



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* TEKNO
EKONOMI KOLOM DISTILASI BERBASIS
INTERNET OF THINGS (IOT)**

RIZKY MANGARATUA SIMATUPANG
NRP.02311745000033

Dosen Pembimbing
Ir. Matradji, M.Sc.

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



FINAL PROJECT - TF 181801

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

***RIZKY MANGARATUA SIMATUPANG
NRP.02311745000033***

***Supervisor
Ir. Matradji, M.Sc.***

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Rizky Mangaratua Simatupang
NRP : 02311745000033
Jurusan/ Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir ini dengan judul “Perancangan Sistem *Monitoring* Tekno Ekonomi Kolom Distilasi Berbasis *Internet of Things* (IoT)” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 26 Juli 2019
Yang membuat pernyataan,



Rizky Mangaratua Simatupang
NRP. 02311745000033

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING*
TEKNO EKONOMI KOLOM DISTILASI BERBASIS
*INTERNET OF THINGS (IOT)***

Oleh:

Rizky Mangaratua Simatupang
NRP. 0231174500033

Surabaya, 26 Juli 2019

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



Ir. Matradji, M.Sc.
NIPN. 19560720 198503 1 003

**Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



..

Scanned by CamScanner

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* TEKNO EKONOMI KOLOM DISTILASI BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT)

TUGAS AKHIR


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

Oleh:


RIZKY MANGARATUA SIMATUPANG
NRP. 02311745000033

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Matradji, M.Sc.

 (Pembimbing)

2. Hendra Cordova, S.T.,M.T.

 (Penguji I)

3. Dr. -Ing. Doty Dewi Risanti, S.T.,M.T.

 (Penguji II)

SURABAYA
JULI, 2019

Scanned by CamScanner

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING*
TEKNO EKONOMI KOLOM DISTILASI BERBASIS
*INTERNET OF THINGS (IOT)***

Nama : Rizky Mangaratua Simatupang
NRP : 0231174500033
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Matradji, M.Sc.

ABSTRAK

Kolom distilasi merupakan unit operasi utama dalam proses pemisahan dan pemurnian pada industri minyak dan gas. Peningkatan pesat penggunaan kolom distilasi pada industri proses menyebabkan tuntutan penggunaan biaya energi yang murah dan efisien. Kebutuhan energi yang diperlukan kolom distilasi cukup besar, sehingga biaya operasi yang dibutuhkan akan tinggi. Untuk mengurangi beban biaya operasi yang tinggi, maka produk yang dihasilkan harus maksimal. Pengendalian proses serta *monitoring* merupakan kunci untuk menekan biaya operasi serta mendapatkan hasil produk maksimal pada kolom distilasi. Pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode perancangan dan metode simulasi pada *software Aspen HYSYS*. Metode perancangan dilakukan untuk membuat aplikasi *monitoring* berbasis IoT pada *Android* dan *Windows*. Metode simulasi dilakukan untuk mendapatkan parameter performansi berupa tekanan, temperatur, energi, dan komposisi sehingga dapat dihitung biaya operasi serta keuntungan penjualan produk yang dihasilkan. Berdasarkan hasil perancangan aplikasi *Android* dan *Windows* berbasis IoT serta simulasi pada kondisi menuju stabil didapatkan hasil komposisi *top product* sebesar 0,92 mol dan profit sebesar -82 \$/jam. Pada kondisi ideal didapatkan komposisi *top product* sebesar 0,96 mol dan profit sebesar 3756 \$/jam.

Kata kunci: kolom distilasi, *internet of things*, tekno ekonomi

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

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

Name : Rizky Mangaratua Simatupang
NRP : 02311745000033
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisors : Ir. Matradji, M.Sc.

ABSTRACT

The distillation column is the main operating unit in process of separation and refining in oil and gas industry. The use of distillation column has increased rapidly in process industry, causing demand for cheap and efficient energy costs. Since distillation column requires large amount of energy leading to high operational cost, one may need to optimize the quality of product. In such a way, process control and monitoring play an important role. This research employed Aspen HYSYS software to simulate the process in distillation column. This simulation was carried out to obtain performance parameters, i.e. pressure, temperature, energy, and composition, which would be used to calculate operational costs and the profit of the product. Monitoring system was designed by creating application using IoT working on Android and Windows. The result indicated that during the unstable condition composition of top product obtained was 0,92 mole and the profit was -82 \$/hour, meaning that under this condition deficit occurred. Once the stable condition was reached, composition of top product increased to 0,96 mol and the profit improved considerably to 3756 \$/hour.

Keywords : Column Distillation, internet of things (IoT), techno-economic.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga pembuatan tugas akhir beserta proses pembuatan laporan tugas akhir yang berjudul **PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* TEKNO EKONOMI KOLOM DISTILASI BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT)**

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

1. Kedua orang tua serta keluarga terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
2. Bapak Totok Ruki Biyanto S.T., M.T., Ph.D. beserta Bapak Ir. Matradji S.T., M.Kom. 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. Ibu Dyah Sawitri, S.T.,M.T. selaku dosen wali penulis yang telah membimbing selama perkuliahan.
5. Seluruh teman Tugas Akhir (Mas Ray, Banu Jackson, kawan-kawan Juncak), terima kasih untuk semuanya.
6. Seluruh Asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol atas segala bantuannya.
7. Seluruh teman-teman satu angkatan LJ TF 17, yang telah menemani selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
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, 17 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Arsitektur <i>Smart Factory</i>	5
2.2 Kolom Distilasi	7
2.3 Persamaan Keadaan Peng-Robinson	11
2.4 Perhitungan <i>Cost</i>	12
2.5 <i>Manufacturing Execution System (MES)</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Pengumpulan Data Komponen dan Konfigurasi peralatan pada Kolom Distilasi .	18
3.3 Pemodelan Proses Kolom Distilasi	20
3.4 Pengambilan Data <i>Historical</i> Pengukuran pada Kolom Distilasi	21
3.5 Perancangan <i>Manufacturing Execution System (MES) 5.0</i>	22
3.6 Perancangan Aplikasi <i>Monitoring</i> Kolom Distilasi Berbasis <i>Internet of Things (IoT)</i>	23
3.7 Analisis Perancangan <i>Internet of Things</i>	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27

4.1	Hasil Simulasi Sistem <i>Monitoring</i> MES 5.0	27
4.2	Hasil Rancangan dan Analisis Sistem <i>Monitoring</i> IoT	39
4.3	Rancangan Sistem <i>Monitoring Operator</i>	40
4.4	Rancangan Sistem <i>Monitoring Engineering</i>	43
4.5	Rancangan Sistem <i>Monitoring Manager</i>	47
4.6	Pembahasan	51
BAB V	PENUTUP	55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN		59
BIODATA PENULIS		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur <i>smart factory</i>	5
Gambar 2.2	Perpindahan kalor pada kolom distilasi	8
Gambar 2.3	Kesetimbangan massa pada kondenser dan reflux drum	9
Gambar 2.4	Kesetimbangan massa pada <i>reboiler</i>	10
Gambar 2.5	Konsep <i>software</i> MES	13
Gambar 2.6	Dasar <i>control chart</i>	14
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	17
Gambar 3.2	Diagram proses kolom distilasi	18
Gambar 3.3	PFD kolom distilasi	20
Gambar 3.4	Simulasi <i>HYSYS steady state</i> kolom distilasi	21
Gambar 3.5	Diagram alir rancangan aplikasi <i>monitoring</i> berbasis <i>Windows</i>	23
Gambar 3.6	Diagram alir perancangan <i>monitoring mobile apps</i>	24
Gambar 3.7	Diagram alir perancangan aplikasi <i>monitoring</i> pada <i>mobile apps Android</i>	24
Gambar 4.1	Diagram alur hasil rancangan sistem <i>monitoring</i> kolom distilasi	27
Gambar 4.2	Tampilan fitur MES	28
Gambar 4.3	<i>Interactive chart</i> MES	29
Gambar 4.4	Kondisi operasi (a) temperatur dan (b) tekanan kolom distilasi	30
Gambar 4.5	Kondisi operasi sensor temperatur TI-101	31
Gambar 4.6	Kondisi operasi sensor temperatur TI-102	31
Gambar 4.7	Kondisi operasi sensor temperatur TI-103	32
Gambar 4.8	Kondisi operasi sensor temperatur TI-104	32
Gambar 4.9	Kondisi operasi sensor temperatur TI-105	33
Gambar 4.10	Kondisi operasi sensor tekanan PI-102	33
Gambar 4.11	Kondisi operasi sensor tekanan PI-103	34
Gambar 4.12	Kondisi operasi tekanan dan temperatur kondenser	35
Gambar 4.13	Kondisi operasi sensor temperatur TI-107	36
Gambar 4.14	Kondisi operasi sensor tekanan PI-104	36

Gambar 4.15	Kondisi temperatur dan tekanan reboiler	37
Gambar 4.16	Kondisi operasi sensor temperatur TI-106	38
Gambar 4.17	Kondisi operasi sensor tekanan PI-101	38
Gambar 4.18	(a) Dashboard <i>apps</i> (b) operator <i>login</i> (c) <i>engineer login</i> (d) <i>manager login</i>	40
Gambar 4.19	Respon laju aliran <i>feed</i> pada kolom distilasi	41
Gambar 4.20	Respon temperatur laju aliran	41
Gambar 4.21	Respon temperatur laju aliran	42
Gambar 4.22	Tampilan <i>monitoring</i> operator	42
Gambar 4.23	Perbandingan propana distilat terhadap energi kondenser	44
Gambar 4.24	Perbandingan propana <i>bottom</i> terhadap energi reboiler	44
Gambar 4.25	Perbandingan propana awal terhadap propana <i>bottom</i>	45
Gambar 4.26	Perbandingan propana awal terhadap propana <i>bottom</i>	45
Gambar 4.27	(a) dan (b) Proses <i>monitoring</i> laju komposisi produk. (c) dan (d) Proses <i>monitoring</i> energi reboiler dan kondenser	46
Gambar 4.28	Biaya operasional kolom distilasi	48
Gambar 4.29	Perbandingan biaya operasional terhadap profit	48
Gambar 4.30	Tampilan <i>dashboard monitoring manager</i>	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kelas MES	14
Tabel 3.1	Data spesifikasi kolom distilasi	18
Tabel 3.3	Tabel spesifikasi beban kolom distilasi	19
Tabel 3.4	Indikator Performa Komponen	25
Tabel 4.1	<i>Cost Profit</i> Produk	51

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era industri modern, perkembangan sistem instrumentasi untuk proses *monitoring*, kontrol dan optimisasi bertujuan untuk mendapatkan performansi *plant* yang baik, meningkatkan keamanan operasi *plant*, hemat energi, ramah lingkungan, serta kondisi operasi yang optimal. Selain itu, perkembangan teknologi yang tepat membuat peradaban manusia semakin mudah, cepat, efisien, dan efektif. Teknologi ini berkembang baik dari sisi proses mekanikal, elektrik dan teknologi informasi. Perkembangan ini akan sangat menguntungkan manusia apabila teknologi-teknologi tersebut dapat dimanfaatkan secara bijaksana dan tepat [1,2]. Kolom distilasi merupakan perangkat utama dalam industri perminyakan, sebagaimana adanya sering digunakan dalam proses pemisahan. Kerugiannya adalah bahwa kolom distilasi adalah perangkat yang membutuhkan banyak energi, oleh sebab itu perlu diterapkan strategi kontrol yang strategis. Bahkan, implementasi dari kontrol kolom distilasi harus memastikan bahwa kualitas produk, hasil, operasi keselamatan, lingkungan, dan keuntungan yang maksimal [3-5].

Penggunaan kolom distilasi meningkat pesat pada industri proses dan dinamika kompleks dari kondisi operasinya membutuhkan pengendalian proses yang lebih baik [6]. Pengendalian proses dan pemantauan adalah kunci dari industri proses yang aman dan menguntungkan dari segi ekonomi. Selain itu, performansi dari pengendalian proses dapat menghasilkan penggunaan energi yang optimum serta stabil terhadap gangguan [4]. Deteksi dini gangguan dan ketersediaan informasi yang dapat diandalkan tentang gangguan pada proses, kegagalan fungsi peralatan, dan adanya peristiwa tidak biasa dalam suatu sistem sangat penting, sehingga dapat menjaga sistem tersebut di dalam wilayah operasi yang diinginkan. Miliaran dolar hilang dalam industri ini setiap tahun karena produktivitas yang rendah, kehilangan jam operasional, cedera akibat kerja dan penyakit yang diakibatkan oleh kecelakaan kecil dan besar yang biasa terjadi setiap hari [7-9]. Oleh karena dinamika proses yang kompleks,

sering kali terjadi kesalahan dalam proses variabel pada peralatan kolom distilasi. Oleh karena itu, sangat penting untuk selalu memantau dan mengendalikan peralatan kritis tersebut, untuk memastikan kolom distilasi terjaga setiap saat. Mencapai sistem seperti itu sangat penting untuk menjaga perilaku stabil kolom distilasi dan mengidentifikasi kesalahan yang terjadi dan membantu memperbaikinya dengan segera [10].

Dengan perkembangan teknologi komputer dan mempopulerkan konsep industri 4.0, proses industri modern cenderung lebih otomatis, terintegrasi, kompleks dan cerdas. Dalam beberapa tahun terakhir, dengan perkembangan pesat dari akuisisi data dan perangkat penyimpanan dan penggunaan yang luas dalam proses industri, sejumlah besar data yang proses dapat diperoleh dan disimpan termasuk data normal dan berbagai data kesalahan. Dalam mengembangkan industri yang mengadopsi teknologi 4.0 atau dikenal dengan *Internet of Things* (IoT) ini untuk memperoleh manfaat signifikan melalui peningkatan produktivitas, peningkatan pendapatan, peningkatan visibilitas proses yang dapat dioptimalkan dan pemberian layanan pelanggan yang lebih baik dan bernilai tambah. Disisi lain, teknologi 4.0 memerlukan pengembangan, investasi, dan biaya konversi yang relevan untuk mengubah fasilitas teknologi konvensional yang ada.

Menurut PwC [11] dalam “2016 *Global Industry 4.0 survey*” terdapat 600 industri proses yang telah diwawancarai, 72% menginginkan digitalisasi dan otomatis direalisasikan dalam lima tahun kedepan. Namun, hanya 33% dari responden yang telah mengetahui cara mencapai digitalisasi dan otomatisasi ini. Kesenjangan sebesar 39% ini mewakili fakta bahwa, perusahaan pada industri proses menginginkan digitalisasi akan tetapi tidak semua perusahaan industri mereka memiliki metode tentang bagaimana menerapkan teknologi 4.0 untuk perusahaan dan bisnis mereka.

Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan sistem *monitoring* tekno ekonomi kolom distilasi berbasis *internet of thing* (IoT). Penelitian ini diharapkan dapat menjabarkan mengenai penerapan teknologi IoT pada penyajian informasi data mengenai performansi *plant* untuk *manager* dan *engineer*, sementara penyajian informasi data berupa *monitoring*

untuk operator. Sehingga dapat tercapai peningkatan produktivitas dalam mengoptimalkan kualitas produk, komposisi yang diinginkan, serta energi yang optimum.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain.

- a. Bagaimana merancang dan menerapkan sistem *monitoring* berbasis internet of things (IoT) pada *Android* dan *Windows* untuk *monitoring* performansi *engineering* dan performansi ekonomi pada kolom distilasi ?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain.

- a. Merancang dan menerapkan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) pada *Android* dan *Windows* untuk *monitoring* performansi *engineering* sampai performansi ekonomi pada kolom distilasi.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup yang dikaji dalam tugas akhir ini meliputi:

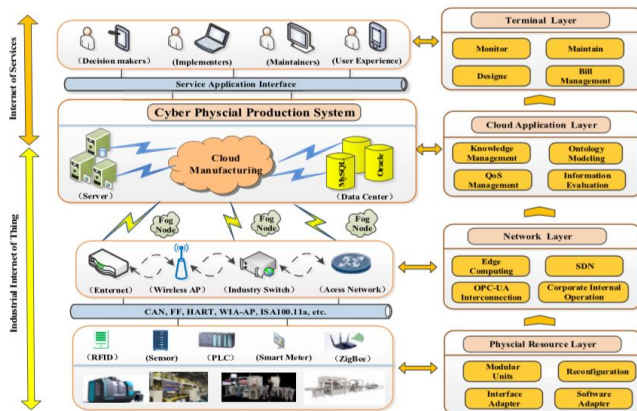
- a. Penerapan *monitoring* pada kolom distilasi hanya pada single kolom/biner
- b. Simulasi proses kolom distilasi menggunakan *software Aspen HYSYS* pada kondisi ideal
- c. Dalam merancang sistem *monitoring* berbasis IoT, data yang digunakan merupakan data penelitian sebelumnya yang dihasilkan menggunakan *software modeling HYSYS*.
- d. Perancangan sistem *monitoring* menggunakan *Android Studio* sebagai *software* buatan berbasis mobile apps dan *software* berbasis desktop menggunakan *software Delphi X8*
- e. Perancangan mobile *software* berbasis IoT yang terdiri dari 3 divisi yaitu *operator*, *engineer*, dan *manager*
- f. Laju aliran dan produk yang dihasilkan adalah propana.
- g. Data yang digunakan selama 1 bulan dengan pengambilan setiap 30 detik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

2.1 Arsitektur *Smart Factory*

Dalam era industri 4.0 atau yang dikenal dengan *internet of thinking* (IoT) dari kalangan pemerintah, perusahaan, dan peneliti tertarik untuk mengembangkan kecerdasan manufaktur. Kemudian munculah konsep yang dinamakan *smart factory*. Definisi dari *smart factory* adalah sistem manufaktur yang dapat menjelajah secara adaptif dan fleksibel [12]. Arsitektur *smart factory* sendiri berbasis digital dan otomatisasi dengan menggunakan teknologi informasi untuk meningkatkan pengelolaan sumber daya [13,14]. pembangunan *smart factory* diharapkan dapat meningkatkan produksi dan penjualan, meningkatkan pengendalian proses produksi, dan mengurangi intervensi pada proses di lapangan. *Smart factory* terdiri dari tiga aspek yaitu interkoneksi, kolaborasi, dan eksekusi. Arsitektur dari *smart factory* terdiri dari empat bagian yaitu, *physical resource*, *network*, *data application*, dan pusat jaringan. Berikut merupakan arsitektur dari *smart factory*:



Gambar 2.1 Arsitektur *smart factory* [1]

2.1.1 *Physical Resource Layer*

Pada arsitektur *internet of things* (IoT) layer *physical resource* merupakan tempat yang mana terdapat komponen-komponen yang berguna *device* untuk mengawasi sistem serta menghubungkan data kerja menuju *network layer*. *Layer* ini merupakan sumber daya fisik yang mencakup semua sumber daya proses dalam seluruh siklus proses produksi. Beberapa komponen atau *device* yang terdapat pada *layer* ini contohnya adalah RFID, sensor, dan PLC. Seluruh sumber daya fisik tersebut pada akhirnya akan mengirimkan data dari siklus proses produksi menuju *Network Layer*. Tentunya, dalam mengirimkan data proses tersebut membutuhkan konektor atau disebut media komunikasi. Beberapa media komunikasi yang sering digunakan yaitu CAN, FF, HART, WIA-AP, ISA100, dan sebagainya.

2.1.2 *Network Layer*

Pada *layer* ini bertanggung jawab dalam menangani transmisi data yang telah diperoleh dari sensor dan dikirimkan menuju *cloud server*. Pengiriman data proses disesuaikan dengan alamat IP yang sesuai dengan *cloud server*. Dalam mencegah terjadinya kegagalan pengiriman/keamanan data pada *layer* terdapat keamanan standar protokol yang telah dilakukan. IPv4 menjadi protokol standar yang telah ditentukan hingga sekarang pada standar perancangan sistem *industrial internet of things* (IIoT), sehingga dapat dikatakan pada *layer* ini merupakan sekumpulan *device* yang saling berhubungan dalam menyediakan dan mengatur akses secara langsung.

2.1.3 *Application Layer*

Pada *layer* ini merupakan tempat data proses telah dikirim atau dapat dikatakan sebagai infrastruktur fisik dari *cloud server*. Setiap data yang telah disimpan dalam *cloud server*, kemudian disimpan dalam bentuk *database*. Beberapa *database* yang terkenal yaitu MySQL, Oracle, Microsoft SQL Server, dan sebagainya. Data proses yang berjumlah sangat besar itu dikenal dengan nama *big data*. Data-data yang telah

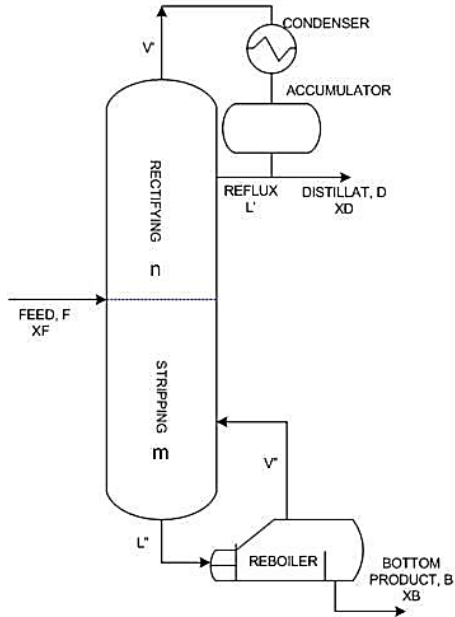
dikirim dari lapangan oleh sensor kemudian dianalisis di *database*, kemudian *database* akan mengirimkan data menuju terminal *layer*.

2.1.4 Terminal Layer

Pada *layer* inilah berbagai keputusan diambil oleh *user* yang bertanggung jawab dalam jalannya proses pengolahan. Data dari berbagai proses yang diolah dan dapat dijadikan faktor *monitoring* dan kontrol terhadap proses. Sebagai contoh, ketika hasil analisis dari proses menunjukkan nilai yang melebihi standar, maka harus dilakukan *maintenance*

2.2 Kolom Distilasi

Distilasi adalah unit operasi utama dalam proses pemisahan dan pemurnian pada industri minyak dan gas. Prinsip pemisahan komposisi yang terjadi pada kolom distilasi adalah berdasarkan perbedaan volatilitas [15]. Fluida yang akan diproses dikenal sebagai *feed* dan dimasukkan ke dalam nampan (*tray*) yang dinamakan *feed tray*. *Feed tray* membagi kolom menjadi bagian atas (*rectifying*) dan bagian bawah (*stripping*) [16]. Pemisahan yang berlangsung disebabkan panas yang ditambahkan ke *reboiler* menyebabkan aliran uap yang di produksi di *reboiler* naik melalui kolom dan mengalami kontak dengan aliran cairan dari umpan dan kondenser yang mengalir ke bawah kolom.



Gambar 2.2 Perpindahan kalor pada kolom distilasi [17]

$$F = D + B \quad (2.2)$$

dimana:

F = laju aliran *feed*

D = laju aliran distilat

B = laju aliran *bottom product*

dengan kesetimbangan massa komponen kolom distilasi sebagai berikut:

$$FX_F = DX_D + BX_B \quad (2.3)$$

dimana:

X_F = fraksi *feed*

X_D = fraksi distilat

X_B = fraksi *bottom product*

Sedangkan kesetimbangan massa total pada kondensor dan reflux dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{dM_D}{dt} = V_T - L - D \quad (2.4)$$

dimana:

V_T = laju aliran *vapour* keluaran *top stage* kolom

L = laju aliran *reflux*

Dan kesetimbangan massa komponen pada kondenser dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{d(M_D X_D)}{dt} = V_T X_{V_T} - (L + D) X_D \quad (2.5)$$

dimana X_{V_T} merupakan fraksi dari *vapour* keluaran kolom distilasi.

Sehingga kesetimbangan massa energi pada kondenser dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{d(M_D h_D)}{dt} = V_T h_{V_T} - L h_L - D h_D + Q_C \quad (2.6)$$

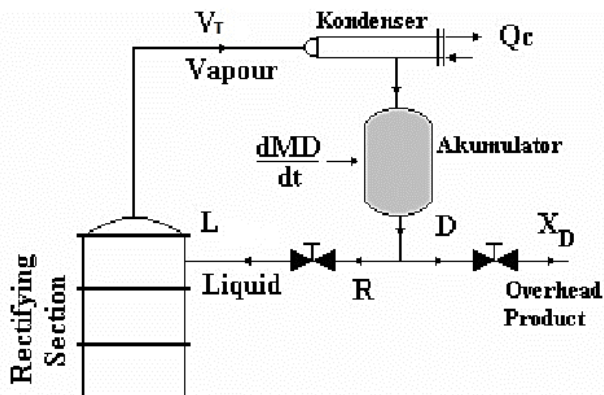
dimana:

h_{V_T} = entalpi pada *vapour* keluaran *top stage* kolom

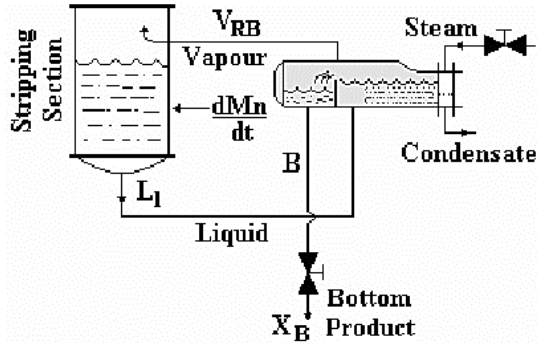
h_D = entalpi pada distilat

h_L = entalpi pada *reflux*

Q_C = *heat flow* kondenser



Gambar 2.3 Kesetimbangan massa pada kondenser dan reflux drum [17]



Gambar 2.4 Kesetimbangan massa pada reboiler dan base kolom [17]

Untuk kesetimbangan massa total pada *reboiler dan base* kolom dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{dM_B}{dt} = L_1 - V_{RB} - B \quad (2.7)$$

dimana:

L_1 = laju aliran keluaran *bottom stage* kolom

V_{RB} = laju aliran *steam reboiler*

dengan kesetimbangan massa komponen sebagai berikut:

$$\frac{d(M_B X_B)}{dt} = L_1 X_1 - V_{RB} X_{V_{RB}} - B X_B \quad (2.8)$$

dimana:

X_1 = fraksi keluaran *bottom stage* kolom

$X_{V_{RB}}$ = fraksi *steam reboiler*

dan kesetimbangan massa energi pada *reboiler dan base* kolom dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{d(M_B h_B)}{dt} = L_1 h_1 - V_{RB} h_{V_{RB}} - B h_B + Q_B \quad (2.9)$$

dimana:

h_1 = entalpi keluaran *bottom stage* kolom

h_{RB} = entalpi *steam reboiler*

h_B = entalpi *bottom product*

Q_B = *heat flow* pada *reboiler*

2.3 Persamaan Keadaan Peng-Robinson

Equation of state (persamaan keadaan) adalah persamaan termodinamika yang menggambarkan keadaan materi di bawah keadaan fisik yang ada. Persamaan ini merupakan persamaan konstitutif yang menyediakan hubungan matematis antara dua atau lebih fungsi keadaan terkait dengan zat atau unsur, seperti suhu, tekanan, volume, atau energi internal. Persamaan keadaan berguna untuk mengkorelasikan kepadatan gas dan cairan dengan suhu dan tekanan.

Terdapat beberapa macam *equation of state* salah satunya yaitu *Peng-Robinson equation of state* yang dinyatakan dalam rumus di bawah ini.

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a\alpha}{V_m^2 + 2bV_m - b^2} \quad (2.10)$$

$$a = 0,45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (2.11)$$

$$b = 0,07780 \frac{RT_c}{P_c} \quad (2.12)$$

$$k = 0,37464 + 1,5422\omega - 0,26922\omega^2 \quad (2.13)$$

$$\alpha = (1 + \kappa(1 - T_r^{0,5}))^2 \quad (2.14)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (2.15)$$

dimana:

p = tekanan (mutlak)

V = volume

n = jumlah mole pada zat

$V_m = \frac{V}{n}$ = volume molar, volume dari 1 mole gas atau cair

T = temperatur mutlak

R = gas konstan ideal (8,3144621 J/molK)

P_c = tekanan pada titik kritis

T_c = temperatur mutlak pada titik kritis.

Persamaan Peng-Robinson ditemukan pada tahun 1976 untuk menyempurnakan persamaan sebelumnya di University of Alberta oleh Ding-Yu Peng dan Donald Robinson untuk memenuhi tujuan berikut [18]

- Parameter-parameter dapat dinyatakan dalam sifat kritis dan faktor aksentrik.
- Model memberikan tingkat akurasi yang mendekati titik kritis, terutama untuk perhitungan faktor kompresibilitas dan densitas cairan.
- Aturan dalam pencampuran tidak harus menggunakan lebih dari satu parameter interaksi biner tunggal, yang harus independen dari tekanan suhu dan komposisi.
- Persamaan berlaku untuk semua perhitungan dari semua sifat fluida dalam proses gas alam.

2.4 Perhitungan *Cost*

Keuntungan dapat diperoleh dari nilai maksimum nilai jual produk yang dihasilkan pada kolom distilasi dikurangi biaya operasional kerja *reboiler*. Untuk mendapatkan nilai *profit* yang maksimum, maka penggunaan energi pada *reboiler* dan kondenser harus seminimal mungkin dengan batasan kualitas minimum yang dapat dihasilkan oleh *reboiler*. Acuan yang digunakan untuk mengetahui nilai jual produk kolom distilasi dan harga *crude* dapat menggunakan referensi OPEC. Untuk persamaan *operational cost* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$OC = (Qr \times Re) \quad (2.16)$$

dimana:

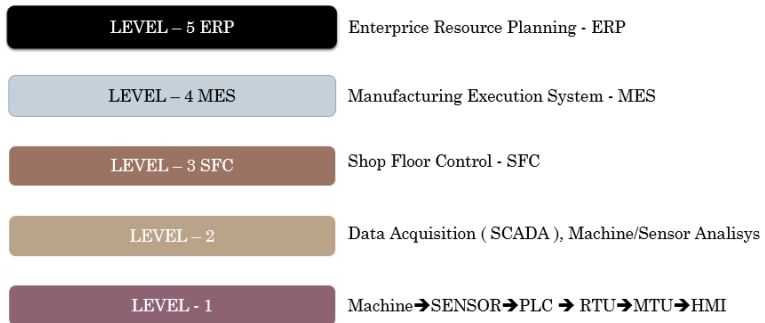
OC	= <i>Operational cost</i> (\$)
Qr	= <i>Heat flow</i> pada reboiler
Re	= Crude Oil (8,82353E-06 kJ/h)

Setelah didapatkan nilai operasional kerja, maka dapat dicari nilai *profit* dari kolom distilasi. Persamaan *profit* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Profit = \text{Harga jual produk} - OC \quad (2.17)$$

2.5 Manufacturing Execution System (MES)

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 [19]. 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 dapat digambarkan sebagai Gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2.5 Konsep *software* MES [19]

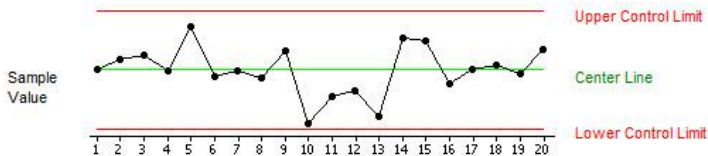
Dalam dunia industri, MES dibagi menjadi beberapa kelas. Berdasarkan Tabel 2.1 kelas tertinggi yang dicapai pada industri 4.0 sendiri yaitu kelas 6.0. Pengembangan MES semakin cepat seiring dengan kebutuhan industri yang semakin maju dan proses kompleks, sehingga kebutuhan MES menjadi faktor untuk meningkatkan produktivitas dari suatu proses industri. Berikut merupakan pembagian kelas dari MES:

Tabel 2.1 Kelas MES [19]

<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>

2.6 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 2.6

**Gambar 2.6** Dasar *control chart* [20]

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

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_3\bar{s} \quad (2.18)$$

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \quad (2.19)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_3\bar{s} \quad (2.20)$$

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 keakurasian data suatu proses. Berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan batas kendali *control chart S*.

$$UCL_s = A_4s \quad (2.21)$$

$$UCL_s = \bar{s} \quad (2.22)$$

$$UCL_s = B_4s \quad (2.23)$$

dimana:

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

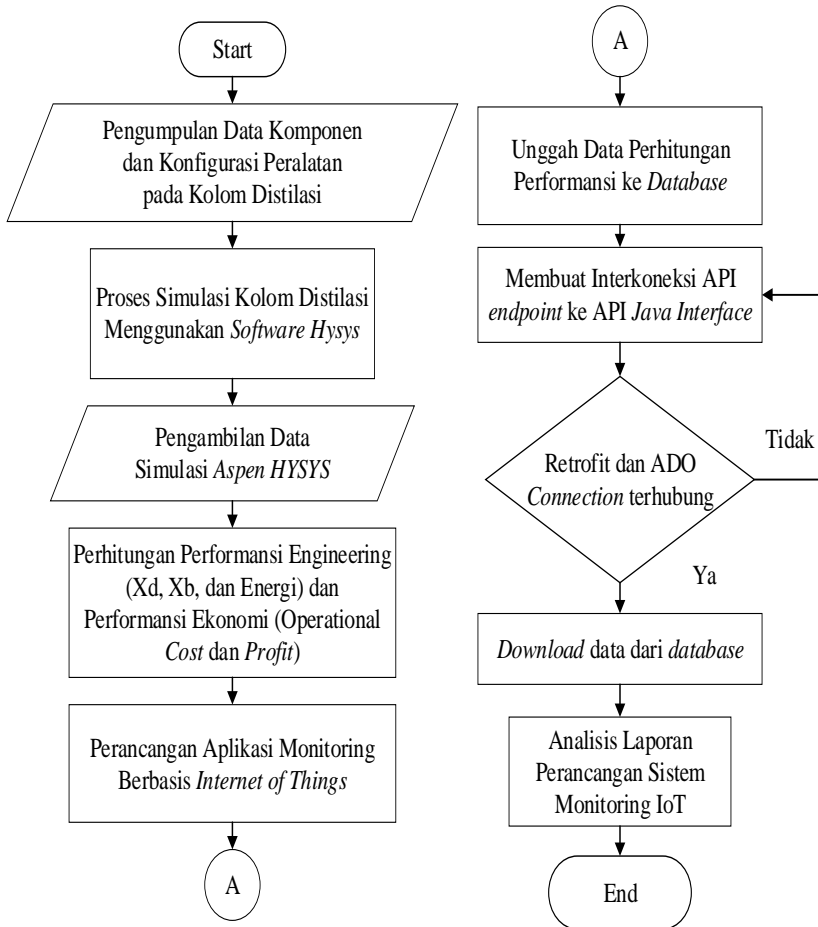
B_3, B_4 = Konstanta mengacu *table of constant for control charts*

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Pengumpulan Data Komponen dan Konfigurasi peralatan pada Kolom Distilasi .

Data yang di ambil merupakan data-data yang diperlukan untuk memodelkan proses berdasarkan *column internal datasheet*, P&ID, dan PFD sehingga di dapatkan gambaran umum proses kolom distilasi

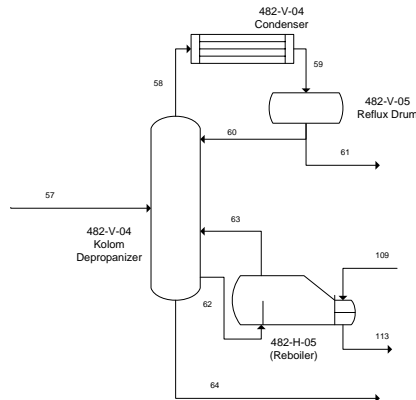
Kolom Distilasi berdasarkan kondisi desain

Kolom Distilasi memiliki spesifikasi sebagai berikut

Ukuran : 2000 mm x 37026 mm

Jumlah Tray : 50 (tray feed : 32)

Berikut adalah diagram proses dari kolom distilasi



Gambar 3.2 Diagram proses kolom distilasi

Tabel 3.1 Data spesifikasi kolom distilasi

Spesifikasi	Feed	Top	Bottom
<i>Operating Press. (barg)</i>	16.4	16.2	16.4
<i>Operating Temp. (⁰C)</i>	69.12	48.78	104.53

Tabel 3.2 Parameter dan data aliran pada kolom distilasi

	Unit	Feed	<i>Distilate</i>	Bottom
Flowrate	kg/hr	26627	13422	13205
Temperatur	°C	70.2	48.3	110.6
Pressure	bar	16.4	20	13.205
Composition	H ₂ S	0	0	0
	CO ₂	0.003	0.005	0
	Nitrogen	0	0	0
	Methane	0.001	0.002	0
	Ethane	1.163	1.966	0
	Propane	57.915	96.922	1.5
	i-butane	14.815	1.094	34.659
	n-butane	15.822	0.01	38.691
	i-pentane	4.89	0	11.963
	n-pentane	3.006	0	7.354
	n-hexane	1.784	0	4.363
	n-heptane	0.388	0	0.95
	n-octane	0.16	0	0.391
	n-nonane	0.026	0	0.063
	n-decane	0.019	0	0.047
	n-C11	0.006	0	0.015
n-C12	0.002	0	0.004	
Total		100	100	100

Dari *process flow diagram* (PFD) dan data sheet kolom distilasi diperoleh kondisi masing-masing stream dan komposisinya. Detail kolom distilasi dapat dilihat pada Tabel 3.1 hingga Tabel 3.3

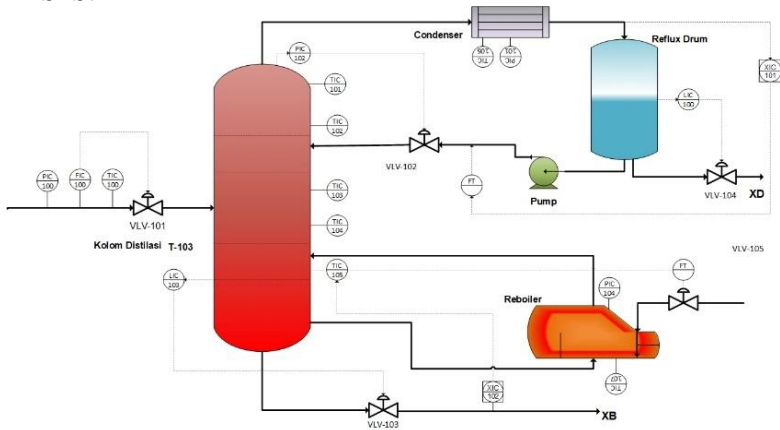
Tabel 3.3 Tabel spesifikasi beban kolom distilasi

Unit	Condenser (dari spesifikasi)	Reboiler (dari perhitungan Q_{hotoil})
kW	3452	3439.46
Type	<i>Air Cooler</i>	<i>Kettle</i>

3.3 Pemodelan Proses Kolom Distilasi

Data spesifikasi serta *feed* dari kolom distilasi yang telah didapat kemudian disimulasikan pada *software HYSYS* untuk mendapatkan kondisi sesungguhnya distilasi kolom.

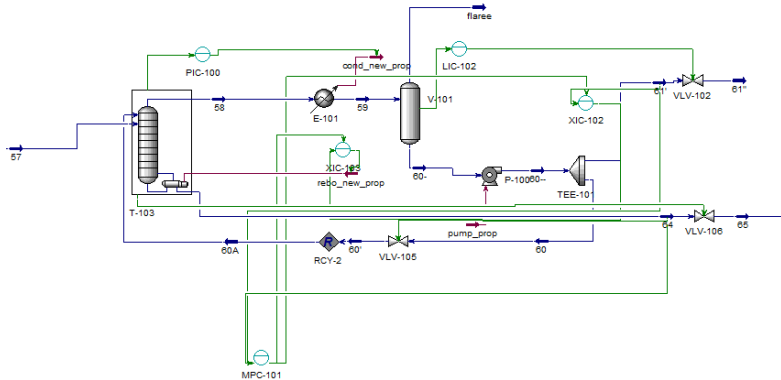
Model dibuat berdasarkan data desain dan kondisi operasi yang ada menggunakan kesetimbangan massa dan energi yang ada pada *HYSYS*.



Gambar 3.3 PFD kolom distilasi

Sebelum dilakukan perancangan pada *software HYSYS*, terlebih dahulu pada desain PFD dilakukan perancangan pemasangan *valve* beserta dengan sensor yang akan digunakan. Berikut merupakan Gambar 3.3 posisi dan peletakan kontrol *valve* dan sensor.

Pemodelan Kolom Distilas Menggunakan *HYSYS*



Gambar 3.4 Simulasi *HYSYS steady state* kolom distilasi

Setelah pembuatan proses kolom distilasi pada keadaan *steady state* atau pada kondisi tidak bergerak terhadap waktu. Secara umum sebuah proses akan berubah seiring berjalan waktu maka langkah selanjutnya adalah mengubah proses ke dalam kondisi dinamik. Proses diubah ke dalam keadaan dinamik untuk dapat dipasang pengendali.

3.4 Pengambilan Data *Historical* Pengukuran pada Kolom Distilasi

Dalam tugas akhir ini telah dilakukan *monitoring* performansi pada kolom distilasi berdasarkan komposisi produk dan Energi sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 2. Oleh karena itu, dibutuhkan pengambilan data *historical* indikator-indikator yang dapat berpengaruh terhadap komposisi produk dan energi. Indikator-indikator tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

Reboiler – H2

- Temperatur Reboiler (°C) – TI105
- *Pressure* Reboiler (bar)-PI107

Kondenser-H3

- Temperatur Kondenser (°C)-TI104

- *Pressure* Kondenser (bar)-PI103

Kolom Distilasi-H1

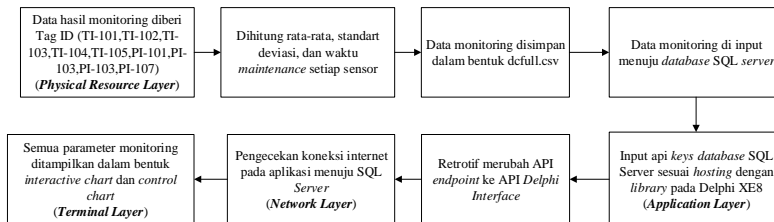
- Temperatur Kolom Atas (°C)-TI-101
- Temperatur Kolom Tengah (°C)-TI102
- Temperatur Kolom Bawah (°C)-TI103
- *Pressure* Kolom Atas (bar)-PI101
- *Pressure* Kolom Bawah (bar)-PI102

Pengambilan data dari setiap indikator diambil dari tanggal 1 Maret 2019 – 31 Maret 2019. Pengambilan data pengukuran dilakukan setiap 30 detik. Selain menggunakan parameter-parameter *monitoring* dalam perhitungan komposisi produk dan energi, terdapat data-data yang dibutuhkan untuk menghitung performansi *engineering* dan ekonomi. Data-data tersebut adalah sebagai berikut:

- Harga jual propana (529 US\$/MT)
- Harga jual *crude oil* (54 US\$/barel)

3.5 Perancangan *Manufacturing Execution System* (MES) 5.0

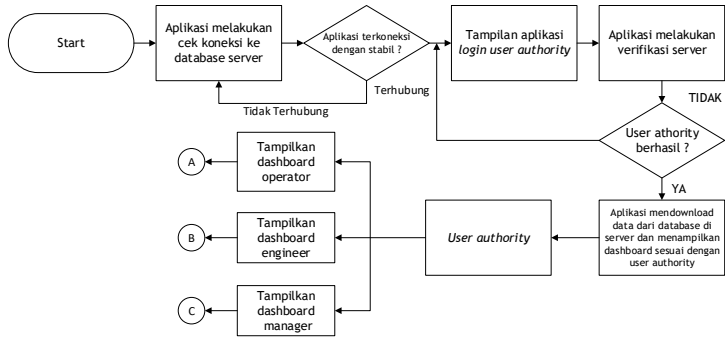
Perancangan sebuah *platform* yang telah dirancang untuk penerapan industri 4.0 pada sebuah industri proses, khususnya untuk mempermudah pemantauan produksi pada parameter – parameter di lapangan yang dapat menjadi indikator bagi *engineer* dalam mengidentifikasi performansi sebuah mesin/komponen, maka dibuat aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang diterapkan pada *Windows* menggunakan Delphi XE8. Hasil perancangan *software* berupa MES 5.0. Data parameter yang ditampilkan sesuai pada Gambar 3.3 mengacu pada *database* yang tersedia didalam *SQL server*. Dalam perancangan aplikasi MES 5.0 pada tugas akhir ini mengacu pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.5



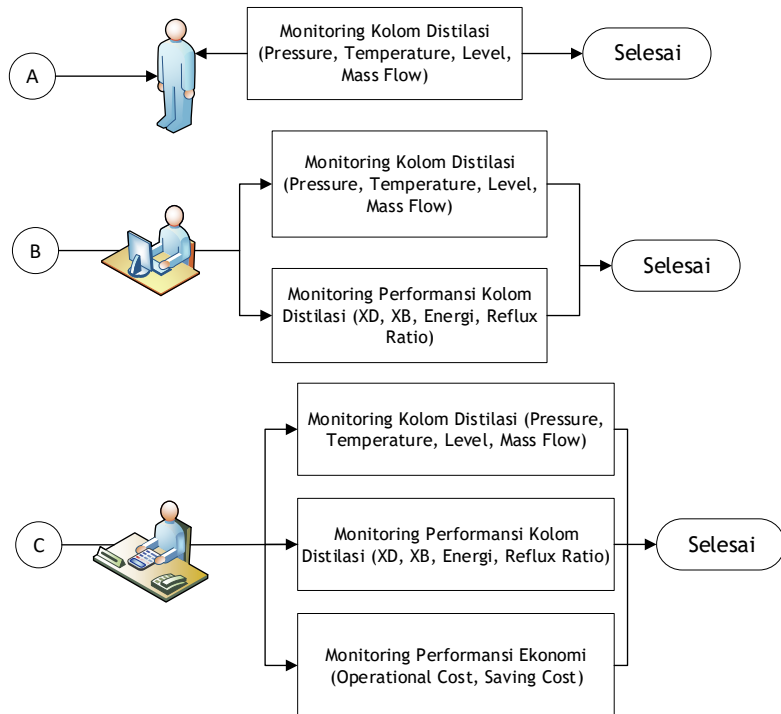
Gambar 3.5 Diagram blok rancangan aplikasi *monitoring* berbasis *Windows*

3.6 Perancangan Aplikasi *Monitoring* Kolom Distilasi Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Perancangan aplikasi *monitoring* kolom distilasi digunakan sistem operasi *Android*, data yang telah diunggah pada *database SQL server* akan terhubung langsung terhadap *apps mobile*. Aplikasi pada *mobile apps* yang digunakan untuk *monitoring* dibuat menggunakan sistem operasi *Android* yang dibuat menggunakan aplikasi *Android Studio*. Perancangan aplikasi *monitoring* IoT dapat diinterpretasikan dalam tiga *user* yaitu *operator*, *engineer*, dan *manager*. Interpretasi data pengukuran yang muncul dalam *mobile apps* berupa grafik dan angka yang akan memudahkan setiap individu untuk menentukan langkah kerja. Data hasil interpretasi didapatkan langsung dari data yang telah diunggah pada *database* yang ada di *server*. Setiap pengguna yang berhasil *login* mampu mengakses data plant sesuai dengan divisi masing-masing. Untuk *engineer* dapat mengakses data performansi *engineering* dan *operator*, akan tetapi untuk *manager* dapat mengakses performansi *engineering*, performansi ekonomi, dan *operator*. Diagram alir rancangan sistem *monitoring* digambarkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3.6 Diagram alir perancangan *monitoring mobile apps*



Gambar 3.7 Diagram alir rancangan aplikasi *monitoring* pada *mobile apps Android*

3.7 Analisis Perancangan *Internet of Things*

Perolehan data *historical* dan perhitungan pada setiap indikator yang ditampilkan pada aplikasi berbasis *Windows Android*. Terkhusus pada aplikasi MES 5.0 ditambahkan fitur *control chart* pada masing – masing indikator. Dengan tambahan fitur *control chart*, masing – masing 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 (data desain) sehingga dapat dianalisis kondisi terkini dari mesin – mesin yang digunakan selama proses produksi. Dari *control chart* yang disediakan dijadikan acuan untuk menentukan *predictive maintenance* pada komponen/mesin. Adapun nilai CL, UCL dan LCL pada masing – masing indikator yang telah ditentukan oleh vendor ditunjukkan pada Tabel 3.5

Tabel 3.4 Indikator Performa Komponen

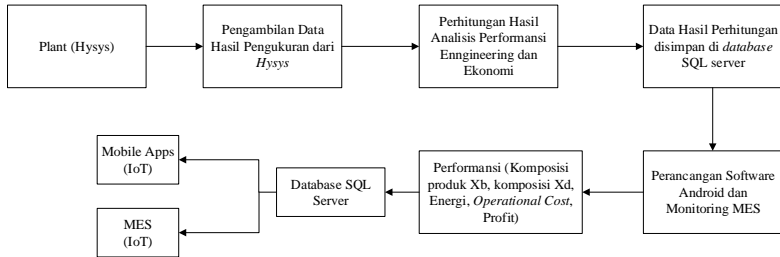
Komponen	Sensor	CL	UCL	LCL	STD
Kolom Distilasi	TI-101	49	54	46	0,000481
	TI-103	60	69,5	58	0,000699
	TI-105	101	105	100	0,001132
	PI-102	16,2	16,5	15,8	5,84E-06
	PI-103	16,4	16,5	15,8	5,23E-06
Reboiler	TI-106	106	108	105,4	0,002969
	PI-101	15,8	16,5	16,2	5,23E-06
Kondenser	TI-107	48	49,5	48,2	0,000746
	PI-104	16,2	16,5	16,1	5,84E-06

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

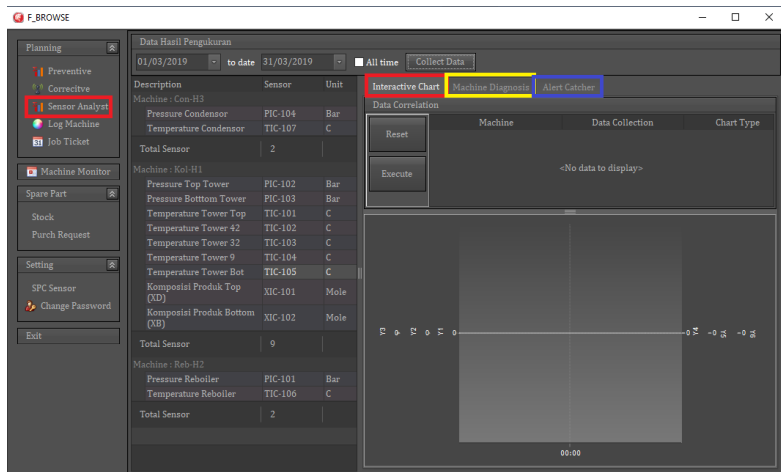
4.1 Hasil Simulasi Sistem *Monitoring* MES 5.0

Hasil dari perancangan untuk sistem *monitoring* pada kolom distilasi berbasis *Internet of Things* (IoT) pada tugas akhir ini adalah seperti pada Gambar 4.1



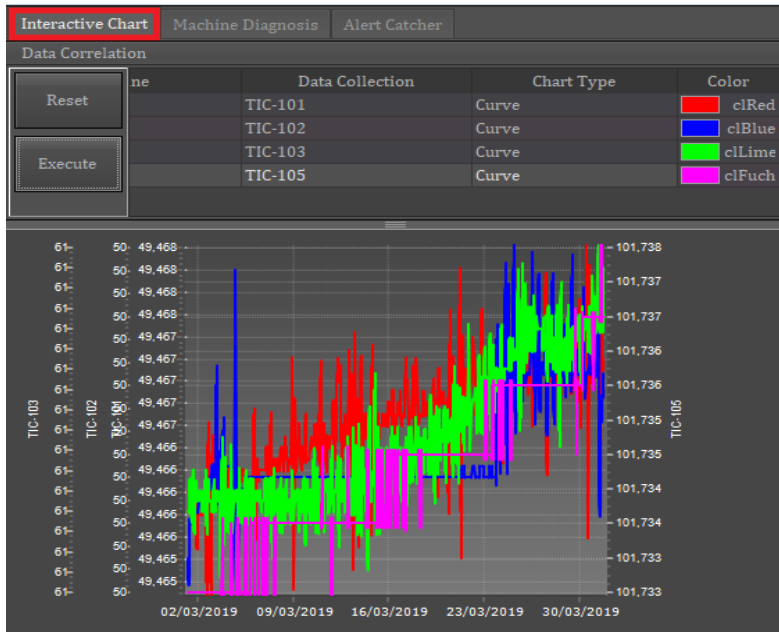
Gambar 4.1 Diagram blok hasil rancangan sistem *monitoring* kolom distilasi

Perancangan sistem *monitoring* MES berbasis *desktop* dibuat untuk *monitoring* keadaan mesin pada *plant* kolom distilasi. *Plant* kolom distilasi yang digunakan disimulasikan menggunakan *software HYSYS*. Setelah di *running* beberapa jam, maka data hasil pengukuran dapat dikirim menuju *database* yang tersedia. *Database* yang digunakan pada perancangan sistem *monitoring* digunakan *SQL server* sebagai *database*. Pengambilan data hasil pengukuran sesuai dengan penempatan sensor yang sesuai pada Gambar 3.3. Selain digunakan untuk *monitoring* performansi *engineering* kolom distilasi, perancangan *software* ini dapat digunakan untuk memprediksi terjadinya perilaku abnormal pada kondisi suatu mesin ketika saat beroperasi.



Gambar 4.2 Tampilan fitur MES

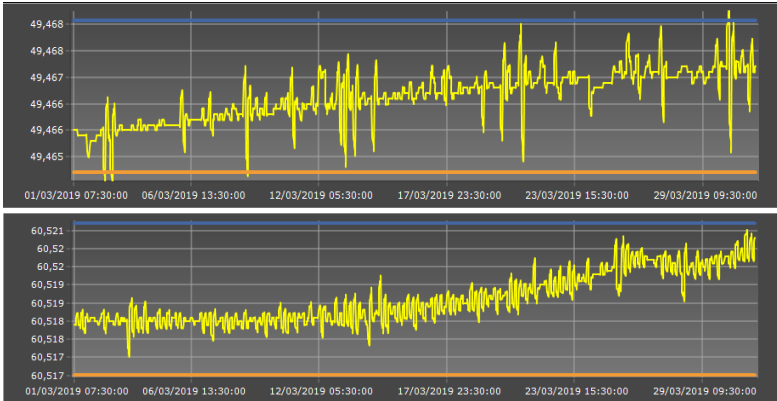
Pada perancangan sistem *monitoring* yang telah dilakukan fitur yang tersedia pada MES digunakan untuk *maintenance*. Berdasarkan Gambar 4.2 fitur *sensor analyst* yang dapat digunakan untuk *monitoring* dibagi menjadi tiga yaitu *interactive chart*, *machine diagnosis*, dan *alert catcher*. Dari ketiga masing-masing bagian tersebut memiliki fungsi dan kegunaan yang berbeda-beda. Keluaran grafik yang ditunjukkan pada masing-masing tab merupakan interpretasi dari hasil sensor yang telah diunggah pada *cloud server* pada *SQL server manager*. Disisi lain *monitoring* MES 5.0 ini juga dilengkapi dengan fitur sensor dari masing-masing komponen masing-masing mesin.



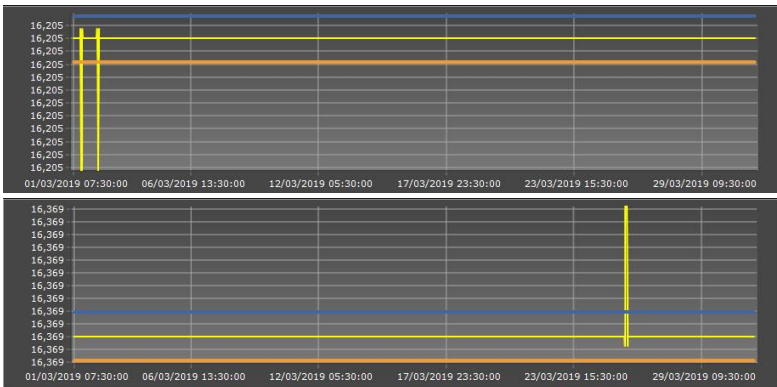
Gambar 4.3 *Interactive chart* MES

Pada Gambar 4.3 *tab interactive chart* berfungsi untuk menampilkan semua data sensor yang dibutuhkan oleh seorang *engineer* untuk memantau kondisi plant. Kebutuhan *interactive chart* ini pada sistem IoT sangat penting untuk menunjang fleksibilitas *monitoring* variabel terukur secara langsung oleh seorang *engineer* dalam memantau secara langsung keseluruhan sensor. *Engineer* dapat langsung memilih sensor mana yang ini dipantau.

Pada tab berikutnya yang dapat digunakan adalah *alert catcher*. *Alert catcher* berfungsi untuk memantau kondisi operasi mesin berdasarkan hasil keluaran dari sensor yang telah di pasang. *Alert catcher* dilengkapi dengan nilai batas atas (UCL) dan batas bawah (LCL) sesuai dengan kondisi operasi yang telah disesuaikan dengan data desain



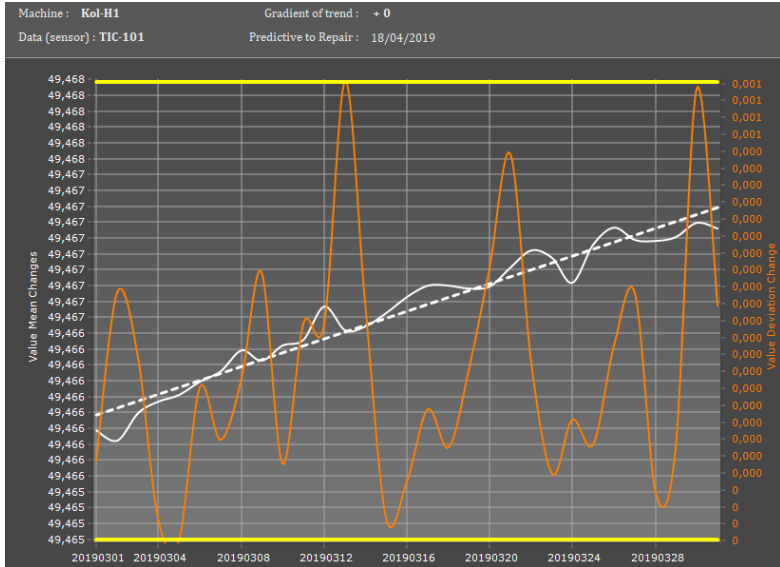
(a)



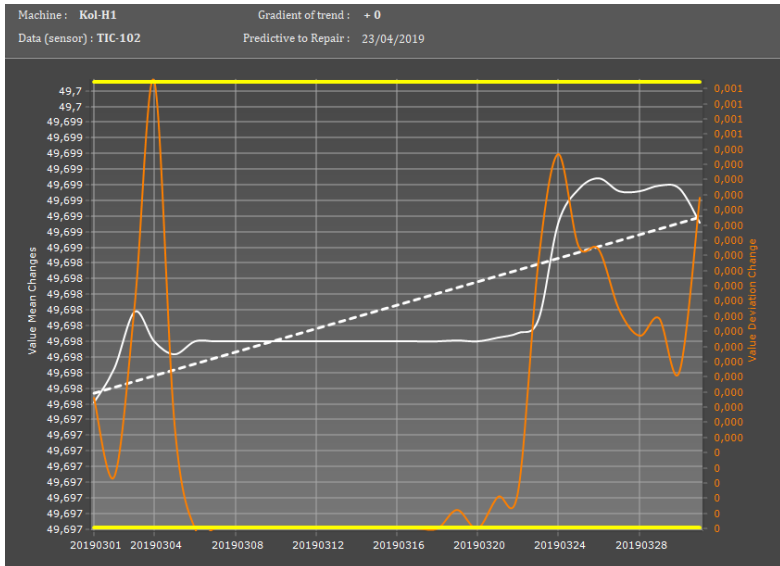
(b)

Gambar 4.4 Kondisi operasi (a) temperatur dan (b) tekanan kolom distilasi

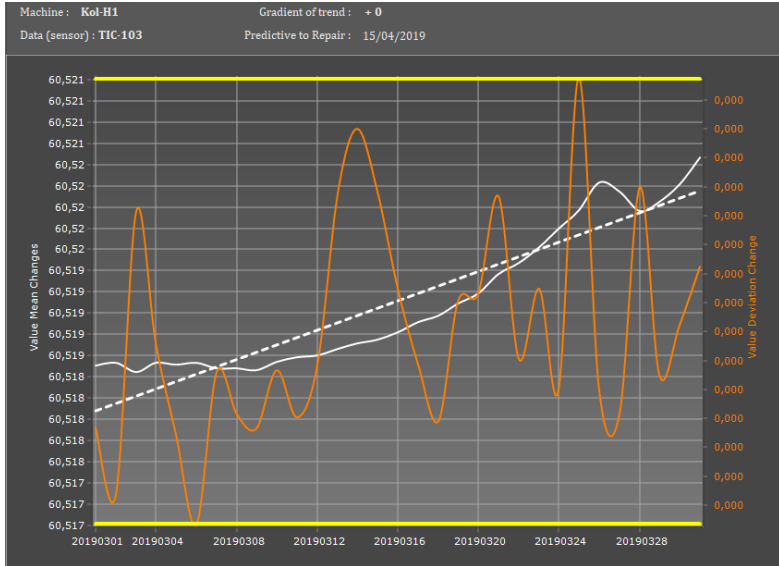
Gambar 4.4 (a) dan Gambar 4.4 (b) menunjukkan bahwa kondisi temperatur dan tekanan *tower* distilasi atas dan bawah masih dalam rentang kondisi operasi yang diizinkan. Apabila dalam rentang 1 hari keluaran sensor secara signifikan keluar dari batas UCL maupun LCL, maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap kolom distilasi sehingga tidak mempengaruhi hasil pemanasan produk yang akan menuju kondenser. Selama satu bulan, terdapat empat kali peringatan dari *alert catcher* akibat kenaikan temperatur dari *tower* atas.



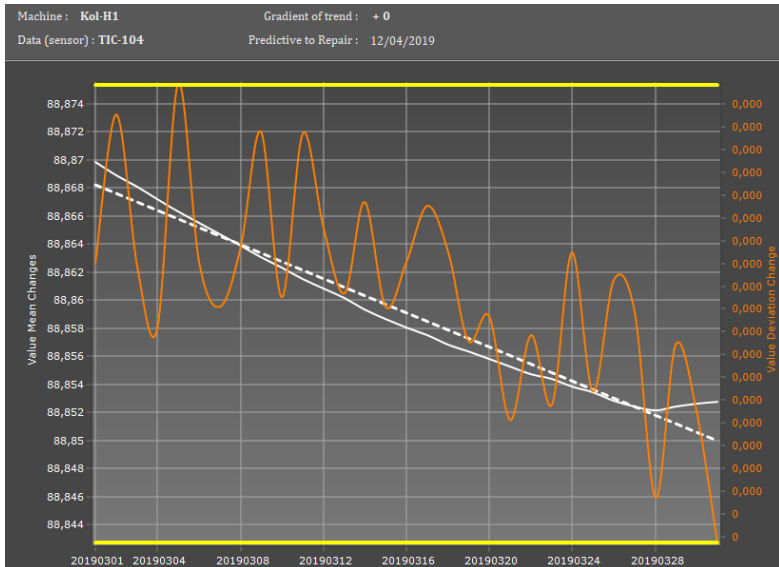
Gambar 4.5 Kondisi operasi sensor temperatur TI-101



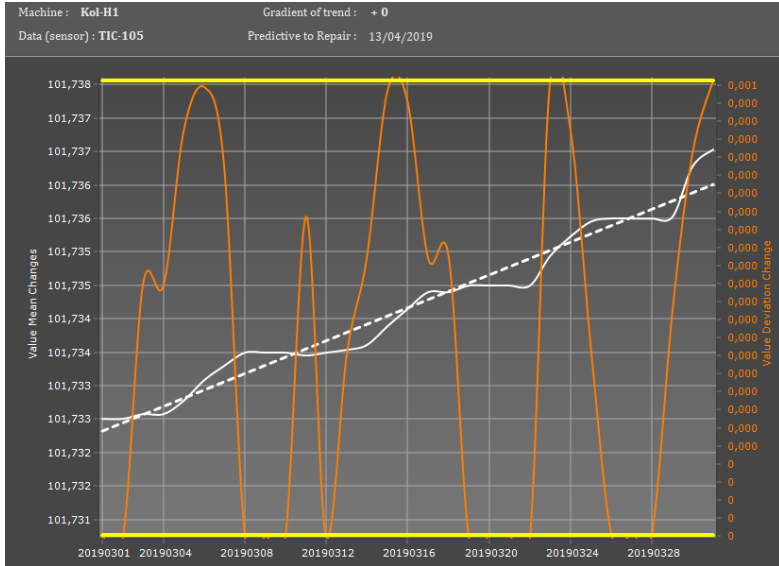
Gambar 4.6 Kondisi operasi sensor temperatur TI-102



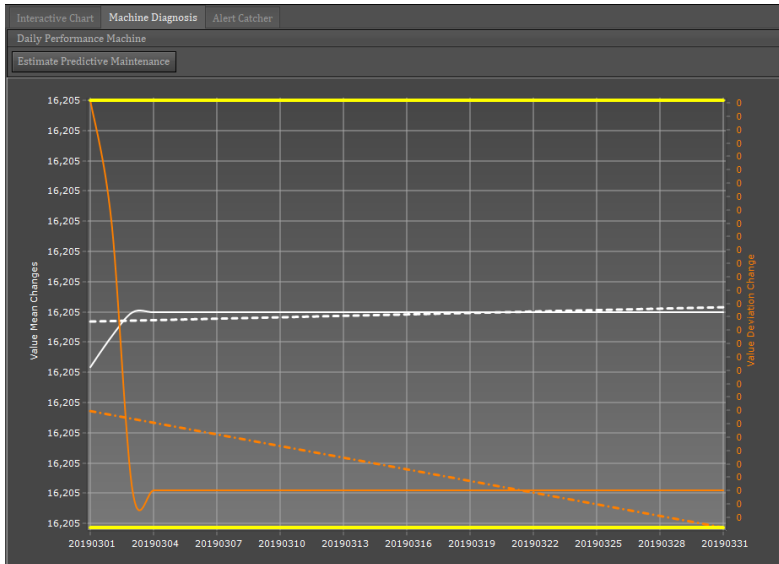
Gambar 4.7 Kondisi operasi sensor temperatur TI-103



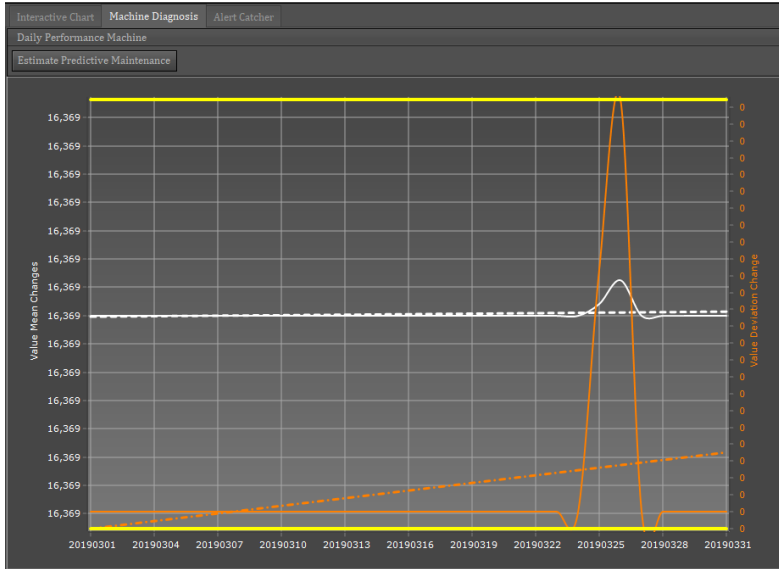
Gambar 4.8 Kondisi operasi sensor temperatur TI-104



Gambar 4.9 Kondisi operasi sensor temperatur TI-105



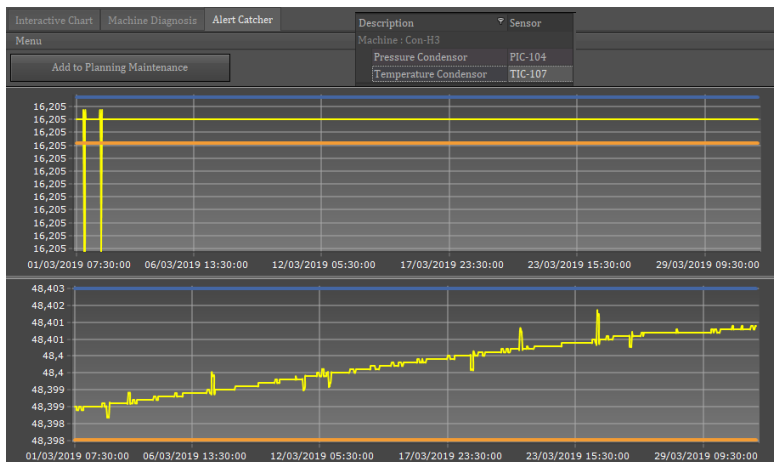
Gambar 4.10 Kondisi operasi sensor tekanan PI-102



Gambar 4.11 Kondisi operasi sensor tekanan PI-103

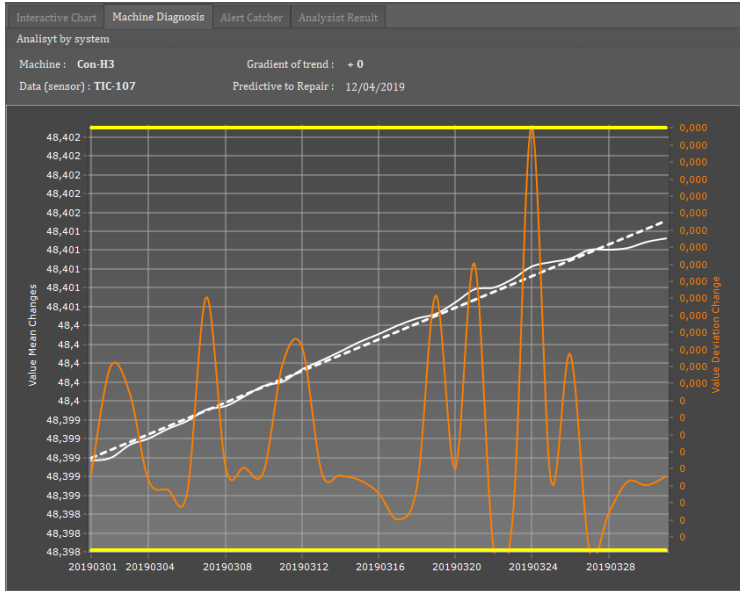
Pada tab terakhir terdapat fitur *machine diagnosis*. *Machine diagnosis* dapat digunakan sebagai langkah awal untuk mengidentifikasi penurunan performansi. *Machine diagnosis* dilengkapi dengan 4 buah garis kurva untuk membantu menganalisis perubahan performa mesin yaitu batas atas (UCL), batas bawah (LCL), *mean*, dan deviasi yang mana diusulkan untuk membantu dalam memprediksi kinerja mesin atau komponen ketika terjadi penurunan performa yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas produk kolom distilasi. Berdasarkan Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9 merupakan sensor TI-101, TI-102, TI-103, TI-104 dan TI-105 yang terletak pada *tower* kolom distilasi, sensor tersebut digunakan untuk mengetahui temperatur dari masing-masing ketinggian *tower*. Hasil dari pengukuran temperatur setiap sensor tersebut tidak melebihi batas UCL dan UCL yang telah ditentukan. Adapun perubahan yang terjadi sangat kecil dalam rentang desimal. Ketika pembacaan temperatur keluar dari batas yang ditentukan, maka harus dilakukan pengecekan manual terhadap kolom.

Untuk menentukan nilai UCL dan LCL sendiri dapat digunakan persamaan (2.24) seperti pada bab III. Suatu kolom distilasi yang baik pasti memiliki perubahan temperatur yang signifikan antar *tray*, hal tersebut mengindikasikan apakah perpindahan massa pada setiap *tray* berlangsung dengan baik atau tidak. Oleh sebab itu pemantauan temperatur pada beberapa *tower* perlu dilakukan. Temperatur juga dapat dikatakan sebagai indikator pemisahan molekul baik atau tidak. Meskipun demikian belum terjadi indikasi penurunan performa dari kolom, karena belum melewati batas UCL dan LCL, sesuai dengan analisis *predictive maintenance* pada *control chart*, disarankan perlunya dilakukan *preventive maintenance* terhadap kolom pada bulan April 2019.

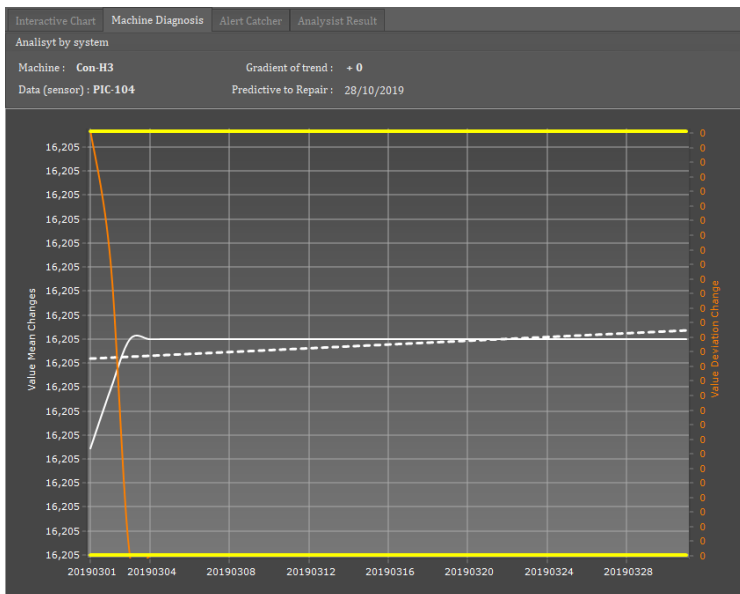


Gambar 4.12 Kondisi operasi tekanan dan temperatur kondenser

Pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 merupakan tekanan dan temperatur pada *top stage* dan *bottom stage*, tekanan dan temperatur yang terukur masih sesuai dengan kondisi operasi yang diizinkan. Pembacaan sensor menunjukkan masih dalam pembacaan stabil selama 1 bulan.

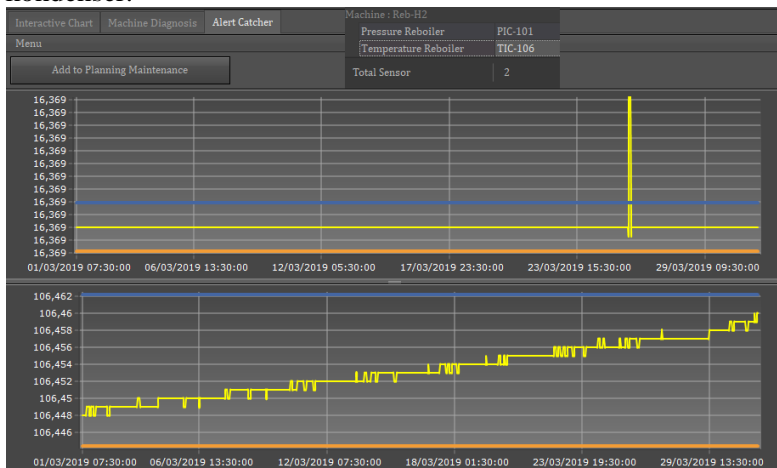


Gambar 4.13 Kondisi operasi sensor temperatur TI-107

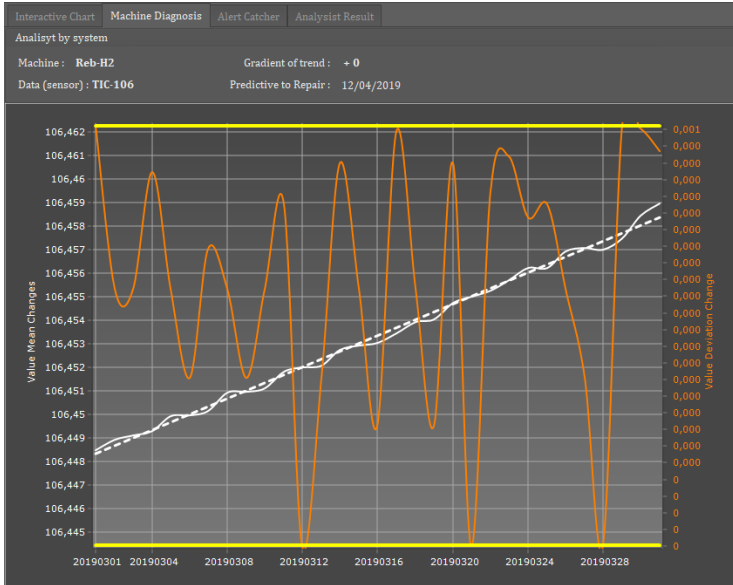


Gambar 4.14 Kondisi operasi sensor tekanan PI-104

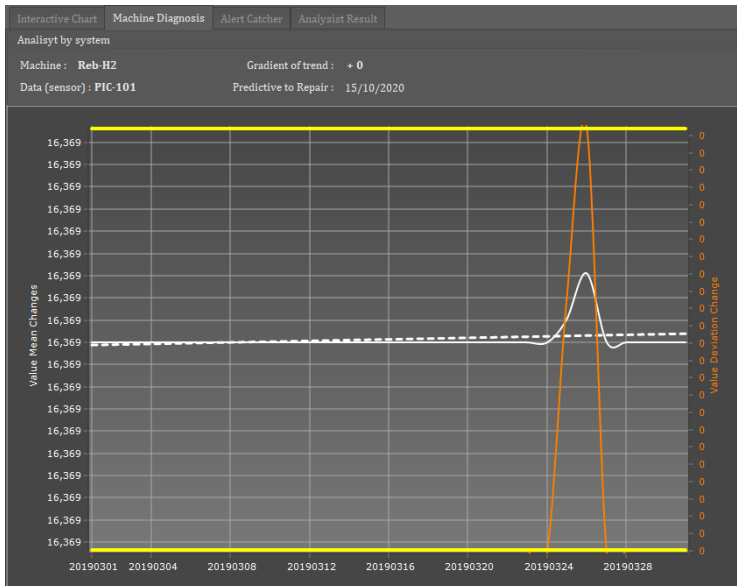
Pada kondenser yang digunakan berdasarkan hasil pembacaan sensor TI-107 dan sensor PI-104 dari Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 perubahan yang terjadi terhadap CL yang telah ditentukan sebesar $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $0,1\text{ bar}$. Kemudian standar operasi mesin tidak keluar dari batas UCL dan LCL yang ditentukan, hal ini mengindikasikan bahwa kondenser bekerja secara optimal, sehingga *vapor* keluaran dari kolom distilasi terkondensasi sempurna sebagai *top product* untuk dirubah dari fasa *vapor* menjadi fasa *liquid*. Ketika kondenser bekerja secara optimal mempertahankan temperatur dan tekanan operasi, *vapor* yang membawa fraksi berat juga dapat terkondensasi menjadi *liquid*, sehingga dapat dikembalikan menuju kolom distilasi sebagai *reflux* agar kemurniannya dapat ditingkatkan sebagai *top product*. Adapun dua parameter yang terdapat pada kondenser yaitu temperatur dan tekanan yang digunakan indikator penurunan performa mesin, analisis *predictive maintenance* dari *software* menunjukkan bahwa kondenser harus dilakukan *maintenance* terdekat pada bulan April 2019 walaupun pada indikator tekanan menunjukkan bahwa *maintenance* pada bulan Oktober 2019. Begitu pula pada tab *alert catcher* tidak memberikan indikasi adanya perubahan tekanan suhu yang melewati UCL dan UCL sehingga tidak menimbulkan peringatan terhadap kinerja kondenser.



Gambar 4.15 Kondisi operasi temperatur dan tekanan reboiler



Gambar 4.16 Kondisi operasi sensor temperatur TI-106



Gambar 4.17 Kondisi operasi sensor tekanan PI-101

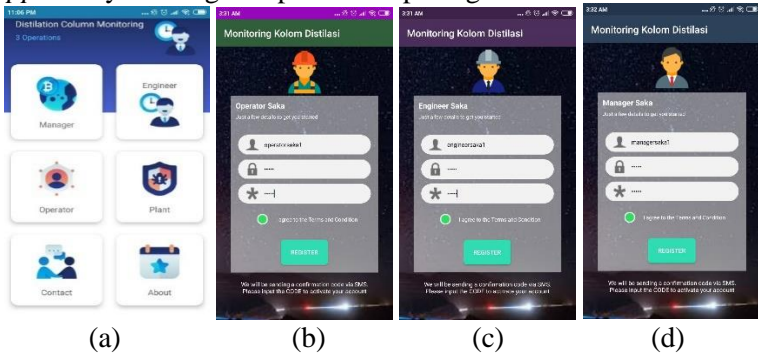
Dari sensor TI-106 berdasarkan Gambar 4.16 yang terbaca kondisi temperatur dan sensor PI-101 dari Gambar 4.17 tekanan berada pada kondisi stabil. Hanya sekali terjadi lonjakan pembacaan sensor pada tekanan reboiler yang terdeteksi oleh *alert catcher*. *Reboiler* harus dijaga performa dari keadaan mesin agar tetap beroperasi pada temperatur dan tekanan yang ditentukan. Ketika keluaran dari kolom distilasi masuk ke *reboiler* dan dipanaskan sesuai dengan temperatur operasi, maka akar diuapkan menuju kondenser. Ketika temperatur pada *reboiler* tidak dapat dipertahankan akibat penurunan performa mesin yang menyebabkan kondisi temperatur turun, maka fraksi ringan yang seharusnya teruapkan ikut menjadi *bottom product*, semakin lama fraksi ringan diuapkan maka energi yang dibutuhkan akan semakin meningkat. Hal inilah yang dihindari sehingga dapat berpengaruh terhadap *top product* dengan kualitas maksimum. Serupa dengan kondenser, dimana *reboiler* masih beroperasi dengan optimal. Hal tersebut ditunjukkan dengan perubahan yang kecil dari kondisi operasi. Meskipun belum terjadi adanya indikasi perubahan temperatur dan tekanan yang melewati UCL dan LCL, sesuai dengan analisis *software* untuk diprediksi untuk dilakukan *maintenance* terdekat pada bulan April 2019.

4.2 Hasil Rancangan dan Analisa Sistem *Monitoring IoT*

Pada tugas akhir ini, sistem *monitoring* kolom distilasi berbasis *Internet of Things* dibuat berbentuk *mobile app* pada sistem operasi *Android*. *mobile app* dibuat dengan *software Android Studio*. Aplikasi dapat bekerja apabila *user authority* berhasil *login* menggunakan *username* dan *password* yang benar. Dapat dilihat Gambar 4.18 merupakan representasi dari tampilan aplikasi *Android*. Ketika memasuki tiap-tiap dashboard masing-masing pengguna aplikasi akan segera mengunduh data *operator*, *engineer*, ataupun *manager* dari *database* di *cloud server* dan menampilkan data kepada pengguna dalam bentuk grafik dan angka. Kode program untuk aplikasi *monitoring* menggunakan *mobile app* dapat dilihat pada Lampiran tugas akhir ini.

Desain *dashboard* pada *mobile app* sistem *monitoring* dibuat menggunakan *user authority* agar ketika *user* melakukan *login* ke aplikasi, maka menu yang bisa diakses sesuai dengan divisi

masing-masing *user*. Hasil desain untuk *dashboard* pada *mobile app* dan *system login* dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:

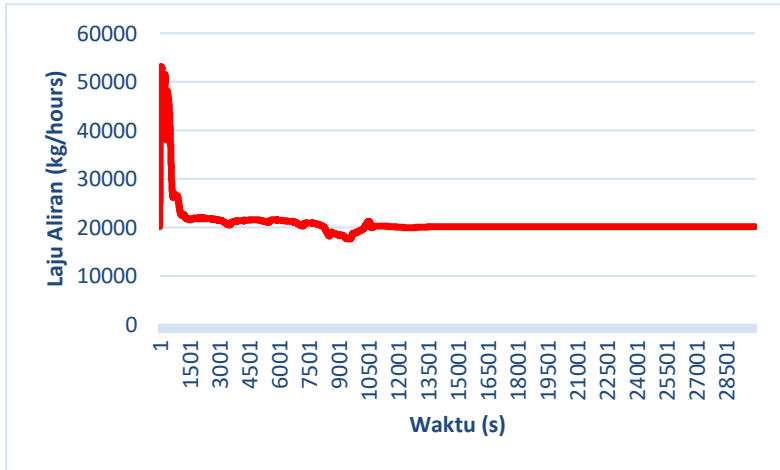


Gambar 4.18 (a) Dashboard apps (b) operator login (c) engineer login (d) manager login

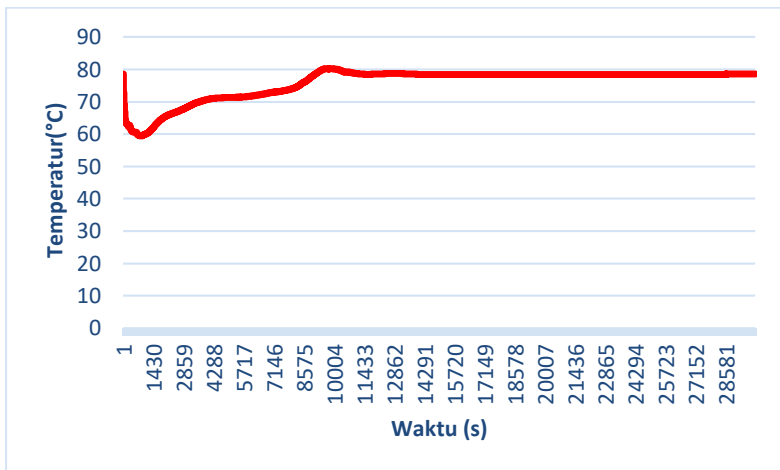
Untuk melakukan *login*, maka seorang pengguna harus memilih *authority/divisi user* tersebut. Tersedia tiga *user* yaitu *operator*, *engineer*, dan *manager*. Setelah memilih, *user* harus memasukkan *password* pada kolom password dengan benar, apabila *user* salah memasukkan *password*, maka aplikasi akan menolak *email* dan *password* tersebut sehingga menampilkan kembali sistem *login* seperti Gambar 4.18 Sistem *user authority* ini dibuat agar *user* dapat mengakses informasi melalui *dashboard* sesuai dengan divisi masing-masing.

4.3 Rancangan Sistem *Monitoring Operator*

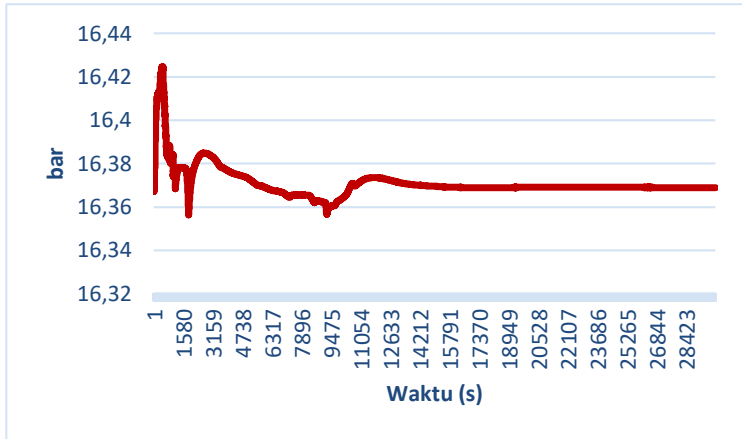
Pada perancangan sistem *monitoring* operator bertugas untuk *monitoring* variabel seperti laju aliran, temperatur laju aliran, tekanan laju aliran, tekanan dan temperatur pada kolom *stage* main tower maupun *bottom stage*, lalu temperatur dan tekanan pada *reboiler* maupun kondenser. Pada Gambar 4.19, Gambar 4.20, dan Gambar 4.21 merupakan beberapa parameter yang *dimonitoring* oleh *operator*. Laju aliran pada kolom distilasi akan mencapai titik stabil membutuhkan waktu kurang lebih 4 jam.



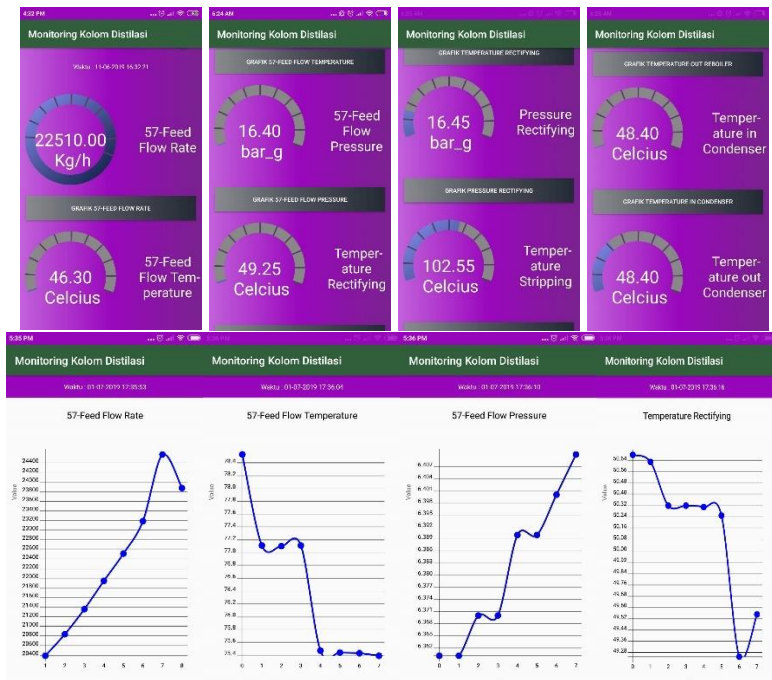
Gambar 4.19 Respon laju aliran *feed* pada kolom distilasi



Gambar 4.20 Respon temperatur laju aliran



Gambar 4.21 Respon temperatur laju aliran



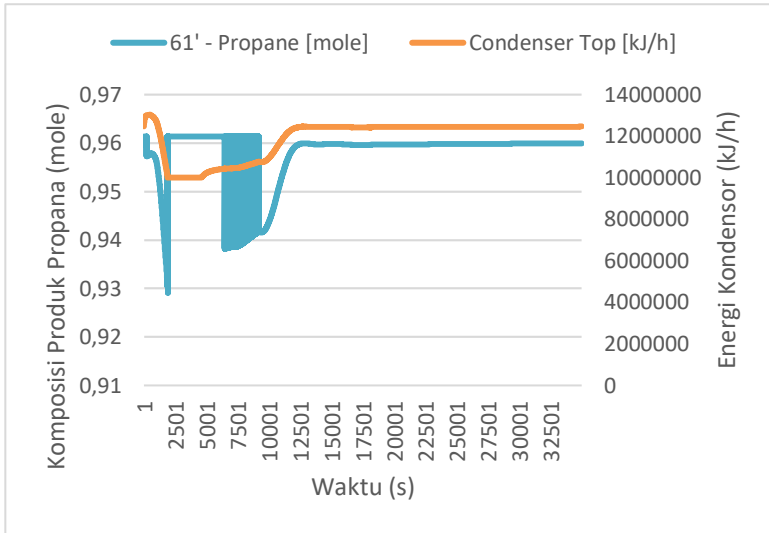
Gambar 4.22 Tampilan monitoring operator

Kemudian pada Gambar 4.22 menunjukkan respon dari variabel yang *dimonitoring* oleh operator. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa *monitoring* dapat dilakukan *monitoring* secara *real time*. Proses akuisisi data yang dilakukan dapat dengan cepat dan mudah serta efisien. *Operator* dapat leluasa melakukan pengawasan setiap variabel. Ketika data telah terunggah menuju *database*, maka pada *mobile apps* yang dipegang *operator* akan secara langsung mengunduh semua data proses. Disatu sisi *Internet of Things* (IoT) memiliki sistem komunikasi yang sangat fleksibel bagi *operator* dengan transmisi data dan antar muka yang canggih, dengan melihat *dashboard* pada *user operator*, dapat langsung melihat seluruh variabel yang terukur, sehingga sistem *Internet of Things* (IoT) ini sangat mudah dan dapat diaplikasikan ke dalam infrastruktur proses maupun manufaktur yang diinginkan.

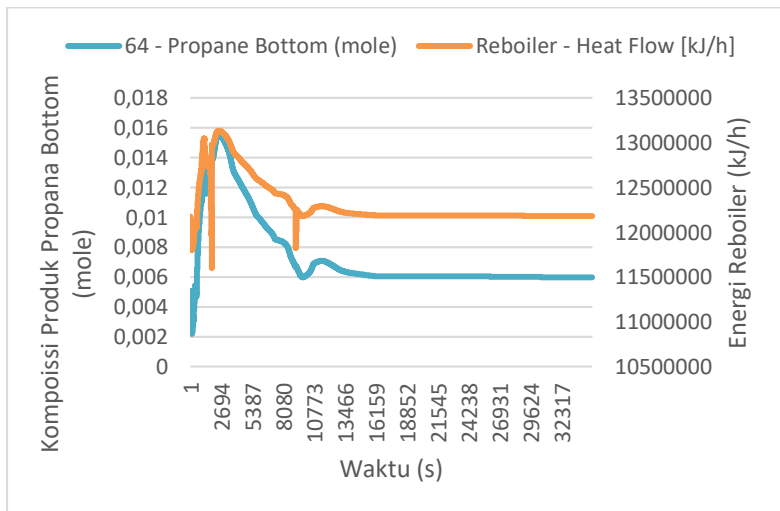
4.4 Rancangan Sistem *Monitoring Engineering*

Pada perancangan sistem *monitoring* yang digunakan untuk *user authority engineering* adalah untuk pengukuran performansi secara keseluruhan. Terdapat beberapa performansi yang menjadi perhatian bagi seorang *engineer* yaitu, nilai komposisi produk distilat (Xd), komposisi produk bottom (Xb), energi *reboiler* dan energi kondenser. Gambar 4.23, Gambar 4.24, Gambar 4.25, dan Gambar 4.26 merupakan beberapa grafik performansi *engineering*.

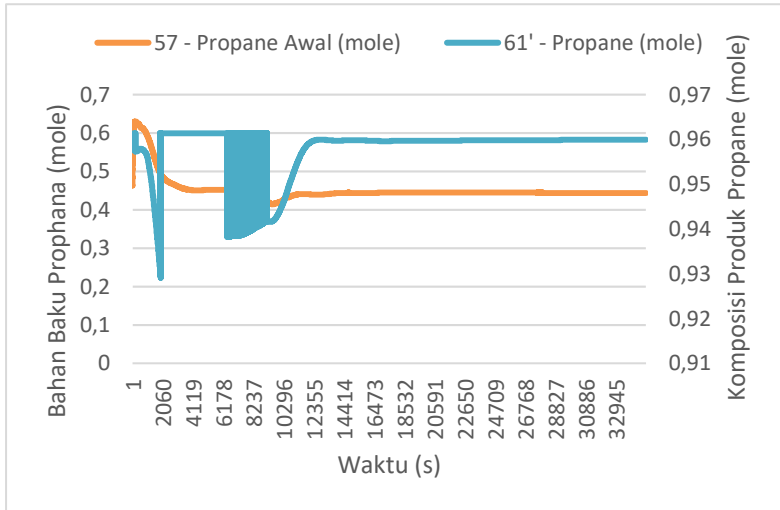
Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa besarnya nilai komposisi produk propana dan energi kondenser berbanding lurus. Ketika komposisi propana mengalami penurunan, maka energi juga akan mengalami penurunan, penurunan nilai komposisi maupun energi dipengaruhi oleh jumlah laju aliran yang mengalir. Begitu juga pada Gambar 4.24 perbandingan antara komposisi propana terhadap energi *reboiler* mengalami hal yang sama, perbedaan yang terjadi adalah perbedaan hasil antara komposisi produk bawah dan produk atas.



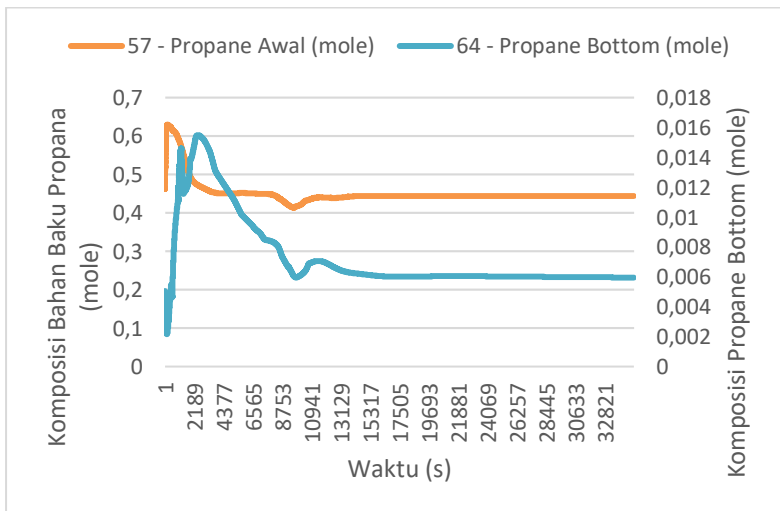
Gambar 4.23 Perbandingan komposisi propana distilat terhadap energi kondensor



Gambar 4.24 Perbandingan komposisi propana *bottom* terhadap energi *reboiler*



Gambar 4.25 Perbandingan propana awal terhadap propana *bottom*



Gambar 4.26 Perbandingan propana awal terhadap propana *bottom*



(a)

(b)



(c)

(d)

Gambar 4.27 (a) dan (b) Proses *monitoring* laju komposisi produk. (c) dan (d) Proses *monitoring* energi *reboiler* dan kondenser

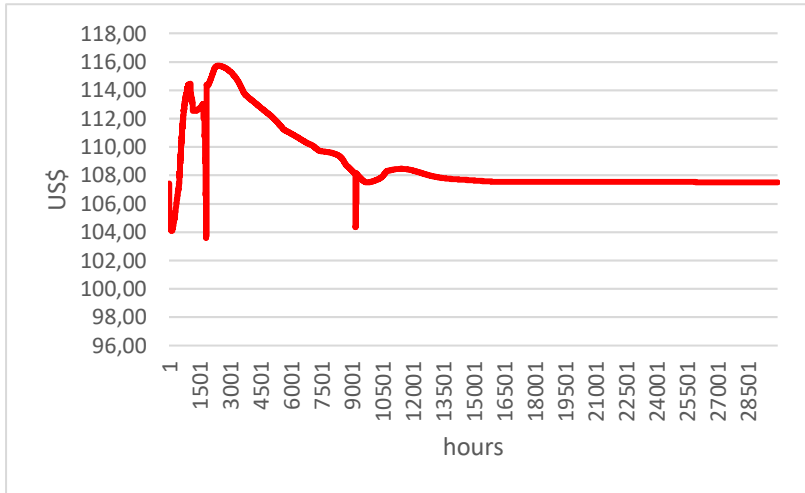
Dari Gambar 4.25 dan Gambar 4.26 terdapat perbedaan dimana nilai komposisi dari produk atas dan produk bawah memiliki selisih yang besar. Perbedaan nilai komposisi produk yang besar tersebut dipengaruhi oleh nilai titik didih, sebagaimana yang diketahui bahwa distilasi yaitu pemurnian atau pemisahan yang memanfaatkan perbedaan titik didih. Produk atas adalah

destilat yang terdiri atas komponen yang memiliki titik didih rendah (mudah menguap) dan bertekanan rendah. Sementara itu, pada produk bawah dari kolom distilasi berupa kondensat yang kaya akan komponen pada titik didih tinggi dan bertekanan tinggi (sukar menguap) oleh sebab itu apabila ditinjau dari Gambar 4.25 dan Gambar 4.26 perbedaan antara produk atas dan produk bawah terhadap bahan baku jauh berbeda, hal tersebut disebabkan oleh perbedaan titik didih.

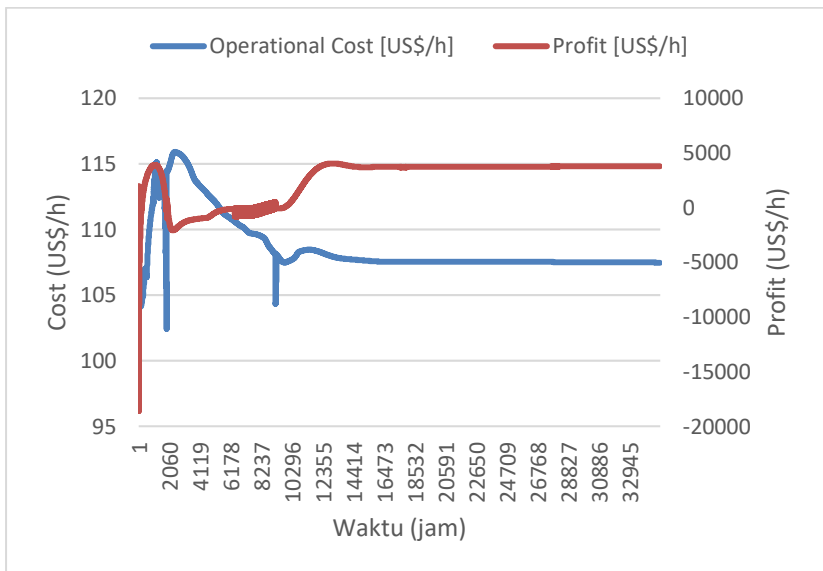
Bukan hanya performansi *engineering* yang dapat dilihat pada *user authority engineer*, akan tetapi dapat melihat *user authority* pada *operator*. Perlunya *monitoring* pada sisi *engineer* adalah sebagai dasar dalam merencanakan pekerjaan pemeliharaan (*preventive maintenance*) berdasarkan persyaratan yang telah sesuai dengan standar operasi. Salah satunya dapat melakukan perencanaan *preventive maintenance* pada *reboiler* maupun kondenser, sehingga dapat meningkatkan performansi sistem yang dapat berdampak pada peningkatan jumlah komposisi pada produk. Perencanaan pemeliharaan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan atau kegagalan akibat proses produksi pada kolom distilasi. Salah satu solusi yang diberikan yaitu dengan mengimplementasikan *internet of things* (IoT) dalam proses. Dengan adanya *Internet of Things* seorang *engineer* dapat mengidentifikasi penyebab atau perilaku yang menyimpang dalam proses kolom distilasi dengan melihat intepretasi data pada grafik *mobile apps*.

4.5 Rancangan Sistem *Monitoring Manager*

Pada perancangan sistem *monitoring* yang digunakan untuk *user authority manager* adalah untuk melihat performansi dari segi finansial produksi secara keseluruhan. Terdapat dua hal performansi yang menjadi perhatian bagi seorang *manager* yaitu *operational cost*, dan profit. Gambar 4.28 dan Gambar 4.29 merupakan intepretasi data dari operasional *cost* dan *profit*.



Gambar 4.28 Biaya operasional kolom distilasi



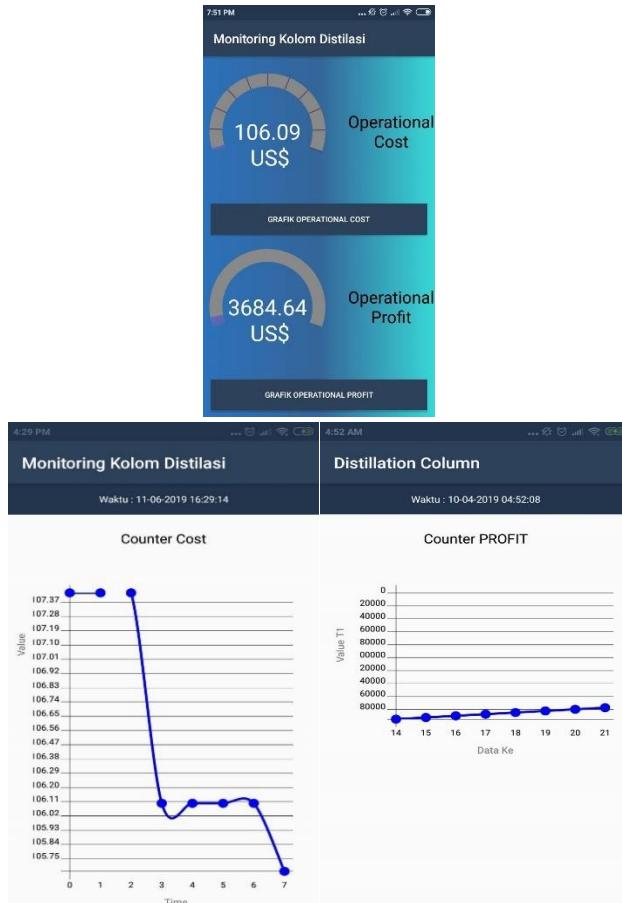
Gambar 4.29 Perbandingan biaya operasional terhadap profit

Nilai operasional *cost* didapatkan dari hasil energi pada *reboiler* yang dihasilkan dikalikan terhadap jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan panas yang diinginkan. Besarnya penggunaan energi yang diinginkan diharapkan dapat seminimal mungkin dengan hasil komposisi produk yang maksimal. Berdasarkan referensi yang diacu standar pada tahun 2019, harga energi yang digunakan berupa *crude oil* (54 US\$/barel). Untuk mendapatkan nilai profit maka dapat digunakan persamaan (2.17) yang mana hasil jual produk dikurangi besarnya operasional *cost*. Untuk harga jual produk atas yaitu propane berdasarkan referensi OPEC tahun 2019 propane yaitu (529 US\$/MT).

Untuk menghitung besarnya nilai operasional *cost* dan profit dapat menggunakan persamaan (2.17) dan persamaan (2.18). Semakin kecil nilai operational *cost* yang digunakan, maka nilai *profit* yang didapatkan semakin besar. Gambar 4.30 merupakan hasil interpretasi (IoT) dalam bentuk grafik yang dapat memberikan informasi kepada *manager* perihal operasional *cost* dan profit yang didapatkan. Pada Tabel 4.1 merupakan profit yang dihasilkan pada kondisi ideal melalui penjualan produk propane sebesar 3756 \$/jam, yang mana membutuhkan biaya operasional *cost* sebesar 107,47 \$/jam. Pada kondisi menuju stabil, profit yang didapatkan pada rentang -82 \$/jam dengan besar komposisi 0,92 mol. Penurunan profit yang didapatkan pada kondisi menuju stabil diakibatkan oleh laju aliran massa menuju kolom distilasi semakin sedikit. Semakin sedikitnya laju aliran yang masuk pada kolom distilasi, karena waktu yang dibutuhkan untuk proses pemansan produk menggunakan *reboiler* membutuhkan waktu yang cukup lama, sehingga kontrol *valve* mengatur agar *feed flow rate* semakin sedikit. Dibutuhkan waktu kurang lebih 4 jam, agar laju aliran massa yang menjadi stabil. Hal tersebut diakibatkan oleh proses dinamika kompleks dari kolom distilasi.

Manager memiliki kewenangan untuk mengakses performansi *engineering* dan user *operator*. Tentunya sebagai *manager*, banyak masalah dan tantangan yang dihadapi oleh *manager*, *internet of things* merupakan solusi khusus yang diberikan untuk menyelesaikan masalah mengoptimalkan

implementasi proses dan layanan bisnis. *Manager* dapat mengakses dan melakukan pengawasan kapan saja dan dimana saja hanya dengan menggunakan *mobile apps*. Salah satu keuntungan lain yang bisa didapatkan oleh seorang *manager* adalah transparansi dana yang terbuka secara utuh. Dengan menggunakan *Internet of Things (IoT) manager* juga dapat mengoptimalkan profit dengan berbasis analisis industri dengan melihat grafik yang tersedia pada *mobile apps*.



Gambar 4.30 Tampilan dashboard monitoring manager

Tabel 4.1 *Cost Profit Produk*

Operasional cost (US\$/hr)	Profit (US\$/hr)
107,468	3756,24
107,468	3756,34
107,468	3756,40
107,468	3756,34
107,468	3756,43
107,468	3756,41

4.6 Pembahasan

Telah dilakukan perancangan sistem *monitoring* kolom distilasi berbasis *internet of things* menggunakan aplikasi berbasis *Android* dan *Windows* pada *platform Android Studio* dan *Delphi X8*. Perancangan aplikasi *Android Studio* dapat melakukan pengawasan secara *real time* dengan mengatur *delay* melalui *javascript* sesuai dengan kebutuhan. Sistem yang telah dibuat telah terkoneksi langsung terhadap database yaitu *SQL server* menggunakan *api keys* berupa *sql connection* sebagai jembatan penghubung antara database dan *platform*.

Perancangan aplikasi *MES 5.0* pada *Windows* yang telah dirancang terdapat parameter-parameter penting yang dapat dianalisis sebagai indikator untuk menilai performa dari kolom distilasi, *reboiler*, dan kondenser. Didalam aplikasi *MES* dilengkapi dengan *interactive line chart*, *machine diagnosis* dan *alert chart* yang dapat membantu *engineer* untuk mengidentifikasi perubahan kondisi abnormal pada suatu komponen sehingga sebelum terjadinya gangguan sebelum waktu *maintenance*, dapat lebih mudah untuk dianalisis terlebih dahulu melalui keluaran grafik. Aplikasi *MES* juga dilengkapi dengan *alert catcher* yang dapat memberi peringatan ketika kondisi operasi keluar dari batas operasi.

Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan dengan menggunakan data *historical* yang dapat dijadikan sebagai parameter-parameter *monitoring*, maka mengacu terhadap analisis perolehan data grafik *control chart* pada aplikasi *MES*, keseluruhan sistem kolom distilasi masih berjalan dengan baik dan

stabil. Dimana keseluruhan kondisi komponen kolom distilasi berada kondisi yang optimum. Ketika parameter temperatur mengalami perubahan secara signifikan terhadap nampan (*tray*) pada setiap tingkat kolom dapat diindikasikan bahwa proses perpindahan massa didalam kolom berjalan dengan baik. Untuk mendapatkan hasil produk dengan komposisi terbaik, maka *reboiler* harus memanaskan *feed* dengan temperatur sesuai dengan kondisi operasi, sehingga *liquid* yang dirubah fasanya menjadi uap membawa fraksi ringan yang dapat menjadi *top product* menuju kondenser. Kondenser juga harus berada pada kondisi operasi yang ditentukan, sehingga *vapor* yang masuk pada kondenser dapat terkondensasi dengan baik sehingga menghasilkan komposisi maksimum. Semakin tinggi komposisi yang dihasilkan, maka semakin baik produk yang dihasilkan.

Pada aplikasi *monitoring* IoT berbasis *Android* yang telah dirancang terdapat parameter-parameter yang dapat mempengaruhi kinerja dari kolom distilasi. Berdasarkan aplikasi *monitoring* yang telah dirancang, terdapat 3 divisi setiap *user* yaitu *operator*, *engineer*, dan *manager*. Setiap tugas memiliki parameter *monitoring* yang berbeda-beda. Untuk mengakses masuk aplikasi *monitoring apps* perlunya konfirmasi *user authority*. Dengan menggunakan *monitoring mobile apps* mempermudah setiap *user* dalam melakukan mobilisasi dan memberikan keuntungan lebih yang dapat meningkatkan kualitas produk dan profit dari sistem produksi. Disisi lain, IoT sendiri dapat digunakan sebagai fungsi kontrol bagi *engineer* dan *manager* yang dapat memberikan arahan ataupun solusi sesuai dengan kapasitas masing-masing ketika tidak berada ditempat. Pada *monitoring Android*, *user engineer* dapat mengakses parameter yang diamati oleh *operator*, begitu juga dengan *manager*. *Manager* memiliki hak untuk mengakses parameter-parameter yang diamati oleh *operator* dan *engineer*. *Operator* hanya dapat melakukan pengawasan parameter laju aliran, level, temperatur, dan tekanan. Sementara untuk *engineer* melakukan *monitoring* performansi *engineering* sehingga dapat meningkatkan sistem produksi, dan untuk *manager* melakukan *monitoring* operasional *cost* dan profit. Berdasarkan pada performansi *engineering* pada sub bab 4.4 komposisi produk yang dihasilkan mencapai 0.96 mol untuk propana dari komposisi bahan

baku sebesar 0,4 mol. Semakin baik performa dari mesin *reboiler* yang digunakan, maka semakin optimal energi yang dihasilkan. Apabila performa *reboiler* mengalami penurunan, maka perlu dilakukan *maintenance* agar profit yang dihasilkan semakin optimum.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari perancangan sistem *monitoring* kolom distilasi berbasis *internet of things* (IoT) yakni sebagai berikut :

- a. Telah dilakukan perancangan sistem *monitoring* kolom distilasi berbasis *internet of things* (IoT) yang dapat memonitor temperatur, tekanan, energi, komposisi, dan profit. Penerapan sistem *monitoring* kolom distilasi berbasis *internet of things* (IoT) pada kondisi tidak stabil didapatkan hasil *top product* (Xd) sebesar 0,92 mol serta profit sebesar -82 \$/jam, sedangkan pada kondisi ideal didapatkan *top product* sebesar 0,96 mol dan profit 3756 \$/jam.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain :

- a. Melakukan penelitian mengenai *internet of things* (IoT) dengan mempertimbangkan masalah pengolahan data secara langsung pada *Cloud Server*.
- b. Mencoba menerapkan *internet of things* (IoT) pada industri manufaktur sehingga terdapat variasi untuk penelitian selanjutnya.
- c. Dalam menerapkan *internet of things* (IoT) diharapkan dikembangkan tentang bagaimana menggunakan *artificial intelligence* (AI) sehingga dapat mengambil sebuah keputusan berdasarkan *bigdata*.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Wan, "Smart Factory of Industry 4.0 : Key Technologies, Application Case, and Challenges," IEEE Access, 2017.
- [2] A. Karim, "IoT based monitoring and control for energy management system," University of Stuttgart, 2018.
- [3] M. K. Ján Drgoňa, "Optimal control of a laboratory binary distillation column via regionless explicit MPC," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 96, pp. 139-148, 2017.
- [4] S. Skogestad, "The Dos and Dont's of Distillation Column Control," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 85, pp. 13-23, 2007.
- [5] B. G. Lipták, *Instrument Engineers' Handbook Volume Two: Process Control and Optimization*, ISA, 2005.
- [6] M. L. Luyben, "Designing Industrial Processes for On-Aim Product," *Computer Aided Process Engineering*, vol. 10, pp. 31-41, 2002.
- [7] Bureau of Labor Statistics, "Occupational injuries and illnesses in the United States by Industry," USA: Government Printing Office, Washington, 1990.
- [8] McGraw-Hill Economics, "Survey of Investment in Employee Safety and Health," USA: McGraw-Hill Publishing Co, New York, 1985.
- [9] N. S. Council, "Injury Facts," National Safety Council, Chicago, USA, 1999 Edition.
- [10] P. S. Fruehauf, "Distillation column control design using steady state models," *ISA Transactions*, vol. 32, no. 2, pp. 157-175, 1993.
- [11] Price Water House Copper, "2016 Global Industry 4.0 Survey," Global:PwC, 2016.
- [12] Bo Hu Li, Lin Zhang, "Application technology of cloud manufacturing for aerospace complex products," *Computer Integrated Manufacturing Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 884-898, 2016.

- [13] Jiafu Wan, "Context-aware cloud robotics for material handling in cognitive industrial internet of things," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 2272-2281, 2018.
- [14] S. W. Jiafu Wan, "Cloud robotics: Current status and open issues," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2797-2807, 2016.
- [15] C. L. Smith, *DISTILLATION CONTROL*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- [16] C. J. Painton L, "Genetic algorithms in optimization of system reliability," *IEEE Transactions of reliability*, vol. 44, no. 2, pp. 172-178, 1995.
- [17] L. Robins, *Distillation Control, Optimization, and Tuning: Fundamentals and Strategies*, 2011.
- [18] Ding Yung Peng and Donald B. Robinson, "A New Two-Constant Equation of State," *Industrial and Engineering Chemistry : Fundamental 15*, vol. 15, no. 1, pp. 59-64, 1976.
- [19] ASTech Pte Ltd, "Solusi Manufacturing Execution System (MES)," Singapore, 2016.
- [20] M. Hafidz Omar, "Statistical Process Control Charts for Measuring and Monitoring Temporal Consistency of Ratings," *Journal of Educational Measurement*, vol. 47, pp. 18-35, 2010.

LAMPIRAN
Data Hasil Monitoring

Lampiran A

Komposisi Awal	Komposisi Top Product	Komposisi Bottom Product	Energi Kondenser	Energi Reboiler	Biaya Operasi Plant	Profit
(mole)	(mole)	(mole)	(kJ/h)	(kJ/h)	(US\$)	(US\$)
0,464	0,961333	0,04	12464800	12175700	107,47	3755,21
0,464	0,961333	0,04	12464800	12090600	107,47	3755,23
0,464	0,961333	0,04	12464800	12024200	107,47	3755,25
0,463	0,961333	0,04	12464800	12024200	107,47	3755,26
0,462	0,961333	0,04	12512200	12024200	107,47	3755,28
0,486	0,961333	0,04	12520500	12024200	107,47	3755,29
0,484	0,961333	0,04	12527100	12024200	107,47	3755,34
0,484	0,961333	0,04	12532500	11975500	107,47	3755,43
0,483	0,961333	0,04	12536700	11975500	107,47	3755,54
0,483	0,961333	0,04	12570000	11975500	107,47	3755,67
0,506	0,961333	0,04	12580300	11975500	107,47	3755,83

0,503	0,961333	0,04	12588600	11975500	107,47	3755,95
0,503	0,961333	0,04	12595400	11939200	107,47	3756,03
0,503	0,961333	0,04	12600800	11939200	107,47	3756,07
0,503	0,961333	0,04	12623300	11939200	107,47	3756,07
0,522	0,961333	0,03	12632800	11939200	107,47	3756,06
0,519	0,961333	0,03	12640400	11939200	107,47	3756,02
0,519	0,961333	0,03	12646600	11911800	107,47	3755,99
0,519	0,961333	0,03	12651700	11911800	107,47	3755,95
0,520	0,961333	0,03	12669900	11911800	107,47	3755,90
0,535	0,961333	0,03	12678200	11911800	107,47	3755,85
0,532	0,961333	0,03	12684900	11911800	107,47	3755,80
0,532	0,961333	0,03	12690400	11890900	107,47	3755,75
0,532	0,961333	0,03	12694800	11890900	107,47	3755,71
0,532	0,961333	0,03	12709100	11890900	107,47	3755,66
0,545	0,961333	0,03	12716100	11890900	107,47	3755,62
0,543	0,961333	0,03	12721800	11890900	107,47	3755,55
0,543	0,961333	0,03	12726400	11874600	107,47	3755,45

0,543	0,961333	0,03	12730100	11874600	107,47	3755,31
0,543	0,961333	0,03	12742000	11874600	107,47	3755,15
0,555	0,961333	0,03	12747900	11874600	107,47	3754,97
0,553	0,961333	0,03	12752700	11874600	107,47	3754,83
0,553	0,961333	0,03	12756500	11861800	107,47	3754,74
0,553	0,961333	0,03	12759600	11861800	107,47	3754,70
0,553	0,961333	0,03	12769700	11861800	107,47	3754,70
0,563	0,961333	0,03	12774700	11861800	107,47	3754,72
0,562	0,961333	0,03	12778700	11861800	107,47	3754,75
0,562	0,961333	0,03	12781900	11851700	107,47	3754,80
0,562	0,961333	0,03	12784500	11851700	107,47	3754,85
0,562	0,961333	0,03	12793100	11851700	107,47	3754,90
0,571	0,961333	0,03	12797300	11851700	107,47	3754,96
0,569	0,961333	0,03	12800700	11851700	107,47	3755,01
0,569	0,961333	0,03	12803400	11843500	107,47	3755,06
0,570	0,961333	0,03	12805600	11843500	107,47	3755,11
0,570	0,961333	0,03	12812300	11843500	107,47	3755,15

0,578	0,961333	0,03	12815800	11843500	107,47	3755,19
0,576	0,961333	0,03	12818500	11843500	107,47	3755,22
0,576	0,961333	0,03	12820800	11836800	107,47	3755,26
0,576	0,961333	0,03	12822600	11836800	107,47	3755,29
0,577	0,961333	0,03	12830100	11836800	107,47	3755,32
0,584	0,961333	0,02	12833300	11836800	107,47	3755,35
0,582	0,961333	0,02	12835800	11836800	107,47	3755,39
0,582	0,961333	0,02	12837900	11831200	107,47	3755,48
0,583	0,961333	0,02	12839600	11831200	107,47	3755,58
0,583	0,961333	0,02	12845100	11831200	107,47	3755,72
0,589	0,961333	0,02	12847800	11831200	107,47	3755,86
0,588	0,961333	0,02	12850000	11831200	107,47	3755,98
0,588	0,961333	0,02	12851800	11826600	107,47	3756,06
0,588	0,961333	0,02	12853200	11826600	107,47	3756,10
0,588	0,961333	0,02	12858600	11826600	107,47	3756,11
0,594	0,961333	0,02	12861000	11826600	107,47	3756,10
0,594	0,961333	0,02	12862900	11826600	107,47	3756,08

0.606	0.961333	0.02	12899100	11814100	107.47	3754.82
0.610	0.961333	0.02	12900700	11814100	107.47	3754.84
0.610	0.961333	0.02	12901900	11814100	107.47	3754.87
0.609	0.961333	0.02	12902900	11811900	107.47	3754.91
0.609	0.961333	0.02	12903700	11811900	107.47	3754.97
0.609	0.961333	0.02	12907600	11811900	107.47	3755.02
0.613	0.961333	0.02	12909100	11811900	107.47	3755.08
0.613	0.961333	0.02	12910300	11811900	107.47	3755.13
0.613	0.961333	0.02	12911300	11810000	107.47	3755.18
0.613	0.961333	0.02	12912200	11810000	107.47	3755.22
0.613	0.961333	0.02	12915100	11810000	107.47	3755.26
0.617	0.961333	0.02	12916500	11810000	107.47	3755.29
0.617	0.961333	0.02	12917600	11810000	107.47	3755.33
0.617	0.961333	0.02	12918400	11808400	107.47	3755.36
0.617	0.961333	0.02	12919200	11808400	107.47	3755.38
0.617	0.961333	0.02	12922100	11808400	107.47	3755.41
0.619	0.961333	0.02	12923400	11808400	107.47	3755.43

0.619	0,961333	0,02	12924400	11808400	107,47	3755,48
0.619	0,961333	0,02	12925200	11806900	107,47	3755,57
0.619	0,961333	0,02	12925900	11806900	107,47	3755,69
0.619	0,961333	0,02	12928600	11806900	107,47	3755,82
0.621	0,961333	0,02	12929800	11806900	107,47	3755,98
0.622	0,961333	0,02	12930700	11806900	107,47	3756,09
0.622	0,961333	0,02	12931500	11805600	107,47	3756,17
0.622	0,961333	0,02	12932100	11805600	107,47	3756,20
0.622	0,961333	0,02	12934700	11805600	107,47	3756,20
0.623	0,961333	0,02	12935700	11805600	107,47	3756,18
0.623	0,961333	0,02	12936600	11805600	107,47	3756,15
0.623	0,961333	0,02	12937300	11804500	107,47	3756,12
0.623	0,961333	0,02	12937900	11804500	107,47	3756,08
0.623	0,961333	0,02	12940400	11804500	107,47	3756,03
0.625	0,961333	0,02	12941400	11804500	107,47	3755,98
0.625	0,961333	0,02	12942300	11804500	107,47	3755,93
0.625	0,961333	0,02	12942900	11803500	107,47	3755,89

0,625	0,961333	0,02	12943500	11803500	107,47	3755,85
0,625	0,961333	0,02	12945700	11803500	107,47	3755,81
0,626	0,961333	0,02	12946700	11803500	107,47	3755,78
0,626	0,961333	0,02	12947500	11803500	107,47	3755,71
0,626	0,961333	0,02	12948100	11802600	107,47	3755,61
0,626	0,961333	0,02	12948600	11802600	107,47	3755,47
0,626	0,961333	0,02	12950700	11802600	107,47	3755,30
0,627	0,961333	0,02	12951600	11802600	107,47	3755,11
0,628	0,961333	0,02	12952400	11802600	107,47	3754,97
0,628	0,961333	0,02	12953000	11802000	107,47	3754,89
0,628	0,961333	0,02	12953400	11802000	107,47	3754,84
0,628	0,961333	0,02	12955400	11802000	107,47	3754,83
0,628	0,961333	0,02	12956200	11802000	107,47	3754,86
0,629	0,961333	0,02	12956900	11802000	107,47	3754,90
0,628	0,961333	0,02	12957400	11801600	107,47	3754,94
0,628	0,961333	0,02	12957900	11801600	107,47	3754,99
0,628	0,961333	0,02	12959700	11801600	107,47	3755,04

0.629	0.961333	0.02	12960500	11801600	107,47	3755,10
0.629	0.961333	0.02	12961100	11801600	107,47	3755,16
0.629	0.961333	0.02	12961600	11801300	107,47	3755,21
0.629	0.961333	0.02	12962000	11801300	107,47	3755,27
0.629	0.961333	0.02	12963600	11801300	107,47	3755,31
0.629	0.961333	0.02	12964300	11801300	107,47	3755,36
0.629	0.961333	0.02	12964900	11801300	107,47	3755,40
0.629	0.961333	0.02	12965400	11801400	107,47	3755,43
0.629	0.961333	0.02	12965700	11801400	107,47	3755,46
0.629	0.961333	0.02	12967200	11801400	107,47	3755,48
0.629	0.961333	0.02	12967900	11801400	107,47	3755,50
0.630	0.961333	0.02	12968400	11801400	107,47	3755,55
0.630	0.961333	0.02	12968800	11801800	107,47	3755,64
0.630	0.961333	0.02	12969200	11801800	107,47	3755,75
0.630	0.961333	0.02	12970500	11801800	107,47	3755,90
0.629	0.961333	0.02	12971100	11801800	107,47	3756,06
0.629	0.961333	0.02	12971600	11801800	107,47	3756,18

0,629	0,961333	0,02	12972000	11802500	107,47	3756,26
0,629	0,961333	0,02	12972300	11802500	107,47	3756,30
0,629	0,961333	0,02	12973500	11802500	107,47	3756,31
0,630	0,961333	0,02	12974000	11802500	107,47	3756,30
0,630	0,961333	0,02	12974500	11802500	107,47	3756,27
0,630	0,961333	0,02	12974800	11803600	107,47	3756,22
0,630	0,961333	0,02	12975100	11803600	107,47	3756,18
0,630	0,961333	0,02	12976300	11803600	107,47	3756,12
0,630	0,961333	0,02	12976800	11803600	107,47	3756,07
0,630	0,961333	0,02	12977200	11803600	107,47	3756,02
0,630	0,961333	0,02	12977500	11805100	107,47	3755,98
0,630	0,961333	0,02	12977800	11805100	107,47	3755,94
0,630	0,961333	0,02	12978200	11805100	107,47	3755,91
0,630	0,961333	0,02	12978600	11805100	107,47	3755,88
0,630	0,961333	0,02	12978900	11805100	107,47	3755,80
0,630	0,961333	0,02	12979100	11807000	107,47	3755,69
0,630	0,961333	0,02	12979300	11807000	107,47	3755,54

0,630	0,961333	0,02	12981400	11807000	107,47	3755,36
0,630	0,961333	0,02	12982000	11807000	107,47	3755,16
0,630	0,961333	0,02	12982400	11807000	107,47	3755,00
0,630	0,961333	0,02	12982800	11809400	107,47	3754,90
0,630	0,961333	0,02	12983100	11809400	107,47	3754,85
0,630	0,961333	0,02	12983300	11809400	107,47	3754,84
0,630	0,961333	0,02	12983600	11809400	107,47	3754,87
0,630	0,961333	0,02	12983900	11809400	107,47	3754,90
0,630	0,961333	0,02	12984100	11812200	107,47	3754,95
0,630	0,961333	0,02	12984300	11812200	107,47	3755,01
0,630	0,961333	0,02	12985300	11812200	107,47	3755,07
0,630	0,961333	0,02	12985700	11812200	107,47	3755,14
0,630	0,961333	0,02	12986000	11812200	107,47	3755,20
0,630	0,961333	0,02	12986300	11815400	107,47	3755,26
0,630	0,961333	0,02	12986500	11815400	107,47	3755,31
0,630	0,961333	0,02	12986600	11815400	107,47	3755,36
0,630	0,961333	0,02	12986900	11815400	107,47	3755,41

0.630	0.961333	0.02	12987100	11815400	107,47	3755,45
0.630	0.961333	0.02	12987200	11818900	107,47	3755,48
0.630	0.961333	0.02	12987400	11818900	107,47	3755,51
0.630	0.961333	0.02	12989000	11818900	107,47	3755,54
0.630	0.961333	0.02	12989500	11818900	107,47	3755,56
0.630	0.961333	0.02	12989800	11818900	107,47	3755,62
0.630	0.961333	0.02	12990100	11822800	107,47	3755,71
0.630	0.961333	0.02	12990300	11822800	107,47	3755,83
0.630	0.961333	0.02	12990100	11822800	107,47	3755,98
0.630	0.961333	0.02	12990300	11822800	107,47	3756,16
0.630	0.961333	0.02	12990500	11822800	107,47	3756,29
0.630	0.961333	0.02	12990600	11826900	107,47	3756,37
0.630	0.957259	0.02	12990700	11826900	107,47	3756,42
0.630	0.961333	0.02	12991700	11826900	107,47	3756,42
0.630	0.961333	0.02	12992000	11826900	107,47	3756,41
0.630	0.961333	0.02	12992300	11826900	107,47	3756,37
0.630	0.961333	0.02	12992500	11831300	107,47	3756,33

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

Lampiran B

1. Kode program *Android Studio* untuk mengambil *big data* dari *database*

```
package com.app.distillationcolumn.connection;

import com.app.distillationcolumn.constant.URL;

import retrofit2.Retrofit;
import retrofit2.converter.gson.GsonConverterFactory;

/**
 * Created by user on 5/12/18.
 */
public class ApiClientRoot {
    private static Retrofit retrofit = null;
    public static Retrofit getClient() {
        retrofit = new Retrofit.Builder()
            .baseUrl(URL.root)

.addConverterFactory(GsonConverterFactory.create())
            .build();
        return retrofit;
    }
}

package com.app.distillationcolumn.database;

import io.realm.RealmObject;

public class Data extends RealmObject {
    String NOSEQ;
    String TGL;
    String T1;
    String T2;
```

B-2

```
String T3;  
String T4;  
String P1;  
String P2;  
String P3;  
String P4;  
String M1;  
String M2;  
String Q;  
String EFF;  
String PROFIT;  
String UA;  
String UC;  
String R;  
String COST;  
String MESIN;
```

```
public String getNOSEQ() {  
    return NOSEQ;  
}
```

```
public void setNOSEQ(String NOSEQ) {  
    this.NOSEQ = NOSEQ;  
}
```

```
public String getTGL() {  
    return TGL;  
}
```

```
public void setTGL(String TGL) {  
    this.TGL = TGL;  
}
```

```
public String getT1() {  
    return T1;  
}
```

```
public void setT1(String t1) {  
    T1 = t1;  
}
```

```
public String getT2() {  
    return T2;  
}
```

```
public void setT2(String t2) {  
    T2 = t2;  
}
```

```
public String getT3() {  
    return T3;  
}
```

```
public void setT3(String t3) {  
    T3 = t3;  
}
```

```
public String getT4() {  
    return T4;  
}
```

```
public void setT4(String t4) {  
    T4 = t4;  
}
```

```
public String getP1() {  
    return P1;  
}
```

```
public void setP1(String p1) {  
    P1 = p1;  
}
```

B-4

```
public String getP2() {  
    return P2;  
}
```

```
public void setP2(String p2) {  
    P2 = p2;  
}
```

```
public String getP3() {  
    return P3;  
}
```

```
public void setP3(String p3) {  
    P3 = p3;  
}
```

```
public String getP4() {  
    return P4;  
}
```

```
public void setP4(String p4) {  
    P4 = p4;  
}
```

```
public String getM1() {  
    return M1;  
}
```

```
public void setM1(String m1) {  
    M1 = m1;  
}
```

```
public String getM2() {  
    return M2;  
}
```

```
public void setM2(String m2) {
```



```
    M2 = m2;
}

public String getQ() {
    return Q;
}

public void setQ(String q) {
    Q = q;
}

public String getEFF() {
    return EFF;
}

public void setEFF(String EFF) {
    this.EFF = EFF;
}

public String getPROFIT() {
    return PROFIT;
}

public void setPROFIT(String PROFIT) {
    this.PROFIT = PROFIT;
}

public String getUA() {
    return UA;
}

public void setUA(String UA) {
    this.UA = UA;
}

public String getUC() {
    return UC;
}
```

B-6

```
    }  
  
    public void setUC(String UC) {  
        this.UC = UC;  
    }  
  
    public String getR() {  
        return R;  
    }  
  
    public void setR(String r) {  
        R = r;  
    }  
  
    public String getCOST() {  
        return COST;  
    }  
  
    public void setCOST(String COST) {  
        this.COST = COST;  
    }  
  
    public String getMESIN() {  
        return MESIN;  
    }  
  
    public void setMESIN(String MESIN) {  
        this.MESIN = MESIN;  
    }  
}
```

Lampiran C

1. Kode program Aplikasi *Windows menggunakan delphi XE8* untuk mengatur koneksi ke data *cloud server*.

```
procedure TF_MAIN.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    link_server.close;
    link_server.connectionstring:=
    'Provider=SQLOLEDB.1;Password=*****;Persist
    Security Info=True;User ID=sa;Initial '+ 'Catalog=TA;Data
    Source=202.148.24.218;Use Procedure for Prepare=1;Auto
    Translate=True;Packet '+' Size=4096;Workstation
    ID=RAY;Use Encryption for Data=False;Tag with column
    collation when '+' possible=False';
    link_server.connectiontime:=30;
    link_server.loginPrompt:=false;
    try
        link_server.connect;
    except
        showmessage('ErrorConnection');
    end
End;
End;
```

2. Menampilkan data hasil pengukuran berupa grafik pada *software MES*

```
procedure TF_MAIN.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
    DATA_SIM.Append;
    DATA_SIMT1.Value:=DATA_MEASURET1.Value;
    DATA_SIMT2.Value:=DATA_MEASURET2.Value;
    DATA_SIMT3.Value:=DATA_MEASURET3.Value;
    DATA_SIMT4.Value:=DATA_MEASURET4.Value;
    DATA_SIMP1.Value:=DATA_MEASUREP1.Value;
    DATA_SIMP2.Value:=DATA_MEASUREP2.Value;
    DATA_SIMP3.Value:=DATA_MEASUREP3.Value;
```

C-2

```
DATA_SIMP4.Value:=DATA_MEASUREP4.Value;  
DATA_SIMM1.Value:=DATA_MEASUREM1.Value;  
DATA_SIMM2.Value:=DATA_MEASUREM2.Value;  
DATA_SIMQ.Value:=DATA_MEASUREQ.Value;  
DATA_SIMEFF.Value:=DATA_MEASUREEFF.Value;
```

```
DATA_SIMPROFIT.Value:=DATA_MEASUREPROFIT.Value;  
DATA_SIM.Post;  
TMETER.Position:=ROUND(DATA_SIMT_RATE.Value);  
CT1.Series[0].Add(DATA_SIMT1.Value,'T1');  
CT2.Series[0].Add(DATA_SIMT2.Value,'T2');  
CT3.Series[0].Add(DATA_SIMT3.Value,'T3');  
CT4.Series[0].Add(DATA_SIMT4.Value,'T4');  
VrSpectrum1.Items[0].Position:=round(DATA_SIMT1.Value);  
VrSpectrum1.Items[1].Position:=round(DATA_SIMT2.Value);  
VrSpectrum1.Items[2].Position:=round(DATA_SIMT3.Value);  
VrSpectrum1.Items[3].Position:=round(DATA_SIMT4.Value);  
DATA_MEASURE.Next;  
end;
```

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rizky Mangaratua Simatupang yang akrab disapa Rizky. Penulis merupakan anak ke-kedua dari tiga bersaudara, terlahir di kota Yogyakarta pada tanggal 10 Maret 1996 Penulis menempuh pendidikan di SDK Sang Timur, Yogyakarta (2002-2008), SMPN 9 Yogyakarta (2008-2011), dan SMA Budy Wacana Yogyakarta (2011-2014). Penulis melanjutkan jenjang studinya di Diploma tiga Jurusan Metrologi dan Instrumentasi, Fakultas Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, lulus pada tahun 2017 kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan sarjana di Departemen, Teknik Fisika Fakultas Teknologi, Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui Lintas Jalur 2017. Pengalaman *internship program* selama 2 bulan di PT. Halliburton Indonesia, Sperry Drilling Jakarta. Bidang minat penulis dalam mengerjakan tugas akhir adalah instrumentasi. Penulis dapat dihubungi di email rizkymangaratuaz@gmail.com

