



TUGAS AKHIR - TF 181801

**PERANCANGAN SISTEM MONITORING TEKNO-
EKONOMI PADA *HEAT EXCHANGER* BERBASIS
*INTERNET OF THINGS (IOT)***

ARISTO PARISIAN
NRP 0231124000033

Dosen Pembimbing
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TF181801

***DESIGN OF HEAT EXCHANGER TECHNO-
ECONOMIC MONITORING SYSTEM BASED ON
INTERNET OF THINGS (IOT)***

ARISTO PARISIAN
NRP. 0231124000033

SUPERVISOR
Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Departement of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

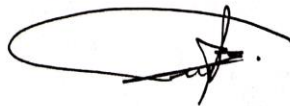
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aristo Parisian
NRP : 0231124000033
Departemen : Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Universitas : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul “Perancangan Sistem Monitoring Tekno-Ekonomi Pada *Heat Exchanger* 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, 27 Januari 2019
Yang membuat pernyataan,



Aristo Parisian
NRP.0231124000033

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN
PERANCANGAN SISTEM MONITORING
TEKNO-EKONOMI PADA *HEAT EXCHANGER*
BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)*

TUGAS AKHIR

Oleh :
Aristo Parisian
NRP : 0231124000033

Surabaya, 23 Januari 2019

Mengetahui,
Dosen Pembimbing



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

Menyetujui,
Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM MONITORING TEKNO-EKONOMI PADA *HEAT EXCHANGER* BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)*



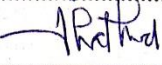

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

ARISTO PARISIAN
NRP. 0231124000033

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Totok Ruki Biyanto, Ph.D.  (Pembimbing)
2. Hendra Cordova, S.T, M.T.  (Ketua Penguji)
3. Ir.Matradji, M.Sc  (Penguji 1)
4. Andi Rahmadiansah, S.T., M.T.  (Penguji 2)

SURABAYA
JANUARI, 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERANCANGAN SISTEM MONITORING TEKNO-EKONOMI PADA *HEAT EXCHANGER* BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IoT)*

Nama : Aristo Parisian
NRP : 0231124000033
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Abstrak

Proses *sharing* informasi tentang profit dalam sebuah industri harus disesuaikan dengan *job desc* masing-masing *stakeholder*. Proses ini dapat direalisasikan dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things (IoT)*. Tugas akhir ini memaparkan penerapan teknologi IoT, secara khusus pada proses monitoring performansi *engineering* dan performansi ekonomi dari 11 unit *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Aspek performansi *engineering* dan performansi ekonomi *heat exchanger* yang dimonitoring dalam tugas akhir ini adalah efisiensi, *heat duty*, koefisien *heat transfer* keseluruhan, *pressure drop* dan *saving*. Sistem pengukuran sensor temperatur, *pressure* dan *mass flow rate* pada 11 unit *heat exchanger* disimulasikan menggunakan *software* yang dibuat dengan pemrograman *Delphi*. Untuk sistem monitoring berbasis IoT, aplikasi dibangun menggunakan *Android programming* dengan *user authority* agar informasi yang disajikan sesuai dengan job deskripsi setiap *user/stakeholder*. Sistem monitoring berbasis IoT efektif untuk diterapkan karena informasi tentang performansi dan *saving* pada *heat exchanger* dapat dimonitor secara *real time* dan penyajian informasi yang berhubungan dengan profit sesuai dengan job deskripsi setiap *stakeholder*. Informasi ini juga dapat diakses oleh beberapa *user* secara bersamaan dalam satu waktu dan di berbagai tempat dengan adanya koneksi internet. Sehingga proses monitoring performansi *engineering*, performansi ekonomi dan *sharing* informasi yang berhubungan dengan profit tercapai secara maksimal.

Kata kunci: *Sistem monitoring, Industrial Internet of Things, Shell and Tube Heat Exchanger, Performansi Heat Exchanger*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DESIGN OF HEAT EXCHANGER
TECHNO-ECONOMIC MONITORING SYSTEM
BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT)**

Name : Aristo Parisian
NRP : 02311240000033
Departement : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Totok Ruki Biyanto, Ph.D.

Abstract

The process of sharing information about profit in an industry must be corresponded with the job description of each stakeholder. This process can be realized by applying the Internet of Things (IoT) technology. This final project describes the application of IoT technology, specifically in the process of monitoring engineering performance and economic performance from 11 units shell and tube heat exchanger. The aspects of engineering performance and economic performance from heat exchanger which monitored in this final project are efficiency, heat duty, overall heat transfer coefficient, pressure drop and saving. The temperature sensor, pressure and mass flow rate measurement systems for 11 units heat exchanger are simulated with software which was built using Delphi programming. For IoT-based monitoring systems, applications was built using Android programming with the user authority, so the information are presented according to the job description of each user / stakeholder. An IoT-based monitoring system is effective to implement because information about performance and saving of heat exchanger can be monitored real time and the information related with the profit can be presented according to the job description of each stakeholder. This information can be accessed by several users simultaneously at one time and in any places with an internet connection. So, the monitoring process of engineering performance, economic performance and sharing information related to profit can be maximally achieved.

Keywords: *Monitoring system, Industrial Internet of Things, Shell and Tube heat exchanger, Heat exchanger performance*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam proses penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul:

“PERANCANGAN SISTEM MONITORING TEKNO-EKONOMI PADA *HEAT EXCHANGER* BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)*”

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S1 Teknik Fisika FTI-ITS. Pada bagian ini, penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D. selaku dosen pembimbing dalam tugas akhir ini, yang selalu memberikan bimbingan, ilmu, semangat dan motivasi kepada penulis dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku kepala Program Studi S1 Teknik Fisika yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis selama masa perkuliahan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc. selaku dosen wali penulis, yang selalu memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis selama masa perkuliahan.
4. Bapak Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku ketua Departemen Teknik Fisika ITS.
5. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Teknik Fisika ITS.
6. Kedua orang tua, adik-adik serta keluarga besar penulis yang selalu memberikan semangat dan doa kepada penulis dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman penulis yang memberikan semangat dan bantuan penulis ketika proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan demi penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 27 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
Abstrak	xi
<i>Abstract</i>	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 Penelitian.....	3
1.4 Lingkup Kerja.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Internet of Things</i>	5
2.2 <i>Heat Exchanger Tipe Shell and Tube</i>	9
2.3 Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan	11
2.4 <i>Pressure Drop</i>	14
2.5 Kinerja Pompa.....	15
2.6 <i>Saving Heat Exchanger</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alur Penelitian.....	19
3.2 Pengambilan Data <i>Heat Exchanger</i>	20
3.3 Perhitungan Performansi <i>Heat Exchanger</i>	20
3.4 Perancangan Aplikasi Simulasi Sistem Pengukuran Pada <i>Heat Exchanger</i>	24
3.5 Perancangan Aplikasi Monitoring Berbasis <i>Internet of Things</i>	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Simulasi Sistem Monitoring <i>Heat Exchanger</i>	29
4.2 Hasil Rancangan Sistem Monitoring.....	35

4.3	Pembahasan	38
BAB V	PENUTUP	41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	41
	DAFTAR PUSTAKA.....	43
	LAMPIRAN	
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur <i>Industrial Internet of Things</i>	5
Gambar 2.2	Infrastruktur jaringan internet	7
Gambar 2.3	Arsitektur <i>data analysis</i>	8
Gambar 2.4	<i>Shell and tube heat exchanger</i> dengan <i>one pass tube-side</i>	10
Gambar 2.5	<i>Heat exchanger</i> tipe <i>fixed tube sheet</i>	10
Gambar 2.6	<i>Heat exchanger</i> tipe <i>floating head</i>	11
Gambar 3.1	Diagram alur tugas akhir.....	19
Gambar 3.2	Diagram blok rancangan aplikasi untuk simulasi sistem pengukuran pada <i>heat exchanger</i>	25
Gambar 3.3	Diagram blok rancangan aplikasi monitoring pada <i>android</i>	26
Gambar 3.4	Diagram blok rancangan aplikasi sistem monitoring pada <i>android</i> berdasarkan <i>user authority</i>	27
Gambar 4.1	Diagram alur hasil rancangan sistem monitoring berbasis <i>Internet of Things</i> pada <i>heat exchanger</i> ..	29
Gambar 4.2	<i>Process Flow Diagram (PFD)</i> dari <i>heat exchanger network (HEN)</i> yang terdiri dari rangkaian 11 unit <i>heat exchanger</i>	29
Gambar 4.3	<i>Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)</i> untuk satu unit <i>heat exchanger</i>	30
Gambar 4.4	Hasil simulasi menggunakan aplikasi untuk sistem pengukuran pada satu unit <i>heat exchanger</i> di sistem operasi <i>windows</i>	31
Gambar 4.5	Diagram blok pemrosesan data pada <i>cloud server</i>	31
Gambar 4.6	Diagram blok hasil rancangan aplikasi monitoring berbasis <i>Internet of Things</i> pada <i>android</i>	32
Gambar 4.7	<i>Heat duty (Q)</i> pada satu unit <i>heat exchanger</i>	33
Gambar 4.8	Koefisien <i>heat transfer</i> keseluruhan pada kondisi aktual (<i>U actual</i>) pada satu unit <i>heat exchanger</i> ..	33
Gambar 4.9	Efisiensi pada satu unit <i>heat exchanger</i>	34
Gambar 4.10	<i>Pressure drop</i> sisi <i>shell and tube</i> pada satu unit <i>heat exchanger</i>	34

Gambar 4.11	<i>Saving</i> pada 11 unit <i>heat exchanger</i> selama dua tahun.....	35
Gambar 4.12	Menu untuk sistem <i>login</i> pada <i>mobile app</i> hasil rancangan	36
Gambar 4.13	Penggunaan <i>user authority</i> ketika melakukan <i>login</i> pada <i>mobile app</i> hasil rancangan	36
Gambar 4.14	Menu untuk monitoring hasil rancangan pada <i>dashboard</i> setelah <i>user</i> berhasil <i>login</i>	37
Gambar 4.15	Menu pada <i>mobile app</i> yang bisa diakses oleh <i>user</i> SPV PROD-1	37
Gambar 4.16	Menu pada <i>mobile app</i> yang bisa diakses oleh <i>user</i> MGR-ENG-1	38
Gambar 4.17	Menu pada <i>mobile app</i> yang bisa diakses oleh <i>user</i> GM-PLANT	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel koefisien kalor jenis fluida pada 11 unit <i>heat exchanger</i>	21
Tabel 3.2 Nilai <i>ht</i> , <i>hs</i> , <i>Rfi</i> , <i>Kw</i> dan <i>Ao</i> pada 11 unit <i>heat exchanger</i>	22

(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 pesat membuat peradaban manusia semakin mudah, cepat, efisien dan efektif. Teknologi ini berkembang baik dari sisi proses, mekanikal, elektrikal dan teknologi informasi. Perkembangan ini akan sangat menguntungkan manusia apabila teknologi-teknologi tersebut dapat dimanfaatkan secara bijaksana dan tepat.

Pada industri proses, berbagai perkembangan teknologi pada sistem instrumentasi diharapkan mampu memberi dampak terutama dalam hal peningkatan profit. Hal-hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan profit yaitu proses produksi didesain harus mampu menghasilkan produk sebanyak-banyaknya dengan biaya yang optimal dan kualitas yang konsisten, konsumsi energi yang efisien pada proses produksi, serta manajemen aset-aset industri yang efektif. Permasalahan dalam hal peningkatan profit bukan hanya tanggung jawab pada satu *job desc* saja, melainkan pada semua *job desc* dan pemangku jabatan di industri. Untuk itu, diperlukan suatu *platform* yang dapat digunakan untuk melakukan proses *sharing* informasi-informasi yang berhubungan dengan peningkatan profit.

Dalam rangka *sharing* masalah profit kepada semua *stakeholder* dalam industri, maka penyajian informasi yang berhubungan dengan profit harus disesuaikan dengan *job desc* masing-masing, mulai dari *supervisor*, *manager* dan *general manager*. Bagi *supervisor*, perlu untuk melakukan proses monitoring kondisi operasional instrument dalam industri secara *real time*. Mobilitas dan fleksibilitas ketika melakukan proses monitoring juga diperlukan agar keamanan kondisi instrumen pada

industri lebih terjamin dan meningkatkan efektifitas kerja. Bagi *manager*, monitoring performansi *engineering* suatu instrumen dalam industri akan mempermudah dalam hal analisa dan pengambilan keputusan. Seorang *manager* juga perlu untuk melakukan manajemen aset yang tepat dalam industri, agar instrumen-instrumen dalam industri bekerja dalam kondisi optimal. Bagi *general manager*, penyajian informasi yang tepat tentang performansi ekonomi dalam industri akan mempermudah dalam hal manajemen keuangan industri. Dengan manajemen keuangan yang tepat, maka akan berdampak pada peningkatan profit di industri. Berbagai peran ini dapat direalisasikan dengan pemanfaatan teknologi *Internet of Things (IoT)* pada dunia industri (*Industrial Internet of Things*)[1]. *Industrial Internet of Things (IIoT)* adalah penerapan teknologi dan arsitektur *IoT* yang dikhususkan untuk dunia industri[2]. Penerapan secara khusus ini dilakukan karena dunia industri membutuhkan sistem *IoT* yang bersifat andal, mampu menganalisa data secara tepat dan mampu melakukan proses *sharing* informasi secara efektif dan efisien.

Pada industri, salah satu proses pengolahan energi adalah dengan memanfaatkan proses perpindahan panas[3]. Proses perpindahan panas di industri biasanya menggunakan *heat exchanger*. *Heat exchanger* adalah alat penukar panas pada dua atau lebih fluida mengalir yang berbeda temperaturnya[4]. Pada tugas akhir ini, *Internet of Things* akan digunakan untuk memonitoring performansi *engineering* dan performansi ekonomi pada *heat exchanger*. Jenis *heat exchanger* yang digunakan adalah *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Data yang digunakan Performansi *heat exchanger* yang dianalisa yaitu *heat duty*, *overall heat transfer coefficient*, *efficiency*, kinerja pompa dan *saving*. Nilai *saving* dihitung berdasarkan *energy revenue* dikurangi *operational cost*. Analisa juga dilakukan terhadap efektifitas penerapan *IoT* pada proses monitoring dalam tugas akhir ini.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan menerapkan sistem monitoring performansi *engineering* sampai performansi ekonomi pada *heat exchanger* berbasis *Internet of Things* ?
2. Bagaimana hasil penerapan sistem monitoring ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan menerapkan sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* yang digunakan untuk monitoring performansi *engineering* sampai performansi ekonomi pada *heat exchanger*.
2. Menganalisa hasil penerapan sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk monitoring performansi *engineering* sampai performansi ekonomi pada *heat exchanger*.

1.4 Lingkup Kerja

Adapun lingkup kerja dalam tugas akhir ini adalah data yang digunakan merupakan data historis hasil pengukuran sensor temperatur, *pressure* dan *mass flow rate* pada 11 unit *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Sistem fisik hasil pengukuran sensor temperature, *pressure* dan *mass flow rate* pada 11 unit *heat exchanger* disimulasikan menggunakan *software* buatan pada sistem operasi *windows* menggunakan *delphi programming*. Aplikasi sistem monitoring berbasis *Internet of Things* berupa *mobile app* dibuat menggunakan *android programming* dengan tiga *user* yaitu *supervisor*, *manager* dan *general manager*. Variabel performansi *engineering* pada *heat exchanger* yang dimonitor yaitu *heat duty*, *overall heat transfer coefficient actual (U actual)*, efisiensi dan *pressure drop*. Variabel performansi ekonomi pada *heat exchanger* yang dimonitor yaitu *saving*.

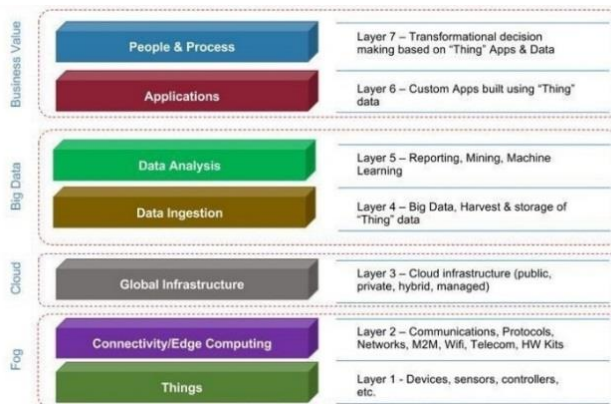
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II DASAR TEORI

2.1 *Internet of Things*

Definisi dari *Internet of Things* adalah sebuah infrastruktur dari keterhubungan antara entitas, manusia, sistem dan sumber informasi yang memproses dan bereaksi terhadap informasi dari dunia nyata maupun dunia virtual[5]. Dari definisi tersebut, dapat dikatakan bahwa karakteristik dari *internet of things* yaitu *network centric*, sistem bersifat terdistribusi dan sistem bekerja dengan jumlah data yang besar. Karena memiliki karakteristik yang *network centric*, terdistribusi dan bekerja dala jumlah data yang besar, maka cakupan penerapan *internet of things* sangat luas[6]. Beberapa penerapan dari *internet of things* yaitu pada bidang kesehatan, agrikultur, industri, transportasi dan energi.

Pada bidang industri, istilah penerapan *internet of things* yaitu *Industrial Internet of Things (IIOT)*. Arsitektur dari *industrial internet of things* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Arsitektur *Industrial Internet of Things*

Secara umum, arsitektur pada *industrial internet of things* dibagi menjadi beberapa lapisan/layer yaitu[2]:

- *Things*

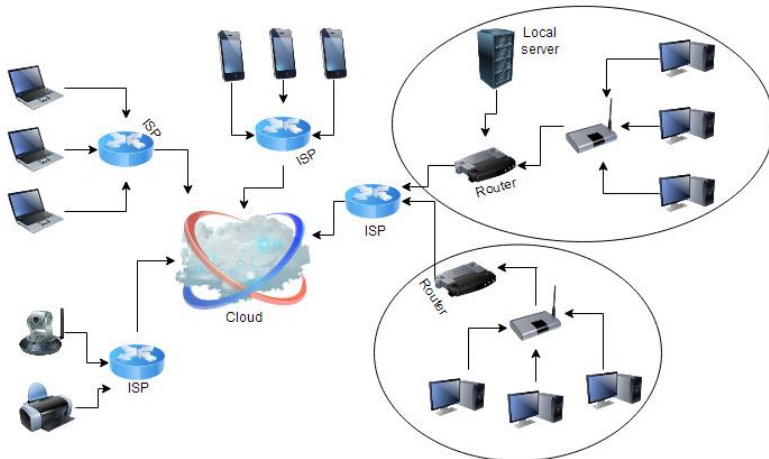
Adalah sumber daya fisik yang mencakup semua sumber daya proses dalam seluruh siklus proses produksi. Pada layer ini, setiap divais harus memiliki konektivitas dengan langsung dengan layer kedua. Karena layer kedua yang akan berperan sebagai media komunikasi antara divais dan pemrosesan data di *cloud server*.

- *Connectivity/Edge Computing*

Adalah layer yang berperan untuk membentuk topologi jaringan dari kumpulan divais yang terkoneksi serta mengirimkan data hasil pengukuran divais seperti sensor kepada *cloud server*. Pada layer ini, berbagai macam topologi jaringan akan terbentuk, misalnya *Wide Area Network* pada satu *field* di sebuah *plant*, dimana pada *field* tersebut terdapat puluhan atau ratusan divais yang saling terkoneksi satu sama lain dan terhubung ke sebuah *router* yang akan mengatur lalu lintas data. Juga masalah keamanan dalam mengirimkan data ke *cloud server* harus dipastikan. Jika keamanan pengiriman data ke *cloud server* tidak terjamin, dikhawatirkan data dapat disalahgunakan oleh pihak tidak bertanggung jawab dan membahayakan keselamatan pabrik/produksi yang sedang berjalan.

- *Global Infrastructure*

Layer ini merupakan infrastruktur fisik dari *cloud server*. Infrastruktur fisik yang dimaksud pada layer ini adalah *fiber optic* untuk menghubungkan *Wide Area Network* ke *cloud server* serta *server* fisik dari *cloud server*. Pada layer ini, kualitas teknologi *fiber optic* serta *server* fisik sangat berpengaruh terhadap kecepatan pengiriman data dari *Wide Area Network* kedalam *server* fisik.



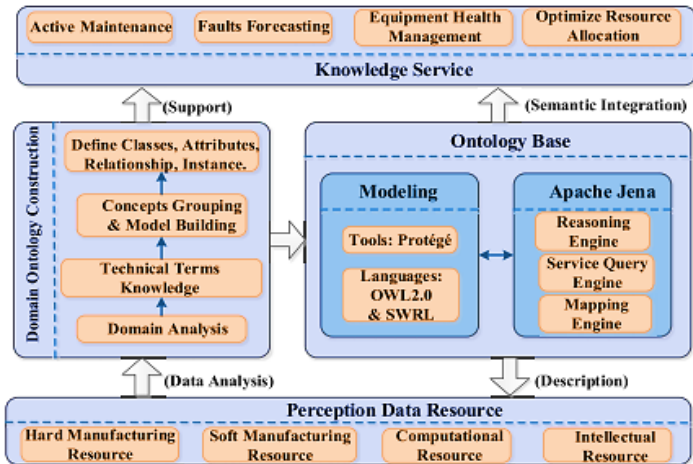
Gambar 2.2 Infrastruktur jaringan internet

- *Data Ingestion*

Setelah data dikirim dari *Wide Area Network* ke *server* fisik data disimpan di *server* fisik dalam bentuk *database*. Pada layer ini, algoritma perangkat lunak sebuah *database* berpengaruh terhadap efektifitas penyimpanan data/*data storage*. Beberapa perangkat lunak yang biasa dipakai pada sebuah *server* yaitu MS.Access, MySQL dan MongoDB.

- *Data Analysis*

Data yang telah tersimpan dalam *database* pada layer *Data Ingestion*, akan diolah dan dianalisa menggunakan algoritma-algoritma pemrograman pada layer ini dengan tujuan tertentu. Misal, data hasil pengukuran divais sensor temperatur dan tekanan pada *heat exchanger* akan diolah dengan persamaan tertentu kemudian hasilnya akan menunjukkan apakah sudah harus dilakukan perawatan atau tidak. Efektifitas algoritma pemrograman dalam mengolah data juga sangat berpengaruh terhadap akurasi dan kecepatan dalam pengolahan serta penyajian hasil perhitungan.



Gambar 2.3 Arsitektur data analysis

- *Application*

Pada layer ini, data yang telah dianalisa di *cloud server* akan diakses oleh user melalui aplikasi desktop, aplikasi android maupun aplikasi web[7]. Tujuan dari layer ini adalah untuk mempermudah user dalam melakukan interpretasi data-data yang telah dianalisa di *cloud server*. Pada layer ini, aplikasi harus menyediakan fasilitas GUI (*Graphical User Interface*), yang akan membuat *user/manusia* lebih mudah dalam monitoring data maupun melakukan kontrol terhadap suatu divais/proses.

- *People/Process*

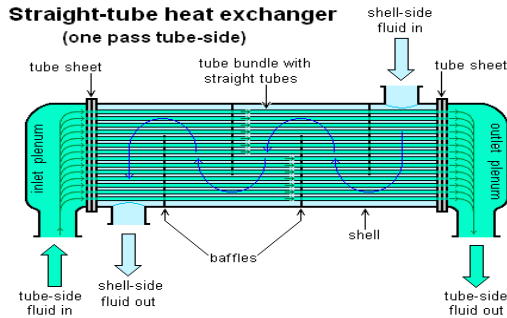
Layer ini merupakan *user/manusia* yang akan memonitoring atau membuat keputusan pada suatu proses industri. Proses pada layer *data analysis* juga membantu manusia dalam mengambil keputusan. Misalnya, seorang *manager maintenance* akan melakukan *maintenance* apabila hasil *data analysis* menunjukkan suatu divais rusak.

2.2 *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube*

Heat exchanger adalah alat yang digunakan untuk mentransfer panas antara dua atau lebih fluida. Fluida dapat dipisahkan oleh dinding padat untuk mencegah pencampuran *heat exchanger* banyak digunakan dalam ruang pemanasan, pendinginan, AC, pembangkit listrik, pabrik kimia, pabrik petrokimia, kilang minyak bumi, pengolahan gas alam, dan pengolahan limbah. *Heat exchanger* tipe *shell and tube* adalah salah satu jenis *heat exchanger* yang paling banyak digunakan, dan umumnya dirancang khusus untuk kondisi kapasitas dan operasi apapun, dari vakum hingga tekanan tinggi lebih dari 15.000 psig (100 MPa), dari kondisi kriogenik hingga suhu tinggi 2000°F (1100°C), fouling berat, cairan kental, erosi, korosi, toksisitas dan getaran tinggi[8]. Jenis ini merupakan *heat exchanger* yang banyak digunakan pada industri *refinery* dan industri proses karena jenis ini mampu bekerja pada tekanan yang tinggi. Kelebihan lainnya yaitu memiliki permukaan perpindahan panas per satuan volume yang lebih besar dan lebih mudah dalam proses pembersihan[9].

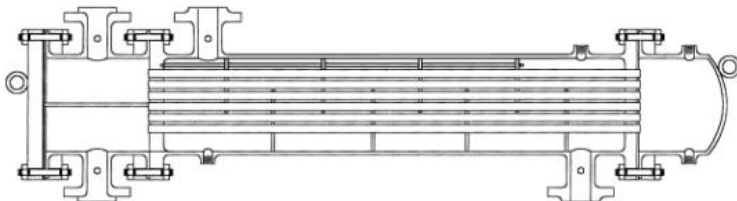
Heat exchanger shell and tube terdiri dari tiga bagian utama, yaitu, *header* depan, *header* belakang dan badan *shell*. Masing-masing bagian ini telah distandarisasi oleh TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*) dan dapat diidentifikasi dengan karakter alfabet seperti yang terlihat pada. *Heat exchanger shell and tube* ditunjuk dengan menggunakan sebutan tujuh *header* depan, badan *shell*, dan *header* belakang, terdiri dari tiga karakter alfabet, seperti AES, AKT, AJW, BEM, AEP, dan CFU[10].

Terdapat tiga jenis desain tube, yaitu *U-tube*, *fixed tube sheet*, dan *floating head*. *U-tube* mempunyai biaya konstruksi yang rendah karena hanya memerlukan satu *tube sheet*. Tetapi sisi *tube* tidak dapat dibersihkan secara mekanikal karena lekukan U pada sisi *tube*, sehingga fluida yang mengalir pada sisi *tube* biasanya fluida yang bersih.



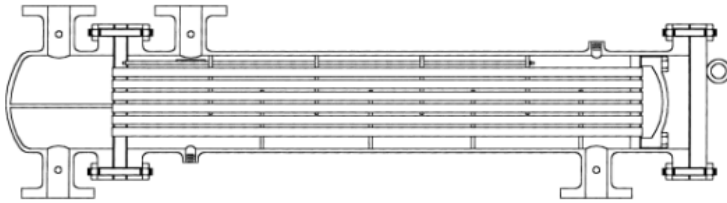
Gambar 2.4 Shell and tube heat exchanger dengan one pass tube-side

Fixed tube sheet adalah yang paling banyak digunakan, pada desain jenis ini sisi depan dan belakang shell dilas langsung terhadap *tube sheet* sehingga bundel *tube* tidak dapat dibersihkan. Jenis ini biasa digunakan dalam kondisi fluida mengalir di sisi *shell* bersih, dan pembongkaran bundel *tube* tidak diperlukan.



Gambar 2.5 Heat exchanger tipe *fixed tube sheet*

Pada jenis *floating head* terdapat satu *tube sheet* yang tetap biasa pada pagian depan dan *tube sheet* satunya dapat mengangap bebas untuk mengakomodasi ekspansi termal



Gambar 2.6 Heat exchanger tipe floating head

Pada *heat exchanger shell and tube*, bisa terdapat satu atau lebih *tube pass*. Penggunaan lebih dari satu *tube pass* dilakukan untuk meningkatkan kecepatan fluida pada sisi tabung dan koefisien perpindahan panas (dalam penurunan tekanan yang tersedia) dan untuk meminimalkan *fouling*. Jika, karena alasan arsitektural, cairan sisi tabung harus masuk dan keluar pada sisi yang sama, jumlah *tube pass* wajib berjumlah genap. Logam yang digunakan untuk *tube* dapat berupa baja karbon rendah, baja paduan rendah, *stainless steel*, tembaga, *cupronickel*, inconel, aluminium (dalam bentuk paduan), atau titanium, bahan selain logam juga dapat digunakan tergantung dari aplikasi spesifik[10].

2.3 Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Untuk mendapatkan hubungan antara laju panas (Q), luas permukaan (A), perbedaan suhu fluida (ΔT), dan laju aliran fluida dalam *heat exchanger*, diperlukan beberapa asumsi untuk mengembangkan persamaan dasar yang digunakan pada analisis persamaan konservasi energi dan perpindahan panas seperti berikut ini[11]:

- a. *Heat exchanger* pada kondisi *steady-state*.
- b. Properti fisiknya konstan dan dihitung pada suhu rata-rata antara *inlet* dan *outlet*.
- c. Kondisi termal semua elemen pada aliran fluida tidak berubah saat melalui *heat exchanger*.
- d. Rugi panas ke lingkungan diabaikan.

Untuk mencari nilai Q (*heat duty*), maka pendekatan menggunakan hukum kesetimbangan energi seperti pada persamaan (2.1) berikut:

$$Q_c = Q_h \quad (2.1)$$

dimana Q_c adalah laju perpindahan kalor pada aliran fluida dingin, sedangkan Q_h adalah laju perpindahan kalor pada aliran fluida panas[12]. Nilai laju perpindahan kalor pada fluida yang mengalir (Q) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

dimana,

m = laju aliran massa fluida yang mengalir (kg/s)

C_p = kalor jenis fluida (J/kg °C)

Δt = perbedaan antara suhu akhir dan suhu awal fluida. (°C)

Perhitungan laju perpindahan kalor juga dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut[13]:

$$Q = U \cdot A_o \cdot LMTD_{corr} \quad (2.3)$$

dimana,

U = Koefisien perpindahan panas keseluruhan (W/m²°C)

A_o = Luas area perpindahan panas (m²)

$LMTD_{corr}$ = *Log Mean Temperature Difference corrected* (°C)

$LMTD_{corr}$ adalah nilai $LMTD$ yang sudah dikalikan dengan faktor koreksi. Persamaan untuk mencari nilai $LMTD_{corr}$ yaitu[14]:

$$LMTD_{corr} = LMTD \cdot F \quad (2.4)$$

dimana,

$LMTD$ = *Log Mean Temperature Difference* (°C)

F = faktor koreksi temperatur

Log Mean Temperature Difference (LMTD) adalah rata-rata perbedaan temperatur antara fluida panas dan fluida dingin. $LMTD$ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$LMTD = \frac{(T_{h,i}-T_{c,o})-(T_{h,o}-T_{c,i})}{\ln\left(\frac{T_{h,i}-T_{c,o}}{T_{h,o}-T_{c,i}}\right)} \quad (2.5)$$

dimana,

$T_{c,i}$ = Temperatur fluida dingin *inlet* (°C)

$T_{c,o}$ = Temperature fluida dingin *outlet* (°C)

$T_{h,i}$ = Temperatur fluida panas *inlet* (°C)

$T_{h,o}$ = Temperatur fluida panas *outlet* (°C)

Faktor koreksi temperatur (F) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F = \frac{\sqrt{R^2+1} \ln(1-S)/(1-RS)}{(R-1) \ln \frac{2-S(R+1)-\sqrt{R^2+1}}{2-S(R+1)+\sqrt{R^2+1}}} \quad (2.6)$$

dimana nilai R dan nilai S didapatkan dari persamaan berikut ini:

$$R = \frac{T_{h,i}-T_{h,o}}{T_{c,o}-T_{c,i}} \quad (2.7)$$

$$S = \frac{T_{c,o}-T_{c,i}}{T_{h,i}-T_{c,i}} \quad (2.8)$$

dimana,

R, S = faktor efisiensi *temperature*

Pada luas permukaan perpindahan panas, dapat dihitung dengan persamaan berikut[15]:

$$A_o = \frac{22}{7} d_o L_{ti} N_t N_s \quad (2.9)$$

dimana,

A_o = Luas area perpindahan panas (m²)

d_o = Diameter luar tube (m)

L_{ti} = Jarak antar *tube* (m)

N_t = Jumlah *tube*

N_s = Jumlah *shell*

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas, maka dapat ditentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi aktual dengan menggunakan persamaan berikut[13]:

$$U_a = \frac{Q}{LMTD_{corr} \cdot A_o} \quad (2.10)$$

Dan untuk menghitung koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi bersih/clean, maka digunakan persamaan berikut[16]:

$$U_c = \frac{1}{\left(\frac{d_o}{h_t d_i} + \frac{d_o R_{f_i}}{d_i}\right) + \frac{d_o \left(\ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)\right)}{2 K_w} + R_{f_o} + \frac{1}{h_s}} \quad (2.11)$$

dimana,

U_c = Koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi bersih ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_s = *Shell-side film heat transfer coefficient* ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_t = *Tube-side film heat transfer coefficient* ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

d_o = Diameter luar *tube* (m)

d_i = Diameter dalam *tube* (m)

K_w = Konduktivitas termal dinding *tube* ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

R_{f_i} = *Inside fouling resistance* ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

R_{f_o} = *Outside fouling resistance* ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

2.4 Pressure Drop

Perhitungan *pressure drop* merupakan salah satu kendala dalam desain termal *shell and tube heat exchanger*. Perhitungan *pressure drop* menjadi sangat penting ketika kita memperhitungkan masalah keamanan / *safety* pada kondisi operasi *heat exchanger*. Desain termal dari *shell and tube heat exchanger* akan berdampak ketika tingkat optimalitas dibatasi oleh *pressure drop*. Optimalisasi desain termal memerlukan maksimalisasi keseluruhan koefisien perpindahan panas dan/atau perbedaan suhu rata-rata efektif (LMTD).

Pressure drop pada sisi *tube* dihitung dengan menggunakan *Pethukov and Popov's Methods*[10]:

$$\Delta P_t = \left[2 \times f \frac{L \times Np}{d_i} + 2 \times Np \right] \times \rho_t \times V^2 \quad (2.12)$$

$$f = (1,58 \ln Re_t - 3,28)^2 \quad (2.13)$$

dimana,

ΔP_t = *pressure drop* sisi *tube* (kg/cm²)

f = faktor friksi

L = panjang *tube* (m)

ρ_t = kalor jenis pada *tube* (kg/m³)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

Pressure drop pada sisi *shell* dihitung dengan menggunakan *Bell Delaware's Methods*:

$$\Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N_b + 1)}{\rho_s d_o \left(\frac{\mu_s}{\mu_w} \right)^{0,14}} \quad (2.14)$$

$$f = e^{0,576 - 0,19 \ln Re_s} \quad (2.15)$$

dimana,

ΔP_s = *pressure drop* sisi *shell* (kg/cm²)

f = faktor friksi

ρ_s = kalor jenis pada *shell* (kg/m³)

2.5 Kinerja Pompa

Adanya *fouling* pada *heat exchanger* mengakibatkan tekanan keluaran pompa menurun, sehingga menambah kerja pompa pada masukan untuk mempertahankan kondisi operasi yang optimal. Perhitungan kerja pompa yang dipengaruhi kondisi *fouling* yaitu kinerja pompa (W_p), dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_p = \frac{m \times \Delta p}{\eta} \quad (2.16)$$

dimana,

m = aliran masa (kg/s)

Δp = *pressure drop* (kg/cm²)

η = efisiensi *heat exchanger*

2.6 Saving Heat Exchanger

Nilai *saving* dihitung berdasarkan harga dari energi yang mampu didapatkan (*energy revenue*) dikurangi biaya operasional (*operational cost*). Untuk mendapatkan nilai *saving* yang maksimum, maka *capital cost* dan *pump cost* harus minimum serta dipengaruhi oleh pemilihan jadwal pembersihan dan *maintenance cost* yang optimal.

Persamaan yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai *saving* adalah sebagai berikut:

$$Saving = E - (C_C + P_c + M_{HE}) \quad (2.17)$$

- *Energy price (E)*

$$E = Q \times C_E \quad (2.18)$$

dimana,

E = *energy recovery (USD)*

Q = *heat duty (GW)*

C_E = *energy price (USD/GW)*

- *Capital Cost (C_C)*

$$C_C = A \times C_{HE} \quad (2.19)$$

dimana,

C_C = *Capital cost (USD)*

A = *Luas area heat transfer (m²)*

C_{HE} = *Operational cost heat exchanger (USD/m²)*

- *Pump Cost (P_c)*

$$P_c = W_p \times P_u \quad (2.20)$$

dimana,

P_c = *Pump cost (USD)*

W_p = *Kinerja pompa (KWh)*

P_u = *Pump cost HE (USD/KWh)*

- *Maintenance Cost (M_c)*

$$M_c = n \times M_{HE} \quad (2.21)$$

dimana,

M_c = *Maintenance Cost (USD)*

n = *Jumlah pembersihan / cleaning*

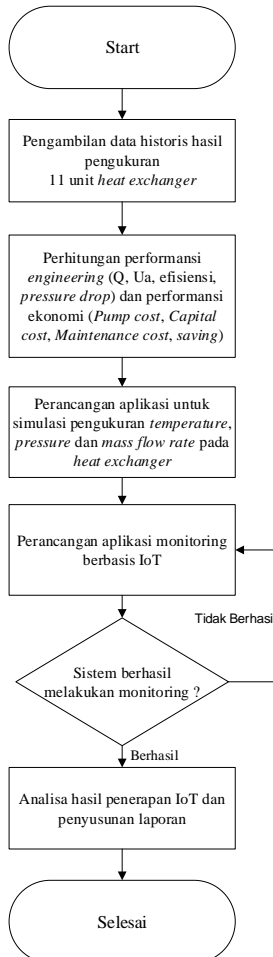
M_{HE} = *Maintenance Cost Heat Exchanger (USD)*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian

Tahapan pengerjaan untuk tugas akhir ini digambarkan seperti pada diagram alur di Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram alur tugas akhir

3.2 Pengambilan Data *Heat Exchanger*

Pada tugas akhir ini, data yang digunakan adalah data historis hasil pengukuran 11 unit *heat exchanger*. Data-data historis berupa hasil pengukuran sensor *temperature*, *pressure*, *mass flow rate*, data geometri *heat exchanger* dan data properti fluida pada *heat exchanger*. Jumlah data yang digunakan untuk satu sensor adalah sebanyak 730 data. Data-data sensor yang digunakan pada pengukuran 11 unit *heat exchanger* yaitu:

- Th_o = Temperatur fluida panas *outlet* (°C)
- Th_i = Temperatur fluida panas *inlet* (°C)
- Tc_o = Temperatur fluida dingin *outlet* (°C)
- Tc_i = Temperatur fluida dingin *inlet* (°C)
- Ph_o = *Pressure* fluida panas *outlet* (kg/cm²)
- Ph_i = *Pressure* fluida panas *inlet* (kg/cm²)
- Pc_o = *Pressure* fluida dingin *outlet* (kg/cm²)
- Pc_i = *Pressure* fluida dingin *inlet* (kg/cm²)
- mc_o = Laju aliran massa fluida dingin *outlet* (kg/s)
- mh_o = Laju aliran massa fluida panas *outlet* (kg/s)

3.3 Perhitungan Performansi *Heat Exchanger*

Perhitungan performansi dilakukan menggunakan data historis hasil pengukuran pada sensor *temperature*, *pressure*, *mass flow rate* dan data pada *datasheet* desain *heat exchanger*. Data-data ini digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi *clean* (U_c), koefisien perpindahan panas pada kondisi aktual (U_a), *heat duty* (Q), *pressure drop* (ΔP), kerja pompa (W), efisiensi kerja *heat exchanger* dan *saving*.

3.3.1 Perhitungan *Heat Duty*

Nilai *heat duty* (Q) pada *heat exchanger* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

dimana,

m = Laju aliran massa fluida (kg/h)

C_p = Kalor jenis fluida (J/Kg °C)

ΔT = Beda temperatur *output* dan *input* (°C)

Nilai kalor jenis fluida yang digunakan untuk perhitungan pada setiap unit *heat exchanger* berbeda-beda. Pada Tabel 3.1 berikut, memuat rincian kalor jenis fluida yang mengalir pada setiap unit *heat exchanger*.

Tabel 3.1 Tabel koefisien kalor jenis fluida pada 11 unit *heat exchanger*

Unit <i>heat exchanger</i>	<i>Shell side</i> (J/Kg°C)	<i>Tube side</i> (J/Kg°C)
HE-01	2600	2150
HE-02	2475	2285
HE-03	2350	2390
HE-04	2335	2470
HE-05	2630	2530
HE-06	2670	2580
HE-07	2930	2605
HE-08	2590	2520
HE-09	2920	2755
HE-10	3140	2845
HE-11	2920	2935

Nilai *heat duty* (Q) yang didapatkan dari persamaan (3.1) dapat digunakan selanjutnya untuk mencari nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan/*overall heat transfer coefficient* (U) dengan persamaan berikut[16]:

$$Q = U \cdot A_o \cdot LMTD_{corr} \quad (3.2)$$

dimana,

U = koefisien perpindahan panas keseluruhan
(W/m² °C)

A_o = Luas area perpindahan panas (m²)

LMTD_{corr} = *Log Mean Temperature Difference Corrected* (°C)

3.3.2 Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Dengan menggunakan persamaan (3.2) maka nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi aktual (U_{actual}) didapat dengan mengubah bentuk persamaan menjadi bentuk berikut:

$$U_a = \frac{Q}{A_o \cdot LMTD_{corr}} \quad (3.3)$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi bersih (U_{clean}), maka digunakan persamaan (3.4) dengan nilai koefisien h_t , h_s , R_{fi} dan K_w tertera seperti pada Tabel 3.2 berikut:

$$U_c = \frac{1}{\left(\frac{d_o}{h_t d_i} + \frac{d_o R_{fi}}{d_i}\right) + \frac{d_o \left(\ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)\right)}{2 K_w} + R_{fo} + \frac{1}{h_s}} \quad (3.4)$$

Tabel 3.2 Nilai h_t , h_s , R_{fi} , K_w dan A_o pada 11 unit *heat exchanger*

Unit <i>Heat exchanger</i>	h_t (W/m ² K)	h_s (W/m ² K)	R_{fi} (m ² /°C W)	K_w (m ² /°C W)	A_o (m ²)
HE-01	1506	1812	3.60E-05	3.98E-05	650
HE-02	1567	991	4.00E-04	3.98E-05	574
HE-03	1194	2017	1.90E-04	3.98E-05	1143
HE-04	466	1620	1.25E-03	3.98E-05	744
HE-05	996	1666	4.00E-04	3.98E-05	1623
HE-06	2241	1168	4.80E-04	3.98E-05	237
HE-07	1903	201	1.62E-03	3.98E-05	295
HE-08	756	843	3.00E-04	3.98E-05	581
HE-09	1769	941	6.50E-04	3.98E-05	494
HE-10	3342	996	5.00E-04	3.98E-05	243
HE-11	1283	985	5.00E-05	3.98E-05	327

3.3.3 Perhitungan Efisiensi *Heat Exchanger*

Untuk menghitung efisiensi *heat exchanger* dapat dilakukan menggunakan persamaan (3.5) berikut:

$$Efficiency = \frac{U_a}{U_c} \quad (3.5)$$

dimana U_a merupakan *overall heat transfer coefficient actual* yang didapat dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (3.3) dan U_c merupakan *overall heat transfer coefficient clean* yang didapat dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (3.4).

3.3.4 Perhitungan Kinerja Pompa

Kerja pompa dipengaruhi oleh besarnya *pressure drop* pada sisi *tube* dan sisi *shell* sebuah *heat exchanger*. Salah satu faktor yang mempengaruhi *pressure drop* adalah karena adanya *fouling* pada *heat exchanger*. Semakin besar *fouling* pada *heat exchanger*, maka semakin besar pula kerja pompa. Untuk menghitung besar kerja pompa, maka dapat digunakan persamaan berikut:

$$W_{pump} = \frac{m \cdot \Delta p}{\eta} \quad (3.6)$$

dimana,

- m = Laju aliran massa (kg/s)
- Δp = *Pressure Drop* (kg/cm²)
- η = Efisiensi *heat exchanger*

3.3.5 Perhitungan Saving

Saving dapat diperoleh dari maksimum energi yang disimpan atau dihasilkan pada saat proses transfer panas di *heat exchanger* (*energy recovery*)[9]. Tetapi untuk mendapatkan *saving* yang maksimum, maka *capital cost* dan *pump cost* harus minimum, serta dipengaruhi oleh penentuan jadwal pembersihan dan *maintenance cost*[13]. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *saving* pada *heat exchanger* adalah sebagai berikut:

$$Saving = E - (C_c + P_c + M_c) \quad (3.7)$$

dimana,

- E = *Energy revenue*
- C_c = *Capital cost*
- P_c = *Pump cost*
- M_c = *Maintenance cost*

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *energy revenue* adalah sebagai berikut:

$$E = Q \cdot Ce \quad (3.8)$$

dimana,

Q = *Heat duty* (GW)

Ce = *Energy price* (USD/GW) = 2,48[11]

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *capital cost* adalah sebagai berikut:

$$Cc = A \cdot C_{HE} \quad (3.9)$$

dimana,

A = Luas area *heat transfer* (m²)

C_{HE} = *Cost heat exchanger* ($\frac{USD}{m^2}$) = 359,77[11]

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *Pump cost* adalah sebagai berikut:

$$Pc = Wp \cdot Pu \quad (3.10)$$

dimana,

Wp = Kerja pompa (KWh)

Pu = *Pump cost heat exchanger* ($\frac{USD}{KWh}$) = 0,021[9]

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *Maintenance cost* adalah sebagai berikut:

$$Mc = n \cdot M_{HE} \quad (3.11)$$

dimana,

n = Jumlah pembersihan *heat exchanger*

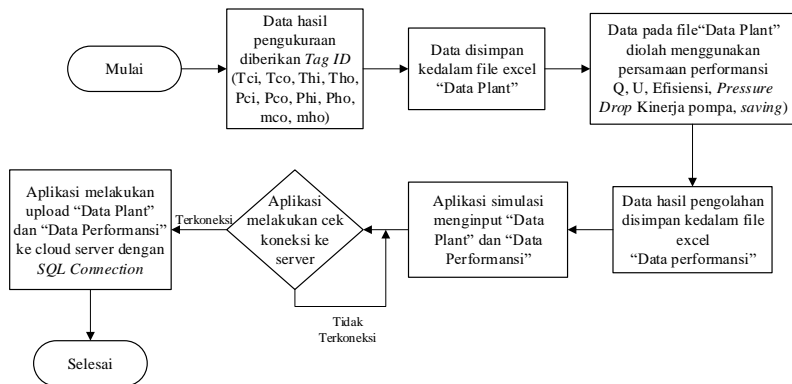
M_{HE} = *Maintenance cost heat exchanger* (USD) = 30.000[9]

3.4 Perancangan Aplikasi Simulasi Sistem Pengukuran Pada *Heat Exchanger*

Pada tugas akhir ini, sistem pengukuran sensor *temperature*, *pressure* dan *mass flow rate* pada *heat exchanger* disimulasikan menggunakan aplikasi buatan pada sistem operasi *windows*.

Aplikasi ini untuk mensimulasikan bahwa sistem berhasil diukur dengan sensor dan data hasil pengukuran dikirim ke *database* di *cloud server*.

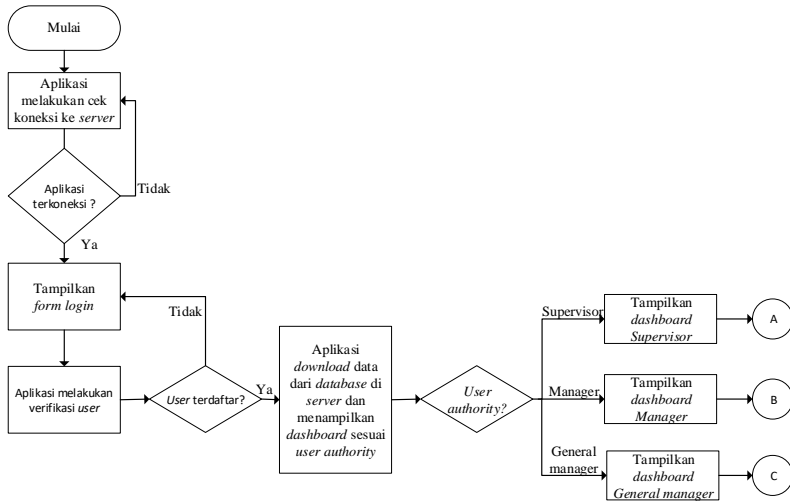
Diagram blok untuk aplikasi simulasi pengukuran *heat exchanger* dapat dilihat seperti Gambar 3.2 berikut:



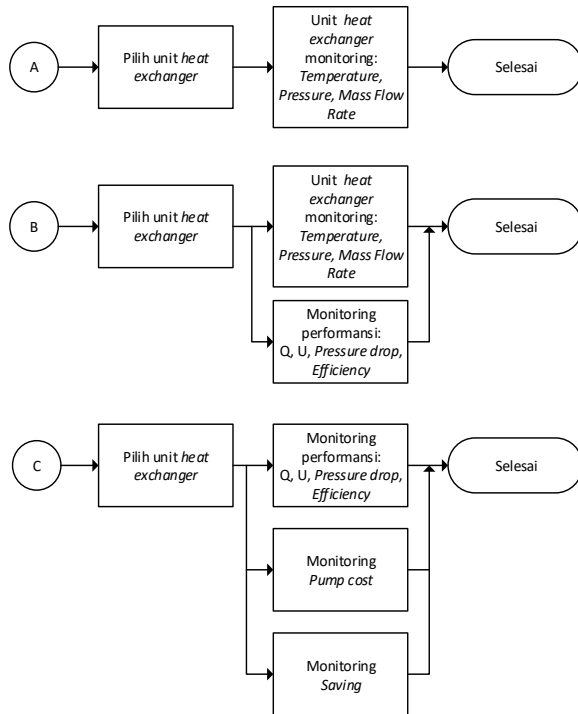
Gambar 3.2 Diagram blok rancangan aplikasi untuk simulasi sistem pengukuran pada *heat exchanger*

3.5 Perancangan Aplikasi Monitoring Berbasis *Internet of Things*

Untuk aplikasi monitoring pada sistem operasi *android*, data pada *server* akan dibaca oleh *mobile app* pada sistem operasi *android* yang dibuat menggunakan *software* Delphi XE8. *Mobile app* tersebut diinstal kedalam sebuah *smartphone* dan akan menginterpretasikan data hasil *download* dari *database* yang ada di *server* dalam bentuk tampilan grafik ketika *user* berhasil *login*, sehingga *user* lebih mudah memahami hasil perhitungan performansi *engineering* dan performansi ekonomi pada *heat exchanger*. Aplikasi pada *android* menggunakan sistem *user authority* agar *user* mendapatkan informasi sesuai *job desc* masing-masing. Alur kerja untuk rancangan *software* sistem monitoring digambarkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.3 Diagram blok rancangan aplikasi monitoring pada *android*



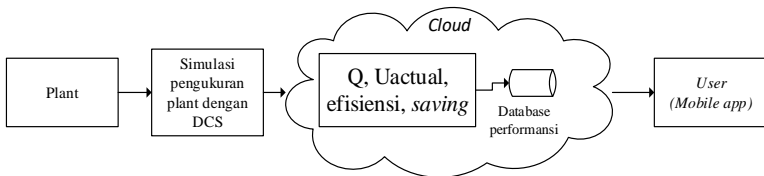
Gambar 3.4 Diagram blok rancangan aplikasi sistem monitoring pada *android* berdasarkan *user authority*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

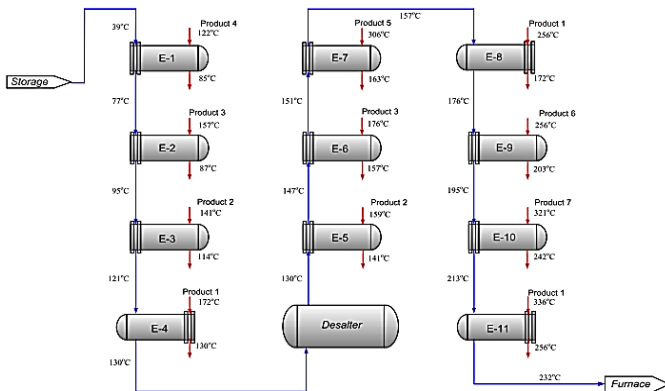
4.1 Simulasi Sistem Monitoring *Heat Exchanger*

Hasil dari perancangan untuk sistem monitoring pada *heat exchanger* berbasis *Internet of Things* pada tugas akhir ini adalah seperti Gambar 4.1 berikut:



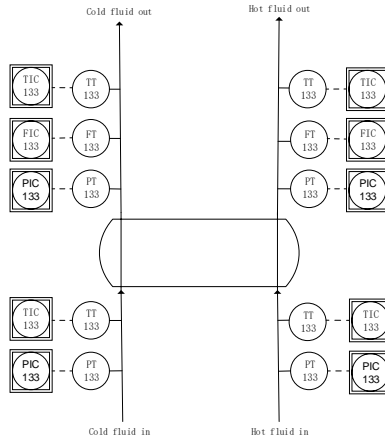
Gambar 4.1 Diagram alur hasil rancangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* pada *heat exchanger*

Plant yang dimonitoring pada tugas akhir ini adalah *heat exchanger network (HEN)* yang terdiri dari rangkaian 11 unit *heat exchanger*. *Process Flow Diagram (PFD)* dari *heat exchanger network* yang dimonitoring pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini:



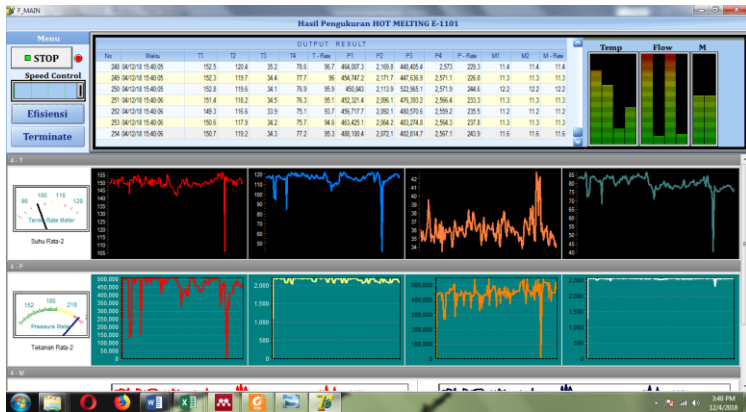
Gambar 4.2 *Process Flow Diagram (PFD)* dari *heat exchanger network (HEN)* yang terdiri dari rangkaian 11 unit *heat exchanger*

Untuk satu unit *heat exchanger* yang terdapat pada *heat exchanger network* seperti Gambar 4.2 diatas, terdiri dari 4 sensor *temperature*, 4 sensor *pressure* dan 2 sensor *mass flow rate*. *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)* untuk satu unit *heat exchanger* pada tugas akhir ini adalah seperti Gambar 4.3 dibawah ini:



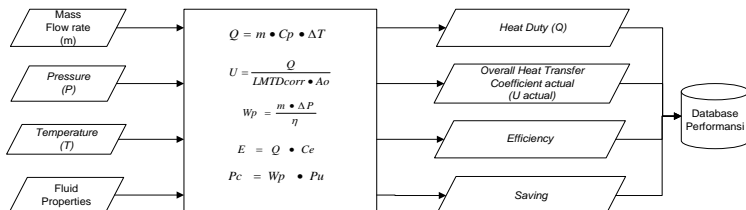
Gambar 4.3 *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)* untuk satu unit *heat exchanger*

Hasil dari simulasi menggunakan aplikasi di sistem operasi *windows* untuk sistem pengukuran satu unit *heat exchanger* dengan sensor *temperature*, *pressure* dan *mass flow rate* pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini. Data hasil pengukuran dibaca dan diinterpretasi dengan grafik oleh aplikasi. Setelah data dibaca, kemudian data sensor *temperature*, *pressure*, *mass flow rate* dan data *fluid properties* dikirimkan ke *database* di *cloud server* menggunakan *SQL Connection*, karena *database* yang digunakan pada *server* adalah *SQL database*.



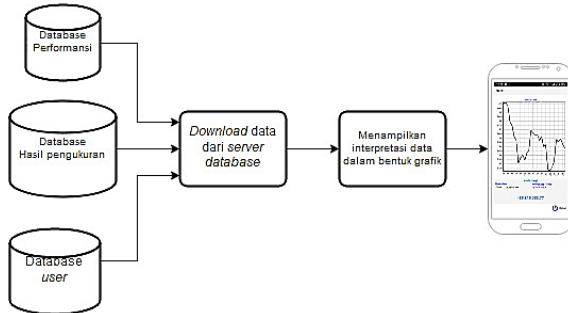
Gambar 4.4 Hasil simulasi menggunakan aplikasi untuk sistem pengukuran pada satu unit *heat exchanger* di sistem operasi windows

Setelah data tersimpan dalam *database* di *server*, data hasil pengukuran sensor *temperature*, *pressure*, *mass flow rate* dan *fluid properties* dimasukkan kedalam persamaan *heat duty* (Q), *overall heat transfer coefficient actual* (U actual), kinerja pompa (W_p), *energy price* (E) dan *pump cost* (P_c). Untuk jumlah *maintenance* yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebanyak satu kali *maintenance* setiap satu tahun (365 hari). Hasil perhitungan setelah data hasil pengukuran sensor dan *fluid properties* dimasukkan pada persamaan-persamaan kemudian disimpan di *database* performansi. Diagram blok untuk pemrosesan data pada *cloud server* dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Diagram blok pemrosesan data pada *cloud server*

Data yang terdapat pada *database* hasil pengukuran dan *database* performansi pada *cloud server* di *download* oleh *mobile app*. Data-data ini kemudian ditampilkan oleh *mobile app* dalam bentuk interpretasi grafik. Diagram blok pada proses ini dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut:

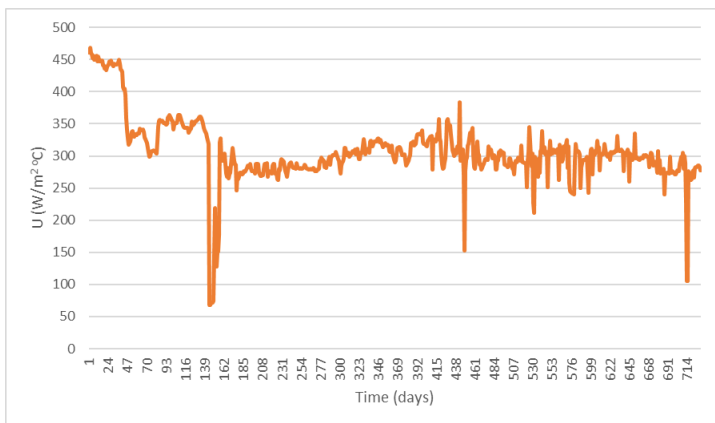


Gambar 4.6 Diagram blok hasil rancangan aplikasi monitoring berbasis *Internet of Things* pada *android*

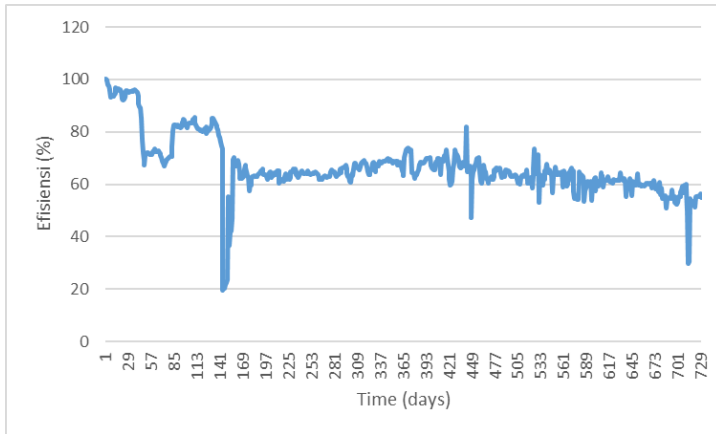
Pada tugas akhir ini, data yang digunakan untuk perhitungan performansi *heat exchanger* adalah data hasil pengukuran selama 730 hari (2 tahun). Grafik hasil perhitungan performansi *heat duty* (Q), *overall heat transfer coefficient actual* (U actual), *efficiency*, *pressure drop* dan *saving* untuk satu unit *heat exchanger* di *cloud server* dapat dilihat pada Gambar 4.7 sampai dengan Gambar 4.11 seperti di bawah ini:



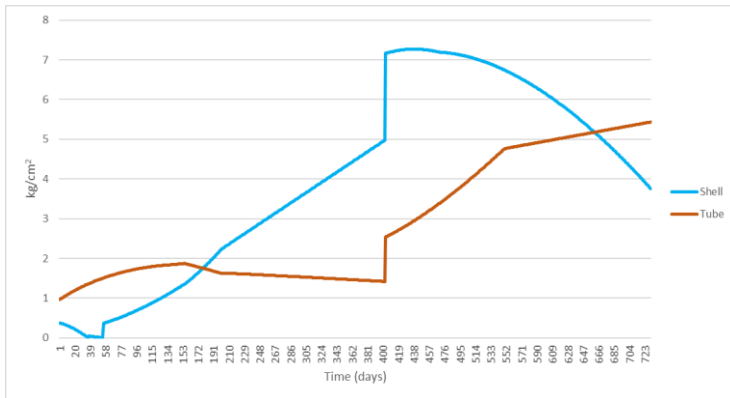
Gambar 4.7 Heat duty (Q) pada satu unit *heat exchanger*



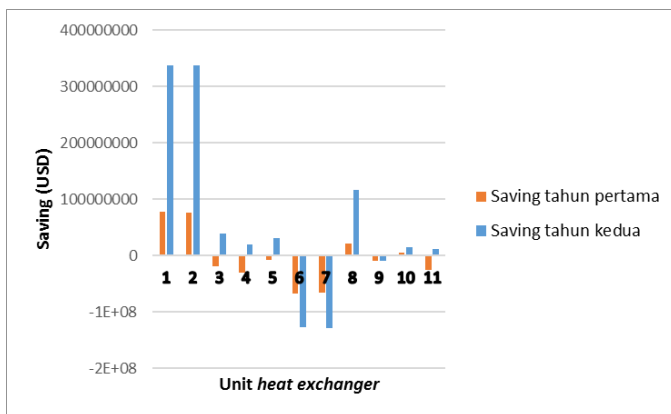
Gambar 4.8 Koefisien *heat transfer* keseluruhan pada kondisi aktual (U actual) pada satu unit *heat exchanger*



Gambar 4.9 Efisiensi pada satu unit *heat exchanger*



Gambar 4.10 Pressure drop sisi *shell* and *tube* pada satu unit *heat exchanger*

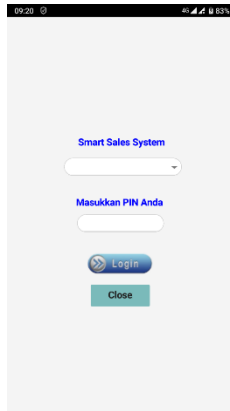


Gambar 4.11 Saving pada 11 unit *heat exchanger* selama dua tahun

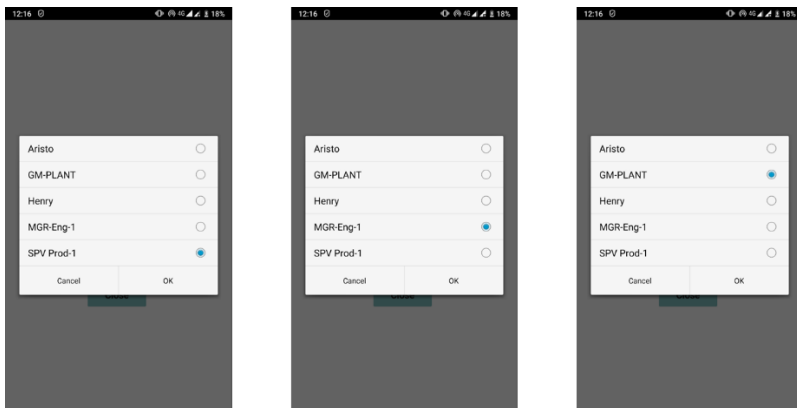
4.2 Hasil Rancangan Sistem Monitoring

Pada tugas akhir ini, sistem monitoring *heat exchanger* berbasis *Internet of Things* dibuat berbentuk *mobile app* pada sistem operasi *android*. *Mobile app* dibuat dengan *software programming Delphi XE8*. Aplikasi bekerja dengan mendownload data dari *database* di *cloud server* dan ditampilkan kepada *user* dalam bentuk grafik. Data yang didownload dari *database* di *server* oleh *mobile app* adalah data hasil pengukuran dan data hasil perhitungan persamaan performansi *heat exchanger*. 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 *job desc* masing-masing *user*. Hasil desain untuk *dashboard* pada *mobile app* dapat dilihat pada Gambar 4.12 sampai dengan Gambar 4.14 berikut:

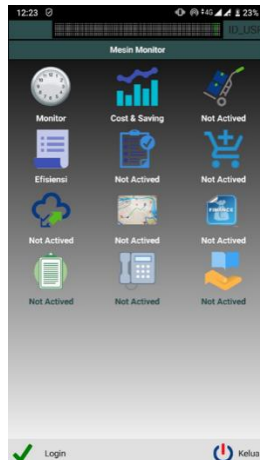


Gambar 4.12 Menu untuk sistem *login* pada *mobile app* hasil rancangan



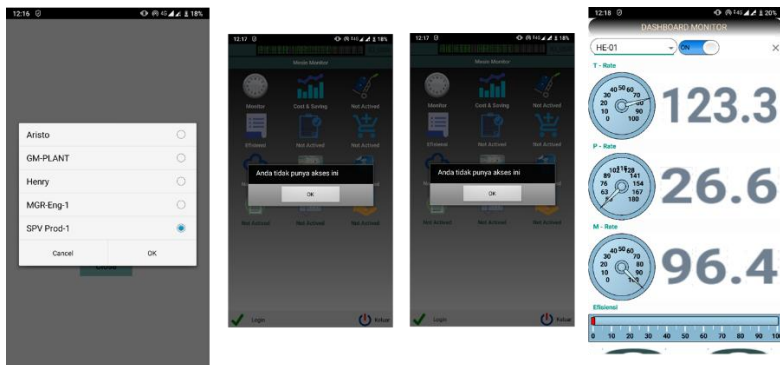
Gambar 4.13 Penggunaan *user authority* ketika melakukan *login* pada *mobile app* hasil rancangan

Untuk melakukan *login*, maka seorang *user* harus memilih *authority/job desc user* tersebut. Setelah memilih, *user* harus memasukkan *password* pada kolom PIN. Jika *user* salah memasukkan *password*, maka aplikasi akan menampilkan kembali sistem *login* seperti Gambar 4.12. Sistem *user authority* ini dibuat agar *user* dapat mengakses informasi melalui *dashboard* sesuai dengan *job desc* masing-masing.



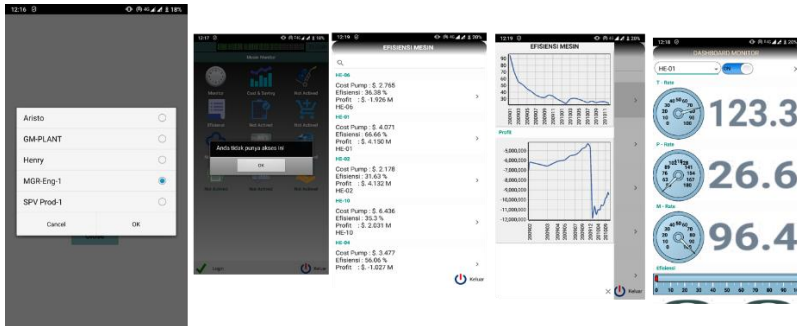
Gambar 4.14 Menu untuk monitoring hasil rancangan pada dashboard setelah user berhasil login

Ketika user SPV PROD-1 (*supervisor*) berhasil melakukan login, maka menu aplikasi yang bisa diakses hanyalah monitor. Menu ini hanya menampilkan data hasil pengukuran sensor *temperature*, *pressure* dan *mass flow rate* seperti Gambar 4.15 berikut:



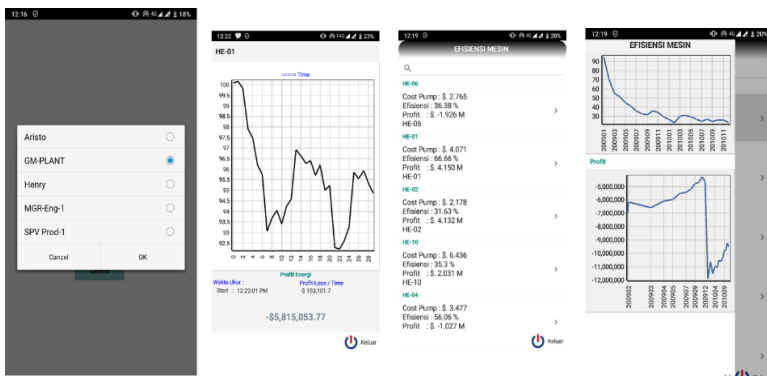
Gambar 4.15 Menu pada mobile app yang bisa diakses oleh user SPV PROD-1

Selanjutnya, jika *user* MGR-ENG-1 berhasil melakukan *login* ke aplikasi, maka *menu* yang bisa diakses hanya *menu* monitor dan *menu* efisiensi seperti Gambar 4.16 berikut:



Gambar 4.16 Menu pada mobile app yang bisa diakses oleh user MGR-ENG-1

Kemudian, jika *user* GM-PLANT berhasil melakukan *login* ke aplikasi, maka menu yang bisa diakses hanya *menu* efisiensi dan *menu* cost & saving seperti Gambar 4.17 berikut:



Gambar 4.17 Menu pada mobile app yang bisa diakses oleh user GM-PLANT

4.3 Pembahasan

Dari hasil perancangan sistem monitoring, didapatkan hasil berupa grafik performansi *engineering* seperti pada Gambar 4.7 sampai Gambar 4.10 dan performansi ekonomi pada Gambar 4.11

untuk satu unit *heat exchanger*. Terjadi penurunan pada *heat duty*, sehingga efisiensi pada *heat exchanger* menurun. Penurunan ini diakibatkan oleh adanya pengotor/*fouling* pada dinding material sisi *shell* dan sisi *tube*, sehingga proses transfer panas dari fluida melewati dinding material terganggu. Setelah diadakan proses pembersihan/*maintenance* pada *heat exchanger* pada hari ke 365, maka terjadi kenaikan pada nilai *heat duty*. Dengan penerapan sistem monitoring berbasis *Internet Of Things*, hal tersebut dapat diketahui secara *real time* karena sistem tersambung ke *server* dan melakukan proses *download* data dari *database* secara kontinu, sehingga penurunan efisiensi tersebut dapat diketahui dan diatasi dengan cepat melalui koordinasi antara *manager engineering* dan *supervisor*.

Pada *mobile app* sistem monitoring berbasis *Internet of Things* hasil rancangan pada tugas akhir ini, digunakan untuk memonitor 11 unit *heat exchanger* pada *heat exchanger network*. Untuk satu unit *heat exchanger*, data performansi yang dihitung dan dimonitor adalah *heat duty (Q)*, *overall heat transfer coefficient actual (U actual)*, *pressure drop*, *efficiency* dan *saving*. Dengan hasil rancangan *mobile app* pada tugas akhir ini, *user* yang berhasil *login* dapat mengakses informasi setiap unit *heat exchanger* sesuai dengan hak akses *user*. *User* yang memiliki hak akses sebagai *supervisor (SPV Prod-1)* hanya dapat mengakses menu monitor. Pada menu monitor, *user SPV Prod-1* dapat melakukan monitoring hasil pengukuran sensor *temperature*, *pressure* dan *mass flow rate*. *User* juga dapat memilih unit *heat exchanger* yang ingin dimonitor. Pada menu monitor, grafis berbentuk angka berubah setiap detik, hal ini karena *mobile app* melakukan proses *download* data setiap detik dari *database* di *server*. Jika *user MGR-Eng-1* berhasil *login*, maka hanya dapat mengakses menu efisiensi dan cost & saving pada *dashboard*. Pada menu efisiensi, terdapat informasi efisiensi untuk 11 unit *heat exchanger*. Jika menu pada satu unit *heat exchanger* dipilih, maka akan keluar grafik antara efisiensi *heat exchanger* dan besar *saving*. Jika *user* memiliki akses sebagai *general manager (GM-PLANT)*, maka menu yang bisa diakses hanya efisiensi dan cost & saving.

Pada kedua *menu* ini, terdapat kesamaan data yang ditampilkan yaitu data profit/*saving*. Pada *menu cost & saving*, grafik profit ditampilkan setiap satu detik. Dengan fasilitas ini, seorang *general manager* mendapatkan informasi *saving* pada satu unit *heat exchanger* secara *real time*. Seorang *general manager* juga dapat membandingkan *saving* pada setiap unit *heat exchanger* karena *mobile app* memiliki menu untuk mengakses informasi setiap unit *heat exchanger*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perancangan dan penerapan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* pada tugas akhir ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan dan penerapan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* dapat dilakukan dengan melakukan simulasi sistem pengukuran sensor pada *plant* (rangkainan 11 unit *heat exchanger/heat exchanger network*), kemudian membuat sistem monitoring berupa *mobile app* yang terhubung ke *cloud server* dan melakukan proses *download* data (variabel proses, performansi engineering dan performansi ekonomi) dari *database*. Data ini kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik pada *mobile app*, dimana grafik ini berupa performansi engineering dan performansi ekonomi pada setiap unit *heat exchanger*.
2. Dengan menerapkan *Internet of Things*, monitoring variabel proses berupa *temperature, pressure, mass flow rate* serta performansi *heat exchanger* berupa *heat duty, overall heat transfer coefficient, pressure drop*, efisiensi dan *saving* pada rangkainan 11 unit *heat exchanger (heat exchanger network)* dapat dilakukan secara *real time* dan *sharing* informasi bersesuaian dengan *job desc* masing-masing user.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya, sistem monitoring berbasis *Internet Of Things* dapat diterapkan pada *plant* selain *heat exchanger*.
2. Untuk penelitian selanjutnya, perlu ditambahkan fitur *warning/alarm* pada sistem monitoring berbasis *Internet Of Things*.

3. Untuk penelitian selanjutnya, *data analysis* pada performansi berupa optimasi atau *machine learning* dapat diterapkan di sistem monitoring dan hasilnya digunakan untuk *decision support system*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. M. Peng, L. Hui, K. M. Wang, and L. C. Chang, "Effectiveness analysis of an IoT mechanism in support of monitoring Chinese white dolphins by simulation model," *J. Supercomput.*, 2018.
- [2] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee, and B. Yin, "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6505–6519, 2017.
- [3] V. Mani and S. Sankaranarayanan, "IoT Based Smart Energy Management System," *Int. J. Appl. Eng. Res. ISSN*, vol. 12, no. 16, pp. 973–4562, 2017.
- [4] A. Fakheri, *Heat Exchanger Fundamentals: Analysis and Theory of Design*. 2018.
- [5] F. Coallier, "A system of systems engineering perspective on IoT trustworthiness," *2018 13th Syst. Syst. Eng. Conf. SoSE 2018*, pp. 89–91, 2018.
- [6] X. Zhang, M. Zhang, F. Meng, Y. Qiao, S. Xu, and S. H. Hour, "A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa," *IEEE Internet Things J.*, vol. 4662, no. c, 2018.
- [7] S. Gierej, "The Framework of Business Model in the Context of Industrial Internet of Things," *Procedia Eng.*, vol. 182, pp. 206–212, 2017.
- [8] T. R. Biyanto, "Fouling resistance prediction using artificial neural network nonlinear auto-regressive with exogenous input model based on operating conditions and fluid properties correlations," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1737, 2016.
- [9] T. R. Biyanto, M. Ramasamy, A. B. Jameran, and H. Y. Fibrianto, "Thermal and hydraulic impacts consideration in refinery crude preheat train cleaning scheduling using recent stochastic optimization methods," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 108, pp. 1436–1450, 2016.
- [10] K. Thulukkanam, *Heat Exchanger Design Handbook, Second*

Edition, vol. 20135140. 2013.

- [11] T. R. Biyanto, H. Y. Fibrianto, and M. Ramasamy, “□ Thermal and Hydraulic Impacts Consideration in Refinery Crude Preheat,” *Appl. Therm. Eng.*, 2016.
- [12] G. D. Ulrich and J. Wiley, “A GUIDE TO CHEMICAL ENGINEERING PROCESS DESIGN AND ECONOMICS.”
- [13] T. R. Biyanto, M. D. Khairansyah, R. Bayuaji, H. Firmanto, and T. Haksoro, “Imperialist Competitive Algorithm (ICA) for Heat Exchanger Network (HEN) Cleaning Schedule Optimization,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 72, pp. 5–12, 2015.
- [14] M. D. Khairansyah and T. R. Biyanto, “Economical Aspect of Heat Exchanger Cleaning Affected by Fouling,” pp. 27–28, 2015.
- [15] R. Veriyawan, T. R. Biyanto, and G. Nugroho, “Optimasi Desain Heat Exchanger Shell-And- Tube Menggunakan Metode Particle Swarm,” vol. 3, no. 2, 2014.
- [16] H. Huda, R. Handogo, and T. R. Biyanto, “Cleaning Schedule Operations in Heat Exchanger Networks,” vol. 07001, pp. 1–6, 2018.

LAMPIRAN

A. Kode program Delphi pada aplikasi *windows* untuk simulasi sistem pengukuran

1. Mengatur koneksi data ke *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=TRB;Data
    Source=202.148.24.218;Use Procedure for Prepare=1;Auto
    Translate=True;Packet '+' Size=4096;Workstation
    ID=HENRY;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. Mengambil data pada tabel *database* di *server* (data hasil pengukuran sensor)

```
procedure TF_MAIN.VrPowerButton1Click(Sender: TObject);
begin
    if BLINK.Visible=TRUE THEN
        BEGIN
            BLINK.Visible:=FALSE;
            DATA_MEASURE.Close;
```

```

    TIMER1.Enabled:=FALSE;
    TIMER2.Enabled:=FALSE;
    TIMER3.Enabled:=FALSE;
    VrPowerButton1.Caption:='START';
END
ELSE
BEGIN
    BLINK.Visible:=TRUE;
    DATA_MEASURE.Close;
    DATA_MEASURE.Open;
    DATA_MEASURE.FIRST;
    NO:=1;
    DATA_SIM.CLOSE;
    DATA_SIM.Open;
    TIMER1.Enabled:=TRUE;
    TIMER2.Enabled:=TRUE;
    TIMER3.Enabled:=TRUE;
    VrPowerButton1.Caption:='STOP';
END;
end;

```

3. Menampilkan Tabel data hasil pengukuran ke dalam bentuk grafik dan dashboard

```

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;
    DATA_SIMP4.Value:=DATA_MEASUREP4.Value;

```

```
DATA_SIMM1.Value:=DATA_MEASUREM1.Value;
DATA_SIMM2.Value:=DATA_MEASUREM2.Value;
DATA_SIMQ.Value:=DATA_MEASUREEQ.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;
```

B. Kode program Delphi pada *mobile app* untuk sistem monitoring

1. Tombol on/off di menu monitor

```
procedure TF_BROWSE.SLIDStateChanged(Sender: TObject);  
begin
```

```
  if SLIDE.State = (ssOn) then
```

```
    BEGIN
```

```
      F_BROWSE.DATA_MEASURE.CLOSE;
```

```
      F_BROWSE.DATA_MEASURE.SQL.CLEAR;
```

```
      F_BROWSE.DATA_MEASURE.SQL.Text:='SELECT *  
FROM DATA_MEASURE WHERE MESIN = :M';
```

```
F_BROWSE.DATA_MEASURE.Params[0].Value:=ComboBox1  
.Items[ComboBox1.ItemIndex];
```

```
  F_BROWSE.DATA_MEASURE.Execute;
```

```
  F_BROWSE.DATA_MEASURE.FIRST;
```

```
  F_BROWSE.DATA_SIM.CLOSE;
```

```
    F_BROWSE.DATA_SIM.SQL.CLEAR;
```

```
    F_BROWSE.DATA_SIM.SQL.Text:='SELECT * FROM  
DATA_SIM';
```

```
  F_BROWSE.DATA_SIM.Execute;
```

```
  T_FLOW.Enabled:=TRUE;
```

```
  T_GAUGE.Enabled:=TRUE;
```

```
  f_browse.Label14.Text:=TIMEtostr(NOW);
```

```
  LABEL18.Text:=ComboBox1.Items[ComboBox1.ItemIndex];
```

```
  SLIDE2.State := (ssOn); ERROR
```

```
  F_BROWSE.TIME_EFF.Enabled:=TRUE;
```

```
  END
```

```
  ELSE
```

```
    BEGIN
```

```
      T_FLOW.Enabled:=FALSE;
```

```
      T_GAUGE.Enabled:=FALSE;
```

```
      F_BROWSE.TIME_EFF.Enabled:=false;
```

```
T_EFF.Enabled:=FALSE;  
END;  
end;
```

2. Pengambilan data hasil sensor dari *database* di *cloud server*

```
procedure TF_BROWSE.T_FLOWTimer(Sender: TObject);  
begin  
  if DATA_MEASURE.Active=TRUE then  
    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;  
      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_SIMUA.Value:=DATA_MEASUREUA.Value;  
      DATA_SIMUC.Value:=DATA_MEASUREUC.Value;  
      DATA_SIMR.Value:=DATA_MEASURER.Value;  
  
      DATA_SIMCOST.Value:=DATA_MEASURECOST.Value;  
      DATA_SIMCalcFields(DATA_SIM);  
      DATA_SIM.Post;  
      if tabcontrol1.ActiveTab=T_MON then  
        BEGIN  
          Series2.Add(DATA_SIMT1.Value,DATA_SIMTGL.AsString);
```

```

LineSeries1.Add(DATA_SIMP1.Value,DATA_SIMTGL.AsString);
    END;
    DATA_MEASURE.NEXT;
END;
end;

```

3. Kode program Delphi secara keseluruhan

```

unit BrowseU;
interface
uses
    System.SysUtils, System.Types, System.UITypes,
    System.Classes, System.Variants,
    FMX.Types, FMX.Controls, FMX.Forms, FMX.Graphics,
    FMX.Dialogs, FMX.TabControl,
    FMX.TMSBaseControl, FMX.TMSTileList,
    FMX.TMSToolBar, FMX.ListView.Types,
    System.Rtti, System.Bindings.Outputs, Data.Bind.EngExt,
    Fmx.Bind.DBEngExt,
    Data.Bind.Components, Data.Bind.DBScope, Data.DB,
    FMX.Layouts, FMX.Objects,
    FMX.TMSGauge, FMXTee.Engine, FMXTee.Series,
    FMXTee.Procs, FMXTee.Chart,
    FMX.Controls.Presentation, FMX.StdCtrls, MemDS,
    DBAccess, Uni, FMX.ListBox,
    FMX.ListView, Fmx.Bind.Editors, FMX.TMSSlider, MATH,
    FMX.MultiView,
    FMX.TMSMatrixLabel;

type
    TF_BROWSE = class(TForm)
        TabControl1: TTabControl;
        tab_mesin: TTabItem;
        TMSFMXToolBar1: TTMSFMXToolBar;

```


BUTTON1: TTMSFMXToolBarButton;
ListView1: TListView;
ListBox1: TListBox;
ListBoxItem1: TListBoxItem;
DAILY_MSN_UTIL: TUniQuery;
DAILY_MSN_UTILUTIL: TStringField;
DAILY_MSN_UTILTOT: TIntegerField;
Label1: TLabel;
Chart1: TChart;
Series1: TPieSeries;
ListBoxItem2: TListBoxItem;
GAUGE1: TTMSFMXCircularGauge;
Label2: TLabel;
Rectangle1: TRectangle;
ListBoxItem3: TListBoxItem;
TODAY: TUniQuery;
HorzScrollBar1: THorzScrollBar;
TODAYMESIN_CODE: TWideStringField;
TODAYOPR_NAME: TWideStringField;
TODAYQTY_GOOD: TCurrencyField;
TODAYQTY_NG: TCurrencyField;
BindSourceDB1: TBindSourceDB;
BindingsList1: TBindingsList;
Label3: TLabel;
Label5: TLabel;
Label4: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
LinkPropertyToFieldQTY_GOOD: TLinkPropertyToField;
LinkPropertyToFieldOPR_NAME: TLinkPropertyToField;
T_MON: TTabItem;
ToolBar1: TToolBar;
ListBox2: TListBox;
ListBoxItem4: TListBoxItem;

RoundRect1: TRoundRect;
Label9: TLabel;
Text1: TText;
ListBoxItem5: TListBoxItem;
GAUGE_SUHU: TTMSFMXCircularGauge;
ListBoxGroupHeader1: TListBoxGroupHeader;
ListBoxGroupHeader2: TListBoxGroupHeader;
GAUGE_P: TTMSFMXCircularGauge;
Text2: TText;
ListBoxGroupHeader3: TListBoxGroupHeader;
ListBoxItem6: TListBoxItem;
GAUGE_M: TTMSFMXCircularGauge;
Text3: TText;
ListBoxGroupHeader4: TListBoxGroupHeader;
ListBoxItem7: TListBoxItem;
TMSFMXLinearGauge1: TTMSFMXLinearGauge;
Text4: TText;
SLIDE: TTMSFMXSlider;
SpeedButton1: TSpeedButton;
DATA_MEASURE: TUniQuery;
T_FLOW: TTimer;
T_GAUGE: TTimer;
T_PRESSURE: TTimer;
CHART_SUHU: TTimer;
V_CHART: TMultiView;
TABCONTROL2: TTabControl;
T2_SUHU: TTabItem;
ToolBar2: TToolBar;
SpeedButton2: TSpeedButton;
Chart2: TChart;
Series2: TLineSeries;
T2_FLOW: TTabItem;
Chart3: TChart;
LineSeries1: TLineSeries;
ToolBar3: TToolBar;

SpeedButton3: TSpeedButton;
T_EFF: TTabItem;
Panel1: TPanel;
ToolBar4: TToolBar;
Chart4: TChart;
Series3: TLineSeries;
Panel2: TPanel;
Panel3: TPanel;
Label10: TLabel;
Text5: TText;
Label11: TLabel;
Label14: TLabel;
SpeedButton4: TSpeedButton;
DATA_SIM: TUniQuery;
DATA_MEASURENOSEQ: TIntegerField;
DATA_MEASURETGL: TDateTimeField;
DATA_MEASURET1: TFloatField;
DATA_MEASURET2: TFloatField;
DATA_MEASURET3: TFloatField;
DATA_MEASURET4: TFloatField;
DATA_MEASUREP1: TFloatField;
DATA_MEASUREP2: TFloatField;
DATA_MEASUREP3: TFloatField;
DATA_MEASUREP4: TFloatField;
DATA_MEASUREM1: TFloatField;
DATA_MEASUREM2: TFloatField;
DATA_MEASUREQ: TFloatField;
DATA_MEASUREEFF: TFloatField;
DATA_MEASUREPROFIT: TFloatField;
DATA_SIMNOSEQ: TIntegerField;
DATA_SIMTGL: TDateTimeField;
DATA_SIMT1: TFloatField;
DATA_SIMT2: TFloatField;
DATA_SIMT3: TFloatField;
DATA_SIMT4: TFloatField;

DATA_SIMP1: TFloatField;
DATA_SIMP2: TFloatField;
DATA_SIMP3: TFloatField;
DATA_SIMP4: TFloatField;
DATA_SIMM1: TFloatField;
DATA_SIMM2: TFloatField;
DATA_SIMQ: TFloatField;
DATA_SIMEFF: TFloatField;
DATA_SIMPROFIT: TFloatField;
TIME_EFF: TTimer;
Label15: TLabel;
BindSourceDB2: TBindSourceDB;
LinkPropertyToFieldPROFIT: TLinkPropertyToField;
PROFIT_AKUM: TUniQuery;
Label12: TLabel;
Label17: TLabel;
DATA_SIMT_RATE: TFloatField;
DATA_SIMP_RATE: TFloatField;
DATA_SIMM_RATE: TFloatField;
LinkPropertyToFieldT1: TLinkPropertyToField;
LinkPropertyToFieldP1: TLinkPropertyToField;
LinkPropertyToFieldM1: TLinkPropertyToField;
RoundRect2: TRoundRect;
ComboBox1: TComboBox;
RoundRect3: TRoundRect;
ComboBox2: TComboBox;
slide2: TTMSFMXSlider;
DATA_MEASUREUA: TFloatField;
DATA_MEASUREUC: TFloatField;
DATA_MEASURER: TFloatField;
DATA_MEASURECOST: TFloatField;
DATA_MEASUREMESIN: TWideStringField;
DATA_SIMUA: TFloatField;
DATA_SIMUC: TFloatField;
DATA_SIMR: TFloatField;

DATA_SIMCOST: TFloatField;
DATA_SIMMESIN: TWideStringField;
T_MESIN: TTabItem;
ToolBar5: TToolBar;
MESIN_EFF: TUniQuery;
RoundRect4: TRoundRect;
Label13: TLabel;
ListView2: TListView;
MESIN_EFFMESIN: TWideStringField;
MESIN_EFFFISI: TStringField;
BindSourceDB3: TBindSourceDB;
LinkFillControlToField1: TLinkFillControlToField;
SpeedButton5: TSpeedButton;
TAB_EFF: TTabItem;
Label16: TLabel;
ToolBar6: TToolBar;
SpeedButton6: TSpeedButton;
ListBox3: TListBox;
ListBoxItem8: TListBoxItem;
Chart5: TChart;
Series4: TLineSeries;
ListBoxGroupHeader5: TListBoxGroupHeader;
ListBoxItem9: TListBoxItem;
Chart6: TChart;
Series5: TLineSeries;
MESIN_TREND: TUniQuery;
MESIN_TRENDP: TStringField;
MESIN_TRENDEFF: TFloatField;
MESIN_TRENDPROFIT: TFloatField;
Label18: TLabel;
procedure BUTTON1Click(Sender: TObject);
procedure SLIDEStateChanged(Sender: TObject);
procedure T_FLOWTimer(Sender: TObject);
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);

```

procedure Text1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Text2Click(Sender: TObject);
procedure TIME_EFFTimer(Sender: TObject);
procedure DATA_SIMCalcFields(DataSet: TDataSet);
procedure T_GAUGETimer(Sender: TObject);
procedure DATA_SIMBeforeInsert(DataSet: TDataSet);
procedure DATA_SIMAfterInsert(DataSet: TDataSet);
procedure slide2StateChanged(Sender: TObject);
procedure DATA_MEASUREAfterOpen(DataSet: TDataSet);
procedure ComboBox1Popup(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Popup(Sender: TObject);
procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
procedure ListView2ItemClick(const Sender: TObject;
  const AItem: TListViewItem);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  F_BROWSE: TF_BROWSE;

implementation

{$R *.fmx}

uses MainU;

VAR TOT,TOT_COST:REAL;
    NO_SEQ:INTEGER;
procedure TF_BROWSE.BUTTON1Click(Sender: TObject);
begin

```

```

DAILY_MSN_UTIL.Close;
DAILY_MSN_UTIL.SQL.Clear;
DAILY_MSN_UTIL.SQL.Text:='DAILY_MSN_UTIL :MSN,
:T';
DAILY_MSN_UTIL.Params[0].Value:=LABEL1.Text;
DAILY_MSN_UTIL.Params[1].Value:=DATE;
DAILY_MSN_UTIL.Execute;
SERIES1.Clear;
DAILY_MSN_UTIL.First;
while NOT DAILY_MSN_UTIL.Eof do
BEGIN

```

```

SERIES1.Add(DAILY_MSN_UTIL.TOT.AsFloat,DAILY_MSN
_UTIL.UTIL.AsWideString);
DAILY_MSN_UTIL.Next;
END;
TODAY.Close;
TODAY.SQL.Clear;
TODAY.SQL.Text:='OUTPUT_TODAY :MESIN';
TODAY.Params[0].Value:=LABEL1.Text;
TODAY.Execute;
GAUGE1.Value:=TODAY.QTY_GOOD.Value;
end;

```

```

procedure TF_BROWSE.ComboBox1Popup(Sender: TObject);
begin
SLIDE.State := (ssOFF);
T_EFF.Enabled:=FALSE;
T_FLOW.Enabled:=FALSE;
T_GAUGE.Enabled:=FALSE;
end;

```

```

procedure TF_BROWSE.ComboBox2Popup(Sender: TObject);
begin
SLIDE2.State := (ssOFF);

```

```
T_EFF.Enabled:=FALSE;  
T_FLOW.Enabled:=FALSE;  
T_GAUGE.Enabled:=FALSE;  
end;
```

```
procedure TF_BROWSE.DATA_MEASUREAfterOpen(DataSet:  
TDataSet);  
begin  
    TOT:=0;  
    TOT_COST:=0;  
end;
```

```
procedure TF_BROWSE.DATA_SIMAfterInsert(DataSet:  
TDataSet);  
begin  
    DATA_SIMNOSEQ.Value:=NO_SEQ+1;  
end;
```

```
procedure TF_BROWSE.DATA_SIMBeforeInsert(DataSet:  
TDataSet);  
begin  
    data_sim.last;  
    NO_SEQ:=DATA_SIMNOSEQ.Value;  
end;
```

```
procedure TF_BROWSE.DATA_SIMCalcFields(DataSet:  
TDataSet);  
begin
```

```
DATA_SIMT_RATE.Value:=(DATA_SIMT1.Value+DATA_S  
IMT2.Value+DATA_SIMT3.Value+DATA_SIMT4.Value)/4;
```

```
DATA_SIMP_RATE.Value:=(DATA_SIMP1.Value+DATA_S  
IMP2.Value+DATA_SIMP3.Value+DATA_SIMP4.Value)/4;
```



```
DATA_SIMM_RATE.Value:=(DATA_SIMM1.Value+DATA_S  
IMM2.Value)/2;
```

```
end;
```

```
procedure TF_BROWSE.FormCreate(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    TabControl1.TabPosition:=TTabPosition.None;
```

```
    TABCONTROL2.TabPosition:=TTabPosition.None;
```

```
end;
```

```
procedure TF_BROWSE.ListView2ItemClick(const Sender:  
TObject;
```

```
    const AItem: TListViewItem);
```

```
begin
```

```
    if
```

```
MESIN_EFF.Locate('MESIN',LinkFillControlToField1.BindList.  
GetSelectedValue.AsString,[]) then
```

```
    BEGIN
```

```
        MESIN_TREND.CLOSE;
```

```
        MESIN_TREND.SQL.Clear;
```

```
        MESIN_TREND.SQL.Text:='MESIN_TREND :MESIN';
```

```
MESIN_TREND.Params[0].Value:=MESIN_EFFMESIN.Value;
```

```
    MESIN_TREND.Execute;
```

```
    SERIES4.Clear;
```

```
    SERIES5.Clear;
```

```
    MESIN_TREND.First;
```

```
    while NOT MESIN_TREND.Eof do
```

```
    BEGIN
```

```
SERIES4.Add(MESIN_TRENDEFF.Value,MESIN_TRENDP.A  
sString);
```

```

SERIES5.Add(MESIN_TRENDPROFIT.Value,MESIN_TREND
P.AsString);
    MESIN_TREND.Next;
    END;
    V_CHART.ShowMaster;
    V_CHART.Visible:=TRUE;
    TABCONTROL2.ActiveTab:=TAB_EFF;
    END;
end;

```

```

procedure TF_BROWSE.SLIDEStateChanged(Sender: TObject);
begin
    if SLIDE.State = (ssOn) then
        BEGIN
            F_BROWSE.DATA_MEASURE.CLOSE;
            F_BROWSE.DATA_MEASURE.SQL.CLEAR;
            F_BROWSE.DATA_MEASURE.SQL.Text:='SELECT *
FROM DATA_MEASURE WHERE MESIN = :M';

            F_BROWSE.DATA_MEASURE.Params[0].Value:=ComboBox1
.Items[ComboBox1.ItemIndex];
            F_BROWSE.DATA_MEASURE.Execute;
            F_BROWSE.DATA_MEASURE.FIRST;
            F_BROWSE.DATA_SIM.CLOSE;
            F_BROWSE.DATA_SIM.SQL.CLEAR;
            F_BROWSE.DATA_SIM.SQL.Text:='SELECT * FROM
DATA_SIM';
            F_BROWSE.DATA_SIM.Execute;
            T_FLOW.Enabled:=TRUE;
            T_GAUGE.Enabled:=TRUE;
            f_browse.Label14.Text:=TIMEtostr(NOW);
            LABEL18.Text:=ComboBox1.Items[ComboBox1.ItemIndex];
//    SLIDE2.State := (ssOn); ERROR
            F_BROWSE.TIME_EFF.Enabled:=TRUE;

```

```
END
ELSE
BEGIN
    T_FLOW.Enabled:=FALSE;
    T_GAUGE.Enabled:=FALSE;
    F_BROWSE.TIME_EFF.Enabled:=false;
    T_EFF.Enabled:=FALSE;
END;
end;
```

```
procedure TF_BROWSE.T_FLOWTimer(Sender: TObject);
begin
    if DATA_MEASURE.Active=TRUE then
    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;
        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_SIMUA.Value:=DATA_MEASUREUA.Value;
        DATA_SIMUC.Value:=DATA_MEASUREUC.Value;
        DATA_SIMR.Value:=DATA_MEASURER.Value;

        DATA_SIMCOST.Value:=DATA_MEASURECOST.Value;
        DATA_SIMCalcFields(DATA_SIM);
```

```
DATA_SIM.Post;
if tabcontrol1.ActiveTab=T_MON then
BEGIN

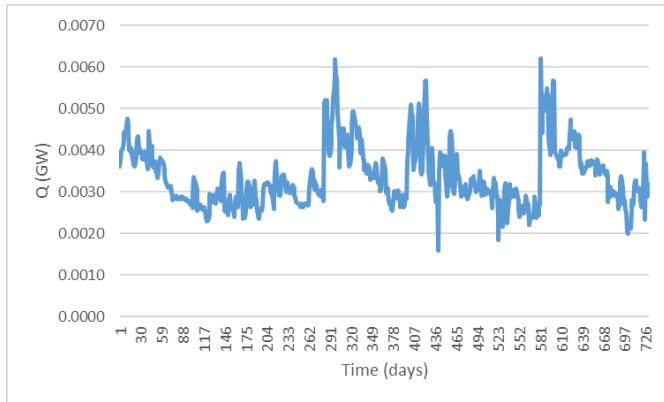
Series2.Add(DATA_SIMT1.Value,DATA_SIMTGL.AsString);

LineSeries1.Add(DATA_SIMP1.Value,DATA_SIMTGL.AsString);
    END;
    DATA_MEASURE.NEXT;
END;
end;

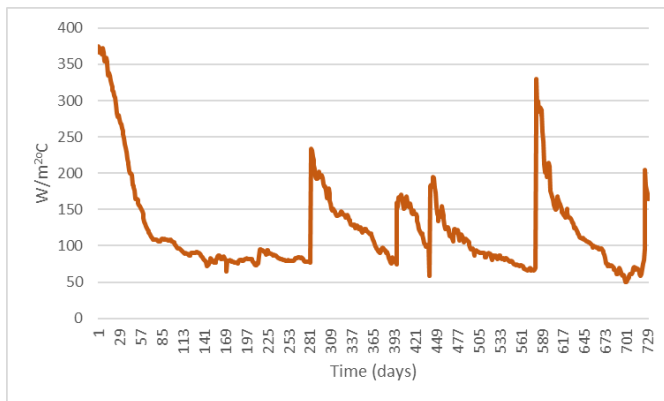
procedure TF_BROWSE.T_GAUGETimer(Sender: TObject);
begin
    GAUGE_SUHU.Value:=DATA_SIMT_RATE.Value;
    GAUGE_P.Value:=DATA_SIMP_RATE.Value;
    GAUGE_M.Value:=DATA_SIMM_RATE.Value;
end;
end.
```

C. Hasil perhitungan performansi *engineering* dan performansi ekonomi pada 11 unit *heat exchanger*

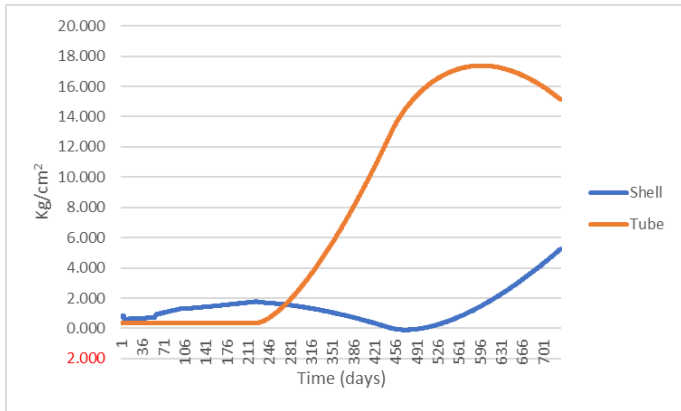
1. Heat Exchanger Unit 2



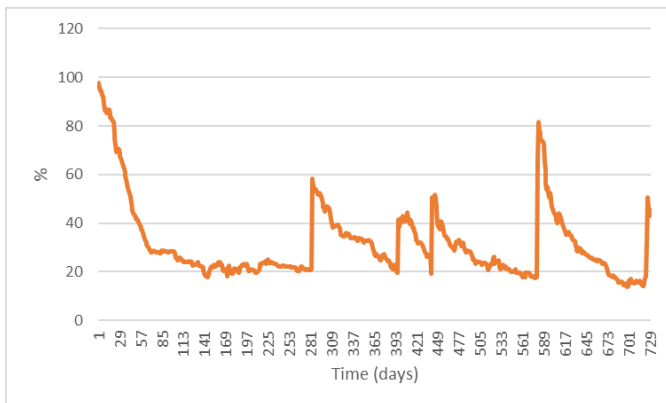
Heat duty HE 2



U actual HE 2

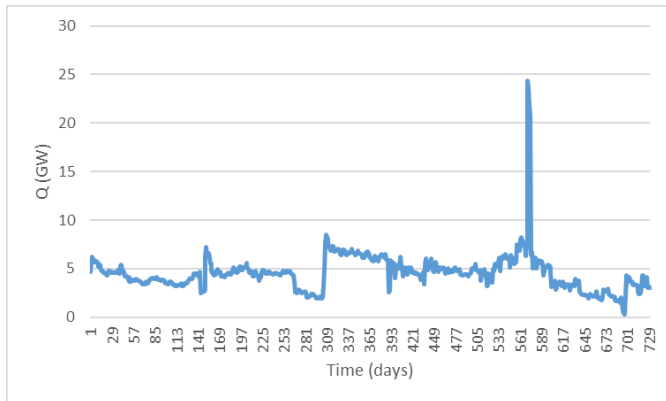


Pressure drop HE 2

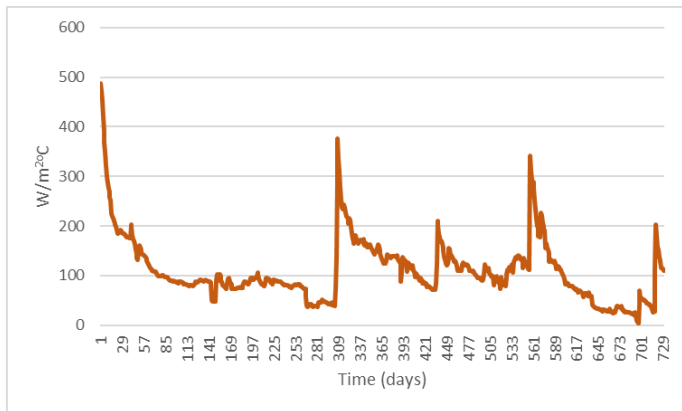


Efisiensi HE 2

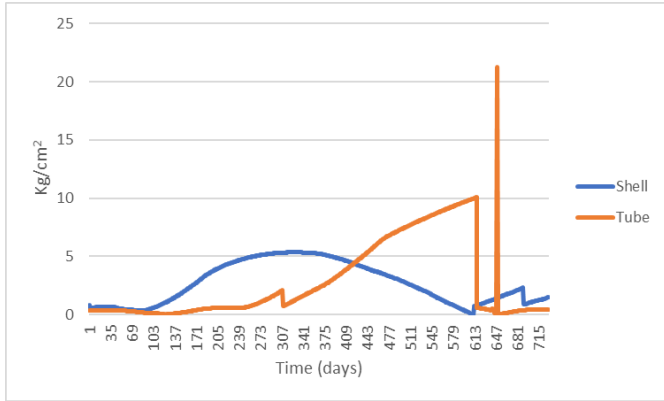
2. Heat Exchanger Unit 3



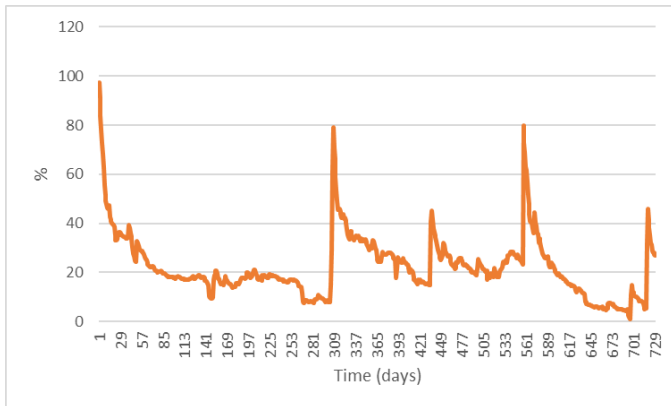
Heat duty HE 3



U actual HE 3

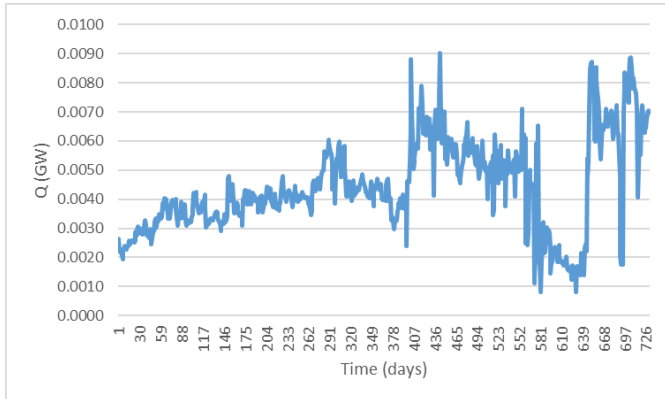


Pressure drop HE 3

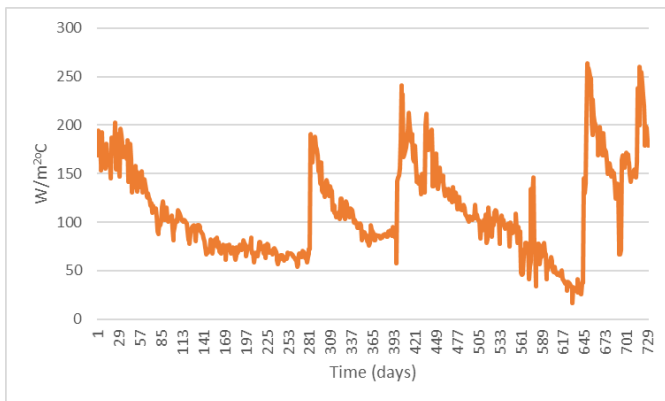


Efisiensi HE 3

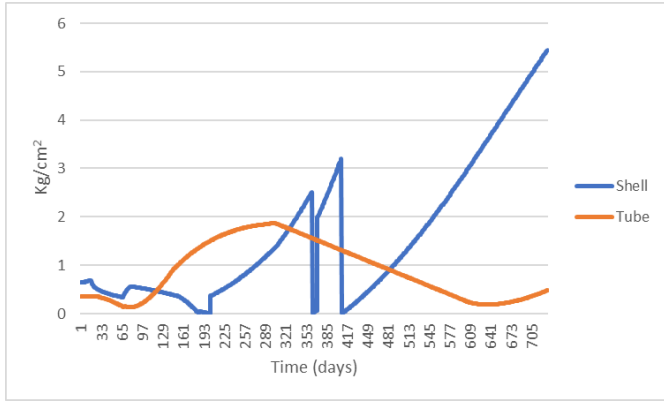
3. Heat Exchanger Unit 4



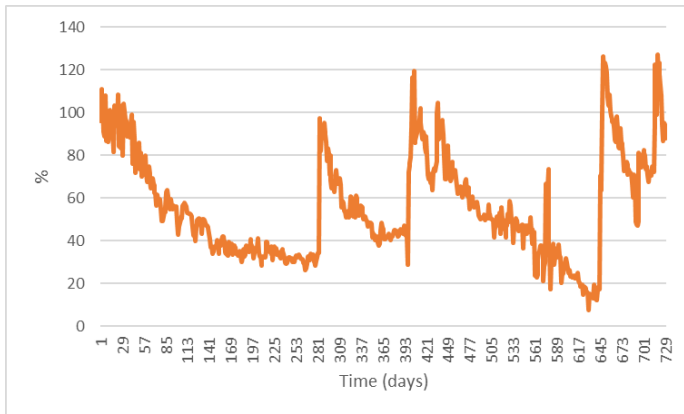
Heat duty HE 4



U actual HE 4

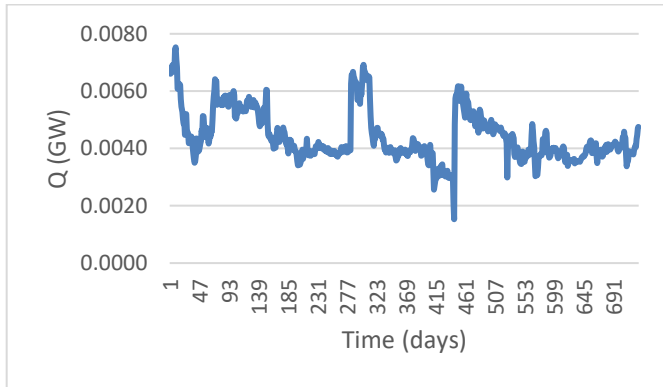


Pressure drop HE 4

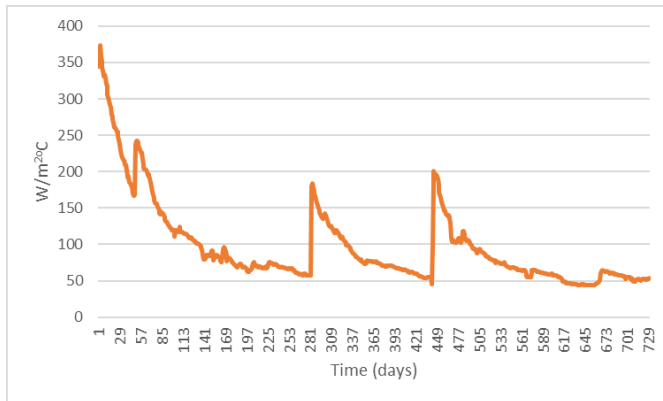


Efisiensi HE 4

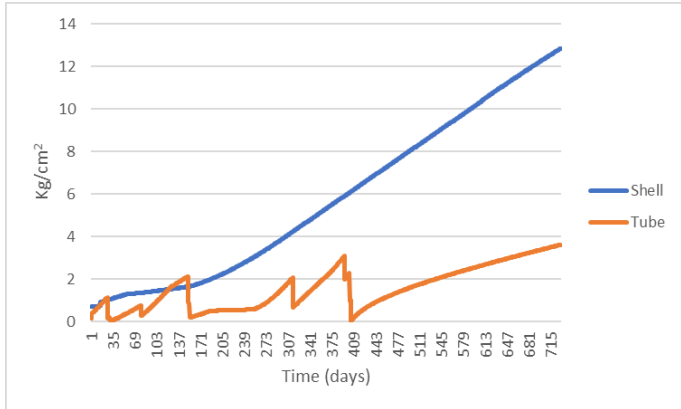
4. Heat Exchanger Unit 5



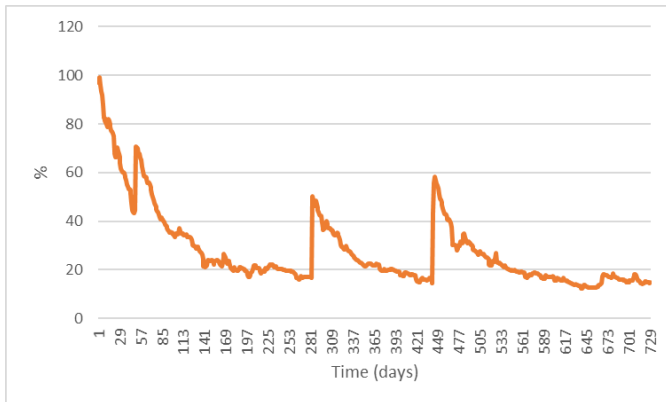
Heat duty HE 5



U actual HE 5

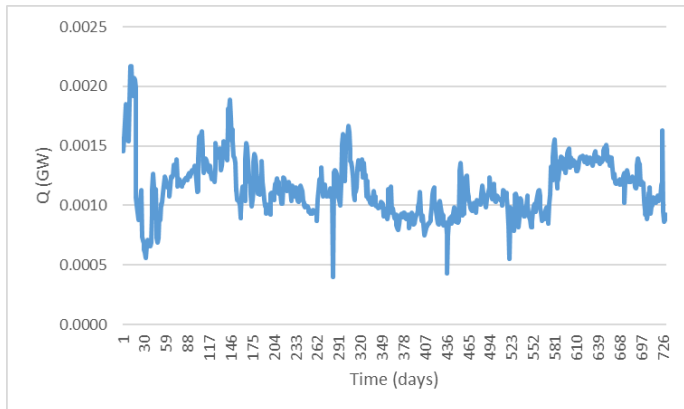


Pressure drop HE 5

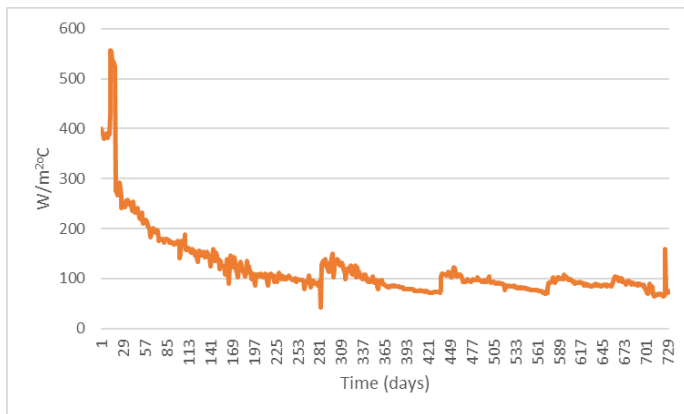


Efisiensi HE 5

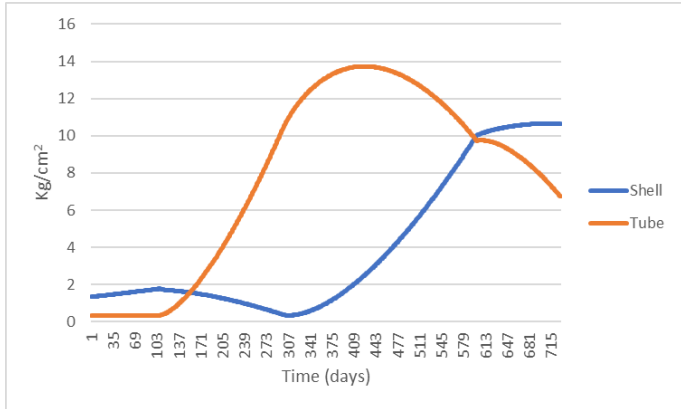
5. Heat Exchanger Unit 6



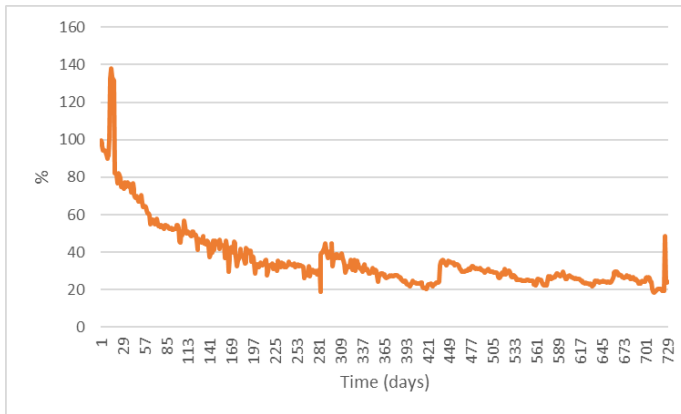
Heat duty HE 6



U actual HE 6

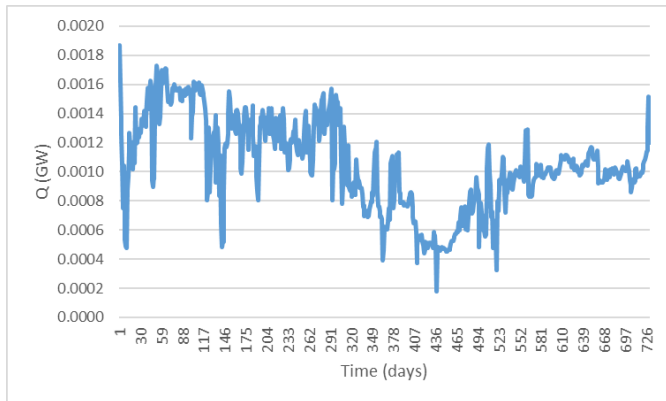


Pressure drop HE 6

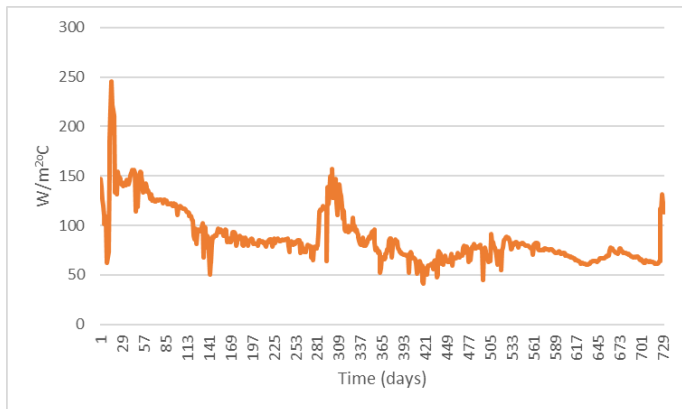


Efisiensi HE 6

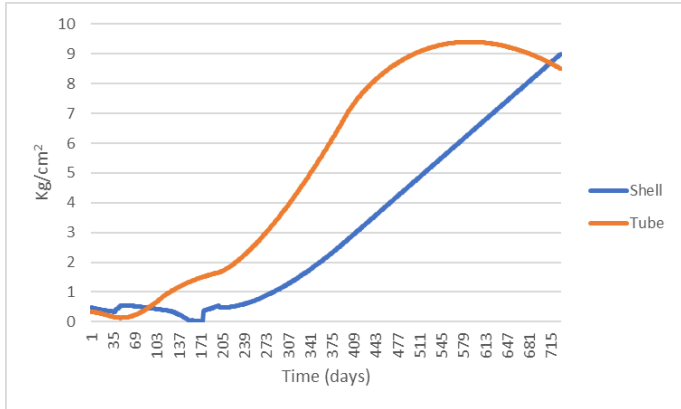
6. Heat Exchanger Unit 7



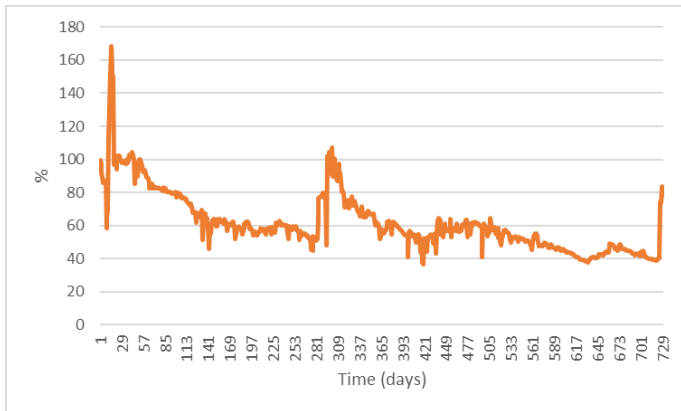
Heat duty HE 7



U actual HE 7

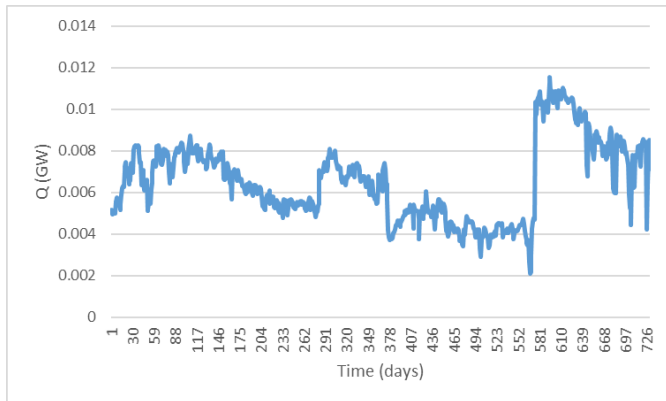


Pressure drop HE 7

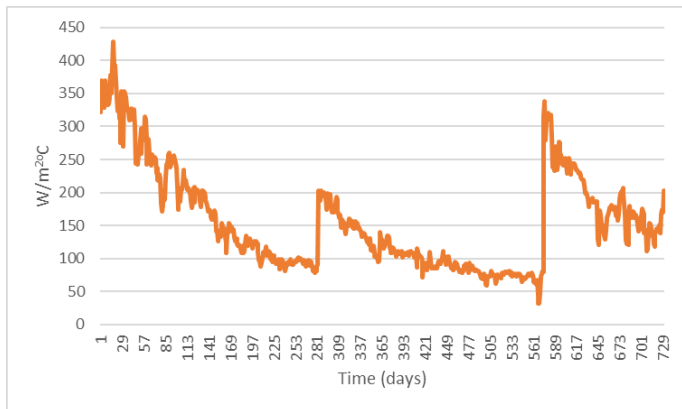


Efisiensi HE 7

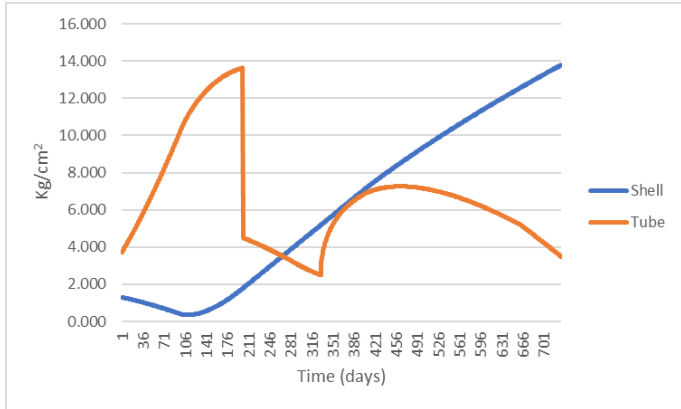
7. Heat Exchanger Unit 8



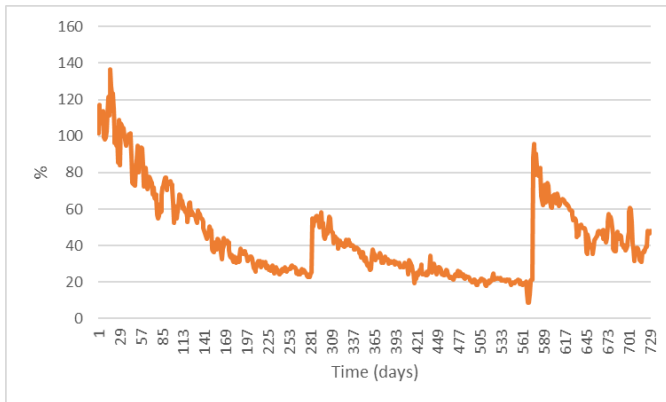
Heat duty HE 8



U actual HE 8

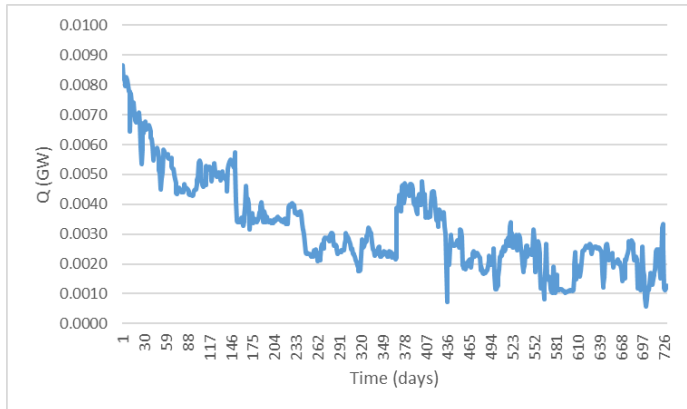


Pressure drop HE 8

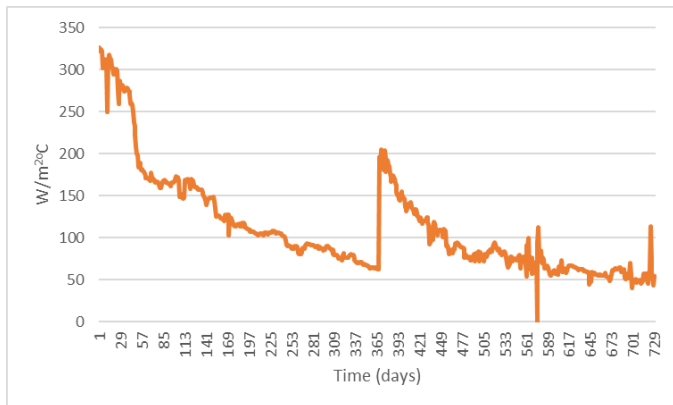


Efisien HE 8

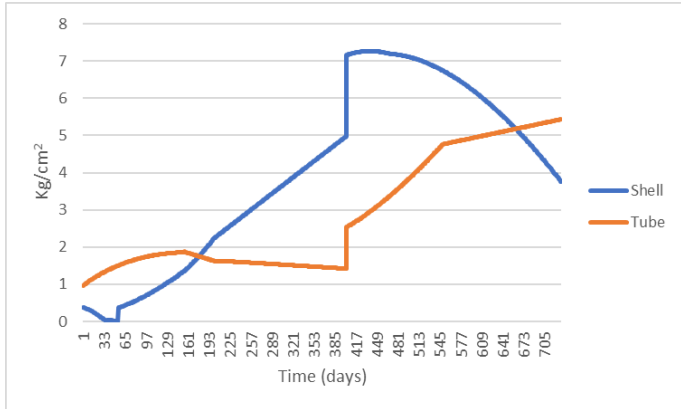
8. Heat Exchanger Unit 9



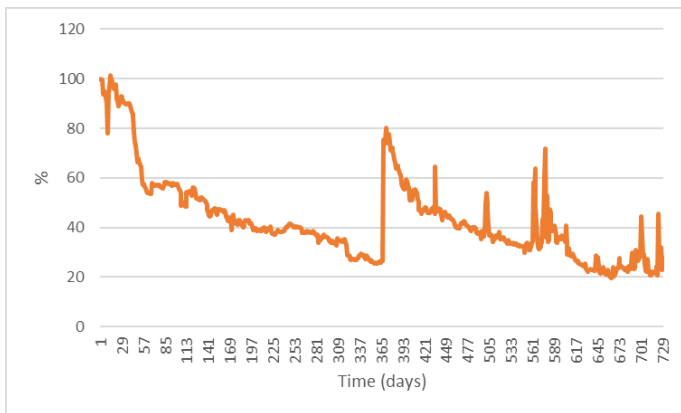
Heat duty HE 9



U actual HE 9

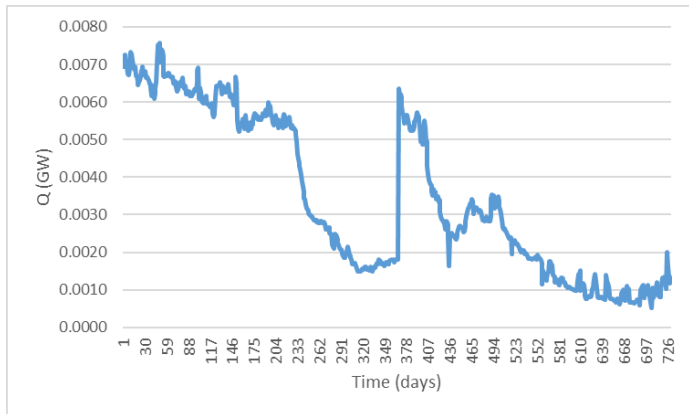


Pressure drop HE 9

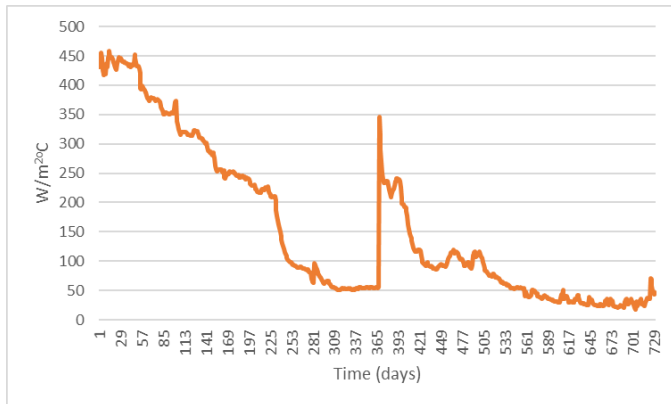


Efisiensi HE 9

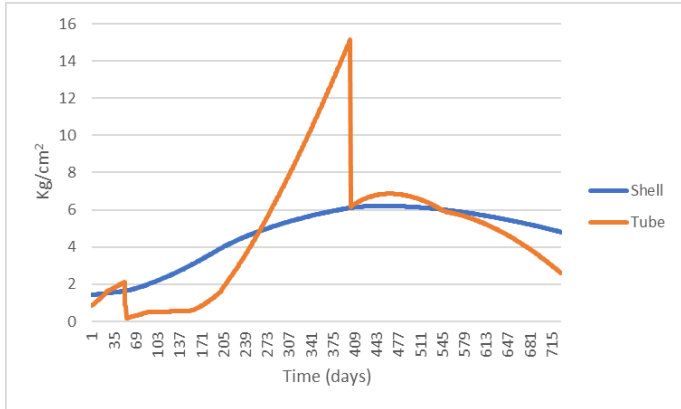
9. Heat Exchanger Unit 10



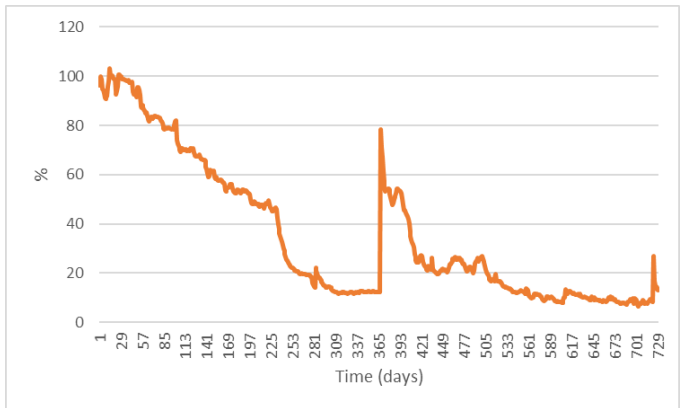
Heat duty HE 10



U actual HE 10

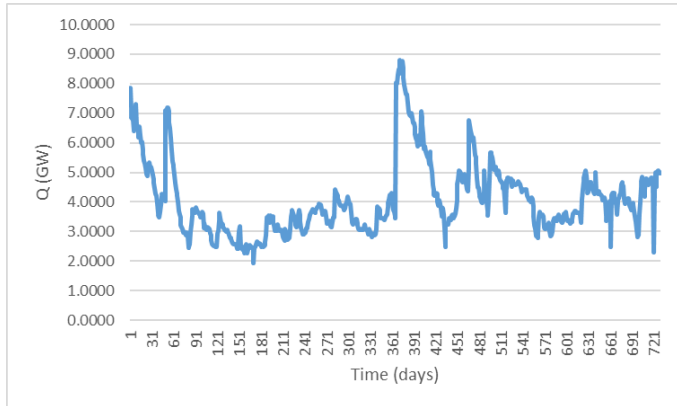


Pressure drop HE 10

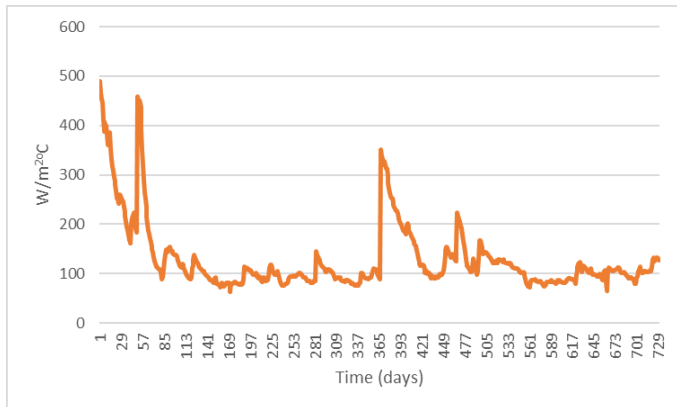


Efisiensi HE 10

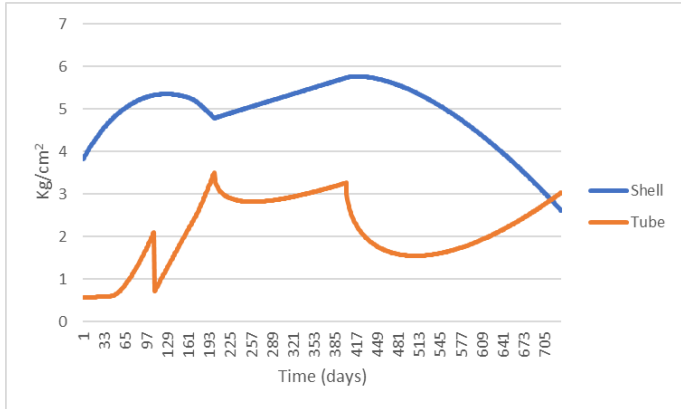
10. Heat Exchanger Unit 11



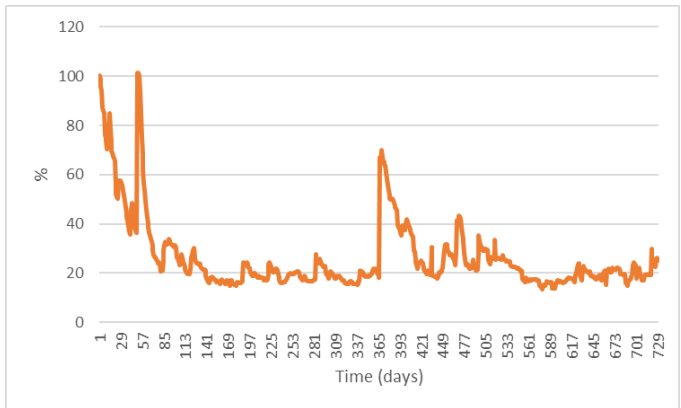
Heat duty HE 11



U actual HE 11



Pressure drop HE 11



Efisiensi HE 11

BIODATA PENULIS



Nama penulis adalah Aristo Parisian. Penulis dilahirkan di Jakarta, 04 April 1994. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Strada Jakarta pada tahun 2006, Pendidikan di SMP Negeri 30 Jakarta pada tahun 2009 Pendidikan di SMA Negeri 13 Jakarta pada tahun 2012 dan sedang menempuh pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Fisika Institut Sepuluh Nopember, Surabaya. Bidang Minat yang dipilih oleh penulis untuk menyelesaikan penelitian ini sebagai Tugas Akhir yaitu bidang minat Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol. Pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai penelitian ini, dapat menghubungi penulis melalui email: aristo.parisian@gmail.com