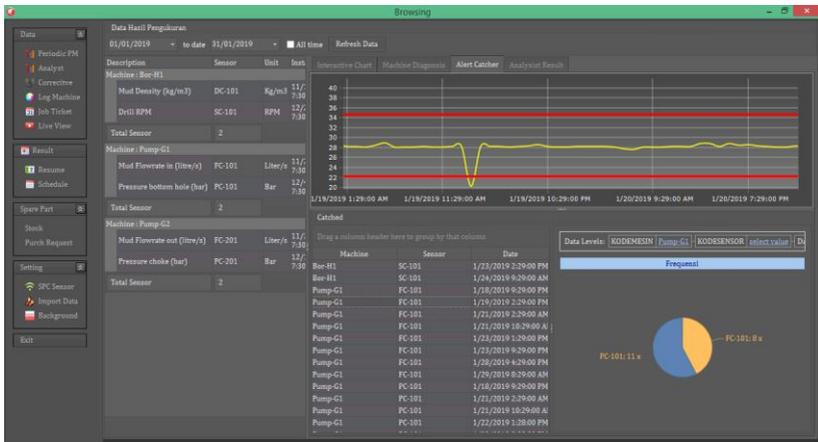


(b)

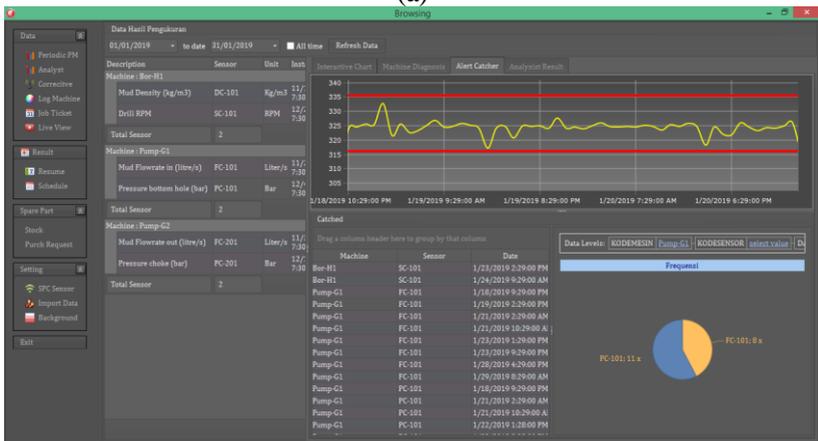
**Gambar 4.7** Grafik *Control Chart* pada FC-101 (a) dan PC – 101 (b)

Penjelasan Gambar 4.7 (a) dan (b) ditunjukkan pada lampiran. Berdasarkan pembacaan grafik pada Gambar 4.7 (a) dan (b) , telah terjadi perubahan kinerja mesin apabila dibandingkan dengan kinerja saat awal installasi (garis putih putus) maupun kinerja batas aman yang telah ditetapkan vendor/CL (garis putih). Masih mengacu pada permasalahan formasi pada mesin bor H-1, kinerja pompa G-1 yang berfungsi mengalirkan lumpur dari *reservoir* menuju *well hole* meningkat sebelum tanggal 19 Januari, lalu menurun pada siang hari menuju tanggal 20 Januari. Hanya terjadi sedikit peningkatan *flowrate*, karena kebutuhan densitas lumpur sendiri lebih diutamakan. Peningkatan *flowrate in* pada lumpur juga memengaruhi penurunan *pressure bottom hole* pada *well hole*. Karena meningkatnya *flowrate*, pompa tidak harus bekerja lebih keras, sehingga terjadi penurunan *pressure bottom hole*. Pada saat ini, terjadi perubahan standar deviasi yang dapat disebabkan oleh *historical* pembacaan sensor sebelum maupun sesudah tanggal 20 Januari 2019 yang mungkin terdapat trip ataupun masalah lainnya. Terjadi penurunan standar deviasi sejauh 2,5 pada *flowrate in* dan 1,2 pada *pressure bottom hole*.

Meskipun demikian, belum terdapat indikasi bahwa akan terjadi penurunan performa mesin, karena standar CL tidak melewati UCL maupun LCL, juga standar deviasi tidak melewati batas *upper* dan *lower*. Oleh karena itu berdasarkan analisis *predictive maintenance* pada kedua *control chart*, disarankan waktu yang cukup jauh 14 Maret dan 15 Juni untuk dilakukan *preventive maintenance*. Karena kedua sensor pada mesin pompa G-1 tidak melewati UCL dan LCL, tidak ada peringatan pada menu *alert catcher* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8 (a) dan (b).



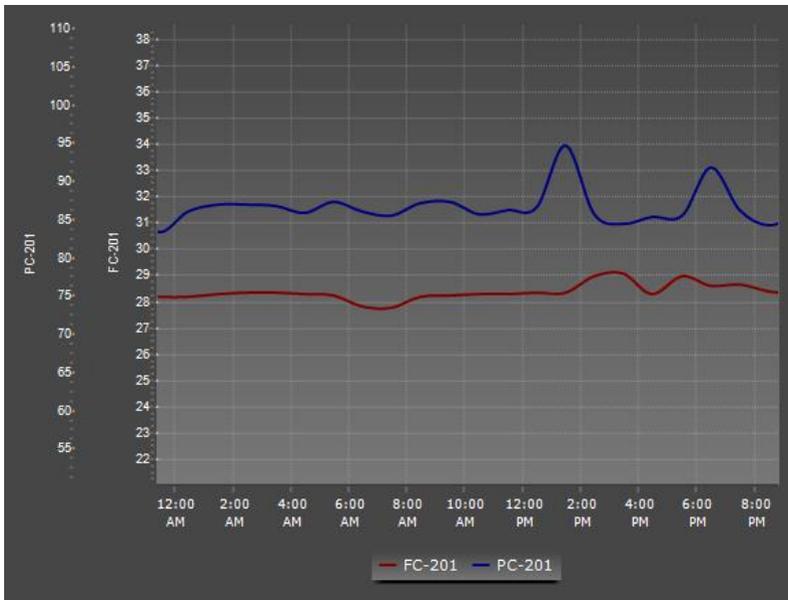
(a)



(b)

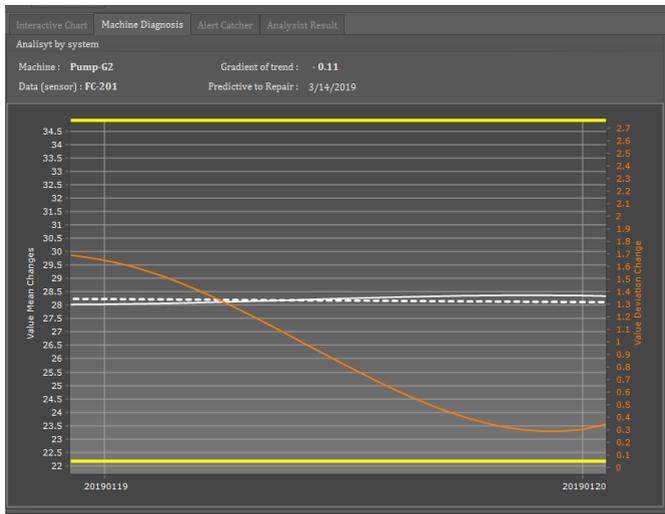
**Gambar 4.8** Alert Catcher pada FC-101 dan PC-101

Analisis dilanjutkan pada mesin ketiga yaitu Pompa G-2. Terdapat 2 sensor yaitu FC-201 dan PC-201. Hasil pembacaan sensor pada tanggal 20 Januari 2019 ditunjukkan pada Gambar 4.9.

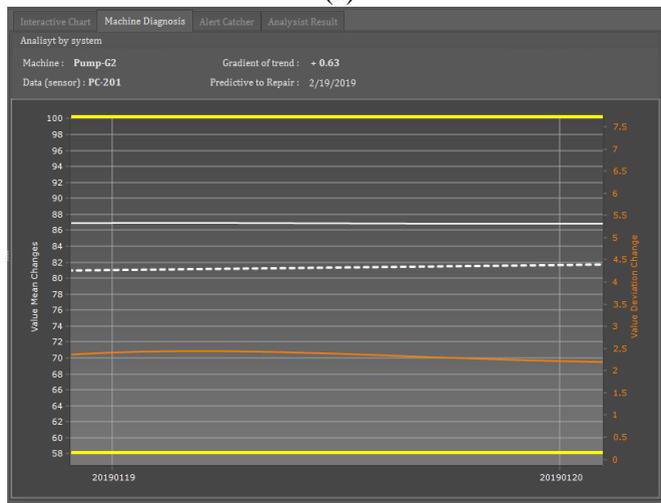


**Gambar 4.9** Grafik Fout FC-201 dan *Pressure Choke Hole* PC-201

Pada grafik, garis biru tua menunjukkan grafik pembacaan sensor FC – 201, sedangkan garis merah tua menunjukkan grafik pembacaan sensor PC – 201. Pada saat dilakukannya pengeboran pada tanggal 20 Januari 2019, terjadi fluktuasi *mud flowrate out* dan *pressure choke* pada pukul 2-6 sore, sama seperti pembacaan sensor – sensor sekitar pompa G-1. Dengan rentang waktu yang sama, grafik *control chart* FC-201 dan PC – 201 ditunjukkan pada Gambar 4.10 (a) dan (b).



(a)

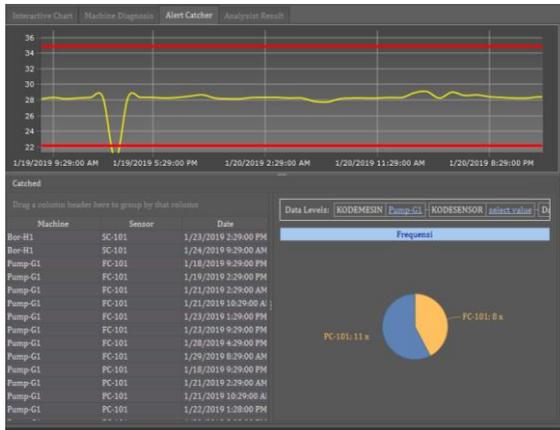


(b)

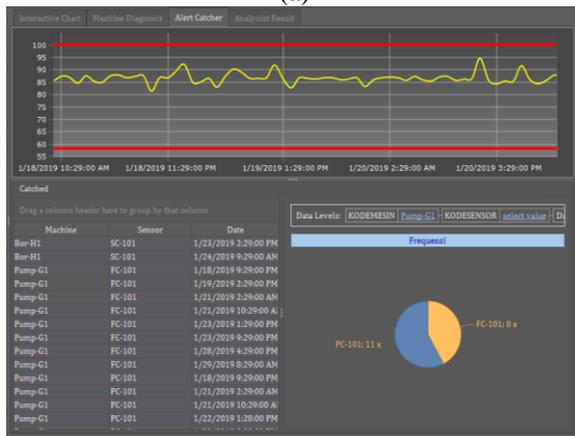
**Gambar 4.10** Grafik *Control Chart* pada FC-201 (a) dan PC – 201 (b)

Penjelasan Gambar 4.11 (a) dan (b) ditunjukkan pada lampiran. Berdasarkan pembacaan grafik 4.11 (a) dan (b), telah terjadi perubahan kinerja mesin apabila dibandingkan dengan kinerja saat awal instalasi ditunjukkan pada garis putih putus, maupun kinerja batas aman yang telah ditetapkan vendor/CL ditunjukkan pada garis putih. Mengacu pada permasalahan formasi pada mesin bor H-1 dan pompa G-1, kinerja pompa G-2 yang berfungsi mengalirkan lumpur dari *well hole* menuju proses penyaringan meningkat sebelum tanggal 19 Januari, lalu menurun pada siang hari menuju tanggal 20 Januari. Terjadi peningkatan *flowrate out*, karena lumpur telah mengalir membawa sisa *cutting* dalam *well hole*. Peningkatan *flowrate out* pada lumpur juga memengaruhi penurunan *pressure choke* pada *choke valve*. Pada saat ini, terjadi perubahan standar deviasi yang dapat disebabkan oleh *historical* pembacaan sensor sebelum maupun sesudah tanggal 20 Januari 2019 yang mungkin terdapat trip ataupun masalah lainnya. Terjadi penurunan std sejauh 1 pada *flowrate out* dan 2 pada *pressure choke*.

Meskipun demikian, belum terdapat indikasi bahwa akan terjadi penurunan performa mesin, karena standar CL tidak melewati UCL maupun LCL, juga standar deviasi tidak melewati batas *upper* dan *lower*. Oleh karena itu berdasarkan analisis *predictive maintenance* pada kedua *control chart*, disarankan waktu yang cukup jauh 14 Maret dan 19 Februari untuk dilakukan *preventive maintenance*. Karena kedua sensor pada mesin pompa G-2 tidak melewati UCL dan LCL, tidak ada peringatan pada menu *alert catcher* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.11 (a) dan (b).



(a)



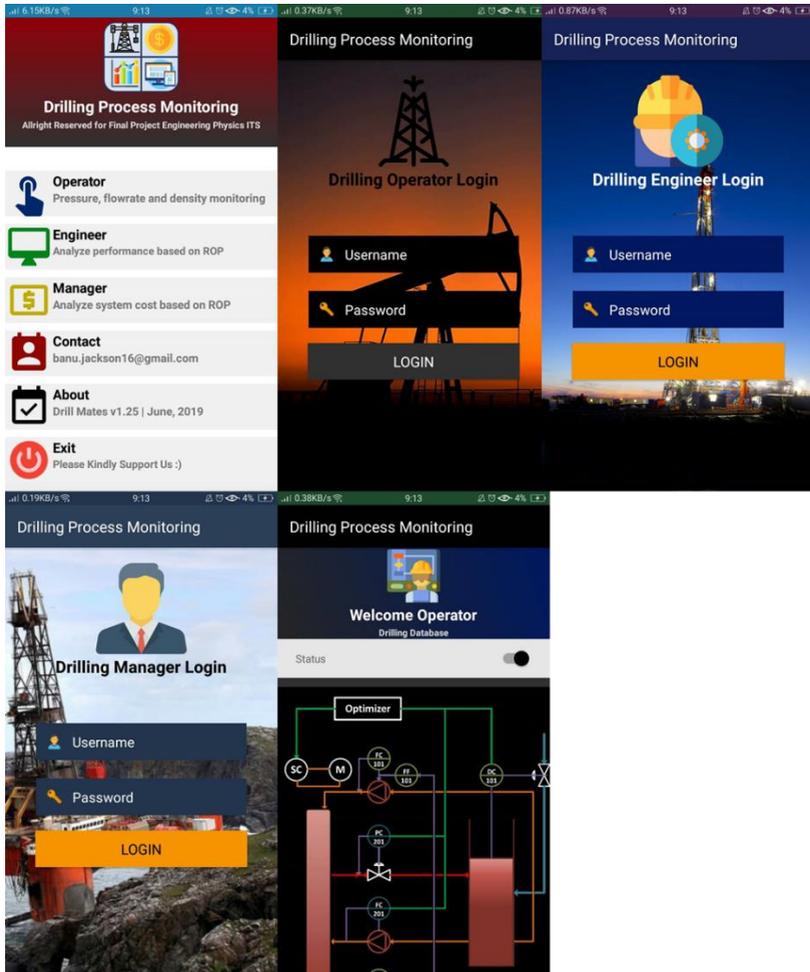
(b)

**Gambar 4.11** Alert Catcher pada FC-201 dan PC-201

## 4.2 Hasil Perancangan *Monitoring Drilling System* pada *Android*

Dari *database* atau tempat penyimpanan keseluruhan data pada *plant drilling system*, dilakukan pemanggilan data menggunakan *api keys* pada java saat perancangan aplikasi berbasis *Android*. Sebuah *api keys* berfungsi sebagai komunikasi data dari *database*, aplikasi *Windows* maupun *platform Android*. Ketika *api keys* yang diberikan

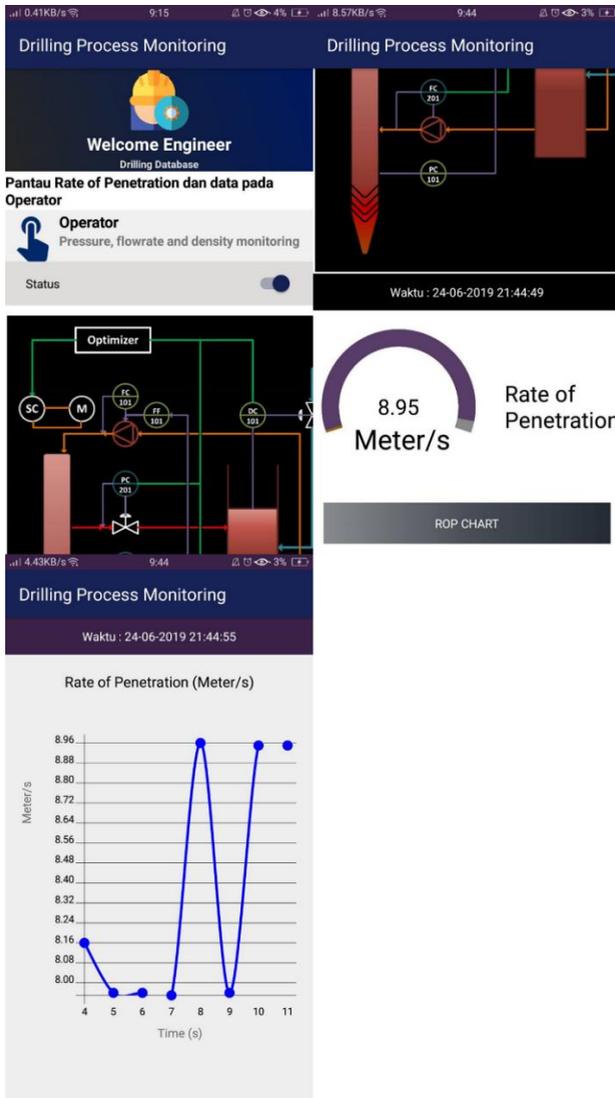
telah *match* dengan *database*, data dapat diproses dalam bentuk grafik *line chart* pada setiap *user* pengguna (*operator*, *engineer* dan *manager*). Adapun hasil dari perancangan aplikasi *monitoring drilling system* pada *Android* ditunjukkan pada Gambar 4.12 sampai Gambar 4.15.



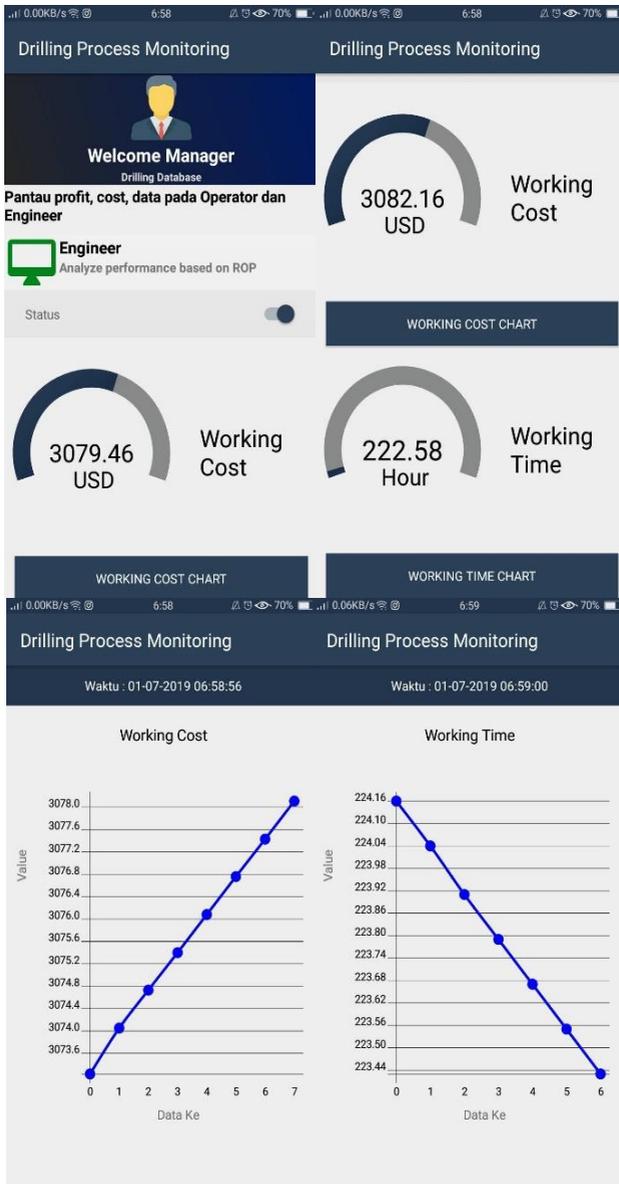
**Gambar 4.12** Halaman Utama, *login form* dan Tampilan Menu pada *Operator*



Gambar 4.13 Pilihan Unit Monitoring pada Halaman Operator



**Gambar 4.14** Tampilan Menu pada Halaman *Engineer* beserta *Privileges* dalam *Monitoring* Sub – Unit pada *Operator*



**Gambar 4.15** Tampilan Menu pada Halaman *Manager*

Pada aplikasi *Android*, halaman *login* pada setiap sub – unit dirancang setelah melewati halaman utama. Pada halaman ini para pengguna harus memasukkan *username* beserta kata sandi untuk dapat masuk dan melakukan kegiatan *monitoring* terhadap sistem. Pada *operator menu*, terdapat P&ID beserta setiap parameter berdasarkan *tag number* yang telah tersedia. *Operator* hanya dapat memonitor setiap parameter berdasarkan P&ID, sedangkan seorang *engineer* memiliki hak dalam memonitoring performansi (ROP) beserta hak pada *operator*. Disisi lain seorang manager yang memiliki keseluruhan tanggung jawab pada *plant* juga harus mampu menganalisis beberapa pengaruh yang ditimbulkan dari setiap parameter yang dimonitoring beserta performansi sistem, dengan *drilling cost*. Oleh karena itu, diberikan hak lebih pada manager untuk dapat memantau kegiatan *monitoring* pada *operator* dan *engineer*.

Untuk membuktikan performa kinerja aplikasi *Android* dalam hal ketepatan waktu saat menampilkan setiap data parameter *monitoring*, dilakukan pengambilan sampel data dengan cara menyamakan hasil penampilan parameter *monitoring* dari 3 *smartphone* dengan versi sistem operasi yang berbeda dan dalam rentang waktu selama 5 menit. Adapun hasil pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Tabel Perbandingan Hasil Penampilan Parameter *Monitoring* pada 3 versi *Operating System Android*

OS Android	Waktu (menit)	Parameter Monitoring					Performance			
		SC101 (RPM)	DC101 (Kg/m <sup>3</sup> )	FC101 (liter/s)	FC201 (liter/s)	PC101 (Bar)	PC201 (Bar)	ROP Meter/h	Time (hour)	Cost (USD)
Android 4.4 Kitkat	1	155.92	1458.21	28.85	28.97	85.79	324.31	9.66554	325.3	3242.94
	2	156.46	1457.92	28.2	28.36	86.05	324.01	8.95115	325.01	3248.52
	3	156.36	1458.31	28.19	28.29	85.82	324.87	9.05156	324.72	3254.11
	4	156.5	1458.47	28.19	28.28	86.76	324.03	9.25929	324.43	3259.69
	5	156.48	1458.11	28.95	29.09	86.09	324.47	9.15993	324.14	3265.28
Android 5.0 Lollipop	1	155.92	1458.21	28.85	28.97	85.79	324.31	9.66554	325.3	3242.94
	2	156.46	1457.92	28.2	28.36	86.05	324.01	8.95115	325.01	3248.52
	3	156.36	1458.31	28.19	28.29	85.82	324.87	9.05156	324.72	3254.11
	4	156.5	1458.47	28.19	28.28	86.76	324.03	9.25929	324.43	3259.69
	5	156.48	1458.11	28.95	29.09	86.09	324.47	9.15993	324.14	3265.28
Android 6.0 Marshmallow	1	155.92	1458.21	28.85	28.97	85.79	324.31	9.66554	325.3	3242.94
	2	156.46	1457.92	28.2	28.36	86.05	324.01	8.95115	325.01	3248.52
	3	156.36	1458.31	28.19	28.29	85.82	324.87	9.05156	324.72	3254.11
	4	156.5	1458.47	28.19	28.28	86.76	324.03	9.25929	324.43	3259.69
	5	156.48	1458.11	28.95	29.09	86.09	324.47	9.15993	324.14	3265.28

Berdasarkan hasil pengambilan sampel pada Tabel 4.1, ketiga *operating system* tidak memengaruhi *delay* waktu dalam menampilkan parameter *monitoring*, dengan *error* 0% dalam kesamaan data. Hal ini dapat terjadi karena *delay* telah diatur pada java dalam perancangan *chart* dan konfigurasi *database*. Oleh karena itu saat aplikasi terpasang pada setiap *smartphone*, tidak akan terjadi perbedaan tampilan data terkecuali karena disebabkan oleh beberapa hal eksternal seperti hilangnya koneksi dengan internet, lag, *overheating* dan lain – lain.

### 4.3 Pembahasan

Telah dilakukan perancangan sistem *monitoring drilling system* berbasis *internet of things* pada *platform Android* menggunakan *Android studio* dan aplikasi *Windows* menggunakan *Delphi XE8*. Keseluruhan sistem sebagaimana dirancang telah terhubung oleh *database* berupa *SQL Server* yang mana menggunakan *api keys* sebagai jembatan penghubung antara *database* dengan kedua *platform*.

Pada aplikasi *MES* pada *Windows* yang telah dirancang, ditampilkan *P&ID* dari *drilling system* yang didalamnya terdapat parameter – parameter penting dalam analisa performansi keseluruhan sistem dan *drilling cost* pengerjaan pengeboran. Didalam aplikasi tersebut tersedia *interactive line chart* yang dapat menampilkan kaitan antara satu parameter dengan parameter lain, sehingga ketika terjadi gangguan maupun waktu *maintenance*, akan lebih mudah menganalisa beberapa grafik yang dapat dijadikan dalam satu grafik.

Berdasarkan perancangan sistem *monitoring* yang mengacu pada data heuristik, diperoleh setiap grafik parameter yang dimonitoring sebagaimana *job description* setiap *user*, yaitu antara lain parameter sesuai *P&ID*, performansi maupun *drilling time & cost* berupa grafik *line chart* sebagaimana pada sub bab 4.2. Apabila mengacu pada analisa perolehan data pada grafik, keseluruhan sistem dapat berjalan dengan baik, dimana besarnya setiap parameter yang dimonitoring yang tentunya saling berkaitan masih berjalan sesuai dengan semestinya. Dimana pada *bottom hole pressure* bernilai secara normal

yaitu lebih besar daripada *choke pressure*. Hal ini berarti tidak berpotensi terjadi *blow out*, serta *flowrate out* dari *reservoir* yang mengalirkan *mud* untuk mengangkat *cutting* sisa pengeboran bernilai lebih kecil dibanding *flowrate in* yang berarti dengan adanya lumpur yang dialirkan mampu mengangkat *cutting* sebagaimana tersisa didalam *well hole*, sehingga *flowrate in* bernilai jauh lebih besar karena berisi campuran lumpur dan *cutting*. Kinerja dari motor penggerak *bit* masih terbilang cukup baik berdasarkan grafik *bit* RPM dimana terjadi semacam osilasi, karena penggunaan *drill* pada saat dilakukan pengeboran tidak selalu menggunakan kecepatan putar yang selalu meningkat ataupun konstan. Besarnya *mud density* dipengaruhi oleh injeksi lumpur terhadap *cutting* yang dilakukan secara berkesinambungan telah sesuai dengan grafik *monitoring*, dimana dalam penginjeksian lumpur juga tidak dilakukan semua secara langsung, tetapi bersifat periodik. Apabila injeksi lumpur terlalu berlebihan, maka *density* lumpur akan terus meningkat sampai ambang batas, lalu *stuck* pada suatu titik dimana pada saat itu campuran *cutting* dan lumpur tidak dapat mengalir keluar *well hole*. Ketika campuran *cutting* dan lumpur tidak mengalir keluar *well hole*, dapat dipastikan sistem mengalami penurunan performansi sistem.

Mengacu pada performansi sistem yang telah dihitung berdasarkan beberapa parameter data historical yang diperoleh, tidak terjadi penurunan performansi pada sistem, dikarenakan semakin hari pengerjaan pengeboran semakin menuju kearah penyelesaian. Hal ini dapat terjadi beban – beban sistem (banyaknya *cutting* tersisa didalam *well hole*) semakin hari semakin berkurang. Oleh karena itu, performansi meningkat ketika penggunaan *drilling system* semakin mendekati akhir pengerjaan pengeboran. Berkaitan dengan *cost*, ketika performa sistem tidak terjadi masalah, *cost* pada pekerja tentunya juga tidak meningkat. Semakin akhir *cost* semakin menurun karena biasanya *cost* pekerja dihitung berdasarkan hari kerja atau jam kerja, sedangkan sistem bekerja dengan normal sampai waktu akhir pengerjaan pengeboran.

Pada aplikasi *Android* dapat memonitoring parameter – parameter secara *real time* dengan cara mengontrol *delay time* pada javascript *Android*. Perubahan *delay time* ini digunakan untuk mengatur waktu *upload* dan olah data menuju *plotting* grafik pada masing – masing *user*. Dengan dibuatnya *platform Android* ini, diharapkan *plant drilling system* tersebut dapat mengalami perkembangan menuju industri 4.0, karena hampir keseluruhan sistem dapat dimonitoring secara praktis hanya dengan menggunakan *smartphone* dengan *Android operating system*, mulai dari kegiatan *operator* sebagai ujung tombak sampai perhitungan performa dan *cost* yang berjalan sesuai dengan pepatah ‘semua dalam genggaman’. Diharapkan perancangan sistem seperti yang telah dibuat dalam tugas akhir ini dapat dikembangkan lebih lanjut dari segi keamanan data maupun penerapan pada industri yang lebih besar.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapat berdasarkan analisa dan pembahasan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut,

- a. Penerapan *internet of things* dalam *monitoring drilling system* ini dapat memonitor parameter – parameter sesuai P&ID yang dibaca *operator* seperti *in/out flowrate, pbh, pch, mud density. Bit RPM*, sampai dengan performansi *Rate of Penetration* dan *drilling cost*. Keseluruhan parameter – parameter pada *drilling system* mempengaruhi performansi *Rate of Penetration* dan *cost*. *Cost* yang timbul diluar ekspektasi dapat terjadi karena keterlambatan proses *maintenance* pada *equipment*.
- b. Dengan adanya aplikasi MES, analisis *maintenance* menjadi lebih mudah karena telah terintegrasi dengan *interactive chart* dan *control chart*. Pada aplikasi *Android* tidak terdapat *error* atau 0% *error* saat menampilkan data *monitoring* dalam rentang waktu 5 menit.

#### **5.2. Saran**

Adapun saran yang diberikan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut,

- a. Digunakan sistem *database* dengan keamanan penjagaan data yang lebih ketat agar data perusahaan tidak mudah tersebar ke kalangan yang tidak sepatutnya.
- b. Digunakan *library interactive line chart* berbayar pada aplikasi *Windows* maupun *Android* agar tampilan grafik lebih memanjakan mata pengguna aplikasi yang dibuat.
- c. Dikembangkan basis *neural network, machine learning* atau jenis *artificial intelligence* lainnya sehingga sistem tidak hanya mampu memonitoring, tapi juga mampu menganalisis.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

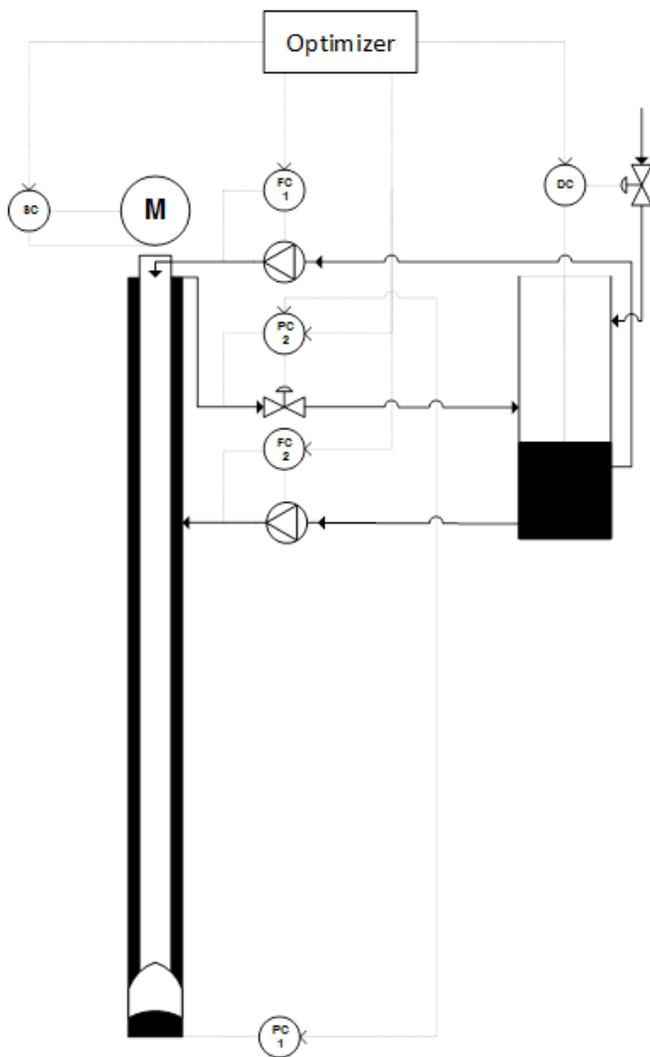
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugraha, Satry, "Outlook Energi Indonesia 2015," Jakarta, Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2016, pp. 88-89.
- [2] A.T. Bourgoyne, M.E. Chenevert, K.K. Millheim, and F.S. Young, Applied Drilling Engineering. Society of Petroleum Engineering (SPE), 2016.
- [3] Junaidi, Apri, "Internet of Things, Sejarah, Teknologi dan Penerapannya," dalam *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, vol. 1, Bandung, Universitas Widyatama, 2015, p. 64.
- [4] Dasar - dasar Teknik Pengeboran, 2014: Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia..
- [5] Dag Erik-Halgestad, A Plantwide Control Approach, Norway: Faculty of Natural Sciences and Technology Department of Chemical Engineering- NTNU, 2010.
- [6] Gatlin, Carl, Drilling and Well Completion, Englewood Cliffs: Department of Petroleum Engineering the University of Texas, 2006.
- [7] Mitchel, Robert F., Fundamental of Drilling Engineering, Society of Petroleum Engineers, 2011.
- [8] Transocean: Singapore Training Centre, Drilling Practices Workshop: Student Reference Material & Workbook, Buku Panduan Training PT. Transocean, 2009.
- [9] A. T. Bourgoyne and F. S. Young, "A multiple regression approach to optimal drilling and abnormal pressure detection.," *Society of Petroleum Engineers (SPE)*, pp. 371-384, 1974.
- [10] K. Patel. M. Patel, Internet of Things - IoT :Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges., Vadodara, Gujarat, India: Department of Electrical Engineering Faculty of Technology and Engineering-MSU, ISSN 2321 3361.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LAMPIRAN

## LAMPIRAN A P&ID Drilling



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LAMPIRAN B

## LAMPIRAN Data Historical Monitoring

Drilling Power (KW)	Bit Weight (Ton)	SC-101	FC-101	Cutting feed rate (litre/s)	FC-201	PC-201	DC-101	PC-101
		Drill RPM	Mud Flowrate in (litre/s)		Mud Flowrate out (litre/s)	Pressure choke (bar)	Mud Density (kg/m <sup>3</sup> )	Pressure bottom hole (bar)
13659.42	55.36	151.62	31.33	0.12	31.45	73.13	1458.29	324.77
13697.44	55.36	152.05	31.23	0.12	31.36	73.35	1458.22	324.80
13677.16	55.36	151.82	31.28	0.13	31.41	75.86	1460.26	324.54
13691.59	55.36	151.98	31.22	0.12	31.34	73.16	1458.22	324.78
13692.73	55.36	151.99	31.18	0.13	31.32	73.32	1461.26	324.03
13696.78	55.36	152.04	31.20	0.12	31.32	73.16	1458.09	324.82
13691.45	55.36	151.98	31.14	0.12	31.26	73.22	1458.27	324.77
13687.68	55.36	151.94	31.22	0.12	31.34	73.35	1457.48	324.99
13692.12	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	72.90	1458.29	324.74
13701.19	55.36	152.09	31.22	0.12	31.35	73.09	1458.28	324.76
13708.12	55.36	152.16	32.65	0.09	32.73	73.09	1441.47	329.14
13691.35	55.36	151.98	31.22	0.12	31.34	73.16	1456.41	325.24

13700.93	55.36	152.08	31.73	0.12	31.85	73.13	1456.22	325.33
13691.04	55.36	151.98	31.23	0.12	31.35	72.48	1458.01	324.77
13695.28	55.36	152.02	31.22	0.12	31.34	73.40	1457.39	325.02
13698.05	55.36	152.05	31.28	0.12	31.40	73.47	1458.29	324.80
13603.13	55.36	151.00	31.00	0.12	31.12	72.57	1458.62	324.60
13697.05	55.36	152.04	31.28	0.12	31.40	73.14	1458.27	324.78
13616.95	55.36	151.15	31.12	0.12	31.25	73.06	1458.30	324.75
13683.46	55.36	151.89	31.23	0.12	31.35	74.19	1456.93	325.21
13691.72	55.36	151.98	31.19	0.12	31.31	73.26	1458.29	324.77
13678.94	55.36	151.84	31.23	0.12	31.35	73.22	1458.03	324.84
13692.31	55.36	151.99	31.25	0.12	31.37	73.26	1458.47	324.74
13503.68	55.36	149.90	31.09	0.11	31.20	73.19	1453.94	325.86
13680.22	55.36	151.85	31.23	0.12	31.35	73.32	1458.26	324.79
13696.70	55.36	152.04	31.29	0.12	31.41	73.09	1456.49	325.22
13691.06	55.36	151.98	31.23	0.12	31.35	73.26	1458.39	324.75
13719.16	55.36	152.29	31.29	0.12	31.42	73.29	1458.73	324.68
13693.83	55.36	152.01	31.29	0.12	31.41	73.19	1458.44	324.74
13702.32	55.36	152.10	31.23	0.12	31.36	74.59	1458.28	324.91
13694.85	55.36	152.02	31.22	0.12	31.34	72.88	1458.85	324.60

13695.94	55.36	152.03	30.90	0.12	31.02	72.79	1457.93	324.79
13685.39	55.36	151.91	31.22	0.12	31.35	72.97	1458.15	324.79
13444.61	55.36	149.24	31.23	0.14	31.37	73.22	1462.57	323.69
13698.90	55.36	152.06	31.23	0.12	31.35	72.25	1458.32	324.67
13683.23	55.36	151.89	31.17	0.11	31.28	73.17	1453.67	325.93
13692.03	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.23	1458.33	324.76
13693.12	55.36	152.00	31.23	0.12	31.35	73.28	1458.64	324.69
13754.65	55.36	152.68	31.23	0.14	31.37	73.33	1463.57	323.45
13685.21	55.36	151.91	31.14	0.12	31.26	72.97	1458.63	324.66
13691.87	55.36	151.98	31.23	0.12	31.36	73.28	1458.32	324.77
13690.85	55.36	151.97	31.23	0.12	31.35	72.90	1458.32	324.74
13692.34	55.36	151.99	31.25	0.10	31.34	73.19	1449.19	327.07
13691.03	55.36	151.97	31.30	0.12	31.43	73.33	1458.22	324.81
13692.14	55.36	151.99	31.22	0.16	31.38	73.23	1467.89	322.35
13532.56	55.36	150.22	31.23	0.12	31.35	73.35	1456.98	325.12
13655.03	55.36	151.58	30.53	0.12	30.64	73.19	1457.95	324.79
13688.96	55.36	151.95	31.53	0.13	31.65	73.23	1458.50	324.75
13692.31	55.36	151.99	31.26	0.18	31.44	72.99	1472.18	321.24
13687.45	55.36	151.94	30.82	0.12	30.94	73.10	1458.37	324.70

13692.16	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.26	1458.14	324.82
13692.04	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.34	1458.28	324.79
13692.56	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.50	1458.29	324.80
13720.37	55.36	152.30	31.25	0.13	31.37	73.16	1459.65	324.42
13688.31	55.36	151.94	31.23	0.12	31.35	73.55	1458.27	324.81
13692.18	55.36	151.99	31.22	0.12	31.34	73.13	1458.00	324.84
13692.54	55.36	151.99	31.25	0.12	31.38	73.64	1458.34	324.81
13694.48	55.36	152.01	31.25	0.12	31.37	73.30	1458.29	324.78
13684.02	55.36	151.90	31.07	0.12	31.20	73.31	1458.67	324.67
13687.29	55.36	151.93	31.23	0.12	31.35	73.33	1458.15	324.82
13692.75	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.32	1458.22	324.80
13695.45	55.36	152.02	31.23	0.12	31.35	73.23	1458.17	324.81
13675.73	55.36	151.81	31.23	0.12	31.35	72.66	1458.24	324.73
13856.69	55.36	153.81	31.20	0.14	31.34	73.24	1463.88	323.36
13669.09	55.36	151.73	31.18	0.12	31.30	73.26	1458.03	324.84
13737.73	55.36	152.49	31.23	0.12	31.35	73.51	1457.93	324.89
13690.98	55.36	151.97	31.22	0.13	31.35	73.17	1459.18	324.54
13728.66	55.36	152.39	31.23	0.11	31.34	73.06	1454.16	325.80
13690.85	55.36	151.97	31.14	0.12	31.25	73.23	1456.24	325.29

13706.32	55.36	152.14	31.22	0.12	31.34	74.00	1457.87	324.96
13677.05	55.36	151.82	31.23	0.12	31.35	73.24	1458.35	324.76
13664.29	55.36	151.68	31.23	0.12	31.35	73.20	1458.39	324.75
13692.06	55.36	151.99	31.36	0.13	31.49	73.18	1459.66	324.44
13697.95	55.36	152.05	31.63	0.12	31.75	73.63	1458.22	324.87
13685.83	55.36	151.92	31.28	0.13	31.41	73.55	1460.66	324.21
13704.07	55.36	152.12	31.23	0.12	31.35	73.21	1456.78	325.15
13698.69	55.36	152.06	31.40	0.12	31.52	73.29	1458.38	324.77
13693.25	55.36	152.00	31.23	0.12	31.35	73.14	1458.25	324.78
13785.10	55.36	153.02	31.23	0.13	31.36	73.15	1459.54	324.45
13691.01	55.36	151.97	31.41	0.13	31.54	73.18	1458.98	324.61
13689.82	55.36	151.96	31.24	0.12	31.36	73.45	1458.25	324.81
13681.78	55.36	151.87	31.25	0.13	31.38	73.25	1459.81	324.39
13692.80	55.36	151.99	31.36	0.12	31.49	72.88	1458.25	324.76
13694.72	55.36	152.02	30.39	0.13	30.52	73.36	1461.85	323.81
13692.17	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	75.76	1458.30	325.02
13695.39	55.36	152.02	31.23	0.12	31.35	73.12	1458.51	324.71
13691.90	55.36	151.98	31.21	0.13	31.34	72.96	1460.04	324.30
13690.01	55.36	151.96	31.23	0.12	31.35	73.78	1458.29	324.83

13643.43	55.36	151.45	31.39	0.08	31.47	72.99	1440.46	329.27
13692.18	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	74.47	1458.34	324.89
13692.76	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.07	1458.43	324.72
13715.43	55.36	152.25	31.23	0.13	31.36	73.17	1459.86	324.37
13683.40	55.36	151.89	32.57	0.11	32.68	73.15	1451.74	326.54
13692.11	55.36	151.99	31.79	0.13	31.92	73.38	1458.75	324.72
13676.65	55.36	151.82	31.10	0.12	31.22	73.51	1457.27	325.05
13834.88	55.36	153.57	30.91	0.15	31.06	73.21	1467.03	322.54
13659.98	55.36	151.63	31.18	0.12	31.30	73.40	1458.05	324.85
13691.07	55.36	151.98	31.23	0.13	31.36	73.37	1460.50	324.23
13693.66	55.36	152.00	31.19	0.12	31.31	73.44	1457.97	324.87
13765.85	55.36	152.81	31.29	0.12	31.41	73.32	1457.04	325.11
13693.05	55.36	152.00	31.23	0.13	31.35	73.21	1459.39	324.49
13832.27	55.36	153.54	31.51	0.12	31.63	73.13	1457.01	325.11
13703.28	55.36	152.11	31.23	0.12	31.35	73.20	1458.51	324.72
13674.33	55.36	151.79	30.87	0.13	31.01	73.06	1462.60	323.64
13697.57	55.36	152.05	31.23	0.13	31.36	73.43	1460.82	324.16
13683.50	55.36	151.89	31.21	0.12	31.33	72.90	1458.30	324.74
13666.13	55.36	151.70	31.25	0.12	31.36	73.29	1456.32	325.28

13700.77	55.36	152.08	31.33	0.12	31.44	73.52	1456.80	325.19
13703.69	55.36	152.12	30.39	0.12	30.51	73.01	1457.84	324.79
13696.78	55.36	152.04	31.24	0.12	31.36	73.83	1458.26	324.84
13726.98	55.36	152.37	31.13	0.12	31.25	73.21	1457.98	324.84
13637.82	55.36	151.38	31.23	0.12	31.35	73.28	1458.32	324.77
13692.18	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.59	1458.29	324.81
13692.35	55.36	151.99	31.15	0.12	31.26	73.44	1456.18	325.32
13687.31	55.36	151.93	31.23	0.12	31.35	73.24	1458.62	324.69
13692.12	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.46	1458.34	324.79
13761.47	55.36	152.76	31.18	0.12	31.30	73.88	1458.56	324.77
13696.32	55.36	152.03	31.25	0.12	31.37	73.10	1458.31	324.76
13693.39	55.36	152.00	31.23	0.13	31.36	73.32	1460.96	324.11
13692.04	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.16	1458.49	324.72
13694.60	55.36	152.01	31.28	0.12	31.41	71.75	1458.16	324.66
13678.34	55.36	151.83	31.22	0.12	31.35	73.29	1458.41	324.75
13693.29	55.36	152.00	31.24	0.12	31.37	72.41	1457.39	324.92
13648.52	55.36	151.50	31.19	0.12	31.31	73.27	1458.20	324.80
13691.54	55.36	151.98	31.28	0.12	31.40	73.32	1458.48	324.74
13694.88	55.36	152.02	31.24	0.13	31.37	73.20	1459.14	324.56

13693.87	55.36	152.01	31.20	0.12	31.32	73.14	1458.59	324.69
13692.52	55.36	151.99	31.24	0.12	31.36	73.56	1458.29	324.81
13699.06	55.36	152.06	31.24	0.12	31.36	73.25	1458.28	324.78
13692.18	55.36	151.99	31.26	0.12	31.38	73.46	1458.04	324.86
13692.12	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	74.15	1458.30	324.87
13692.15	55.36	151.99	31.15	0.12	31.27	73.36	1458.51	324.73
13684.83	55.36	151.91	31.35	0.12	31.47	73.27	1458.65	324.70
13686.49	55.36	151.92	31.23	0.12	31.35	73.21	1458.39	324.75
13673.73	55.36	151.78	31.19	0.13	31.32	65.40	1457.48	324.19
13691.28	55.36	151.98	31.23	0.12	31.35	73.14	1458.27	324.77
13693.05	55.36	152.00	31.29	0.13	31.42	73.22	1461.63	323.93
13691.93	55.36	151.98	31.22	0.12	31.34	73.34	1458.44	324.75
13694.30	55.36	152.01	31.77	0.13	31.90	72.72	1458.24	324.78
13691.86	55.36	151.98	31.25	0.13	31.38	73.25	1460.22	324.29
14031.60	55.36	155.76	31.25	0.12	31.37	73.53	1457.89	324.91
13691.18	55.36	151.98	30.84	0.13	30.96	73.22	1460.13	324.27
13692.94	55.36	152.00	31.17	0.12	31.29	73.42	1458.20	324.81
13737.33	55.36	152.49	31.23	0.12	31.35	73.45	1456.36	325.28
13352.60	55.36	148.22	31.39	0.07	31.46	73.28	1436.40	330.33

13710.85	55.36	152.19	31.24	0.12	31.36	73.32	1458.33	324.78
13692.42	55.36	151.99	31.12	0.12	31.24	73.19	1458.38	324.74
13598.28	55.36	150.95	31.65	0.12	31.77	73.30	1455.25	325.59
13689.72	55.36	151.96	31.23	0.15	31.37	73.15	1464.92	323.09
13695.06	55.36	152.02	31.24	0.12	31.35	78.31	1458.46	325.24
13684.09	55.36	151.90	31.23	0.12	31.35	73.21	1458.52	324.72
13703.03	55.36	152.11	31.23	0.12	31.36	73.23	1458.41	324.75
13691.24	55.36	151.98	31.38	0.12	31.50	73.62	1458.22	324.84
13619.68	55.36	151.18	31.24	0.12	31.36	73.32	1458.36	324.77
13692.26	55.36	151.99	31.19	0.12	31.32	73.38	1458.28	324.79
13692.88	55.36	152.00	31.28	0.11	31.39	73.25	1455.28	325.54
13696.45	55.36	152.03	31.40	0.13	31.52	72.26	1458.77	324.57
13692.96	55.36	152.00	31.23	0.12	31.35	73.20	1457.29	325.03
13694.66	55.36	152.02	31.23	0.12	31.35	73.24	1458.04	324.84
13693.04	55.36	152.00	31.25	0.12	31.37	73.31	1458.08	324.84
13692.27	55.36	151.99	31.23	0.12	31.35	73.46	1458.05	324.86
13695.86	55.36	152.03	31.25	0.12	31.37	73.43	1457.82	324.92
13799.32	55.36	153.18	31.23	0.13	31.36	73.05	1459.16	324.54
13692.56	55.36	151.99	31.23	0.14	31.37	73.47	1462.61	323.71

13691.50	55.36	151.98	31.23	0.15	31.38	74.49	1465.24	323.14
13699.87	55.36	152.07	31.10	0.15	31.25	74.51	1466.29	322.87
13865.19	55.36	153.91	31.21	0.12	31.33	73.14	1457.55	324.95
13686.31	55.36	151.92	31.25	0.12	31.37	72.85	1456.88	325.10
13693.12	55.36	152.00	31.06	0.10	31.16	73.23	1449.29	327.03
13692.47	55.36	151.99	31.24	0.13	31.36	73.11	1459.34	324.50
13686.57	55.36	151.93	31.23	0.13	31.36	73.04	1459.43	324.47
13692.24	55.36	151.99	31.24	0.12	31.36	73.48	1458.28	324.80
13711.92	55.36	152.21	31.23	0.13	31.36	73.02	1459.05	324.56
13684.72	55.36	151.90	31.22	0.12	31.34	73.86	1458.38	324.81
13691.08	55.36	151.98	31.23	0.12	31.35	73.20	1458.26	324.78
13807.59	55.36	153.27	31.54	0.10	31.64	72.27	1451.04	326.54
13675.07	55.36	151.80	31.25	0.12	31.37	73.44	1458.27	324.80
13696.56	55.36	152.04	31.73	0.11	31.85	72.85	1454.37	325.77
13721.28	55.36	152.31	31.55	0.13	31.68	73.20	1458.71	324.69
13698.33	55.36	152.06	31.28	0.11	31.39	73.22	1453.34	326.03
13690.62	55.36	151.97	31.22	0.12	31.34	73.29	1457.03	325.10
13690.14	55.36	151.96	31.23	0.12	31.36	73.02	1458.32	324.75
13688.85	55.36	151.95	31.23	0.12	31.35	73.31	1458.23	324.80

13707.80	55.36	152.16	31.16	0.12	31.29	73.29	1458.19	324.80
13691.52	55.36	151.98	31.23	0.12	31.35	73.53	1458.05	324.87
13598.24	55.36	150.94	31.23	0.12	31.35	73.19	1458.25	324.78
13692.42	55.36	151.99	31.16	0.12	31.28	72.78	1458.27	324.73
13656.76	55.36	151.59	31.24	0.12	31.36	72.91	1457.10	325.04
13692.47	55.36	151.99	31.23	0.13	31.35	72.95	1459.98	324.32
13671.35	55.36	151.76	31.23	0.13	31.36	73.17	1460.50	324.21
13698.93	55.36	152.06	31.19	0.13	31.32	73.49	1460.53	324.23
13687.21	55.36	151.93	31.24	0.12	31.36	73.14	1458.37	324.75
13691.41	55.36	151.98	31.66	0.13	31.78	73.16	1458.11	324.85
13689.77	55.36	151.96	31.23	0.13	31.36	73.24	1459.05	324.58
13692.72	55.36	151.99	31.69	0.08	31.77	73.54	1443.01	328.71
13682.36	55.36	151.88	31.22	0.12	31.35	73.51	1458.22	324.82
13693.00	55.36	152.00	31.24	0.12	31.36	73.56	1458.10	324.86
13687.01	55.36	151.93	31.21	0.12	31.33	73.09	1457.67	324.92
13691.59	55.36	151.98	31.22	0.12	31.35	72.28	1458.31	324.68
13696.67	55.36	152.04	31.31	0.13	31.44	73.12	1460.59	324.19
14002.35	55.36	155.43	29.31	0.06	29.37	73.15	1435.94	330.24
14001.78	55.36	155.42	26.27	0.05	26.33	73.16	1438.42	329.34

14001.70	55.36	155.42	26.31	0.05	26.37	72.94	1438.45	329.32
14009.64	55.36	155.51	26.38	0.05	26.43	73.11	1435.67	330.05
13998.00	55.36	155.38	26.31	0.06	26.37	73.04	1441.50	328.56
14001.64	55.36	155.42	26.32	0.05	26.37	73.19	1437.19	329.66
14080.50	55.36	156.30	26.29	0.07	26.36	72.86	1445.38	327.56
13995.19	55.36	155.35	26.31	0.05	26.37	72.99	1438.03	329.43
13977.57	55.36	155.16	26.29	0.06	26.35	72.98	1444.60	327.76
13993.09	55.36	155.33	26.31	0.05	26.36	73.15	1437.87	329.49
13906.86	55.36	154.37	26.42	0.06	26.48	73.04	1438.94	329.21
13992.23	55.36	155.32	26.32	0.03	26.36	73.16	1420.44	333.89
14000.55	55.36	155.41	26.30	0.04	26.35	73.15	1430.03	331.47
14002.62	55.36	155.43	26.27	0.05	26.32	73.19	1437.49	329.58
14001.79	55.36	155.42	26.31	0.05	26.37	73.15	1437.93	329.47
13999.30	55.36	155.40	26.37	0.05	26.42	71.93	1437.98	329.34
14000.83	55.36	155.41	26.12	0.05	26.17	72.15	1436.76	329.65
14002.14	55.36	155.43	26.15	0.05	26.20	73.17	1438.17	329.40
13776.32	55.36	152.92	26.33	0.08	26.41	73.12	1452.61	325.76
14001.83	55.36	155.42	26.56	0.05	26.62	73.15	1437.73	329.54
14001.70	55.36	155.42	26.31	0.05	26.36	73.13	1438.05	329.44

14005.43	55.36	155.46	26.31	0.05	26.36	73.17	1432.67	330.80
14020.57	55.36	155.63	26.30	0.05	26.35	73.16	1436.56	329.82
14031.83	55.36	155.76	26.30	0.05	26.36	73.15	1437.84	329.49
13029.94	55.36	144.64	26.26	0.09	26.34	79.75	1458.50	324.93
14001.77	55.36	155.42	26.29	0.05	26.35	73.26	1438.89	329.24
14001.66	55.36	155.42	26.31	0.05	26.37	73.24	1438.53	329.33
13998.69	55.36	155.39	26.11	0.05	26.17	73.15	1438.02	329.43
13998.73	55.36	155.39	26.43	0.05	26.49	73.04	1438.11	329.43
14001.72	55.36	155.42	26.32	0.05	26.37	73.14	1437.90	329.48
14001.37	55.36	155.42	26.33	0.05	26.38	72.51	1436.47	329.78
14011.29	55.36	155.53	26.30	0.05	26.36	73.15	1437.94	329.47
13723.63	55.36	152.34	26.30	0.03	26.33	36.00	1400.96	335.10
14001.88	55.36	155.43	26.21	0.05	26.26	73.15	1436.34	329.86
13996.13	55.36	155.36	26.31	0.05	26.37	73.09	1437.14	329.66
13993.42	55.36	155.33	26.31	0.05	26.36	73.19	1437.81	329.50
13986.89	55.36	155.26	26.32	0.05	26.37	73.16	1437.22	329.65
13966.19	55.36	155.03	26.31	0.05	26.36	72.99	1437.73	329.51
14042.66	55.36	155.88	26.31	0.06	26.36	74.90	1440.18	329.08
13997.06	55.36	155.37	26.31	0.05	26.36	73.09	1438.30	329.37

13995.61	55.36	155.36	27.82	0.06	27.88	73.18	1437.95	329.60
14001.67	55.36	155.42	26.34	0.05	26.40	73.17	1437.76	329.52
14003.12	55.36	155.44	26.32	0.05	26.37	73.15	1437.94	329.47
14007.47	55.36	155.49	26.30	0.05	26.35	73.15	1437.78	329.51
14002.00	55.36	155.43	26.34	0.05	26.40	73.15	1437.99	329.46
14079.92	55.36	156.29	26.32	0.05	26.37	73.27	1438.30	329.39
13999.92	55.36	155.40	26.30	0.05	26.36	72.83	1438.02	329.41
14001.60	55.36	155.42	26.31	0.05	26.36	73.16	1438.00	329.45
14001.87	55.36	155.43	26.31	0.05	26.37	73.15	1437.93	329.47
13953.19	55.36	154.88	26.29	0.06	26.34	73.10	1439.00	329.19
14002.65	55.36	155.43	26.32	0.05	26.37	73.04	1433.92	330.47
14001.54	55.36	155.42	26.29	0.05	26.34	73.23	1438.67	329.29
14004.75	55.36	155.46	26.31	0.05	26.36	73.15	1437.99	329.45
14030.57	55.36	155.74	26.32	0.05	26.38	73.77	1438.13	329.48
14002.39	55.36	155.43	26.29	0.05	26.35	73.19	1436.47	329.84
14001.59	55.36	155.42	26.31	0.06	26.36	73.13	1439.06	329.18
14004.34	55.36	155.45	26.30	0.05	26.36	73.15	1437.88	329.48
14001.59	55.36	155.42	25.95	0.05	26.00	73.15	1437.43	329.56
14000.36	55.36	155.41	26.33	0.05	26.37	73.18	1433.40	330.62

13991.59	55.36	155.31	26.23	0.04	26.27	77.14	1425.97	332.88
14001.95	55.36	155.43	26.40	0.10	26.50	72.56	1461.22	323.53
14005.82	55.36	155.47	26.31	0.05	26.36	73.00	1437.93	329.45
13997.02	55.36	155.37	26.30	0.05	26.35	73.15	1437.80	329.50
14001.72	55.36	155.42	26.19	0.05	26.25	73.01	1438.06	329.41
14000.01	55.36	155.40	26.27	0.05	26.32	73.18	1437.44	329.59
14008.93	55.36	155.50	26.32	0.06	26.38	73.14	1440.58	328.80
14003.65	55.36	155.45	26.32	0.05	26.37	74.14	1437.93	329.57
13998.04	55.36	155.38	26.31	0.05	26.37	73.20	1437.90	329.48
14002.04	55.36	155.43	26.25	0.05	26.30	73.15	1438.04	329.44
13997.55	55.36	155.38	26.30	0.07	26.37	73.06	1445.56	327.53
14022.58	55.36	155.66	27.08	0.06	27.14	73.13	1439.56	329.12
13992.90	55.36	155.33	26.31	0.05	26.37	73.09	1438.06	329.43
13976.13	55.36	155.14	26.33	0.05	26.38	73.15	1438.02	329.45
14001.53	55.36	155.42	26.29	0.05	26.35	73.09	1437.69	329.52
14007.30	55.36	155.49	26.30	0.05	26.35	73.16	1438.04	329.44
14007.34	55.36	155.49	26.33	0.15	26.48	73.12	1476.80	319.65
13999.84	55.36	155.40	26.30	0.05	26.35	73.17	1437.90	329.48
14007.07	55.36	155.48	26.32	0.05	26.37	72.99	1438.73	329.25

14003.12	55.36	155.44	26.31	0.05	26.36	73.15	1435.96	329.97
13331.26	55.36	147.98	26.30	0.05	26.35	73.16	1435.49	330.09
13992.16	55.36	155.32	26.37	0.05	26.42	73.15	1437.63	329.55
14003.05	55.36	155.44	26.28	0.05	26.34	73.15	1438.51	329.32
14050.90	55.36	155.97	26.23	0.06	26.30	72.68	1443.84	327.92
13992.31	55.36	155.32	26.16	0.05	26.21	73.24	1438.01	329.44
14001.26	55.36	155.42	26.29	0.05	26.34	73.15	1437.92	329.47
14002.46	55.36	155.43	26.35	0.05	26.40	73.16	1437.90	329.48
13995.65	55.36	155.36	26.30	0.05	26.36	73.15	1437.28	329.64
14003.51	55.36	155.44	26.64	0.05	26.69	73.16	1435.43	330.13
14001.52	55.36	155.42	26.31	0.05	26.37	73.14	1437.93	329.47
13983.67	55.36	155.22	26.09	0.05	26.15	73.15	1438.05	329.42
14001.24	55.36	155.42	26.30	0.05	26.36	73.18	1438.03	329.45
14001.81	55.36	155.42	26.31	0.05	26.37	73.53	1437.91	329.51
14025.53	55.36	155.69	26.30	0.06	26.36	73.12	1439.02	329.19
14002.19	55.36	155.43	26.34	0.05	26.39	73.19	1438.09	329.44
14001.83	55.36	155.42	26.30	0.05	26.36	73.15	1437.92	329.47
14001.70	55.36	155.42	26.31	0.05	26.37	73.15	1437.72	329.52
14001.77	55.36	155.42	25.92	0.05	25.97	73.12	1436.47	329.80

14001.82	55.36	155.42	26.31	0.05	26.36	72.97	1438.13	329.40
13986.89	55.36	155.26	26.28	0.05	26.33	73.16	1437.93	329.47
13997.08	55.36	155.37	26.30	0.05	26.35	73.15	1438.22	329.40
13995.94	55.36	155.36	26.30	0.06	26.36	73.09	1439.12	329.16
14001.78	55.36	155.42	26.22	0.05	26.27	73.14	1437.72	329.51
14001.78	55.36	155.42	26.31	0.05	26.36	73.15	1438.02	329.45
14136.17	55.36	156.92	26.38	0.15	26.53	73.15	1476.45	319.74
14002.27	55.36	155.43	26.40	0.05	26.45	73.15	1437.99	329.46
13994.99	55.36	155.35	26.31	0.06	26.37	73.15	1440.71	328.77
14001.81	55.36	155.42	26.32	0.06	26.38	73.15	1439.92	328.97
14014.88	55.36	155.57	26.38	0.05	26.43	73.29	1437.82	329.52
14002.04	55.36	155.43	26.31	0.04	26.34	73.15	1424.07	332.97
14001.89	55.36	155.43	26.31	0.05	26.37	73.27	1436.68	329.80
14003.80	55.36	155.45	26.32	0.05	26.38	73.24	1437.48	329.59
14018.98	55.36	155.62	26.36	0.05	26.41	72.34	1437.79	329.43
14017.59	55.36	155.60	26.31	0.05	26.36	73.13	1437.88	329.48
14001.83	55.36	155.42	26.31	0.05	26.37	73.18	1438.42	329.55
14001.58	55.36	155.42	26.30	0.05	26.35	73.12	1438.76	329.26
14001.78	55.36	155.42	26.32	0.05	26.38	73.11	1438.12	329.42

14013.78	55.36	155.56	26.31	0.03	26.34	73.15	1420.27	333.93
13985.17	55.36	155.24	26.65	0.05	26.70	73.14	1437.81	329.53
14001.71	55.36	155.42	26.94	0.07	27.01	73.10	1444.85	327.77
14001.26	55.36	155.42	26.34	0.05	26.39	73.15	1437.86	329.49
14003.24	55.36	155.44	26.99	0.06	27.05	72.83	1437.63	329.58
14000.17	55.36	155.41	26.31	0.05	26.37	73.18	1438.85	329.24
13946.74	55.36	154.81	26.30	0.05	26.35	73.05	1437.90	329.47
13999.97	55.36	155.40	26.40	0.06	26.46	73.37	1438.75	329.29
14002.40	55.36	155.43	26.31	0.05	26.36	73.15	1437.79	329.51
14000.36	55.36	155.41	26.31	0.11	26.42	72.53	1465.48	322.44
13961.03	55.36	154.97	26.30	0.05	26.36	73.15	1438.28	329.38
14001.78	55.36	155.42	26.31	0.05	26.36	73.15	1438.07	329.43
14073.94	55.36	156.23	26.31	0.05	26.36	73.21	1434.54	330.33
13802.53	55.36	153.21	26.31	0.05	26.36	73.19	1437.79	329.51
14161.73	55.36	157.20	26.31	0.07	26.37	73.23	1445.63	327.53
14008.10	55.36	155.49	26.31	0.05	26.36	73.15	1437.26	329.64
14008.70	55.36	155.50	26.31	0.15	26.46	73.15	1476.39	319.75
14087.67	55.36	156.38	26.29	0.06	26.35	71.70	1439.56	328.91
14046.90	55.36	155.93	34.23	0.08	34.32	73.02	1437.82	330.20

14042.93	55.36	155.88	26.40	0.05	26.45	72.94	1434.50	330.32
14001.81	55.36	155.42	26.32	0.05	26.38	73.12	1437.97	329.46
14022.38	55.36	155.65	26.14	0.05	26.18	73.16	1433.29	330.63
13989.92	55.36	155.29	26.27	0.09	26.36	73.17	1459.84	323.93
13556.50	55.36	150.48	26.31	0.06	26.37	72.84	1441.94	328.43
14001.79	55.36	155.42	26.40	0.05	26.46	73.14	1437.93	329.48
14000.73	55.36	155.41	26.30	0.05	26.35	73.23	1435.01	330.22
14029.15	55.36	155.73	26.30	0.07	26.37	73.19	1448.53	326.80
14001.71	55.36	155.42	26.55	0.05	26.60	73.13	1437.30	329.65
13992.11	55.36	155.32	26.33	0.05	26.39	73.15	1438.45	329.34
13995.43	55.36	155.35	26.13	0.05	26.19	73.13	1437.26	329.62
14004.08	55.36	155.45	26.28	0.06	26.34	73.29	1444.56	327.80
13999.40	55.36	155.40	26.31	0.05	26.36	73.15	1433.47	330.60
14001.44	55.36	155.42	26.32	0.05	26.37	72.99	1436.54	329.81
13999.71	55.36	155.40	27.49	0.06	27.55	73.15	1437.56	329.67
14002.21	55.36	155.43	26.32	0.05	26.38	73.14	1438.36	329.36
14001.67	55.36	155.42	26.31	0.05	26.36	73.15	1437.81	329.50
13997.92	55.36	155.38	26.31	0.06	26.36	73.15	1439.10	329.17
14001.87	55.36	155.43	26.17	0.05	26.22	73.15	1437.21	329.64

13991.95	55.36	155.32	25.71	0.05	25.77	74.11	1440.42	328.88
14008.98	55.36	155.50	26.31	0.05	26.36	72.82	1431.63	331.03
14002.95	55.36	155.44	26.31	0.05	26.37	73.25	1437.94	329.48
14001.83	55.36	155.42	26.29	0.05	26.34	73.15	1438.25	329.39
13999.24	55.36	155.40	26.31	0.05	26.36	73.88	1437.93	329.54
14001.88	55.36	155.43	26.26	0.05	26.31	73.16	1437.93	329.47
14001.67	55.36	155.42	26.32	0.05	26.37	73.15	1437.71	329.53
13982.81	55.36	155.21	26.15	0.06	26.21	73.24	1442.10	328.41
14056.63	55.36	156.03	26.36	0.05	26.41	73.04	1437.48	329.58
14033.09	55.36	155.77	27.58	0.06	27.64	72.92	1440.20	328.99
14001.90	55.36	155.43	26.30	0.05	26.35	73.16	1434.48	330.34
14003.07	55.36	155.44	26.27	0.06	26.32	72.03	1439.00	329.08
13972.13	55.36	155.10	26.31	0.05	26.37	73.15	1437.49	329.58
13944.72	55.36	154.79	28.40	0.07	28.47	73.19	1441.13	328.85
14002.20	55.36	155.43	26.31	0.05	26.36	73.13	1437.97	329.46
14001.84	55.36	155.42	26.29	0.05	26.34	73.15	1437.87	329.48
14000.49	55.36	155.41	26.29	0.05	26.34	73.09	1436.00	329.95
14002.70	55.36	155.43	26.23	0.05	26.28	73.13	1437.77	329.50
13996.36	55.36	155.36	26.33	0.05	26.38	73.19	1435.81	330.01

13996.56	55.36	155.37	26.41	0.05	26.46	73.11	1438.46	329.34
14000.91	55.36	155.41	26.32	0.05	26.37	73.16	1437.83	329.50
14002.50	55.36	155.43	26.19	0.06	26.26	73.16	1443.28	328.11
14003.30	55.36	155.44	26.28	0.05	26.33	73.16	1437.67	329.53
14001.71	55.36	155.42	26.35	0.06	26.41	72.28	1440.04	328.85
14007.74	55.36	155.49	26.39	0.05	26.45	74.49	1437.88	329.62
14012.89	55.36	155.55	26.34	0.05	26.39	73.29	1434.15	330.44
14003.03	55.36	155.44	26.29	0.05	26.35	73.15	1437.99	329.45
14112.29	55.36	156.65	26.26	0.13	26.39	73.11	1471.56	320.96
14001.00	55.36	155.42	26.30	0.05	26.36	73.15	1437.90	329.48
14022.32	55.36	155.65	26.31	0.05	26.36	73.14	1437.96	329.46
13999.36	55.36	155.40	26.23	0.06	26.29	73.09	1442.37	328.33
14002.93	55.36	155.44	26.29	0.05	26.34	73.21	1438.19	329.41
13996.41	55.36	155.36	26.38	0.06	26.44	72.71	1443.33	328.07
14001.25	55.36	155.42	26.31	0.05	26.36	73.17	1438.03	329.45
14002.49	55.36	155.43	26.34	0.05	26.39	73.19	1434.78	330.27
14004.08	55.36	155.45	26.30	0.06	26.36	73.15	1440.36	328.86
13988.55	55.36	155.28	26.31	0.05	26.37	73.15	1437.88	329.48
14004.67	55.36	155.46	26.27	0.03	26.30	73.15	1420.23	333.94

13991.18	55.36	155.31	26.31	0.05	26.36	73.49	1438.60	329.33
14011.19	55.36	155.53	26.32	0.05	26.37	73.14	1436.06	329.94
14001.74	55.36	155.42	26.37	0.05	26.43	73.73	1438.33	329.43
14004.44	55.36	155.45	26.30	0.05	26.35	73.15	1437.56	329.56
14002.59	55.36	155.43	26.28	0.06	26.34	73.15	1439.76	329.00
13993.89	55.36	155.34	26.33	0.06	26.38	73.15	1438.88	329.23
14000.79	55.36	155.41	26.30	0.05	26.35	73.16	1437.90	329.48
14075.50	55.36	156.24	26.37	0.05	26.43	72.24	1438.19	329.32

## LAMPIRAN C

### 1. Kode program *Android* desain *layout* XML

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<android.support.v4.widget.NestedScrollView
xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
xmlns:app="http://schemas.android.com/apk/res-auto"
xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="match_parent"
android:background="#eeeeee">
<LinearLayout
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="match_parent"
tools:context="com.example.nirvanabanu.tabanunirvana.MainActivity"
android:background="@color/white"
android:orientation="vertical">
<RelativeLayout android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="200dp">
<LinearLayout
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="170dp"
android:layout_alignParentStart="true"
android:layout_alignParentTop="true"
```

C -2

```
android:background="@drawable/gradientbackground"
```

```
android:orientation="vertical">
```

```
<ImageView
```

```
android:layout_width="100dp" android:layout_height="100dp"
```

```
android:layout_gravity="center_horizontal"
```

```
android:layout_marginTop="2dp"
```

```
android:contentDescription="TODO"
```

```
android:src="@drawable/logo" />
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"
```

```
android:layout_height="wrap_content"
```

```
android:layout_gravity="center_horizontal"
```

```
android:text="Drilling Process
```

```
Monitoring"
```

```
android:textColor="@color/white" android:textSize="21sp"
```

```
android:textStyle="bold" />
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"
```

```
android:layout_height="wrap_content"
```

```
android:layout_gravity="center_horizontal"
```

```
android:layout_marginTop="2dp" android:text="Allright
```

```
Reserved for
```

Final Project Engineering Physics ITS"

```
android:textColor="@color/white2" android:textSize="12sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
</LinearLayout>
```

```
</RelativeLayout>
```

```
<LinearLayout
```

```
android:id="@+id/btnoperator" android:layout_width="360dp"  
android:layout_height="60dp" android:layout_gravity="center"  
android:layout_marginTop="1dp"  
android:orientation="horizontal"  
android:background="@color/grey2">
```

```
<ImageView
```

```
android:layout_width="63dp"  
android:layout_height="match_parent"  
app:srcCompat="@drawable/operatorc"  
android:contentDescription="TODO" />
```

```
<LinearLayout
```

```
android:layout_width="match_parent"  
android:layout_height="match_parent"  
android:orientation="vertical">
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"  
android:layout_height="wrap_content"  
android:layout_marginTop="1dp" android:text="Operator"
```

```
android:textColor="@color/black" android:textSize="18sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"  
android:layout_height="wrap_content" android:text="Pressure,  
flowrate and
```

```
density monitoring"
```

```
android:textColor="@color/grey3" android:textSize="15sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
</LinearLayout>
```

```
</LinearLayout>
```

```
<LinearLayout
```

```
android:id="@+id/btnengineer" android:layout_width="360dp"  
android:layout_height="60dp" android:layout_gravity="center"  
android:layout_marginTop="10dp"  
android:orientation="horizontal"  
android:background="@color/grey2">
```

```
<ImageView
```

```
android:layout_width="63dp"  
android:layout_height="match_parent"  
app:srcCompat="@drawable/operatorlog" />
```

```
<LinearLayout
```

```
android:layout_width="match_parent"  
android:layout_height="match_parent"  
android:orientation="vertical">
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"  
android:layout_height="wrap_content"  
android:layout_marginTop="1dp" android:text="Engineer"  
android:textColor="@color/black" android:textSize="18sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
based on ROP"
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"  
android:layout_height="wrap_content" android:text="Analyze  
performance  
android:textColor="@color/grey3" android:textSize="14sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
</LinearLayout>
```

```
</LinearLayout>
```

```
<LinearLayout
```

```
android:id="@+id/btnmanager" android:layout_width="360dp"  
android:layout_height="60dp" android:layout_gravity="center"  
android:layout_marginTop="10dp"  
android:orientation="horizontal"  
android:background="@color/grey2">
```

```
<ImageView
```

```
android:layout_width="63dp"  
android:layout_height="match_parent"
```

```
app:srcCompat="@drawable/ic_local_atm_black_24dp" />
```

```
<LinearLayout
```

```
    android:layout_width="match_parent"
```

```
    android:layout_height="match_parent"
```

```
    android:orientation="vertical">
```

```
    <TextView
```

```
        android:layout_width="wrap_content"
```

```
        android:layout_height="wrap_content"
```

```
        android:layout_marginTop="1dp" android:text="Manager"
```

```
        android:textColor="@color/black" android:textSize="18sp"
```

```
        android:textStyle="bold" />
```

```
    <TextView
```

```
        android:layout_width="wrap_content"
```

```
        android:layout_height="wrap_content"
```

```
        based on ROP"
```

```
        android:text="Analyze system cos
```

```
        android:textColor="@color/grey3" android:textSize="15sp"
```

```
        android:textStyle="bold" />
```

```
    </LinearLayout>
```

```
</LinearLayout>
```

```
<LinearLayout
```

```
android:layout_width="360dp" android:layout_height="60dp"  
android:layout_gravity="center"  
android:layout_marginTop="10dp"  
android:orientation="horizontal"  
android:background="@color/grey2">
```

```
<ImageView
```

```
android:layout_width="63dp"  
android:layout_height="match_parent"  
app:srcCompat="@drawable/contactus" />
```

```
<LinearLayout
```

```
android:layout_width="match_parent"  
android:layout_height="match_parent"  
android:orientation="vertical">
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"  
android:layout_height="wrap_content"  
android:layout_marginTop="1dp" android:text="Contact"  
android:textColor="@color/black" android:textSize="18sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"  
android:layout_height="wrap_content"  
  
android:text="banu.jackson16@gmail.com"  
  
android:textColor="@color/grey3" android:textSize="15sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
</LinearLayout>
```

```
</LinearLayout>
```

```
<LinearLayout
```

```
    android:layout_width="360dp" android:layout_height="60dp"  
    android:layout_gravity="center"  
    android:layout_marginTop="10dp"  
    android:orientation="horizontal"  
    android:background="@color/grey2">
```

```
<ImageView
```

```
    android:layout_width="63dp"  
    android:layout_height="match_parent"  
    app:srcCompat="@drawable/aboouuut" />
```

```
<LinearLayout
```

```
    android:layout_width="match_parent"  
    android:layout_height="match_parent"  
    android:orientation="vertical">
```

```
<TextView
```

```
    android:layout_width="wrap_content"  
    android:layout_height="wrap_content"  
    android:layout_marginTop="1dp" android:text="About"  
    android:textColor="@color/black" android:textSize="18sp"  
    android:textStyle="bold" />
```

June, 2019"

```
<TextView
```

```
android:layout_width="wrap_content"
```

```
android:layout_height="wrap_content" android:text="Drill  
Mates v1.25 |
```

```
android:textColor="@color/grey3" android:textSize="15sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
</LinearLayout>
```

```
</LinearLayout>
```

```
<LinearLayout
```

```
android:id="@+id/btnexit" android:layout_width="360dp"  
android:layout_height="60dp"
```

```
android:layout_gravity="center"
```

```
android:layout_marginTop="10dp"
```

```
android:orientation="horizontal"
```

```
android:background="@color/grey2">
```

```
<ImageView
```

```
android:layout_width="63dp"
```

```
android:layout_height="match_parent"
```

```
app:srcCompat="@drawable/exit" />
```

```
<LinearLayout
```

```
android:layout_width="match_parent"
```

```
android:layout_height="match_parent"
```

```
android:orientation="vertical">
```

```
<TextView
```

```
    android:layout_width="wrap_content"  
    android:layout_height="wrap_content"  
    android:layout_marginTop="1dp" android:text="Exit"  
    android:textColor="@color/black" android:textSize="18sp"  
    android:textStyle="bold" />
```

```
Us :)"
```

```
<TextView
```

```
    android:layout_width="wrap_content"  
    android:layout_height="wrap_content" android:text="Please  
    Kindly Support  
  
    android:textColor="@color/grey3" android:textSize="14sp"  
    android:textStyle="bold" />
```

```
</LinearLayout>
```

```
</LinearLayout>
```

```
</LinearLayout>
```

```
</android.support.v4.widget.NestedScrollView>
```

## LAMPIRAN D

### 1. Kode program *Main Menu Java*

```
package com.app.tugasakhirpltu;

import android.content.Intent;

import android.os.Bundle;

import android.support.annotation.Nullable;

import android.view.View;

import com.app.tugasakhirpltu.constant.Counter;

public class MenuUtamaActivity extends BaseActivity {
    @Override

    protected void onCreate(@Nullable Bundle
    savedInstanceState) {

        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_menuutama);

        findViewById(R.id.btnengineer).setOnClickListener(new
        View.OnClickListener() {

            @Override

            public void onClick(View v) { Intent i = new
            Intent(getApplicationContext(),LoginEngineerActivity.cla ss);
            startActivity(i);

        }

    });
}
```

```
findViewById(R.id.btnoperator).setOnClickListener(new
View.OnClickListener() {
@Override
public void onClick(View v) { Intent i = new
Intent(getApplicationContext(),LoginOperatorActivity.class);
startActivity(i);
}
});
findViewById(R.id.btnmanager).setOnClickListener(new
View.OnClickListener() {
@Override
public void onClick(View v) { Intent i = new
Intent(getApplicationContext(),LoginManagerActivity.class);
startActivity(i);
}
});
findViewById(R.id.btnexit).setOnClickListener(new
View.OnClickListener() {
@Override
public void onClick(View v) { finishAffinity();
```

```
}  
});  
}
```

@Override

```
public void onBackPressed() { Counter.c_t1 = 5;  
Counter.c_t2 = 5;  
Counter.c_t3 = 5;  
Counter.c_t4 = 5;  
Counter.c_p1 = 5;  
Counter.c_p2 = 5;  
Counter.c_p3 = 5;  
Counter.c_p4 = 5;  
Counter.c_m1 = 5;  
Counter.c_m2 = 5;  
Counter.c_q = 5;  
Counter.c_eff = 5;  
Counter.c_profit = 5;  
Counter.c_ua = 5;  
Counter.c_uc = 5;
```

D -4

```
Counter.c_r = 5;
Counter.c_cost = 5; finish();
}
}
```

## 2. Kode Program *Chart Java*

```
package com.app.tugasakhirpltu;

import android.os.Bundle;
import android.os.CountDownTimer;
import android.support.annotation.Nullable;
import android.widget.TextView;

import java.text.SimpleDateFormat;
import java.util.Date;

public class ChartActivity extends BaseActivity { TextView
label,samadengan,t1,tanggal,title; CountDownTimer cdtgl;

@Override

protected void onCreate(@Nullable Bundle
savedInstanceState) {
```

```

super.onCreate(savedInstanceState);
setContentView(R.layout.activity_chart); title=
findViewById(R.id.title);

label = findViewById(R.id.label); samadengan =
findViewById(R.id.samadengan); tanggal =
findViewById(R.id.tanggal);

t1 = findViewById(R.id.t1);

String id = getIntent().getStringExtra("id");
title.setText(getTitle(id)); initChart(id,label,samadengan,t1);
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("dd-
MM-yyyy HH:mm:ss");

String currentDateandTime = sdf.format(new Date());

tanggal.setText("Waktu : "+currentDateandTime); cdtgl = new
CountDownTimer(20000000,1000) {

@Override

public void onTick(long millisUntilFinished)

{

SimpleDateFormat sdf = new

SimpleDateFormat("dd-MM-yyyy HH:mm:ss");

String currentDateandTime = sdf.format(new Date());

tanggal.setText("Waktu : "+currentDateandTime);

```

D -6

```
}
```

```
@Override
```

```
public void onFinish() {
```

```
}
```

```
};
```

```
cdtgl.start();
```

```
}
```

```
public String getTitle(String id){
```

```
String value = ""; if(id.equalsIgnoreCase("1")){
```

```
value = "Counter T1";
```

```
}else if(id.equalsIgnoreCase("2")){ value = "Counter T2";
```

```
}else if(id.equalsIgnoreCase("3")){ value = "Counter T3";
```

```
}else if(id.equalsIgnoreCase("4")){ value = "Counter T4";
```

```
}else if(id.equalsIgnoreCase("5")){ value = "Counter P1";
```

```
}else if(id.equalsIgnoreCase("6")){ value = "Counter P2";
```

```
}else if(id.equalsIgnoreCase("7")){ value = "Counter P3";
```

```
}else if(id.equalsIgnoreCase("8")){ value = "Counter P4";
```

```
}else if(id.equalsIgnoreCase("9")){ value = "Counter M1";  
}else if(id.equalsIgnoreCase("10")){ value = "Counter M2";  
}else if(id.equalsIgnoreCase("11")){ value = "Counter Q";  
}else if(id.equalsIgnoreCase("12")){ value = "Counter EFF";  
}else if(id.equalsIgnoreCase("13")){ value = "Counter  
PROFIT";  
}else if(id.equalsIgnoreCase("14")){ value = "Counter UA";;  
}else if(id.equalsIgnoreCase("15")){ value = "Counter UC";;  
}else if(id.equalsIgnoreCase("16")){ value = "Counter R";;  
}else if(id.equalsIgnoreCase("17")){  
value = "Counter COST";;  
}  
return value;  
}  
  
@Override  
public void onBackPressed() { cd.cancel(); cdtgl.cancel();  
finish();  
}  
}
```

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Nirvana Banu Yogaswara, lahir di Kota Balikpapan, 16 Januari 1997. Putra pertama dari Bapak Mardi Basuki dan Ibu Nunik Sri Wahyuni. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Patra Dharma 1 Balikpapan pada tahun 2008, pendidikan di SMPN 3 Cepu pada tahun 2011, pendidikan di SMAN 2 Balikpapan pada tahun 2014, pendidikan diploma yang ditempuh di Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada tahun 2017, dan melanjutkan pendidikan sarjana yang ditempuh di Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui program Lintas Jalur pada tahun 2017. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di BEM KM SV UGM pada tahun 2015-2016 sebagai staff Pengembangan Ristek. Penulis pernah melakukan internship di PT. Pertamina RU V Balikpapan pada tahun 2016 dan Direktorat Metrologi Bandung pada tahun 2018. Pada tugas akhir ini, penulis memilih bidang minat instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juni 2019, penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Perancangan Sistem Monitoring Tekno-Ekonomi pada Drilling System berbasis *Internet of Things*. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, maupun ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui email [banu.jackson16@gmail.com](mailto:banu.jackson16@gmail.com)