

OPTIMISASI ENERGI LISTRIK PADA RANGKAIAN DUA AKTUATOR HIDROLIK MENGGUNAKAN VARIASI KATUP PEMBATAS TEKANAN DI *HYDRAULIC TRAINING UNIT*

Tri Pratomo

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Pontianak 78124
E-mail: bari_naya@yahoo.co.id

Abstrak: Simulator sistem hidrolik atau yang lebih dikenal dengan *hydraulic training unit* memiliki tiga jenis katup pembatas tekanan yaitu; *relief valve*, *flow control valve* dan *shut off valve*. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengukuran tegangan, arus dan faktor daya yang terjadi pada masing-masing pembukaan katup pembatas tekanan. Kemudian menghitung daya listrik serta menghitung daya mekanik dari rangkaian dua aktuator hidrolik yang di uji. Dari hasil optimisasi dapat dilihat pada rangkaian silinder hidrolik, pembukaan $\frac{1}{4}$ *relief valve* merupakan pembukaan optimal, energi listrik yang terjadi 423,28 Watt Jam. Pembukaan $\frac{1}{4}$ *flow control valve* merupakan pembukaan optimal, energi listrik yang terjadi 423,33 Watt Jam. Pembukaan $\frac{1}{4}$ *shut off valve* merupakan pembukaan optimal, energi listrik yang terjadi 423,28 Watt Jam.

Keywords: Sistem hidrolik, katup pembatas tekanan, optimisasi

Abstrak: *Simulator equipment hydraulic system or better known as the hydraulic raining unit. On hydraulic training unit there are three types of pressure valves; relief valve, flow control valve and shut off valve. The method used is by measuring the voltage, current and power factor which occurs in each of the pressure valve opening. Then calculate the electrical power and calculate the mechanical power from hydraulic circuit system in the test. From the optimization results can be seen in a series of hydraulic two actuators, the opening of $\frac{1}{4}$ the relief valve is an optimum, the electrical energy which occurs 423.28 Watt Hours. Opening of $\frac{1}{4}$ flow control valve is optimum, the electrical energy which occurs 423.33 Watt Hours. Opening of $\frac{1}{4}$ shut off valve is optimum, the electrical energy which occurs 423.28 Watt Hours.*

Keywords: *Hydraulic system, pressure valve, optimization*

Sistem hidrolik merupakan suatu sistem penerus gerakan linier dan putaran dengan menggunakan oli sebagai medianya. Sistem ini telah banyak digunakan di industri terutama pada industri pembuatan alat berat. Dalam sistem ini ada beberapa

komponen yang menjadi satu kesatuan sehingga pergerakan atau putaran yang terjadi dapat dikendalikan dengan baik. Komponen yang mendukung sistem ini yaitu silinder hidrolik, katup kontrol arah, pompa hidrolik dan motor hidrolik.

Rangkaian dua aktuator hidrolik tersebut menggunakan katup kontrol arah 4/3 untuk menggerakkan silinder hidrolik dan motor hidrolik.

Pergerakan silinder hidrolik dan motor hidrolik memerlukan tekanan zat cair (oli) yang cukup tinggi, rata-rata komponen yang ada pada *Hydraulic training unit* mengalirkan fluida dengan tekanan maksimal 100 kg/cm^2 (bar). Dengan dipasangnya katup pembatas tekanan maka aliran yang terjadi akan dibatasi. Akibat pembatasan tersebut maka kerja dari pompa hidrolik akan semakin cepat, sehingga daya yang digunakan akan semakin besar.

Pada *hydraulic training unit* terdapat tiga jenis katup pembatas tekanan yaitu, *relief valve*, *flow control valve* dan *shut off valve*. Pada pembatasan tekanan fluida yang masuk ke dalam rangkaian dua aktuator hidrolik, perlu diketahui daya listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa hidrolik. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui katup pembatas tekanan mana yang menggunakan daya listrik yang rendah, sehingga dapat direkomendasikan penggunaan katup pembatas tekanan yang akan diaplikasikan pada rangkaian dua aktuator hidrolik.

METODE

Penelitian optimisasi penggunaan energi listrik pada rangkaian dua aktuator hidrolik ini dilakukan agar konsumsi energi listrik pada saat penggunaan katup pembatas tekanan lebih optimal. Terpasangnya katup pembatas tekanan di rangkaian dua aktuator hidrolik akan menyebabkan terbatasnya aliran fluida. Pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ katup pembatas tekanan baik *relief valve*, *flow control valve* dan *shut off valve* akan mengakibatkan fluida yang masuk ke dalam rangkaian dua aktuator hidrolik akan

terhambat. Tahapan pengukuran yang dilakukan pada rangkaian dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

Optimisasi menggunakan LINDO

Jika pengukuran telah dilakukan pada rangkaian dua aktuator hidrolik, maka dilakukan proses optimisasi dengan tahapan sesuai Gambar 3.

HASIL

Pengukuran awal pada rangkaian dua aktuator hidrolik diperoleh data sebagai berikut: a) Panjang langkah akhir piston (s_{pr}): 0,22 meter; b) Tekanan pada langkah akhir piston: 54 bar; c) Waktu sampai pada langkah akhir (t_{pr}): 2 detik; d) Kecepatan

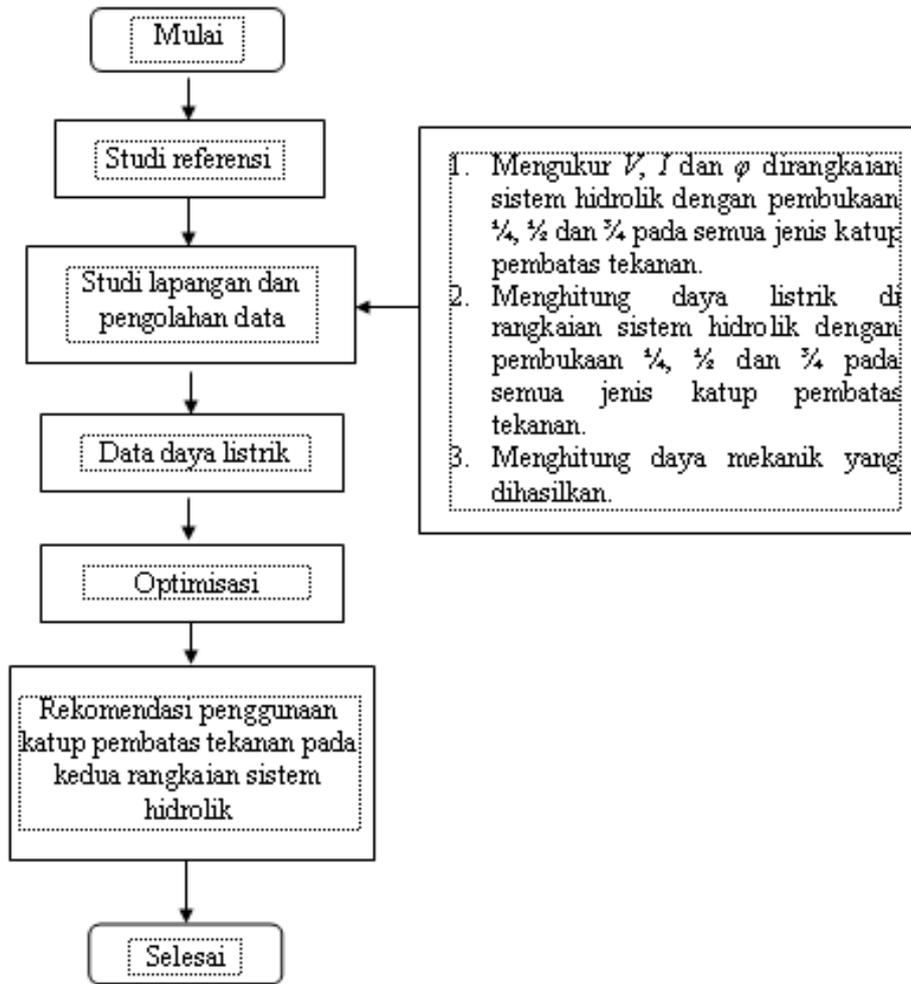
$$\text{piston, } v_p = \frac{s_{pr}}{t_{pr}} = \frac{0,22}{2} = 0,11 \text{ m/detik;}$$

dan e) Putaran motor hidrolik: 60 rpm. Sedangkan untuk pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada rangkaian dua aktuator hidrolik dapat dilihat pada Tabel 1.

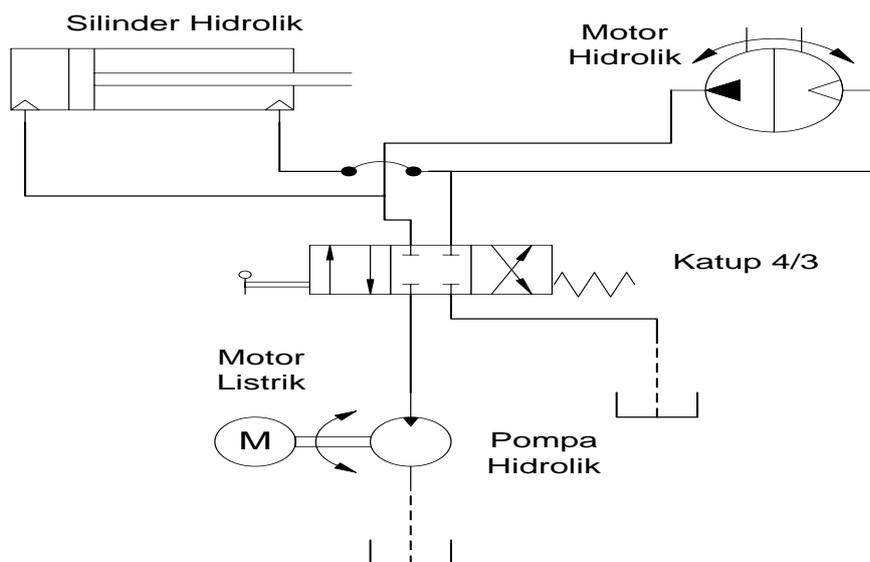
Pengukuran yang dilakukan tanpa menggunakan katup pembatas tekanan. Berikut gambar tampilan pengukuran menggunakan *power quality analyzer* dan komponen sistem hidrolik menggunakan silinder dan motor hidrolik yang dipasang pada *hydraulic training unit*.

Pengukuran Rangkaian Dua Aktuator Hidrolik Menggunakan Katup Pembatas Tekanan

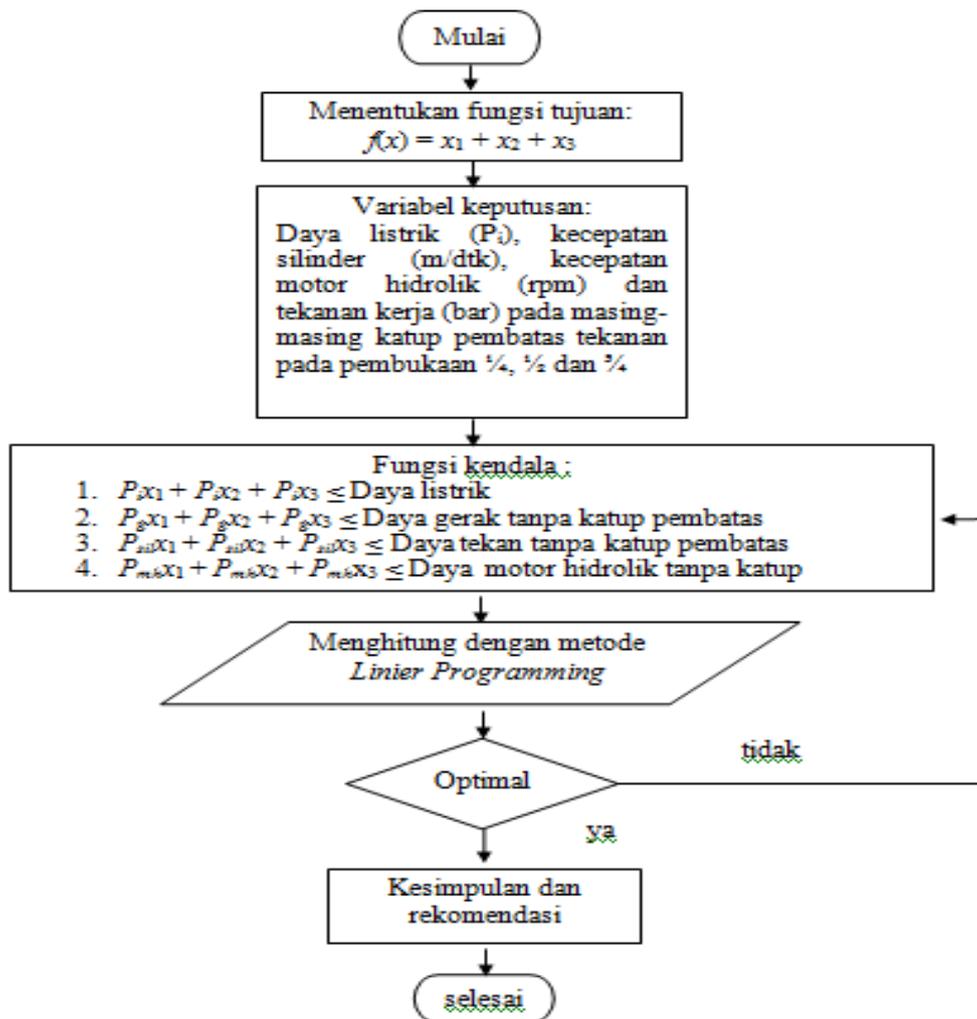
Pengukuran lanjutan pada rangkaian sistem hidrolik menggunakan dua aktuator hidrolik setelah dipasang *relief valve*, *flow control valve* dan *shut off valve* dapat dilihat pada Tabel 2. dan Tabel 3.



Gambar 1. Tahapan pengukuran



Gambar 2. Rangkaian Dua Actuator Hidrolik



Gambar 3. Tahapan optimisasi

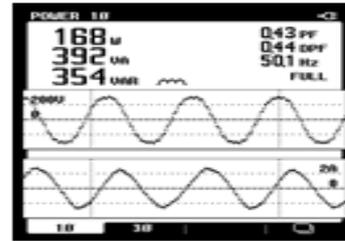
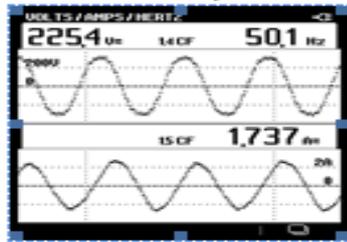
Tabel 1. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	225,4	1,737	0,43
Fasa S-N, S	223,9	1,241	0,61
Fasa T-N, T	223,9	2,033	0,66

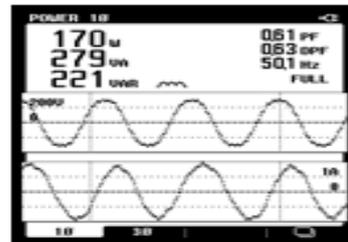
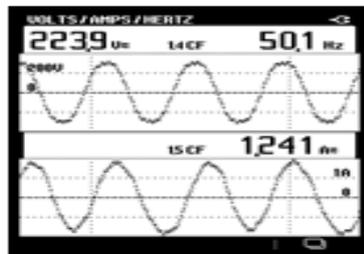
Tabel 2. Pengukuran *relief valve* di rangkaian dua aktuator hidrolik

Pembukaan Relief valve	Tekanan (bar)	Jarak (m)	Waktu (detik)	Kec. Pist (m/detik)	Putaran (rpm)
1/4	58	0,22	9,8	0,022	32
1/2	56	0,22	6,2	0,035	48
3/4	55	0,22	4,6	0,048	53

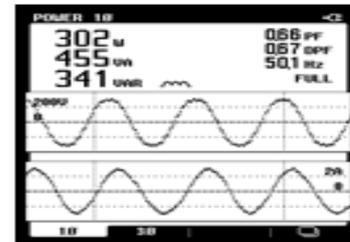
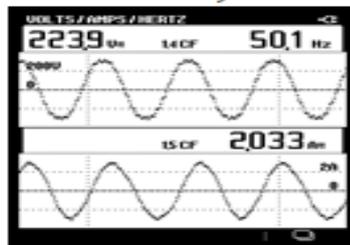
Fasa R-N, R



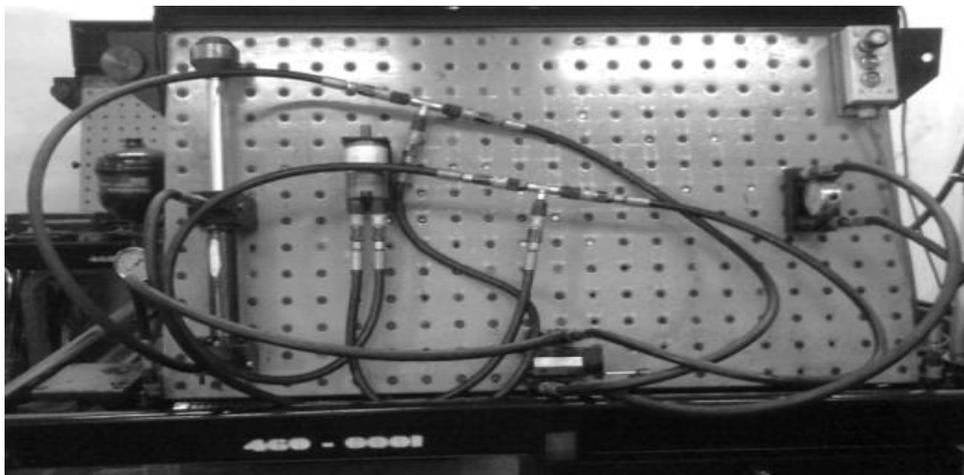
Fasa S-N, S



Fasa T-N, T



Gambar 4. Tampilan tegangan, arus dan faktor daya sebelum pemasangan katup pembatas tekanan di rangkaian dua actuator hidrolik



Gambar 5. Rangkaian Dua Actuator Hidrolik

Tabel 3. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{1}{4}$ Relief valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	225,2	1,921	0,62
Fasa S-N, S	223,9	1,525	0,75
Fasa T-N, T	224,2	2,194	0,74

Tabel 4. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{1}{2}$ Relief valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	225,1	1,924	0,63
Fasa S-N, S	224,2	1,504	0,75
Fasa T-N, T	224,6	2,158	0,73

Tabel 5. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{3}{4}$ Relief valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	224,9	1,912	0,61
Fasa S-N, S	224,2	1,491	0,74
Fasa T-N, T	224,4	2,137	0,73

Tabel 6. Pengukuran flow control valve di rangkaian dua aktuator hidrolik

Pembukaan Flw Ctrl Valve	Tekanan (bar)	Jarak (m)	Waktu (detik)	Kec. Pist (m/detik)	Putaran (rpm)
$\frac{1}{4}$	59,5	0,22	6,7	0,033	35
$\frac{1}{2}$	56	0,22	4,2	0,052	47
$\frac{3}{4}$	54	0,22	3,9	0,056	56

Tabel 7. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{1}{4}$ flow control valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	224,8	1,93	0,62
Fasa S-N, S	224,2	1,503	0,73
Fasa T-N, T	224,5	2,159	0,74

Tabel 8. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{1}{2}$ flow control valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	224,8	1,918	0,63
Fasa S-N, S	224,2	1,490	0,75
Fasa T-N, T	224,1	2,135	0,73

Tabel 9. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{3}{4}$ flow control valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	224,9	1,897	0,61
Fasa S-N, S	224,3	1,481	0,74
Fasa T-N, T	224	2,048	0,66

Tabel 10. Pengukuran shut off valve di rangkaian dua aktuator hidrolik

Pembukaan Shut off Valve	Tekanan (bar)	Jarak (m)	Waktu (detik)	Kec. Pist (m/detik)	Putaran (rpm)
$\frac{1}{4}$	57	0,22	6	0,037	40
$\frac{1}{2}$	55	0,22	4,8	0,046	49
$\frac{3}{4}$	54	0,22	4,2	0,052	56

Tabel 11. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{1}{4}$ shut off valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	225,3	1,926	0,62
Fasa S-N, S	224,1	1,507	0,74
Fasa T-N, T	224,7	2,147	0,74

Tabel 12. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{1}{2}$ shut off valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	224,8	1,918	0,63
Fasa S-N, S	224,2	1,49	0,75
Fasa T-N, T	224,1	2,135	0,73

Tabel 13. Pengukuran tegangan, arus dan faktor daya pada pembukaan $\frac{3}{4}$ shut off valve

Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Faktor Daya
Fasa R-N, R	224,9	1,897	0,62
Fasa S-N, S	224,3	1,481	0,74
Fasa T-N, T	224	2,048	0,66

Tabel 14. Lama waktu pengujian rangkaian dua aktuator hidrolik

Katup Pembatas	Waktu yang dibutuhkan (menit)		
	Buka $\frac{1}{4}$	Buka $\frac{1}{2}$	Buka $\frac{3}{4}$
<i>Relief Valve</i>	28	25	20
<i>Flow Control Valve</i>	27	21	18
<i>Shut Off Valve</i>	22	19	18
Rata-rata	25,7	21,7	18,7

Tabel 15. Kendala pada relief valve rangkaian dua aktuator hidrolik

	Buka $\frac{1}{4}$	Buka $\frac{1}{2}$	Buka $\frac{3}{4}$	Batasan (W)
Daya Listrik (W)	890	880	862	989
Daya Tekan (W)	90	138	190	566
Daya Gerak (W)	96	107	146	366
Daya Mtr Hidro (W)	316	362	494	551

Pada pengukuran di rangkaian dua aktuator hidrolik, waktu yang dibutuhkan pada masing-masing pembukaan dapat dilihat pada tabel 14. Setelah melakukan pengolahan data untuk menyamakan satuan dari fungsi kendala maka dapat disimpulkan: a) Variabel keputusannya adalah mengoptimalkan energi yang digunakan pada rangkaian dua aktuator hidrolik; b) Fungsi tujuan: memaksimumkan $f(x) = Rx_1 + Sx_2 + Tx_3$. Diketahui

pengukuran rata-rata lama waktu pengujian di rangkaian dua aktuator hidrolik adalah 25,7 menit untuk pembukaan $\frac{1}{4}$, 21,7 menit untuk pembukaan $\frac{1}{2}$ dan 18,7 menit untuk pembukaan $\frac{3}{4}$ (dapat dilihat pada tabel 14). Satuan waktu diubah dari menit menjadi jam sehingga fungsi tujuan menjadi: Memaksimumkan $f(x) = 0,428x_1 + 0,362x_2 + 0,312x_3$; c) Kendala yang terjadi ditampilkan pada tabel dengan batasan: Untuk batasan daya listrik merupakan daya

maksimal yang dimiliki oleh motor listrik 1,1 HP setara dengan 989 W. Untuk batasan daya tekan merupakan daya tekan maksimal dari *hydraulic training unit* 90 bar bila dikonversi menjadi 565,9 W. Untuk batasan daya gerak merupakan daya gerak maksimal dari piston tanpa katup pembatas tekanan 365,55 W. Untuk batasan daya motor hidrolis 551,07 W.

PEMBAHASAN

Optimisasi *relief valve* di rangkaian dua aktuator hidrolis

Dari hasil pengukuran dan penghitungan yang dilakukan pada kendala-kendala yang terjadi pada *relief valve* di rangkaian dua aktuator hidrolis maka dapat disimpulkan dalam tabel 15.

Model matematis:

$$F = 0,428x_1 + 0,362x_2 + 0,312x_3$$

Dimana:

F : Fungsi tujuan (jam)

0,428 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{1}{4}$ (jam)

x_1 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{1}{4}$

0,362 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{1}{2}$ (jam)

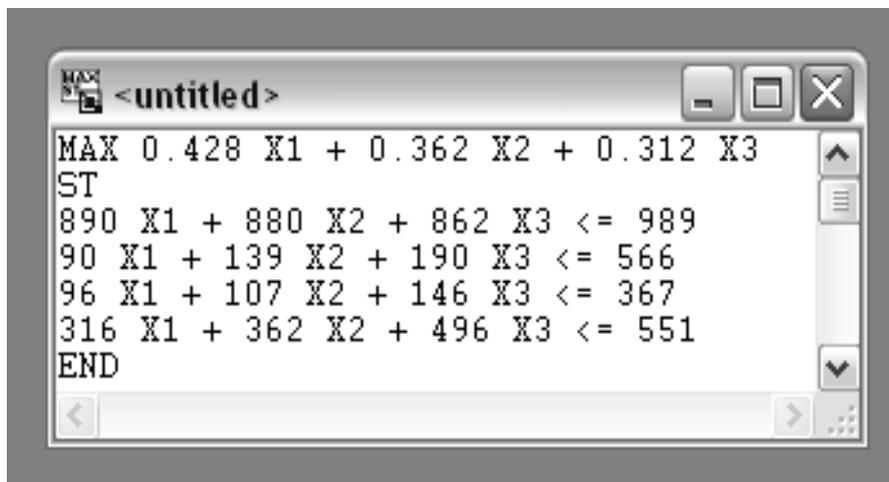
x_2 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{1}{2}$

0,312 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{3}{4}$ (jam)

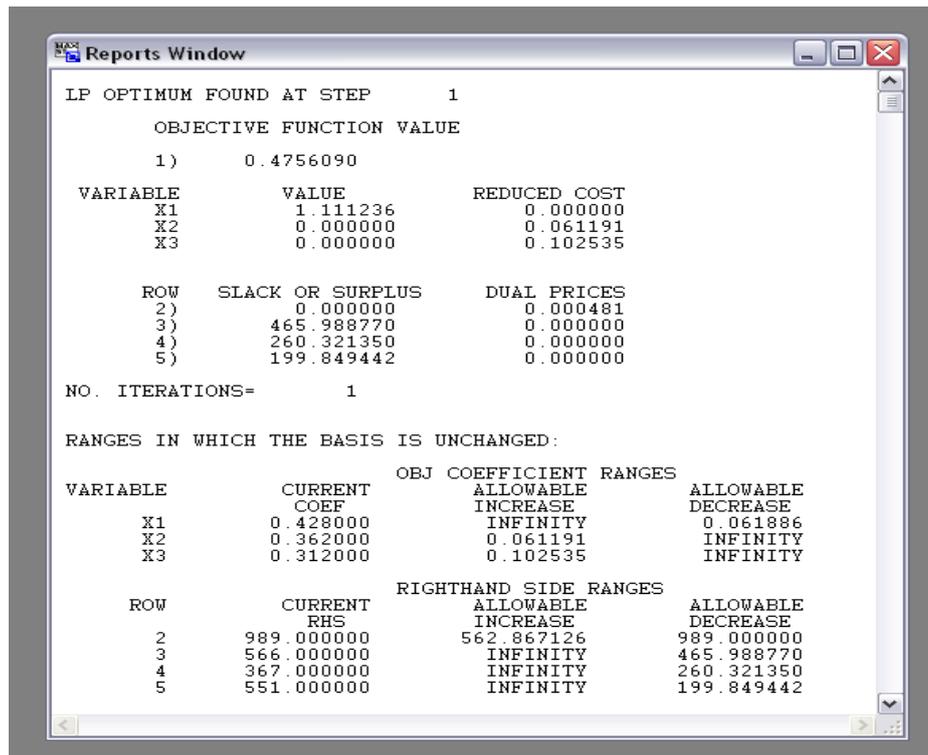
x_3 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{3}{4}$

Fungsi Kendala: a) $890x_1 + 880x_2 + 862x_3 \leq 989$; b) $90x_1 + 139x_2 + 190x_3 \leq 566$; c) $96x_1 + 107x_2 + 146x_3 \leq 367$; dan d) $316x_1 + 362x_2 + 496x_3 \leq 551$

Dimana: a) Daya listrik pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); b) Daya tekan pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); c) Daya gerak pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); dan d) Daya motor hidrolis pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W). Dari model matematis fungsi tujuan, variabel-variabel waktu dan fungsi kendala, selanjutnya dilakukan optimisasi menggunakan program Lindo seperti ada Gambar 6.



Gambar 6. Input fungsi tujuan dan kendala relief valve rangkaian dua aktuator hidrolis ke Lindo



Gambar 7. Hasil optimisasi relief valve di rangkaian dua aktuator hidrolik

Penggunaan *relief valve* pada rangkaian dua aktuator hidrolik akan menghasilkan energi listrik yang optimal bila waktu pengujian dilakukan selama 0,4756 jam. Pembukaan *relief valve* yang optimal terjadi pada pembukaan $\frac{1}{4}$, hal tersebut dapat dilihat pada program Lindo, x_1 memiliki nilai 1,1112 sedangkan x_2 dan x_3 bernilai nol.

Dari waktu optimal pada *relief valve*, pembukaan $\frac{1}{4}$ akan menghasilkan energi yang optimal bila: a) Daya listrik yang terjadi pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 890 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4756 jam akan menghasilkan energi sebesar 423,28 Watt Jam; b) Daya tekan silinder pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 90 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4756 jam akan menghasilkan energi sebesar 42,8 Watt Jam; c) Daya gerak silinder pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 96 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4756 jam akan menghasilkan energi sebesar 45,65 Watt Jam; dan d) Daya motor hidrolik pada

pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 316 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4756 jam akan menghasilkan energi sebesar 150,29 Watt Jam.

Optimisasi *flow control valve* di rangkaian dua actuator hidrolik

Dari hasil pengukuran dan penghitungan yang dilakukan pada kendala-kendala yang terjadi pada *flow control valve* di rangkaian dua aktuator hidrolik maka dapat disimpulkan dalam Tabel 16. Model matematis:

$$F = 0,428x_1 + 0,362 x_2 + 0,312 x_3$$

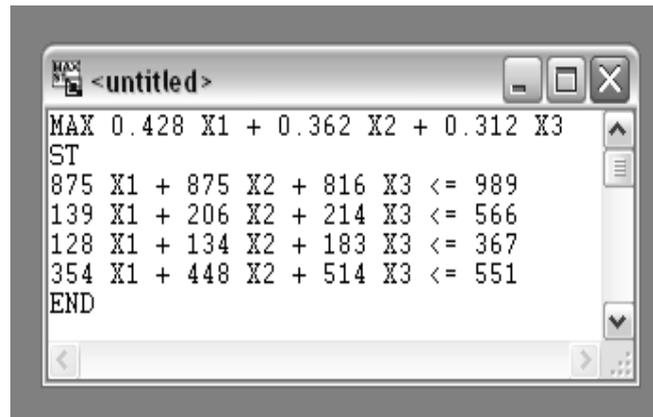
Dimana:

- F : Fungsi tujuan (jam)
- 0,428 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{1}{4}$ (jam)
- x_1 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{1}{4}$
- 0,362 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{1}{2}$ (jam)
- x_2 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{1}{2}$
- 0,312 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{3}{4}$ (jam)
- x_3 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{3}{4}$

Fungsi Kendala: a) $875x_1 + 875x_2 + 816x_3 \leq 989$; b) $139x_1 + 206x_2 + 214x_3 \leq 566$; c) $128x_1 + 134x_2 + 183x_3 \leq 367$; dan d) $354x_1 + 448x_2 + 514x_3 \leq 551$

Dimana: a) Daya listrik pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); b) Daya tekan pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); c) Daya gerak pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); dan d) Daya motor hidrolis

pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W). Dari model matematis fungsi tujuan, variabel-variabel waktu dan fungsi kendala, selanjutnya dilakukan optimisasi menggunakan program Lindo seperti Gambar 8.



Gambar 8. Input fungsi tujuan dan kendala flow control valve rangkaian dua aktuator hidrolis ke Lindo

Tabel 16. Kendala pada flow control valve di rangkaian dua aktuator hidrolis

	Buka $\frac{1}{4}$	Buka $\frac{1}{2}$	Buka $\frac{3}{4}$	Batasan (W)
Daya Listrik (W)	875	875	816	989
Daya Tekan (W)	139	206	214	566
Daya Gerak (W)	128	134	183	366
Daya Mtr Hidro (W)	354	448	514	551

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.4837623

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.130286	0.000000
X2	0.000000	0.066000
X3	0.000000	0.087141

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000489
3)	408.890289	0.000000
4)	222.323425	0.000000
5)	150.878860	0.000000

NO. ITERATIONS= 1

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	0.428000	INFINITY	0.066000
X2	0.362000	0.066000	INFINITY
X3	0.312000	0.087141	INFINITY

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	989.000000	372.935059	989.000061
3	566.000000	INFINITY	408.890289
4	367.000000	INFINITY	222.323425
5	551.000000	INFINITY	150.878860

Gambar 9. Hasil optimisasi flow control valve di rangkaian dua aktuator hidrolis

Penggunaan *flow control valve* pada rangkaian dua aktuator hidrolis akan menghasilkan energi listrik yang optimal bila waktu pengujian dilakukan selama 0,4838 jam. Pembukaan *flow control valve* yang optimal terjadi pada pembukaan $\frac{1}{4}$, hal tersebut dapat dilihat pada program Lindo, x_1 memiliki nilai 1,1303 sedangkan x_2 dan x_3 bernilai nol. Dari waktu optimal pada *flow control valve*, pembukaan $\frac{1}{4}$ akan menghasilkan energi yang optimal bila: a) Daya listrik yang terjadi pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 875 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4838 jam akan menghasilkan energi sebesar 423,33 Watt Jam; b) Daya tekan silinder pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 139 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4838 jam akan menghasilkan energi sebesar 67,25 Watt Jam; c) Daya gerak silinder pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 128 Watt dikalikan dengan waktu optimal

0,4838 jam akan menghasilkan energi sebesar 61,93 Watt Jam; dan d) Daya motor hidrolis pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 354 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4838 jam akan menghasilkan energi sebesar 171,27 Watt Jam.

Optimisasi *shut off valve* di rangkaian dua aktuator hidrolis

Dari hasil pengukuran dan penghitungan yang dilakukan pada kendala-kendala yang terjadi pada *shut off valve* di rangkaian dua aktuator hidrolis maka dapat disimpulkan dalam Tabel 17.

Model matematis:

$$F = 0,428x_1 + 0,362x_2 + 0,312x_3$$

Dimana:

F : Fungsi tujuan (jam)

0,428 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{1}{4}$ (jam)

x_1 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{1}{4}$

0,362 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{1}{2}$ (jam)

x_2 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{1}{2}$

0,312 : Waktu pengujian pada pembukaan $\frac{3}{4}$ (jam)

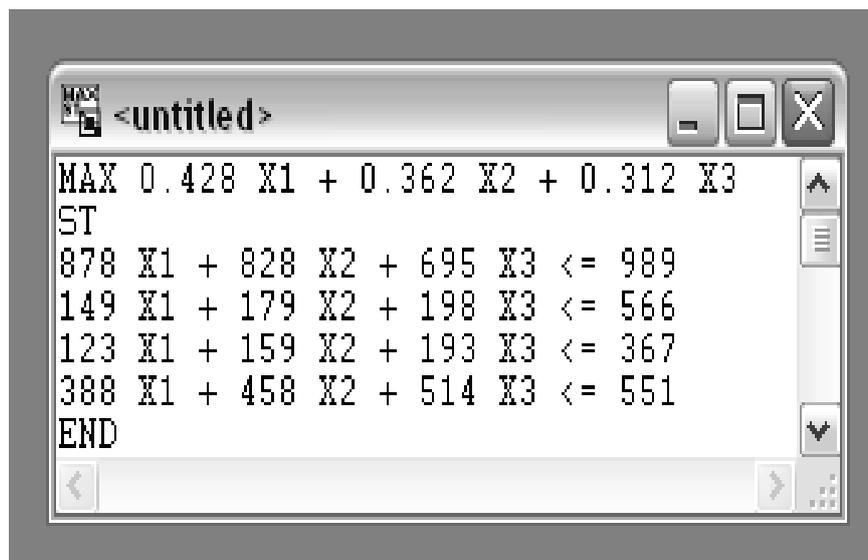
x_3 : Variabel keputusan pembukaan $\frac{3}{4}$

Fungsi Kendala: a) $878x_1 + 828x_2 + 695x_3 \leq 989$; b) $149x_1 + 179x_2 + 198x_3 \leq 566$; c) $123x_1 + 159x_2 + 193x_3 \leq 366$; dan d) $388x_1 + 458x_2 + 514x_3 \leq 551$

Dimana: a) Daya listrik pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); b) Daya tekan pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); c) Daya gerak pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W); dan d) Daya motor hidrolik pembukaan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ (W). Dari model matematis fungsi tujuan, variabel-variabel waktu dan fungsi kendala, selanjutnya dilakukan optimisasi menggunakan program Lindo seperti Gambar 10.

Tabel 17. Kendala pada shut off valve di rangkaian dua aktuator hidrolik

	Buka $\frac{1}{4}$	Buka $\frac{1}{2}$	Buka $\frac{3}{4}$	Batasan (W)
Daya Listrik (W)	878	828	695	989
Daya Tekan (W)	149	179	198	566
Daya Gerak (W)	123	159	193	366
Daya Mtr Hidro (W)	388	458	514	551



Gambar 10. Input fungsi tujuan dan kendala shut off valve rangkaian dua aktuator hidrolik ke Lindo

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP      1
      OBJECTIVE FUNCTION VALUE
    1)      0.4821093
      VARIABLE            VALUE            REDUCED COST
      X1              1.126424            0.000000
      X2              0.000000            0.041626
      X3              0.000000            0.026793
      ROW    SLACK OR SURPLUS      DUAL PRICES
    2)              0.000000            0.000487
    3)             398.162872            0.000000
    4)             228.449890            0.000000
    5)             113.947609            0.000000
      NO. ITERATIONS=          1
      RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:
      VARIABLE            CURRENT      OBJ COEFFICIENT RANGES
      X1              0.428000      ALLOWABLE
      X2              0.362000      INCREASE
      X3              0.312000      INFINITY
      X1              0.428000      ALLOWABLE
      X2              0.362000      INCREASE
      X3              0.312000      INFINITY
      ROW            CURRENT      Righthand Side Ranges
      2              989.000000      ALLOWABLE
      3              566.000000      INCREASE
      4              367.000000      INFINITY
      5              551.000000      INFINITY
      2              989.000000      ALLOWABLE
      3              566.000000      INCREASE
      4              367.000000      INFINITY
      5              551.000000      INFINITY
  
```

Gambar 11. Hasil optimisasi *shut off valve* di rangkaian dua aktuator hidrolis

Penggunaan *shut off valve* pada rangkaian dua aktuator hidrolis akan menghasilkan energi listrik yang optimal bila waktu pengujian dilakukan selama 0,4821 jam. Pembukaan *shut off valve* yang optimal terjadi pada pembukaan $\frac{1}{4}$, hal tersebut dapat dilihat pada program Lindo, x_1 memiliki nilai 1,1264 sedangkan x_2 dan x_3 bernilai nol. Dari waktu optimal pada *shut off valve*, pembukaan $\frac{1}{4}$ akan menghasilkan energi yang optimal bila: a) Daya listrik yang terjadi pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 878 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4821 jam akan menghasilkan energi sebesar 423,28 Watt Jam; b) Daya tekan silinder pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 149 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4821 jam akan menghasilkan energi sebesar 71,83 Watt Jam; c) Daya gerak silinder pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 123 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4821 jam akan menghasilkan energi sebesar 59,3 Watt Jam; dan d) Daya motor

hidrolis pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 388 Watt dikalikan dengan waktu optimal 0,4821 jam akan menghasilkan energi sebesar 187,05 Watt Jam.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil penelitian dapat disimpulkan: a) Pembukaan $\frac{1}{4}$ *relief valve* merupakan pembukaan yang optimal pada rangkaian dua aktuator hidrolis. Waktu optimal pengujian *relief valve* pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 0,4756 jam, sehingga energi listrik yang digunakan adalah sebesar 423,28 Watt Jam; b) Pembukaan $\frac{1}{4}$ *flow control valve* merupakan pembukaan yang optimal pada rangkaian dua aktuator hidrolis. Waktu optimal pengujian *flow control valve* pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 0,4838 jam, sehingga energi listrik yang digunakan adalah sebesar 423,33 Watt Jam; c) Pembukaan $\frac{1}{4}$ *shut off valve* merupakan pembukaan yang

optimal pada rangkaian dua aktuator hidrolis. Waktu optimal pengujian *shut off valve* pada pembukaan $\frac{1}{4}$ adalah 0,4821 jam, sehingga energi listrik yang digunakan sebesar 423,28 Watt Jam; dan d) Untuk penggunaan katup pembatas tekanan pada rangkaian dua aktuator hidrolis di *hydraulic training unit* sebaiknya menggunakan *shut off valve* atau *relief valve* pembukaan $\frac{1}{4}$. Karena menggunakan energi listrik yang paling rendah yaitu 423,28 Watt Jam.

Saran

Sebaiknya katup pembatas tekanan memiliki pembukaan katup yang permanen, sehingga fluida hidrolis menjadi konstan serta pengukuran daya listrik dapat dilakukan pada dua tempat yaitu pada panel daya dan mesin itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2010. Pedoman Efisiensi Energi Untuk Asia: Motor Listrik, www.energyefficiencyasia.org, Diakses tanggal 4 Desember 2010.
- Anonim. 2011. Determining Electric Motor Load and Efficiency. www.p2pays.org/ref/40/39569.pdf, diakses tanggal 26 Oktober 2011.
- Luknanto, Joko. 2005. Dasar-dasar Optimasi; Optimasi Linier. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Mc Coy, Gilbert A, Douglass, John G. 2000. Energy Management For Motor Driven System. Washington: Washington State University.
- Merkie, D., B. Schrader, M. Thomes. 1998. Hydraulics. Festo Didactic GmbH. Denkendorf.
- Miller, Rex. Mark Richard Miller, Hary Stewart. 2004. Pump and Hydraulics. USA: Wiley Publishing Inc.
- Parr, Andrew. 1998. Hydraulics and Pneumatics: A Technicians and Engineers Guide. England: Elsevier Science Ltd.
- Rabie, Galal. 2009. Fluid Power Engineering. USA: The Mc Graw Hill Companies Inc.
- Sugiono, Agus. 2006. Perkembangan dan Aplikasi Teknik Optimasi Untuk Perencanaan Energi. Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi Serta Aplikasi, BPPT.