

# PELACAKAN KELUARAN SISTEM LINEAR POMPA PISTON TUNGGAL DENGAN KONTROL AREA SILINDER (TRACKING OUTPUT SYSTEM LINEAR SINGLE PISTON PUMP WITH CONTROL AREA OF CYLINDER)

Roizal Manullang<sup>1</sup>, Jondri<sup>2</sup>, Annisa Aditsania<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika, Universitas Telkom

<sup>1</sup>roizalmanullang@gmail.com, <sup>2</sup>jondri@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>annisaaditsania@gmail.com

## Abstrak

Pompa piston tunggal adalah salah satu jenis pompa yang memiliki satu silinder saja. Cara kerja dari alat ini adalah memompakan air yang berada di dalam silindernya untuk menghasilkan perbedaan tekanan sehingga perbedaan tekanan tersebut dapat dikonverter sebagai energi listrik. Penelitian ini berjudul Pelacakan Keluaran Sistem Linear Pompa Piston Tunggal Dengan Kontrol Area Silinder. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk memahami model sistem persamaan pompa piston tunggal serta merancang kontrol pompa piston tunggal terhadap area silinder-nya. Metode penelitian yang digunakan adalah sistem persamaan linear, metode numerik Runge Kutta Orde 4 dan tracking sistem persamaan. Maka dengan menggunakan persamaan variabel kontrol Area Silinder diperoleh nilai Area Silinder sebesar 0,004 hingga 0,19015. Serta tekanan pada reservoir atas tidak akan selalu naik melainkan mencapai nilai maksimal yang ditentukan yaitu sebesar 196430 Pa.

**Kata Kunci** : pompa piston tunggal, SPL, RK-4.

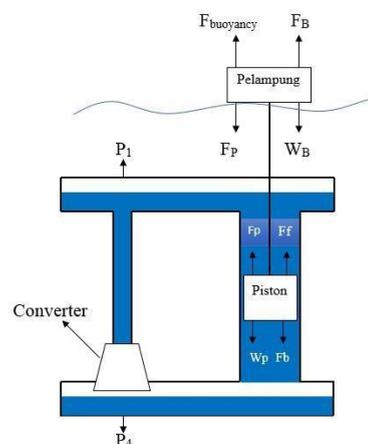
## 1. Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah penduduk, pengembangan wilayah, serta perkembangan teknologi yang semakin meningkat berdampak pada tingginya ketergantungan manusia terhadap sumber energi, terutama kebutuhan akan pemenuhan sumber energi listrik. Saat ini kebutuhan akan energi di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil, khususnya batubara. Tetapi secara umum dapat kita ketahui bahwa penggunaan bahan bakar fosil tidak selamanya dapat memenuhi segala kebutuhan manusia akan energi dalam jangka waktu yang panjang mengingat bahwa cadangan energi yang semakin lama semakin menipis. Penyediaan energi listrik yang dilakukan oleh beberapa pihak seperti PT.PLN (Persero) selaku lembaga resmi yang ditunjuk oleh pemerintah untuk mengelola kelistrikan di Indonesia belumlah maksimal. Sampai saat ini PT.PLN belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik secara keseluruhan [1]. Dalam tugas akhir ini akan dibahas tentang pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Ombak (PLTO) dengan menggunakan pompa piston. Tugas akhir ini akan difokuskan pada pelacakan keluaran sistem linear pompa piston tunggal dengan kontrol area silinder untuk menghasilkan energi sebanyak mungkin dengan menggunakan metode tracking persamaan linear dan runge kutta orde 4.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pompa Piston Tunggal

Sistem persamaan pompa piston tunggal yang belum memperhitungkan redaman dapat diilustrasikan pada gambar berikut :



Gambar 2.1-1: Pompa Piston Tunggal Tanpa Redaman

Pada Gambar 2.1-1, pelampung dan piston akan bergerak bersamaan. Karena kedua komponen ini dihubungkan dengan sebuah batang baja. Pelampung akan terapung diatas permukaan laut dan bergerak sesuai keadaan gelombang laut yang terjadi. Piston akan berada di dalam silinder dan akan melakukan pergerakan yang sama dengan pelampung. Saat gelombang laut tinggi atau naik maka pelampung dan piston dikatakan melakukan pergerakan upstroke, dan sebaliknya saat gelombang akan kembali turun maka pelampung dan piston dikatakan melakukan pergerakan downstroke. Silinder berfungsi sebagai tempat pergerakan upstroke dan downstroke piston, dan sekaligus sebagai penampungan sementara fluida. Saat pelampung dan piston melakukan gerakan upstroke maka akan menghasilkan sebuah tekanan pada reservoir atas (p1). Gerakan upstroke yang terjadi tidak akan merubah tekanan pada reservoir bawah (p4), sehingga dapat dikatakan bahwa tekanan pada reservoir bawah akan selalu konstan. Converter pada sistem ini berfungsi sebagai komponen yang akan merubah tekanan yang dihasilkan oleh pompa piston tunggal menjadi listrik.

**2.2. Derajat Relative**

Suatu sistem linear dikatakan memiliki derajat relative  $r$  jika:

- $h(s) = 0$  untuk setiap  $s$  dalam lingkungan  $s_0$  dan setiap  $k < (r - 1)$
- $h(s) \neq 0$ .

$L(.)$  adalah turunan Lie. Turunan Lie merupakan operator hasil kali diferensial orde  $k$  dengan nilai dari fungsi berkaitan. Dalam persamaan matematis turunan Lie dapat dinyatakan sebagai berikut [4] :

$$L^k h(x) = \frac{d^k}{dt^k} h(x) \text{ dan } L^0 h(x) = h(x) \tag{1}$$

**2.3. Tracking Persamaan Linear**

Pandang sistem persamaan linear berikut

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{2}$$

$$y = h(x) \tag{3}$$

jika  $y_d$  merupakan notasi track tujuan dari output sistem. Maka proses tracking adalah proses untuk mendesain kontrol  $u$  yang dapat memalikasi jarak antara  $h(x)$  dengan  $y_d$ . Pada penelitian kali ini, berikut adalah langkah-langkah untuk membangun kontrol [2] :

- Hitung derajat relative ( $r$ ) dari sistem persamaan
- Tentukan matriks  $\Lambda$  dimana

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_{r-1} \end{pmatrix}$$

- Membangun persamaan kontrol

$$h(x) \Lambda^{-1} (\Lambda x + \dot{y}_d - \dot{h}(x)) \tag{4}$$

dimana  $\Lambda \in \mathbb{R}^{r \times r}$ .

**2.4. Runge-Kutta Orde 4**

Metode *Runge Kutta-4* merupakan teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial biasa. Metode ini mempunyai potongan error  $O(h^4)$ , dan memberikan solusi  $y(t)$  yang memiliki lima turunan kontinu. Kemudian notasi  $k_1, k_2, k_3, k_4$  di eliminasi berturut-turut di variabel kedua  $f(t, y)$  [3].

**3. Perancangan Sistem**

Tahap pertama pada penelitian ini adalah membangun model pompa piston tunggal yang belum mempertimbangkan redaman. Pembangunan model ini didasarkan pada gaya-gaya yang timbul pada pompa piston dan pelampung (gambar 2.1.a). Gaya-gaya pada pompa piston dan pelampung akan diselesaikan dengan menggunakan Hukum Newton II sehingga menghasilkan sistem persamaan linear (SPL). Tetapi dengan tidak adanya redaman maka terjadi kehilangan energi saat gerakan *upstroke* dan *downstroke* yang mengakibatkan tidak optimalnya model tersebut.

Untuk memperbaiki model awal tersebut, maka pada tahap kedua dibangun model pompa piston tunggal yang sudah mempertimbangkan redaman. Dan persamaan pompa piston dengan redaman pada saat gerakan *upstroke* dan *downstroke* dapat dilihat di bab 2.

Pada tahap ke tiga ini adalah merancang kontrol sistem persamaan linear pompa piston yang sudah didapatkan pada tahap sebelumnya. Kontrol dibutuhkan untuk menyadari bahwa gelombang yang dapat mempengaruhi konverter energi dalam tinggi dan periode [4][5]. Kontrol berfungsi untuk memaksimalkan jumlah energi yang diekstraksi kopling antara setiap pelampung. Untuk membangun persamaan kontrol digunakan metode tracking persamaan linear.

Tahap keempat ini adalah menentukan solusi sistem persamaan linear pompa piston tunggal. Persamaan kontrol area silinder yang dibangun pada tahap tiga kemudian disubstitusikan ke sistem persamaannya dan akan diselesaikan dengan menggunakan metode runge-kutta orde 4. Dengan menemukan solusi sistem persamaan baru yang sudah dioptimalkan diharapkan mampu menghasilkan tekanan yang besar yang nantinya akan diubah menjadi energi listrik.

#### 4. Pengujian dan Analisis

##### 4.1. Model Sistem Persamaan Pompa Piston Tanpa Kontrol

Persamaan pompa piston tunggal saat *upstroke*

$$\begin{aligned}
 & \frac{d^2 x_1}{dt^2} = \frac{k}{m_1} (x_2 - x_1) + \frac{k}{m_1} (x_1) + \frac{F_p(x_1, x_2)}{m_1} - \frac{d}{dt} \frac{dx_1}{dt} \\
 & \frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{k}{m_2} (x_1 - x_2) - \frac{k}{m_2} (x_2) - \frac{k}{m_2} (x_1 - x_2) + \frac{d}{dt} \frac{dx_2}{dt} \\
 & \frac{d^2 x_1}{dt^2} = \frac{k}{m_1} (x_2 - x_1) + \frac{k}{m_1} (x_1) + \frac{F_p(x_1, x_2)}{m_1} - \frac{d}{dt} \frac{dx_1}{dt} \\
 & \frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{k}{m_2} (x_1 - x_2) - \frac{k}{m_2} (x_2) - \frac{k}{m_2} (x_1 - x_2) + \frac{d}{dt} \frac{dx_2}{dt}
 \end{aligned}$$

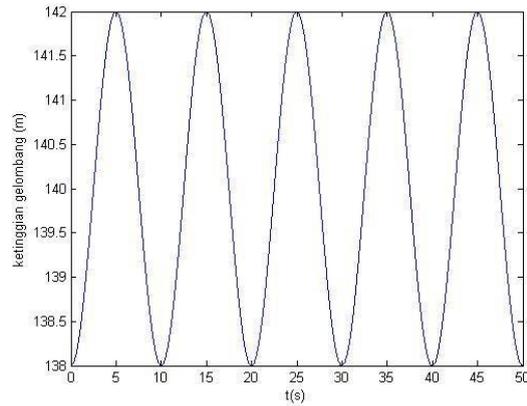
Sedangkan pada saat *downstroke* diperoleh persamaan:

$$\begin{aligned}
 & \frac{d^2 x_1}{dt^2} = \frac{k}{m_1} (x_2 - x_1) + \frac{k}{m_1} (x_1) + \frac{F_p(x_1, x_2)}{m_1} - \frac{d}{dt} \frac{dx_1}{dt} \\
 & \frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{k}{m_2} (x_1 - x_2) - \frac{k}{m_2} (x_2) - \frac{k}{m_2} (x_1 - x_2) + \frac{d}{dt} \frac{dx_2}{dt}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut diperoleh hasil :

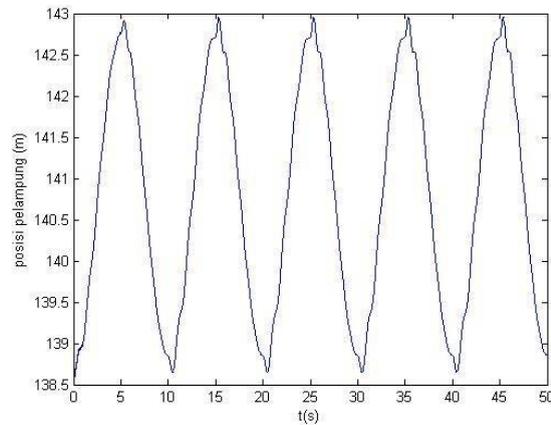
 = 0

 = 0



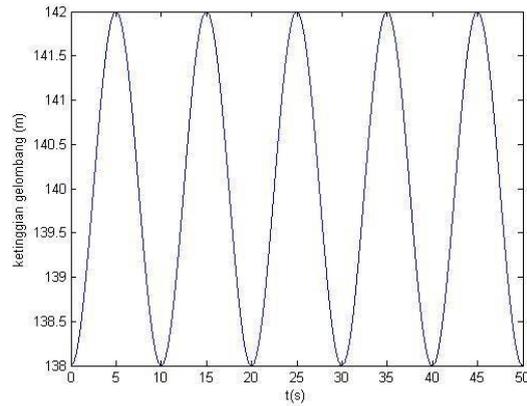
Gambar 4.1-1 : Grafik Ketinggian Gelombang Laut

Gambar 4.1-1 merupakan grafik ketinggian gelombang laut yang diharapkan. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa ketinggian gelombang mencapai 4 m. Kondisi gelombang menjadi suatu kondisi pergerakan terhadap pelampung dan piston.



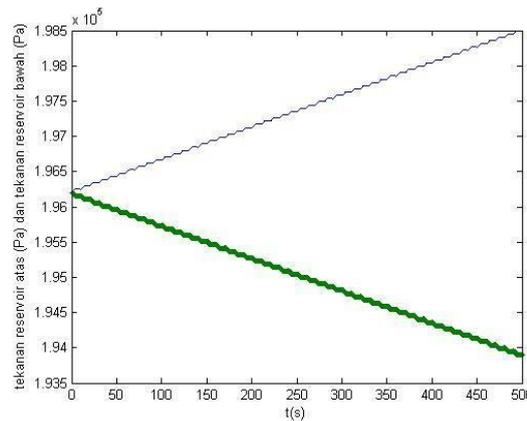
Gambar 4.1-2 : Grafik Posisi Pelampung

Pada Gambar 4.1-2 dapat dilihat bagaimana posisi pelampung pada saat terjadinya gelombang laut. Asumsi awal yang diberikan untuk percobaan ini adalah 138,599 m dengan periode waktu 0 sampai 50 detik. Untuk waktu 0 samapi 5 detik merupakan terjadinya gerakan *upstroke*, dan 5 sampai 10 detik adalah gerakan *downstroke*. Pada gambar diatas dapat kita lihat bahwa pergerakan dan posisi pelampung mengikuti gelombang laut.



Gambar 4.1-3: Grafik Posisi Piston

Gambar 4.1-3 merupakan grafik yang menggambarkan bagaimana posisi piston saat terjadinya gelombang laut. Asumsi awal yang diberikan pada percobaan ini adalah -1,4410 m dengan waktu 0 sampai 50 detik. Seperti pada gambar sebelumnya, untuk waktu 0 sampai 5 detik merupakan gerakan *upstroke* dan 5 sampai 10 detik adalah gerakan *downstroke*. Piston akan bergerak bersamaan dengan pelampung, jika pelampung melakukan gerakan *upstroke*, maka piston akan tertarik keatas sehingga akan melakukan gerakan *upstroke* juga.



Gambar 4.1- 4: Grafik Tekanan Reservoir Atas dan Tekanan Reservoir Bawah

Gambar 4.1-5 adalah tekanan reservoir atas dan tekanan reservoir bawah. Garis yang berwarna biru merupakan tekanan reservoir atas, sedangkan garis yang berwarna hijau merupakan tekanan reservoir bawah. Nilai tekanan awal yang diberikan pada kedua variabel tersebut adalah 196200 Pa dan dengan waktu 0 sampai 50 detik. Dapat dilihat melalui grafik diatas bahwa jumlah tekanan pada reservoir atas selalu mengalami kenaikan, begitu juga tekanan reservoir bawah yang selalu mengalami penurunan. Secara umum, apabila suatu tekanan selalu naik dan turun akan dapat mengakibatkan suatu kerusakan pada alat, dikarenakan alat selalu bekerja maksimal tanpa ada batas. Maka untuk mengatasi masalah ini, diperlukan sebuah batasan jumlah tekanan serta variabel kontrol yang nantinya berpengaruh terhadap tekanan yang dihasilkan.

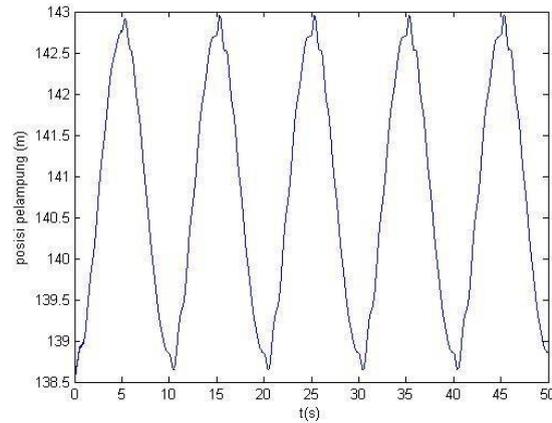
**4.2. Persamaan Variabel Kontrol**

Dengan menggunakan metode Tracking Persamaan Linear diperoleh persamaan variabel kontrol yaitu:

$$u = - \left( \frac{ka}{p_0 - 1} \right) \left( \frac{2}{(p_0 - 1) e^{-r\phi} + 1} - \frac{ka}{(p_0 - 1) e^{-r\phi} + 1} \right) - \frac{ka}{(p_0 - 1) e^{-r\phi} + 1} \left( \frac{ka}{p_0 - 1} - 1 \right) e^{-r\phi}$$

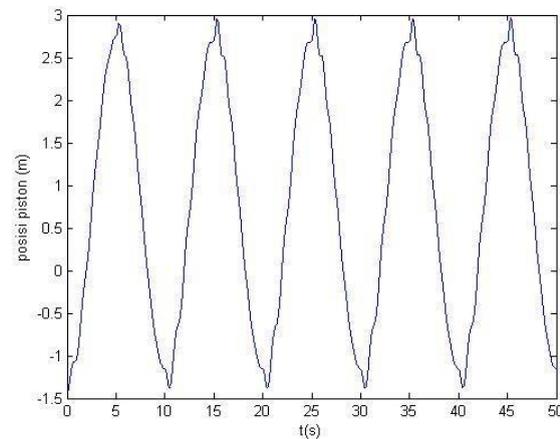
### 4.3. Model Sistem Persamaan Pompa Piston Menggunakan Variabel Kontrol

Persamaan variabel kontrol yang dibangun diatas akan dimasukkan ke dalam model persamaan pompa piston untuk menggantikan variabel  $A_c$  (Area Cilynder) yang awalnya memiliki nilai awal. Persamaan variabel kontrol ini hanya digunakan pada saat upstroke, karena pada saat gerakan inilah terjadi perubahan tekanan. Sedangkan pada gerakan downstroke akan digunakan nilai inputan awal  $A_c$ . Hasil yang diperoleh adalah:



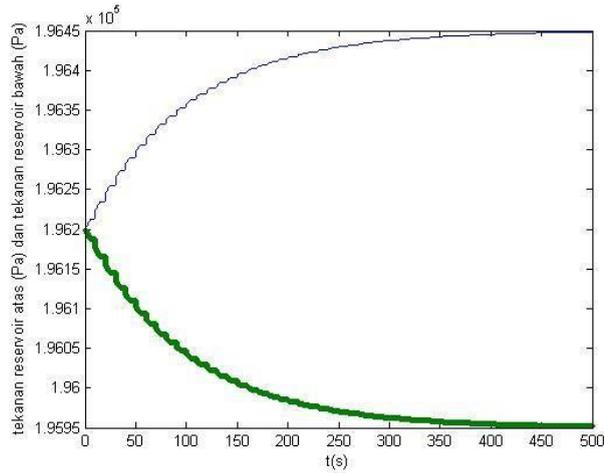
Gambar 4.3-1: Grafik Posisi Pelampung Dengan Menggunakan Variabel Kontrol

Gambar 4.3-1 merupakan posisi pelampung saat sudah di kontrol dengan persamaan logistik. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan dari grafik sebelumnya (grafik posisi pelampung tanpa variabel kontrol). Asumsi yang digunakan tetap sama dengan grafik tanpa kontrol yaitu 138,559 m dan periode waktu 0 sampai 50 detik, serta kondisi yang masih sama yaitu 0-5 detik merupakan gerakan upstroke dan 5-10 merupakan gerakan downstroke.



Gambar 4.3-2: Gambar Posisi Piston Dengan Menggunakan Variabel Kontrol

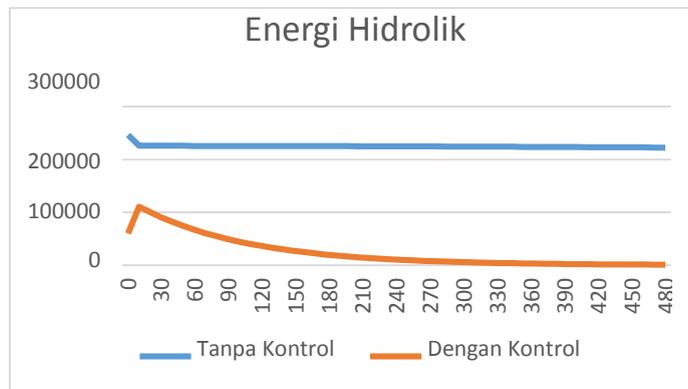
Gambar 4.3-2 merupakan posisi piston saat sudah di kontrol dengan persamaan logistik. Pada grafik posisi piston juga tidak terjadi perbedaan yang signifikan dari grafik sebelumnya (grafik posisi piston tanpa variabel kontrol).



Gambar 4.3-3: Grafik Tekanan Reservoir Atas dan Tekanan Reservoir Bawah Dengan Menggunakan Variabel Kontrol

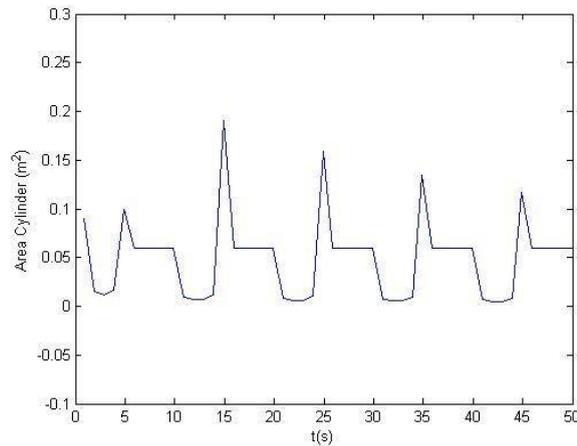
Garis yang berwarna biru pada Gambar 4.3-3 merupakan grafik tekanan reservoir atas, dan garis yang berwarna hijau adalah grafik tekanan reservoir bawah. Asumsi awal yang digunakan pada tekanan reservoir atas masih sama dengan sebelumnya yaitu 196200 Pa. Tetapi pada grafik diatas telah muncul suatu perbedaan dengan grafik sebelumnya yang tidak menggunakan persamaan kontrol. Hal ini dikarenakan oleh adanya suatu batasan nilai tekanan yang dimiliki oleh persamaan variabel kontrol yaitu sebesar 196450 Pa dan dengan laju pergerakan sebesar 0,01. Dengan persamaan variabel kontrol maka tekanan akan perlahan naik menuju nilai tekanan maksimal yang sudah di tentukan. Kenaikannya nilai tekanan pada reservoir atas akan lambat dikarenakan kecilnya laju pergerakan tekanan.

Pada tekanan reservoir bawah juga menggunakan asumsi awal sebesar 196200 Pa, tetapi tidak memiliki nilai batasan tekanan. Tetapi tekanan reservoir bawah merupakan cerminan dari tekanan reservoir atas, karena saat dilakukan kontrol terhadap tekanan reservoir atas maka tekanan reservoir bawah juga ikut terkontrol. Sehingga nilai kenaikan maksimal pada tekanan reservoir atas menjadi nilai penurunan pada tekanan reservoir bawah.



Gambar 4.3-4:Grafik Energi

Pada Gambar 4.3-4 dapat dilihat energi yang dihasilkan oleh sistem pompa tunggal tanpa menggunakan variabel kontrol dan dengan menggunakan variabel kontrol. Total energi yang dihasilkan oleh sistem pompa tunggal tanpa menggunakan variabel kontrol adalah sebesar 11246943,48 joule. Sedangkan energi yang dihasilkan dengan menggunakan variabel kontrol adalah sebesar 1216311,963 joule. Kedua hasil energi diatas diperoleh dalam waktu 500 detik. Perbedaan energi yang dihasilkan ini disebabkan oleh adanya batasan nilai tekanan serta laju pergerakan yang diberikan pada sistem pompa tunggal dengan menggunakan kontrol. Sehingga dengan waktu yang sama tekanan pada sistem pompa piston yang menggunakan variabel kontrol akan cenderung lebih kecil.



Gambar 4.3-5: Grafik Area Cylinder Menggunakan Variabel Kontrol

Gambar 4.3-5 merupakan grafik *area cylinder* menggunakan rumus variabel kontrol. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan nilai *area cylinder* setiap waktu. Tetapi pada keadaan *downstroke* nilai *area cylinder* akan dikembalikan ke nilai awal yaitu sebesar 0,06  $\text{m}^2$ . Dengan periode waktu 50 detik diperoleh nilai *area cylinder* paling tinggi sebesar 0,1905  $\text{m}^2$  dan dengan nilai terendah sebesar 0,04  $\text{m}^2$ .

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan baik pengujian pada sistem persamaan pompa piston tanpa variabel kontrol dan dengan variabel kontrol maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode Tracking Linear dapat digunakan untuk merancang persamaan kontrol pompa piston terhadap area silinder dari pompa piston tunggal.
2. Penambahan persamaan logistik untuk merancang persamaan kontrol pompa piston cukup baik untuk digunakan dalam sistem ini. Sesuai dengan fungsinya sebagai notasi track tujuan dari output sistem, hasilnya dapat terlihat pada Gambar 4.3-3. Pada gambar tersebut telah terlihat bahwa tekanan pada reservoir atas telah terkontrol tanpa melewati batas maksimal tekanan yang ditentukan.
3. Metode Runge Kutta Orde 4 cukup baik digunakan pada sistem ini. Dengan menggunakan metode ini, maka hasil perhitungan nilai  $A_c$  dengan menggunakan persamaan kontrol adalah sebesar 0,004  $\text{m}^2$  hingga 0,1905  $\text{m}^2$ .

### 5.2. Saran

Selama proses pemodelan sistem pompa tunggal ini, penulis menemukan beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut, yaitu:

1. Selain persamaan logistik, sebaiknya digunakan persamaan lain yang nantinya mendapatkan hasil yang lebih bagus.
2. Ada baiknya untuk memodifikasi parameter-parameter yang ada pada paper rujukan, guna untuk menyesuaikan keadaan laut yang ada di Indonesia.

### Daftar Pustaka

- [1] <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1101089425&9> di akses pada tanggal 26 oktober 2015
- [2] Sholikhah, Siti Aminatus. Subchan. Kamiran. "Penerapan Model Predictive Control (MPC) pada Kapal Autopilot dengan Lintasan Tertentu". Surabaya. 2012
- [3] L. Burden, Richard. Faires, J. Douglas. 2010. *Numerical Analysis 9<sup>th</sup> Edition*. Canada: Brooks/Cole.
- [4] Vakis, Antonis I., Prins, Wout A. and Meijer, Harmen. *First steps in the design and construction of the Ocean Grazer*. 2014.
- [5] Prins, Wout A. *Method and system for extracting kinetic energy from surface waves of a water*. 2013. P101922PC00.