



# Rancang Bangun Sistem Kontrol pada *Low Pressure Reference Gas Blends Unit* Sebagai Penunjang Analisis LPG di Laboratorium Badak LNG Berbasis Arduino

Pandu Nugroho<sup>1\*</sup>, Hasvienda Mohammad Ridlwan<sup>2</sup> dan Charles Tampubolon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

<sup>2</sup> PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur 75324

---

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem kontrol pada *low pressure reference gas blends unit*. Sistem kontrol tersebut terbagi menjadi dua yaitu sistem kontrol sekuensial proses pencampuran pure gas dan sistem kontrol temperatur. Sistem kontrol dibuat untuk mempermudah operator dalam membuat *reference gas* menggunakan *low pressure reference gas blends unit* dan juga untuk menjaga parameter temperatur agar tetap konstan. Penelitian ini dilakukan dengan membuat langsung sistem kontrol sekuensial dan sistem kontrol temperatur menggunakan mikrokontroler Arduino. Tahapan penelitian ini meliputi perancangan sistem, pemilihan komponen, perancangan rangkaian dan pemrograman, perakitan, penentuan nilai PID, pengoperasian alat dan analisis hasil komposisi *reference gas*. Dari penelitian ini diketahui bahwa sistem kontrol sekuensial mampu menjalankan proses pencampuran pure gas menjadi *reference gas* dengan tingkat kepercayaan terhadap hasil komposisi *reference gas* lebih dari 90%. Sedangkan untuk sistem kontrol temperatur digunakan kontrol PID dengan  $K_p = 2,1$   $K_i = 0,03$  dan  $K_d = 9,6$ . Dengan menggunakan kontrol PID tersebut diperoleh respon temperatur dengan *dead time* 15 detik, *rise time* 548 detik, *overshoot* 1,625% dan *settling time* 602 detik.

*Kata-kata kunci: Reference gas, Arduino, Kontrol Sekuensial, Kontrol Temperatur, Kontrol PID*

## Abstract

*This study aims to create a control system for low pressure reference gas blends unit. The control system is divided into two control, the sequential control system for the pure gas mixing process and the temperature control system. Control system is designed to help operator using low pressure reference gas blend unit and also to keep the temperature parameters constant. This research was conducted by directly constructing sequential control system and temperature control system using Arduino microcontroller. The stages of this research include system design, component selection, circuit design and programming, assembly, determination of PID value, unit operation and analysis of the reference gas composition. From this research, it is known that the sequential control system is able to carry out the process of mixing pure gas into reference gas with a confidence level of more than 90%. As for the temperature control system, PID control is used with  $K_p = 2.1$   $K_i = 0.03$  and  $K_d = 9.6$ . By using the PID control, the temperature response is obtained with a dead time of 15 seconds, a rise time of 548 seconds, an overshoot of 1.625% and a settling time of 602 seconds.*

*Keywords: Reference gas, Arduino, Sequential Control, Temperature Control, PID Control*

---

\* Corresponding author E-mail address: pandunugroho55@gmail.com

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

*Reference gas* adalah campuran gas bersertifikat yang digunakan sebagai standar pembandingan dalam kalibrasi instrumen analitik, seperti penganalisis gas atau detektor gas <sup>[1]</sup>. Penggunaan *reference gas* di gas laboratoty Badak LNG menjadi kebutuhan pokok untuk melakukan analisis gas. Kebutuhan analisis gas tersebut bersifat krusial, karena Laboratorium Badak LNG sudah bersertifikat ISO:17025. Pada klausul 7.7.2 ISO 17025:2017, dijelaskan tentang uji profisiensi dan keharusan suatu laboratorium yang sudah bersertifikat ISO:17025 untuk berpartisipasi dalam uji profisiensi tersebut. Uji profisiensi adalah suatu program evaluasi kinerja laboratorium kalibrasi atau pun pengujian terhadap kriteria yang telah ditetapkan sesuai kompetensinya <sup>[2]</sup>. Salah satu bentuk uji profisiensi gas yang dilakukan oleh laboratorium bersertifikat ISO:17025 adalah uji banding gas, yang mana dalam melakukan pengujian analisis gas menggunakan *gas chromatography* yang membutuhkan *reference gas* sebagai gas pembandingan untuk menentukan komposisi sampel.

Berdasarkan *survey* di *Laboratorium & Environment Control Section* Badak LNG, sampel gas yang datang untuk uji profisiensi gas analisis internal laboratorium komposisinya bervariasi. Hal tersebut menyebabkan kebutuhan akan *reference gas* juga meningkat. Aktualnya, saat ini terdapat lebih kurang lima tabung sisa *reference gas* bersertifikat untuk analisis internal laboratorium yang sudah tidak terpakai karena gas bersertifikat tersebut tidak lagi relevan sebagai pembandingan dalam analisis-internal gas yang komposisinya bervariasi. Selain itu, berdasarkan data dari Alberta Energy selama tahun 2022 harga *reference gas* mengalami kenaikan sebesar 50% <sup>[3]</sup>.

Untuk mengatasi keresahan yang sudah dijabarkan sebelumnya diperlukan suatu alat yang mampu membuat *reference gas* dari *pure gas component* yang sudah tersedia di laboratorium. Standar ASTM D4051-99 (*Reapproved* 2004) membahas mengenai panduan untuk melakukan pencampuran gas pada kondisi *low-pressure*. Pencampuran gas dilakukan berdasarkan konsep tekanan parsial melalui sistem *manifold*. Perhitungan tekanan parsial setiap komponen menggunakan nilai *Z* (*compressibility factors*) untuk mengubah nilai gas ideal menjadi gas nyata. Nilai tekanan parsial nyata setiap komponen yang proporsional dengan volume gasnya akan dinormalisasikan untuk mendapatkan persen mol komposisi dari pencampurannya <sup>[4]</sup>. Berangkat dari hal tersebut penulis dan tim membuat *low-pressure reference gas blends unit* untuk memenuhi kebutuhan laboratorium.

Standar ASTM D4051-99 (*Reapproved* 2004) menjelaskan bahwa setiap proses pencampuran *pure gas* menjadi *reference gas* dilakukan secara manual oleh operator, dimana dalam melakukan pencampuran *pure gas component* harus melalui berbagai tahapan yang cukup rumit. Dalam hal ini operator juga harus memiliki keahlian dalam mengatur setiap bukaan *valve* dan membaca nilai tekanan pada manometer. Dikarenakan proses yang cukup rumit dan tidak semua operator memahami cara mengoperasikan *low-pressure reference gas blends unit* maka diperlukan sistem otomasi yang dapat mempermudah operator dalam membuat *reference gas*.

Mengingat dalam membuat *reference gas* pada *low-pressure reference gas blends unit* diperlukan keakuratan hasil komposisi campuran yang tinggi, maka diperlukan alat instrumentasi yang mampu memberikan pembacaan tekanan yang baik disertai dengan sistem kontrol yang mampu memberikan perintah sekuensial yang tepat berdasarkan pembacaan tekanan. Selain itu, pada proses pencampuran gas di dalam *blends cylinder* diperlukan sistem pemanas yang mampu menjaga kondisi temperatur di dalam *blend cylinder* untuk menghindari perubahan fase pada *reference gas* dan mengaduk *reference gas*.

Suhu minimum *heater* untuk mencegah perubahan fase pada *reference gas* di dalam *blend cylinder* adalah 55°C, dimana nilai tersebut diperoleh dari perhitungan perpindahan panas. *Heater* juga digunakan untuk mengaduk gas di dalam *blend cylinder* agar *reference gas* menjadi homogen. Untuk memenuhi kedua kebutuhan tersebut, suhu *heater* dijaga pada temperatur 80°C. Sensor suhu digunakan untuk mengukur temperatur *heater* yang digunakan untuk memanaskan *blend cylinder*, karena suhu pada *blend cylinder* semakin lama semakin meningkat akibat pengaruh dari *heater*, maka digunakan kontrol PID untuk menjaga temperatur *heater* agar tetap konstan meskipun terjadi perubahan suhu pada *blend cylinder*.

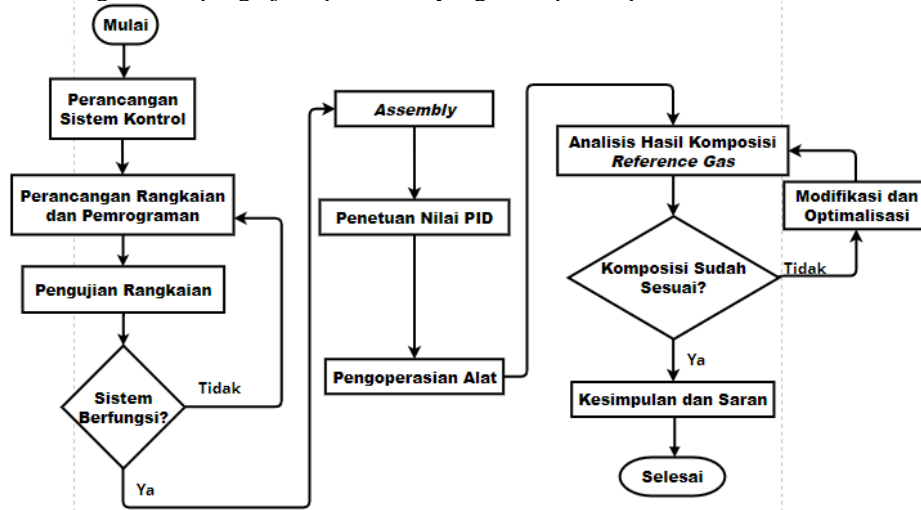
### Tujuan

1. Merancang bangun sistem kontrol sekuensial pada *low-pressure reference gas blends unit* agar menghasilkan komposisi *reference gas* dengan tingkat kepercayaan 90%.
2. Merancang bangun sistem kontrol PID pada *heater* di *low-pressure reference gas blends unit* untuk menjaga temperatur *blends cylinder* pada range  $\pm 2\%$  dari *set-point*.

## 2. METODE PENELITIAN

### Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir pengerjaan penelitian yang ditampilkan pada Gambar 1 berikut ini:



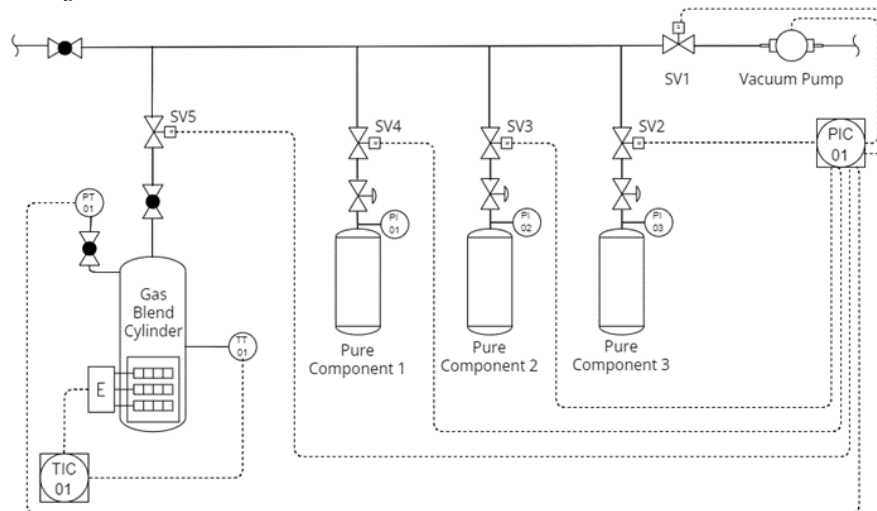
Gambar 1. Diagram alir penelitian

### Penjelasan Langkah Pengerjaan

Proses pengerjaan penelitian ini akan dijabarkan ke dalam beberapa bagian sebagai berikut.

#### Perancangan Sistem Kontrol

Sistem kontrol dibuat berdasarkan standar ASTM D 4051-99 (*Reapproved 2004*). Dalam rancangan sistem ini *low-pressure reference gas blends unit* dirancang untuk dapat mencampurkan 3 jenis *pure gas* untuk menjadi *reference gas*.



Gambar 2. P&ID *low pressure reference gas blends unit*

Pada Gambar 2 terdapat dua *loop* kontrol yaitu *loop* kontrol tekanan dan *loop* kontrol temperature. *Loop* kontrol tekanan akan menjalankan fungsi kontrol sekuensial yang sudah dirancang. Sedangkan *loop* kontrol temperatur akan menjalankan fungsi kontrol temperatur di dalam *gas blends cylinder*.

*Loop* kontrol tekanan berfungsi untuk menjalankan sistem kontrol sekuensial yang akan mengontrol proses pencampuran *pure gas component*. Sistem kontrol sekuensial adalah sistem yang melakukan beberapa operasi

secara otomatis *step by step* yang bekerja sesuai dengan aturan (*sequence*) yang telah ditentukan. Kontrol sekuensial biasanya digunakan untuk mengatur suatu operasi yang saling terkait, terhubung atau terencana (terjadwal) <sup>[5]</sup>. Pada *Loop* kontrol tekanan yang menjadi *controller* adalah PIC-01 yang merupakan sebuah Arduino. Input Arduino tersebut adalah nilai pembacaan tekanan di *manifold* dari PT-01 yang merupakan *digital manometer*. Saat nilai tekanan yang terbaca sudah mencapai nilai tertentu yang sudah diatur pada kontrol sekuensial maka Arduino akan memberikan sinyal output ke peralatan yang terhubung dengan Arduino sesuai dengan kontrol sekuensial yang sudah ditentukan.

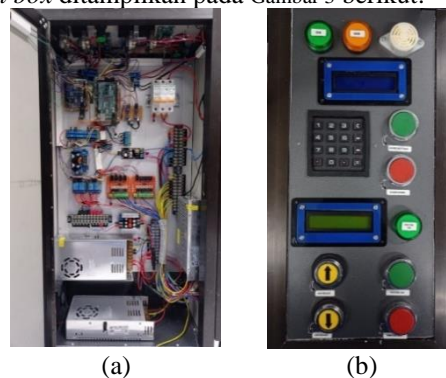
*Loop* kontrol temperatur berfungsi untuk mengontrol temperatur pada *gas blends cylinder*. Tujuan pemasangan *heater* pada *gas blends cylinder* adalah untuk mencampurkan semua komponen gas di dalam *gas blends cylinder* sehingga tidak terjadi *layering* komponen gas. Sistem *loop* kontrol temperatur merupakan jenis kontrol *loop* (kalang) tertutup. TIC-01 merupakan sebuah Arduino yang akan memproses sinyal input berupa nilai temperatur, dimana input nilai temperatur diperoleh dari TT-01 yang merupakan RTD PT-100. Nilai temperatur tersebut akan diproses sedemikian rupa untuk menghasilkan output yang akan digunakan untuk mengontrol daya yang masuk menuju *electric heater*.

#### Pemrograman

Tahap pemrograman sistem merupakan tahap mengubah urutan kerja alat menjadi bahasa pemrograman yang akan diterapkan pada *microcontroller*. Pemrograman dilakukan menggunakan aplikasi *Arduino IDE* dengan bahasa C Arduino. Pemrograman dilakukan pada sistem kontrol sekuensial dan sistem kontrol temperatur pada *heater*.

#### Perakitan Komponen

Tahap *Assembly* adalah tahap menyatukan seluruh komponen mekanik, komponen kontrol dan komponen kelistrikan secara utuh menjadi satu sistem. Pada tahap ini komponen yang sudah dapat bekerja dengan baik disusun dan dirangkai pada *panel box* dan *packaging* yang sudah tersedia. Peletakan komponen keseluruhan sistem di dalam dan di atas *panel box* ditampilkan pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Gambar (a) menunjukkan penyusunan komponen di dalam *panel box*. Gambar (b) menunjukkan penyusunan komponen di atas *panel box*

#### Penentuan Nilai PID

Sistem kontrol PID merupakan penggabungan dari ketiga mode kontrol *Proportional*, *Integral* dan *Derivatif*. Kontrol PID memungkinkan pengontrol untuk mengendalikan proses tanpa memiliki *error steady state* dan mengurangi kecenderungan terjadinya osilasi. Kontrol ini dapat diibaratkan sebagai pengontrol *proportional* yang memiliki kontrol *integral* untuk menghilangkan error keadaan tunak dan kontrol *derivatif* untuk mengurangi keteringgalan atau jeda waktu <sup>[6]</sup>. Penentuan Nilai PID dilakukan untuk menentukan parameter PID pada sistem kontrol temperatur. Langkah-langkah untuk menentukan nilai PID yaitu pengambilan *time domain data*, identifikasi fungsi alih sistem *heater*, *PID tuning*, identifikasi fungsi alih sistem kontrol dan analisis kestabilan sistem

#### Pengoperasian dan Modifikasi Alat

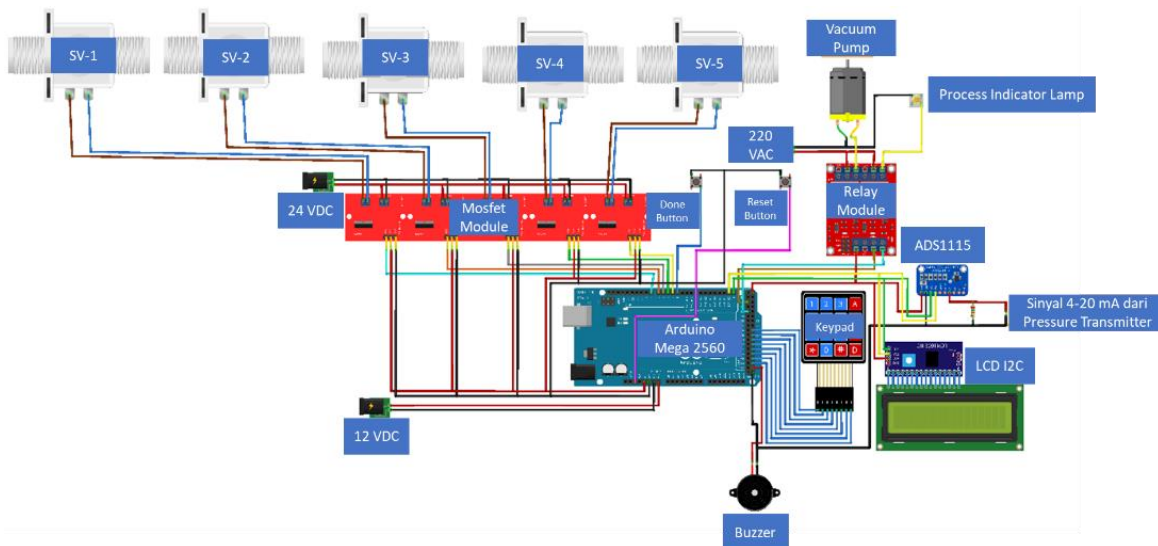
Setelah dipastikan bahwa alat dapat beroperasi dengan baik, maka alat dapat digunakan untuk membuat *reference gas* dari *pure gas*. Dikarenakan material yang digunakan pada alat *Low Pressure Reference Gas*

*Blends* adalah *flammable gas* maka diperlukan ketelitian dan kehati-hatian saat mengoperasikan alat. *Reference gas* yang diperoleh akan dianalisis untuk melihat komposisi *reference gas* yang dihasilkan. Jika hasil *reference gas* di luar batas toleransi maka perlu dilakukan modifikasi dan optimalisasi baik dari sisi kontrol maupun proses sampai *reference gas* yang dihasilkan sesuai dengan batas toleransi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Sistem Kontrol Sekuensial

##### Rangkaian Sistem Kontrol Sekuensial



Gambar 4. Rangkaian sistem kontrol sekuensial

Gambar 4 menunjukkan rangkaian sistem kontrol sekuensial pada *low pressure reference gas blends unit*. Pada rangkaian tersebut *microcontroller* yang digunakan adalah Arduino Mega 2560, penggunaan *microcontroller* tersebut disesuaikan dengan kebutuhan jumlah *digital pin* yang diperlukan yaitu sebanyak 18 pin. *microcontroller* mendapat input dari *keypad module* dan dua buah *push button*, *keypad module* berfungsi sebagai media untuk memberi input nilai parameter pencampuran yang sudah ditetapkan oleh operator, sedangkan dua buah *push button* berfungsi sebagai tombol *reset* dan tombol untuk memberitahu *microcontroller* bahwa langkah manual telah selesai dilakukan. Selain itu, terdapat input *microcontroller* lain yaitu sinyal 4-20 mA dari *pressure transmitter* yang dikonversi menjadi sinyal 1-5 VDC menggunakan resistor 250Ω. Sinyal 1-5 VDC tersebut akan diterima oleh ADS1115 yang berfungsi sebagai *external analog input* dari Arduino. Sinyal input tersebut berfungsi sebagai parameter utama dalam proses sekuensial pencampuran gas. Sinyal input akan diolah oleh *microcontroller* Arduino Mega 2560 dan digunakan untuk mengontrol aktuator berupa *solenoid valve* dan *vacuum pump*. *Solenoid valve* dikontrol oleh Arduino melalui *mosfet module* yang berfungsi sebagai *relay* pada rangkaian daya *solenoid valve*. *Solenoid valve* ini berperan sebagai aktuator utama pada proses pencampuran gas. *Vacuum pump* dikontrol melalui *relay module* yang dirangkai pada kabel power *Vacuum pump*. Selain *solenoid valve* dan *vacuum pump*, terdapat output lain berupa *pilot lamp*, *buzzer* dan LCD I2C.

##### Modifikasi Kontrol Sekuensial

Hasil komposisi *reference gas* yang diperoleh saat *running* awal alat tanpa modifikasi ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil komposisi *reference gas* sebelum dilakukan modifikasi

Keterangan	Komposisi propana (%)	Komposisi iso-butana (%)	Komposisi n-butana (%)
Analisis ke-1	3,001	41,574	55,424
Analisis ke-2	3,049	41,898	55,054
Analisis ke-3	3,001	41,581	55,418
Target Komposisi	2,2	43,4	54,4
Rata-rata error (%)	37,13%	3,95%	1,65%

Berdasarkan hasil komposisi *reference gas* yang telah dihasilkan diketahui bahwa masih terdapat eror yang cukup besar antara komposisi *reference gas* yang dihasilkan dengan target komposisi *reference gas* yang ingin dicapai. Analisis awal dari penulis menganggap bahwa bias yang besar dari hasil komposisi *reference gas* disebabkan karena *flow* dari *pure gas* yang masuk ke *blend cylinder* tidak dikontrol dengan baik sehingga *flow pure gas* menjadi besar. *Flow pure gas* yang besar tersebut masuk ke dalam *blend cylinder* dan membuat gas di dalam *blend cylinder* menjadi tidak stabil sehingga membuat *pressure transmitter* membaca tekanan yang lebih besar dari yang seharusnya.

Berdasarkan hasil analisis tersebut dilakukan modifikasi pada proses pencampuran gas dengan menambahkan proses stabilisasi gas pada *blend cylinder*. Proses stabilisasi dilakukan saat tekanan parsial *pure gas* yang masuk ke dalam *blend cylinder* hampir mendekati tekanan parsialnya. Saat tekanan pada *pressure transmitter* membaca nilai 0,007 atm kurang dari tekanan parsial *pure component* maka *solenoid valve* yang membuka akan menutup. Nilai 0,007 atm diperoleh dari hasil percobaan dan pengamatan terhadap perilaku tekanan gas di dalam *blends cylinder*. Selanjutnya, gas di dalam *blend cylinder* akan didiamkan selama 2 menit. Setelah itu, *solenoid valve* yang tadinya tertutup akan membuka kembali untuk memasukkan *pure gas* sampai tekanan parsialnya tercapai.

#### Urutan Sekuensial Proses Pencampuran Gas

1. Operator melakukan input parameter pencampuran gas yang telah dihitung pada *excel*. Input parameter pencampuran gas dilakukan dengan media *keypad module* dan LCD. Adapun parameter yang di input disini adalah %-mol setiap gas yang akan dicampurkan, faktor kompresibilitas setiap *pure gas* dan temperatur pencampuran gas dalam satuan Kelvin.
2. Saat operator selesai memasukkan parameter pencampuran, *Solenoid valve* (SV)-1,2,3,4 dan 5 aktif (membuka), lalu terdapat *delay* selama 2 detik sebelum *vacuum pump* menyala.
3. Jika tekanan telah menunjukkan nilai kurang dari atau sama dengan 0,01 atm, maka proses *vacuum* masih akan berjalan selama 20 detik. Setelah 20 detik SV-1 sampai SV-5 akan menutup (tidak aktif), 3 detik kemudian *vacuum pump* tidak aktif.
4. Operator mengatur semua regulator tabung *pure gas* secara manual.
5. Proses berlanjut pada tahap memasukkan *pure gas* 1. SV-4 membuka dan jeda 8 detik kemudian SV-5 membuka. *Pure gas* 1 akan terus masuk ke dalam *blend cylinder* sampai nilai tekanan di dalam *blend cylinder* menunjukkan nilai lebih dari atau sama dengan nilai tekanan parsial *pure gas* 1 ( $P_{PG1} + 0,01 - 0,07$ ). Saat nilai tersebut tercapai maka SV-4 dan SV-5 akan menutup untuk menghentikan aliran gas ke dalam *blend cylinder*.
6. Proses berlanjut pada tahap stabilisasi gas selama 2 menit. Setelah 2 menit, jika nilai tekanan menunjukkan nilai kurang dari  $P_{PG1} + 0,01$  maka SV-4 dan SV-5 aktif untuk memasukkan *pure gas* 1. Jika nilai tekanan menunjukkan nilai lebih dari atau sama dengan  $P_{PG1} + 0,01$  maka SV-4 akan menutup dan jeda 3 detik kemudian SV-5 menutup.
7. Proses berlanjut pada tahap *vacuum line*. SV-1 membuka dan jeda 2 detik kemudian *vacuum pump* aktif. Proses *vacuum* ini berlangsung selama 1 menit. Setelah 1 menit, SV-1 menutup lalu jeda 1 detik kemudian *vacuum pump* tidak aktif.
8. Proses berlanjut pada tahap memasukkan *pure gas* 2. SV-3 membuka dan jeda 8 detik kemudian SV-5 membuka. *Pure gas* 2 akan terus masuk ke dalam *blend cylinder* sampai nilai tekanan di dalam *blend cylinder* menunjukkan nilai lebih dari atau sama dengan nilai tekanan parsial *pure gas* 1 ( $P_{PG1}$ ) + nilai tekanan parsial *pure gas* 2 ( $P_{PG2} + 0,01 - 0,07$ ). Saat nilai tersebut tercapai maka SV-3 dan SV-5 akan menutup untuk menghentikan aliran gas ke dalam *blend cylinder*.
9. Proses berlanjut pada tahap stabilisasi gas selama 2 menit. Setelah 2 menit, jika nilai tekanan menunjukkan nilai kurang dari  $P_{PG1} + P_{PG2} + 0,01$  maka SV-3 dan SV-5 aktif untuk memasukkan *pure gas* 2. Jika nilai tekanan menunjukkan nilai lebih dari atau sama dengan  $P_{PG1} + P_{PG2} + 0,01$  maka SV-3 akan menutup dan jeda 3 detik kemudian SV-5 menutup.

10. Proses berlanjut pada tahap *vacuum line*. SV-1 membuka dan jeda 2 detik kemudian *vacuum pump* aktif. Proses *vacuum* ini berlangsung selama 1 menit. Setelah 1 menit, SV-1 menutup lalu jeda 1 detik kemudian *vacuum pump* tidak aktif.
11. Proses berlanjut pada tahap memasukkan *pure gas 3*. SV-2 membuka dan jeda 8 detik kemudian SV-5 membuka. *Pure gas 3* akan terus masuk ke dalam *blend cylinder* sampai nilai tekanan di dalam *blend cylinder* menunjukkan nilai lebih dari atau sama dengan nilai tekanan parsial *pure gas 1* ( $P_{PG1}$ ) + nilai tekanan parsial *pure gas 2* ( $P_{PG2}$ ) + nilai tekanan parsial *pure gas 3* ( $P_{PG3}$ ) + 0,01 – 0,07. Saat nilai tersebut tercapai maka SV-2 dan SV-5 akan menutup untuk menghentikan aliran gas ke dalam *blend cylinder*.
12. Proses berlanjut pada tahap stabilisasi gas selama 2 menit. Setelah 2 menit, jika nilai tekanan menunjukkan nilai kurang dari  $P_{PG1} + P_{PG2} + P_{PG3} + 0,01$  maka SV-2 dan SV-5 aktif untuk memasukkan *pure gas 3*. Jika nilai tekanan menunjukkan nilai lebih dari atau sama dengan  $P_{PG1} + P_{PG2} + P_{PG3} + 0,01$  maka SV-2 akan menutup dan jeda 3 detik kemudian SV-5 menutup.
13. Proses berlanjut pada tahap *vacuum line*. SV-1 membuka dan jeda 2 detik kemudian *vacuum pump* aktif. Proses *vacuum* ini berlangsung selama 1 menit. Setelah 1 menit, SV-1 menutup lalu jeda 1 detik kemudian *vacuum pump* tidak aktif.

#### Hasil Komposisi Reference Gas

Setelah dilakukan modifikasi pada kontrol sekuensial, dilakukan *running* pada *low pressure reference gas blends unit*. Hasil komposisi *reference gas* yang diperoleh setelah modifikasi ditunjukkan oleh Tabel 2 sebagai berikut:

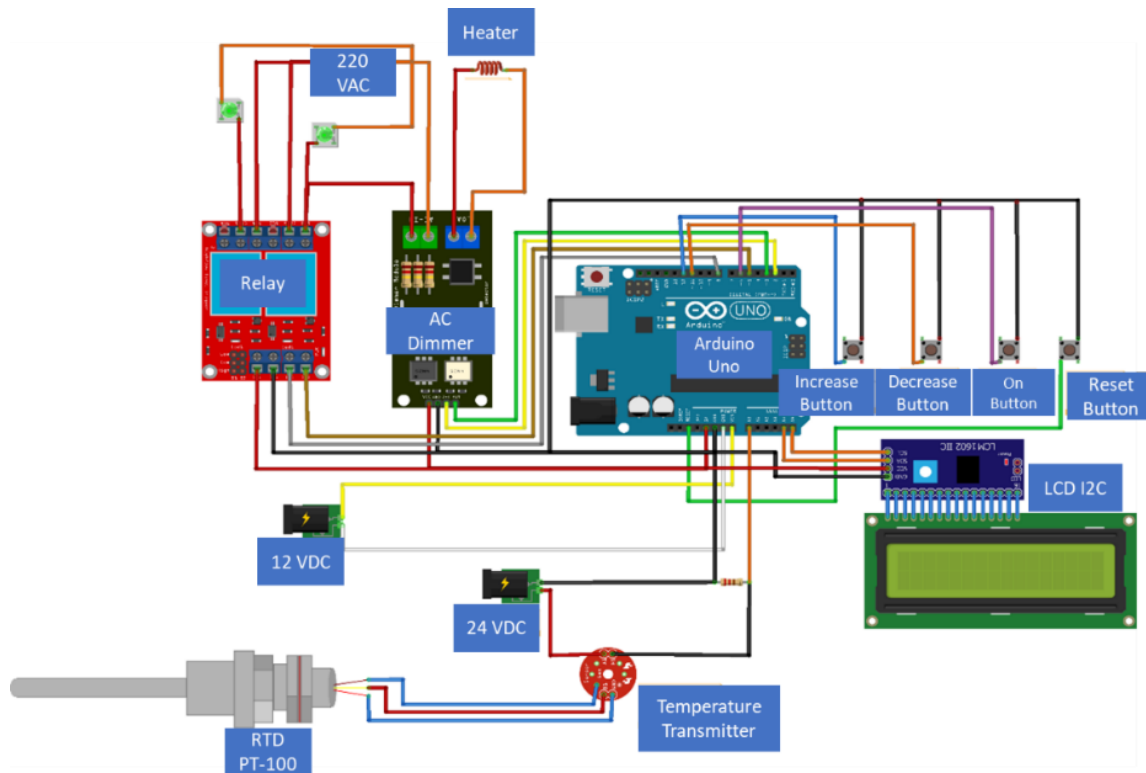
Tabel 2. Hasil komposisi *reference gas* setelah dilakukan modifikasi

Keterangan	Komposisi propana (%)	Komposisi iso-butana (%)	Komposisi n-butana (%)
Analisis ke-1	2,204	43,989	53,806
Analisis ke-2	2,205	43,986	53,809
Analisis ke-3	2,204	43,997	53,799
Target Komposisi	2,2	43,4	54,4
Rata-rata eror (%)	0,19%	1,36%	1,09%

Dari hasil komposisi *reference gas* yang diperoleh diketahui bahwa proses stabilisasi yang dilakukan berhasil untuk mengurangi *error* dari komposisi *reference gas* yang dihasilkan, hal ini dibuktikan dengan nilai rata-rata % eror setiap komponen yang kurang dari 5%. Dengan begitu *low pressure reference gas blends unit* mampu menghasilkan komposisi *reference gas* dengan tingkat keyakinan 90%.

## Sistem Kontrol Temperatur

### Rangkaian Sistem Kontrol Temperatur



Gambar 5. Rangkaian sistem kontrol temperatur

Gambar 5 menunjukkan rangkaian sistem kontrol temperatur yang digunakan pada *low pressure reference gas blends unit*. *Microcontroller* yang digunakan pada sistem kontrol temperatur heater ini adalah Arduino Uno R3. *Microcontroller* mendapat input pembacaan temperatur dari *temperature transmitter* yang terhubung dengan sensor RTD. *Temperature transmitter* memberikan sinyal 4-20 mA, sinyal tersebut dikonversi menjadi sinyal 1-5 VDC menggunakan resistor 250Ω. Sinyal input *temperature transmitter* tersebut berfungsi sebagai nilai *process variable* pada kontrol PID. Output dari Arduino digunakan untuk mengontrol *relay module* dan *AC dimmer module*. *Relay module* digunakan untuk mengaktifkan atau mematikan heater. *AC dimmer module* berfungsi untuk mengatur besarnya daya yang diterima oleh heater, sehingga energi panas yang dihasilkan oleh heater akan menyesuaikan dengan output kontrol PID yang diberikan oleh *Microcontroller*.

### Identifikasi Fungsi Alih Heater

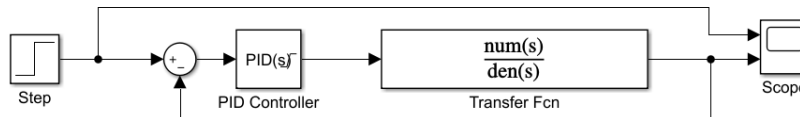
Untuk dapat mengidentifikasi fungsi alih heater diperlukan *time domain data* yang merepresentasikan respon output dari sistem heater terhadap input yang diberikan. Dari *time domain data* yang sudah diperoleh dilakukan pemodelan fungsi alih menggunakan aplikasi *matlab*. Identifikasi fungsi alih dilakukan menggunakan fitur *system identification* pada *matlab*. Dari identifikasi tersebut diperoleh persamaan fungsi alih orde 2 dengan kecocokan terhadap *time domain data* sebesar 88 %. Berikut merupakan persamaan fungsi alih sistem heater yang diperoleh:

$$H(s) = \frac{0,2432 s + 0,001184}{s^2 + 0,2426 s + 0,0001613}$$

### Penelaan PID

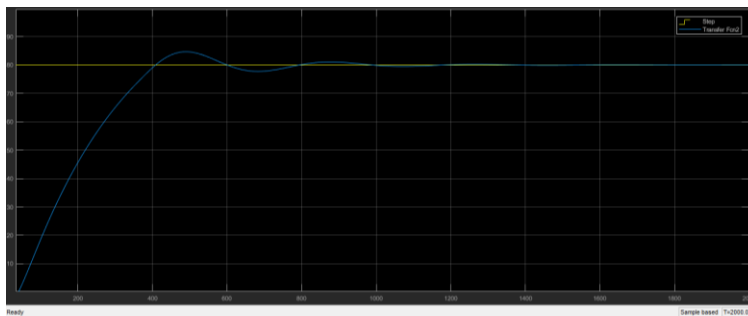
Penelaan nilai PID untuk sistem kontrol temperatur dapat dilakukan dengan membuat model sistem kontrol tersebut pada *simulink matlab* menggunakan fungsi alih yang telah diperoleh sebelumnya. Gambar 6 berikut menunjukkan pemodelan sistem kontrol temperatur yang dibuat pada *simulink*.





Gambar 6. Pemodelan sistem kontrol temperatur

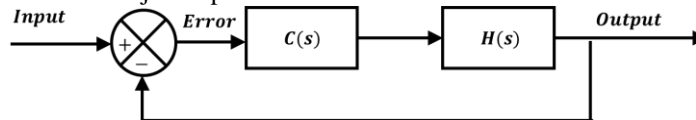
Penelaan PID dilakukan dengan mengubah-ubah nilai parameter PID pada *block PID controller*. Fitur *PID tuner* pada *simulink* digunakan sebagai referensi awal untuk menentukan nilai PID. Dari penelaan yang dilakukan diperoleh nilai parameter *proportional*, *integral* dan *derivative* yang sesuai dengan respon sistem yang diinginkan. Nilai PID tersebut yaitu  $P= 2,1$   $I= 0.03$  dan  $D= 9,6$ . Dengan nilai PID tersebut sistem memiliki respon *rise time* 410 detik, *settling time* 575 detik dan *overshoot* 5,93%. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini:



Gambar 7. Respon sistem pada simulasi menggunakan *Simulink*

*Fungsi Alih Sistem Kontrol*

Dengan ditambahkannya kontrol PID pada sistem *heater* dan pemberian umpan balik pada sistem maka *block diagram* sistem kontrol menjadi seperti Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. *Block Diagram* sistem kontrol

Fungsi  $C(s)$  merupakan fungsi alih dari kontrol PID dengan persamaan sebagai berikut:

$$C(s) = \frac{9,6 s^2 + 2,1 s + 0,03}{s}$$

Fungsi alih keseluruhan sistem  $G(s)$  merupakan sistem dengan umpan balik, oleh karena itu fungsi alih keseluruhan sistem menjadi:

$$G(s) = \frac{0,052 s^4 - 0,057 s^3 - 0,0123 s^2 + 3,3x10^{-4} s + 7,78x10^{-6}}{0,052 s^4 + 0,094 s^3 + 0,038 s^2 + 4,93x10^{-4} s + 7,78x10^{-6}}$$

*Analisis Kestabilan Sistem*

Kestabilan suatu sistem dapat diketahui dengan mencari nilai *pole* dari fungsi alih sistem kontrol. Jika semua *pole* bernilai negatif maka sistem dikatakan stabil, namun jika ada salah satu *pole* yang bernilai positif maka sistem dikatakan tidak stabil<sup>[6]</sup>. Tabel 3 berikut menunjukkan nilai *pole* dan *zero* dari fungsi alih sistem kontrol:

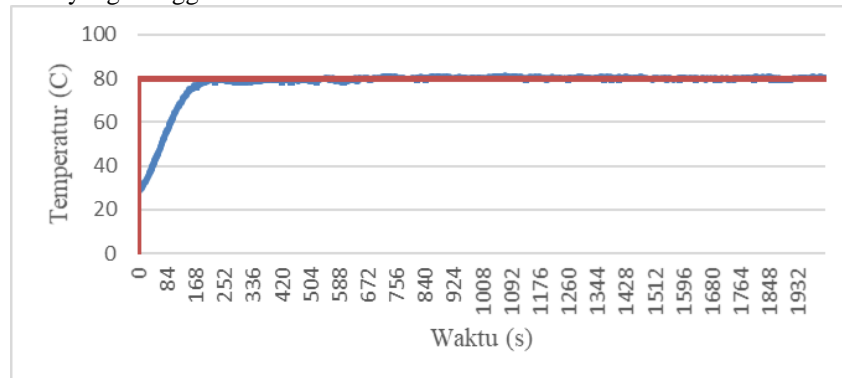
Tabel 3. Nilai *Zero* dan *Pole* fungsi alih sistem

<i>Zero</i>	<i>Pole</i>
1,2795	-18.1519
-0,2036	-0,0323
-0,0375	-0,0041 + 0,0154 i
-0,0154	-0,0041 - 0,0154 i

Dari Tabel 3 diketahui bahwa semua nilai *pole* fungsi alih bernilai negatif sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem stabil.

#### Hasil Respon Sistem

Dari nilai PID yang telah diperoleh, dilakukan uji coba respon sistem yang diterapkan langsung pada sistem kontrol *heater*. Nilai *set-point* yang digunakan dalam uji coba ini adalah 80°C. Gambar 9 berikut merupakan grafik respon *heater* yang menggunakan kontrol PID:



Gambar 9. Hasil respon *heater*

Berdasarkan respon sistem yang diperoleh, karakteristik respon *transient* sistem adalah sebagai berikut:

1. *Dead time* = 15 detik;
2. *Rise time* = 548 detik;
3. *Overshoot* = 1,625%;
4. *Settling time* = 602 detik.

## 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem kontrol sekuensial berfungsi dengan baik, hal ini dibuktikan dengan nilai % eror kurang dari 10% dari setiap *pure gas* yang dimasukkan ke dalam *blend cylinder*, dimana % eror propana 0,19%, % eror iso-butana 1,36% dan % eror n-butana 1,09%. Berdasarkan nilai *error* tersebut dapat disimpulkan bahwa *low pressure reference gas blends unit* mampu menghasilkan *reference gas* dengan tingkat kepercayaan 90%.
2. Kontrol PID yang diterapkan pada *heater* mampu memberikan respon yang stabil dengan nilai  $K_p = 2,1$   $K_i = 0,03$  dan  $K_d = 9,6$ . Kontrol PID pada *heater* dapat melakukan pengendalian suhu *heater* dengan *dead time* 15 detik, *rise time* = 548 detik, *overshoot* = 1,625% dan *settling time* = 602 detik.

## REFERENSI

- [1] ISO, "Gas Analysis - Preparation of Calibration Gas Mixture," *ISO 6142-1*, pp. 1-46, 2015.
- [2] D. N. Faridah, D. Erawan, K. Sutriah, A. Hadi and F. Budiantari, "Implementasi SNI ISO/IEC 17025:2017 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2018.
- [3] A. Energy, "Monthly Reference Price Calculations," Gas Royalty Operations, Juni 2022. [Online]. Available: <https://www.alberta.ca/alberta-natural-gas-reference-price.aspx>. [Accessed 30 Juli 2022].
- [4] ASTM, "Standard Practice for Preparation of Low-Pressure Gas Blends," *ASTM D 4051-99*, pp. 1-4, 2004.
- [5] Kang-Koeng, "Kontrol Sekuensial," *Scribd*, pp. 1-6, 2017.
- [6] W. Bolton, Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol (Translation of: Instrumentation and Control System), Jakarta: Erlangga, 2006.