TUGAS AKHIR - TF 181801

PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI OPERASI *POLISHING UNIT* DI PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED BERBASIS SISTEM PAKAR

HAFIDZ FIRMANSYAH GHUFARA
NRP. 02311640000075

Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - TF 181801

DESIGN OF POLISHING UNIT OPERATIONAL CONDITION DIAGNOSIS SYSTEM IN PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED BASED ON EXPERT SYSTEM

HAFIDZ FIRMANSYAH GHUFARA
NRP. 02311640000075

Supervisors:
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama	: Hafidz Firmansyah Ghufara
NRP	: 02311640000075
Departemen / Prodi	: Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI OPERASI *POLISHING UNIT* DI PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED BERBASIS SISTEM PAKAR**" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 15 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,

Hafidz Firmansyah Ghufara

NRP. 02311640000075

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI OPERASI *POLISHING UNIT* DI PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED BERBASIS SISTEM PAKAR

Oleh:

Hafidz Firmansyah Ghufara

NRP. 02311640000075

Surabaya,

Menyetujui,

Pembimbing

Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.

NIP. 196503091990021001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FTIRS-ITS

Dr. Suyanto, S.T, MT

NIP. 197111131995121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI OPERASI *POLISHING UNIT* DI PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED BERBASIS SISTEM PAKAR

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

HAFIDZ FIRMANSYAH GHUFARA

NRP. 02311640000075

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA ..... (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M. Sc. (Ketua Penguji)
3. Dr. Ir. Ali Musyafa M.Sc. ..... (Penguji I)
4. Dr. Dhany Arifianto S.T., M. Eng. ..... (Penguji II)
5. Irwansyah S.T., M.T., M.Phil., Ph.D. ..... (Penguji III)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN SISTEM DIAGNOSIS KONDISI OPERASI *POLISHING UNIT* DI PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED BERBASIS SISTEM PAKAR

Nama : **Hafidz Firmansyah Ghufara**

NRP : **02311640000075**

Departemen : **Teknik Fisika FTIRS - ITS**

Dosen Pembimbing : **Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.**

ABSTRAK

Telah dilakukan perancangan sistem diagnosis kondisi operasi *polishing unit* berbasis sistem pakar. Sistem pakar dibuat untuk membantu operator dalam menjaga kondisi operasi, dengan memberikan saran penambahan nutrisi dan diagnosis parameter fisis dan *Influent* berdasarkan data yang dimasukkan. Operator dapat menggunakan sistem pakar dengan memasukkan data parameter melalui GUI. Hasil diagnosis sistem pakar kemudian ditampilkan di GUI. Hasil tersebut berupa diagnosis untuk parameter yang diidentifikasi dari *data record* yang berasal dari wawancara dengan operator, yakni OIW *Influent*, COD *Influent*, OIW *Effluent*, COD *Effluent*, serta dosis Urea dan TSP. Pada aplikasi sistem pakar, digunakan *input* data operasi pada sepuluh tanggal sepanjang tahun 2019-2020. Sistem pakar sistem pakar menyarankan dosis Urea yang sesuai sebanyak 8 dari 10 aplikasi, dan dosis TSP yang sesuai sebanyak 6 dari 10 aplikasi.

Kata Kunci: sistem pakar, diagnosis, kondisi operasi, *polishing unit*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF POLISHING UNIT OPERATIONAL CONDITION DIAGNOSIS SYSTEM IN PT. SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED BASED ON EXPERT SYSTEM

Name	**:**	**Hafidz Firmansyah Ghufara**
NRP	**:**	**02311640000075**
Department	**:**	***Engineering Physics* FTIRS - ITS**
Supervisors	**:**	**Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.**

ABSTRACT

An expert system for operating condition polishing unit-based diagnostic system has been designed. An expert system was created to assist operators in maintaining operating conditions, by providing recommendations for the addition of nutrients and diagnosis of physical and Influent parameters based on the entered data. Operators can use the expert system by entering parameter data through the GUI. The results of the expert system diagnosis are then displayed in the GUI. These results are in the form of diagnoses for parameters identified from data records derived from interviews with operators, namely OIW, COD, foaming, water / bacteria color, aeration zone level, and suggestions for adding nutrients. In the validation of expert system performance, operational data input is used on ten dates throughout 2020. The expert sytem can give Urea dose correctly for 8 out of 10 application, and TSP dose correctly for 6 out of 10 application.

Keywords: *expert system, diagnosis, operation condition, polishing unit*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat Allah SWT yang memberikan penulis kesempatan untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Fisika ITS. Selama mengerjakan tugas akhir, penulis telah menerima bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku pembimbing tugas akhir atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis.
2. Bapak dan Ibu yang tidak lelah memberikan dukungan moril maupun materiil kepada penulis.
3. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M. Sc. Selaku ketua penguji dan telah membantu penulis dalam memperbaiki laporan tugas akhir.
4. Teman-teman TAwan Workshop Instrumentasi (Rico, Bagas, Erryan, Ndaru) sebagai *partner* penulis selama pengerjaan tugas akhir.
5. Bapak Kusnadi Sugiarto selaku *staff* PT. SIPL yang membantu penulis dalam pengumpulan data *polishing unit*.
6. PT. Saka Indonesia Pangkah Limited yang memberikan izin penulis melakukan tugas akhir ini.

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 28 Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

COVER PAGE iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI 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 2
1.3 Tujuan 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Sistematika Laporan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1 *Polishing Unit* 5
2.2 Identifikasi parameter operasional *polishing unit* 7
2.3 Sistem pakar untuk diagnosis kondisi operasi *polishing unit* 10
2.4 MATLAB *Graphical User Interface* (GUI) berbasis App Designer 14
BAB III METODOLOGI 17
3.1 Identifikasi parameter kondisi operasi Polishing unit 17
3.2 Perancangan Sistem Pakar 21

3.3 Perancangan *Graphical User Interface* (GUI) 28
3.4 Pemrograman Sistem Pakar 31
3.5 Pemrograman GUI sistem pakar 33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Validasi kinerja sistem pakar 35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 41
5.1 Kesimpulan 41
5.2 Saran 42
DAFTAR PUSTAKA 43
LAMPIRAN 45
BIODATA PENULIS 67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema pengolahan *produced water* di *Polishing Unit* 6
Gambar 2.2 Skematik sebuah sistem pakar (Khella, 2017)..... 11
Gambar 2.3 Skematik sistem pakar untuk diagnosis kondisi operasi *polishing unit* 11
Gambar 2.4 Tahapan penyusunan *database bagian* dosis nutrisi (dimodifikasi dari Zulkifli, 2020) 12
Gambar 2.5 Tahapan penyusunan *database* bagian dosis nutrisi..... 12
Gambar 2.6 Contoh *syntax* umum dari logika di dalam mesin penalar (Grosan dan Abraham, 2011)..... 13
Gambar 2.7 Contoh sebuah *workspace* MATLAB (The MathWorks, 2020) 14
Gambar 2.8 Komponen GUI yang digunakan: (a) *numeric field*; (b) *text area* (The MathWorks, 2016) 15
Gambar 2.9 Contoh penambahan fungsi *callback* pada komponen GUI (The MathWorks, 2018) 15
Gambar 2.10 Tampilan *code view* pada *window* App Designer..... 16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian 17
Gambar 3.2 Diagram blok *polishing unit* 17
Gambar 3.3 Pengaturan variable view pada SPSS 19
Gambar 3.4 Pengaturan data view pada SPSS 19
Gambar 3.5 Hasil regresi untuk model hubungan OIW dan COD *Influent* terhadap dosis Urea..... 20
Gambar 3.6 Skematik sistem pakar untuk diagnosis kondisi operasi *polishing unit* 21
Gambar 3.7 *User-defined function block* sistem pakar *polishing unit* pada Simulink 22
Gambar 3.8 Subsistem *function block* sistem pakar..... 22
Gambar 3.9 *Database* sistem pakar pada *function block* MATLAB..... 23
Gambar 3.10 Mesin penalar sistem pakar *pada function block* MATLAB..... 24

Gambar 3.11 Pengaturan penyimpanan parameter output *function block* sistem pakar ke *workspace* 24
Gambar 3.12 *Workspace* sistem pakar pada MATLAB 25
Gambar 3.13 Baris kode *database* bagian nilai OIW *Effluent* dan COD *Effluent* 27
Gambar 3.14 Desain *layout* GUI sistem pakar 29
Gambar 3.15 Penambahan fungsi *callback* pada GUI 30
Gambar 3.16 Baris kode fungsi *callback* tombol *Diagnose* pada GUI..... 31
Gambar 3.17 Diagram alir sistem pakar *polishing unit* 32
Gambar 3.18 Diagram alir sistem pakar polishing unit (lanjutan)..... 33
Gambar 3.19 Simulasi GUI Sistem pakar..... 34
Gambar 4.1 Simulasi diagnosis kondisi operasi polishing unit pada GUI sistem pakar 36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter nilai baku mutu *produced water* menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup no. 19 Tahun 2010..... 5
Tabel 3.1 Sampel data operasi *polishing unit* dari identifikasi parameter 18
Tabel 3.2 *Scoring* parameter operasional *polishing unit*..... 25
Tabel 3.3 Mesin penalar sistem pakar *polishing unit*..... 27
Tabel 4.1 Sampel data operasi *polishing unit*..... 35
Tabel 4.2 Hasil validasi sistem pakar..... 37

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Saka Indonesia Pangkah Limited (PT. SIPL) sebagai perusahaan hulu minyak dan gas bumi melakukan kegiatan pengambilan, eksplorasi, dan pengembangan gas alam. Pada kegiatan pengambilan gas dan minyak dari bumi, terdapat air limbah yang disebut dengan *produced water*. Air limbah ini dapat mengandung logam berat, minyak, oksigen terlarut, serta gas terlarut seperti CO2 dan H2S (Neff, Lee dan DeBlois, 2011). *Produced water* dapat dengan aman dibuang ke laut setelah terlebih dahulu diolah untuk memenuhi nilai baku mutu yang berlaku (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010).

Secara global, rasio volume *produced water* dengan minyak adalah 3:1 (Fakhru'l-Razi *et al.*, 2009). Volume dari *produced water* yang dihasilkan oleh PT. SIPL sendiri semakin meningkat, sehingga Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang ada di PT. SIPL, yakni API Separator kurang efektif dalam mengolah *produced water*. PT. SIPL memodifikasi API Separator dengan unit pengolahan yang menggunakan media lumpur aktif (*activated sludge*), unit pengolahan tersebut adalah *polishing unit*. *Polishing unit* berfungsi untuk memperbaiki kualitas air keluaran API Separator, sehingga *produced water* yang akan dibuang memenuhi nilai baku mutu yang berlaku. Pada media lumpur aktif yang digunakan di *polishing unit*, terdapat mikroorganisme, yakni bakteri yang membutuhkan oksigen dan memakan polutan organik pada *produced water* (Ningtyas, 2015). Organisme (bakteri) berperan utama dalam proses penguraian limbah di dalam *produced water* (Pennsylvania Department of Environmental Protection (Pa. DEP), 2014). Oleh karena itu, kesehatan bakteri perlu dijaga sehingga bakteri tidak mati dengan cara melakukan aksi seperti pengaturan *Influent flow*, mengubah aerasi, dan pemberian pupuk. Langkah tersebut dapat diambil oleh operator berpengalaman setelah dilakukan pengamatan fisis secara langsung terhadap parameter operasional *polishing unit*, seperti warna, bau, dan nilai MLSS (Yudhanto, 2018). Pemberian perlakuan yang salah terhadap *polishing unit* dapat menyebabkan kondisi operasi

polishing unit terganggu, sehingga bakteri dapat mati, atau tumbuh secara berlebih. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem yang dapat mendiagnosis kondisi operasi *polishing unit*, dan memberikan petunjuk kepada operator dalam menjaga kondisi operasi *polishing unit*.

Berdasarkan *existing condition* di PT SIPL, maka pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem yang mampu untuk mendiagnosis kondisi *polishing unit*, untuk membantu operator dalam menjaga kondisi operasi *polishing unit*. Sistem tersebut adalah sistem pakar. Sistem pakar adalah sistem yang dapat menyimulasikan aksi dan keputusan seorang ahli pada sebuah bidang (Kumar dan Jain, 2012). Sistem pakar terdiri dari dua buah komponen utama, yaitu *database*, dan mesin penalar (*inference engine*). *Database* dibangun dari data operasional (*polishing unit*), dan wawancara dengan pakar (operator) (Ele, Sylvester I., Umoh dan Adesola, 2014) yang melakukan aksi untuk untuk menjaga kesehatan bakteri di dalam *polishing unit*. Dari hasil wawancara akan didapatkan penilaian pakar terhadap parameter-parameter operasional dari *polishing unit*. Setelah tiap parameter diberi penilaian oleh pakar, disusun pasangan data operasional dan aksi yang harus diambil untuk menjaga kesehatan bakteri, sehingga terbentuk sebuah *database*. Pasangan data yang dibuat di dalam *database* akan dinalar oleh mesin penalar, sehingga didapat petunjuk aksi yang harus dilakukan untuk ditampilkan pada sebuah *graphical user interface* (GUI) kepada operator.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Bagaimana identifikasi kondisi operasi *polishing unit* oleh pakar terhadap *data record polishing unit*?
b) Bagaimana menggunakan *data record* kondisi operasi *polishing unit* untuk dapat disusun menjadi sebuah *knowledge based-database*?
c) Bagaimana pembuatan algoritma pada mesin penalar untuk menalar data dari *polishing unit*?
d) Bagaimana merancang sebuah sistem pakar yang dapat memberikan petunjuk langkah operasional kepada operator?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Mengetahui identifikasi kondisi operasi *polishing unit* oleh pakar terhadap *data record polishing unit*.
b) Menyusun *database* dari *data record* kondisi operasi *polishing unit*.
c) Membuat algoritma pada mesin penalar untuk menalar data dari *polishing unit*.
d) Merancang sebuah sistem pakar yang dapat memberikan petunjuk langkah operasional kepada operator.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Unit *polishing unit* yang diteliti berada di PT. Saka Indonesia Pangkah Limited (PT. SIPL)
b) Data kondisi operasi *polishing* unit yang digunakan adalah data sekunder yang diambil oleh operator PT. SIPL pada bulan Januari-April 2020.
c) Data kondisi operasi *polishing unit* disusun menjadi sebuah *database* setelah digabungkan dengan interpretasi operator berpengalaman yang didapat dari hasil wawancara.
d) Data yang tersusun ini disebut dengan *database* sebagai komponen pertama sistem pakar, komponen kedua berupa *inference engine* untuk menalar data yang tersimpan ke *database*.
e) Sistem pakar disusun menggunakan *toolbox* Simulink pada *software* MATLAB.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a) BAB I PENDAHULUAN

   Bab I terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.

b) BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab II dibahas mengenai teori-teori yang mendasari penelitian, dan diambil dari tinjauan pustaka.

c) BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab III dipaparkan rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, serta langkah-langkah yang telah dilakukan.

d) BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV berisi tentang analisis hasil perancangan sistem diagnosis *polishing unit* yang telah dibuat.

e) BAB V PENUTUP

Pada bab V diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan untuk menjawab tujuan dari penelitan, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

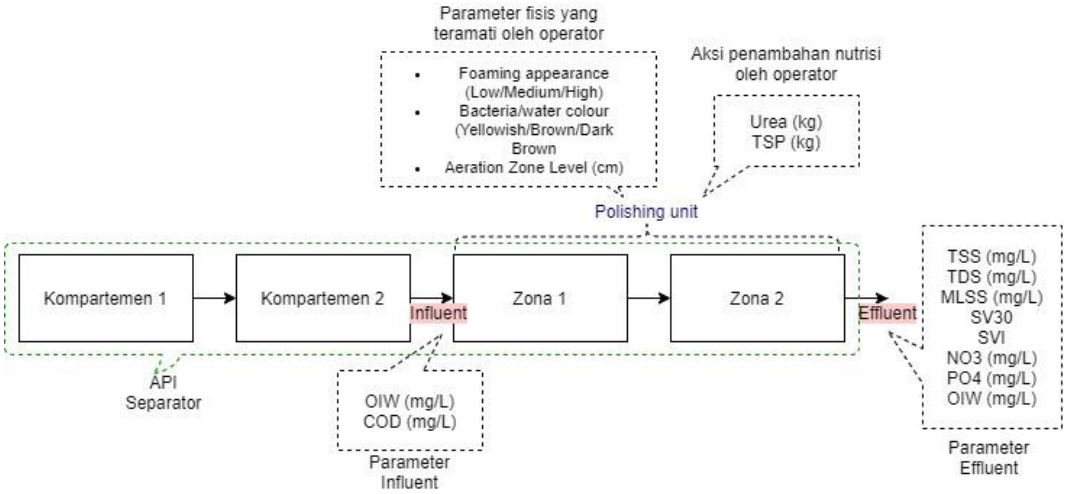
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Polishing Unit*

Polishing unit adalah unit yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas *produced water* (air limbah) dari API Separator yang belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010. Adapun parameter-parameter *produced water* yang harus dipenuhi sesuai dengan peraturan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1. Unit ini terletak pada kompartemen ketiga dari API Separator. Pada unit ini digunakan lumpur aktif (*activated sludge*) yang mengandung bakteri. Performansi bakteri bergantung pada konsentrasi hidrokarbon, konsentrasi *total dissolved solid* (TDS), nutrisi, dan pengaruh lingkungan lainnya (Kardena *et al.*, 2017). Bakteri tersebut membutuhkan oksigen dan memakan polutan organik, sehingga proses yang dilakukan oleh bakteri dapat menurunkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dari air terproduksi. Selain itu, *polishing unit* juga berfungsi menurunkan kadar *oil in water* (OIW) *produced water* yang berasal dari API Separator. Kondisi operasi *polishing unit* adalah kondisi yang perlu dijaga, agar pengolahan air limbah oleh bakteri di dalam *polishing unit* berlangsung stabil, sehingga nilai parameter *Effluent* dari *polishing unit* memenuhi nilai baku mutu. Untuk menjaga kondisi operasi ini, diperlukan perlakuan operator seperti penambahan nutrisi dan pengaturan tingkat aerasi.

Tabel 2.1 Parameter nilai baku mutu *produced water* menurut Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup no. 19 Tahun 2010

No.	Parameter	Kadar Maksimum
1	COD	200 mg/L
2	Minyak dan lemak	25 mg/L
3	Sulfida Terlarut (sebagai H_2S)	0,5 mg/L
4	Ammonia (sebagai NH3-N)	5 mg/L
5	Phenol total	2 mg/L
6	Temperatur	40°C
7	pH	6-9
8	TDS	4000 mg/L



Gambar 2.1 Skema pengolahan *produced water* di *Polishing Unit*

Adapun proses pengolahan *produced water* pada *polishing unit* adalah sebagai berikut:

a. Air limbah yang telah diolah oleh kompartemen 1 dan kompartemen 2 masuk ke *polishing unit* sebagai aliran *Influent*, air ini masih mengandung nilai COD dan OIW yang tinggi.
b. *Produced water* diolah di dalam *polishing unit* menggunakan media lumpur aktif pada zona 1 dan zona 2. Bakteri pada lumpur aktif mengurangi nilai COD dan OIW dari *produced water*.
c. Operator melakukan pengamatan parameter fisis yakni *foaming*, warna air, dan tingkat zona aerasi untuk mengetahui kesehatan bakteri dan menjaga tingkat aerasi pada *polishing unit*.
d. Air keluaran *produced water* (*Effluent*) diukur parameternya oleh operator. Nilai OIW dan COD pada *Effluent* dibandingkan dengan nilai OIW dan COD pada *Influent* untuk diketahui tingkat pengolahan air oleh bakteri

e. Operator menambahkan nutrisi berupa Urea dan TSP kedalam *produced water* berdasarkan parameter yang diamati.

Oksigen di dalam air dapat berikatan zat pencemar seperti komponen organik menjadi komponen yang tidak membahayakan. Bakteri yang ada pada media lumpur aktif memerlukan oksigen dan nutrisi untuk proses metabolisme (Kardena *et al.*, 2017). Semakin tinggi nilai oksigen, maka proses penguraian zat pencemar akan semakin baik pula. Reaksi penguraian yang terus berlangsung akan menurunkan kadar oksigen dalam air. Jika oksigen terus turun, maka dapat terjadi kekurangan oksigen dalam air. Sehingga proses penguraian air limbah akan terganggu. Oleh karena itu, diperlukan penambahan jumlah nutrisi, serta pengaturan aerasi yang tepat oleh operator. Sebelum melakukan penambahan dan pengaturan tersebut, operator perlu melakukan diagnosis berdasarkan parameter pada *polishing unit* yang terukur dan teramati.

2.2 Identifikasi parameter operasional *polishing unit*

Polishing unit memiliki beberapa parameter seperti *influent,* aerasi, serta *effluent* seperti nampak pada gambar 2.1. Operator mengamati parameter-parameter tersebut dalam menentukan aksi, untuk menjaga kondisi operasi *polishing* unit, yakni kondisi dimana bakteri dapat menguraikan air limbah hingga memenuhi standar baku mutu pada yang diukur pada aliran *Effluent*, seperti pada tabel 2.1. Adapun operator mengamati parameter nilai OIW *influent* serta COD *influent,* untuk menentukan dosis nutrisi Urea dan TSP. Parameter *influent* merupakan beban/*load* dari *polishing unit*. Operator dapat mengetahui berapa nutrisi yang perlu ditambahkan ke *polishing unit* melalui beban ini. Penambahan nutrisi tersebut dilakukan untuk menjaga kesehatan bakteri. Dibawah ini penulis merincikan parameter operasional *polishing unit* yang teridentifikasi digunakan operator dalam menjaga kondisi operasi *polishing unit,* yakni OIW dan COD.

a. *Oil in Water* (OIW) (mg/l)

Jumlah minyak *(oil)* dan lemak *(grease)* dalam air adalah salah satu parameter yang harus dikendalikan jumlahnya. Standar baku mutu yang berlaku di Indonesia menetapkan konsentrasi maksimal sebesar 25 mg/l pada *produced water* untuk

parameter ini. *Polishing unit* memiliki fungsi utama untuk mengurangi nilai minyak dalam air (OIW), agar nilai OIW *Effluent* dari *polishing unit* memenuhi nilai baku mutu. Semakin tinggi nilai *Influent* OIW yang masuk ke *polishing unit*, semakin tinggi beban kerja bakteri untuk mengolah air limbah. Sehingga, kemampuan *polishing unit* dalam mengurangi nilai OIW berkorelasi langsung dengan kebutuhan nutrisi bakteri pada media lumpur aktif di *polishing unit*. Operator harus menjaga kondisi operasi *polishing unit*, agar bakteri mampu menurunkan nilai OIW hingga memenuhi nilai baku mutu, yakni dibawah 25 mg/l pada aliran *Effluent*. Menurut operator, pengaruh penambahan nutrisi terhadap penurunan nilai OIW *effluent* dapat dilihat satu hari setelah penambahan. Adapun transkrip wawancara dengan operator dapat dilihat pada lampiran C

b. *Chemical Oxygen Demand* (COD) (mg/l)

COD adalah konsentrasi oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi karbon organik pada air limbah. Nilai COD dapat digunakan untuk menentukan nilai nutrisi yang perlu ditambahkan kedalam *polishing unit*. Nilai COD perlu diturunkan untuk memenuhi nilai baku mutu yang berlaku. Oleh karena itu, semakin tinggi nilai COD, maka semakin tinggi pula beban pengolahan limbah pada *polishing unit*. Nilai COD harus diturunkan hingga dibawah 200 mg/l pada *Effluent*. Sehingga aksi yang dilakukan oleh operator mengharuskan penambahan jumlah nutrisi yang tepat, sehingga bakteri mampu menurunkan nilai *Influent* COD yang tinggi. Menurut operator, pengaruh penambahan nutrisi terhadap penurunan nilai COD *effluent* dapat dilihat dua hari setelah penambahan. Adapun transkrip wawancara dengan operator dapat dilihat pada lampiran C

Setelah teridentifikasi parameter mana yang digunakan oleh operator dalam menjaga kondisi operasi *polishing unit*, digunakan regresi linier berganda (RLB) untuk mendapatkan model hubungan antara parameter operasional dengan dosis nutrisi yang ditambahkan. Model ini akan digunakan untuk mengakuisisi kepakaran operator, dalam menentukan dosis nutrisi pada sistem pakar.

2.2.1 Regresi Linier Berganda (RLB)

Regresi linier berganda (RLB) adalah metode regresi yang dapat digunakan untuk mencari pengaruh dua atau lebih variabel independen terhadap suatu variabel dependen. Model umum dari RLB adalah sebagai berikut (Weisberg, 2005):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_p X_p \tag{2.1}$$

Dimana:

Y = variabel dependen

X_p= variabel independen ke-p

$\beta_o , \beta_1 , \ldots \beta_p$ = Parameter estimasi (estimator) tiap variabel

Pada tugas akhir ini digunakan parameter OIW *Influent* dan COD *Influent* sebagai variabel independen, untuk menentukan berapa besar dosis urea dan TSP (variabel dependen) yang dibutuhkan. Dengan menggunakan RLB, dapat dicari hubungan antara tinggi rendahnya nilai OIW dan COD yang operator gunakan sebagai petunjuk besar dosis nutrisi yang perlu ditambahkan pada tiap tanggal operasi. Model hubungan OIW dan COD terhadap Urea dan TSP berdasarkan persamaan (2.1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y_i = \beta_{i0} + \beta_{i1} X_{i1} + \beta_{i2} X_{i2} \tag{2.2}$$

Dimana:

Y_i = Urea atau TSP yang ditambahkan oleh operator

X_1 = Nilai OIW *Influent* pada tanggal ke-i

X_2 = Nilai COD *Influent* pada tanggal ke-i

$\beta_{io} , \beta_{i1} , \beta_{i2}$ = Parameter estimasi (estimator) pada tanggal ke-i

Operator mengamati nilai OIW dan COD untuk menentukan dosis Urea atau TSP yang diperlukan. Oleh karena itu, dapat dikatakan jika dosis urea atau TSP bergantung kepada nilai OIW dan COD. Sehingga digunakan Urea atau TSP

sebagai variabel dependen (Y_i), yang dipengaruhi oleh parameter OIW (X_1) dan COD (X_2) sebagai variabel independen.

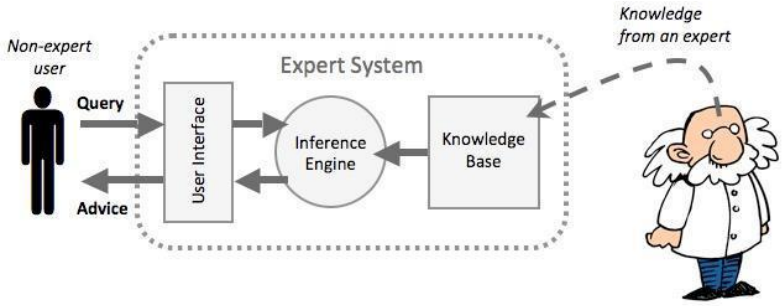
Adapun nilai estimator model RLB dapat dicari menggunakan *software* SPSS. Nilai estimator berfungsi untuk meminimalkan nilai kuadrat eror dari model yang dibuat. Setelah nilai estimator diperoleh, maka selanjutnya model persamaan RLB dapat dibuat dengan memasukkan nilai estimator ke dalam persamaan umum RLB. Persamaan yang didapat kemudian digunakan sebagai di dalam bagian *scoring database* parameter OIW dan COD pada sistem pakar.

2.3 Sistem pakar untuk diagnosis kondisi operasi *polishing unit*

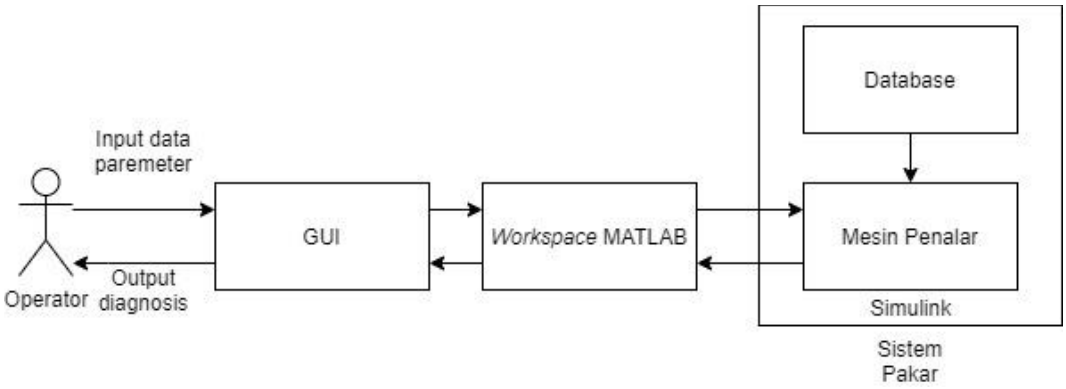
Sistem pakar adalah program komputer yang berfungsi untuk mensimulasikan pengambilan keputusan dan perilaku seorang ahli pada sebuah bidang (Kumar dan Jain, 2012). Sebuah sistem pakar terdiri dari sebuah *knowledge based-database* dan mesin penalar (*inference engine*). Skematik sebuah sistem pakar dapat digambarkan seperti pada gambar 2.2. *Database* digunakan untuk menyimpan keahlian orang yang meliputi aturan dan fakta (Altan, 1988). Pada *database*, parameter yang diidentifikasi dari *data record polishing unit* digunakan sebagai input. Parameter ini kemudian diberi penilaian dalam rentang tertentu sesuai dengan *range* operasi berdasarkan pengetahuan dari pakar melalui proses wawancara (Ele, Sylvester I., Umoh dan Adesola, 2014). Tiap rentang nilai akan dipasangkan dengan pengetahuan pakar sesuai dengan kondisi operasi menjadi pasangan data bersama. Data parameter *polishing unit* akan dinalar oleh *inference engine* untuk dicocokkan dengan data yang ada di dalam *database*. Dari proses tersebut, kondisi operasi yang didiagnosis serta langkah yang harus dilakukan akan ditampilkan dalam sebuah *user interface* untuk operator. Saran aksi/langkah pada *graphical user interface* (GUI) ini dapat membantu operator dalam menjaga kondisi operasi *polishing unit*. Jika diuraikan, maka skematik sistem pakar yang dirancang pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 2.3.

Bagian utama sistem pakar, yakni *database* dan mesin penalar disusun menggunakan *user defined function block* pada Simulink. Penyusunan *database* dan mesin penalar ini dijelaskan pada subbab selanjutnya. Adapun model Simulink dan GUI perlu dihubungkan menggunakan sebuah *workspace* MATLAB, agar data

parameter *input* dari GUI dapat dinalar oleh sistem pakar, serta hasil diagnosis sistem pakar dapat ditampilkan oleh GUI. Penjelasan mengenai *workspace* dan GUI dapat dilihat pada subbab 2.3.3 dan subbab 2.4.



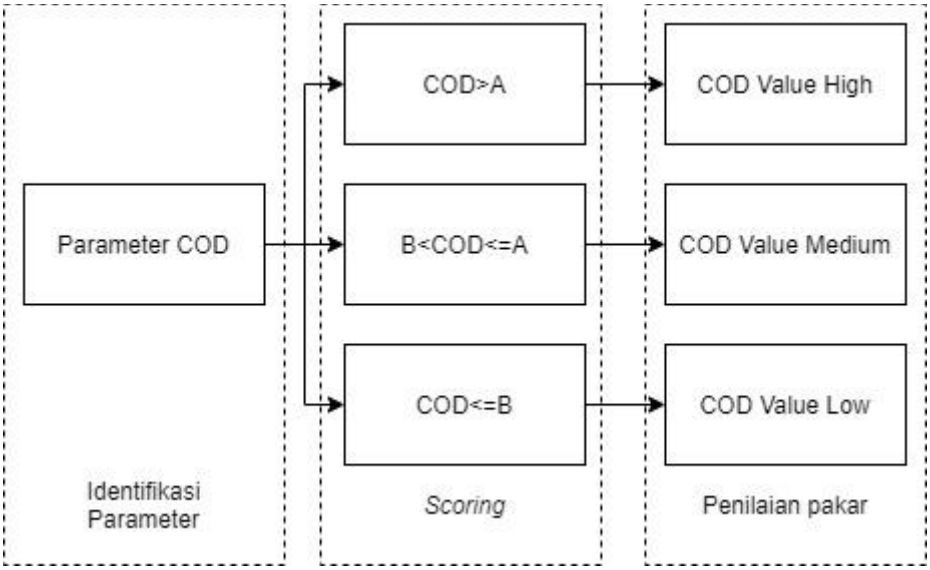
Gambar 2.2 Skematik sebuah sistem pakar (Khella, 2017)



Gambar 2.3 Skematik sistem pakar untuk diagnosis kondisi operasi *polishing unit*

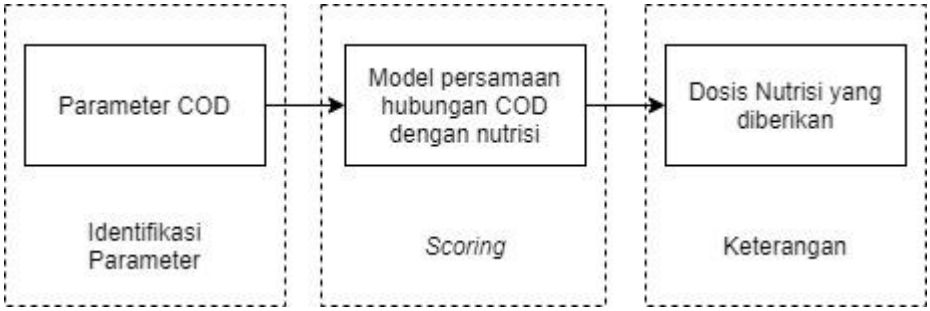
2.3.1 *Database*

Terdapat 3 tahapan untuk membangun sebuah *database*. Pertama dilakukan identifikasi parameter yang digunakan sebagai input. Kedua, parameter tersebut kemudian di-*scoring* nilainya kedalam beberapa rentang nilai tertentu sesuai dengan range operasi. Ketiga, *output* dari persamaan berupa keterangan nilai nutrisi yang perlu ditambahkan didefinisikan dalam bentuk *string* sebagai sebuah database (Siler dan Buckley, 2005) menjadi pasangan data bersama.



Gambar 2.4 Tahapan penyusunan *database bagian* dosis nutrisi (dimodifikasi dari Zulkifli, 2020)

Selain itu, digunakan pula model hubungan antar parameter dalam bentuk sebuah persamaan hubungan parameter dengan nutrisi, yang didapatkan dari tahapan identifikasi parameter menggunakan regresi. *Output* dari persamaan berupa keterangan nilai nutrisi yang perlu ditambahkan dengan didefinisikan dalam bentuk *string* sebagai sebuah *database*.



Gambar 2.5 Tahapan penyusunan *database* bagian dosis nutrisi

2.3.2 Mesin Penalar

Mesin penalar (*inference engine*) berfungsi untuk menarik kesimpulan dari *database* (Altan, 1988). Mesin penalar adalah logika yang berfungsi untuk membandingkan input data dengan *database* yang telah disusun, sehingga dapat ditarik sebuah kesimpulan. Kesimpulan yang ditarik oleh mesin dihasilkan setelah

dilakukan beberapa tahap perbandingan input data dengan *database* sesuai dengan aturan (*rule*) yang dibuat dalam bentuk logika kondisi bersyarat (*if-then*). Mesin penalar dibuat berdasarkan *scoring* parameter dari *database* yang dirancang.

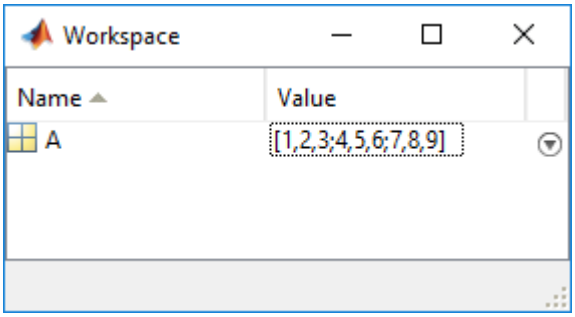
```
IF      x=1    Test
AND     y=2
THEN    z=3    Assign
```

Gambar 2.6 Contoh *syntax* umum dari logika di dalam mesin penalar (Grosan dan Abraham, 2011)

Pada gambar 2.6, ditampilkan contoh *syntax* umum dari logika pada mesin penalar. Ketika diberi input data x dan y kedalam sistem pakar, logika sesuai gambar tersebut akan mengecek nilai x dan y. Menurut logika aturan yang ditetapkan pada gambar 2.9, IF (jika) nilai x sama dengan 1 AND (dan) y sama dengan 2, THEN (maka) z=3. Pada tugas akhir ini, dibuat logika aturan yang menggunakan logika IF-THEN seperti pada gambar 2.6. Data *input* parameter *polishing unit* yang dimasukkan kedalam sistem pakar akan dicocokkan oleh mesin penalar, untuk memperoleh kesimpulan berupa diagnosis kondisi operasi *polishing unit*, serta saran penambahan nutrisi kepada operator. *Syntax* aturan dari mesin penalar didefinisikan di dalam *function block* Simulink menggunakan logika *boolean*.

2.3.3 *Workspace* MATLAB

Workspace MATLAB digunakan untuk menyimpan data nilai parameter *input* dan parameter *output* sistem pakar sesuai dengan skematik pada gambar 2.3. *Workspace* adalah tempat penyimpanan data yang berisi variabel yang dibuat atau diimpor ke MATLAB dari file data atau program lain (The MathWorks, 2020). Pada gambar 2.7, dapat dilihat tampilan umum sebuah *workspace*, yang menyimpan sebuah variabel ‘A’, dengan nilai variabel [1,2,3;4,5,6,7,8,9]. Data parameter yang dilabeli dengan nama variabel, disimpan di dalam *workspace* agar dapat digunakan secara bersama oleh *tools* atau aplikasi yang berbeda di dalam MATLAB, seperti *Simulink* dan *App Designer*. Sehingga model Simulink dan GUI yang dirancang dapat terhubung.

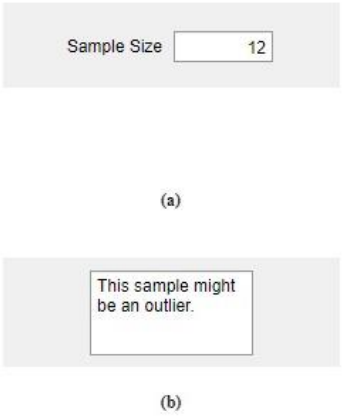


Gambar 2.7 Contoh sebuah *workspace* MATLAB (The MathWorks, 2020)

2.4 MATLAB *Graphical User Interface* (GUI) berbasis App Designer

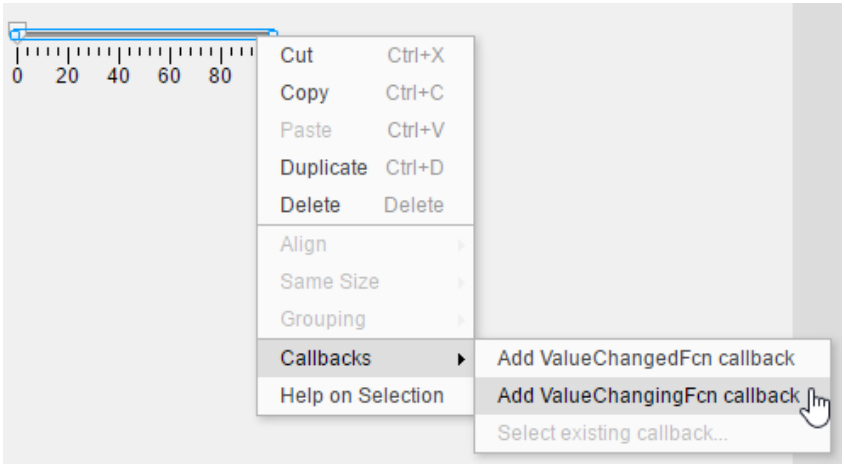
Graphical User Interface (GUI) pada MATLAB memberikan antarmuka *point-and-click* pada perangkat lunak/aplikasi yang kita kembangkan di MATLAB, sehingga pengguna dapat menggunakan aplikasi dengan mudah tanpa perlu mempelajari bahasa atau mengetikkan perintah (*commands*) pada aplikasi (MathWorks, 2019). Pada sistem pakar yang dikembangkan pada tugas akhir ini, pengguna dapat memasukkan input parameter yang diperlukan pada GUI, kemudian mengetahui output berupa instruksi pada GUI, tanpa perlu membuka toolbox Simulink MATLAB.

Pada tugas akhir ini, GUI digunakan untuk memasukkan data parameter *input* kedalam *workspace*, yang nantinya digunakan oleh model Simulink sistem pakar. Pengguna/operator dapat memasukkan data parameter *input* melalui komponen GUI yang ditambahkan pada *layout view*, yakni komponen *numeric field*, kemudian *output* hasil diagnosis akan ditampilkan pada komponen *text area* seperti pada gambar 2.8. Komponen *numeric field* memberikan pengguna akses untuk memasukkan nilai parameter berupa angka untuk parameter OIW *influent* dan COD *influent*. Sedangkan komponen *text area* digunakan sesuai fungsinya untuk menampilkan hasil diagnosis dalam bentuk *string*.



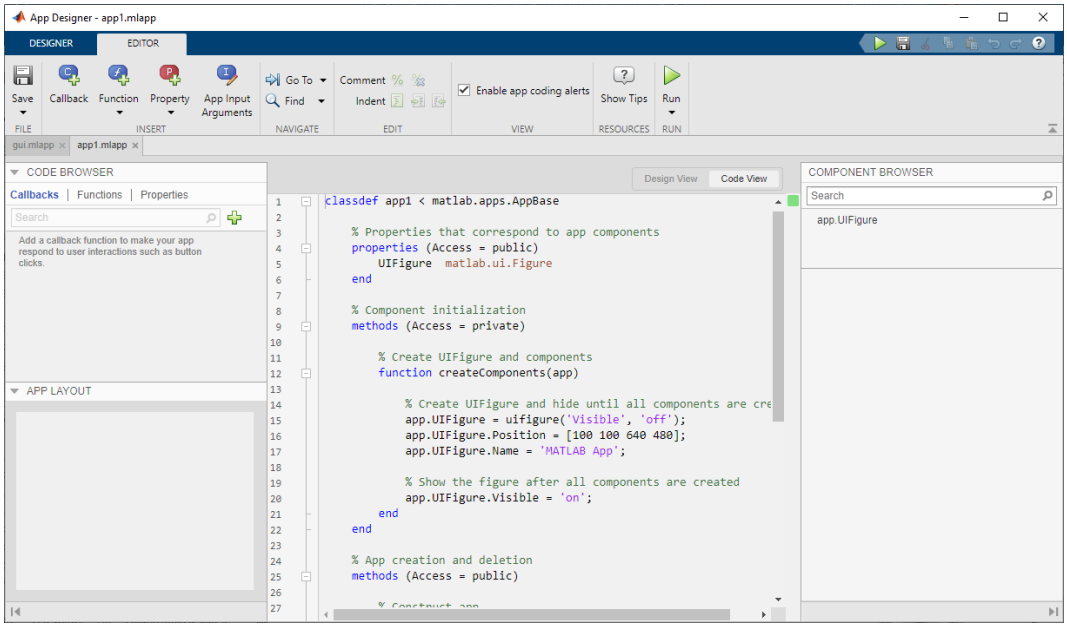
Gambar 2.8 Komponen GUI yang digunakan: (a) *numeric field*; (b) *text area* (The MathWorks, 2016)

Output hasil diagnosis yang ditampilkan pada komponen *text area*, berasal dari diagnosis model Simulink sistem pakar yang disimpan pada *workspace*. GUI perlu di-*coding* agar mampu menyimpan nilai *input* parameter, dan membaca hasil diagnosis kedalam dan dari *workspace*. *Coding* ini dilakukan dengan terlebih dahulu menambahkan fungsi *callback* pada komponen GUI, guna memanggil variabel parameter yang didefinisikan pada *function block* Simulink. Fungsi *callback* sendiri adalah fungsi pada GUI MATLAB yang dapat dieksekusi ketika komponen GUI diberi perlakuan tertentu seperti saat diklik, atau saat nilainya diubah. Pada gambar 2.9 ditampilkan penambahan fungsi *callback* pada komponen GUI.



Gambar 2.9 Contoh penambahan fungsi *callback* pada komponen GUI (The MathWorks, 2018)

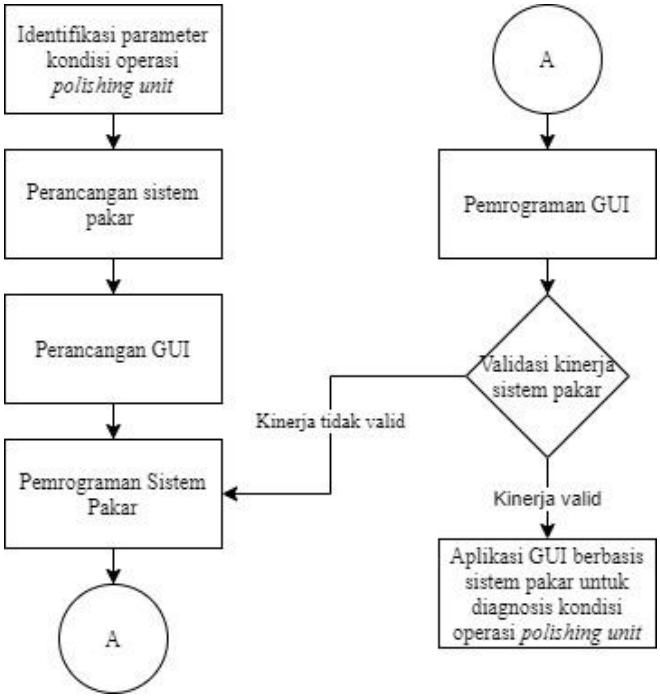
App designer secara otomatis menghasilkan *basic syntax* untuk tiap komponen GUI seperti pada gambar 2.9. Pada tampilan *code view* tersebut, kita masih perlu dilakukan *coding* untuk melakukan penyimpanan data kedalam *workspace* dengan fungsi *assignin*, serta membaca data dari *workspace* dengan fungsi *evalin*.



Gambar 2.10 Tampilan *code view* pada *window* App Designer

BAB III
METODOLOGI

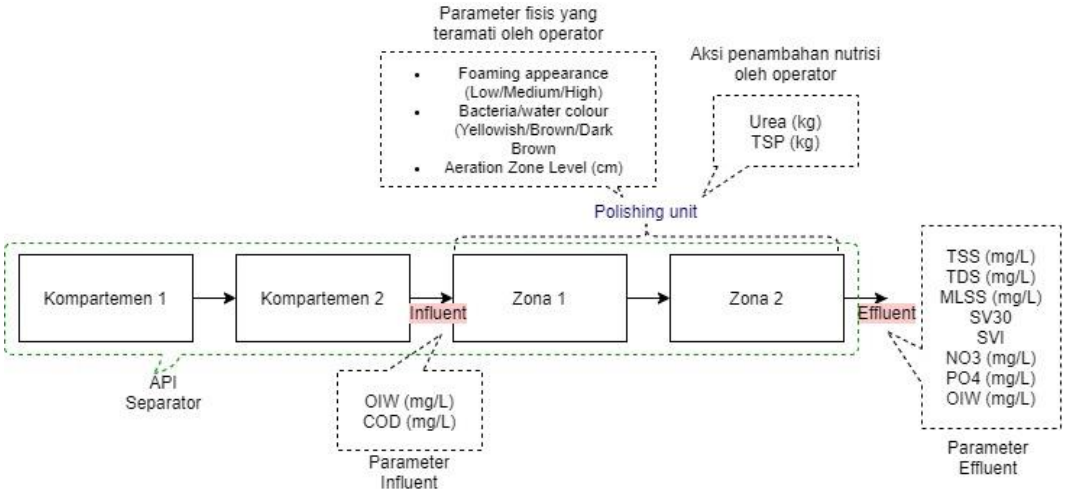
Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Identifikasi parameter kondisi operasi Polishing unit

Polishing unit memiliki beberapa parameter pada *influent*, aerasi, serta *effluent* yang mempengaruhi penguraian air limbah oleh bakteri seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram blok *polishing unit*

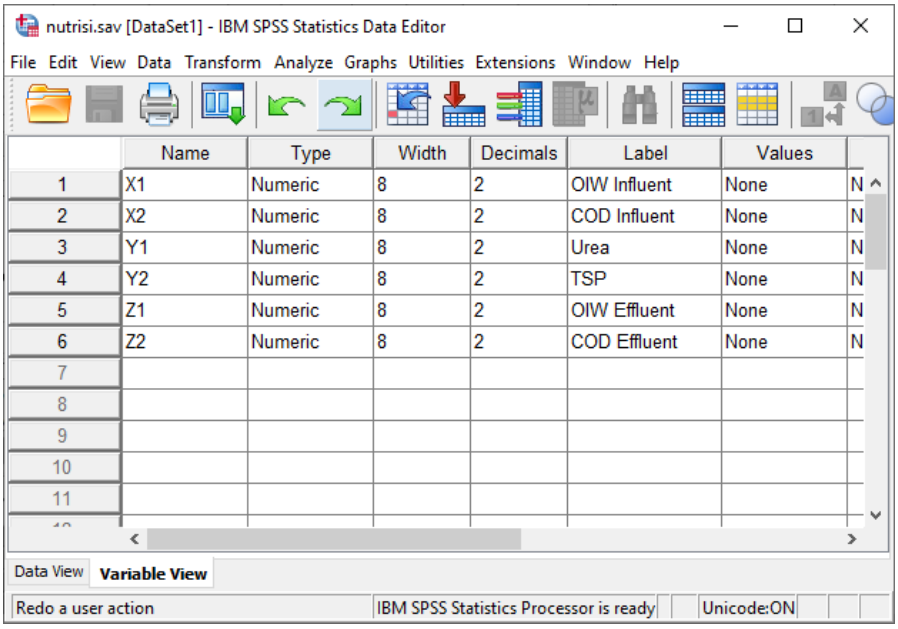
Dari hasil wawancara, didapatkan bahwa operator mengamati parameter OIW *Influent* dan COD *Influent* untuk menentukan berapa besar dosis urea dan TSP yang diperlukan. Kemudian, dibuat *list* data dari *data record* yang diperoleh dari operator. Adapun parameter *effluent* OIW dan COD digunakan oleh operator untuk menentukan pengaruh penambahan nutrisi terhadap kelancaran proses di *polishing unit* sebagai validasi. Menurut operator, nutrisi akan mempengaruhi parameter OIW *Effluent* satu hari setelah dilakukannya penambahan urea dan TSP, sedangkan untuk COD dapat diamati pengaruhnya 2 hari kemudian. Sampel data operasi ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Sampel data operasi *polishing unit* dari identifikasi parameter

	Influent		*Effluent*		Nutrisi	
Tgl	OIW	COD	OIW	COD	Urea (kg)	TSP (kg)
01-Jan-20	23.6	686	2	40	0	1
02-Jan-20	17.6	638	2	44	0	0
03-Jan-20	14.2	638	2	45	0	0
04-Jan-20	14	647	2	46	0	0
05-Jan-20	15	647	2	40	5	0
06-Jan-20	14	680	2	45	0	2
07-Jan-20	15	680	2	43	7	0
08-Jan-20	12	680	2	69	0	0
09-Jan-20	13.8	672	2	67	0	0
10-Jan-20	17	689	2	40	7	1
11-Jan-20	14	689	2	45	0	0
12-Jan-20	18.6	662	2	40	5	0
13-Jan-20	14	662	2	41	0	1
14-Jan-20	15.8	752	2	40	0	0
15-Jan-20	16	752	2	40	7	0

Dengan menggunakan data di atas, dilakukan regresi untuk mencari model persamaan hubungan antar parameter. Pemodelan ini dilakukan pada *software SPSS (Statistical Package for the Social Science)*. Model yang dibuat digunakan sebagai logika dalam penentuan diagnosa oleh sistem pakar. Adapun prosedur pemodelan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

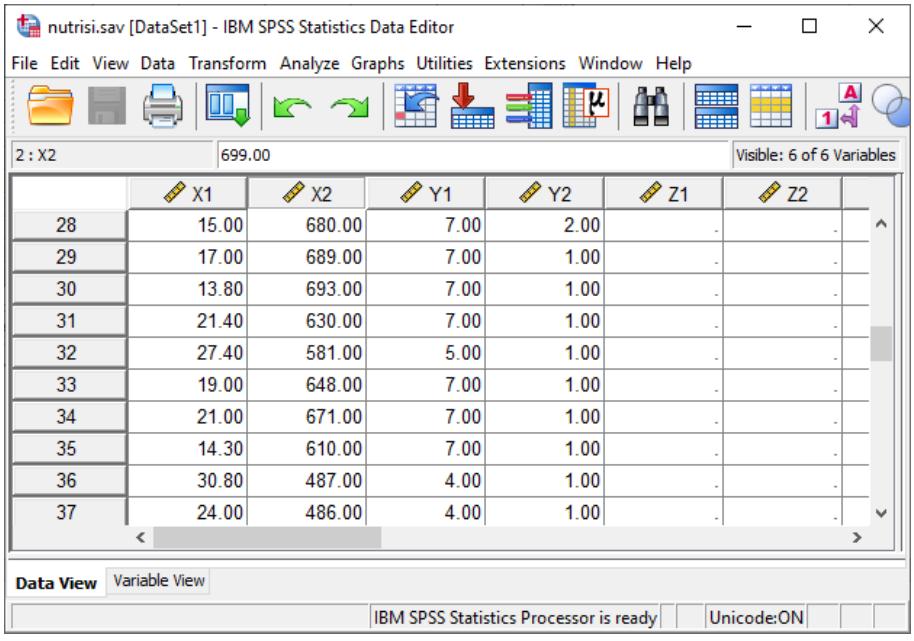
a. Dibuka software SPSS pada bagian *variable view*.
b. Tiap kolom dan baris pada *variable view* diisi seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengaturan variable view pada SPSS

c. Diklik bagian *data view* pada SPSS

d. Kemudian diisikan data dari tiap variabel SPSS sesuai dengan parameter *polishing unit* yang diidentifikas seperti pada 3.4 di bawah.



Gambar 3.4 Pengaturan data view pada SPSS

e. Kemudian diklik *Analyze*, lalu diklik *Regression* dan dipilih submenu *Linier*

f. Pada *window* dialog yang muncul, parameter OIW *Influent* (X1) dan COD *Influent* (X2) dipindahkan ke dalam bagian *independent variable*. Lalu Urea (Y1) dimasukkan sebagai *dependent variable*.
g. Didapatkan hasil regresi yang berisi nilai estimator untuk tiap *independent variable*.
h. Langkah e-g diulangi dengan pasangan data *independent variable:* OIW *Influent* (X1) dan COD *Influent* X2, serta *dependent variable*: TSP (Y2).
i. Langkah e-g diulangi dengan pasangan data: *independent variable* Urea (Y1) dan TSP (Y2), serta *dependent variable* OIW *Effluent* (Z1).
j. Langkah e-g diulangi dengan pasangan data: *independent variable* Urea (Y1) dan TSP (Y1), serta *dependent variable* COD *Effluent* (Y2).

Dari prosedur di atas, didapatkan nilai estimator (koefisien regresi) sebagai berikut:

Model		Unstandardized Coefficients B	Std. Error
1	(Constant)	-2.947	.634
	OIW Influent	-.009	.012
	COD Influent	.015	.001

a. Dependent Variable: Urea

Gambar 3.5 Hasil regresi untuk model hubungan OIW dan COD *Influent* terhadap dosis Urea

Dengan memasukkan nilai koefisien pada gambar di atas ke dalam persamaan (2.1), didapatkan model hubungan OIW *Influent* (X1) dan COD *Influent* (X2) terhadap dosis Urea (Y1) sebagai berikut:

$$Y1 = -2{,}947 + 0{,}015X1 - 0{,}009X2 \qquad (3.1)$$

Adapun hasil regresi untuk langkah h-g dapat dilihat pada Lampiran D. Dengan memasukkan nilai estimator dari tiap hasil regresi ke dalam persamaan (2.1), didapatkan model hubungan OIW *Influent* (X1) dan COD *Influent* (X2) terhadap dosis TSP (Y2) sebagai berikut:

$$Y2 = 0{,}205 + 0{,}002X1 - 0{,}002X2 \qquad (3.2)$$

Kemudian diulangi langkah di atas sehingga di dapat model pengaruh dosis Urea (Y1) dan TSP (Y2) terhadap nilai OIW *effluent* (Z1) pada persamaan (3.3) dibawah. Didapat pula model pengaruh dosis Urea (Y1) dan TSP (Y2) terhadap nilai COD *effluent* (Z2) seperti pada persamaan (3.4):

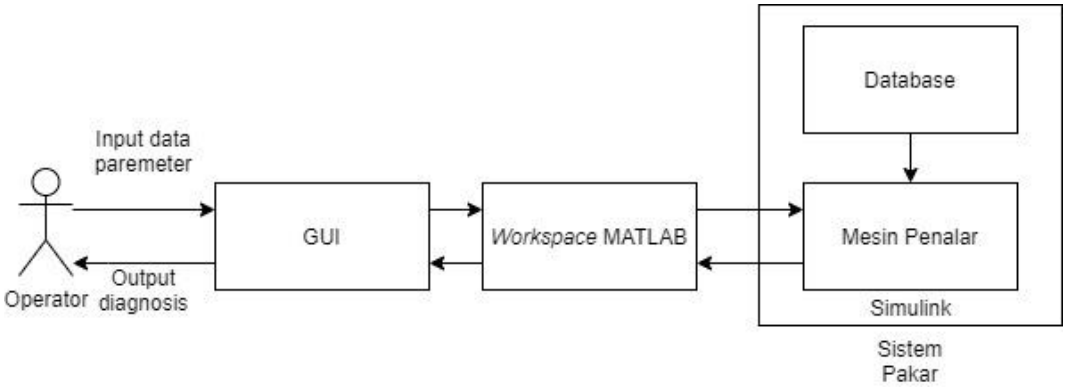
$$Z1 = 1{,}922 \ + -8{,}195 * 10^{-5} Y1 + 0{,}114\text{Y2} \tag{3.3}$$

$$Z2 = 47{,}214 \ - 0{,}253Y1 - 2{,}962\text{Y2} \tag{3.4}$$

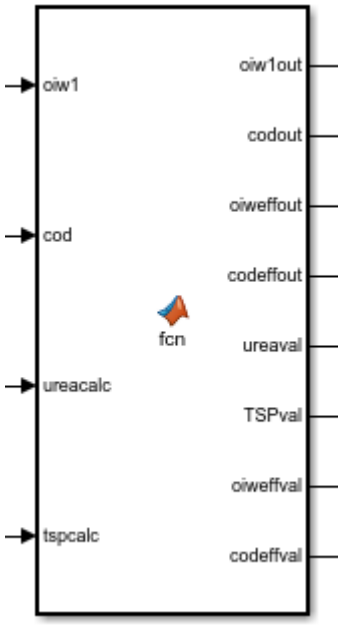
Persamaan (3.1) dan persamaan (3.2) digunakan untuk menentukan dosis urea yang disarankan oleh sistem pakar. Sedangkan persamaan (3.3) dan persamaan (3.4) digunakan untuk memprediksi nilai OIW *effluent* dan COD *effluent* yang turun akibat penambahan nutrisi.

3.2 Perancangan Sistem Pakar

Bagian-bagian sistem pakar yang perlu dirancang terdapat dalam skematik pada gambar 3.6. Bagian pertama yang dirancang adalah *function block* sistem pakar dalam Simulink seperti pada gambar 3.7. *Function block* ini berisi *database* dan mesin penalar yang disusun.

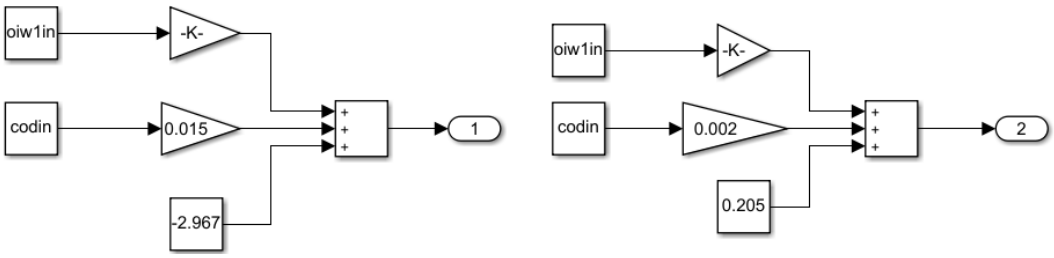


Gambar 3.6 Skematik sistem pakar untuk diagnosis kondisi operasi *polishing unit*



Gambar 3.7 *User-defined function block* sistem pakar *polishing unit* pada Simulink

Pada gambar 3.7, ditampilkan *function block* sistem pakar, yang menunjukkan logika mesin penalar untuk parameter OIW dan COD menggunakan fungsi *if-then*. *Function block* menerima *input* pasangan data parameter dari *workspace*, serta dosis perhitungan nutrisi dari subsistem *function block* pada gambar 3.8. Kemudian setelah proses penalaran, didapat *output* diagnosis penambahan nutrisi yang dikirim ke *display block* serta *workspace*.



Gambar 3.8 Subsistem *function block* sistem pakar

Pertama, dibuat subsistem *function block* seperti pada gambar 3.8, yang menunjukkan perhitungan dosis nutrisi berdasarkan persamaan (3.1) dan (3.2). *Output* dari subsistem di atas adalah dosis Urea dan Dosis TSP, yang dimasukkan kedalam *function block* melalui *port* "ureacalc" dan "tspcalc" seperti pada gambar 3.7.

Function block pada gambar 3.7 memiliki enam masukan berdasarkan parameter yang diidentifikasi pada subbab sebelumnya yakni: nilai OIW *Influent* (oiw1); nilai COD *Influent* (cod); Urea (ureacalc); dan TSP (tspcalc). Kemudian terdapat delapan keluaran, yakni diagnosis untuk: OIW *Influent* (oiw1out); COD *Influent* (codout); OIW *Effluent* (oiweffout); COD *Effluent* (codeffout); dosis Urea (ureaval); dosis TSP (TSPval); nilai OIW *Effluent* (oiweffval); dan nilai COD *Effluent* (codeffval).

Nilai *database* dan mesin penalar juga didefinisikan di dalam *function block*. Adapun *database* parameter yang dibuat dapat dilihat pada gambar 3.9, serta mesin penalar pada gambar 3.10. Sehingga masukan *function block* dapat dicocokkan oleh mesin penalar sesuai dengan *database* yang disusun di bawah.

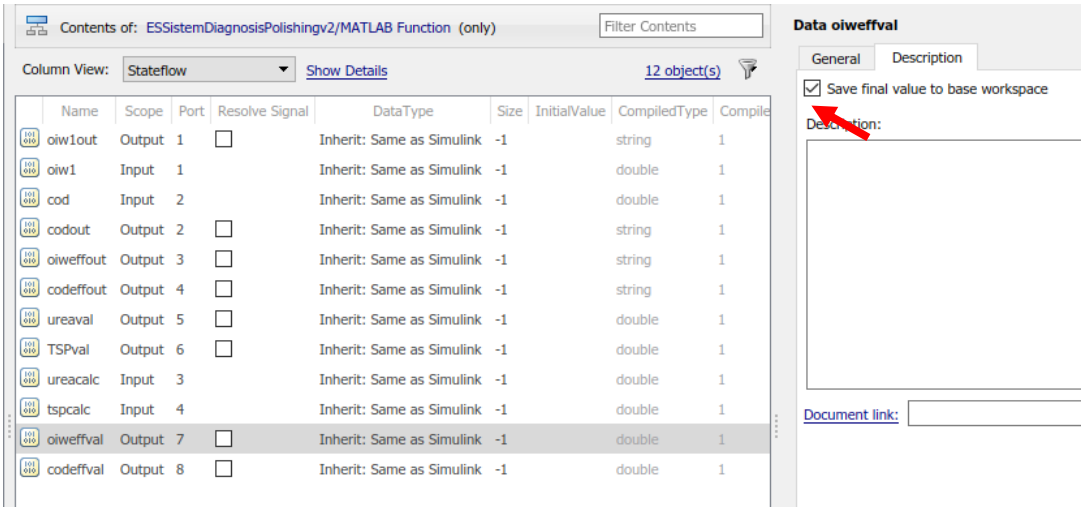
```
%OIW Influent Value Database
oiwlveryhigh = "Very high influent OIW, over regulatory limit";
oiwlhigh = "High influent OIW value, over regulatory limit";
oiwlmedium = "Medium influent OIW value (normal), below regulatory limit";
oiwllow = "Low influent OIW value (normal), below regulatory limit";

%COD Influent Value Database
codhigh = "Influent COD Value High, over regulatory limit";
codmedium = "Influent COD Value Normal, over regulatory limit";
codlow = "Influent COD Value Low, below regulatory limit";

%Nutrition Value database
ureaval=ureacalc;
TSPval=tspcalc;

%Effluent OIW Value Database
oiweff = [1.922 -0.00008195*ureacalc 0.114*tspcalc];
oiweffval= sum(oiweff);

%Effluent COD Value Database
codeff= [47.214 -0.253*ureacalc -2.962*tspcalc];
codeffval= sum(codeff);

%Effluent OIW Diagnostic Value
oiwefflow = "Effluent OIW value will exceed regulatory limit (25 mg/l)";
oiweffhigh = "Effluent OIW value will meet regulatory limit (under 25 mg/l)";
```

Gambar 3.9 *Database* sistem pakar pada *function block* MATLAB

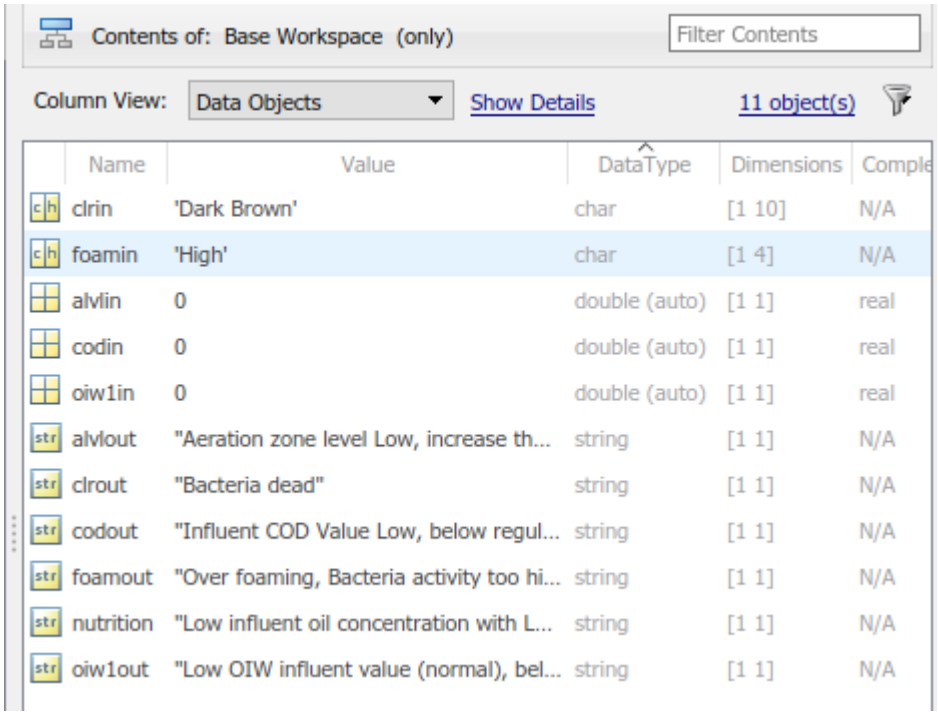
```
%Inference Engine

%OIW (Influent) Value Scoring
    if (oiwl > 56)
     oiwlout = oiwlveryhigh;
    elseif (oiwl <= 56) && (oiwl > 25)
     oiwlout = oiwlhigh;
    elseif (oiwl <= 25) && (oiwl > 14)
     oiwlout = oiwlmedium;
    elseif (oiwl <= 14)
     oiwlout = oiwllow;
    else
     oiwlout = "OIW Value Error";
    end

%COD (Influent) Value Scoring
    if (cod > 273)
     codout = codhigh;
    elseif (cod <= 273) && (cod > 200)
     codout = codmedium;
    elseif (cod <= 200)
     codout = codlow;
    else
     codout ="COD Value Error";
    end
```

Gambar 3.10 Mesin penalar sistem pakar *pada function block* MATLAB

Kemudian diatur penyimpanan parameter keluaran sistem pakar dari *function block* ke *workspace* MATLAB pada Model Explorer Simulink seperti pada gambar 3.11. Langkah ini dilakukan untuk tiap output *function block* sistem pakar. Penyimpanan ke *workspace* dilakukan agar nilai parameter output dari Simulink dapat dipanggil oleh GUI. Sehingga, didapat *workspace* dari sistem pakar pada MATLAB seperti pada gambar 3.12. Pada tahapan ini, *output* dari model Simulink sistem pakar sudah dapat dihubungkan dengan GUI melalui *workspace*.



Gambar 3.11 Pengaturan penyimpanan parameter output *function block* sistem pakar ke *workspace*



Gambar 3.12 *Workspace* sistem pakar pada MATLAB

Adapun perancangan *database* dan mesin penalar yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.2.1 Perancangan *Database*

Setelah parameter yang operator gunakan untuk menjaga kondisi operasi *polishing unit* diidentifikasi dan didapat model hubungan antar parameter, dilakukan *scoring* dari parameter yang diidentifikasi. *Scoring* yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah. *Scoring* dilakukan berdasarkan wawancara dengan operator, serta berdasarkan nilai baku mutu yang dari tabel 2.1 Tiap rentang yang di-*scoring* diberi label sehingga dapat dideklarasikan sebagai variabel pada MATLAB.

Tabel 3.2 *Scoring* parameter operasional *polishing unit*

Parameter	*Scoring*	Penilaian pakar	Label
OIW *Influent* (mg/L)	oiw>56	Very high *Influent* OIW, over regulatory limit	oiw1veryhigh

Parameter	*Scoring*	Penilaian pakar	Label
	25<oiw1<=56	High *Influent* OIW value, over regulatory limit	oiw1high
	14<oiw1<=25	Medium *Influent* OIW value (normal), below regulatory limit	oiw1medium
	oiw1<14	Low *Influent* OIW value (normal), below regulatory limit	oiw1low
COD *Influent* (mg/L)	cod>273	*Influent* COD Value High, over regulatory limit	codhigh
	200<cod<=273	*Influent* COD Value Normal, over regulatory limit	codmedium
	cod<=200	*Influent* COD Value Low, below regulatory limit	codlow
OIW *Effluent*	oiweffval>25	*Effluent* OIW value will exceed regulatory limit (25 mg/l)	oiweffhigh
	oiweffval<=25	*Effluent* OIW value will meet regulatory limit (under 25 mg/l)	oiwefflow
COD *Effluent*	codeffval>200	*Effluent* COD value will exceed regulatory limit (200 mg/l)	codeffhigh

Parameter	*Scoring*	Penilaian pakar	Label
	codeffval<=200	*Effluent* COD value will meet regulatory limit (under 200 mg/l)	codefflow

Setelah *scoring* untuk diagnosis dibuat, didefinisikan persamaan (3.3) dan persamaan (3.4) pada *database* seperti pada gambar 3.13. Kedua persamaan tersebut berfungsi untuk memprediksi berapa nilai OIW *Effluent* dan COD *Effluent*, jika diberikan nutrisi sesuai dengan saran sistem pakar.

```
%Effluent OIW Value Database
oiweff = [1.922 -0.00008195*ureacalc 0.114*tspcalc];
oiweffval= sum(oiweff);

%Effluent COD Value Database
codeff= [47.214 -0.253*ureacalc -2.962*tspcalc];
codeffval= sum(codeff);
```

Gambar 3.13 Baris kode *database* bagian nilai OIW *Effluent* dan COD *Effluent*

3.2.2 Perancangan Mesin Penalar

Mesin penalar dibuat berdasarkan *scoring* parameter dari *database* pada tabel 3.2. Mesin penalar berupa logika kondisi bersyarat *if-and-then* mencocokkan pasangan parameter OIW dan COD untuk memperoleh diagnosis parameter *Influent*, serta menyimpulkan pengaruh penambahan nutrisi terhadap nilai parameter *Effluent*, berdasarkan hasil persamaan (3.3) dan (3.4). Mesin penalar yang disusun terdapat pada tabel 3.3. Saat operator memasukkan input parameter melalui GUI, nilai parameter dicocokkan dengan *database* yang disusun sesuai dengan tabel 3.3. Logika mesin penalar yang disusun pada tabel 3.5 dibawah kemudian dideklarasikan di dalam *function block* Simulink seperti pada gambar 3.9.

Tabel 3.3 Mesin penalar sistem pakar *polishing unit*

IF	THEN
OIW *Influent* > 56 mg/l	oiw1 = oiw1veryhigh
25 mg/l < OIW *Influent*<= 56 mg/l	oiw1 = oiw1high
14 mg/l < OIW *Influent* <= 25 mg/l	oiw1 = oiw1medium

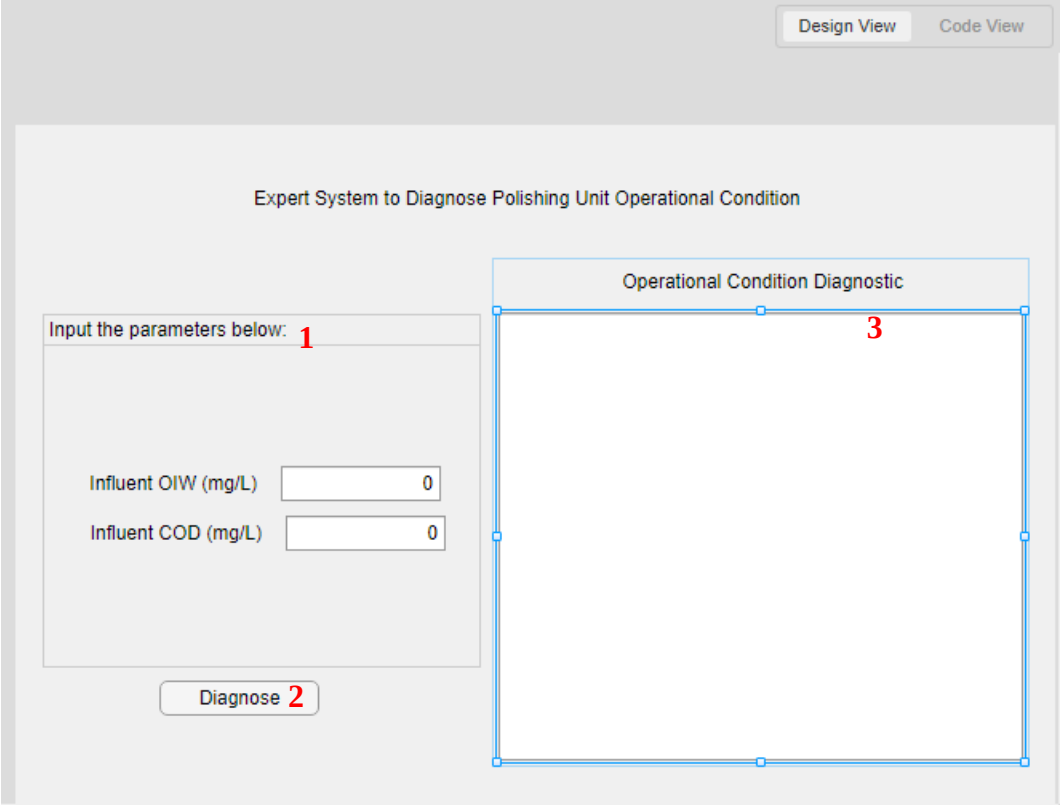
OIW *Influent* < 14 mg/l	oiw1 = oiw1low
COD *Influent* > 273 mg/l	cod = codhigh
200 mg/l<COD *Influent* <=273 mg/l	cod = codmedium
COD *Influent* <=200 mg/l	cod = codlow
OIW *Effluent* >25 mg/l	oiweffval = oiwefflowhigh
OIW *Effluent* <=25 mg/l	oiweffval = oiwefflow
COD *Effluent* >200 mg/l	oiweffval = codeffhigh
COD *Effluent* <=200 mg/l	oiweffval =codefflow

3.3 Perancangan *Graphical User Interface* (GUI)

GUI sistem pakar berguna untuk memudahkan operator dalam menggunakan sistem pakar. Setelah model sistem pakar dibuat pada Simulink, GUI sistem pakar dirancang menggunakan aplikasi *App Designer* pada software MATLAB. Tahapan perancangan GUI sistem pakar agar terhubung dengan model Simulink yang dibuat adalah sebagai berikut:

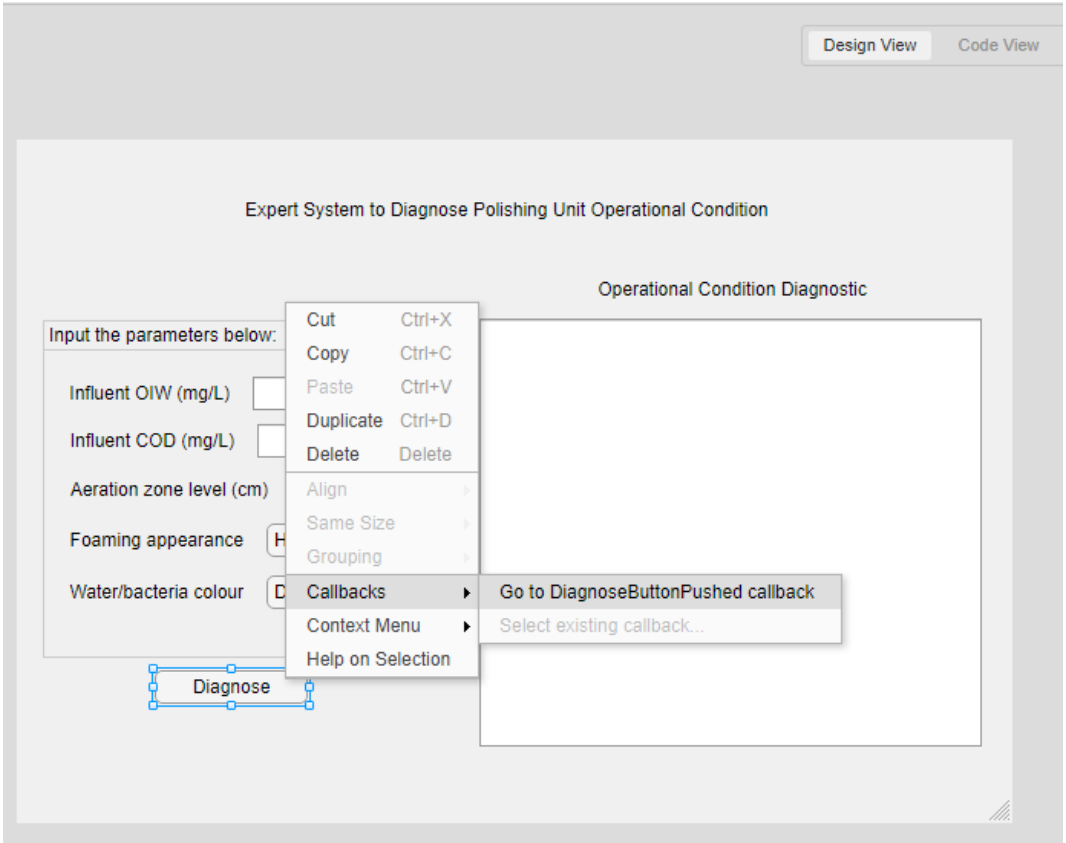
a. Dilakukan desain *layout* sistem pakar pada *design view* App Designer, dengan menambahkan komponen-komponen GUI. *Layout* yang didesain nampak pada gambar 3.14. Penulis membagi desain *layout* menjadi tiga bagian:

- Bagian 1 untuk memasukkan data parameter *polishing* unit ke sistem pakar. Pengguna dapat memasukkan nilai parameter *Influent* OIW, *Influent* COD dan *aeration zone level* menggunakan *keyboard*, serta memilih kondisi *foaming* dan *water colour* yang sesuai pada bagian ini.
- Bagian 2 berupa *push button* untuk menjalankan sistem pakar. Ketika *push button* bertuliskan *Diagnose* ini diklik, akan dieksekusi program GUI sistem pakar.
- Bagian 3 untuk menampilkan hasil diagnosis sistem pakar. Setelah program dijalankan menggunakan tombol *diagnose*, diagnosis masing-masing parameter, serta saran penambahan nutrisi akan ditampilkan.



Gambar 3.14 Desain *layout* GUI sistem pakar

b. Dilakukan penambahan fungsi *callback* pada tombol *Diagnose* seperti pada gambar 3.15. Fungsi *callback* ini berfungsi agar GUI dapat dijalankan ketika tombol diklik. Program yang menghubungkan antara GUI dengan model *Simulink* juga dibuat di dalam fungsi ini.



Gambar 3.15 Penambahan fungsi *callback* pada GUI

c. Dilakukan *coding* fungsi *callback* GUI melalui *code view* seperti pada gambar 3.16. Kode yang dibuat pada fungsi *callback* ini dibagi menjadi 4 bagian, yakni:

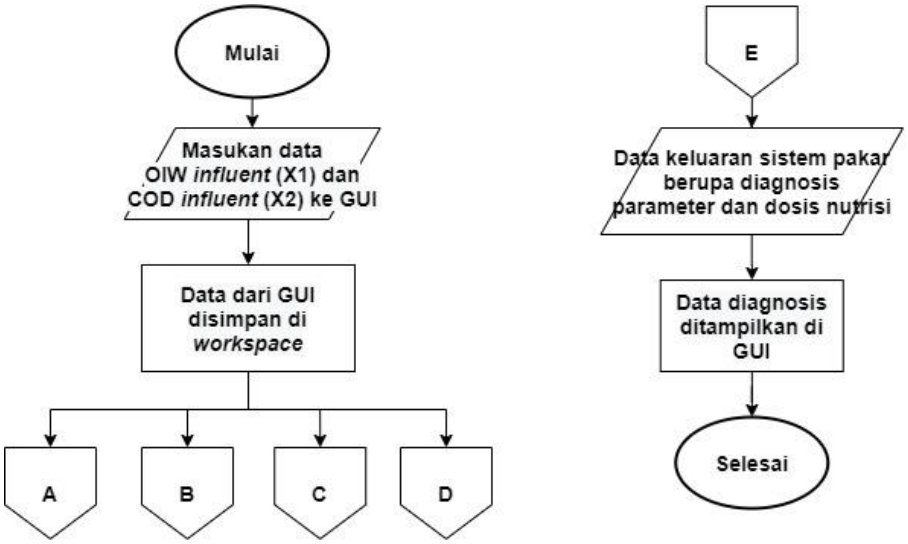
- Bagian 1: Untuk memasukkan data input pengguna dari GUI ke *workspace* MATLAB.
- Bagian 2: Untuk menjalankan model Simulink yang dibuat.
- Bagian 3: Untuk mengambil keluaran model Simulink, yakni hasil diagnosis yang disimpan di *workspace*.
- Bagian 4: Untuk menampilkan hasil diagnosis pada GUI.

```
%Input data into Simulink 1
assignin('base','oiw1in',app.InfluentOIWmgLEditField.Value)
assignin('base','codin',app.InfluentCODmgLEditField.Value)

%Run Simulink model 2
sim("ESSistemDiagnosisPolishingv2.slx");

%Pull diagnostic data from base workspace 3
oiwbase = evalin('base','oiw1out');
codbase = evalin('base','codout');
ureabase = num2str(evalin ('base','ureaval'));
tspbase = num2str(evalin ('base','TSPval'));
oiweffbase = evalin('base','oiweffout');
oiweffvalbase = num2str(evalin('base','oiweffval'));
codeffbase = evalin('base','codeffout');
codeffvalbase = num2str(evalin('base','codeffval'));

%Put diagnostic data into text area 4
cellarraytext = sprintf('OIW Influent Diagnostic: \n%s\n \nCOD Infl
app.OperationalConditionDiagnosticTextArea.Value = (cellarraytext);
```

Gambar 3.16 Baris kode fungsi *callback* tombol *Diagnose* pada GUI

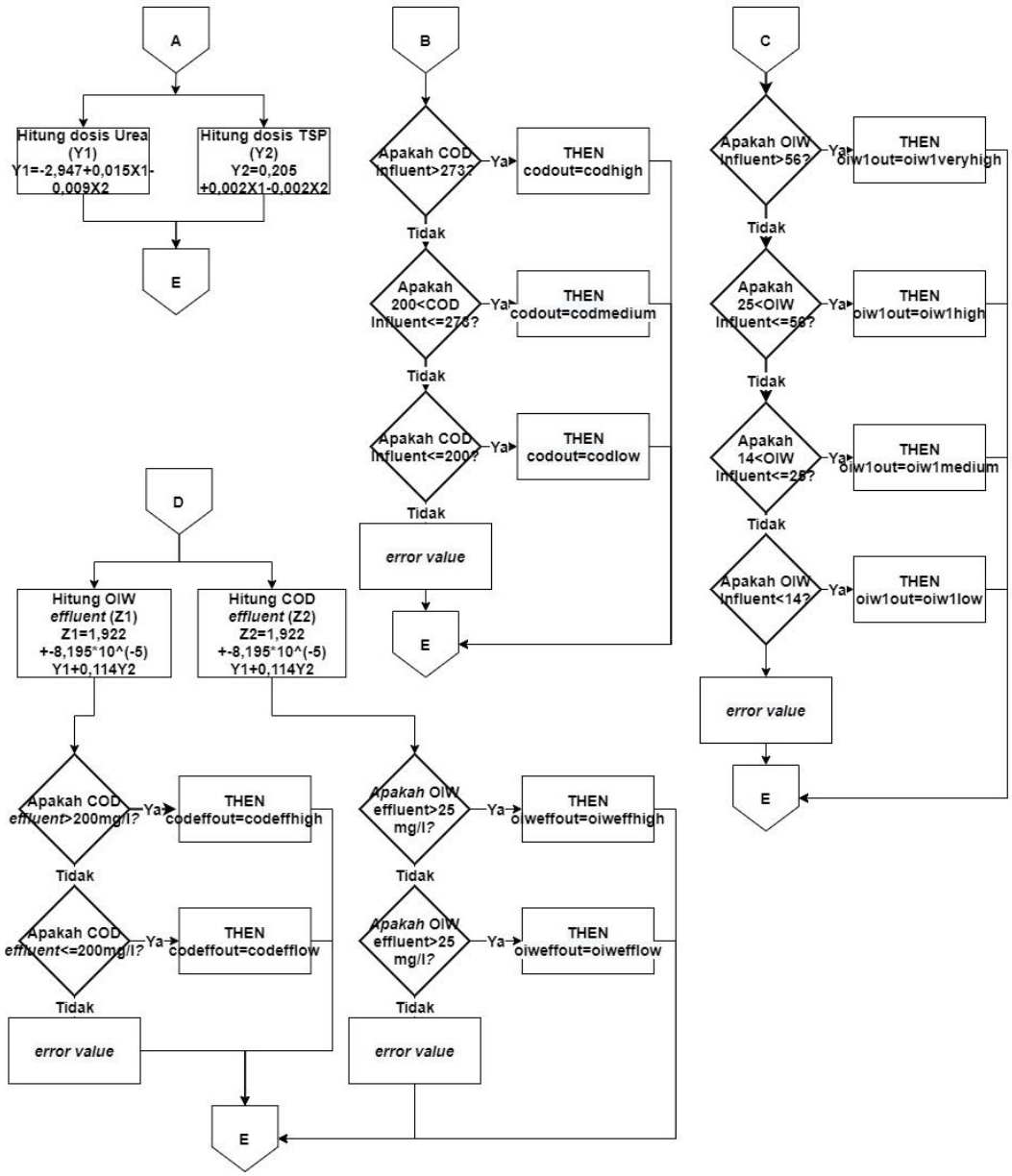
3.4 Pemrograman Sistem Pakar

Database sistem pakar dibuat sesuai dengan rancangan pada tabel 3.2-3.3, dan mesin penalar dibuat sesuai dengan rancangan pada tabel 3.4. Program sistem pakar yang dibuat untuk *database dan* mesin penalar pada software MATLAB dapat dilihat pada gambar 3.16-3.18 pada subbab 3.2. Adapun sistem pakar yang dibuat mengikuti alur yang terdapat pada gambar 3.17 dan gambar 3.18 dalam menentukan diagnosis bagi operator. Diagram alir berikut disusun mengikuti panduan menurut (Khanna, 2007).



Gambar 3.17 Diagram alir sistem pakar *polishing unit*

Sistem pakar dapat digunakan dengan memberikan masukan berupa data OIW *influent* dan COD *influent* pada GUI, data tersebut kemudian disimpan di dalam *workspace*. Data yang tersimpan kemudian diteruskan ke Simulink, untuk kemudian digunakan dalam proses yang terbagi menjadi empat bagian seperti nampak dalam gambar 3.18. Pada bagian A, sistem pakar melakukan perhitungan dosis Urea dan TSP berdasarkan persamaan (3.1) dan (3.2). Pada bagian B terjadi penalaran nilai COD *influent* berdasarkan mesin penalar yang dirancang pada subbab 3.2, yang menghasilkan diagnosis nilai COD *influent*. Pada bagian C, terjadi penalaran nilai OIW *influent*. Lalu pada bagian D, sistem pakar melakukan perhitungan nilai *effluent* berdasarkan persamaan (3.3) dan (3.4), kemudian dari nilai tersebut sistem pakar menghasilkan diagnosis nilai *effluent*. Keluaran dari bagian A berupa nilai dosis nutrisi, keluaran bagian B berupa diagnosis nilai COD *influent*, keluaran bagian C berupa diagnosis nilai OIW *influent*, dan D berupa nilai *effluent* serta diagnosis nilai effluent kemudian masuk ke bagian E yang ada pada gambar 3.17. Keluaran dari tiap bagian tersebut akan ditampilkan pada GUI, untuk memberikan kesimpulan berupa diagnosis parameter *polishing unit*, serta saran dosis nutrisi.

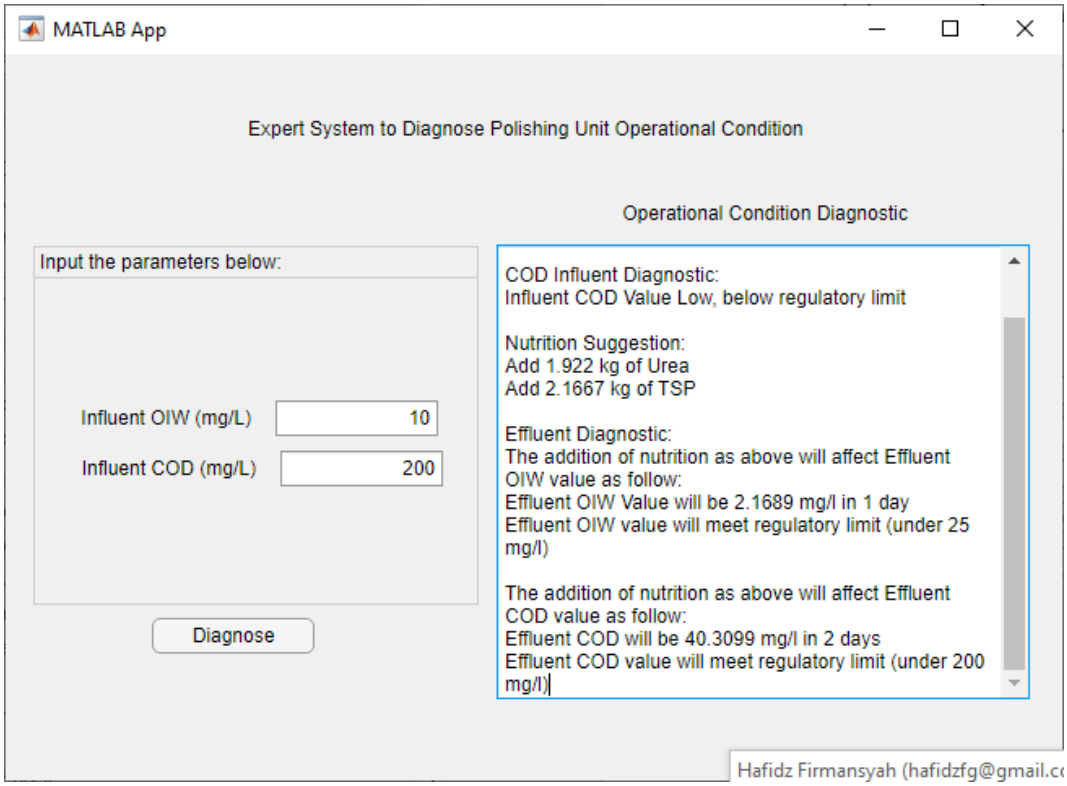


Gambar 3.18 Diagram alir sistem pakar polishing unit (lanjutan)

3.5 Pemrograman GUI sistem pakar

Operator dapat memasukkan nilai parameter *input* kedalam sistem pakar melalui GUI pada *layout* yang dirancang sesuai gambar 3.22. Setelah itu, operator dapat mengklik tombol *Diagnose* untuk menjalankan diagnosis sistem pakar. Proses diagnosis terjadi di dalam Simulink, akan tetapi operator hanya perlu berinteraksi dengan program GUI saja. Setelah proses diagnosis selesai, model Simulink menyimpan *output* berupa hasil diagnosis ke dalam *workspace* MATLAB. GUI yang dirancang akan membaca data hasil diagnosis dari *workspace*

sesuai dengan *coding* yang dilakukan pada lampiran B. Pada gambar 3.19 di bawah, ditampilkan simulasi diagnosis kondisi operasi *polishing unit* menggunakan GUI yang telah dibuat.



Gambar 3.19 Simulasi GUI Sistem pakar

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi kinerja sistem pakar

Sistem pakar yang telah dibuat divalidasi kinerjanya dengan membandingkan keluaran sistem pakar terhadap data hasil operasi yang tercatat. Adapun prosedur validasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Disiapkan sampel data operasi berjumlah sepuluh yang diambil dari data operasi *polishing unit* seperti nampak pada tabel 4.1. Adapun data operasi secara lengkap dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4.1 Sampel data operasi *polishing unit*

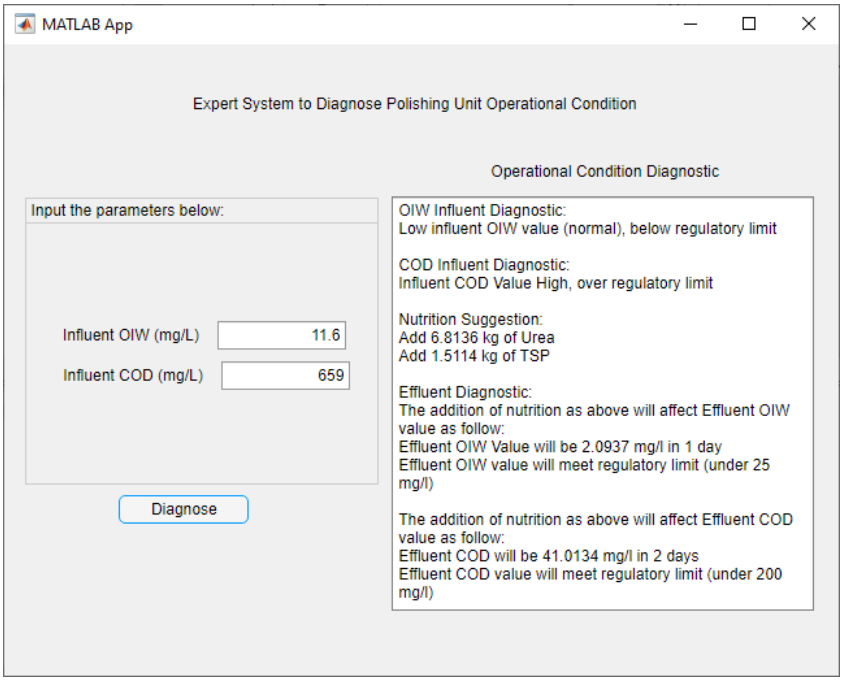
Tanggal	*Influent*		Nutrisi		Tanggal	OIW Effluent (mg/l)	Tanggal	COD Effluent (mg/l)
	OIW (mg/l)	COD (mg/l)	Urea	TSP				
27-May-19	10,6	678	7	2	28-May-19	2	29-May-19	42
15-Jun-19	11,1	703	7	1	16-Jun-19	2	17-Jun-19	43
25-Sep-19	11,6	659	7	2	26-Sep-19	2	27-Sep-19	42
06-Oct-19	9,6	561	5	2	07-Oct-19	2	08-Oct-19	33
10-Jan-20	17	689	7	1	11-Jan-20	2	12-Jan-20	45
29-Jan-20	21,4	630	7	1	30-Jan-20	2	31-Jan-20	40
31-Jan-20	27,4	581	5	1	01-Feb-20	2	02-Feb-20	43
28-Feb-20	130,2	570	5	1	29-Feb-20	5,4	01-Maret-20	40
14-Mar-20	21	671	7	1	15-Mar-20	4	16-Mar-20	45
02-Apr-20	30,8	487	4	2	03-Apr-20	3,1	04-Apr-20	42

b. *Graphical User Interface* (GUI) sistem pakar dijalankan.

c. Dimasukkan nilai OIW *influent* dan COD *influent* dari tabel 4.1 ke dalam GUI sistem pakar.

d. Hasil diagnosis oleh sistem pakar yang ditampilkan pada GUI seperti pada gambar 4.1 dicatat. Hasil tersebut dikumpulkan didalam tabel seperti nampak pada tabel 4.2.

Adapun pada gambar 4.1 di bawah ditampilkan hasil diagnosis kondisi operasi *polishing unit* pada GUI, menggunakan input data operasi 25 September 2019. Hasil diagnosis oleh GUI sistem pakar dengan menggunakan data tanggal operasi yang lain dapat dilihat pada lampiran E



Gambar 4.1 Simulasi diagnosis kondisi operasi polishing unit pada GUI sistem pakar

Validasi dilakukan dengan memberikan *input* data parameter *polishing unit* pada beberapa tanggal operasi, saat operator menambahkan jumlah nutrisi yang berbeda-beda pada 10 tanggal operasi sesuai dengan tabel 4.1. Adapun nilai OIW *effluent* yang digunakan adalah satu hari setelah masing-masing tanggal, sedangkan nilai COD *effluent* yang digunakan adalah dua hari setelah masing masing tanggal. Hal tersebut mengikuti petunjuk operator, yang mengatakan jika pengaruh nutrisi terhadap OIW *effluent* dapat diamati satu hari setelah penambahan nutrisi, serta pengaruh nutrisi terhadap COD *effluent* dua hari setelah penambahan. Hasil validasi

pada GUI dapat dilihat pada lampiran E. Adapun hasil validasi dalam tabel dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil validasi sistem pakar

Tanggal	*Output* hasil simulasi					
	OIW *influent*	COD *influent*	OIW e*ffluent*	COD *effluent*	Urea (kg)	TSP (kg)
27-May-19	Nilai OIW rendah (normal), memenuhi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,0982 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	40,8235 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	7,1076	1,5504
15-Jun-19	Nilai OIW rendah (normal), memenuhi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,1038 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	40,5831 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	7,4781	1,5999
25-Sep-19	Nilai OIW rendah (normal), memenuhi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,0937 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	41,0134 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	6,8136	1,5114
06-Oct-19	Nilai OIW rendah (normal), memenuhi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,0717 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	41,9554 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	5,3616	1,3174
10-Jan-20	Nilai OIW sedang (normal), memenuhi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,0999 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	40,7501 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	7,215	1,566
29-Jan-20	Nilai OIW sedang (normal), memenuhi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,0861 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	41,3466 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	6,2904	1,4436
31-Jan-20	Nilai OIW tinggi, melebihi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,0743 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	41,8543 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	5,5014	1,3396
28-Feb-20	Nilai OIW sedang (normal), memenuhi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,0861 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	41,3466 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	6,2904	1,4436

Tanggal	*Output* hasil simulasi					
	OIW *influent*	COD *influent*	OIW e*ffluent*	COD *effluent*	Urea (kg)	TSP (kg)
14-Mar-20	Nilai OIW sedang (normal), memenuhi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku mutu	2,0954 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	40,946 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	6,909	1,526
02-Apr-20	Nilai OIW tinggi, melebihi nilai baku mutu	Nilai COD tinggi, melebihi nilai baku	2,0526 mg/l satu hari setelah nutrisi ditambahkan	42,7856 mg/l dua hari setelah nutrisi ditambahkan	4,0608	1,1482

Validasi menggunakan data operasi *polishing unit* pada tanggal 27 Mei, 15 Juni, dan 25 September, 6 Oktober 2019 menunjukkan jika nilai OIW rendah dan telah memenuhi nilai baku mutu. Kandungan minyak dalam air (OIW) yang rendah menunjukkan beban pengolahan air berdasarkan jumlah minyak rendah. Bakteri tidak perlu bekerja keras untuk menguraikan minyak di dalam air. Akan tetapi nilai COD yang ditunjukkan tinggi. Kebutuhan oksigen kimiawi (COD) yang tinggi menunjukkan beban penguraian yang tinggi bagi bakteri, untuk mengoksidasi polutan dalam air limbah. Sehingga semakin tinggi nilai COD, semakin tinggi aktivitas bakteri yang dibutuhkan. Aktivitas bakteri yang tinggi ini perlu didukung oleh penambahan nutrisi yang cukup oleh operator. Sistem pakar menyarankan penambahan nutrisi untuk ketiga tanggal tersebut berupa pupuk Urea sebesar 7,108 kg; 7,478 kg; 6,813 kg; 5,362 kg dan pupuk TSP sebesar 1,550 kg; 1,599 kg; 1,511 kg; dan 1,317 kg. Sistem pakar mampu menyarankan penambahan Urea yang mendekati jumlah yang telah diberikan oleh operator jika dibandingkan dengan tabel 4.5, yakni sebesar 7 kg dan 5 kg. Serta TSP yang cukup baik yakni sebesar 1 kg dan 2 kg. Adapun secara keseluruhan, sistem pakar mampu menyarankan dosis Urea yang sesuai sebanyak 8 dari 10 aplikasi. Lalu dosis TSP yang sesuai sebanyak 6 dari 10 aplikasi. Ketidaksesuaian dosis nutrisi terjadi kemungkinan karena dalam melakukan penambahan nutrisi di lapangan, operator juga mempertimbangkan parameter lain. Penyebab lain yang mungkin menyebabkan perbedaan ini adalah *scoring* parameter *input* OIW dan COD/model hubungan antar parameter yang kurang tepat. Menurut operator dari PT. SIPL, penambahan nutrisi berdasarkan parameter-parameter *input* sangat bergantung kepada pengalaman dan perkiraan

operator, *scoring* yang dilakukan pada bab sebelumnya merupakan pendekatan terhadap perkiraan yang dilakukan operator menggunakan regresi.

Sistem pakar juga memberikan prediksi pengaruh nutrisi terhadap OIW *effluent* dan COD *effluent*. Pengaruh nutrisi yang diberikan oleh operator terhadap OIW *effluent* dapat dilihat satu hari setelah pemberian nutrisi. Sedangkan penurunan nilai COD *effluent* dapat dilihat dua hari setelah penambahan nutrisi. Waktu tunggu selama satu dan dua hari ini dikarenakan *polishing unit* memiliki proses biologis, dimana diperlukan waktu yang lama bagi bakteri untuk menguraikan air limbah. Sistem pakar mampu memberikan prediksi pengaruh terhadap nilai OIW *effluent* dengan tepat pada sebanyak 7 dari 10 aplikasi, serta COD *effluent* yang sesuai sebanyak 2 dari 10 aplikasi. Perbedaan ini terjadi karena *polishing unit* adalah *plant* yang cukup kompleks, dimana nilai parameter *effluent* tidak hanya dipengaruhi oleh nilai nutrisi. Akan tetapi dapat dipengaruhi oleh banyak faktor seperti laju aerasi, umur lumpur aktif, dan volume lumpur aktif. Sehingga model hubungan dari nutrisi dengan nilai *effluent* kurang merepresentasikan kondisi lapangan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Identifikasi kondisi operasi *polishing unit* oleh pakar terhadap *data record polishing unit* dilakukan dengan melihat parameter mana yang menjadi beban penguraian limbah bagi bakteri. Pertama, dilakukan wawancara dengan operator untuk mengetahui parameter mana yang digunakan oleh operator, serta mendapatkan *data record polishing unit*, yang berisi kepakaran operator berupa dosis nutrisi. Setelah diidentifikasi parameter yang digunakan sebagai acuan oleh operator, yakni OIW *Influent* dan COD *Influent*, dilakukan regresi untuk mendapatkan model hubungan pengaruh OIW *Influent* dan COD *Influent* dengan dosis Urea dan TSP yang dapat dilihat pada persamaan (3.1) dan (3.2). Selain itu dilakukan pula pemodelan untuk mengetahui pengaruh dosis Urea dan TSP terhadap nilai OIW *effluent* dan COD *effluent* pada persamaan (3.3) dan (3.4).
b. *Database* dari *data record* disusun setelah identifikasi parameter dilakukan. Dari paremeter yang diidentifikasi, disusun *scoring* untuk masing-masing parameter, sehingga tiap parameter dibagi menjadi rentang nilai tertentu, serta digunakan model hubungan antar parameter dari regresi. Kemudian dibuat skenario *database* berupa pasangan data yang mungkin terjadi. Adapun *database* penambahan nutrisi menurut sistem pakar mengikuti persamaan (3.1) untuk Urea, dan (3.2) untuk TSP. Sedangkan nilai OIW *Effluent* dan COD *Effluent* mengikuti persamaan (3.3) dan persamaan (3.4).
c. Algoritma pada mesin penalar dibuat di dalam *function block* sistem pakar pada Simulink. Algoritma dibuat menggunakan logika kondisi bersyarat *(if-then*). Mesin penalar mencocokkan nilai parameter yang dimasukkan ke dalam sistem pakar, kemudian mencocokkan nilai tersebut dengan skenario *database* yang disusun. Mesin penalar kemudian memberikan kesimpulan berupa saran penambahan nutrisi, serta diagnosis tiap parameter.

d. Sistem pakar dirancang dengan sebuah *graphical user interface* (GUI) untuk memberikan petunjuk penambahan nutrisi dan diagnosis kondisi operasi kepada operator. Pada sistem pakar yang dirancang, operator dapat memasukkan data parameter OIW *Influent*, dan COD *Influent*. Sistem pakar kemudian memberikan diagnosis untuk kedua parameter tersebut, serta memberikan saran penambahan nutrisi melalui GUI yang dirancang. Sistem pakar juga memberikan prediksi nilai OIW *effluent* untuk satu hari setelah penambahan nutrisi, dan COD *effluent* dua hari setelah penambahan nutrisi. Pada validasi kinerja sistem pakar yang dilakukan, sistem pakar menyarankan dosis Urea yang sesuai sebanyak 8 dari 10 aplikasi, dan dosis TSP yang sesuai sebanyak 6 dari 10 aplikasi dengan jika dibandingkan dengan data operasi *polishing unit*. Adapun nilai Urea dan TSP yang disarankan dapat dilihat pada tabel 4.2. Sistem pakar juga memberikan prediksi nilai OIW *effluent* untuk satu hari setelah penambahan, dan COD *effluent* untuk dua hari setelah penambahan. Nilai OIW *effluent* dapat diprediksi dengan benar sebanyak 7 dari 10 aplikasi, sedangkan COD *effluent* sebanyak 2 dari 10 aplikasi.

5.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya adalah, dalam menyusun sistem pakar lakukan *scoring* parameter secara lebih detil, sehingga *database* yang disusun menjadi lebih akurat. Pastikan pula parameter yang diidentifikasi dapat mewakili proses yang berlangsung di dalam *polishing unit*. Dalam melakukan pemodelan nilai *effluent*, dapat digunakan parameter lain diluar nutrisi, seperti volume lumpur aktif, laju aerasi, serta umur lumpur aktif. Sehingga mungkin didapatkan model hubungan antar parameter yang lebih akurat, yang menghasilkan sistem pakar yang lebih akurat pula.

DAFTAR PUSTAKA

Altan, T. (1988) *Advances in metal forming processes, Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. doi: 10.1016/0736-5845(88)90066-X.

Ele, Sylvester I., Umoh, E. E. dan Adesola, W. A. (2014) "An overview of the development principles, stages and building blocks of Expert System," *West African Journal of Industrial and Academic Research*, 11(1), hal. 44-58–58.

Fakhru'l-Razi, A. *et al.* (2009) "Review of technologies for oil and gas produced water treatment," *Journal of Hazardous Materials*, 170(2–3), hal. 530–551. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.044.

Grosan, C. dan Abraham, A. (2011) "Rule-Based Expert Systems," in *Intelligent Systems: A Modern Approach*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, hal. 149–185. doi: 10.1007/978-3-642-21004-4_7.

Hidup, K. L. (2010) "Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No. 19 Tahun 2010," *Kementerian lingkungan hidup*, hal. 1–12.

Kardena, E. *et al.* (2017) "Biological Treatment of Synthetic Oilfield-Produced Water in Activated Sludge Using a Consortium of Endogenous Bacteria Isolated from A Tropical Area," *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 08(03). doi: 10.4172/2157-7463.1000331.

Khanna, R. (2007) *Computer Application for Engineering*, *Journal of Petrology*. New Delhi: New Age International (P) Liited.

Khella, R. (2017) "Expert System for Chest Pain in Infants and Children," *International Journal of Engineering and Information Systems*, 1(4), hal. 138–148.

Kumar, Y. dan Jain, Y. (2012) "Research Aspects of Expert System," *International Journal of Computing & Business Research*, (6), hal. 11.

MathWorks (2019) *Create apps with graphical user interfaces in MATLAB*. Tersedia pada: https://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html (Diakses: 26 Mei 2020).

Neff, J., Lee, K. dan DeBlois, E. M. (2011) "Produced Water: Overview of

Composition, Fates, and Effects," in Lee, K. dan Neff, J. (ed.) *Produced Water: Environmental Risks and Advances in Mitigation Technologies*. New York, NY: Springer New York, hal. 3–54. doi: 10.1007/978-1-4614-0046-2_1.

Ningtyas, R. (2015) *Pengolahan Air Limbah dengan Proses Lumpur Aktif*. Institut Teknologi Bandung.

Pennsylvania Department of Environmental Protection (Pa. DEP) (2014) "Wastewater Treatment Plant Operator Certification Training Module 15 : The Activated Sludge Process Part 1." Pennsylvania.

Siler, W. dan Buckley, J. J. (2005) *Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning*, *Intelligent Systems Reference Library*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. doi: 10.1007/978-3-642-21004-4_9.

The MathWorks, I. (2016) *App Building Components*. Tersedia pada: https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/matlab.ui.control.dropdown-properties.html (Diakses: 22 Juni 2020).

The MathWorks, I. (2018) *Write Callbacks in App Designer*. Tersedia pada: https://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/write-callbacks-for-gui-in-app-designer.html (Diakses: 22 Juni 2020).

The MathWorks, I. (2020a) *Workspace Browser*. Tersedia pada: https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/workspace.html (Diakses: 1 Juni 2020).

The MathWorks, I. (2020b) *Workspace Variables and MAT-Files*. Tersedia pada: https://www.mathworks.com/help/matlab/workspace.html (Diakses: 26 Mei 2020).

Weisberg, S. (2005) *Applied linear regression*. 3rd ed, *Vascular*. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc.

Yudhanto, R. (2018) *Pengolahan Produced Water Treatment di Onshore Facility PT. Saka Indonesia Pangkah Limited*.

Zulkifli, R. (2020) *Perancangan Sistem Diagnosis Kondisi Operasi Gas Turbine Generator Berbasis Sistem Pakar*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

A. Data operasional *polishing unit*

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
01-Jan-19	16	1087	2	250	8	1
02-Jan-19	16	1087	2	261	0	0
03-Jan-19	15	1087	2	52	8	1
04-Jan-19	16	1087	2	35	0	0
05-Jan-19	15	562	2	48	8	1
06-Jan-19	17	562	2	51	0	0
07-Jan-19	16	471	2	55	0	0
08-Jan-19	15	471	2	68	0	0
09-Jan-19	16	498	2	69	7	1
10-Jan-19	15	498	2	67	0	0
11-Jan-19	16	803	2	75	10	0
12-Jan-19	17	803	2	105	5	0
13-Jan-19	16	522	2	64	0	0
14-Jan-19	17	522	2	68	0	0
15-Jan-19	16	622	2	80	0	0
16-Jan-19	17	622	2	68	0	0
17-Jan-19	18	396	2	47	0	0
18-Jan-19	23	396	2	44	0	0
19-Jan-19	30	401	2	41	15	0
20-Jan-19	36	401	2	46	0	0
21-Jan-19	28	596	2	45	0	0
22-Jan-19	23	596	2	41	0	0
23-Jan-19	23	598	2	66	0	0
24-Jan-19	23	598	2	40	0	0
25-Jan-19	23	560	2	45	0	0
26-Jan-19	20	560	2	43	5	0
27-Jan-19	17	751	2	48	0	0
28-Jan-19	17	751	2	56	15	0
29-Jan-19	17	780	2	55	0	0
30-Jan-19	17	780	2	51	0	0
01-Feb-19	17	780	2	57	15	1.5
02-Feb-19	23	760	2	48	0	0
03-Feb-19	20	760	2	47	5	0
04-Feb-19	24	593	2	43	10	0
05-Feb-19	23	615	2	52	0	1.5

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
06-Feb-19	23	615	2	52	0	0
07-Feb-19	21	919	2	47	20	0
08-Feb-19	21	919	2	45	0	1.5
09-Feb-19	18	726	2	46	0	0
10-Feb-19	18	726	2	48	15	0
11-Feb-19	18	619	2	52	0	1.5
12-Feb-19	22	619	2	55	0	0
13-Feb-19	40	639	4	57	10	0
14-Feb-19	30	639	4	48	0	0
15-Feb-19	25	721	2	51	5	0
16-Feb-19	24	721	2	54	0	2
17-Feb-19	24	572	2	52	0	0
18-Feb-19	24	572	2	57	0	0
19-Feb-19	18	509	2	49	12	2
20-Feb-19	18	509	2	52	0	0
21-Feb-19	18	569	2	51	15	1.5
22-Feb-19	17	569	2	50	0	0
23-Feb-19	19	625	2	53	0	0
24-Feb-19	16	625	2	57	0	0
25-Feb-19	16	615	2	56	0	0
26-Feb-19	17	615	2	59	0	2
27-Feb-19	17	950	2	59	0	0
28-Feb-19	17	950	2	39	7	2
01-Mar-19	16	825	2	49	0	0
02-Mar-19	16	825	2	55	0	2
03-Mar-19	16	767	2	43	0	0
04-Mar-19	17	767	2	33	0	2
05-Mar-19	29	892	2	45	10	0
06-Mar-19	27	892	2	46	0	0
07-Mar-19	28	892	2	50	0	0
08-Mar-19	27	751	2	47	0	0
09-Mar-19	29	751	2	55	10	2
10-Mar-19	26	578	2	54	0	0
11-Mar-19	26	578	2	48	7	2
12-Mar-19	16	1130	2	55	0	0
13-Mar-19	25	1130	2	50	7	2
14-Mar-19	22	699	2	41	0	0
15-Mar-19	22	699	2	45	7	2
16-Mar-19	23	924	2	48	7	2

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
17-Mar-19	26	719	2	49	0	0
18-Mar-19	21	686	2	47	0	0
19-Mar-19	28	686	2	44	7	0
20-Mar-19	18.8	685	2	46	0	0
21-Mar-19	22.5	685	2	45	7	0
22-Mar-19	24	693	2	51	0	1
23-Mar-19	21	693	2	49	7	1
24-Mar-19	29	715	3	55	0	0
25-Mar-19	19.1	715	3	59	7	1
26-Mar-19	22	763	2	48	0	0
27-Mar-19	20	757	2	45	7	1
28-Mar-19	24.2	727	2	43	0	0
29-Mar-19	27.8	727	2	41	10	2
30-Mar-19	23	655	2	48	0	0
31-Mar-19	24	655	2	47	7	1
01-Apr-19	23	643	2	49	0	0
02-Apr-19	20.7	643	2	48	7	2
03-Apr-19	22	554	2	49	0	0
04-Apr-19	18.6	554	2	45	7	1
05-Apr-19	19.5	703	2	37	0	0
06-Apr-19	19	703	2	41	0	0
07-Apr-19	20	703	2	35	0	0
08-Apr-19	17	703	2	39	0	0
09-Apr-19	24.1	710	2	53	0	0
10-Apr-19	15.7	710	2	57	10	1
11-Apr-19	14	710	2	55	0	0
12-Apr-19	23	584	2	43	0	0
13-Apr-19	21	584	2	40	0	0
14-Apr-19	19	525	2	41	0	0
15-Apr-19	11.9	525	2	44	0	0
16-Apr-19	11.5	446	2	22	0	0
17-Apr-19	13	446	2	23	0	0
18-Apr-19	15	478	2	23	0	0
19-Apr-19	13	478	2	27	0	0
20-Apr-19	14	429	2	29	7	1
21-Apr-19	15	429	2	27	0	0
22-Apr-19	13.6	681	2	43	10	2
23-Apr-19	15.5	660	2	46	0	0
24-Apr-19	16.7	660	2	44	0	0

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
25-Apr-19	16.7	660	2	43	0	0
26-Apr-19	15.5	570	2	40	0	0
27-Apr-19	18	570	2	43	0	0
28-Apr-19	19	570	2	37	10	2
29-Apr-19	17	570	2	36	0	0
30-Apr-19	15	405	2	34	0	0
01-May-19	16.2	405	2	32	0	0
02-May-19	15.2	495	2	51	0	1
03-May-19	18.4	495	2	47	0	0
04-May-19	19	609	2	48	10	3
05-May-19	17	609	2	43	0	0
06-May-19	14.1	527	2	42	5	2
07-May-19	16.4	527	2	41	0	0
08-May-19	14.1	527	2	39	7	3
09-May-19	12.2	527	2	43	0	0
10-May-19	11	527	2	42	0	0
11-May-19	13	527	2	41	0	0
12-May-19	16.2	612	2	42	5	0
13-May-19	12	612	2	39	0	0
14-May-19	11.2	660	2	41	0	0
15-May-19	10.6	660	2	41	0	0
16-May-19	10.2	611	2	42	0	0
17-May-19	15.2	611	2	41	0	0
18-May-19	17	492	2	39	0	0
19-May-19	15	492	2	40	0	0
20-May-19	12.1	538	2	41	0	0
21-May-19	12.8	538	2	40	0	0
22-May-19	10.9	573	2	41	0	0
23-May-19	10.4	573	2	42	0	0
24-May-19	11.8	568	2	41	0	0
25-May-19	11.8	568	2	40	0	0
26-May-19	13	678	2	45	0	0
27-May-19	10.6	678	2	43	7	2
28-May-19	11	680	2	42	0	0
29-May-19	10	680	2	40	0	0
30-May-19	10.2	582	2	51	5	3
31-May-19	13.8	596	2	52	0	0
01-Jun-19	16	610	2	51	0	0
02-Jun-19	15	610	2	48	0	0

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
03-Jun-19	14	996	2	53	0	0
04-Jun-19	17	1429	2	51	7	1
05-Jun-19	16	1606	2	46	0	0
06-Jun-19	15	1343	2	44	5	2
07-Jun-19	17	1150	2	53	0	0
08-Jun-19	16	923	2	49	4	1
09-Jun-19	17	855	2	47	0	0
10-Jun-19	14	786	2	46	5	2
11-Jun-19	13.2	725	2	45	0	0
12-Jun-19	16	710	2	46	0	0
13-Jun-19	11.3	736	2	43	5	2
14-Jun-19	10.6	751	2	42	0	0
15-Jun-19	11.1	703	2	45	7	1
16-Jun-19	10.4	703	2	43	0	0
17-Jun-19	10.2	759	2	41	7	0
18-Jun-19	10.1	759	2	44	0	0
19-Jun-19	10.9	670	2	46	0	0
20-Jun-19	11	670	2	45	0	0
21-Jun-19	10.3	645	2	43	0	0
22-Jun-19	11.1	645	2	44	0	0
23-Jun-19	9.8	558	2	36	7	2
24-Jun-19	10.8	558	2	40	0	0
25-Jun-19	10.8	615	2	42	7	2
26-Jun-19	10.8	918	2	42	0	0
27-Jun-19	10.4	728	2	35	0	0
28-Jun-19	10.2	728	2	40	0	0
29-Jun-19	10	866	2	41	0	0
30-Jun-19	9	824	2	43	5	0
01-Jul-19	10	749	2	40	0	0
02-Jul-19	9.4	749	2	41	0	0
03-Jul-19	11	603	2	39	0	0
04-Jul-19	17.4	559	2	40	7	0
05-Jul-19	11	568	2	41	0	2
06-Jul-19	12	568	2	39	0	0
07-Jul-19	13	591	2	41	0	2
08-Jul-19	12.7	591	2	38	0	0
09-Jul-19	12.3	714	2	40	5	2
10-Jul-19	11.8	714	2	42	0	0
11-Jul-19	11.1	691	2	40	7	0

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
12-Jul-19	10	691	2	41	0	0
13-Jul-19	13	942	2	43	7	0
14-Jul-19	12	977	2	43	0	2
15-Jul-19	13	1021	2	38	0	0
16-Jul-19	14	873	2	40	0	0
17-Jul-19	12	912	2	39	0	0
18-Jul-19	13	912	2	40	7	0
19-Jul-19	14	745	2	39	0	2
20-Jul-19	12	745	2	40	0	0
21-Jul-19	12	688	2	41	0	0
22-Jul-19	10.2	688	2	39	0	2
23-Jul-19	9.8	571	2	37	0	0
24-Jul-19	9.2	571	2	34	5	0
25-Jul-19	9.2	503	2	31	0	2
26-Jul-19	9.5	503	2	48	0	0
27-Jul-19	11	757	2	42	0	0
28-Jul-19	10	757	2	41	0	0
29-Jul-19	8.9	757	2	43	0	0
30-Jul-19	8.8	743	2	40	0	0
31-Jul-19	9.1	883	2	40	7	0
01-Aug-19	9.6	999	2	41	0	2
02-Aug-19	10.9	1279	2	39	0	0
03-Aug-19	12.3	1129	3	40	0	0
04-Aug-19	13	1023	2	39	0	0
05-Aug-19	12.8	1023	2	45	7	2
06-Aug-19	12	861	2	59	0	0
07-Aug-19	10.5	861	2	68	0	0
08-Aug-19	10.5	785	2	43	7	0
09-Aug-19	12	785	2	40	0	2
10-Aug-19	12	751	2	41	0	0
11-Aug-19	13	783	2	40	7	0
12-Aug-19	9.6	704	2	38	0	0
13-Aug-19	12.2	704	2	39	0	2
14-Aug-19	11.6	714	2	38	7	0
15-Aug-19	10.5	714	2	39	0	0
16-Aug-19	11.3	706	2	48	0	0
17-Aug-19	13	706	2	45	0	0
18-Aug-19	12	1118	2	48	5	0
19-Aug-19	12	1118	2	56	0	2

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
20-Aug-19	9.8	1037	2	55	0	0
21-Aug-19	11.3	1037	2	58	0	2
22-Aug-19	12	1043	2	61	0	0
23-Aug-19	9.4	919	2	59	7	2
24-Aug-19	11	915	2	57	10	0
25-Aug-19	11	927	2	49	12	0
26-Aug-19	11.6	1015	2	47	0	0
27-Aug-19	10.4	956	2	45	0	0
28-Aug-19	10.6	822	2	43	0	0
29-Aug-19	9.6	822	2	41	9	1
30-Aug-19	9.4	884	2	45	0	0
31-Aug-19	10	884	2	45	7	0
01-Sep-19	12	656	2	56	0	2
02-Sep-19	11	661	2	51	0	0
03-Sep-19	12	710	2	52	10	0
04-Sep-19	10	661	2	51	0	0
05-Sep-19	9.2	698	2	55	7	0
06-Sep-19	13	664	2	54	0	0
07-Sep-19	14	1012	2	55	0	0
08-Sep-19	13	1207	2	55	8	2
09-Sep-19	9.2	1091	2	56	7	0
10-Sep-19	10	783	2	57	0	0
11-Sep-19	9.4	776	2	55	0	0
12-Sep-19	12	776	2	52	7	2
13-Sep-19	10	776	2	44	0	0
14-Sep-19	10	776	2	51	0	0
15-Sep-19	9	821	2	35	0	0
16-Sep-19	9.2	821	2	32	0	2
17-Sep-19	9.4	810	2	29	7	0
18-Sep-19	8.4	810	2	54	0	0
19-Sep-19	8.2	636	2	45	0	0
20-Sep-19	8.6	636	2	43	0	2
21-Sep-19	11	630	2	33	0	0
22-Sep-19	11	665	2	37	0	0
23-Sep-19	15.2	634	2	41	0	0
24-Sep-19	11.6	634	2	40	0	0
25-Sep-19	11.6	659	2	39	7	2
26-Sep-19	14.3	659	2	42	0	0
27-Sep-19	12	887	2	41	0	0

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
28-Sep-19	10	945	2	40	7	0
29-Sep-19	12.9	887	2	52	7	2
30-Sep-19	11.6	887	2	46	0	0
01-Oct-19	12	839	2	28	0	0
02-Oct-19	10	887	2	34	7	2
03-Oct-19	11	894	2	33	10	0
04-Oct-19	10	894	2	35	0	0
05-Oct-19	10	561	2	31	0	0
06-Oct-19	9.6	561	2	36	5	2
07-Oct-19	12.8	583	2	33	0	0
08-Oct-19	12.2	583	2	32	0	0
09-Oct-19	14.2	624	2	38	0	0
10-Oct-19	14.2	624	2	41	0	0
11-Oct-19	14	818	2	43	0	0
12-Oct-19	12	963	2	44	0	0
13-Oct-19	12.1	896	2	42	0	0
14-Oct-19	11.2	896	2	43	0	0
15-Oct-19	10.1	906	2	49	6	0
16-Oct-19	10	906	2	45	10	0
17-Oct-19	11	803	2	49	0	2
18-Oct-19	13.4	803	2	48	0	0
19-Oct-19	14	1130	2	43	0	0
20-Oct-19	13	1234	2	45	7	0
21-Oct-19	11.5	1146	2	46	0	0
22-Oct-19	12.7	1146	2	44	0	0
23-Oct-19	13.4	909	2	41	0	0
24-Oct-19	11.6	909	2	43	7	0
25-Oct-19	11.6	691	2	45	0	0
26-Oct-19	12	691	2	47	0	2
27-Oct-19	12	620	2	42	0	0
28-Oct-19	12.8	620	2	40	0	0
29-Oct-19	14.4	631	3	51	0	0
30-Oct-19	13.8	894	2	46	7	0
31-Oct-19	13.8	892	2	45	0	0
01-Nov-19	11.2	892	2	47	7	0
02-Nov-19	12	561	2	46	0	0
03-Nov-19	13	561	2	41	0	0
04-Nov-19	13	577	2	40	0	1
05-Nov-19	14	577	2	41	0	0

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
06-Nov-19	12.5	572	2	42	0	0
07-Nov-19	12.8	572	2	40	0	0
08-Nov-19	10.2	678	2	41	0	0
09-Nov-19	11	678	2	40	0	0
10-Nov-19	11	706	2	40	7	0
11-Nov-19	10.2	706	2	41	0	0
12-Nov-19	10.1	993	2	42	7	0
13-Nov-19	9.6	993	2	39	0	0
14-Nov-19	10	961	2	43	0	0
15-Nov-19	13	961	2	45	0	0
16-Nov-19	15.2	754	3	40	0	0
17-Nov-19	18.3	741	3	42	12	0
18-Nov-19	19.8	989	3	41	3	0
19-Nov-19	22.1	989	3	40	0	0
20-Nov-19	18.1	767	2	41	7	0
21-Nov-19	23.1	767	2	40	5	0
22-Nov-19	21.3	792	2	42	0	0
23-Nov-19	19	792	2	40	0	0
24-Nov-19	22	550	2	39	8	1
25-Nov-19	22	550	3	41	0	0
26-Nov-19	39.4	589	4	44	0	0
27-Nov-19	36.2	580	2	43	0	0
28-Nov-19	30.8	580	2	47	5	0
29-Nov-19	26.4	580	2	46	0	0
30-Nov-19	20.1	560	2	43	0	0
01-Dec-19	19	560	2	48	0	0
02-Dec-19	23.2	610	2	42	8	2
03-Dec-19	28	610	3	43	5	0
04-Dec-19	33	788	3	51	0	0
05-Dec-19	35	788	3	47	0	0
06-Dec-19	30	728	3	43	6	1
07-Dec-19	31	728	4	40	0	0
08-Dec-19	28	543	2	42	0	0
09-Dec-19	28.5	543	2	44	0	1
10-Dec-19	26.3	509	2	41	0	0
11-Dec-19	14.1	543	2	50	0	0
12-Dec-19	22	543	1.7	41	0	1
13-Dec-19	15.8	408	2	40	0	0
14-Dec-19	18	408	2	41	0	0

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
15-Dec-19	19	390	3	38	0	0
16-Dec-19	22.2	390	2	40	0	0
17-Dec-19	37.3	401	3	39	0	1
18-Dec-19	30	401	3	40	7	0
19-Dec-19	36	759	3	42	0	1
20-Dec-19	38.9	759	3	43	4	0
21-Dec-19	41.2	1662	3	45	0	0
22-Dec-19	38	1662	3	41	0	0
23-Dec-19	45	882	3	40	0	0
24-Dec-19	35	882	3	43	0	0
25-Dec-19	35	709	3	39	0	0
26-Dec-19	33.2	709	3	40	0	1
27-Dec-19	25.3	739	2	41	0	0
28-Dec-19	26	739	2	46	0	0
29-Dec-19	26.4	777	2	40	0	0
30-Dec-19	20.4	777	2	41	0	0
31-Dec-19	23	686	3	38	0	0
01-Jan-20	23.6	686	2	40	0	1
02-Jan-20	17.6	638	2	44	0	0
03-Jan-20	14.2	638	2	45	0	0
04-Jan-20	14	647	2	46	0	0
05-Jan-20	15	647	2	40	5	0
06-Jan-20	14	680	2	45	0	2
07-Jan-20	15	680	2	43	7	0
08-Jan-20	12	680	2	69	0	0
09-Jan-20	13.8	672	2	67	0	0
10-Jan-20	17	689	2	40	7	1
11-Jan-20	14	689	2	45	0	0
12-Jan-20	18.6	662	2	40	5	0
13-Jan-20	14	662	2	41	0	1
14-Jan-20	15.8	752	2	40	0	0
15-Jan-20	16	752	2	40	7	0
16-Jan-20	17.1	696	2	42	0	0
17-Jan-20	19.4	696	2	41	0	0
18-Jan-20	18.3	693	2	40	0	1
19-Jan-20	13.8	693	2	42	7	0
20-Jan-20	12.2	669	2	40	0	0
21-Jan-20	13.4	669	2	41	0	1
22-Jan-20	14.1	846	2	45	0	1

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
23-Jan-20	15.4	846	2	43	0	0
24-Jan-20	14	740	2	46	0	0
25-Jan-20	14	740	2	40	5	1
26-Jan-20	14	642	2	39	0	0
27-Jan-20	18.6	642	2	40	0	0
28-Jan-20	18	586	2	41	0	0
29-Jan-20	21.4	630	2	40	7	1
30-Jan-20	24	581	2	40	0	0
31-Jan-20	27.4	581	3	42	5	1
01-Feb-20	23	489	2	43	0	0
02-Feb-20	23	489	2	43	0	0
03-Feb-20	24.6	461	2	40	0	0
04-Feb-20	23.6	461	2	45	0	0
05-Feb-20	21.3	426	2	48	0	0
06-Feb-20	17.1	426	2	52	0	0
07-Feb-20	19.2	368	2	44	0	0
08-Feb-20	18	368	2	46	0	1
09-Feb-20	19	648	2	41	7	0
10-Feb-20	19	648	2	46	0	1
11-Feb-20	18	683	2	43	0	0
12-Feb-20	19	773	2	42	0	1
13-Feb-20	22	653	2	41	0	0
14-Feb-20	23	634	3	40	0	0
15-Feb-20	22	567	3	40	7	1
16-Feb-20	38	567	3	43	0	0
17-Feb-20	37.6	362	3	41	0	0
18-Feb-20	29.7	362	3	40	0	0
19-Feb-20	34.2	353	3	41	0	0
20-Feb-20	41.2	273	3	44	7	1
21-Feb-20	44.2	290	3.9	47	0	1
22-Feb-20	38	290	3.9	46	0	1
23-Feb-20	170	310	5	52	7	2
24-Feb-20	56.1	310	5.9	48	0	0
25-Feb-20	56.1	477	4.4	44	0	0
26-Feb-20	56.1	477	4.4	44	0	1
27-Feb-20	127.1	505	5	42	0	0
28-Feb-20	130.2	570	5.4	44	5	1
29-Feb-20	150	533	6	40	0	0
01-Mar-20	98	533	9	41	0	1

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
02-Mar-20	115	468	11	43	0	0
03-Mar-20	93	468	9	42	0	1
04-Mar-20	44.7	340	9.7	44	0	0
05-Mar-20	53	340	6.7	49	7	1
06-Mar-20	30.1	392	5.4	45	0	1
07-Mar-20	32	392	5.4	48	0	0
08-Mar-20	29	296	4	44	0	2
09-Mar-20	16.4	296	5	43	0	0
10-Mar-20	22.4	364	5.2	44	0	0
11-Mar-20	26.2	499	4.8	43	7	1
12-Mar-20	21.4	510	3.8	41	0	0
13-Mar-20	20.1	510	3.6	41	0	0
14-Mar-20	21	671	4	43	7	1
15-Mar-20	19	671	3	45	0	0
16-Mar-20	20	516	3	41	0	1
17-Mar-20	17.4	516	3.2	42	0	0
18-Mar-20	16.4	478	3.2	41	7	0
19-Mar-20	17.8	478	3	40	0	0
20-Mar-20	16.9	476	3.2	42	0	1
21-Mar-20	18	476	3.2	41	0	0
22-Mar-20	16	515	3.2	40	0	1
23-Mar-20	19	515	3.2	41	0	0
24-Mar-20	16	542	3.2	41	0	1
25-Mar-20	16	542	3.2	40	0	1
26-Mar-20	13.9	610	3	42	0	0
27-Mar-20	14.3	610	3.2	44	7	1
28-Mar-20	15	314	3	40	0	0
29-Mar-20	15	314	3	40	0	0
30-Mar-20	24	581	2	40	0	1
31-Mar-20	27.4	581	3	42	0	0
01-Apr-20	36.2	487	3.1	41	5	0
02-Apr-20	30.8	487	3.1	44	4	2
03-Apr-20	25	486	3.1	42	0	0
04-Apr-20	24	486	3.1	43	4	0
05-Apr-20	23	501	3.1	42	0	1
06-Apr-20	21.1	501	3.4	43	0	0
07-Apr-20	16.9	443	2.7	40	7	1
08-Apr-20	15.5	443	2.7	44	0	1
09-Apr-20	15.8	518	3.4	40	0	0

Tanggal	OIW *influent* (mg/L)	COD *influent* (mg/L)	OIW *effluent* (mg/L)	COD *effluent* (mg/L)	Urea (Kg)	TSP (Kg)
10-Apr-20	19.1	518	3.4	43	0	1
11-Apr-20	24.1	578	3.4	41	0	0
12-Apr-20	25	578	3	46	0	0

B. *Source code function block* sistem pakar pada MATLAB

```
function [oiw1out,
codout,oiweffout,codeffout,ureaval,TSPval,oiweffval,codeffval] =
fcn (oiw1,cod,ureacalc,tspcalc)

%Database Section

%OIW Influent Value Database
oiw1veryhigh = "Very high influent OIW, over regulatory limit";
oiw1high = "High influent OIW value, over regulatory limit";
oiw1medium = "Medium influent OIW value (normal), below regulatory
limit";
oiw1low = "Low influent OIW value (normal), below regulatory
limit";

%COD Influent Value Database
codhigh = "Influent COD Value High, over regulatory limit";
codmedium = "Influent COD Value Normal, over regulatory limit";
codlow = "Influent COD Value Low, below regulatory limit";

%Nutrition Value database
ureaval=ureacalc;
TSPval=tspcalc;

%Effluent OIW Value Database
oiweff = [1.922 -0.00008195*ureacalc 0.114*tspcalc];
oiweffval= sum(oiweff);

%Effluent COD Value Database
codeff= [47.214 -0.253*ureacalc -2.962*tspcalc];
codeffval= sum(codeff);

%Effluent OIW Diagnostic Value
oiwefflow = "Effluent OIW value will exceed regulatory limit (25
mg/l)";
oiweffhigh = "Effluent OIW value will meet regulatory limit (under
25 mg/l)";

%Effluent COD Diagnostic Value
codefflow = "Effluent COD value will exceed regulatory limit (200
mg/l)";
codeffhigh = "Effluent COD value will meet regulatory limit (under
200 mg/l)";

%Inference Engine
```

```
%OIW (Influent) Value Scoring
    if (oiw1 > 56)
     oiw1out = oiw1veryhigh;
    elseif (oiw1 <= 56) && (oiw1 > 25)
     oiw1out = oiw1high;
    elseif (oiw1 <= 25) && (oiw1 > 14)
     oiw1out = oiw1medium;
    elseif (oiw1 <= 14)
     oiw1out = oiw1low;
    else
     oiw1out = "OIW Value Error";
    end

%COD (Influent) Value Scoring
    if (cod > 273)
     codout = codhigh;
    elseif (cod <= 273) && (cod > 200)
     codout = codmedium;
    elseif (cod <= 200)
     codout = codlow;
    else
     codout ="COD Value Error";
    end

 %Effluent OIW Value Scoring
 if (oiweffval > 25)
     oiweffout = oiwefflow;
 elseif (oiweffval <= 25)
     oiweffout = oiweffhigh;
 else
     oiweffout ="Effluent OIW Value Error";
 end

 %Effluent COD Value Scoring
 if (codeffval > 200)
     codeffout = codefflow;
 elseif (codeffval <= 200)
     codeffout = codeffhigh;
 else
     codeffout ="Effluent COD Value Error";
 end

 %
end
```

C. Transkrip Wawancara

Transkrip Wawancara dengan Bapak Kusnadi

Staff PT. Saka Indonesia Pangkah Limited

Tempat: Sidoarjo, Jawa Timur

Waktu/Tanggal: 15.00-17.00 WIB/ Minggu, 5 Juli 2020

Peneliti: 1. Hafidz Firmansyah Ghufara, 2. Rico Pardona Pardosi

Narasumber: Kusnadi Sugiarto

P:	Parameter operasional yang digunakan oleh operator dalam menentukan kondisi operasi *polishing* unit apa saja ya Pak?
N:	Parameternya ada beberapa, operator biasanya mengamati parameter fisis seperti *foaming*, *water/bacteria colour*, serta aerasi. Selain itu diamati pula parameter MLSS, COD, dan OIW.
P:	Perlakuan yang dilakukan oleh operator dalam menjaga kondisi operasi *polishing unit* apa saja ya pak?
N:	Operator bisa memberikan nutrisi berupa Urea dan TSP untuk memenuhi kebutuhan bakteri. Karena dalam menguraikan *produced water*, bakteri kan memerlukan nutrisi. Selain itu operator bisa mengatur laju aerasi dan *influent*.
P:	Berarti dalam menentukan dosis nutrisi, besar kilogram Urea atau TSP yang ditambahkan bergantung terhadap besar kecilnya parameter yang diamati oleh operator pak?
N:	Ya, betul.
P:	Kalau untuk parameter *water/bacteria colour*, saya lihat ada tiga warna, tiap warna itu menandakan apa ya pak?
N:	Nah jadi kan ada tiga warna ya. Kalau untuk *yellowish* itu menandakan bakteri masih muda, kalau *brown* menandakan bakteri dewasa atau proses penguraian oleh bakteri lancer. Terus terakhir *dark brown*, kadang saya nyebutnya *red brown*, itu menunjukkan bakteri sudah mati.
P:	Kalau standar perhitungan dosis nutrisi yang digunakan operator itu apakah ada *guideline* atau rumus yang digunakan?
N:	Ada nanti saya kirimi, namun untuk operasi sekarang, operator menggunakan pengalaman dan perkiraan dalam mengamati parameter. Karena sebelumnya saat menggunakan standar perhitungan, hasil *effluent* dari *polishing unit* kurang memenuhi. Selain itu juga terlalu boros dalam segi biaya pengeluaran untuk nutrisi.
P:	*Polishing unit* ini kan sebuah plant biologis pak, yang ketika diberikan perlakuan seperti penambahan nutrisi, efeknya tidak dapat diamati secara langsung beberapa detik kemudian. Nah waktu tunggu dari pengaruh nutrisi terhadap *effluent* itu berapa lama ya pak? Apakah dalam hitungan hari?

N:	Iya mas. Kalau untuk *effluent* OIW itu bisa diamati satu hari setelahnya. Soalnya dalam pengukuran nilai *effluent* sendiri juga diperlukan waktu yang lama. Contoh buat COD, itu sampelnya sewaktu di lab bisa memakan waktu hampir sehari kerja. Nah kalau buat COD *effluent*, pengamatannya dua hari sekali, dikarenakan perlu menghemat alat ujinya juga mas.

Mengetahui,
Narasumber

Kusnadi Sugiarto

D. Hasil regresi menggunakan *software* SPSS

- Hasil pemodelan hubungan OIW dan COD terhadap dosis Urea

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.961[a]	.924	.919	.49958

a. Predictors: (Constant), OIW influent, COD influent

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	-2.947	.634		-4.652	.000
	OIW Influent	-.009	.012	-.037	-.732	.469
	COD Influent	.015	.001	.949	19.017	.000

a. Dependent Variable: Urea

- Hasil pemodelan hubungan OIW dan COD terhadap dosis TSP

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate

1	.904[a]	.817	.809	.21233

a. Predictors: (Constant), OIW influent, COD influent

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.205	.155		1.326	.192
	COD influent	.002	.000	.892	11.618	.000
	OIW influent	-.001	.002	-.022	-.282	.779

a. Dependent Variable: TSP

- Hasil pemodelan hubungan dosis Urea dan TSP terhadap nilai OIW Effluent

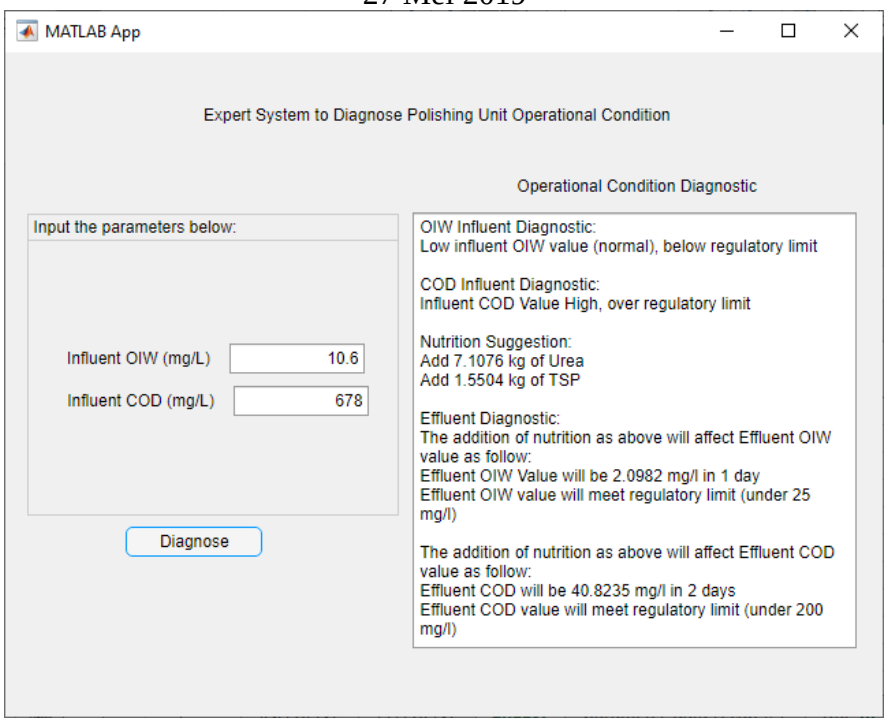
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.922	.065		29.567	.000
	Urea	-8.195E-5	.008	-.002	-.011	.992
	TSP	.114	.053	.358	2.166	.037

- Hasil pemodelan hubungan dosis Urea dan TSP terhadap nilai COD Effluent

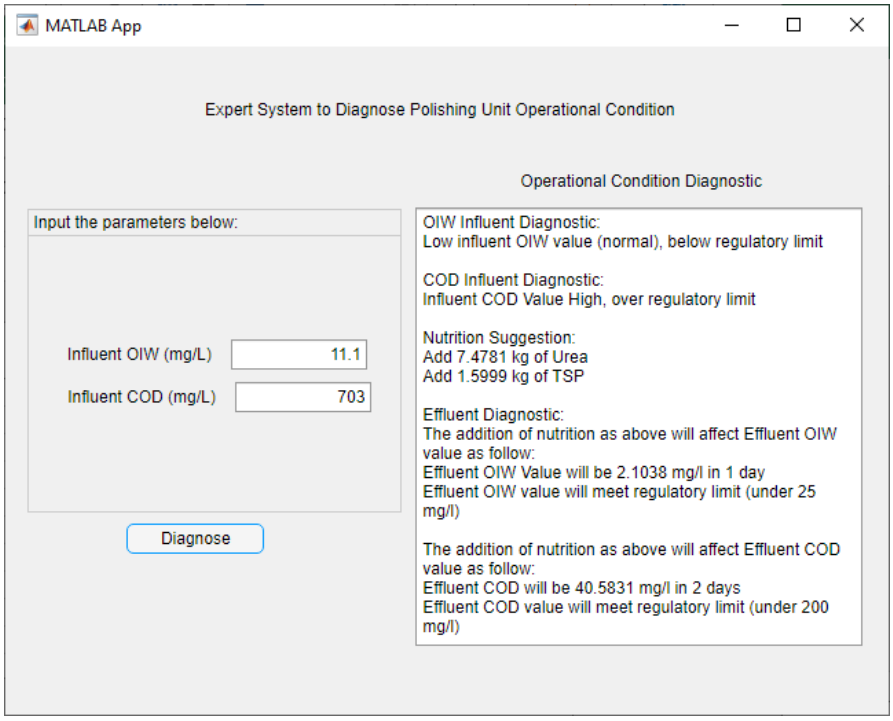
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	47.214	2.706		17.450	.000
	Urea	-.253	.323	-.135	-.785	.438
	TSP	-2.962	2.191	-.233	-1.352	.184

E. Hasil validasi kinerja GUI sistem pakar untuk diagnosis kondisi operasi *polishing unit*

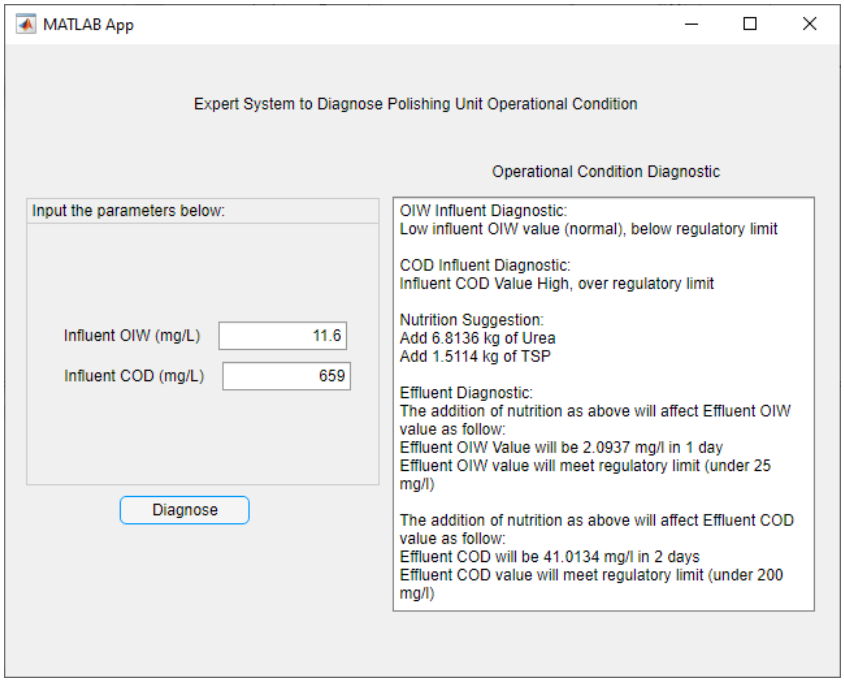
27 Mei 2019



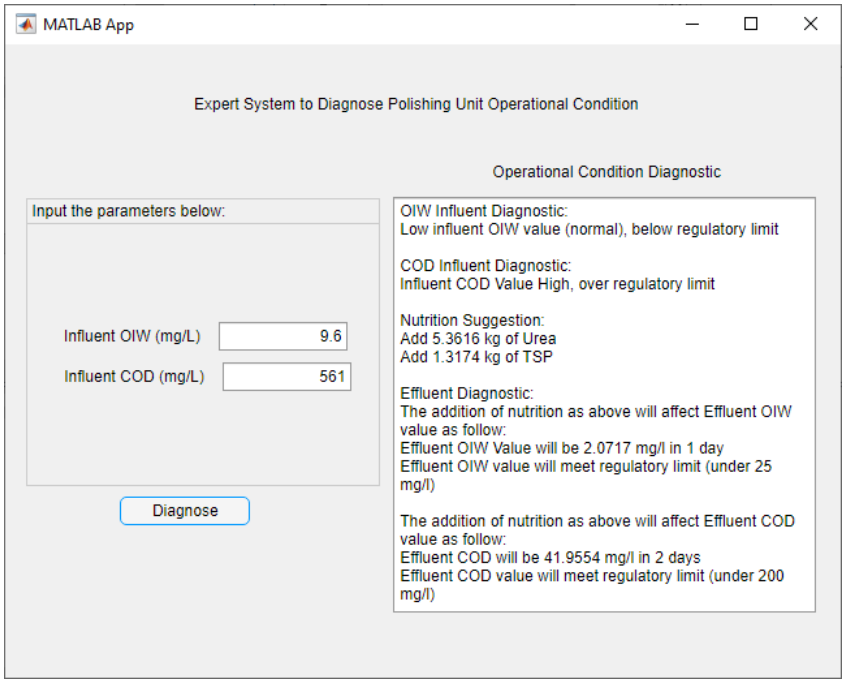
15 Juni 2019



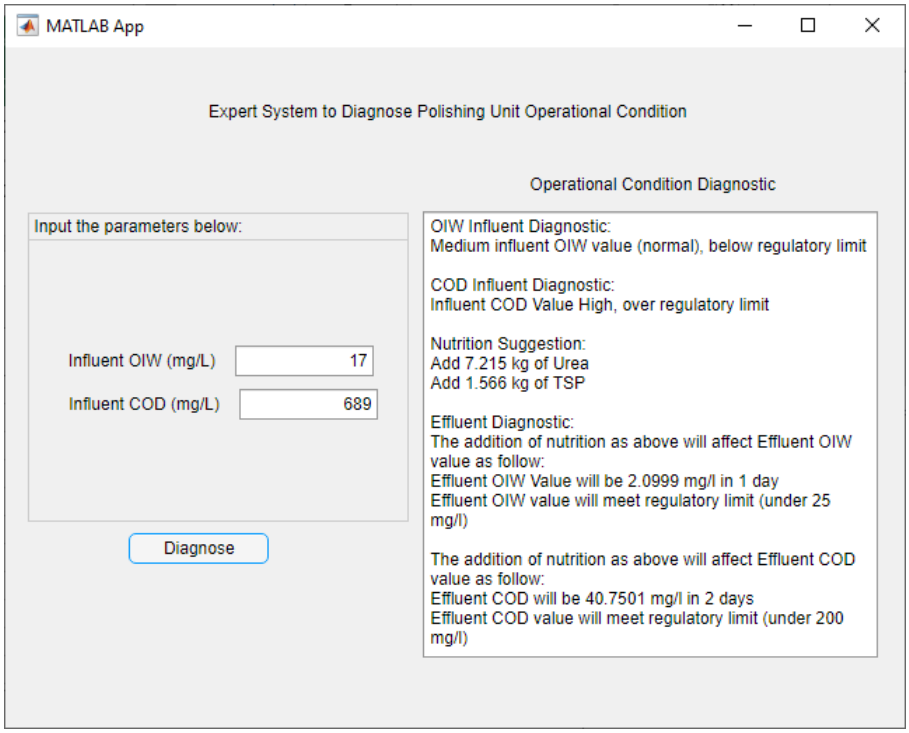
25 September 2019



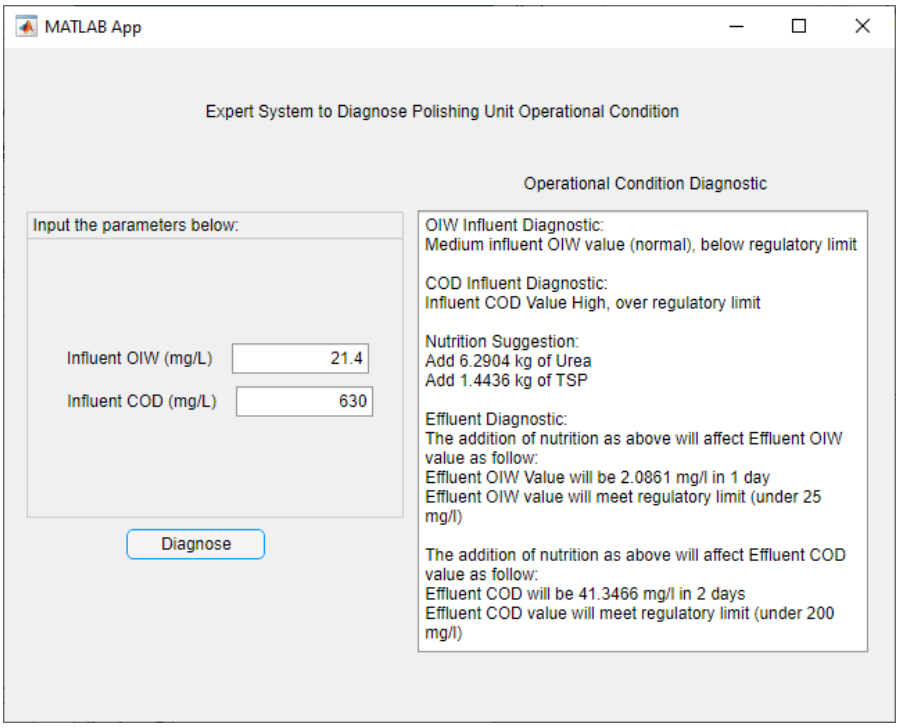
6 Oktober 2019



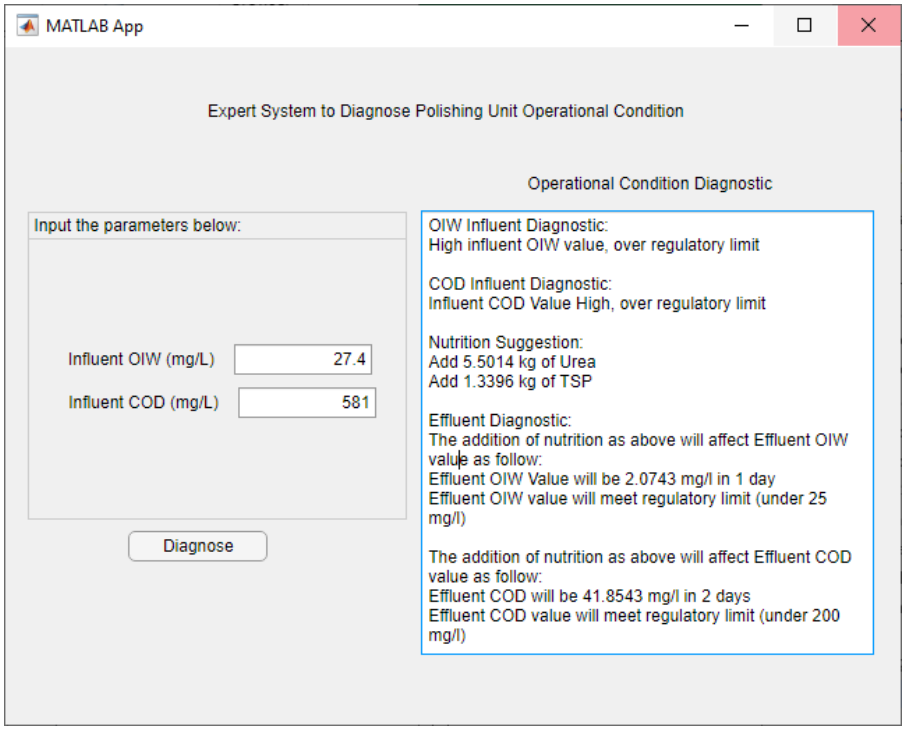
10 Januari 2020



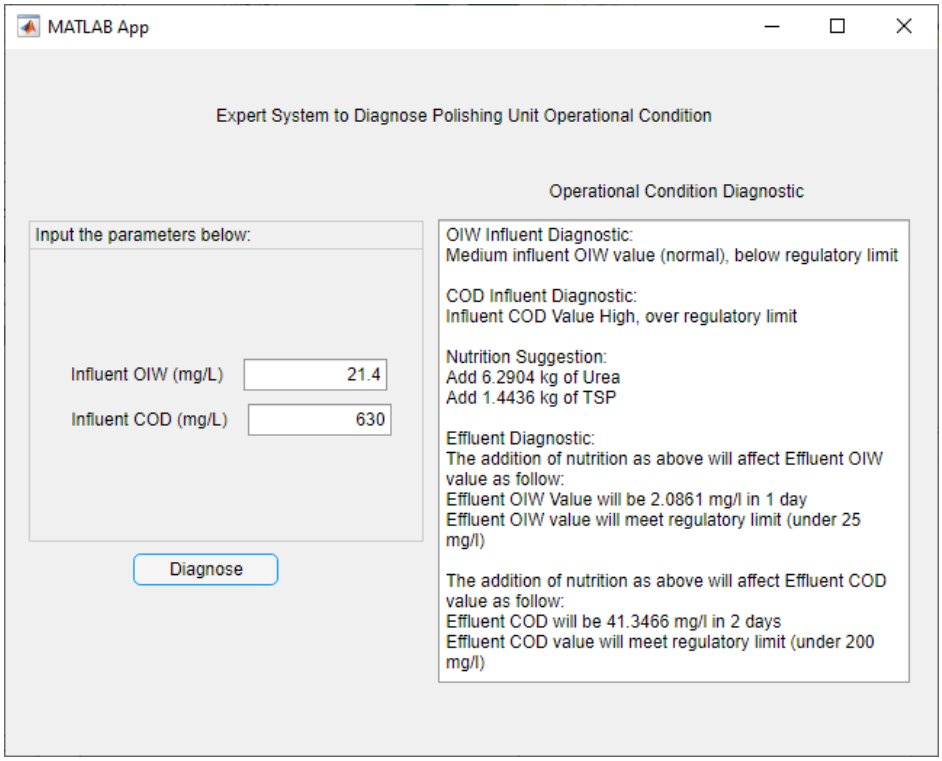
29 Januari 2020



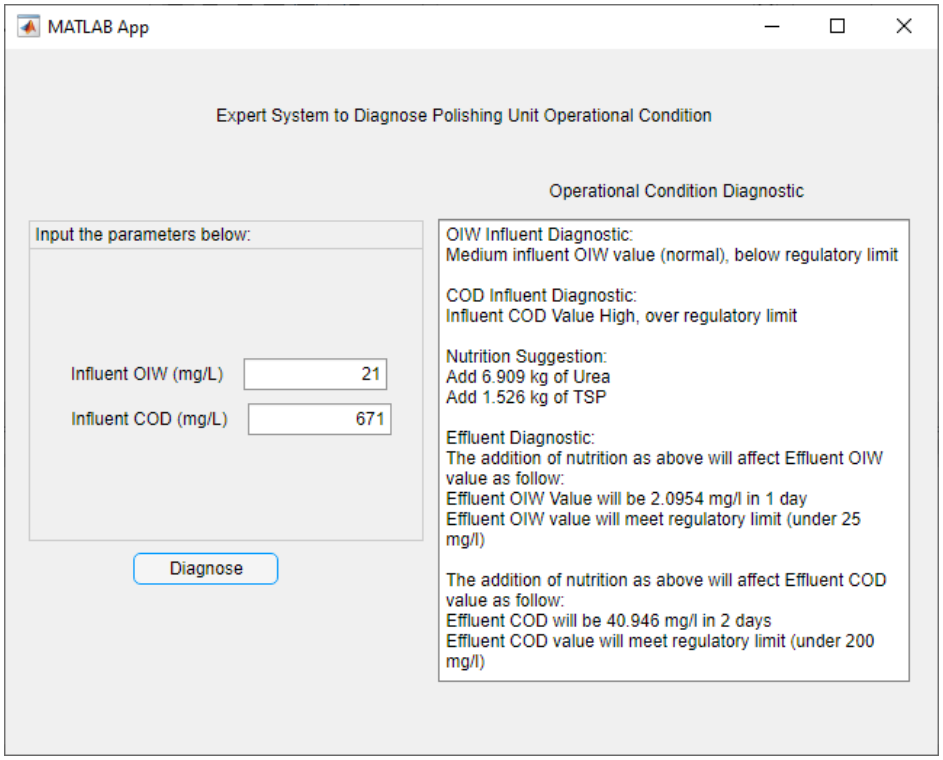
31 Januari 2020



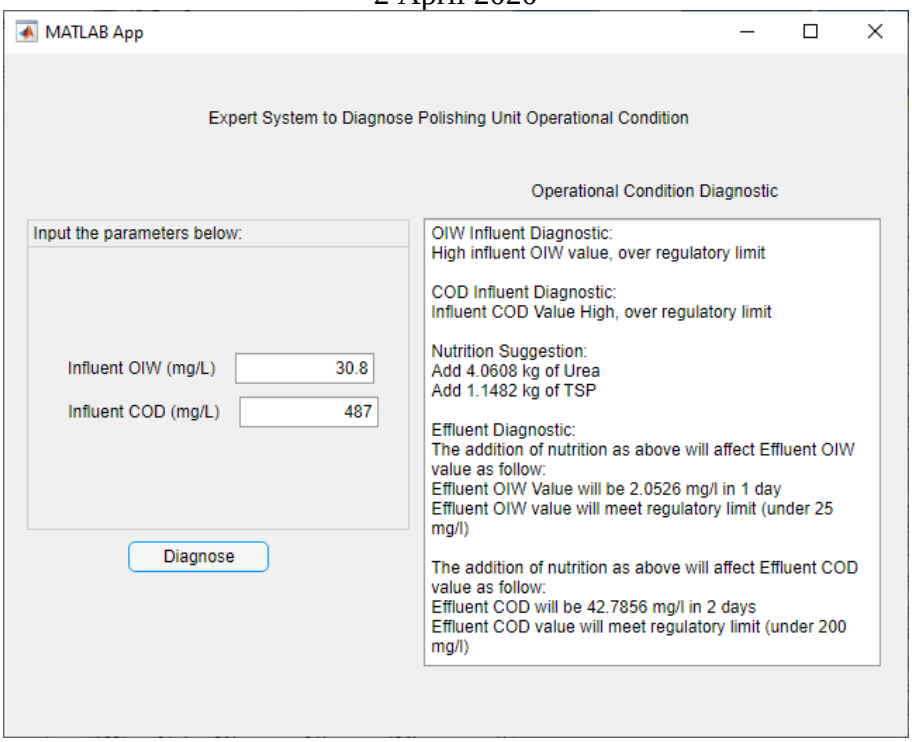
28 Februari 2020



14 Maret 2020


MATLAB App
Expert System to Diagnose Polishing Unit Operational Condition
Operational Condition Diagnostic
Input the parameters below:
Influent OIW (mg/L)
21
Influent COD (mg/L)
671
Diagnose
OIW Influent Diagnostic:
Medium influent OIW value (normal), below regulatory limit
COD Influent Diagnostic:
Influent COD Value High, over regulatory limit
Nutrition Suggestion:
Add 6.909 kg of Urea
Add 1.526 kg of TSP
Effluent Diagnostic:
The addition of nutrition as above will affect Effluent OIW value as follow:
Effluent OIW Value will be 2.0954 mg/l in 1 day
Effluent OIW value will meet regulatory limit (under 25 mg/l)
The addition of nutrition as above will affect Effluent COD value as follow:
Effluent COD will be 40.946 mg/l in 2 days
Effluent COD value will meet regulatory limit (under 200 mg/l)

2 April 2020


MATLAB App
Expert System to Diagnose Polishing Unit Operational Condition
Operational Condition Diagnostic
Input the parameters below:
Influent OIW (mg/L)
30.8
Influent COD (mg/L)
487
Diagnose
OIW Influent Diagnostic:
High influent OIW value, over regulatory limit
COD Influent Diagnostic:
Influent COD Value High, over regulatory limit
Nutrition Suggestion:
Add 4.0608 kg of Urea
Add 1.1482 kg of TSP
Effluent Diagnostic:
The addition of nutrition as above will affect Effluent OIW value as follow:
Effluent OIW Value will be 2.0526 mg/l in 1 day
Effluent OIW value will meet regulatory limit (under 25 mg/l)
The addition of nutrition as above will affect Effluent COD value as follow:
Effluent COD will be 42.7856 mg/l in 2 days
Effluent COD value will meet regulatory limit (under 200 mg/l)

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Hafidz Firmansyah Ghufara, lahir di Sragen, Jawa Tengah, pada tanggal 29 November 1997. Penulis telah meneyelesaikan pendidikan di SD N I Gemolong pada tahun 2010, SMP N 1 Gemolong pada 2013, SMA N 4 Surakarta pada 2016 dan saat ini tengah menempuh pendidikan di S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif menjadi Asisten Laboratorium Rekayasa Bahan Teknik Fisika ITS, serta menjadi Volunteer ITS International Office Season 9. Penulis memiliki pengalaman *internship* selama satu bulan di PT. Dirgantara Indonesia, Bandung. Bidang minat penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir adalah Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol. Apabila terdapat saran, kritik, ataupun diskusi terhadap Tugas Akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui email hafidzfg@gmail.com.