

# ONLINE MONITORING DAN KONTROL BESARAN PRESSURE DAN FLOW PADA PROTOTYPE PERPIPAAN MINYAK DENGAN MENGGUNAKAN POLE PLACEMENT PADA NETWORKED CONTROL SYSTEM

## ONLINE MONITORING AND CONTROL OF PRESSURE AND FLOW IN OIL PIPELINE SYSTEM PROTOTYPE USING POLE PLACEMENT IN NETWORKED CONTROL SYSTEM

Febrian Fajar Akmal<sup>1</sup>, Erwin Susanto<sup>2</sup>, Muhammad Ridho Rosa<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Universitas Telkom, Bandung

1fajarakmal@student.telkomuniversity.ac.id, 2erwinelektro@telkomuniversity.ac.id,

3mridhorosa@telkomuniversity.co.id

### Abstrak

Sistem perpipaan merupakan hal yang penting karena sebagai penyalur minyak dari sumur minyak ke tempat penampungan minyak. Sistem perpipaan memiliki masalah seperti *pressure drop* dan kebocoran. Untuk mengatasinya permasalahan tersebut dibutuhkan suatu sistem yang dapat memantau dan mengendalikan fluida di dalam sistem perpipaan. Pada penelitian tugas akhir ini dirancang sebuah sistem *online monitoring* dan kendali besaran *pressure* dan *flow* sistem prototipe perpipaan minyak. Sistem kendali menggunakan metode *pole placement* yang diterapkan pada skema *Network Control System* (NCS). Sistem *Network Control System* (NCS) menggunakan bluetooth sebagai media komunikasinya. Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu memperoleh sistem yang dapat memonitoring *pressure* dan *flow* dalam *pipeline system* dan mengontrol keluaran flow air. Pengujian yang dilakukan adalah keluaran flow air *tracking* ke *set point* di daerah kerja  $0.00021 \text{ m}^3/\text{s}$  sampai dengan  $0.00007 \text{ m}^3/\text{s}$ . Untuk *tracking* ke *set point*  $0.00018 \text{ m}^3/\text{s}$  memiliki nilai %OS sebesar 17.8% dan  $T_s$  sebesar 27.2 detik, *set point*  $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$  memiliki nilai %OS sebesar 13.4% dan  $T_s$  sebesar 6 detik, *set point*  $0.00010 \text{ m}^3/\text{s}$  memiliki nilai %OS sebesar 8% dan  $T_s$  sebesar 11 detik pada sistem prototipe perpipaan secara *wireless*.

**Kata Kunci :** *Pipeline, Flow, Pressure, Pole-Placement, Network Control System*

### Abstract

Pipeline system is important because it supplies oil from Wells to oil shelters. Pipeline systems have problems like pressure drop and leaks. To fix the problem would require a system that monitors and controls the fluid in the pipeline system. In the final project was designed an online monitoring system and control pressure and flow prototype oil pipeline system. The control system uses pole placement methods that are applied to network control system (NCS). The network control system (NCS) uses Bluetooth as its communication medium. The results obtained from this study are obtaining a system that can monitor pressure and flow in the pipeline system and control flow water output. The test is the flow air tracking output to set points in the work area  $0.00021 \text{ m}^3/\text{s}$  up to  $0.00007 \text{ m}^3/\text{s}$ . For tracking to set point  $0.00018 \text{ m}^3/\text{s}$  has a value of %OS 17.8% and  $T_s$  of 27.2 seconds, set point  $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$  has a value of %OS of 13.4% and  $T_s$  of 6 seconds, set point  $0.00010 \text{ m}^3/\text{s}$  has a value of %OS of 8% and  $T_s$  of 11 seconds on a wireless prototype pipeline system.

**Keywords :** *Pipeline, Flow, Pressure, Pole-Placement, Network Control System*

### 1. Pendahuluan

Pipa penyalur atau *pipeline* merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam kegiatan produksi pada industri migas yaitu untuk membawa fluida produksi (minyak dan gas) dari suatu titik distribusi ke titik distribusi lain, terutama untuk menempuh jarak yang jauh melalui darat maupun laut[1].

Terdapat beberapa dinamika permasalahan dalam proses transportasi fluida produksi (minyak dan gas) pada pipa penyalur diantaranya adalah terjadinya kehilangan tekanan aliran fluida dalam pipa dan kebocoran. Dalam kurun waktu lima tahun pernah terjadi masalah kebocoran pipa transmisi minyak mentah milik PT. Pertamina RU V di Balikpapan pada akhir bulan Maret 2018. Kebocoran ini menyebabkan rusaknya lingkungan di 7.000 hektar

dengan panjang pantai terdampak di Kota Balikpapan dan Penajam Paser Utara sekitar 60 kilometer[2]. Kegagalan jalur pipa ini disebabkan oleh kurangnya sistem pemantauan dan pengendalian besaran arus dan tekanan di jalur pipa. Maka dari itu dibutuhkan alat yang dapat memantau dan mengendalikan besaran arus dan tekanan minyak di dalam sistem pipa secara jarak jauh dan otomatis. Pada penelitian sebelumnya yang diteliti oleh pengendalian dan pemantauan besaran arus dan tekanan minyak di dalam sistem menggunakan Programmable Logic Control (PLC) dengan metode kontrol PID[3].

Untuk meningkatkan industri pertambangan minyak bumi dalam sistem penyalurannya penulis menyarankan monitoring besaran *pressure* dan *flow* dan kontrol besaran *pressure* dan *flow* pada sistem penyaluran pipa dengan metode *pole placement* pada *Networked Control System*. *Pole placement* adalah metode sistem kendali yang digunakan di sistem umpan balik untuk menempatkan pole baru pada *plant loop* tertutup yang telah ditentukan di bidang *S* dan untuk meletakkan pole baru ditambahkan gain feedback. *Networked Control System* adalah sistem kendali yang diimplementasikan pada sebuah sistem menggunakan jaringan komunikasi sebagai perantara antara alat pengontrol dengan sistem yang dikendalikan. Dengan penerapan ini maka memungkinkan *controller* dengan sistem terpisah dengan jarak yang cukup jauh. Pada saat ini semua sistem kendali menggunakan pemantauan secara jarak jauh / tak langsung agar otomasinya meningkat dan mudah terintegrasi antara sensor, aktuatur, dan panel kontrol.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Water Hammer Equation

Pada umumnya aliran transient menjelaskan ketidakstabilan fenomena aliran fluida di sistem pipa. Jika fluida adalah air, fenomena ini disebut efek water hammer. Tekanan seketika meningkat dalam sistem pipa yang memiliki aliran stabil. Tekanan disebabkan oleh penutupan katup secara mendadak. Dalam hal ini, perubahan tekanan berbanding langsung dengan perubahan kecepatan. Persamaan dasar *water hammer* dirumuskan dari tekanan yang dihasilkan dari gelombang sentakan karena dihasilkan dari penutupan katup secara mendadak. Persamaan *water hammer* dapat diwakili oleh pasangan *nonlinear hyperbolic* persamaan parsial diferensial yang mewakili kontinuitas dan gerakan fluida dalam pipa. *Water hammer equation* adalah:

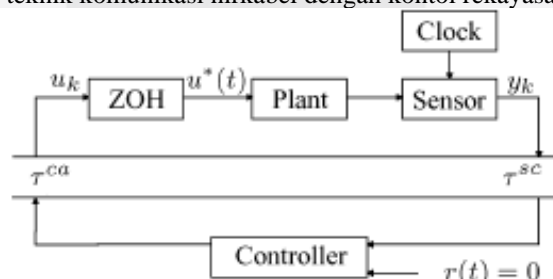
$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial z} &= 0 \\ \frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial z} + J(Q) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana  $z$  menunjukkan satu-dimensi kordinat spasial [m],  $t$  adalah waktu [s],  $H$  adalah *pressure head* [m],  $Q$  aliran cairan [ $m^3/s$ ],  $A$  adalah daerah persilangan [ $m^2$ ],  $g$  adalah percepatan gravitasi [ $m/s^2$ ],  $c$  adalah kecepatan gelombang [ $m/s$ ], dan  $J$  adalah kerugian friksi yang mempengaruhi dinamika fluida dalam pipa. Untuk merancang sistem monitoring dan kontrol besaran *pressure* dibutuhkan bentuk representasi state space menurut persamaan (1)

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\frac{c^2}{gA_1} x_2 - u_1 \\ \dot{x}_2 &= -u_5 g \frac{x_3 - x_1}{u_3} - \frac{f_1}{2Du_5} x_2 |x_2| \end{aligned} \quad (2)$$

### 2.2 Networked Control System

*Networked Control System* (NCS) adalah sistem kendali umpan balik yang dihubungkan melalui saluran komunikasi jaringan, yang dapat dibagi dengan node lain diluar sistem. NCS memiliki keuntungan seperti *maintance*, instalasi yang mudah, *flexibilitas* yang tinggi dan harga pemasangan yang murah[6]. NCS adalah gabungan dari dua bidang teknik, teknik komunikasi nirkabel dengan kontrol rekayasa.



Gambar 1. *Networked Control System* (NCS)

Secara umum, NCS terdiri dari sensor, *actuator*, dan pengendali. Cara kerja NCS adalah informasi untuk mengendalikan plant, dari input referensi, sensor, maupun komponen yang mempengaruhi sistem akan dikirim kepada pengontrol plant melalui jaringan.

### 2.3 Pole Placement

Metode *Pole placement* adalah suatu metode sistem kendali yang digunakan dalam teori sistem umpan balik untuk menempatkan *pole* baru pada *plant loop* tertutup yang telah ditentukan di bidang *S* dan untuk meletakkan

*pole* baru ditambahkan gain feedback [11]. Bentuk dinamika sistem lingkaran tertutup dapat direpresentasikan dengan persamaan *continuous time-invariant state space*:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t)\end{aligned}\quad (3)$$

Menentukan *pole* pada *pole placement* membutuhkan nilai %OS dan  $T_{s(2\%)}$ . Nilai *Overshoot* %OS adalah menunjukkan perbedaan nilai antara waktu puncak dan output yang stabil. *Settling time*  $T_s$  adalah waktu yang dibutuhkan dari respon untuk mencapai dan berada di keadaan stabil. Berikut persamaan %OS dan  $T_{s(2\%)}$ :

$$\begin{aligned}\%OS &= e^{-\left(\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \times 100 \\ T_{s(2\%)} &= \frac{4}{\zeta\omega_n}\end{aligned}\quad (4)$$

Menentukan *pole* persamaan sistem orde 2:

$$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n + \omega_n^2}\quad (5)$$

Menentukan Nilai gain K dan gain N:

$$\begin{aligned}K &= [0 \ \dots \ 0 \ 1][B \ AB \ \dots \ A^{n-1}B]^{-1}\Gamma(A) \\ \Gamma(A) &= A^n + \alpha_1 A^{n-1} + \dots + \alpha_{n-1}A + \alpha_n I \\ N &= [C(-A(A - BK))^{-1}B]^{-1}\end{aligned}\quad (6)$$

Metode *pole placement* berdasarkan umpan balik mencapai respons *steady state* dan *tracking* membutuhkan model yang sempurna untuk memastikan  $Ax(t) + Bu(t)$  memenuhi dinamika proses. Alternatif untuk kalibrasi adalah untuk menggunakan umpan balik integral, di mana pengontrol menggunakan integrator untuk memberikan nol kesalahan *steady state*. Pendekatan dasar dalam umpan balik integral adalah untuk membuat state dalam pengontrol yang menghitung integral dari sinyal *error*, yang kemudian digunakan sebagai istilah *feedback* dengan sistem augmenting dengan state baru  $z$  [12]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ax + Bu \\ y - r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Ax + Bu \\ Cx - r \end{bmatrix}\quad (7)$$

## 2. 4 Komunikasi Bluetooth

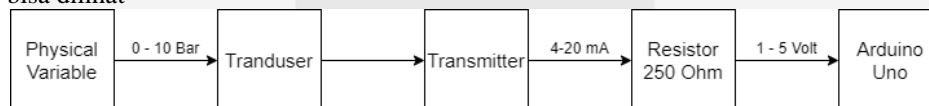
Bluetooth adalah teknologi komunikasi *wireless* (tanpa kabel) yang beroperasi dalam frekuensi 2,4 GHz *unlicensed ISM (Industrial, Scientific and Medical)* dengan menggunakan sebuah *frequency hopping* yang mampu menyediakan komunikasi data dan suara secara *real-time* antara host-host Bluetooth dengan jarak jangkauan layanan yang terbatas (sekitar 10 meter). Bluetooth berupa card yang menggunakan frekuensi radio standar IEEE 802.11 dengan jarak layanan yang terbatas dan kemampuan data transfer lebih rendah dari card untuk *Wireless Local Area Network (WLAN)* [13].

## 2. 4 Waterflow sensor

Hall Effect flow sensor YF-S201 adalah sensor yang digunakan untuk pengukuran flow aliran fluida. Cara kerja Hall Effect flow sensor YF-S201 adalah saat air mengalir melewati rotor kincir, rotor kincir akan berputar. Kecepatan putaran ini akan tergantung dengan kecepatan aliran air. Hall Effect sensor akan mengeluarkan output pulsa sesuai dengan besarnya aliran air. Karakteristik sensor YF-S201 setiap 7.5 Hz sama dengan 1 Liter/menit [15]. Satuan internasional *flow* adalah  $m^3/s$ , untuk  $1 m^3/s$  sama dengan 1 Liter/menit dibagi 60000.

## 2. 5 Pressure Transmitter

Pressure transmitter adalah salah satu jenis transduser untuk mengkonversi tekanan menjadi bentuk digital. Dalam industri, transmitter sangat penting untuk melakukan kontrol dan *monitoring* sistem tanpa memerlukan kontak langsung dengan alat ukur. Sinyal keluaran pressure transmitter sebesar 4-20 mA untuk bisa diolah oleh arduino uno bisa dilihat



Gambar 2. Transmitter output signal ke arduino uno

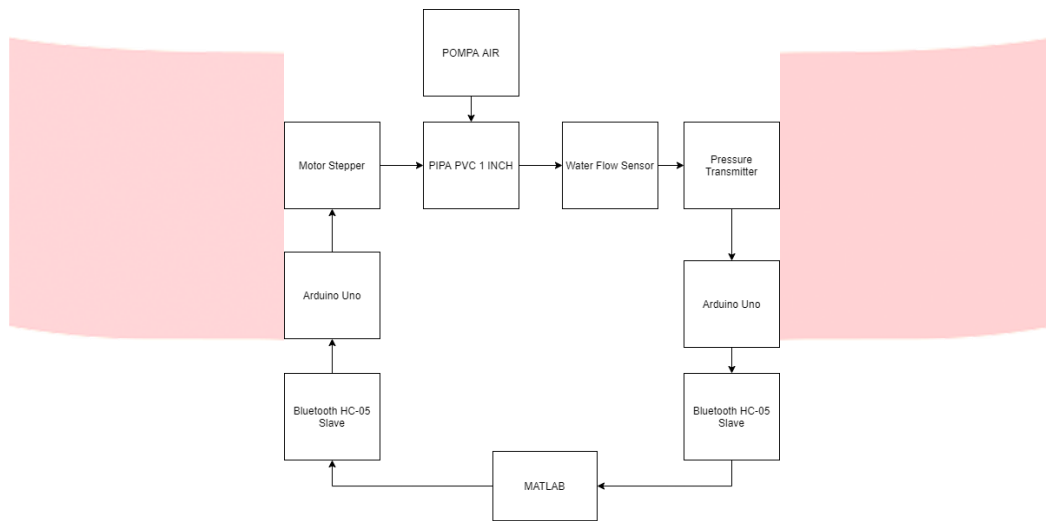
Menurut Gambar 2 keluaran pressure transmitter membutuhkan resistor 250 Ohm supaya keluaran nilai tegangan yang terbaca oleh arduino uno. Arduino uno akan membaca tegangan di pin analog dan mengkonversi ke dalam satuan Bar.

## 3. Pembahasan

### 3. 1 Perancangan Sistem Secara Umum

Desain sistem pada tugas akhir ini dirancang untuk memonitoring besaran *pressure* dan *flow* dan mengendalikan *flow* keluaran di dalam pipa. Untuk mengukur besaran *pressure* dan *flow* menggunakan sensor *water flow*, *pressure transmitter* dan *pressure gauge*. Hasil monitoring akan ditampilkan di MATLAB. Desain

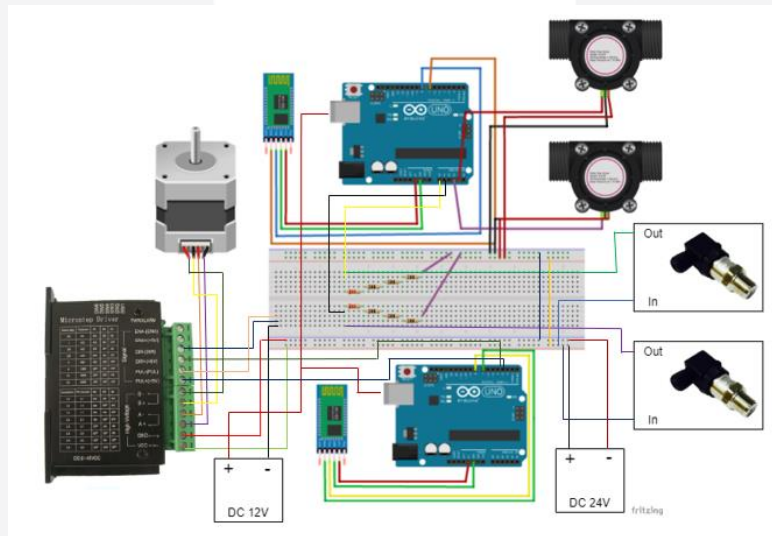
sistem kendali menggunakan *Network Control System* (NCS) dengan konfigurasi komunikasi antara mikrokontroler Arduino uno dengan MATLAB menggunakan Bluetooth HC-05. Alat yang digunakan untuk mengendalikan *flow* adalah kran motor stepper yang diatur putaran bukannya.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

### 3.3 Wiring diagram

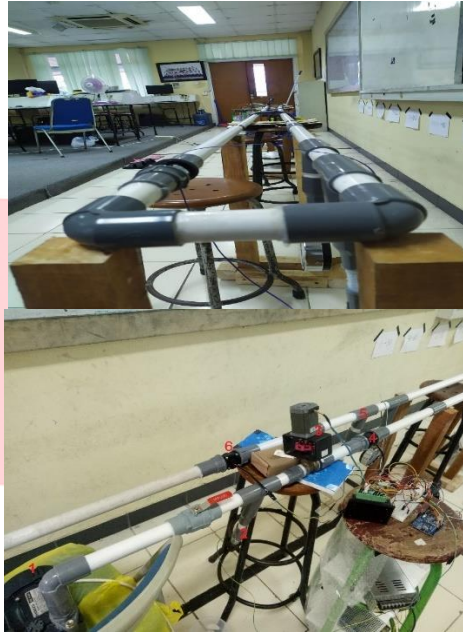
Berikut ini wiring diagram alat keseluruhan yang terdiri dari water flow sensor, pressure transmitter, Motor stepper nema 23, Bluetooth HC-05, Arduino Uno, motor driver TB6600, power supply 12 Volt dan power supply 24 Volt.



Gambar 4. Wiring Diagram

### 3.3 Desain Pipeline System

Dalam tahapan perancangan suatu sistem, tentunya dibutuhkan adanya desain perangkat keras sebagai pedoman atau acuan dalam pembuatan perangkat keras sistem. Berikut merupakan desain *pipeline system* yang dibuat dalam penelitian ini.

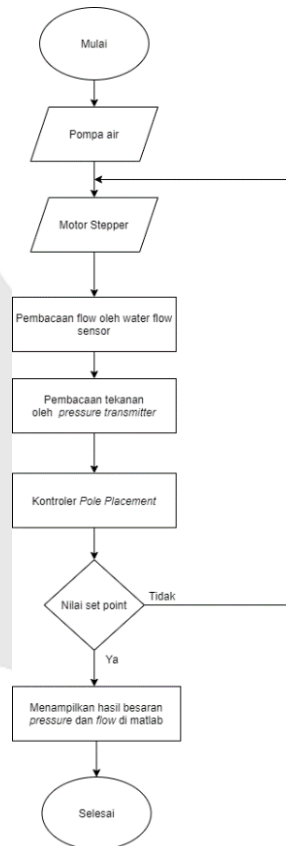


Gambar 5. Desain perangkat keras

Tabel 1. Desain Perangkat Keras Prototype Pipeline Sytem

| No | Nama Komponen                    |
|----|----------------------------------|
| 1. | Pompa Air                        |
| 2. | Pressure Transmitter titik awal  |
| 3. | Stepper Valve                    |
| 4. | Water flow sensor titik awal     |
| 5. | Pressure Transmitter titik akhir |
| 6. | Water flow sensor titik akhir    |

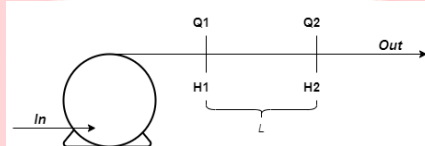
3. 3 Diagram alir



Gambar 6. Diagram alir

Berdasarkan Gambar 6. proses dimulai dengan pompa air yang menyala menghasilkan air yang masuk ke pipa. Air yang mengalir pada sistem pipa diukur oleh sensor *water flow* dan *pressure transmitter* yang diolah oleh mikrokontroler. Kontroler *pole placement* akan mengendalikan besaran *pressure* dan *flow* sesuai set point melalui sudut buka motor stepper.

### 3. 4 Merancang State-space untuk model *pipeline system*



Gambar 7. Model *pipeline system*

Dapat dilihat pada Gambar 7. menunjukkan Q1 adalah *flow* di titik awal, H1 adalah *Pressure* di titik awal, Q2 adalah *Flow* di titik akhir dan H2 adalah *Pressure* di titik akhir. Untuk merancang sistem Pole-Placement dibutuhkan sebuah model state-space. Cara mencari state space menurut persamaan 2:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-c^2}{AgL} \\ \frac{Ag}{L} & \frac{-f}{2DA|Q_2|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{-c^2-1}{AgL} \\ 0 \end{bmatrix} [u_1, u_2] \quad (7)$$

### 3. 5 Merancang model pole placement

Parameter yang digunakan dalam sistem pipa adalah:

$$c = 343.3 \text{ m/s}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$A = 0.0005064506 \text{ m}^2$$

$$D = 0.0254 \text{ m}$$

$$f = 0.02$$

$$Q_2 = 0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

Keterangan:

$c$  = Kecepatan suara ( $\text{m/s}$ )

$g$  = Percepatan Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$A$  = Luas penampang pipa ( $\text{m}^2$ )

$D$  = Diameter pipa ( $\text{m}$ )

$f$  = Koefisien friksi

$Q_2$  = Flow di titik 2 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$L$  = Panjang pipa ( $\text{m}$ )

Bentuk *state-space* untuk spesifikasi yang digunakan dari persamaan (6) menjadi:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -2581000 \\ 0.000455 & -0.116 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2581000 \\ 0 \end{bmatrix} [u_1, u_2] \quad (8)$$

$$y = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Nilai pole untuk sistem orde 2 pipeline system dengan nilai %OS = 12% dan  $T_{s(2\%)} = 2$  detik dengan mensubstitusikan ke persamaan (5) dan (6) yaitu pole =  $-2 \pm j2.96$ . Nilai N sebesar 0.010998903518092 diperoleh dari persamaan (6). Nilai K sebesar = [0.000001504536846 -0.989385992732952].

### 3. 5 Merancang model pole placement integral action

Merancang pemodelan pole placement integral action membutuhkan persamaan state baru dengan mensubstitusikan persamaan (6) ke persamaan (8). Nilai A dan B menjadi:

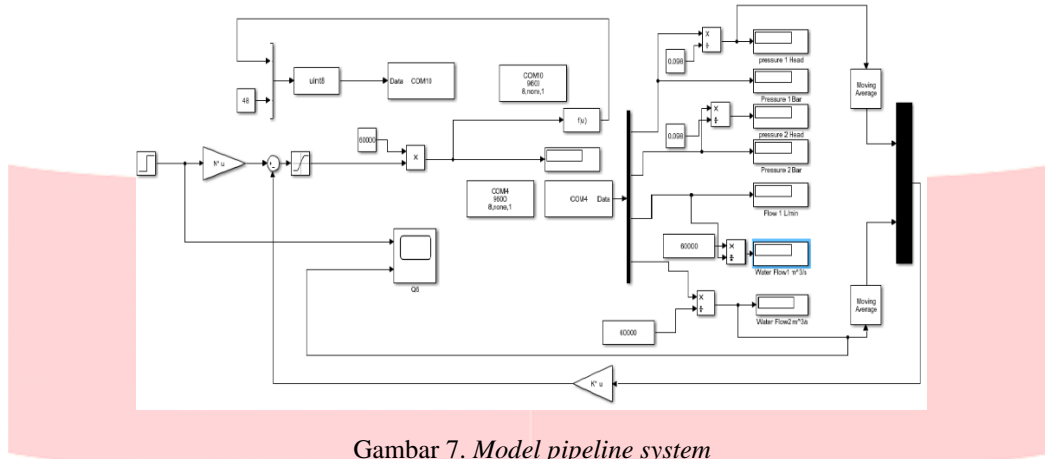
$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & -2581000 & 0 \\ 0.000455 & -0.116 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}; \bar{B} = \begin{bmatrix} 2581000 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Nilai pole untuk pole placement Integral Action =  $-2 + j2.96, -2 - j2.96, -2$ , Nilai K = [0.000002279393479 - 0.982936054153680 0.021694362043026] dari persamaan(6). Nilai K *feedback* = [0.000002279393479 - 0.982936054153680] untuk simulasi, Nilai N = 0.021694362043026.

## 4. Hasil Pengujian dan Analisis

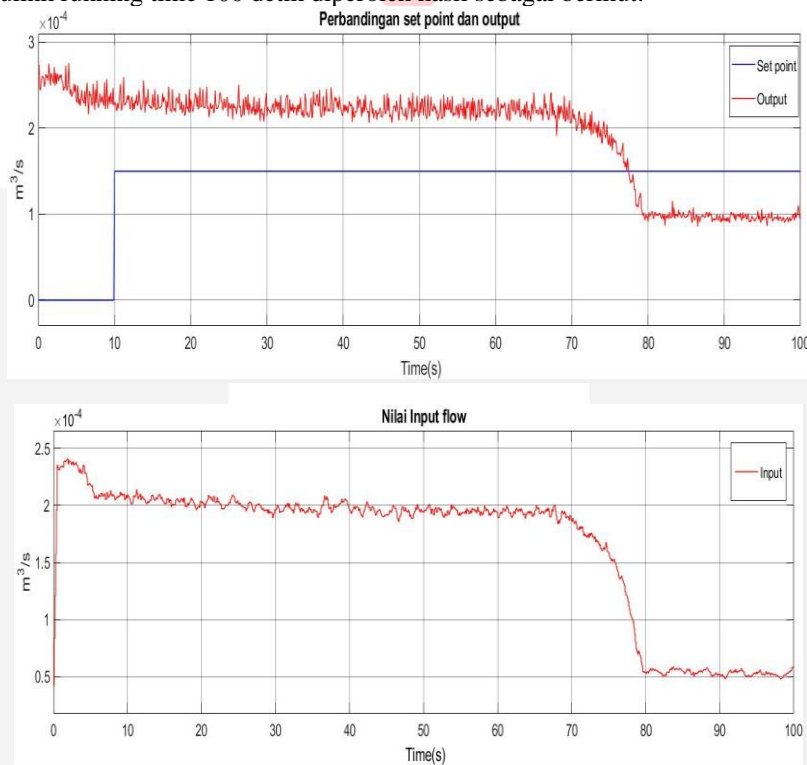
### 4. 1 Pengujian Implementasi Pole placement terhadap *pipeline system*

Pengujian dilakukan dengan merangkai blok-blok pada simulink seperti pada gambar:



Gambar 7. Model pipeline system

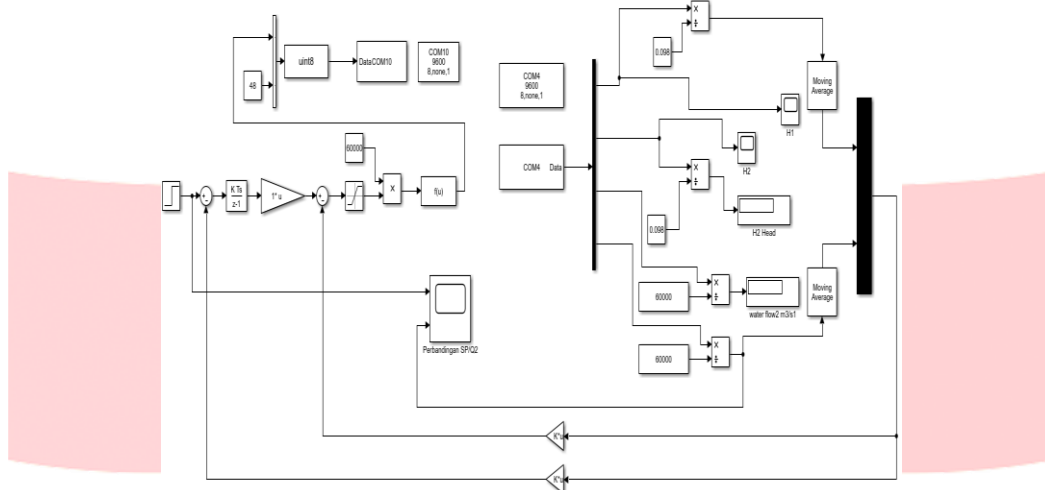
Pengujian dilakukan dengan nilai *set-point* yang digunakan sebesar  $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan nilai K dan N diperoleh sama dengan simulasi Pole Placement dengan daerah kerja antara  $0.00007 \text{ m}^3/\text{s}$  sampai dengan  $0.00021 \text{ m}^3/\text{s}$ , dengan waktu simulink running time 100 detik diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 8. Nilai set point,input,output dengan Nilai K dan N sama dengan perancangan. Dari hasil Gambar 8. menunjukkan bahwa sistem tidak mau *tracking* ke setpoint  $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sistem menunjukkan bahwa sistem bekerja didaerah kerja antara  $0.00021 \text{ m}^3/\text{s}$  -  $0.0007 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4. 2 Pengujian implementasi Pole Placement Integral Action terhadap pipeline system

Pengujian dilakukan dengan merangkai blok-blok pada simulink seperti pada gambar:

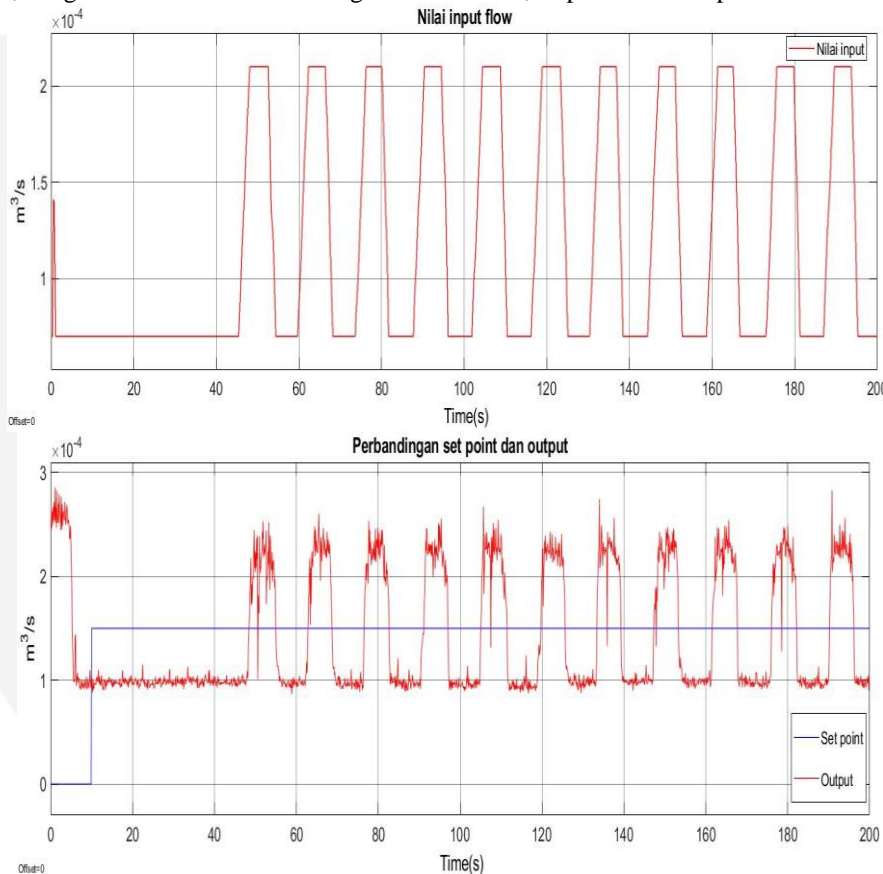


Gambar 9. Blok simulasi implementasi pole placement integral

Pengujian dilakukan dengan tiga cara yaitu pengujian nilai K dan N simulasi pole placement integrator action, pengujian nilai K (simulasi pole placement) dan N = 1, dan pengujian nilai K integrator action dengan trial error.

**4.2.1 Pengujian nilai K(Sama dengan perancangan) dan N = 1 Untuk PP dengan integrator**

Pengujian dilakukan dengan nilai set-point yang digunakan sebesar  $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan nilai K dan N diperoleh sama dengan simulasi Pole Placement integral action dengan daerah kerja antara  $0.00021 \text{ m}^3/\text{s}$  sampai dengan  $0.00007 \text{ m}^3/\text{s}$  , dengan waktu simulink running time 200 detik, step time = 10 diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 9. Nilai set point,input,output dengan Nilai K(sama dengan perancangan) dan N =1

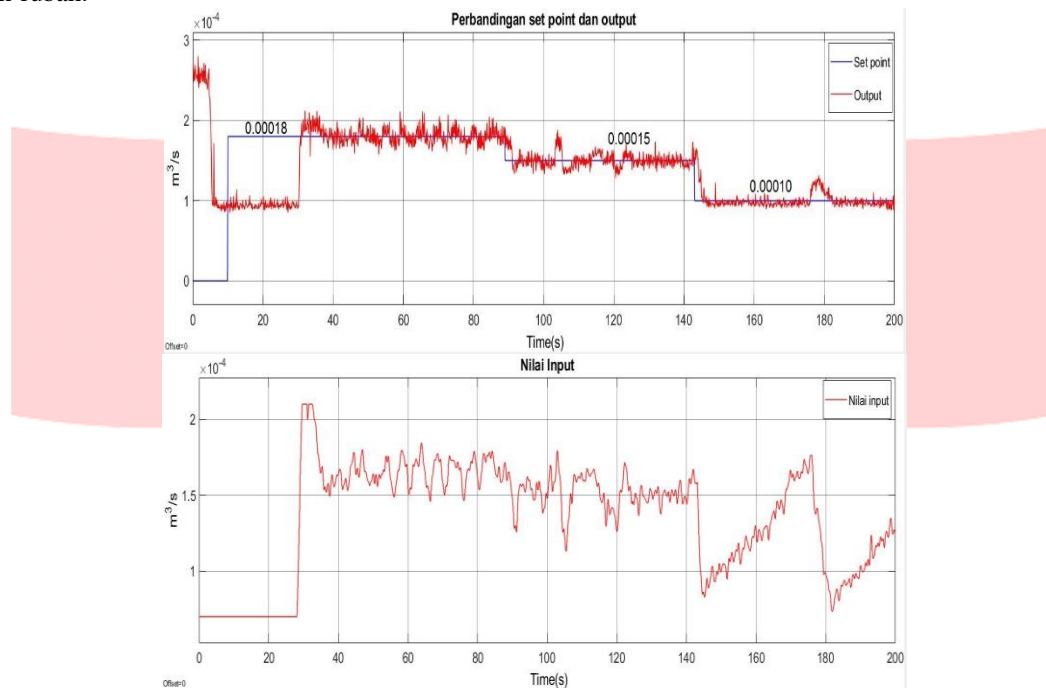
Dari Gambar 9. saat detik ke 10 sistem mulai tertahan didaerah kerja  $0.00010 \text{ m}^3/\text{s}$  sampai detik ke 43 sistem mulai mengalami perubahan input sampai detik ke 200.

**4.2.2 Pengujian nilai K integral action dengan trial error**

Pengujian trial error pada pole placement integral action mencari nilai N dan K yang sesuai pada sistem dan bisa tracking dengan maksimal. Besar nilai P =  $[-2.5+28.96i \ -2.5-28.96i \ -25]$  dengan Nilai K yang didapat =  $[-$



0.000011577673073 0.17853358675528] besar nilai  $N = 1$ , simulink running time 200 detik dengan nilai set point dirubah-rubah.



Gambar 10. Nilai set point,input,output dengan pole trial error dan  $N = 1$

Dari Gambar 10. pada detik ke 10 sistem tertahankan di nilai input =  $0.00007 \text{ m}^3/\text{s}$  dan nilai output sistem =  $0.00010 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sistem mulai tracking ke set point pada detik ke 30 dengan nilai output di sekitar  $0.00018 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pada detik ke 90 sistem mulai tracking ke set point  $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$  dan output sistem sekitar  $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pada detik ke 142 sistem mulai tracking ke set point  $0.00010 \text{ m}^3/\text{s}$  dan output sistem  $0.00010$ . Pada detik ke 142 nilai flow tidak tertahankan di nilai  $0.00007 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nilai  $\%OS$  dan  $T_s$  ditunjukkan pada tabel 2:

Tabel 2. Nilai  $\%OS$  dan  $T_s$  sistem

| Set Point | $\%OS$ | $T_s$  |
|-----------|--------|--------|
| 0.00018   | 17.8 % | 27.2 s |
| 0.00015   | 13.4%  | 6 s    |
| 0.00010   | 8 %    | 11 s   |

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini adalah:

1. Telah dirancang sistem *online monitoring besaran pressure dan flow* pada Networked Control System dengan mikrokontroler arduino uno dengan komunikasi bluetooth HC-05.
2. Telah dirancang simulasi pole placement orde 2 terhadap *pipeline system* dengan desain memiliki respon sistem  $\%OS = 12\%$  dan  $T_{s(2\%)} = 2$  detik.
3. Pengimplementasi simulasi Pole Placement terhadap prototipe *pipeline system* dengan respon sistem  $\%OS = 12\%$  dan  $T_{s(2\%)} = 2$  detik tidak tracking mencapai nilai *set point* yang diinginkan.
4. Telah dirancang sistem kontrol flow dengan Pole Placement-I memiliki output sistem yang tertracking ke set point dengan zona kerja sistem =  $0.00007 \text{ m}^3/\text{s}$  sampai dengan  $0.00021 \text{ m}^3/\text{s}$ , nilai pole  $[-2.5+28.96i -2.5-28.96i -25]$ , nilai  $N = 1$ . Untuk tracking ke *set point*  $0.00018 \text{ m}^3/\text{s}$  memiliki nilai  $\%OS$  sebesar 17.8% dan  $T_s$  sebesar 27.2 detik, *set point*  $0.00015 \text{ m}^3/\text{s}$  memiliki nilai  $\%OS$  sebesar 13.4% dan  $T_s$  sebesar 6 detik, *set point*  $0.00010 \text{ m}^3/\text{s}$  memiliki nilai  $\%OS$  sebesar 8% dan  $T_s$  sebesar 11 detik.

### 5.2 Saran

Saran bagi penelitian selanjutnya agar diperoleh hasil yang maksimal sebagai berikut:

1. Merancang desain matematis sebaik mungkin.

2. Mencari *valve* yang zona kerjanya besar supaya mudah untuk dikontrol.

## Referensi

- [1] M. R. Rahman, "Perencanaan Modifikasi Pipa Penyalur Minyak dengan Adanya Penambahan Platform Produksi," *Semin. Nas. Cendekiawan*, pp. 285–291, 2015.
- [2] M. Martaningtyas and H. D. Ariesyady, "Identifikasi Bahaya Dan Analisis Risiko Pada Jaringan Pipa Transmisi Crude Oil Di Perusahaan Migas," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 24, no. 2, pp. 1–14, 2018, doi: 10.5614/j.tl.2018.24.2.1.
- [3] E. B. Priyanka, C. Maheswari, and B. Meenakshipriya, "Parameter monitoring and control during petrol transportation using PLC based PID controller," *J. Appl. Res. Technol.*, vol. 14, no. 2, pp. 125–131, 2016, doi: 10.1016/j.jart.2016.03.004.
- [4] C. Verde and L. Torres, *Modeling and Monitoring of Pipelines and Networks Advanced tools for Automatic Monitoring and Supervision of Pipelines*, no. April. 2017.
- [5] M. Guillén, J. Dulhoste, G. Besancon, R. S. Study, O. F. A. Flow, and M. For, "STUDY OF A FLOW MODEL FOR DETECTION AND LOCATION OF LEAKS AND OBSTRUCTIONS IN PIPES M Guillén, J-F Dulhoste, Gildas Besancon, R Santos To cite this version : HAL Id : hal-00728678," 2012.
- [6] W. Networked, "RANCANG BANGUN KONTROL INDUSTRI BERBASIS WIRELESS NETWORKED CONTROL SYSTEM ( WNCS )," vol. 03, pp. 15–21, 2017.
- [7] M. B. G. Cloosterman, N. van de Wouw, W. P. M. H. Heemels, and H. Nijmeijer, "Stability of networked control systems with uncertain time-varying delays," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 54, no. 7, pp. 1575–1580, 2009, doi: 10.1109/TAC.2009.2015543.
- [8] S. Asif, "Networked Control System – An Overview," vol. 115, no. 6, pp. 26–30, 2015.
- [9] W. P. M. H. Heemels, A. R. Teel, and N. Van De Wouw, "Constraints : Tradeoffs Between Transmission Intervals, Delays and Performance," vol. 55, no. 8, pp. 1781–1796, 2010.
- [10] J. Lam, H. Gao, and C. Wang, "Stability analysis for continuous systems with two additive time-varying delay components," vol. 56, pp. 16–24, 2007, doi: 10.1016/j.sysconle.2006.07.005.
- [11] P. M. Astra, "Politeknik manufaktur astra," vol. 11, no. 8, 2020.
- [12] L. Lublin and M. Athans, "Linear quadratic regulator control," *Control Syst. Handb. Control Syst. Adv. Methods, Second Ed.*, pp. 375–400, 2010, doi: 10.1201/b10384.
- [13] V. Sukamto, "Teknologi Bluetooth Dan Aplikasinya Terhadap Jaringan Komputer," *Maj. Ilm. Inform.*, vol. 2, pp. 1–15, 2011.
- [14] K. V. S. S. S. Sairam, N. Gunasekaran, and S. Rama Reddy, "Bluetooth in wireless communication," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 6, pp. 90–96, 2002, doi: 10.1109/MCOM.2002.1007414.
- [15] J. Lalnunthari and H. H. Thanga, "Dependence of hall effect flow sensor frequency on the attached inlet and outlet pipe size," *2017 IEEE Int. Conf. Consum. Electron. ICCE-Asia 2017*, vol. 2018-January, pp. 56–60, 2018, doi: 10.1109/ICCE-ASIA.2017.8307842.
- [16] A. Uno and R. Front, "Arduino Uno," [Online]. Available: [www.fanell.com](http://www.fanell.com).
- [17] P. Module, "HC-05," pp. 1–13, 2010.
- [18] 1847 Electrical Equipment Store, "J-5718HB," *AliExpress*, 2015. <https://www.aliexpress.com/item/32863153515.html>.
- [19] A. Suharjono, L. N. Rahayu, and R. Afwah, "Aplikasi Sensor Flow Water Untuk Mengukur Penggunaan Air Pelanggan Secara Digital Serta Pengiriman Data Secara Otomatis Pada PDAM Kota Semarang," vol. 13, pp. 7–12, 2015.
- [20] SHIMIZU, "PS-128 BIT." <https://www.shimizu.co.id/pompa-sumur-dangkal-shimizu-ps-128-bit/>.