TUGAS AKHIR - TF 181801

PERANCANGAN KONTROL BERBASIS *LOGIC SOLVER* PADA PROSES *START UP GAS TURBINE COMPRESSOR* (GTC) DI PT SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

BAGAS AULIA RAHMAN
NRP. 0231640000001

Dosen Pembimbing:
Dr. Suyanto, S.T., M.T

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - TF 181801

LOGIC SOLVER BASED CONTROL DESIGN IN GAS TURBINE COMPRESSOR (GTC) START UP PROCESS AT PT SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

BAGAS AULIA RAHMAN
NRP. 02311640000001

Supervisors:
Dr. Suyanto, S.T., M.T

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	: Bagas Aulia Rahman
NRP	: 02311640000001
Departemen / Prodi	: Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTI-RS)
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "PERANCANGAN KONTROL BERBASIS *LOGIC SOLVER* PADA PROSES START UP GAS TURBINE COMPRESSOR (GTC) DI PT SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED" 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, 6 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

Bagas Aulia Rahman

NRP. 02311640000001

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN KONTROL BERBASIS *LOGIC SOLVER* PADA PROSES *START UP GAS TURBINE COMPRESSOR* (GTC) DI PT SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

Oleh:

Bagas Aulia Rahman

NRP. 02311640000001

Surabaya, 3 September 2020

Menyetujui,

Pembimbing I

Dr. Suyanto, S.T., M.T

NIP. 19711113 199512 1 0002

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT-IRS-ITS

Dr. Suyanto, S.T., M.T

NIP. 19711113 199512 1 0002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

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 (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BAGAS AULIA RAHMAN

NRP. 02311640000001

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Suyanto, ST., MT. ..... (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 KONTROL BERBASIS *LOGIC SOLVER* PADA PROSES *START UP GAS TURBINE COMPRESSOR* (GTC) DI PT SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

Nama	**:**	**Bagas Aulia Rahman**
NRP	**:**	**02311640000001**
Departemen	**:**	**Teknik Fisika FT-IRS - ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Dr. Suyanto, ST., MT.**

ABSTRAK

Diketahui bahwa Gas Turbine Compressor (GTC) pada PT Saka Indonesia Pangkah Limited (PT SIPL) mengalami kesulitan dalam proses *start up* akibat suhu lingkungan yang rendah. Telah dilakukan perancangan sistem kontrol berbasis *logic solver* pada sistem *start up* GTC di PT SIPL untuk mengendalikan laju aliran bahan bakar dan laju aliran massa udara agar nilai kalor hasil pembakaran dapat terpenuhi. Perancangan sistem kontrol diawali dengan mengidentifikasi pengaruh suhu lingkungan terhadap proses start up GTC, dilanjutkan dengan memodelkan masing-masing komponen sesuai dengan P&ID dari GTC serta merancang *logic solver* dengan membuat database berisi pasangan data input serta output yang sesuai. Setelah itu, setiap komponen digabungkan dengan wiring diagram lengkap dengan sistem pengendalian pada Simulink. Berdasarkan hasil simulasi, *logic solver* mampu memberikan nilai laju aliran massa bahan bakar dan udara yang sesuai sehingga suhu set point dapat terpenuhi. Hal ini terbukti dengan hasil uji dimana ketiga sampel suhu lingkungan yang diberikan yaitu 23,33^{o}C, 27.5^{o}C dan 31.89^{o}C, sistem mampu mencapai suhu set point yang telah ditentukan yaitu secara berurutan 815.6^{o}C, 815.9^{o}C dan 815.7^{o}C.

Kata Kunci: ***Gas Turbine Compressor, Logic solver,*** **Sistem** ***Start Up, Air to Fuel Ratio***

Halaman ini sengaja dikosongkan

LOGIC SOLVER BASED CONTROL DESIGN IN GAS TURBINE COMPRESSOR (GTC) START UP PROCESS AT PT SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED

Name	**:**	**BAGAS AULIA RAHMAN**
NRP	**:**	**02311640000001**
Department	**:**	**Engineering Physics FT-IRS -ITS**
Supervisors	**:**	**Dr. Suyanto, ST., MT.**

ABSTRACT

It is known that the Gas Turbine Compressor (GTC) at PT Saka Indonesia Pangkah Limited (PT SIPL) had difficulty in the start up process due to low ambient temperatures. A logic solver based control system has been designed on the GTC start up system at PT SIPL to control the fuel flow rate and air mass flow rate so that the heating value of the combustion results can be fulfilled. The control system design begins by identifying the effect of environmental temperature on the GTC start up process, followed by modeling each component in accordance with the P&ID of the GTC and designing the logic solver by creating a database containing the appropriate input and output data pairs. After that, each component is combined with a complete wiring diagram with a control system on Simulink. Based on the simulation results, the logic solver is able to provide the appropriate mass flow rate of fuel and air so that the set point temperature can be met. This is proven by the results of tests in which the three given environmental temperature samples are 23.33^{o}C, 27.5^{o}C and 31.89^{o}C, the system is able to reach a predetermined set point temperature, namely 815.6^{o}C, 815.9^{o}C and 815.7^{o}C.

Keywords: Gas Turbine Compressor, Logic solver, **Sistem** ***Start Up, Air to Fuel Ratio***

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul "**PERANCANGAN KONTROL BERBASIS *LOGIC SOLVER* PADA PROSES *START UP GAS TURBINE COMPRESSOR* (GTC) DI PT SAKA INDONESIA PANGKAH LIMITED"**

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu, Bapak serta Adik atas segala doa serta dukungan yang telah diberikan.
2. Bapak Dr. Suyanto, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, ilmu dan juga motivasi dalam penerjaan tugas akhir ini.
3. Seluruh jajaran dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu dan nasihat yang telah diberikan selama penulis menempuh studi di Teknik Fisika ITS.
4. Seluruh teman seperjuangan dalam tugas akhir yang selalu memberikan dukungan dan saling memotivasi satu sama lain dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Seluruh mahasiswa Departemen Teknik Fisika Angkatan 2016 yang telah menjadi kawan dalam menuntut ilmu selama masa perkuliahan.
6. Semua pihak yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa laporan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Namun, penulis berharap bahwa kedepannya laporan ini dapat memberikan wawasan yang sekiranya dapat berguna bagi para pembaca. Semoga, laporan ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa yang sedang atau akan mengerjakan tugas akhir.

Surabaya, 19 Juni 2020

Bagas Aulia Rahman

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 xx
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Sistematika Laporan 2
BAB II 5
2.1 Gas Turbine Compressor (GTC) 5
2.2 *Combustion Chamber* 6
2.3 Start Up System pada GTC 8
2.4 Pengaruh Suhu Lingkungan Terhadap *Start UP* GTC 9
2.5 Sistem Kontrol Berbasis *Logic solver* 11
2.6 Control Valve 13
2.7 *Temperature transmitter* 14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Identifikasi Parameter Start Up GTC 18
3.2 Identifikasi Pengaruh Suhu Lingkungan Terhadap *Start Up* GTC 18
3.3 Perancangan Start Up Sistem Pada GTC 20
3.4 Perancangan *Logic solver* 25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Uji *open loop* sistem 29
4.2 Simulasi Sistem Start Up GTC Berdasarkan Perubahan Suhu Lingkungan 30
BAB V 33
KESIMPULAN 33
5.1 Kesimpulan 33
5.2 Saran 33
DAFTAR PUSTAKA 35
LAMPIRAN 36
LAMPIRAN 37
LAMPIRAN 38
BIODATA PENULIS 70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen pada *Gas Turbine* (PT SIPL) 5

Gambar 2.2 *Combustion Chamber* pada *Gas Turbine* (Razak, 2007)..... 6

Gambar 2.3 Grafik Siklus *Start Up* GTC 8

Gambar 2.6 Skema Truth Table pada Simulink (MathWork, 2020)..... 12

Gambar 2.5 *Control Valve* (Emerson, n.d)..... 13

Gambar 2.6 *Thermocouple Type K*..... 14

Gambar 3.1 Flowchart Kegiatan..... 17

Gambar 3.2 Diagram Blok Start Up GTC 20

Gambar 3.3 Pemodelan Simulink Combustion Chamber..... 21

Gambar 3.4 Temperature transmitter 22

Gambar 3.5 *Control Valve Fuel Supply* pada Simulink 24

Gambar 3.6 *Control Valve Air Supply* pada Simulink 25

Gambar 3.7 Pemodelan Sistem *Start Up* GTC pada Simulink..... 28

Gambar 4.1 Uji Open Loop *Logic solver* 29

Gambar 4.2 Uji Open Loop Ruang Bakar 30

Gambar 4.2 Grafik Respon Sistem *Start Up* GTC 31

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Eksisting Start Up pada GTC PT. SIPL 18

Tabel 3.2 Pengaruh Suhu Bahan Bakar terhadap Hasil Pembakaran 19

Tabel 3.3 Database Kondisi dan Aksi untuk *Logic solver* (Lampiran D)..... 26

Tabel 3.4 Tabel Kondisi pada Blok Truth Table 27

Tabel 3.5 Tabel Aksi pada Blok Truth Table 27

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Sistem Start Up GTC..... 32

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas Turbine merupakan sebuah alat yang menggunakan gas bertekanan tinggi sebagai fluida kerjanya, dimana energi kinetik dari fluida tersebut diubah menjadi energi mekanik yang selanjutnya memutar sudu turbin sehingga menghasilkan energi listrik (James, 2014). Pada PT Saka Indonesia Pangkah Limited (PT. SIPL) terdapat 2 jenis turbin gas, yaitu *Gas Turbine Generator* (GTG) dan *Gas Turbine Compressor* (GTC). Kedua jenis turbin gas tersebut memiliki *engine* yang sama namun fungsi dari keduanya berbeda.

Gas Turbine Compressor (GTC) pada PT Saka Indonesia Pangkah Limited beroperasi pada suhu yang beragam. Proses start up GTC dipengaruhi oleh suhu lingkungan, dimana suhu lingkungan yang rendah akan memengaruhi suhu bahan bakar yang akan digunakan untuk proses pembakaran (Oosterkamp, 2015). Proses start up saat suhu lingkungan dingin menyebabkan operator harus melakukan pengendalian terhadap suplai udara dan bahan bakar agar suhu ideal hasil pembakaran dapat tercapai. Pada PT SIPL, pengendalian laju aliran bahan bakar dan udara menggunakan PID, sehingga operator perlu melakukan trial and error dalam mengendalikan suplai udara dan bahan bakar terutama saat kondisi suhu lingkungan rendah agar proses start up dapat berhasil.

Dalam tugas akhir ini, dilakukan perancangan kontrol berbasis logika untuk mengendalikan suplai bahan bakar dan udara yang digunakan untuk pembakaran pada saat start up. Sistem pengendalian yang digunakan adalah *logic solver*. *Logic solver* adalah sistem pengendalian berisi logika pengambilan keputusan berdasarkan database yang telah dibuat. Database tersebut berisi kondisi dan aksi dari proses start up GTC. *Logic solver* selanjutnya akan mengirimkan sinyal kepada aktuator yaitu control valve suplai udara dan bahan bakar yang optimal agar proses start up dapat dikatakan berhasil.

1.2 Rumusan Masalah

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

a) Bagaimana merancang sebuah kontrol sistem berbasis *logic solver* untuk *start up system* GTC
b) Bagaimana kinerja sistem pengendalian berbasis *logic solver* pada *start up system* GTC

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a) Merancang kontrol sistem berbasis *logic solver* untuk *start up system* pada GTC
b) Mengetahui kinerja sistem pengendalian berbasis *logic solver* pada *start up system* GTC

1.4 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini, cakupan bahasan yang akan dikaji akan dibatasi oleh beberapa batasan sebagai berikut :

a) Objek Tugas Akhir ini ada pada PT. Saka Indonesia Pangkah Limited
b) Data yang digunakan merupakan data sekunder yang berasal dari PT. Saka Indonesia Pangkah Limited
c) Model dan simulasi dibangun dengan menggunakan software matlab

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

a) BAB I PENDAHULUAN
   Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.
b) BAB II TEORI PENUNJANG
   Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.
c) BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian.

d) BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV ini berisi tentang analisis hasil perancangan model jaringan syaraf tiruan yang telah dibuat.

e) BAB V PENUTUP

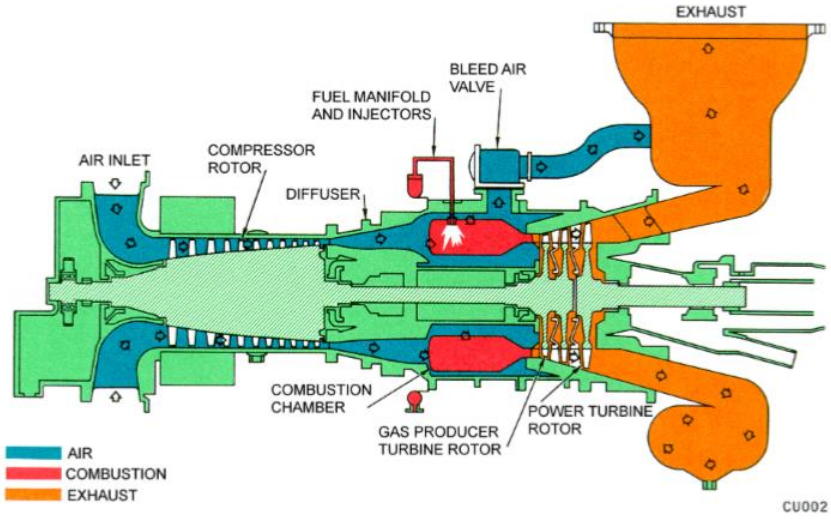
Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan analisis data yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gas Turbine Compressor (GTC)

Gas turbin adalah salah satu komponen utama yang terdapat pada sebuah *power plant*. Gas turbin menggunakan gas bertekanan tinggi sebagai fluida kerjanya, dimana fluida tersebut akan menggerakan sudu turbin untuk menghasilkan energi listrik. Gas turbin memiliki 3 komponen utama, yaitu ruang bakar, kompresor dan turbin.



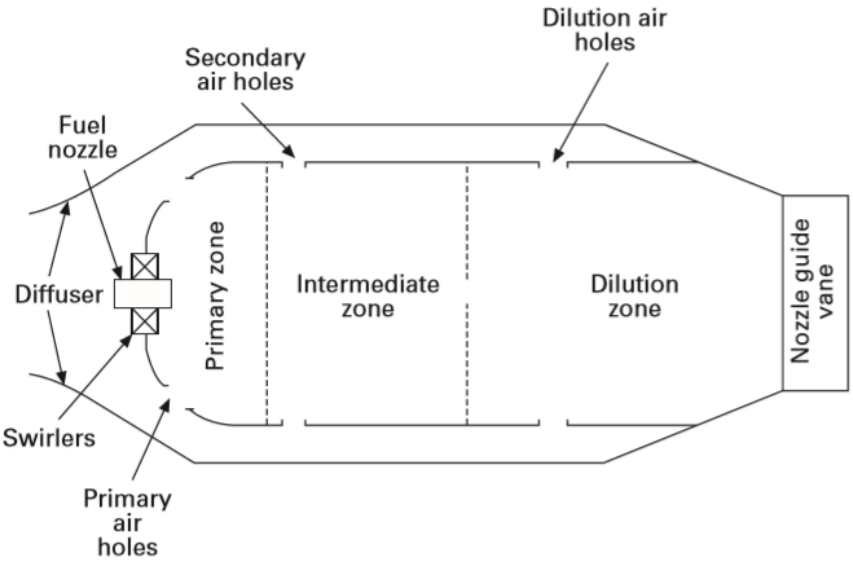
Gambar 2.1 Komponen pada *Gas Turbine* (PT SIPL)

Berdasarkan gambar 2.1 dapat diketahui bahwa prinsip kerja turbin gas adalah udara masuk melalui saluran inlet ke dalam kompresor untuk meningkatkan tekanan serta suhu dari udara masukan tersebut. Udara yang telah diproses pada kompresor sebagian diteruskan menuju ruang bakar untuk dilakukan proses pembakaran, dan sisanya digunakan untuk pendinginan pada dinding ruang bakar. Proses pembakaran terjadi pada *combustion chamber* atau ruang bakar. Pada proses ini terjadi pencampuran antara udara bertekanan dengan bahan bakar. Selanjutnya, gas hasil pembakaran akan dialirkan menuju ke turbin gas. Daya yang dihasilkan oleh turbin gas sebagian akan digunakan untuk memutar kompresornya sendiri dan sisanya digunakan untuk memutar beban lain dimana pada GTC adalah kompresor

(James A. W, 2014). Proses ini akan menghasilkan gas buang yang dimana gas tersebut akan dikeluarkan melalui exhaust atau saluran buang.

2.2 Combustion Chamber

Combustion chamber adalah tempat terjadinya pada proses reaksi antara udara bertekanan tinggi yang dihasilkan kompresor dengan bahan bakar. Hasil dari pembakaran ini adalah daya yang dihasilkan oleh turbin yang selanjutnya akan diubah menjadi daya yang akan digunakan untuk mengoperasikan kompresor GTC.



Gambar 2.2 *Combustion Chamber* pada *Gas Turbine* (Razak, 2007)

Berdasarkan gambar 2.2, *combustion chamber* terbagi menjadi 3 bagian. Bagian pertama adalah zona primer yang merupakan tempat dimana terjadi pembakaran bahan bakar. Bagian kedua adalah zona tengah yang merupakan tempat udara dimasukkan untuk dilakukan proses pembakaran. Bagian terakhir adalah zona dilusi/pendinginan dimana udara yang tersisa dari kompresor dimasukkan untuk mendinginkan *combustion chamber* (Razak, 2007). Komponen yang terdapat pada ruang bakar adalah sebagai berikut:

- Case

Case adalah cangkang dari sebuah *combustor* atau ruang bakar. *Case* dibuat untuk tahan terhadap perbedaan tekanan yang tinggi di dalam *combustor* dengan tekanan di luar.

- Liner

Liner merupakan tempat terjadinya proses reaksi pembakaran antara udara bertekanan tinggi dengan bahan bakar. Pada dinding *liner* terdapat lubang-lubang yang berfungsi untuk pendinginan di dalam ruang bakar.

- Ignitor

Ignitor berfungsi sebagai pemantik yang membuat percikan api, sehingga proses pembakaran dapat terjadi. *Ignitor* berfungsi saat proses *start up* pada gas turbin.

- Nozzle/Injector

Injector berfungsi untuk memasukan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Komponen ini bertugas untuk mengkondisikan bahan bakar yang ideal untuk proses reaksi pencampuran antara udara yang bertekanan tinggi dari kompresor.

Pemodelan matematis ruang bakar atau *combustion chamber* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan kalor sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \dot{m}_f * HHV \quad (2.1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

$\dot{Q}$ = Kalor (KJ/s)

m_f = Laju aliran massa bahan bakar (Kg/s)

HV = *Heating Value Fuel* (KJ/kg)

2.2.1 Air to Fuel Ratio

Proses pembakaran merupakan sebuah reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan dari udara bertekanan tinggi yang disalurkan oleh kompresor. Oksidan adalah zat yang dapat bereaksi dengan bahan bakar. Kandungan dalam udara bebas adalah Oksigen, Nitrogen, Karbondioksida, Argon, Neon, Helium dan lain-lain dalam presentase Oksigen 20% sedangkan gabungan zat lainnya sekitar 79%. Pada dasarnya, AFR dapat ditentukan dengan membandingkan nilai laju aliran massa udara (m_{air}) dengan nilai laju aliran massa bahan bakar (m_{fuel}) (Hsiu-Ming Wu, Reza Tafreshi, 2019). Nilai AFR dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

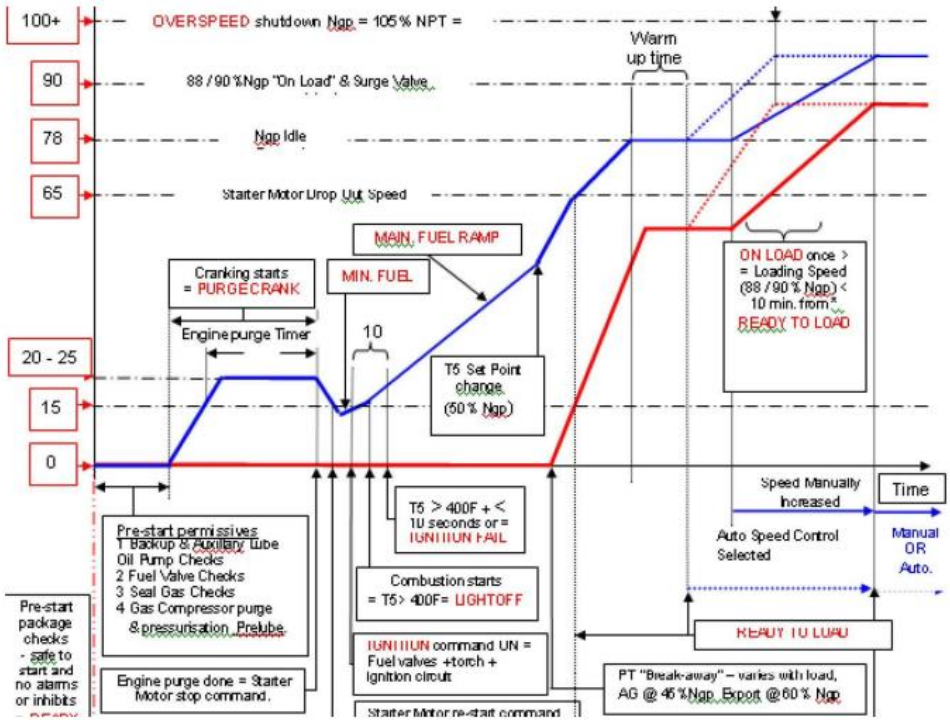
$$AFR = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \quad (2.2)$$

AFR yang ideal untuk pembakaran sempurna adalah sekitar 17,12:1, dimana untuk melakukan pembakaran sempurna terhadap 1 kg bahan bakar, dibutuhkan 17.12 kg udara. Untuk mengetahui nilai AFR, maka harus dilakukan perhitungan terhadap jumlah kesetimbangan atom C, H, dan O dalam sebuah reaksi pembakaran (Razak, 2007). Rumus umum pembakaran adalah sebagai berikut :

$$CzHy + \alpha(O2 + \frac{0.79}{0.21} N2 \rightarrow xCO2 + \frac{y}{z} H2O + \alpha \frac{0.79}{0.21} N2 \quad (2.3)$$

2.3 Start Up System pada GTC

Gas turbin adalah sebuah mesin dengan proses pembakaran internal. Oleh sebab itu, gas turbin memerlukan bantuan dalam melakukan start up. Pada umumnya, alat yang digunakan untuk membantu gas turbin dalam melakukan start up adalah mesin pneumatik atau motor elektrik.



Gambar 2.3 Grafik Siklus *Start Up* GTC

Gambar 2.3 di atas merupakan siklus dari proses start up GTC, dimana sumbu Y adalah persentase kecepatan dari putaran turbin dan sumbu x adalah

waktu. Motor starter yang memadai harus disediakan untuk memutar *gas turbine* yang belum menyala agar berputar pada kecepatan 25 hingga 30 persen, meskipun *ignition speed* gas turbin adalah 10 hingga 15 persen. Penambahan kecepatan tersebut berfungsi untuk melakukan fase purging atau pembersihan.

Ketika fase pembersihan telah selesai, kecepatan akan diturunkan hingga 15% untuk proses ignition. Fase ignition atau pembakaran adalah proses terjadi pencampuran antara bahan bakar dan udara. Campuran udara dan bahan bakar selanjutnya terbakar akibat percikan api dari busi atau *spark plug*. Selanjutnya hasil dari ignition akan membakar semua campuran bahan bakar dan udara pada combustion liner dan dimulailah proses pembakaran secara kontinyu hingga GTC mencapai kecepatan idle yaitu 65%. Ketika GTC sudah mencapai idle speed, maka motor starter akan dimatikan dan operator ecara perlahan menaikkan kecepatan putaran mesin hingga mencapai sekitar 95% sehingga GTC siap beroperasi. Untuk mempertahankan kecepatan dari putaran mesin tersebut, maka pasokan bahan bakar yang dimasukkan ke dalam mesin harus dipertahankan konstan. Ketika diperlukan beban yang lebih tinggi, maka operator akan meningkatkan suplai bahan bakar ke dalam sistem, dan sebaliknya apabila beban ingin dikurangi maka suplai bahan bakar ke dalam sistem juga akan dikurangi. (PT SIPL, n.d)

2.4 Pengaruh Suhu Lingkungan Terhadap *Start UP* GTC

Suhu lingkungan yang rendah di sekitar GTC dapat memengaruhi laju aliran massa udara yang dihasilkan oleh kompresor. Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut dimana suhu inlet kompresor yang diasumsikan sama dengan suhu lingkungan akan memengaruhi besar suhu keluaran yang dihasilkan oleh kompresor.

$$\dot{m} = \frac{W_c}{h(T_{out}) - h(T_{amb})} \tag{2.7}$$

Jumlah laju aliran massa yang digunakan untuk pembakaran adalah sebesar 30% dari total laju aliran massa yang dihasilkan oleh kompresor. Nilai laju aliran massa udara tersebut akan memengaruhi kalor yang dihasilkan oleh *combustion chamber*. Hal tersebut dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$Q = (\dot{m}_{out} \times h(T_{out})^{\cdot} - \dot{m}_{in} \times h(T_{in})) \tag{2.8}$$

Dari persamaan diatas, diketahui bahwa nilai m_{in} yang merupakan laju aliran massa udara yang dihasilkan kompresor dan nilai T_{in} yang merupakan suhu keluaran yang dihasilkan kompresor akan memengaruhi besar kalor yang dihasilkan oleh *combustion chamber*.

Selain dapat memengaruhi kalor yang dihasilkan, suhu lingkungan yang rendah juga dapat memengaruhi suhu bahan bakar yang terdapat pada tangka penyimpanan. Untuk mengetahui pengaruh penurunan suhu bahan bakar yang diakibatkan oleh suhu lingkungan dapat digunakan perhitungan perpindahan panas. Perpindah panas tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\dot{Q} = UA(T_{fuel} - T_{amb}) \quad (2.9)$$

Dimana,

$\dot{Q}$ = Perpindahan panas (W)

U = koefisien perpindahan panas total (W/m^{2}K)

A = luas penampang (m^2)

T_{amb} = suhu lingkungan (K)

T_{fuel} = suhu bahan bakar (K)

Koefisien perpindahan panas total adalah kombinasi antara koefisien perpindahan panas dalam dan luar dari tanki bahan bakar (F. Sund, S. M. Hope, A. Oosterkamp, 2015). Diasumsikan bahwa perpindahan panas terjadi secara koncuksi dan konveksi, dimana konveksi terjadi saat suhu lingkungan yang memengaruhi suhu material pada tanki bahan bakar dan juga saat suhu material yang memengaruhi suhu bahan bakar dalam tanki, sedangkan konduksi terjadi saat suhu pada bagian luar tanki yang memengaruhi suhu bagian dalam tanki. Untuk menghitung total koefisien perpindahan panas tersebut dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1}+\frac{\Delta x}{k}+\frac{1}{h_2}} \quad (2.10)$$

Dimana,

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^{2}K)

k = konduktivitas termal material tanki (W/mK)

Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan panas konveksi nantural, dapat digunakan persamaan *Nusselt Number* untuk konveksi natural sebagai berikut:

$$Nu = \frac{hL}{k} = C(Ra)^n \quad (2.11)$$

Dimana Ra adalah *Rayleigh Number* yang dapat diperoleh dengan mengalikan *Grashof Number* (Gr) dan *Prandtl Number* (Pr), sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$Ra = GrPr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{v^3}Pr \quad (2.12)$$

Keterangan:

k = kondiktifitas termal udara (W/mK)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

β = *coefficient of thermal expansion* (1/K)

L = Panjang tangki (m)

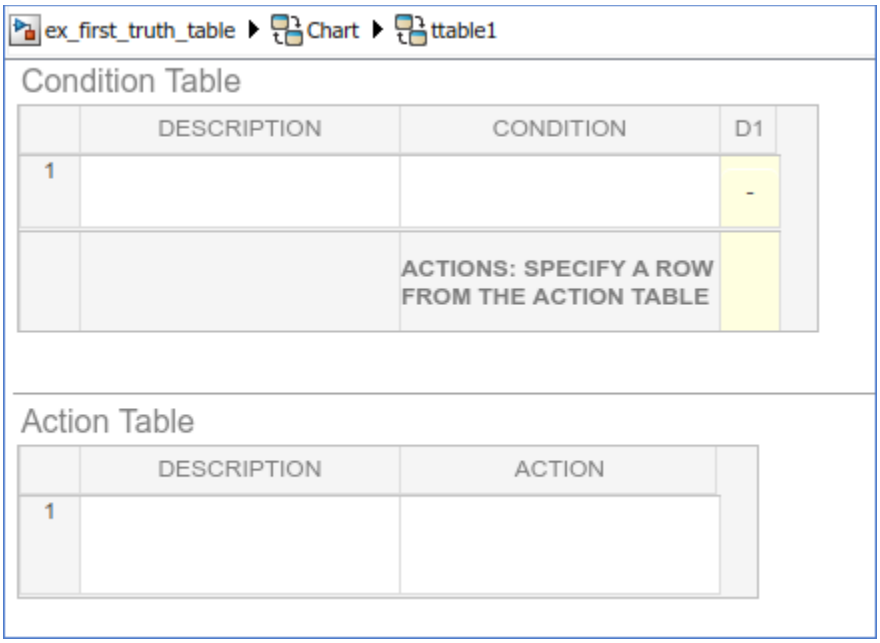
v = viskositas kinematik (m^2/s)

2.5 Sistem Kontrol Berbasis *Logic solver*

Berdasarkan informasi yang didapatkan dari PT. SIPL, bahwa sistem kontrol yang digunakan untuk mengatur laju aliran massa bahan bakar dan udara untuk pembakaran adalah PID. Sistem kontrol PID pada PT. SIPL tidak mampu memberikan keluaran yang sesuai dengan suhu lingkungan pada saat start up, sehingga operator harus melakukan trial and error agar suhu set point dapat terpenuhi. Oleh sebab itu, digunakan sistem kontrol berbasis *logic solver* untuk membantu operator dalam melakukan start up GTC dengan memberikan nilai laju aliran massa bahan bakar dan udara yang sesuai dengan suhu lingkungan pada saat itu.

Logic solver merupakan salah satu jenis pengendalian yang bekerja berdasarkan logika. Sistem pengendalian berbasis logic solver dapat memberikan nilai keluaran sinyal kontrol yang sebelumnya telah ditentukan. Berbeda dengan mode kontrol PID, dimana dalam mode tersebut terdapat operasi perhitungan matematik dalam penentuan nilai keluarannya. Untuk menentukan nilai sinyal kontrol untuk aktuator pada logic solver, perlu dilakukan uji open loop untuk dapat

mengetahui nilai sinyal kontrol yang sesuai untuk membuka control valve aliran udara dan bahan bakar sehingga proses variabel yang dikendalikan dapat mencapai *set point.* Untuk merancang *logic solver* pada Simulink diperlukan *truth table*. *Truth table* adalah sebuah bagan yang digunakan untuk menganalisa suatu nilai kebenaran dari setiap kemungkinan kombinasi nilai kebenaran.



Gambar 2.6 Skema Truth Table pada Simulink (MathWork, 2020)

Berdasarkan gambar 2.6 di atas, diketahui bahwa *truth table* pada Simulink terdiri atas 2 tabel, yaitu table kondisi dan aksi. Tabel kondisi berisi pasangan input dari sistem, selanjutnya pada kolom D1, D2 dan seterusnya berisi nilai kebenaran (*true/false)* atau tanda strip(-). Sedangkan pada table aksi berisi keluaran yang sesuai agar nilai proses variable yang dikendalikan dapat sesuai dengan set point. Pada tugas akhir ini, sistem kendali *logic solver* akan memberikan *output* berupa laju aliran massa bahan bakar dan laju aliran massa udara berdasarkan pasangan *input* suhu lingkungan, suhu bahan bakar, error suhu hasil pembakaran serta kalor yang dihasilkan saat pembakaran pada *combustion chamber*. Semua input tersebut kemudian dipilah oleh tabel kondisi untuk mengetahui baris tabel aksi manakah yang sesuai dengan pasangan *input* saat itu. Setelah itu, *output* diberikan menuju aktuator yaitu *control valve* berupa sinyal yang mengatur laju aliran massa suplai bahan bakar dan laju aliran massa udara untuk proses pembakaran pada *combustion chamber*.

2.6 Control Valve

Control Valve adalah sebuah piranti dalam industri yang digunakan untuk memanipulasi aliran fluida seperti gas, uap, air, atau bahan kimia untuk mengkompensasi gangguan beban dan menjaga variabel proses yang diatur sedekat mungkin dengan *set point* yang diinginkan (Emerson, n.d).

Gambar 2.5 *Control Valve* (Emerson, n.d)

Dalam melakukan pemodelan terhadap *control valve*, perlu dilakukan perhitungan terhadap *gain I/P*, *gain valve* dan *gain process* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$G_{I/P} = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \tag{2.13}$$

Control valve memiliki sinyal masukan berupa arus dalam mA, dari sinyal tersebut akan diubah menjadi sinyal pneumatic dalam psi oleh I/P *converter*. Oleh sebab itu, perlu dilakukan perhitungan terhadap gain I/P dengan menggunakan persamaan 2.12 dimana Δoutput adalah rentang sinyal pneumatic, dan Δinput adalah rentang sinyal masukan yaitu 4-20 mA.

$$G_v = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \tag{2.14}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *gain valve* dengan menggunakan persamaan 2.14. Gain valve adalah perbandingan antara Δoutput berupa presentase pembukaan valve dan Δinput berupa sinyal pneumatic yang digunakan sesuai dengan gain I/P.

$$G_{pr} = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \quad (2.15)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap *gain process* dengan menggunakan persamaan 2.14, dimana Δ*output* adalah laju aliran massa dari fluida dan Δ*input* adalah persentase pembukaan dari *valve*

Ketiga hasil perhitungan gain dari persamaan diatas dikalikan untuk mendapatkan gain total (K_{cv})

$$K_{cv} = G_{I/P} \times G_V \times G_{pr} \quad (2.16)$$

Time constant control valve (λ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\lambda = TV(\Delta Q + R) \quad (2.17)$$

Sehingga, didapatkan persamaan fungsi transfer dari *control valve* :

$$G_{cv} = \frac{K_v}{\lambda s+1} \quad (2.18)$$

2.7 Temperature transmitter

Temperature transmitter adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur suhu suatu fluida. Berdasarkan P&ID gas turbine PT. SIPL, temperature transmitter yang digunakan adalah thermocouple type k. Prinsip kerja dari temperature transmitter seperti sensor pada umumnya, yaitu resistansi akan berubah sesuai dengan perubahan dari temperature (Ibrahim D, 2002).

Gambar 2.6 *Thermocouple Type K*

Untuk menghitung fungsi transfer dari temperature transmitter dapat digunakan persamaan berikut:

$$\frac{I(s)}{T(s)} = \frac{G_{TT}}{\tau s+1} \quad (2.19)$$

Untuk menghitung Gain temperature transmitter (G_{TT}) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$G_{TT} = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \quad (2.20)$$

Dengan,

G_{TT} = *Gain Temperature Transmitter*

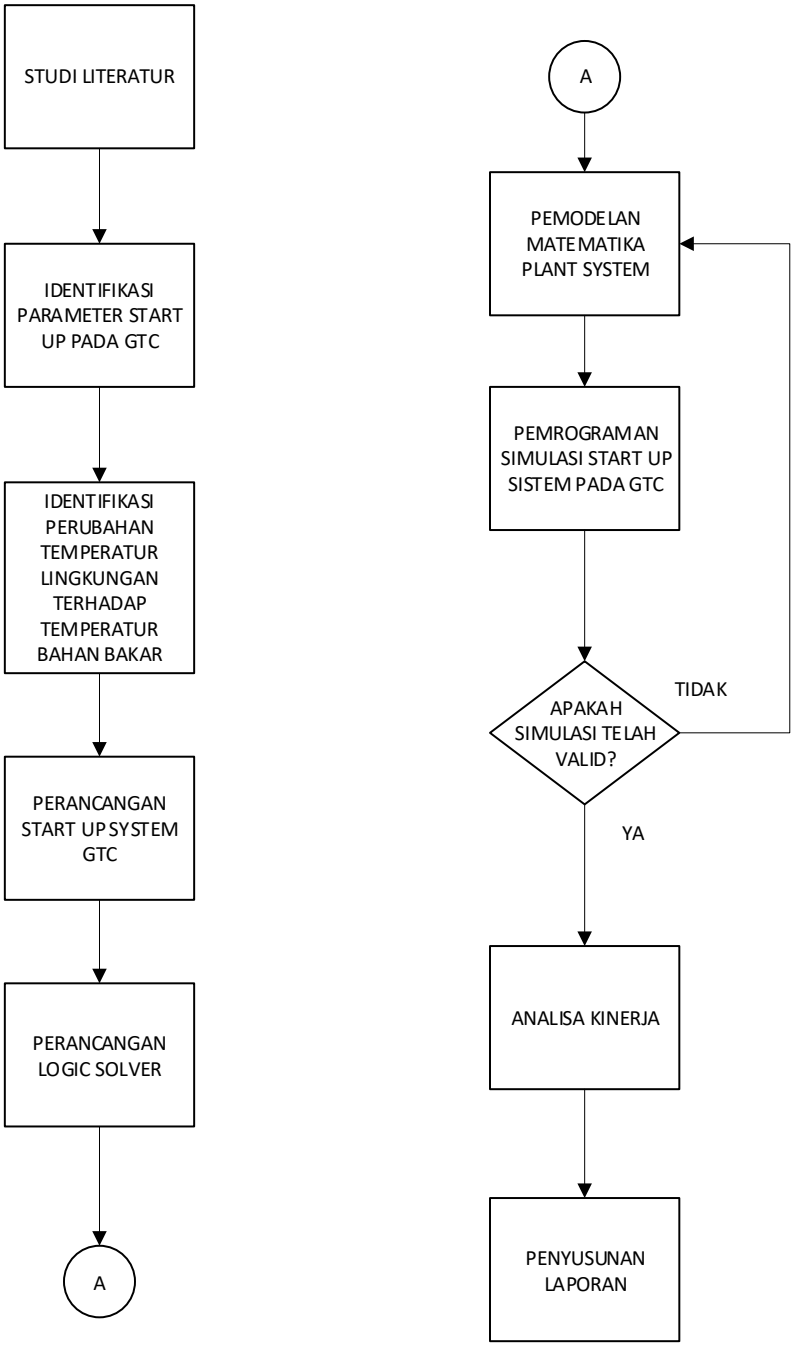
$\Delta Output$ = Perubahan arus (mA)

$\Delta Input$ = Rentang suhu pada *temperature transmitter* (°C)

τ = *Time Constant* (s)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Flowchart Kegiatan

3.1 Identifikasi Parameter Start Up GTC

Setelah studi literatur yang telah dilakukan pada Bab 2, diperoleh parameter-parameter yang diperlukan untuk memodelkan sistem start up GTC sebagai berikut.

- Suhu lingkungan
- Suhu bahan bakar
- Laju aliran massa udara
- Laju aliran massa bahan bakar
- Suhu *combustion chamber*

Setelah diketahui parameter-parameter yang diperlukan untuk memodelkan sistem start up GTC, selanjutnya dilakukan pengambilan data terhadap parameter-parameter tersebut. Data tersebut merupakan data operasi GTC saat start up berdasarkan perubahan suhu lingkungan.

Tabel 3.1 Parameter Eksisting Start Up pada GTC PT. SIPL

Suhu Lingkungan (^{o}C)	23,33 – 31,89
Suhu Bahan Bakar (^{o}C)	25.6 – 37.58
Laju Aliran Massa Udara (Kg/s)	0.789527 – 1.94577
Laju Aliran Bahan Bakar (Kg/s)	0,078994 – 0.126475
Suhu *combustion chamber* (^{o}C)	789.88 – 950.08

Parameter-parameter pada tabel 3.1 di atas akan digunakan sebagai acuan dalam membuat pemodelan sistem start up serta sistem pengendalian berbasis *logic solver*.

3.2 Identifikasi Pengaruh Suhu Lingkungan Terhadap *Start Up* GTC

Perhitungan perpindahan panas yang terjadi pada tanki bahan bakar dapat menggunakan persamaan 2.7, dimana untuk mencari nilai koefisien perpindahan panas total, perlu dilakukan perhitungan terhadap konduktivitas termal dan koefisien perpindahan panas konveksi. Dengan mensubtitusikan persamaan 2.8 kedalam persamaan 2.7 didapatkan persamaan perpindahan panas sebagai berikut:

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{A_1 h_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{A_2 h_2}} \tag{3.1}$$

Diasumsikan bahwa terjadi konveksi natural pada sisi luar tanki bahan bakar. Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan panas konveksi natural dapat

menggunakan persamaan 2.9, namun sebelumnya perlu dilakukan perhitungan terhadap nilai *Rayleigh Number* dapat menggunakan persamaan 2.10. Berdasarkan tabel *properties of air* parameter yang dibutuhkan pada persamaan 2.10 menjadi:

$$Ra = \frac{9{,}8 \times 0{,}0034 \times 2{,}3 \times 14^3}{(1{,}562 \times 10^{-5})^2} 0{,}7296 \quad (3.2)$$

$$Ra = 62{,}8 \times 10^{10} \quad (3.3)$$

Setelah itu dilakukan perhitungan *Nusselt Number* dengan menggunakan persamaan 2.9, sehingga dapat dapat diperoleh nilai h udara sebagai berikut:

$$\frac{h14}{0{,}02551} = 0{,}16(62{,}8)^{1/3} \quad (3.4)$$

$$h = 0{,}2478 \quad (3.5)$$

Diasumsikan tanki memiliki ukuran panjang 14m, diameter 6m, dan ketebalan 5cm serta berbahan stainless steel dengan nilai konduktivitas termal sebesar 13 W/mK. Nilai koefisien perpindahan panas gas sebesar 10 W/m^{2}K sehingga didapatkan disubtitusikan kedalam persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{A_1 h_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{A_2 h_2}} \quad (3.6)$$

$$Q = \frac{(27.61 - 23.33)}{\frac{1}{2596} + \frac{\ln\left(\frac{3}{2{,}95}\right)}{1144} + \frac{1}{65{,}41}} \quad (3.7)$$

Sehingga diperoleh nilai perpindahan panas sebesar:

$$Q = 446{,}229\ W \quad (3.8)$$

Nilai suhu bahan bakar akan memengaruhi nilai *heating value* nya, dimana ketika suhu bahan bakar rendah, maka nilai heating value juga akan rendah. Nilai ini akan memengaruhi kalor dan suhu pembakaran yang dihasilkan.

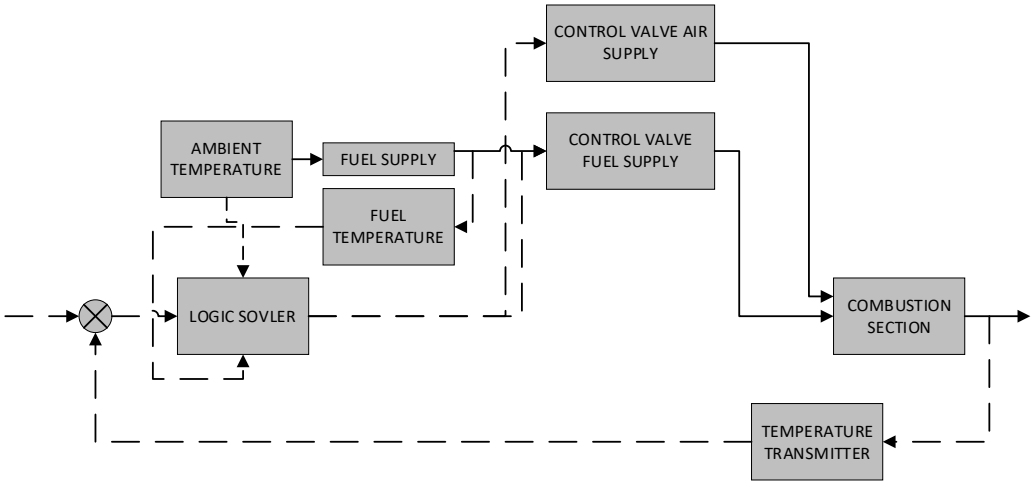
Tabel 3.2 Pengaruh Suhu Bahan Bakar terhadap Hasil Pembakaran

Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Bahan Bakar (°C)	HV (Kj/Kg)	Laju Aliran Massa Bahan Bakar (Kg/s)	Q
23,3	27,6	26060,0387	0,105641667	2753,02592
27,5	35,3	26450,5957	0,101280556	2678,93102
31,8	38,7	27348,6116	0,105155556	2875,85844

Pada tabel 3.2, dapat diketahui bahwa suhu bahan bakar akan memengaruhi hasil kalor pembakaran dikarenakan perubahan dari nilai *heating value*-nya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengendalian terhadap laju aliran massa bahan bakar untuk pembakaran agar suhu set point yang telah ditentukan dapat terpenuhi.

3.3 Perancangan Start Up Sistem Pada GTC

Setelah dilakukan identifikasi pengaruh suhu lingkungan terhadap start up GTC, selanjutnya dilakukan perancangan terhadap start up sistem pada GTC sesuai dengan diagram blok dibawah.



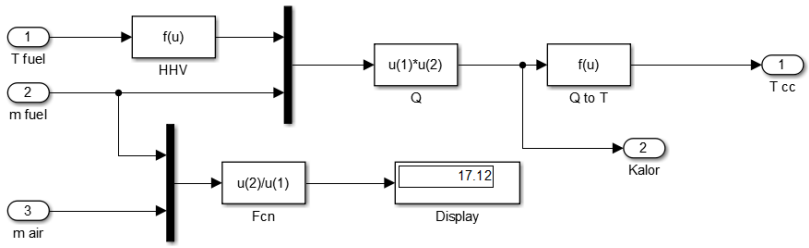
Gambar 3.2 Diagram Blok Start Up GTC

Berdasarkan gambar 3.2 di atas, terdapat berbagai komponen yang menyusun sistem start up pada GTC. Oleh sebab itu, dilakukan pemodelan terhadap masing-masing komponen penyusun yang terdapat pada diagram blok tersebut. Pemodelan masing-masing komponen penyusun dapat menggunakan persamaan matematis yang terdapat pada dasar teori dengan menggunakan data yang telah diperoleh dari PT SIPL.

3.3.1 Pemodelan Ruang Bakar

Pemodelan matematis pada ruang bakar atau combustion chamber dapat menggunakan persamaan kalor 2.1, yaitu dengan mengalikan laju aliran massa bahan bakar dengan nilai *heating value* bahan bakar yang dipengaruhi oleh suhu bahan bakar tersebut. Dengan menggunakan persamaan 2.1, maka akan didapatkan

nilai kalor hasil dari proses pembakaran. Selanjutnya kalor tersebut diubah dengan menggunakan persamaan di bawah, dimana nilai kalor akan diubah menjadi nilai suhu.



Gambar 3.3 Pemodelan Simulink Combustion Chamber

Berdasarkan pemodelan pada gambar 3.3, *combustion chamber* memiliki input laju aliran massa udara, laju aliran massa bahan bakar dan suhu bahan bakar. Untuk mengetahui nilai HHV berdasarkan perubahan suhu bahan bakar dapat menggunakan persamaan berikut:

$$HHV = 23220.461 + (Tf * 107.786) \quad (3.9)$$

Dari pemodelan ruang bakar di atas diketahu bahwa output dari ruang bakar adalah kalor, sehingga harus diubah terlebih dahulu menjadi suhu dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Tc = 521.508 + (0.128 * Q) \quad (3.10)$$

Persamaan di atas diperoleh dengan mencari persamaan regresi dari hubungan antara kalor yang dihasilkan oleh ruang bakar dengan suhu yang dihasilkan oleh ruang bakar dengan menggunakan data operasi GTC terlampir. Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka nilai kalor yang dihasilkan oleh ruang bakar dapat diubah menjadi nilai suhu hasil pembakaran pada ruang bakar.

3.3.2 Pemodelan Temperature transmitter

Pemodelan matematis *temperature transmitter* dapat diperoleh dengan menghitung *gain* dari *temperature transmitter* dengan menggunakan persamaan 3.24 dimana output dari *temperature transmitter* adalah arus (mA) dan input dari *temperature transmitter* adalah suhu berdasarkan *range* dari *temperature transmitter* yang digunakan.

$$G_{TT} = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \quad (3.11)$$

Temperature transmitter yang digunakan berjenis *thermocouple type K*, dimana *temperature transmitter* tersebut memiliki rentang kapasitas pengukuran suhu -270ºC hingga 1260ºC dengan ouput 4 mA hingga 20 mA. Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh *gain* dari *temperature transmitter* seperti pada persamaan berikut:

$$G_{TT} = \frac{20-4}{1260-(-270)} \quad (3.12)$$

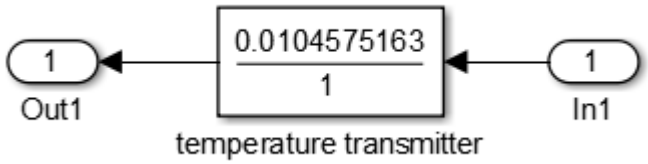
$$G_{TT} = 0{,}0104575163 \quad (3.13)$$

Sehingga diperoleh persamaan fungsi transfer sebagai berikut:

$$\frac{I(s)}{T(s)} = \frac{G_{TT}}{\tau s+1} \quad (3.14)$$

$$\frac{I(s)}{T(s)} = \frac{0{,}0104575163}{1} \quad (3.15)$$

Sehingga pemodelan matematis *temperature transmitter* pada Simulink adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Temperature transmitter

Pada pemodelan sistem start up GTC, *temperature transmitter* digunakan untuk mengukur suhu hasil dari *combustion chamber*, suhu lingkungan dan suhu bahan bakar. Ketiga parameter tersebut akan digunakan sebagai input dalam sistem pengendalian berbasis *logic solver*.

3.3.3 Pemodelan Control Valve Supply Bahan Bakar

Berdasarkan P&ID terlampir, *control valve* memiliki *tag number* FCV7065. Untuk memodelkan *control valve,* perlu dilakukan perhitungan terhadap *gain I/P, gain valve,* dan *gain process. Gain I/P* pada *control valve* dapat diperoleh dengan membandingkan output berupa tekanan (psi) dan input berupa arus (mA) sebagai berikut:

$$G_{I/P} = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \quad (3.16)$$

$$G_{I/P} = \frac{15-3\ psi}{20-4\ mA} \quad (3.17)$$

Sehingga diperoleh *gain I/P* sebagai berikut:

$$G_{I/P} = 0{,}75\ psi/mA \quad (3.18)$$

Setelah diperloheh *gain I/P*, selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap *gain valve* dengan membandingkan persentase pembukaan valve terhadapa nilai tekanan sehingga dapat diperoleh persamaan berikut:

$$Gv = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \quad (3.19)$$

$$Gv = \frac{100-0\%}{15-3\ psi} \quad (3.20)$$

Sehingga diperoleh nilai *gain valve* sebagai berikut:

$$Gv = 8{,}33\ \%/psi \quad (3.21)$$

Setelah itu dilakukan perhitungan terhadap *gain process* dengan membandingkan nilai range laju aliran massa fluida yang mengalir dalam hal ini adalah bahan bakar dengan nilai persentase pembukaan pada valve sehingga dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$G_{pr} = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} \quad (3.22)$$

$$G_{pr} = \frac{0.120311-0\ kg/s}{100-0\ \%} \quad (3.23)$$

Sehingga diperoleh nilai *gain process* dengan nilai sebagai berikut:

$$G_{pr} = \frac{0{,}120311}{100}\frac{kg/s}{\%} \quad (3.24)$$

Setelah diperoleh nilai *gain I/P*, *gain valve* dan *gain process*, maka selanjutnya dilakukan perhitungan *gain control valve* (K_{cv}) dengan menggunakan persamaan 3.32 sebagai berikut:

$$K_{cv} = G_v \times G_{pr} \times G_{I/P} \quad (3.25)$$

$$K_{cv} = 8.333 \times 0{,}00120311 \times 0{,}75 \quad (3.26)$$

Sehingga diperoleh nilai *gain control valve* dengan nilai sebagai berikut:

$$K_{cv} = 0{,}007519444 \quad (3.27)$$

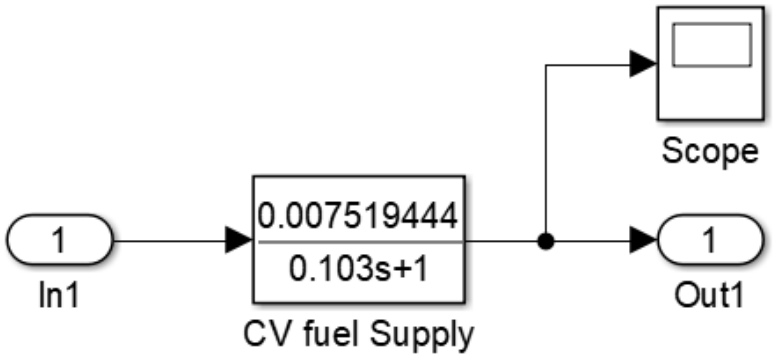
Untuk mendapatkan fungsi transfer dari *control valve* dapat menggunakan persamaan 3.35, dimana menurut datasheet *control valve* memiliki *time constant* sebesar 0,103.

$$G_{cv} = \frac{K_v}{\lambda s+1} \quad (3.28)$$

Sehingga diperoleh fungsi transfer dari *control valve* sebagai berikut:

$$G_{cv} = \frac{0{,}007519444}{0{,}103s+1} \quad (3.29)$$

Setelah diperoleh fungsi transfer, selanjutnya dilakukan pemodelan pada Simulink. Pemodelan *control valve* pada Simulink dapat dilihat pada gambar 3.7 sebagai berikut:



Gambar 3.5 *Control Valve Fuel Supply* pada Simulink

3.3.4 Pemodelan *Control Valve Air Supply*

Dalam melakukan pemodelan terhadap control valve air supply, perlu dilakukan perhitungan *gain I/P*, *gain valve*, dan *gain process.* Perhitungan gain I/P dapat menggunakan persamaan 2.13 dengan output tekanan 3 – 15 psi dan input arus 4 – 20 mA.

$$G_{I/P} = \frac{15-3\ psi}{20-4\ mA} \tag{3.30}$$

$$G_{I/P} = 0{,}75\ psi/mA \tag{3.31}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap *gain valve* dengan membandingkan persentase pembukaan valve terhadap nilai tekanan sehingga dapat diperoleh persamaan berikut:

$$Gv = \frac{100-0\%}{15-3\ psi} \tag{3.32}$$

$$Gv = 8{,}33\ \%/psi \tag{3.33}$$

Setelah itu dilakukan perhitungan terhadap *gain process* dengan membandingkan nilai range laju aliran massa fluida yang mengalir dalam hal ini adalah bahan bakar dengan nilai persentase pembukaan pada valve sehingga dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$G_{pr} = \frac{1{,}94576996}{100}\frac{kg/s}{\%} \tag{3.34}$$

$G_{pr} = 0{,}0194576996$ (3.35)

Setelah diperoleh nilai *gain I/P*, *gain valve* dan *gain process*, maka selanjutnya dilakukan perhitungan *gain control valve* (K_{cv}) dengan menggunakan persamaan 3.32 sebagai berikut:

$K_{cv} = G_v \times G_{pr} \times G_{I/P}$ (3.36)

$K_{cv} = 8.333 \times 0{,}0194576996 \times 0{,}75$ (3.37)

Sehingga diperoleh nilai *gain control valve* dengan nilai sebagai berikut:

$K_{cv} = 0{,}12161062$ (3.38)

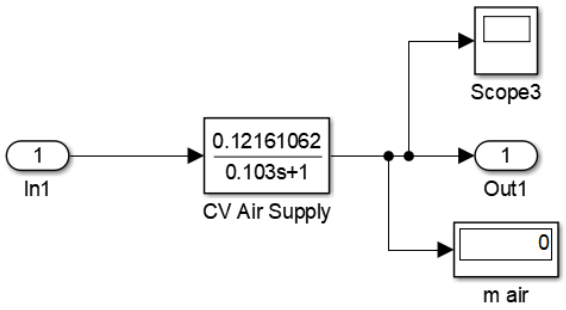
Untuk mendapatkan fungsi transfer dari *control valve* dapat menggunakan persamaan 3.35, dimana menurut datasheet *control valve* memiliki *time constant* sebesar 0,103.

$G_{cv} = \frac{K_v}{\lambda s+1}$ (3.39)

Sehingga diperoleh fungsi transfer dari *control valve* sebagai berikut:

$G_{cv} = \frac{0{,}12161062}{0{,}103s+1}$ (3.40)

Setelah diperoleh fungsi transfer, selanjutnya dilakukan pemodelan pada Simulink. Pemodelan *control valve* pada Simulink dapat dilihat pada gambar 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3.6 *Control Valve Air Supply* pada Simulink

3.4 Perancangan *Logic solver*

Perancangan sistem pengendalian berbasis *logic solver* bertujuan untuk memberikan suplai udara dan bahan bakar menuju ruang bakar yang sesuai dengan suhu lingkungan pada saat itu. Suhu lingkungan akan memengaruhi suhu bahan bakar, dimana suhu bahan bakar akan berdampak terhadap kalor yang dihasilkan

oleh ruang bakar sehingga perlu dilakukan pengendalian terhadap laju aliran massa udara dan bahan bakar agar suhu hasil pembakaran yang ideal dapat terpenuhi.

Dalam merancang *logic solver*, terlebih dahulu dibuat database yang akan dijadikan acuan dalam merancang tabel kondisi dan aksi yang terdapat pada *logic solver*. Data pada database ini didapatkan dari data operasi GTC pada saat proses start up yang telah diolah agar nilai suhu set point sebesar 815,6^{o}C dapat terpenuhi dengan memanipulasi nilai laju aliran massa bahan bakar.

Tabel 3.3 Database Kondisi dan Aksi untuk *Logic solver* (Lampiran D)

Kondisi					Aksi	
T amb	T fuel	HHV	Q	T c	m fuel	m air
28,11	32,3	26700,78	2297,28	815,56	0,086038	1.94577
28,28	32,5	26726,45	2297,28	815,56	0,085955	1.94577
27,28	31,1	26575,44	2297,28	815,56	0,086444	1.94577
27,56	31,5	26617,72	2297,28	815,56	0,086306	1.94577
28,28	32,5	26726,45	2297,28	815,56	0,085955	1.94577
27,94	32,1	26675,1	2297,28	815,56	0,086121	1.94577
27,56	31,5	26617,72	2297,28	815,56	0,086306	1.94577
27,67	31,7	26634,33	2297,28	815,56	0,086253	1.94577
28,72	33,1	26792,89	2297,28	815,56	0,085742	1.94577
28,83	33,3	26809,5	2297,28	815,56	0,085689	1.94577
29,17	33,8	26860,84	2297,28	815,56	0,085525	1.94577
28,17	32,4	26709,84	2297,28	815,56	0,086009	1.94577
27,33	31,2	26582,99	2297,28	815,56	0,086419	1.94577
27,56	31,5	26617,72	2297,28	815,56	0,086306	1.94577
27,5	31,4	26608,66	2297,28	815,56	0,086336	1.94577

Data pada tabel 3.3 di atas merupakan sebagian data dari data terlampir yang akan digunakan sebagai acuan dalam perancangan *logic solver*. Data pada tabel diatas diperoleh dengan mengacu pada data operasi GTC pada lampiran C yang telah dilakukan perhitungan terhadap nilai laju aliran massa bahan bakar yang sesuai agar suhu *set point* tersebut dapat tercapai. Nilai laju aliran massa udara tersebut merupakan nilai laju aliran massa udara yang tertinggi sesuai dengan data operasi GTC. Suplai udara untuk pembakaran dianggap konstan dikarenakan dalam pengoperasiannya kompresor dinyalakan dengan daya yang maksimal. Selain itu, sesuai dengan petunjuk pengoperasian turbin gas, untuk menurunkan atau

menaikan beban yang dihasilkan oleh turbin gas, maka perlu dilakukan pengendalian terhadap laju aliran massa bahan bakar ke dalam ruang bakar. Dengan menggunakan acuan data di atas, langkah selanjutnya adalah merancang truth table untuk pengendalian berbasis *logic solver*. Dalam blok *truth table* pada Simulink terdapat 2 tabel yaitu tabel *condition* dan *action.* Berikut adalah tabel *condition* dan *action* pada blok *truth table*:

Tabel 3.4 Tabel Kondisi pada Blok Truth Table

#	Description	Condition	1	2
1	condition 1	e>=0&&e<0.4&&Q>2052&&Q<3348	T	-
		Actions	1	2

Tabel 3.5 Tabel Aksi pada Blok Truth Table

#	Description	Action
1	a= air supply (Kg/s) f= fuel supply (Kg/s)	1; f=(2297.28125/23220.461+(Tf*107.786)); a=1.94577;
2		2; f=0.078994444444; a=1.94577;

Pada kedua tabel diatas, terdapat 4 variabel dengan keterangan sebagai berikut:

e = nilai error suhu hasil pembakaran yang dikurangi set point

Q = nilai kalor hasil pembakaran

f = nilai laju aliran massa bahan bakar dalam Kg/s

a = nilai laju aliran massa udara dalam Kg/s

Pada tabel kondisi, terdapat nilai error pada pembacaan *temperature transmitter* yang terletak pada ruang bakar. Hasil pembacaan tersebut kemudian dikurangi dengan nilai set point sehingga didapatkan rentang nilai 0 hingga 0.4. Selanjutnya nilai rentang kalor yang dihasilkan oleh pembakaran didapatkan dari data operasi GTC dengan nilai 2052 hingga 3348. Selanjutnya pada tabel aksi, nilai f didefinisikan dengan menggunakan persamaan kalor 2.1 dengan nilai HHV yang dipengaruhi oleh perubahan suhu bahan bakar sehingga dapat didefinisikan persamaan berikut:

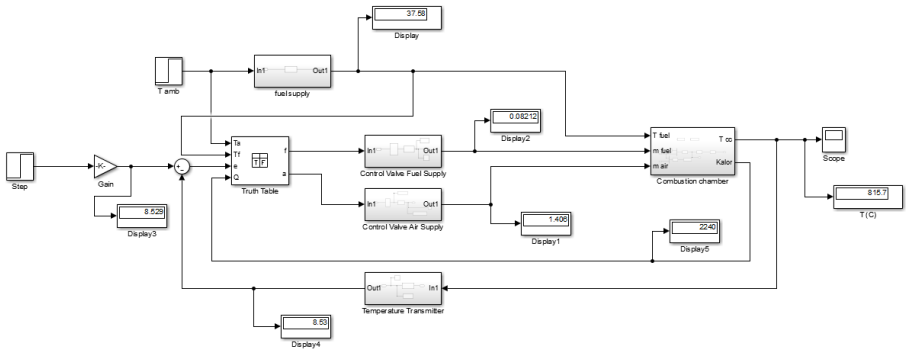
$$f = (Q/HHV) \quad (3.41)$$

Dimana Q adalah kalor yang dihasilkan pada saat suhu hasil pembakaran ruang bakar sebesar 815,6^{o}C, sedangkan nilai HHV yang dipengaruhi oleh suhu bahan

bakar dapat diperoleh menggunakan persamaan 3.9, sehingga diperoleh persamaan nilai laju aliran massa bahan bakar sebagai berikut:

$$f = (2297.28125/23220.461 + (Tf * 107.786)) \quad (3.42)$$

Pada tabel aksi baris ke dua, diberikan nilai laju aliran massa bahan bakar yang paling rendah sesuai pada data operasi GTC. Hal ini bertujuan agar diperoleh nilai error pada suhu hasil pembakaran sehingga tabel kondisi baris pertama dapat terpenuhi. Ketika tabel kondisi baris pertama terpenuhi atau dalam hal ini bernilai *true/T*, maka selanjutnya akan diberikan aksi yang terdapat pada tabel aksi baris pertama. Aksi tersebut berupa laju aliran massa bahan bakar dan udara yangsesuai agar suhu set point dapat tercapai. Berikut adalah pemodelan sistem start up GTC pada Simulink:

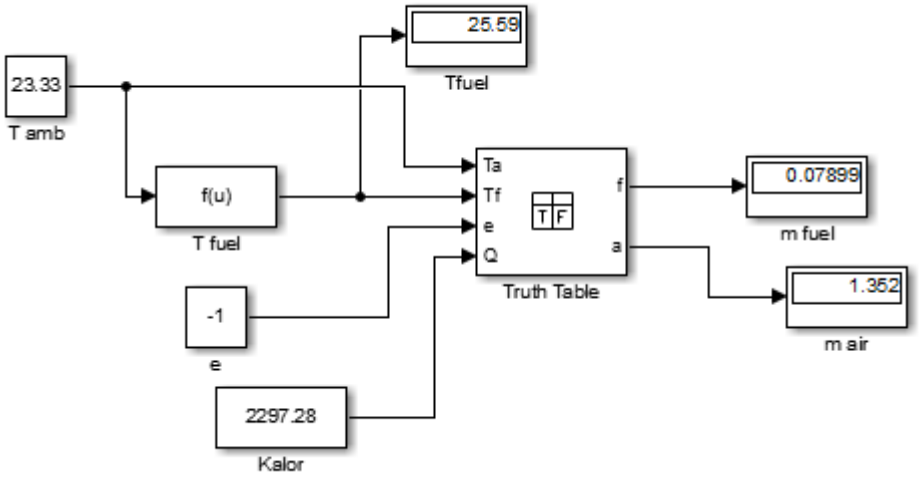


Gambar 3.7 Pemodelan Sistem *Start Up* GTC pada Simulink

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

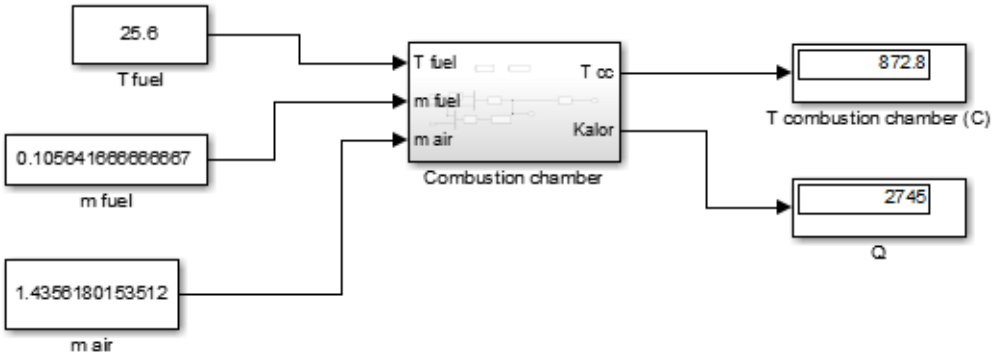
4.1 Uji *open loop* sistem

Sebelum dilakukan pengujian terhadap sistem secara menyeluruh, perlu dilakukan uji *open loop* terhadap pemodelan ruang bakar dan *logic solver* yang terdapat pada sistem. Hal ini bertujuan untuk melakukan validasi apakah nilai ouput yang dikeluarkan oleh komponen tersebut sudah sesuai dengan nilai input yang diberikan dan sudah sesuai dengan data yang digunakan sebagai acuan.



Gambar 4.1 Uji Open Loop *Logic solver*

Berdasarkan gambar 4.1, diberikan nilai input berupa nilai suhu lingkungan, suhu bahan bakar, nilai *error* dan nilai kalor pada blok *truth table*. Hasil yang diberikan yaitu berupa laju aliran massa bahan bakar dan udara sudah sesuai, dimana nilai tersebut diperoleh ketika nilai error tidak memenuhi nilai rentang yang diberikan pada tabel kondisi.



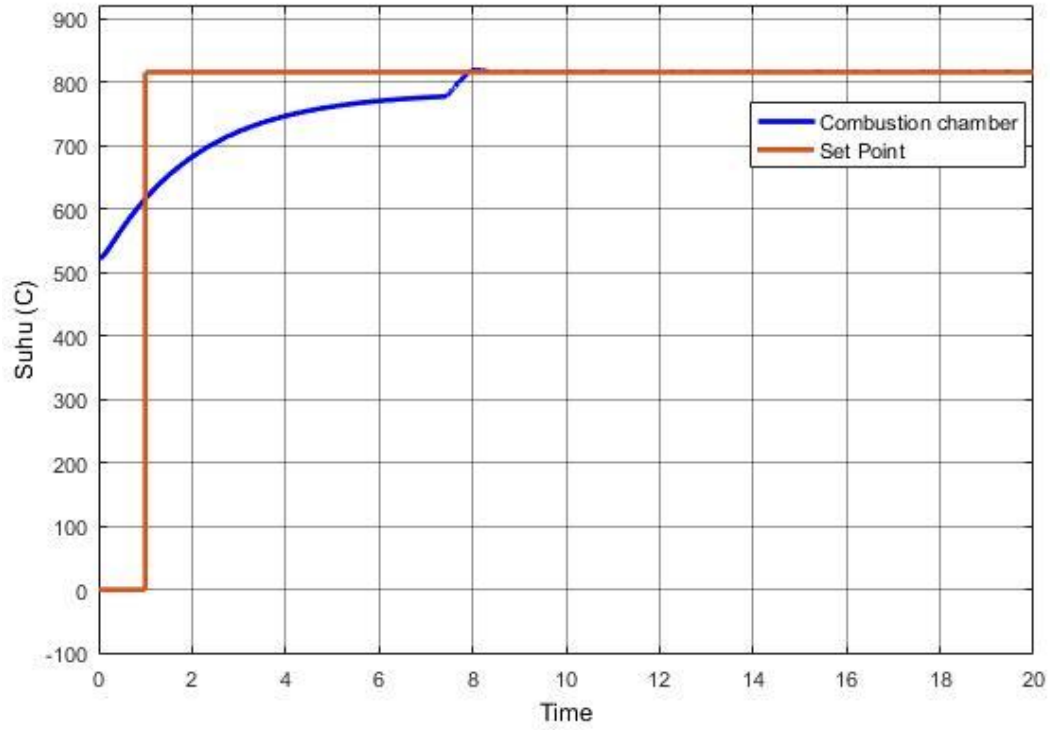
Gambar 4.2 Uji Open Loop Ruang Bakar

Berdasarkan gambar 4.2, dapat diketahui bahwa pemodelan ruang bakar yang digunakan sudah memberikan nilai output yang sesuai dengan nilai input yang dimasukkan. Ketika diberikan input laju aliran massa bahan bakar dan udara secara berurutan sebesar 0,105641666666667 Kg/s dan 1,4356180153512 Kg/s, maka ruang bakar akan memberikan nilai output berupa suhu hasil pembakaran sebesar 872.8^{o}C dan nilai kalor sebesar 2745 KJ.

4.2 Simulasi Sistem Start Up GTC Berdasarkan Perubahan Suhu Lingkungan

Setelah dilakukan uji open loop untuk validasi apakah pemodelan yang dibuat sudah sesuai, selanjutnya dilakukan uji *close loop* untuk mengetahui bagaimana respon dari sistem *start up* yang telah dibuat ketika suhu lingkungan diubah-ubah. Berdasarkan perancangan *logic solver* pada sub bab 3.4, *logic solver* akan memberikan nilai laju aliran massa bahan bakar minimal berdasarkan data operasi GTC. Setelah diberikan nilai laju aliran massa bahan bakar minimal serta nilai laju aliran massa udara pada saat kondisi tersebut, maka akan didapatkan nilai error (e) dan juga nilai kalor (Q) yang dihasilkan oleh ruang bakar. Kedua nilai tersebut akan masuk ke dalam tabel kondisi baris pertama pada truth table, ketika kondisi sesuai dengan rentang yang diberikan, maka tabel aksi baris pertama akan bernilai *True* sehingga dapat diberikan aksi yang sesuai agar berupa laju aliran massa bahan bakar (f) dan laju aliran massa udara (a) yang sesuai sehingga nilai suhu set point yaitu sebesar 815,56^{o}C dapat tercapai. Nilai laju aliran massa bahan bakar dan udara

tersebut selanjutnya dkonversikan menjadi sinyal analog untuk mengendalikan control valve suplai bahan bakar dan udara. Setelah itu, nilai laju aliran massa bahan bakar dan udara memasuki ruang bakar sehingga dapat dihasilkan kalor dan suhu hasil dari pembakaran. Berikut adalah respon dari sistem start up pada saat suhu lingkunagan sebesar 23.33^{o}C:



Gambar 4.2 Grafik Respon Sistem *Start Up* GTC

Grafik respon pada gambar 4.2 di atas diperoleh ketika sistem diberikan suhu lingkungan yang paling rendah berdasarkan data operasi pada GTC. Berdasarkan grafik respon di atas, dapat diketahui bahwa sistem terlebih dahulu mencapai suhu sekitar 777,3^{o}C yang diakibatkan oleh sistem pengendali *logic solver* yang memberikan nilai laju aliran massa udara bahan bakar paling rendah. Hal ini bertujuan untuk mempermudah proses start up dimana beban dari turbin gas dikurangi, sehingga diberikan laju aliran massa bahan bakar paling rendah sesuai dengan data operasi GTC PT SIPL. Setelah itu, sistem akan memberikan *feedback* berupa suhu hasil pembakaran, sehingga selanjutnya sistem pengendali *logic solver* akan memberikan nilai laju aliran massa bahan bakar yang sesuai agar suhu *set point* sebesar 815,6^{o}C dapat terpenuhi. Sistem start up dapat dikatakan berhasil

apabila mampu sistem mampu mencapai suhu kurang lebih sebesar 815,6^{o}C dan menjaga tetap pada nilai tersebut. Pada simulasi yang telah dilakukan, sistem dapat mencapai suhu *set point* dalam waktu 8.391 detik. Berikut adalah hasil simulasi sistem start up ketika diberikan uji berupa suhu lingkungan:

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Sistem Start Up GTC

Suhu Lingkungan (^{o}C)	Suhu Bahan Bakar (^{o}C)	T combustion chamber (C)
23,33	25,59	815.6
27,5	35,33	815.9
31,89	38,78	815.7

Pada tabel 4.1 di atas, digunakan nilai suhu lingkungan terendah, rata-rata dan tertinggi sesuai dengan data hasil operasi GTC. Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa sistem mampu memberikan nilai suhu hasil pembakaran yang memenuhi dengan nilai set point yang telah ditentukan.

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa data pada bab 4, maka dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut:

a. Sistem pengendalian suplai bahan bakar pada sistem start up GTC dirancang menggunakan metode *logic solver* dengan menggunakan Matlab Function pada Simulink. Dalam perancangannya, terlebih dahulu dilakukan pembuatan terhadap tabel kondisi dan tabel aksi. Tabel kondisi berisi pasangan input yaitu suhu lingkungan, suhu bahan bakar dan suhu hasil pembakaran. Tabel aksi berisi nilai output berupa laju aliran massa bahan bakar dan udara yang sesuai dengan kondisi saat itu agar nilai kalor dan suhu hasil pembakaran dapat terpenuhi.
b. *Logic solver* sebagai kontrol pada sistem ini mampu memberikan nilai laju aliran massa bahan bakar dan laju aliran massa udara sesuai dengan kondisi suhu lingkungan dan suhu bahan bakar pada saat itu. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, diperoleh bahwa sistem pengendalian mampu memberikan ouput sesuai dengan pasangan input yang telah ditentukan. Pada saat diberikan uji berupa suhu lingkungan *logic solver* mampu memberikan nilai laju aliran massa bahan bakar dan udara yang sesuai sehingga suhu set point dapat terpenuhi. Hal ini terbukti dengan hasil uji dimana ketiga sampel suhu lingkungan yang diberikan yaitu 23,33^{o}C, 27.5^{o}C dan 31.89^{o}C, sistem mampu mencapai suhu set point yang telah ditentukan yaitu secara berurutan 815.6^{o}C, 815.9^{o}C dan 815.7^{o}C.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian yakni Spesifikasi dan data *sheet* dari perangkat yang digunakan pada sistem start up GTC ada baiknya jika diberikan secara lengkap agar model dapat dibuat lebih baik lagi. Selain itu

perlu dilakukan pengamatan di lapangan secara langsung agar lebih mengetahui cara kerja sistem dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Banapurmath, N. R., Yaliwal, V. S., Adaganti, S. Y., & Halewadimath, S. S. (2019). Power Generation from Renewable Energy Sources Derived from Biodiesel and Low Energy Content Producer Gas for Rural Electrification. In *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation* (pp. 151-194). Woodhead Publishing.

Chen, Gong. (2009)."Study of fuel temperature effects on fuel injection, combustion, and emissions of direct-injection diesel engines." *Journal of engineering for gas turbines and power* 131.2.

emerson. (n.d.). CONTROL VALVE HANDBOOK FIFTH EDITION.

Feier Chen, Can Ruan, Tao Yu, Weiwei Cai, Yebing Mao, Xingcai Lu, (2019). "Effect of Fuel Variation and Inlet Air Temperature on Combustion Stability in a Gas Turbine Model Combustor".

Gaudet, S. R. (2007). Development of Dynamic Modeling and Control System Design Methodology for Gas Turbines. *Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Carleton University,*.

Hsiu-Ming Wu, Reza Tafreshi, (2019). "Observer-Based Internal Model Air-Fuel Ratio Control of Lean-Burn SI Engines"

Ibrahim, D. (2002). *Temperature Sensors. Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control.* Elsevier.

James , A. W., & Rajagopalan,, S. (n.d.). Gas turbines: operating conditions,.

Oosterkamp, Antonie. (2016)."Heat transfer modelling of natural gas pipe flow-effect of yearly ambient temperature cycles." *The 26th International Ocean and Polar Engineering Conference*. International Society of Offshore and Polar Engineers.

MathWorks. (2020). *The MathWorks, Inc.* Retrieved from The MathWorks: https://www.mathworks.com/help/stateflow/ug/programming-a-truth-table.html

Razak, A. M. Y. 2007. *Industrial gas turbines: performance and operability*. Elsevier.

LAMPIRAN

A. Tabel *Properties of air*

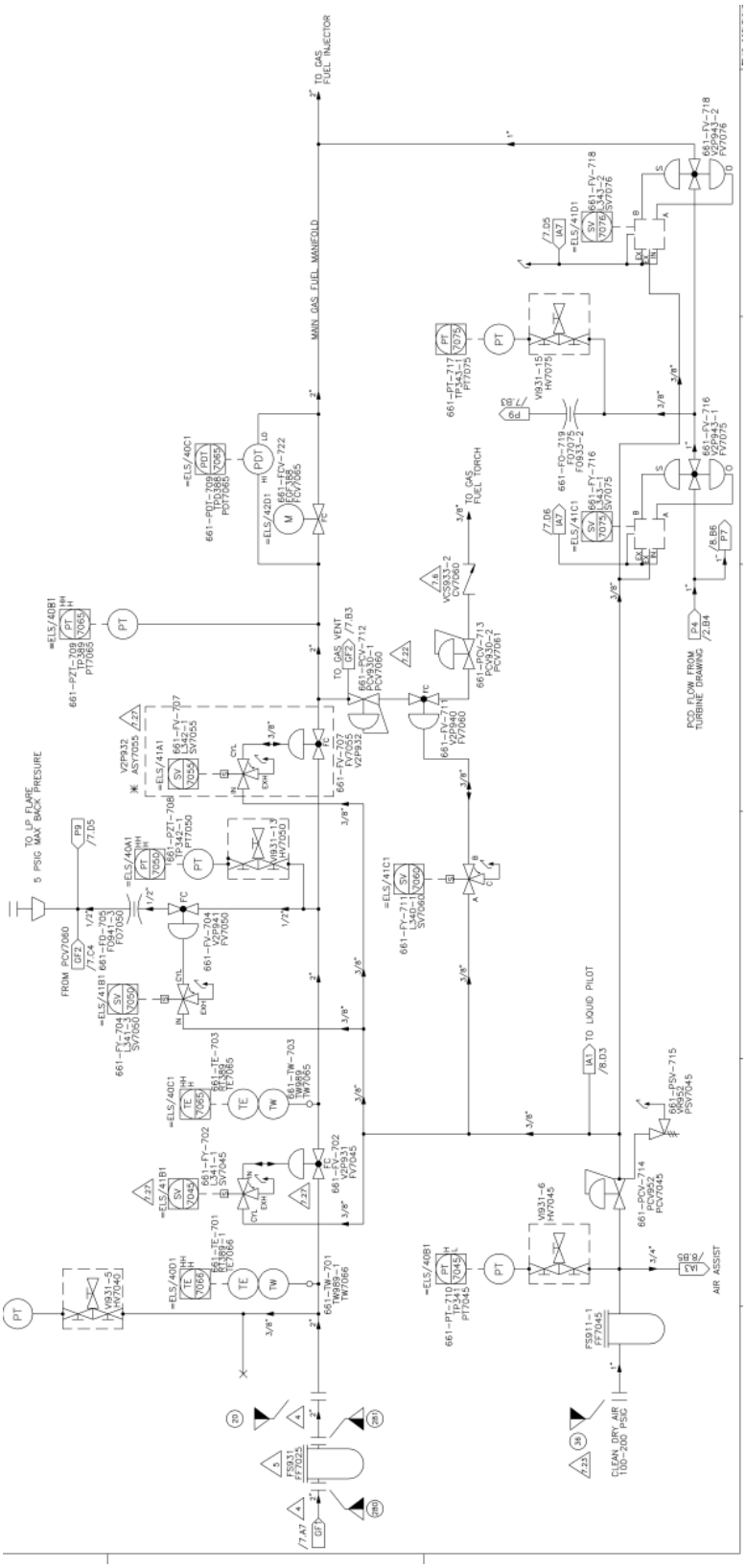
TABLE A–9

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. T, °C	Density ρ, kg/m³	Specific Heat c_p J/kg·K	Thermal Conductivity k, W/m·K	Thermal Diffusivity α, m²/s	Dynamic Viscosity μ, kg/m·s	Kinematic Viscosity ν, m²/s	Prandtl Number Pr
−150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
−100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
−50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
−40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
−30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
−20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
−10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177

LAMPIRAN

B. P&ID suplai bahan bakar dan udara bertekanan GTC



LAMPIRAN

C. Data Operasi GTC

T amb (K)	T cc (K)	Mfuel (kg/s)	Mudara (kg/s)
301,1	1131,1	0,098375	1,355140512
301,3	1149,1	0,102733333	1,439006855
300,3	1147,9	0,103219444	1,457038474
300,6	1148,9	0,104188889	1,552849066
301,3	1148,1	0,102733333	1,453624835
300,9	1160,9	0,105641667	1,527512503
300,6	1157,1	0,105641667	1,57002694
300,7	1163,0	0,106611111	1,542164339
301,7	1163,2	0,107094444	1,583654916
301,8	1159,7	0,106125	1,512027009
302,2	1150,2	0,102733333	1,481774498
301,2	1147,5	0,102733333	1,440113301
300,3	1150,2	0,103219444	1,541687382
300,6	1147,6	0,102733333	1,427776134
300,5	1155,9	0,104672222	1,487938998
300,1	1153,7	0,104188889	1,492733019
300,7	1159,3	0,107094444	1,515077725
299,2	1146,8	0,103702778	1,449304852
299,7	1145,4	0,10225	1,424853654
299,3	1148,1	0,103219444	1,441978706
299,2	1148,3	0,104672222	1,476586702
300,2	1146,6	0,102733333	1,432917235
300,2	1148,1	0,103219444	1,529393936
300,8	1146,1	0,104188889	1,425887355
300,9	1145,5	0,102733333	1,414371952
301,6	1147,5	0,103702778	1,447659145
301,2	1159,2	0,106611111	1,52003828
300,9	1153,8	0,105641667	1,556545904
301,6	1156,4	0,104672222	1,501610875
301,6	1143,2	0,100797222	1,477325691
300,8	1162,5	0,107094444	1,565181818
301,3	1160,1	0,106125	1,513592357
299,7	1159,1	0,107094444	1,529565808
299,9	1157,9	0,107094444	1,527178347
300,6	1154,7	0,105155556	1,488530861
300,5	1156,3	0,106125	1,566577977
301,1	1155,1	0,104672222	1,48477907

300,7	1156,6	0,104672222	1,503359298
300,7	1157,6	0,106125	1,564013948
299,9	1155,2	0,105155556	1,492618536
300,5	1152,3	0,104672222	1,468560658
300,1	1146,1	0,10225	1,470523029
300,1	1143,7	0,102733333	1,499319657
299,9	1150,6	0,104672222	1,471470667
301,1	1149,4	0,103702778	1,49400018
301,3	1149,1	0,103702778	1,544430112
301,8	1147,8	0,103219444	1,463444545
301,7	1149,1	0,102733333	1,431959748
301,6	1147,3	0,103219444	1,457224903
301,6	1150,3	0,103702778	1,513001079
301,4	1149,7	0,103219444	1,504028343
301,1	1144,4	0,101280556	1,471061051
299,9	1142,4	0,103219444	1,492976918
297,9	1142,5	0,101766667	1,510660648
297,4	1141,1	0,103702778	1,51525015
297,9	1139,5	0,103219444	1,42455629
297,9	1140,4	0,104188889	1,48133203
299,3	1147,5	0,104188889	1,524221374
299,6	1154,8	0,106125	1,602512298
300,1	1153,4	0,105641667	1,521245003
300,1	1158,0	0,106125	1,535275745
300,7	1153,7	0,105641667	1,512767669
300,3	1131,0	0,098858333	1,349128092
299,9	1140,2	0,101280556	1,392110443
299,9	1147,2	0,102733333	1,443704104
299,9	1144,3	0,103219444	1,466453935
300,4	1150,1	0,104672222	1,457315153
300,3	1148,4	0,103944444	1,474794293
301,6	1150,3	0,104188889	1,500807635
302,6	1145,1	0,10225	1,437940559
301,8	1148,5	0,102491667	1,430186683
301,1	1144,8	0,101766667	1,497492999
300,6	1144,6	0,102733333	1,434375362
299,8	1148,4	0,104672222	1,44373933
300,3	1145,5	0,104188889	1,502695993
300,8	1145,2	0,102733333	1,491010217
300,9	1148,2	0,103702778	1,432263957
300,3	1156,9	0,106125	1,590184418
296,4	1148,6	0,107094444	1,509751372

296,3	1139,7	0,105641667	1,435618015
297,8	1143,1	0,103702778	1,495509903
297,4	1141,8	0,104672222	1,520900578
297,4	1154,4	0,108063889	1,544812704
297,7	1150,9	0,106611111	1,483220157
298,8	1153,1	0,106125	1,512569496
298,2	1143,5	0,103702778	1,491553592
297,3	1140,0	0,102733333	1,429520944
297,8	1142,0	0,102733333	1,45290743
297,7	1138,2	0,101766667	1,496434812
300,2	1099,7	0,089652778	1,123427386
301,3	1151,8	0,103219444	1,484735896
300,9	1146,3	0,102977778	1,484410898
300,7	1149,5	0,10225	1,466147276
300,3	1144,2	0,103219444	1,429749095
300,4	1158,3	0,106125	1,612901299
300,4	1161,9	0,107822222	1,543963031
300,4	1160,4	0,107577778	1,518283549
300,8	1158,9	0,106125	1,517504964
300,6	1151,2	0,103702778	1,557393499
298,5	1146,4	0,105155556	1,561795253
297,3	1146,3	0,108547222	1,5338012
299,7	1148,6	0,104188889	1,493922764
299,8	1151,1	0,105155556	1,498539866
299,3	1149,4	0,105155556	1,542741096
298,3	1147,4	0,105155556	1,492076651
298,9	1146,5	0,104672222	1,441997884
299,2	1146,5	0,103702778	1,44063419
298,9	1144,9	0,103219444	1,434386733
298,7	1149,2	0,105155556	1,450012814
298,5	1144,5	0,103702778	1,526842562
299,8	1151,2	0,106125	1,512211233
301,3	1147,9	0,103219444	1,52163499
298,3	1146,5	0,105155556	1,477138713
299,2	1158,4	0,107577778	1,533863521
300,2	1166,5	0,108547222	1,534866057
300,2	1161,2	0,108063889	1,540674941
300,3	1165,2	0,107094444	1,567227899
300,2	1152,6	0,104188889	1,4999404
299,7	1152,0	0,104672222	1,464469223
298,3	1149,3	0,104188889	1,470162864
299,4	1150,9	0,104672222	1,459623895

301,3	1160,8	0,106611111	1,505229757
299,4	1152,7	0,105155556	1,522570056
299,2	1150,7	0,105641667	1,547908596
298,9	1150,2	0,105641667	1,533432219
298,6	1151,0	0,105155556	1,555235937
298,4	1146,3	0,104188889	1,458840624
298,2	1149,2	0,105155556	1,46514928
297,9	1149,2	0,104672222	1,450631848
298,6	1145,8	0,104188889	1,435601143
299,5	1149,8	0,104188889	1,450126761
301,3	1159,6	0,105641667	1,483633094
298,3	1150,1	0,104188889	1,472050192
300,1	1154,2	0,105641667	1,479701092
300,7	1152,6	0,104672222	1,463014197
300,6	1157,1	0,106125	1,540663917
301,5	1158,4	0,105641667	1,568938583
303,2	1168,5	0,107094444	1,637900606
302,2	1161,5	0,106125	1,587672283
301,8	1164,8	0,107094444	1,524757695
301,5	1164,9	0,107577778	1,598926457
301,1	1162,8	0,108547222	1,615486576
300,3	1159,2	0,107094444	1,52784719
300,6	1161,4	0,107094444	1,506932647
301,3	1165,0	0,107094444	1,542615173
299,9	1163,7	0,108063889	1,5922684
299,3	1157,1	0,107094444	1,494530937
298,7	1162,1	0,108063889	1,598171285
299,1	1150,4	0,105155556	1,565100419
298,9	1150,4	0,106125	1,470096697
298,6	1148,7	0,104188889	1,504498699
298,6	1147,4	0,104188889	1,551865027
298,4	1150,0	0,104672222	1,558931229
299,6	1149,5	0,104672222	1,523909331
299,1	1149,0	0,104672222	1,452069034
298,3	1156,5	0,107094444	1,579030179
298,3	1155,0	0,106611111	1,510140137
298,4	1150,1	0,105155556	1,520399124
298,7	1151,7	0,105641667	1,482321171
300,5	1152,1	0,104672222	1,542525592
301,3	1156,1	0,104672222	1,565111866
299,9	1151,1	0,104672222	1,534164873
300,2	1151,6	0,104188889	1,506692854

299,9	1152,7	0,106125	1,587500023
300,1	1159,0	0,107577778	1,556846398
300,3	1151,8	0,104672222	1,469339826
298,1	1146,0	0,103702778	1,500965944
299,7	1146,7	0,104672222	1,531350032
300,6	1158,5	0,107577778	1,506285247
300,9	1157,3	0,106611111	1,492757842
300,7	1157,2	0,106611111	1,553456948
299,1	1149,8	0,105641667	1,473697926
297,4	1158,8	0,107577778	1,543859885
297,6	1152,5	0,106611111	1,570356248
298,3	1147,5	0,104188889	1,487596833
298,7	1159,2	0,106611111	1,620360175
299,2	1152,0	0,104672222	1,50222774
299,4	1152,0	0,104188889	1,555350207
298,6	1159,4	0,106611111	1,533175992
298,5	1146,0	0,103702778	1,537217639
298,7	1151,2	0,104188889	1,462333616
299,2	1153,3	0,105641667	1,490780857
300,1	1150,8	0,105155556	1,461212981
301,1	1160,7	0,106611111	1,50146159
301,4	1163,4	0,107577778	1,588864181
301,3	1156,6	0,105641667	1,48334144
300,9	1154,4	0,105155556	1,511437816
299,7	1160,3	0,107094444	1,566506094
300,1	1148,5	0,103702778	1,518171285
300,2	1161,9	0,108063889	1,525705103
297,2	1154,8	0,108547222	1,516711722
297,8	1151,6	0,106611111	1,490479385
298,7	1164,0	0,109033333	1,542033453
299,5	1149,4	0,104672222	1,447632191
299,6	1152,8	0,106611111	1,559455914
300,6	1162,2	0,107094444	1,500637733
300,1	1139,1	0,101280556	1,370513437
298,6	1154,6	0,106611111	1,502416134
299,5	1139,0	0,10225	1,372402596
299,7	1154,3	0,106125	1,486653352
299,1	1163,0	0,109516667	1,551373674
298,7	1161,0	0,109033333	1,533078034
298,2	1161,1	0,108547222	1,596425638
299,1	1156,5	0,107094444	1,523845809
300,1	1159,3	0,105641667	1,428967292

301,7	1151,5	0,104188889	1,418048116
301,4	1147,0	0,101280556	1,458190126
301,2	1148,5	0,103702778	1,436583029
301,4	1150,8	0,103702778	1,440322908
301,1	1152,1	0,103702778	1,507091689
301,2	1148,9	0,103702778	1,468386897
301,1	1157,0	0,105641667	1,490666168
301,2	1154,1	0,105641667	1,517630164
301,8	1157,2	0,105155556	1,532270465
301,3	1166,0	0,108063889	1,56783853
301,2	1153,3	0,104672222	1,461452093
301,4	1150,5	0,104188889	1,486435465
299,8	1152,2	0,104672222	1,53898992
300,3	1164,2	0,107577778	1,524213228
300,4	1166,0	0,110002778	1,5580962
300,2	1159,4	0,107577778	1,512863482
300,8	1157,6	0,105641667	1,502061618
301,8	1154,8	0,105155556	1,54347294
301,9	1159,0	0,106611111	1,492615575
300,9	1152,7	0,103219444	1,475978908
300,9	1152,3	0,103702778	1,551159608
301,1	1146,5	0,103219444	1,38284917
301,2	1164,1	0,107577778	1,526520208
301,1	1153,6	0,105155556	1,518432483
300,8	1153,7	0,106125	1,475025772
300,8	1158,4	0,106611111	1,561457678
300,8	1160,5	0,107577778	1,562989292
300,8	1161,8	0,108547222	1,519818595
300,8	1155,7	0,106125	1,545639561
300,7	1153,0	0,104672222	1,460785921
301,1	1152,6	0,104188889	1,44619081
299,9	1163,2	0,108063889	1,533578011
298,8	1157,5	0,108547222	1,513620603
299,2	1151,1	0,104672222	1,488676357
299,2	1134,6	0,10225	1,390849374
299,8	1087,8	0,085291667	1,121468372
300,7	1096,0	0,0882	1,086266265
300,7	1085,9	0,085777778	0,94445346
302,3	1090,4	0,086261111	0,994158922
301,4	1098,6	0,089169444	1,128138362
300,9	1088,7	0,086261111	1,114675292
300,7	1085,9	0,086747222	0,988672643

301,4	1096,8	0,088683333	1,045913701
301,2	1091,6	0,086261111	1,013658905
301,1	1089,0	0,085291667	1,058461218
301,2	1089,5	0,085777778	1,009314471
301,7	1098,5	0,089169444	1,098903771
301,4	1090,8	0,086261111	1,044612154
300,8	1087,0	0,085291667	1,084811036
300,2	1093,8	0,087230556	1,105500504
299,9	1085,5	0,085291667	0,992547927
300,4	1083,9	0,084325	0,983642196
300,1	1093,9	0,088683333	1,095804146
300,5	1090,6	0,087230556	1,060563754
299,9	1085,6	0,085777778	0,936254121
298,9	1087,9	0,0882	1,119406317
298,7	1092,8	0,0882	1,142639427
299,5	1099,0	0,090138889	1,148621807
300,7	1099,5	0,089652778	1,168367207
302,1	1087,7	0,086261111	0,972072547
301,9	1088,4	0,084325	1,064328657
301,4	1087,8	0,085291667	1,094148846
301,8	1087,9	0,085777778	0,986032068
301,6	1088,4	0,085291667	0,963423413
301,4	1097,9	0,087713889	1,141208251
301,4	1086,8	0,085291667	1,086253411
301,2	1091,3	0,087230556	1,093667107
300,8	1093,3	0,086747222	1,098442909
300,4	1086,6	0,085291667	1,059517661
299,9	1095,1	0,089169444	1,091700844
299,3	1096,2	0,089652778	1,193971257
298,9	1084,1	0,085777778	0,979737566
298,6	1083,7	0,086261111	1,066331335
298,6	1080,4	0,085291667	1,071277124
298,8	1080,3	0,085777778	0,934257257
298,6	1079,4	0,084325	1,02259561
298,4	1079,8	0,084808333	0,970328989
298,7	1091,9	0,0882	1,050549723
298,8	1081,7	0,085777778	0,98732918
298,9	1084,6	0,086261111	0,978801161
299,5	1083,2	0,085777778	0,943981413
300,8	1086,8	0,085291667	0,96284916
302,1	1087,0	0,085291667	0,994988219
303,5	1091,7	0,084808333	0,952823901

303,7	1102,5	0,087713889	1,127215177
303,2	1089,3	0,085291667	0,941268818
302,8	1090,5	0,086261111	0,954304407
303,1	1091,4	0,085291667	1,06480514
302,4	1090,3	0,084808333	0,977476693
301,8	1095,9	0,086747222	1,062762985
301,6	1096,8	0,089169444	1,137629914
301,8	1099,6	0,088925	1,096855827
301,5	1089,7	0,085777778	1,017383343
301,4	1089,9	0,086261111	0,953646974
301,1	1091,5	0,086747222	1,047922105
300,1	1095,9	0,0882	1,009089768
300,1	1068,7	0,078994444	0,789527375
300,2	1086,7	0,085777778	1,010796749
299,8	1083,2	0,084325	0,951289859
299,6	1083,6	0,085291667	1,001960469
299,3	1084,0	0,085777778	0,987919815
298,7	1092,1	0,089652778	1,007324843
298,4	1083,8	0,086747222	1,039030773
298,8	1082,0	0,085291667	1,013570435
299,7	1084,3	0,085777778	1,090797623
301,3	1093,7	0,0882	1,053282863
303,1	1107,9	0,090138889	1,096682275
303,3	1091,2	0,085291667	1,003842445
303,5	1091,8	0,084808333	1,021831742
303,2	1094,7	0,086747222	1,098035022
302,7	1092,7	0,087230556	0,990271843
302,4	1094,3	0,086747222	0,978653706
301,7	1093,6	0,086261111	1,117175138
301,6	1093,2	0,086747222	1,056490739
301,6	1092,7	0,086747222	0,991379502
301,5	1102,7	0,088683333	1,153362317
301,6	1103,9	0,089169444	1,165259818
300,6	1087,4	0,085777778	1,012482141
299,4	1086,4	0,086747222	0,992073277
296,7	1080,5	0,0882	0,937659588
297,7	1078,3	0,086261111	0,955570038
299,3	1093,7	0,087713889	1,04053343
299,5	1089,5	0,087230556	1,084636529
299,6	1085,1	0,086261111	0,944834582
299,5	1083,7	0,085291667	0,95657013
298,9	1082,0	0,086261111	1,053255322

299,1	1093,0	0,088683333	1,050110315
302,2	1088,6	0,086747222	0,977995928
302,6	1093,3	0,085777778	0,966455881
302,7	1089,8	0,085777778	0,952842924
302,1	1100,9	0,087713889	1,003687713
301,9	1099,5	0,087713889	1,148662967
301,6	1089,3	0,084808333	0,981207
301,6	1095,5	0,087230556	1,153908002
301,5	1088,1	0,084325	0,938063477
301,4	1095,8	0,086747222	1,129452074
301,3	1106,1	0,091105556	1,114243233
301,2	1096,4	0,087230556	1,04520334
301,3	1092,5	0,086261111	1,048028802
301,1	1087,1	0,084808333	1,05938774
301,6	1090,7	0,085777778	0,967391172
299,7	1094,5	0,087230556	0,994261784
299,6	1084,3	0,084808333	0,964314452
299,6	1086,2	0,085291667	0,990259076
299,4	1087,3	0,085291667	1,009776581
299,5	1094,2	0,087713889	1,073785456
300,3	1103,9	0,090138889	1,117846561
301,8	1094,2	0,086747222	1,025641727
303,7	1095,3	0,086261111	0,974567867
303,6	1101,6	0,087713889	1,077143947
304,3	1093,3	0,083838889	1,01693978
303,7	1091,9	0,084808333	1,105354611
303,3	1091,5	0,085291667	0,933982814
303,9	1106,7	0,089169444	1,193173888
303,8	1093,7	0,086261111	1,096368794
302,6	1091,8	0,084808333	0,987439128
302,2	1092,6	0,085777778	1,038474706
301,9	1107,8	0,090622222	1,150889619
301,9	1164,6	0,107577778	1,557012243
301,6	1162,0	0,107094444	1,55731653
299,4	1162,4	0,109516667	1,545499151
299,9	1151,9	0,104672222	1,495243547
300,2	1151,9	0,105155556	1,449867576
300,8	1152,0	0,104188889	1,442905862
301,2	1165,0	0,108063889	1,616425964
300,6	1152,6	0,104672222	1,531119977
299,9	1148,9	0,104672222	1,432264788
299,7	1151,4	0,104672222	1,557620856

299,8	1165,4	0,108547222	1,525025415
300,2	1152,1	0,105155556	1,462675509
300,8	1156,7	0,104672222	1,503988941
302,3	1171,0	0,109516667	1,587521785
302,6	1157,4	0,104672222	1,460620032
303,1	1157,2	0,105155556	1,462461305
302,8	1159,7	0,105641667	1,547590322
301,9	1167,5	0,108063889	1,526108402
302,2	1170,3	0,110002778	1,548268066
301,7	1156,9	0,104672222	1,484614086
300,9	1169,9	0,109516667	1,55518942
298,6	1155,5	0,107577778	1,596866656
300,7	1159,1	0,107577778	1,494862527
301,1	1134,0	0,097405556	1,40783648
301,2	1156,1	0,107094444	1,532291036
299,6	1152,9	0,105641667	1,522313805
296,8	1145,1	0,108063889	1,502584501
297,9	1157,5	0,110486111	1,523699538
298,5	1147,3	0,106125	1,491214794
298,6	1149,3	0,105641667	1,486808635
298,8	1150,6	0,107094444	1,501075557
298,6	1161,6	0,110002778	1,625267407
298,8	1148,9	0,105641667	1,554762773
298,4	1150,5	0,106611111	1,470674213
299,2	1167,2	0,111938889	1,65440449
301,3	1155,1	0,105641667	1,465824106
301,2	1155,7	0,106125	1,47568107
301,3	1158,7	0,106125	1,486229596
301,1	1158,1	0,106611111	1,50850661
300,9	1167,5	0,109033333	1,55852991
300,8	1157,8	0,106125	1,465459208
300,9	1156,0	0,104672222	1,470568373
301,1	1156,8	0,104672222	1,496700868
301,1	1166,9	0,108547222	1,542044873
301,1	1162,7	0,106611111	1,509289351
301,4	1156,9	0,105155556	1,471065769
299,9	1150,3	0,104188889	1,449109636
299,5	1165,4	0,108547222	1,60748719
299,4	1150,3	0,105155556	1,537425351
299,3	1156,8	0,107094444	1,484925719
299,5	1153,0	0,105641667	1,507888542
300,3	1151,8	0,103702778	1,458952147

301,6	1167,7	0,108547222	1,586049063
302,7	1158,7	0,104672222	1,452291536
304,8	1161,3	0,105641667	1,527634806
304,9	1165,4	0,105155556	1,470250306
304,8	1175,3	0,108063889	1,561575445
304,4	1160,3	0,104672222	1,557786119
303,8	1158,3	0,104188889	1,540917371
303,2	1171,9	0,109033333	1,649144037
302,4	1159,7	0,105641667	1,458571741
302,1	1159,9	0,1054	1,502470791
302,1	1160,7	0,106125	1,560809852
302,1	1171,4	0,110002778	1,557842051
301,9	1153,7	0,103702778	1,440092382
301,8	1156,1	0,104672222	1,547846547
301,7	1155,4	0,104672222	1,567878764
300,1	1152,6	0,104188889	1,555094233
299,9	1157,3	0,106125	1,528779915
299,8	1151,6	0,104188889	1,463977755
299,2	1147,9	0,104672222	1,543685365
299,5	1148,7	0,104188889	1,447561631
299,7	1159,8	0,106611111	1,511465688
299,6	1164,4	0,109516667	1,544859088
299,9	1157,7	0,106611111	1,515462898
300,7	1161,1	0,107577778	1,484189792
300,4	1149,0	0,105155556	1,430785464
302,2	1152,7	0,104672222	1,471055931
302,7	1164,4	0,106125	1,606760583
302,7	1135,2	0,099827778	1,406171538
302,3	1103,8	0,089652778	1,105082104
303,1	1159,6	0,104672222	1,528925281
302,7	1154,5	0,103702778	1,535490204
301,9	1156,7	0,104672222	1,510881154
301,8	1169,9	0,108547222	1,540474899
301,8	1160,1	0,106125	1,541478027
301,9	1160,7	0,106125	1,478295052
301,8	1161,0	0,105641667	1,528795261
301,7	1169,8	0,108547222	1,633542812
301,7	1156,4	0,105641667	1,562558735
300,8	1153,1	0,103702778	1,541267255
300,7	1167,6	0,107577778	1,552988638
300,3	1153,7	0,104672222	1,564604585
300,2	1150,5	0,104672222	1,461180336

300,1	1152,6	0,104672222	1,461336733
300,4	1168,2	0,109033333	1,647166755
301,1	1155,0	0,103702778	1,469142483
302,1	1152,9	0,104188889	1,518145035
302,1	1163,7	0,106125	1,573698499
302,2	1163,2	0,107577778	1,519253992
301,6	1154,0	0,104672222	1,455253265
302,2	1156,4	0,105641667	1,504111996
301,9	1157,7	0,105641667	1,49084232
301,9	1156,8	0,106611111	1,521451876
301,6	1151,3	0,102733333	1,451854796
301,4	1167,0	0,108063889	1,593272317
301,1	1152,8	0,105641667	1,444608207
301,1	1169,7	0,108547222	1,54223252
301,1	1159,4	0,105641667	1,458754417
300,9	1163,1	0,107094444	1,514684298
300,9	1150,9	0,103702778	1,521627563
299,2	1145,6	0,104672222	1,420195514
297,7	1155,1	0,108063889	1,514408162
297,8	1146,4	0,104188889	1,470685416
298,4	1149,7	0,104672222	1,475994563
299,6	1150,9	0,103702778	1,526624921
300,8	1146,6	0,103219444	1,4761999
302,7	1150,8	0,103219444	1,45110636
302,3	1151,4	0,103219444	1,431760689
301,9	1147,7	0,103219444	1,519910911
301,2	1159,1	0,106611111	1,492209357
301,3	1148,2	0,104188889	1,424852393
301,3	1159,0	0,105641667	1,555866636
301,2	1150,5	0,103702778	1,425897088
300,9	1146,8	0,102733333	1,475187671
300,6	1160,0	0,106125	1,531405007
300,4	1150,0	0,105155556	1,43564884
300,7	1159,7	0,107094444	1,509439155
301,3	1155,7	0,104672222	1,525229016
300,9	1160,1	0,106611111	1,516760725
300,3	1165,0	0,109033333	1,545812538
299,6	1151,6	0,105641667	1,451525483
299,2	1149,1	0,104188889	1,431057872
298,8	1159,8	0,107577778	1,528407851
298,6	1150,0	0,105155556	1,48391368
298,3	1152,4	0,107094444	1,483125403

298,3	1161,0	0,108547222	1,528051141
298,3	1143,2	0,103702778	1,523812738
298,6	1158,9	0,107577778	1,509477375
299,6	1149,6	0,105155556	1,44869408
300,8	1153,6	0,104672222	1,464329553
302,3	1164,0	0,107094444	1,518169311
302,6	1150,6	0,103219444	1,422955445
303,8	1169,1	0,107577778	1,510132138
302,9	1154,6	0,104672222	1,539944026
302,9	1158,9	0,104672222	1,4759641
302,8	1172,7	0,109516667	1,657208133
301,9	1155,8	0,105641667	1,523771545
301,8	1166,3	0,107094444	1,605909944
301,6	1159,4	0,106852778	1,544583041
301,5	1135,7	0,098858333	1,433866797
301,6	1167,7	0,107577778	1,543635818
301,8	1156,7	0,105155556	1,475076275
301,9	1155,3	0,105155556	1,455952681
301,7	1154,5	0,103702778	1,560980337
301,3	1153,4	0,105641667	1,453223623
301,6	1162,8	0,106611111	1,540739578
300,5	1149,7	0,103702778	1,492867141
300,3	1153,6	0,105641667	1,492366335
299,9	1152,1	0,104672222	1,46431386
299,8	1163,5	0,108547222	1,575072873
299,7	1150,3	0,105641667	1,503207605
299,8	1157,2	0,106125	1,487849937
299,7	1153,2	0,106125	1,520577634
299,4	1151,9	0,105641667	1,510173788
301,2	1147,0	0,103702778	1,494110796
301,8	1165,9	0,107577778	1,530239679
302,7	1157,2	0,104672222	1,511830586
301,5	1165,6	0,108063889	1,53368492
301,6	1153,8	0,105641667	1,497509866
301,4	1155,1	0,105641667	1,465388998
301,4	1153,6	0,104672222	1,454940733
301,2	1155,8	0,104672222	1,526244258
301,2	1154,2	0,104188889	1,453177352
301,2	1167,9	0,109033333	1,544072622
301,3	1153,5	0,104672222	1,47087231
301,7	1155,5	0,105155556	1,534637095
300,9	1150,5	0,104672222	1,447478199

300,8	1168,9	0,110486111	1,664743051
300,4	1152,7	0,105155556	1,468408835
299,5	1150,8	0,104188889	1,453965279
299,3	1165,8	0,109516667	1,557008621
299,5	1153,3	0,106611111	1,482788409
299,6	1156,7	0,107094444	1,512633634
300,4	1160,2	0,106611111	1,506099725
301,3	1156,9	0,106125	1,553534831
302,6	1168,4	0,108547222	1,536713287
303,8	1159,6	0,104672222	1,499507434
303,8	1158,3	0,105641667	1,475232595
303,6	1159,0	0,104672222	1,525782424
303,7	1170,8	0,109033333	1,536863719
303,6	1161,5	0,105641667	1,48672404
302,9	1157,6	0,104672222	1,505340131
302,6	1168,6	0,106611111	1,536826841
301,9	1157,7	0,105641667	1,451309945
301,9	1171,7	0,109516667	1,589804709
301,8	1158,6	0,105155556	1,55926042
301,7	1160,5	0,106611111	1,479054861
301,6	1157,2	0,105155556	1,576398997
301,7	1156,7	0,105641667	1,523079468
301,7	1168,6	0,108063889	1,538329123
301,1	1155,5	0,104672222	1,468036347
300,4	1155,3	0,106125	1,483552234
300,2	1165,6	0,109033333	1,547995965
300,5	1155,9	0,106125	1,474753294
299,9	1150,0	0,105641667	1,524691084
300,1	1154,8	0,106611111	1,542996734
301,2	1159,5	0,107094444	1,597039787
302,2	1162,0	0,106611111	1,531452218
302,6	1171,0	0,109516667	1,535683256
302,6	1157,6	0,105641667	1,493990373
302,6	1169,2	0,108063889	1,554100816
302,4	1162,8	0,106125	1,503007081
302,3	1162,5	0,107094444	1,543164857
302,6	1169,1	0,109516667	1,544163421
302,4	1167,6	0,108063889	1,576870371
302,1	1155,0	0,103702778	1,444887384
301,8	1161,0	0,106611111	1,595421923
301,8	1156,5	0,105155556	1,473210175
301,8	1157,2	0,105641667	1,511163938

301,9	1158,6	0,106125	1,491473694
299,8	1152,0	0,104672222	1,53923054
299,6	1161,5	0,108063889	1,526064498
300,1	1152,2	0,104672222	1,455945153
300,2	1150,2	0,103702778	1,443591251
300,3	1155,4	0,105641667	1,470104258
300,6	1151,6	0,104672222	1,441390133
300,7	1164,3	0,108547222	1,524220201
300,2	1157,4	0,105641667	1,484839482
301,1	1154,3	0,104672222	1,525711439
301,4	1160,7	0,107094444	1,566678195
302,7	1159,2	0,106611111	1,501879428
302,4	1139,6	0,098858333	1,420368541
298,4	1202,4	0,120661111	1,798014061
298,4	1217,6	0,123566667	1,862836799
299,3	1210,3	0,122597222	1,833360514
299,5	1208,0	0,122113889	1,868040771
299,1	1213,0	0,122597222	1,858774277
299,1	1208,2	0,120661111	1,856271669
299,5	1203,1	0,120661111	1,926197145
298,8	1208,2	0,122597222	1,799206016
299,4	1217,3	0,123566667	1,938902246
300,8	1205,1	0,119205556	1,805124665
301,7	1209,1	0,121144444	1,860643392
302,3	1210,9	0,121630556	1,864877234
302,3	1228,4	0,123566667	1,914682582
302,6	1211,4	0,120175	1,844369989
302,6	1220,1	0,123083333	1,890491847
301,9	1218,2	0,122113889	1,923362851
301,6	1217,0	0,122113889	1,845497039
300,9	1213,9	0,120661111	1,885471596
300,6	1209,9	0,120661111	1,821313639
300,3	1227,2	0,125988889	1,896529533
301,7	1213,5	0,121630556	1,820251788
297,4	1215,5	0,126475	1,843090811
297,4	1199,0	0,123083333	1,789169023
297,6	1201,5	0,122113889	1,851452597
297,8	1211,1	0,124536111	1,945769957
298,1	1205,5	0,122597222	1,815699205
297,8	1200,0	0,120661111	1,826081634
297,6	1195,8	0,121144444	1,839660418
297,9	1204,8	0,123083333	1,848347873

297,9	1211,3	0,121144444	1,841632335
298,5	1217,9	0,125019444	1,895060201
298,9	1211,9	0,123083333	1,829119757
300,2	1217,9	0,123083333	1,924303181
300,6	1130,5	0,098858333	1,392888851
300,5	1139,1	0,101280556	1,404155171
300,7	1136,1	0,099827778	1,363765799
300,3	1133,0	0,100311111	1,365215213
300,5	1131,6	0,100797222	1,359224044

D. Database untuk *logic solver*

T amb	T fuel	HHV	Q	m fuel	m air
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
27,56	31,5	26617,72	2297,28	0,086306	1,477567
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
27,94	32,1	26675,1	2297,28	0,086121	1,474388
27,56	31,5	26617,72	2297,28	0,086306	1,477567
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
28,72	33,1	26792,89	2297,28	0,085742	1,467906
28,83	33,3	26809,5	2297,28	0,085689	1,466997
29,17	33,8	26860,84	2297,28	0,085525	1,464193
28,17	32,4	26709,84	2297,28	0,086009	1,472471
27,33	31,2	26582,99	2297,28	0,086419	1,479497
27,56	31,5	26617,72	2297,28	0,086306	1,477567
27,5	31,4	26608,66	2297,28	0,086336	1,47807
27,11	30,9	26549,77	2297,28	0,086527	1,481348
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
26,22	29,6	26415,37	2297,28	0,086968	1,488885
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
26,33	29,8	26431,98	2297,28	0,086913	1,48795
26,22	29,6	26415,37	2297,28	0,086968	1,488885
27,22	31,0	26566,38	2297,28	0,086473	1,480422
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
27,94	32,1	26675,1	2297,28	0,086121	1,474388
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231

28,61	33,0	26776,28	2297,28	0,085795	1,468817
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
26,67	30,3	26483,32	2297,28	0,086744	1,485065
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
27,61	31,6	26625,27	2297,28	0,086282	1,477148
27,5	31,4	26608,66	2297,28	0,086336	1,47807
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
26,94	30,6	26524,1	2297,28	0,086611	1,482782
27,5	31,4	26608,66	2297,28	0,086336	1,47807
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
28,75	33,2	26797,42	2297,28	0,085728	1,467658
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
28,61	33,0	26776,28	2297,28	0,085795	1,468817
28,61	33,0	26776,28	2297,28	0,085795	1,468817
28,39	32,7	26743,06	2297,28	0,085902	1,470642
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
24,89	27,8	26214,53	2297,28	0,087634	1,500292
24,44	27,1	26146,57	2297,28	0,087862	1,504191
24,89	27,8	26214,53	2297,28	0,087634	1,500292
24,92	27,8	26219,06	2297,28	0,087619	1,500033
26,33	29,8	26431,98	2297,28	0,086913	1,48795
26,56	30,1	26466,71	2297,28	0,086799	1,485997
27,11	30,9	26549,77	2297,28	0,086527	1,481348
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
26,94	30,6	26524,1	2297,28	0,086611	1,482782
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
26,94	30,6	26524,1	2297,28	0,086611	1,482782
27,44	31,4	26599,6	2297,28	0,086365	1,478573
27,31	31,2	26579,97	2297,28	0,086429	1,479665
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
29,56	34,3	26919,74	2297,28	0,085338	1,46099
28,81	33,3	26806,48	2297,28	0,085699	1,467162

28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
27,61	31,6	26625,27	2297,28	0,086282	1,477148
26,83	30,5	26507,48	2297,28	0,086665	1,483711
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
27,33	31,2	26582,99	2297,28	0,086419	1,479497
23,44	25,7	25995,57	2297,28	0,088372	1,512929
23,33	25,6	25979,78	2297,28	0,088426	1,513849
24,83	27,7	26205,47	2297,28	0,087664	1,500811
24,44	27,1	26146,57	2297,28	0,087862	1,504191
24,39	27,1	26139,02	2297,28	0,087887	1,504626
24,72	27,5	26188,86	2297,28	0,08772	1,501763
25,83	29,1	26356,48	2297,28	0,087162	1,492212
25,17	28,2	26256,81	2297,28	0,087493	1,497876
24,33	27,0	26129,96	2297,28	0,087918	1,505148
24,78	27,6	26197,92	2297,28	0,087689	1,501244
24,67	27,5	26181,31	2297,28	0,087745	1,502196
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
27,92	32,0	26672,08	2297,28	0,086131	1,474555
27,72	31,7	26641,88	2297,28	0,086228	1,476227
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
27,36	31,2	26587,52	2297,28	0,086404	1,479245
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
27,61	31,6	26625,27	2297,28	0,086282	1,477148
25,5	28,6	26306,64	2297,28	0,087327	1,495039
24,33	27,0	26129,96	2297,28	0,087918	1,505148
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
26,83	30,5	26507,48	2297,28	0,086665	1,483711
26,28	29,7	26424,43	2297,28	0,086938	1,488375
25,33	28,4	26280,97	2297,28	0,087412	1,496499
25,94	29,2	26373,09	2297,28	0,087107	1,491272
26,17	29,6	26407,82	2297,28	0,086992	1,489311
25,94	29,2	26373,09	2297,28	0,087107	1,491272
25,72	28,9	26339,87	2297,28	0,087217	1,493153
25,5	28,6	26306,64	2297,28	0,087327	1,495039
26,83	30,5	26507,48	2297,28	0,086665	1,483711
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
25,28	28,3	26273,42	2297,28	0,087437	1,496929

26,22	29,6	26415,37	2297,28	0,086968	1,488885
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
27,22	31,0	26566,38	2297,28	0,086473	1,480422
27,33	31,2	26582,99	2297,28	0,086419	1,479497
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
26,67	30,3	26483,32	2297,28	0,086744	1,485065
25,28	28,3	26273,42	2297,28	0,087437	1,496929
26,39	29,9	26441,04	2297,28	0,086883	1,48744
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
26,44	29,9	26448,59	2297,28	0,086858	1,487015
26,22	29,6	26415,37	2297,28	0,086968	1,488885
25,94	29,2	26373,09	2297,28	0,087107	1,491272
25,56	28,7	26315,7	2297,28	0,087297	1,494524
25,36	28,4	26285,5	2297,28	0,087397	1,496241
25,17	28,2	26256,81	2297,28	0,087493	1,497876
24,94	27,8	26222,08	2297,28	0,087609	1,49986
25,56	28,7	26315,7	2297,28	0,087297	1,494524
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
25,28	28,3	26273,42	2297,28	0,087437	1,496929
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
27,61	31,6	26625,27	2297,28	0,086282	1,477148
28,5	32,8	26759,67	2297,28	0,085849	1,469729
30,22	35,2	27019,4	2297,28	0,085023	1,4556
29,17	33,8	26860,84	2297,28	0,085525	1,464193
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,5	32,8	26759,67	2297,28	0,085849	1,469729
28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
27,33	31,2	26582,99	2297,28	0,086419	1,479497
27,56	31,5	26617,72	2297,28	0,086306	1,477567
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
26,28	29,7	26424,43	2297,28	0,086938	1,488375
25,67	28,9	26332,32	2297,28	0,087242	1,493581
26,11	29,5	26398,76	2297,28	0,087022	1,489822
25,94	29,2	26373,09	2297,28	0,087107	1,491272
25,56	28,7	26315,7	2297,28	0,087297	1,494524
25,61	28,8	26323,25	2297,28	0,087272	1,494095
25,39	28,5	26290,03	2297,28	0,087382	1,495983
26,61	30,2	26474,26	2297,28	0,086774	1,485573
26,06	29,4	26391,21	2297,28	0,087047	1,490248

25,33	28,4	26280,97	2297,28	0,087412	1,496499
25,28	28,3	26273,42	2297,28	0,087437	1,496929
25,44	28,5	26297,58	2297,28	0,087357	1,495554
25,72	28,9	26339,87	2297,28	0,087217	1,493153
27,5	31,4	26608,66	2297,28	0,086336	1,47807
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
26,94	30,6	26524,1	2297,28	0,086611	1,482782
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
27,33	31,2	26582,99	2297,28	0,086419	1,479497
25,11	28,1	26247,75	2297,28	0,087523	1,498393
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
27,56	31,5	26617,72	2297,28	0,086306	1,477567
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
27,72	31,7	26641,88	2297,28	0,086228	1,476227
26,06	29,4	26391,21	2297,28	0,087047	1,490248
24,44	27,1	26146,57	2297,28	0,087862	1,504191
24,61	27,4	26172,25	2297,28	0,087775	1,502716
25,33	28,4	26280,97	2297,28	0,087412	1,496499
25,72	28,9	26339,87	2297,28	0,087217	1,493153
26,17	29,6	26407,82	2297,28	0,086992	1,489311
26,39	29,9	26441,04	2297,28	0,086883	1,48744
25,61	28,8	26323,25	2297,28	0,087272	1,494095
25,5	28,6	26306,64	2297,28	0,087327	1,495039
25,72	28,9	26339,87	2297,28	0,087217	1,493153
26,17	29,6	26407,82	2297,28	0,086992	1,489311
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
27,86	31,9	26663,02	2297,28	0,08616	1,475056
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
27,22	31,0	26566,38	2297,28	0,086473	1,480422
24,17	26,8	26105,8	2297,28	0,087999	1,506541
24,83	27,7	26205,47	2297,28	0,087664	1,500811
25,72	28,9	26339,87	2297,28	0,087217	1,493153
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
26,61	30,2	26474,26	2297,28	0,086774	1,485573
27,61	31,6	26625,27	2297,28	0,086282	1,477148
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177

25,61	28,8	26323,25	2297,28	0,087272	1,494095
26,5	30,0	26457,65	2297,28	0,086829	1,486506
26,67	30,3	26483,32	2297,28	0,086744	1,485065
26,11	29,5	26398,76	2297,28	0,087022	1,489822
25,67	28,9	26332,32	2297,28	0,087242	1,493581
25,22	28,2	26264,36	2297,28	0,087468	1,497446
26,11	29,5	26398,76	2297,28	0,087022	1,489822
27,11	30,9	26549,77	2297,28	0,086527	1,481348
28,72	33,1	26792,89	2297,28	0,085742	1,467906
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,83	33,3	26809,5	2297,28	0,085689	1,466997
28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
28,17	32,4	26709,84	2297,28	0,086009	1,472471
28,39	32,7	26743,06	2297,28	0,085902	1,470642
26,83	30,5	26507,48	2297,28	0,086665	1,483711
27,33	31,2	26582,99	2297,28	0,086419	1,479497
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
27,94	32,1	26675,1	2297,28	0,086121	1,474388
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
28,17	32,4	26709,84	2297,28	0,086009	1,472471
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
25,83	29,1	26356,48	2297,28	0,087162	1,492212
26,17	29,6	26407,82	2297,28	0,086992	1,489311

26,22	29,6	26415,37	2297,28	0,086968	1,488885
26,78	30,4	26499,93	2297,28	0,08669	1,484134
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
27,72	31,7	26641,88	2297,28	0,086228	1,476227
29,33	34,0	26885	2297,28	0,085448	1,462877
28,39	32,7	26743,06	2297,28	0,085902	1,470642
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
28,17	32,4	26709,84	2297,28	0,086009	1,472471
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
27,22	31,0	26566,38	2297,28	0,086473	1,480422
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
27,44	31,4	26599,6	2297,28	0,086365	1,478573
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
27,47	31,4	26604,13	2297,28	0,086351	1,478321
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
25,94	29,2	26373,09	2297,28	0,087107	1,491272
25,69	28,9	26335,34	2297,28	0,087232	1,49341
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
29,06	33,6	26844,23	2297,28	0,085578	1,465099
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
26,94	30,6	26524,1	2297,28	0,086611	1,482782
26,28	29,7	26424,43	2297,28	0,086938	1,488375
25,94	29,2	26373,09	2297,28	0,087107	1,491272
25,61	28,8	26323,25	2297,28	0,087272	1,494095
25,56	28,7	26315,7	2297,28	0,087297	1,494524
25,83	29,1	26356,48	2297,28	0,087162	1,492212
25,56	28,7	26315,7	2297,28	0,087297	1,494524

25,44	28,5	26297,58	2297,28	0,087357	1,495554
25,67	28,9	26332,32	2297,28	0,087242	1,493581
25,78	29,0	26348,93	2297,28	0,087187	1,49264
25,94	29,2	26373,09	2297,28	0,087107	1,491272
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
29,11	33,7	26851,78	2297,28	0,085554	1,464687
30,5	35,6	27061,68	2297,28	0,084891	1,453326
30,67	35,9	27087,36	2297,28	0,08481	1,451949
30,17	35,2	27011,85	2297,28	0,085047	1,456007
29,78	34,6	26952,96	2297,28	0,085233	1,459189
30,06	35,0	26995,24	2297,28	0,085099	1,456903
29,44	34,2	26901,62	2297,28	0,085396	1,461974
28,83	33,3	26809,5	2297,28	0,085689	1,466997
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,5	32,8	26759,67	2297,28	0,085849	1,469729
28,39	32,7	26743,06	2297,28	0,085902	1,470642
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
27,11	30,9	26549,77	2297,28	0,086527	1,481348
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
26,78	30,4	26499,93	2297,28	0,08669	1,484134
26,61	30,2	26474,26	2297,28	0,086774	1,485573
26,28	29,7	26424,43	2297,28	0,086938	1,488375
25,67	28,9	26332,32	2297,28	0,087242	1,493581
25,39	28,5	26290,03	2297,28	0,087382	1,495983
25,78	29,0	26348,93	2297,28	0,087187	1,49264
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
30,11	35,1	27002,79	2297,28	0,085076	1,456496
30,28	35,3	27028,46	2297,28	0,084995	1,455113
30,5	35,6	27061,68	2297,28	0,084891	1,453326
30,22	35,2	27019,4	2297,28	0,085023	1,4556
29,67	34,5	26936,35	2297,28	0,085286	1,460089
29,44	34,2	26901,62	2297,28	0,085396	1,461974
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
28,5	32,8	26759,67	2297,28	0,085849	1,469729
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
27,61	31,6	26625,27	2297,28	0,086282	1,477148

26,39	29,9	26441,04	2297,28	0,086883	1,48744
23,72	26,1	26037,85	2297,28	0,088229	1,510473
24,67	27,5	26181,31	2297,28	0,087745	1,502196
26,28	29,7	26424,43	2297,28	0,086938	1,488375
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
26,56	30,1	26466,71	2297,28	0,086799	1,485997
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
25,94	29,2	26373,09	2297,28	0,087107	1,491272
26,06	29,4	26391,21	2297,28	0,087047	1,490248
29,17	33,8	26860,84	2297,28	0,085525	1,464193
29,61	34,4	26927,29	2297,28	0,085314	1,46058
29,67	34,5	26936,35	2297,28	0,085286	1,460089
29,06	33,6	26844,23	2297,28	0,085578	1,465099
28,94	33,5	26826,11	2297,28	0,085636	1,466089
28,61	33,0	26776,28	2297,28	0,085795	1,468817
28,61	33,0	26776,28	2297,28	0,085795	1,468817
28,5	32,8	26759,67	2297,28	0,085849	1,469729
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
26,56	30,1	26466,71	2297,28	0,086799	1,485997
26,56	30,1	26466,71	2297,28	0,086799	1,485997
26,39	29,9	26441,04	2297,28	0,086883	1,48744
26,5	30,0	26457,65	2297,28	0,086829	1,486506
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
30,67	35,9	27087,36	2297,28	0,08481	1,451949
30,61	35,8	27078,3	2297,28	0,084838	1,452435
31,28	36,7	27179,47	2297,28	0,084523	1,447028
30,67	35,9	27087,36	2297,28	0,08481	1,451949
30,33	35,4	27036,01	2297,28	0,084971	1,454706
30,89	36,2	27120,58	2297,28	0,084706	1,45017
30,78	36,0	27103,97	2297,28	0,084758	1,451059
29,61	34,4	26927,29	2297,28	0,085314	1,46058
29,17	33,8	26860,84	2297,28	0,085525	1,464193
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,61	33,0	26776,28	2297,28	0,085795	1,468817

26,39	29,9	26441,04	2297,28	0,086883	1,48744
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
27,22	31,0	26566,38	2297,28	0,086473	1,480422
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
28,17	32,4	26709,84	2297,28	0,086009	1,472471
27,56	31,5	26617,72	2297,28	0,086306	1,477567
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
26,78	30,4	26499,93	2297,28	0,08669	1,484134
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
29,33	34,0	26885	2297,28	0,085448	1,462877
29,56	34,3	26919,74	2297,28	0,085338	1,46099
30,06	35,0	26995,24	2297,28	0,085099	1,456903
29,83	34,7	26960,51	2297,28	0,085209	1,45878
28,94	33,5	26826,11	2297,28	0,085636	1,466089
29,17	33,8	26860,84	2297,28	0,085525	1,464193
28,72	33,1	26792,89	2297,28	0,085742	1,467906
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
25,56	28,7	26315,7	2297,28	0,087297	1,494524
27,72	31,7	26641,88	2297,28	0,086228	1,476227
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
28,17	32,4	26709,84	2297,28	0,086009	1,472471
26,56	30,1	26466,71	2297,28	0,086799	1,485997
23,78	26,2	26046,91	2297,28	0,088198	1,509947
24,94	27,8	26222,08	2297,28	0,087609	1,49986
25,5	28,6	26306,64	2297,28	0,087327	1,495039
25,61	28,8	26323,25	2297,28	0,087272	1,494095
25,83	29,1	26356,48	2297,28	0,087162	1,492212
25,56	28,7	26315,7	2297,28	0,087297	1,494524
25,78	29,0	26348,93	2297,28	0,087187	1,49264
25,44	28,5	26297,58	2297,28	0,087357	1,495554
26,17	29,6	26407,82	2297,28	0,086992	1,489311
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
28,17	32,4	26709,84	2297,28	0,086009	1,472471
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
27,94	32,1	26675,1	2297,28	0,086121	1,474388
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471

28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
28,39	32,7	26743,06	2297,28	0,085902	1,470642
26,94	30,6	26524,1	2297,28	0,086611	1,482782
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
26,39	29,9	26441,04	2297,28	0,086883	1,48744
26,25	29,7	26419,9	2297,28	0,086953	1,48863
26,5	30,0	26457,65	2297,28	0,086829	1,486506
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
29,67	34,5	26936,35	2297,28	0,085286	1,460089
31,83	37,5	27262,53	2297,28	0,084265	1,44262
31,89	37,6	27271,59	2297,28	0,084237	1,44214
31,78	37,4	27254,98	2297,28	0,084289	1,443019
31,44	37,0	27203,63	2297,28	0,084448	1,445743
30,83	36,1	27111,52	2297,28	0,084735	1,450655
30,22	35,2	27019,4	2297,28	0,085023	1,4556
29,44	34,2	26901,62	2297,28	0,085396	1,461974
29,14	33,7	26856,31	2297,28	0,08554	1,46444
29,14	33,7	26856,31	2297,28	0,08554	1,46444
29,11	33,7	26851,78	2297,28	0,085554	1,464687
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,72	33,1	26792,89	2297,28	0,085742	1,467906
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
26,83	30,5	26507,48	2297,28	0,086665	1,483711
26,22	29,6	26415,37	2297,28	0,086968	1,488885
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
26,67	30,3	26483,32	2297,28	0,086744	1,485065
26,61	30,2	26474,26	2297,28	0,086774	1,485573
26,94	30,6	26524,1	2297,28	0,086611	1,482782
27,72	31,7	26641,88	2297,28	0,086228	1,476227
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
29,22	33,8	26868,39	2297,28	0,085501	1,463781
29,72	34,5	26943,9	2297,28	0,085262	1,459679
29,67	34,5	26936,35	2297,28	0,085286	1,460089
29,33	34,0	26885	2297,28	0,085448	1,462877
30,11	35,1	27002,79	2297,28	0,085076	1,456496
29,72	34,5	26943,9	2297,28	0,085262	1,459679
28,94	33,5	26826,11	2297,28	0,085636	1,466089
28,83	33,3	26809,5	2297,28	0,085689	1,466997
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741

28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,83	33,3	26809,5	2297,28	0,085689	1,466997
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
28,72	33,1	26792,89	2297,28	0,085742	1,467906
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
27,22	31,0	26566,38	2297,28	0,086473	1,480422
27,06	30,8	26542,22	2297,28	0,086552	1,48177
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
29,06	33,6	26844,23	2297,28	0,085578	1,465099
29,11	33,7	26851,78	2297,28	0,085554	1,464687
29,17	33,8	26860,84	2297,28	0,085525	1,464193
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
29,17	33,8	26860,84	2297,28	0,085525	1,464193
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,61	33,0	26776,28	2297,28	0,085795	1,468817
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
28,05	32,2	26691,71	2297,28	0,086067	1,473471
27,94	32,1	26675,1	2297,28	0,086121	1,474388
27,94	32,1	26675,1	2297,28	0,086121	1,474388
26,17	29,6	26407,82	2297,28	0,086992	1,489311
24,67	27,5	26181,31	2297,28	0,087745	1,502196
24,83	27,7	26205,47	2297,28	0,087664	1,500811
25,39	28,5	26290,03	2297,28	0,087382	1,495983
26,56	30,1	26466,71	2297,28	0,086799	1,485997
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
29,67	34,5	26936,35	2297,28	0,085286	1,460089
29,28	33,9	26877,45	2297,28	0,085472	1,463288
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
27,94	32,1	26675,1	2297,28	0,086121	1,474388
27,56	31,5	26617,72	2297,28	0,086306	1,477567
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645

28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
27,94	32,1	26675,1	2297,28	0,086121	1,474388
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
26,61	30,2	26474,26	2297,28	0,086774	1,485573
26,22	29,6	26415,37	2297,28	0,086968	1,488885
25,78	29,0	26348,93	2297,28	0,087187	1,49264
25,56	28,7	26315,7	2297,28	0,087297	1,494524
25,33	28,4	26280,97	2297,28	0,087412	1,496499
25,28	28,3	26273,42	2297,28	0,087437	1,496929
25,33	28,4	26280,97	2297,28	0,087412	1,496499
25,61	28,8	26323,25	2297,28	0,087272	1,494095
26,56	30,1	26466,71	2297,28	0,086799	1,485997
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
29,33	34,0	26885	2297,28	0,085448	1,462877
29,61	34,4	26927,29	2297,28	0,085314	1,46058
30,83	36,1	27111,52	2297,28	0,084735	1,450655
29,94	34,9	26977,12	2297,28	0,085157	1,457882
29,89	34,8	26969,57	2297,28	0,08518	1,45829
29,78	34,6	26952,96	2297,28	0,085233	1,459189
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,58	32,9	26771,75	2297,28	0,08581	1,469066
28,5	32,8	26759,67	2297,28	0,085849	1,469729
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
27,5	31,4	26608,66	2297,28	0,086336	1,47807
27,33	31,2	26582,99	2297,28	0,086419	1,479497
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
26,83	30,5	26507,48	2297,28	0,086665	1,483711
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
26,83	30,5	26507,48	2297,28	0,086665	1,483711
26,72	30,3	26490,87	2297,28	0,08672	1,484642
26,39	29,9	26441,04	2297,28	0,086883	1,48744
28,17	32,4	26709,84	2297,28	0,086009	1,472471
28,83	33,3	26809,5	2297,28	0,085689	1,466997
29,72	34,5	26943,9	2297,28	0,085262	1,459679
28,5	32,8	26759,67	2297,28	0,085849	1,469729
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231

28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
28,39	32,7	26743,06	2297,28	0,085902	1,470642
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
28,28	32,5	26726,45	2297,28	0,085955	1,471556
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
27,78	31,8	26650,94	2297,28	0,086199	1,475725
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
26,5	30,0	26457,65	2297,28	0,086829	1,486506
26,33	29,8	26431,98	2297,28	0,086913	1,48795
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
26,61	30,2	26474,26	2297,28	0,086774	1,485573
27,39	31,3	26592,05	2297,28	0,08639	1,478993
28,33	32,6	26734	2297,28	0,085931	1,47114
29,56	34,3	26919,74	2297,28	0,085338	1,46099
30,78	36,0	27103,97	2297,28	0,084758	1,451059
30,78	36,0	27103,97	2297,28	0,084758	1,451059
30,61	35,8	27078,3	2297,28	0,084838	1,452435
30,72	35,9	27094,91	2297,28	0,084786	1,451544
30,61	35,8	27078,3	2297,28	0,084838	1,452435
29,94	34,9	26977,12	2297,28	0,085157	1,457882
29,61	34,4	26927,29	2297,28	0,085314	1,46058
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
28,94	33,5	26826,11	2297,28	0,085636	1,466089
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,72	33,1	26792,89	2297,28	0,085742	1,467906
28,56	32,9	26768,73	2297,28	0,08582	1,469231
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
28,11	32,3	26700,78	2297,28	0,086038	1,472971
27,44	31,4	26599,6	2297,28	0,086365	1,478573
27,22	31,0	26566,38	2297,28	0,086473	1,480422
27,5	31,4	26608,66	2297,28	0,086336	1,47807
26,89	30,6	26516,55	2297,28	0,086636	1,483204
27,11	30,9	26549,77	2297,28	0,086527	1,481348
28,22	32,4	26717,39	2297,28	0,085985	1,472055
29,22	33,8	26868,39	2297,28	0,085501	1,463781
29,61	34,4	26927,29	2297,28	0,085314	1,46058
29,61	34,4	26927,29	2297,28	0,085314	1,46058
29,56	34,3	26919,74	2297,28	0,085338	1,46099

29,39	34,1	26894,07	2297,28	0,08542	1,462384
29,33	34,0	26885	2297,28	0,085448	1,462877
29,56	34,3	26919,74	2297,28	0,085338	1,46099
29,44	34,2	26901,62	2297,28	0,085396	1,461974
29,11	33,7	26851,78	2297,28	0,085554	1,464687
28,83	33,3	26809,5	2297,28	0,085689	1,466997
28,83	33,3	26809,5	2297,28	0,085689	1,466997
28,78	33,2	26801,95	2297,28	0,085713	1,46741
28,89	33,4	26818,56	2297,28	0,08566	1,466501
26,83	30,5	26507,48	2297,28	0,086665	1,483711
26,61	30,2	26474,26	2297,28	0,086774	1,485573
27,11	30,9	26549,77	2297,28	0,086527	1,481348
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
27,61	31,6	26625,27	2297,28	0,086282	1,477148
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
28,06	32,2	26693,22	2297,28	0,086062	1,473387
28,44	32,8	26750,61	2297,28	0,085878	1,470227
29,67	34,5	26936,35	2297,28	0,085286	1,460089
29,39	34,1	26894,07	2297,28	0,08542	1,462384
25,44	28,5	26297,58	2297,28	0,087357	1,495554
25,44	28,5	26297,58	2297,28	0,087357	1,495554
26,33	29,8	26431,98	2297,28	0,086913	1,48795
26,45	30,0	26450,1	2297,28	0,086853	1,48693
26,11	29,5	26398,76	2297,28	0,087022	1,489822
26,11	29,5	26398,76	2297,28	0,087022	1,489822
26,5	30,0	26457,65	2297,28	0,086829	1,486506
25,78	29,0	26348,93	2297,28	0,087187	1,49264
26,39	29,9	26441,04	2297,28	0,086883	1,48744
27,83	31,9	26658,49	2297,28	0,086174	1,475307
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832
29,33	34,0	26885	2297,28	0,085448	1,462877
29,28	33,9	26877,45	2297,28	0,085472	1,463288
29,61	34,4	26927,29	2297,28	0,085314	1,46058
29,56	34,3	26919,74	2297,28	0,085338	1,46099
28,94	33,5	26826,11	2297,28	0,085636	1,466089
28,61	33,0	26776,28	2297,28	0,085795	1,468817
27,89	32,0	26667,55	2297,28	0,086145	1,474806
27,56	31,5	26617,72	2297,28	0,086306	1,477567
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
28,67	33,1	26785,34	2297,28	0,085766	1,46832

24,44	27,1	26146,57	2297,28	0,087862	1,504191
24,44	27,1	26146,57	2297,28	0,087862	1,504191
24,56	27,3	26164,7	2297,28	0,087801	1,50315
24,83	27,7	26205,47	2297,28	0,087664	1,500811
25,11	28,1	26247,75	2297,28	0,087523	1,498393
24,83	27,7	26205,47	2297,28	0,087664	1,500811
24,61	27,4	26172,25	2297,28	0,087775	1,502716
24,89	27,8	26214,53	2297,28	0,087634	1,500292
24,94	27,8	26222,08	2297,28	0,087609	1,49986
25,5	28,6	26306,64	2297,28	0,087327	1,495039
25,89	29,2	26365,54	2297,28	0,087132	1,491699
27,17	31,0	26558,83	2297,28	0,086498	1,480843
27,61	31,6	26625,27	2297,28	0,086282	1,477148
27,5	31,4	26608,66	2297,28	0,086336	1,47807
27,67	31,7	26634,33	2297,28	0,086253	1,476645
27,28	31,1	26575,44	2297,28	0,086444	1,479917
27,5	31,4	26608,66	2297,28	0,086336	1,47807

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Bagas Aulia Rahman atau biasa disapa Bagas. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara yang lahir di Kabupaten Magetan pada tanggal 14 Maret 1997. Penulis menempuh pendidikan di SDN Magetan IV lulus pada tahun 2010, SMPN 1 Magetan lulus pada tahun 2013 dan SMAN 1 Magetan lulus pada tahun 2016. Pendidikan sarjana ditempuh di Departemen Teknik Fisika, FTIRS-ITS pada tahun 2016. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis mengikuti organisasi Laboratorium Rekayasa Bahan sebagai asisten laboratorium. Pengalaman internship program selama satu bulan di Engineering Department PT. Pakuwon Jati. 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 bagasauliarahman2@gmail.com.