

Optimasi kendali fuzzy berbasis algoritma sensorless untuk sistem pompa air bertenaga surya yang efisien

I Made Wirawan¹, Slamet Wibawanto², Aripriharta³

1. Universitas Negeri Malang, Indonesia | made.wirawan.ft@um.ac.id
2. Universitas Negeri Malang, Indonesia | slamet.wibawanto.ft@um.ac.id
3. Universitas Negeri Malang, Indonesia | aripriharta.ft@um.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem kendali berbasis fuzzy untuk mengatur pemakaian daya listrik pada pompa air bertenaga surya. Hal ini dimaksudkan untuk memperbaiki atau meningkatkan efisiensi energi listrik yang dipakai oleh motor pompa air satu fasa. Selama ini, efisiensi energi pada aplikasi pompa air bertenaga surya sangat rendah, hanya mencapai 40%. Metode sensorless-fuzzy menggunakan pendekatan heuristik berdasarkan pengalaman dan optimasi performa melalui pemodelan. Rekayasa ini sangat potensial untuk mengendalikan suplai atau pemakaian energi listrik oleh mesin pompa air secara lebih efisien. Sistem ini dapat direalisasikan dengan menggunakan mikrokontroler, sehingga lebih ekonomis dan cocok untuk daerah pedesaan. Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan. Beberapa penelitian pendahuluan telah dilakukan sejak tahun 2009 dalam rangka mencapai target akhir penelitian ini. Proses penelitian ini dibagi menjadi dua fase. Fase 1 (sudah selesai dilaksanakan) bertujuan untuk menghasilkan perangkat sensorless-fuzzy untuk kendali motor pompa air satu fasa. Fase 1 dibagi menjadi 7 tahapan, yaitu: observasi perilaku motor pompa air, desain algoritma sensorless-fuzzy, desain alat, pembuatan alat, ujicoba performa alat (skala laboratorium), dan implementasi lapangan dan analisis data. Pada penelitian tahap tahun pertama ini menghasilkan sebuah prototipe pengendali pompa air DC menggunakan algoritma sensorless. Prototipe yang dihasilkan cukup stabil dalam mengatur putaran motor dengan menghasilkan error 1.2 % yang lebih kecil nilainya dari nilai error yang ditargetkan (5-7 %). Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa output rpm akan melakukan tuning sehingga mencapai setpoint 1500, namun tegangan motor akan berubah-ubah. Ini dikarenakan untuk membuat putaran motor sesuai yang diinginkan, maka logika fuzzy mengolah data tersebut, kemudian secara otomatis menaikkan atau menurunkan tegangan (dalam hal ini PWM diubah-ubah) motor untuk mencapai set point yang diinginkan.

Kata Kunci

Fuzzy, Sensorless, Sistem Pompa Air, Panel Tenaga Surya.

1. Pendahuluan

Pada tahun 2004 sekitar 76% rumah tangga di Indonesia sudah menggunakan sumber air minum dari tempat yang aman (PAM 18%, Pompa 14%, Sumur 36% & Mata air 8% terlindung). Angka ini sepertinya sudah cukup menggambarkan bahwa penggunaan air minum sudah cukup baik, apalagi kalau dibandingkan dengan 10 tahun yang lalu sekitar 60%. Data statistik menunjukkan bahwa jumlah rumah tangga di Indonesia yang menggunakan sumber air minum aman baru mencapai 79.9%, dimana 92.4% di Kota dan 70.4% di Desa. Sebagian besar diantaranya menggunakan sumber air dari Sumur Terlindung (35.6%), Ledeng (PAM) (18%), Pompa (13.7%), dan sisanya menggunakan sumber air minum lainnya. Berdasarkan data statistik di atas, apabila diasumsikan 30% saja dari sumur pompa yang ada menggunakan tenaga surya sebagai sumber energinya, maka dampak hasil penelitian ini sangatlah besar bagi masyarakat Indonesia, mencapai 6,7 % dari 90 juta Rumah tangga di Indonesia.

Dilain pihak, sumber-sumber energi konvensional di seluruh dunia semakin menipis dengan cepat. Meningkatnya permintaan energi dunia, karena masyarakat industri modern dan pertumbuhan penduduk, memotivasi banyak investasi dalam sumber energi terbarukan seperti photovoltaic (PV), karena bersih, bebas polusi dan tidak terbatas. Salah satu aplikasi yang paling populer dari pemanfaatan energi fotovoltaiik adalah sistem pompa air digerakkan oleh motor listrik.

Sistem pompa air bertenaga surya (PV water pump) merupakan salah satu implementasi dari pemanfaatan energi terbarukan (Afjei, E., Ghomsheh, A. N., dan Karami, A, 2007). Bila dipandang dari biaya instalasinya pompa air bertenaga surya jauh lebih mahal dari pompa listrik kebanyakan. Sampai saat ini, efisiensi PV water pump masih terbilang rendah, berkisar 40%. Bahkan, jika ditotal dengan energi surya yang dimanfaatkan, maka hanya 0,16 porsi energi surya yang dimanfaatkan untuk memompa air. Tetapi, sistem ini sangat ramah lingkungan dan cukup mudah serta cocok untuk diterapkan pada wilayah geografis Indonesia yang kaya akan sinar matahari.

Pompa air bertenaga surya dapat berdiri sendiri, hibrid, ataupun dipasangkan pada grid. Skema yang pertama banyak ditemukan pada daerah terpencil untuk memenuhi daya listrik kecil (Khan, S., Kulkarni, 2012). Beberapa penelitian sebelumnya difokuskan pada generator PV, baterai bank, konverter daya dan tracking (MPPT). Faktanya berbagai rekayasa di atas hanya mampu menghasilkan efisiensi sekitar 40-45%. Upaya peningkatan efisiensi sistem pompa air bertenaga surya juga dilakukan dengan menggunakan teknologi VSD (variable speed drive), dimana kontrolernya masih menggunakan algoritma ON-OFF, PID ataupun kombinasinya dengan sistem cerdas seperti Fuzzy dan jaringan syaraf tiruan (ANN).

Berbeda dengan hal-hal tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan rekayasa terhadap sistem pemasokan energi listrik pada pompa air bertenaga surya dengan menggunakan pendekatan heuristik murni. Pendekatan ini menggunakan logika fuzzy sebagai solusi yang termudah, lebih manusiawi dan dapat diterapkan pada perangkat mikrokontroler yang ekonomis (Terki, A, 2011). Sistem pengendali kecepatan motor DC untuk pompa air dirancang dengan

skema sensorless. Algoritma sensorless tradisional menggunakan metode PID (proportional integral and derivative) untuk mengatur kecepatan motor dc. Pada sistem ini, kontroler tidak perlu mengetahui kecepatan aktual motor secara langsung melalui sensor kecepatan, melainkan diperoleh melalui estimasi. Kecepatan aktual motor dc diestimasi melalui persamaan back-emf motor dc (Belohlavek, R., Klir, G. J., 2011)

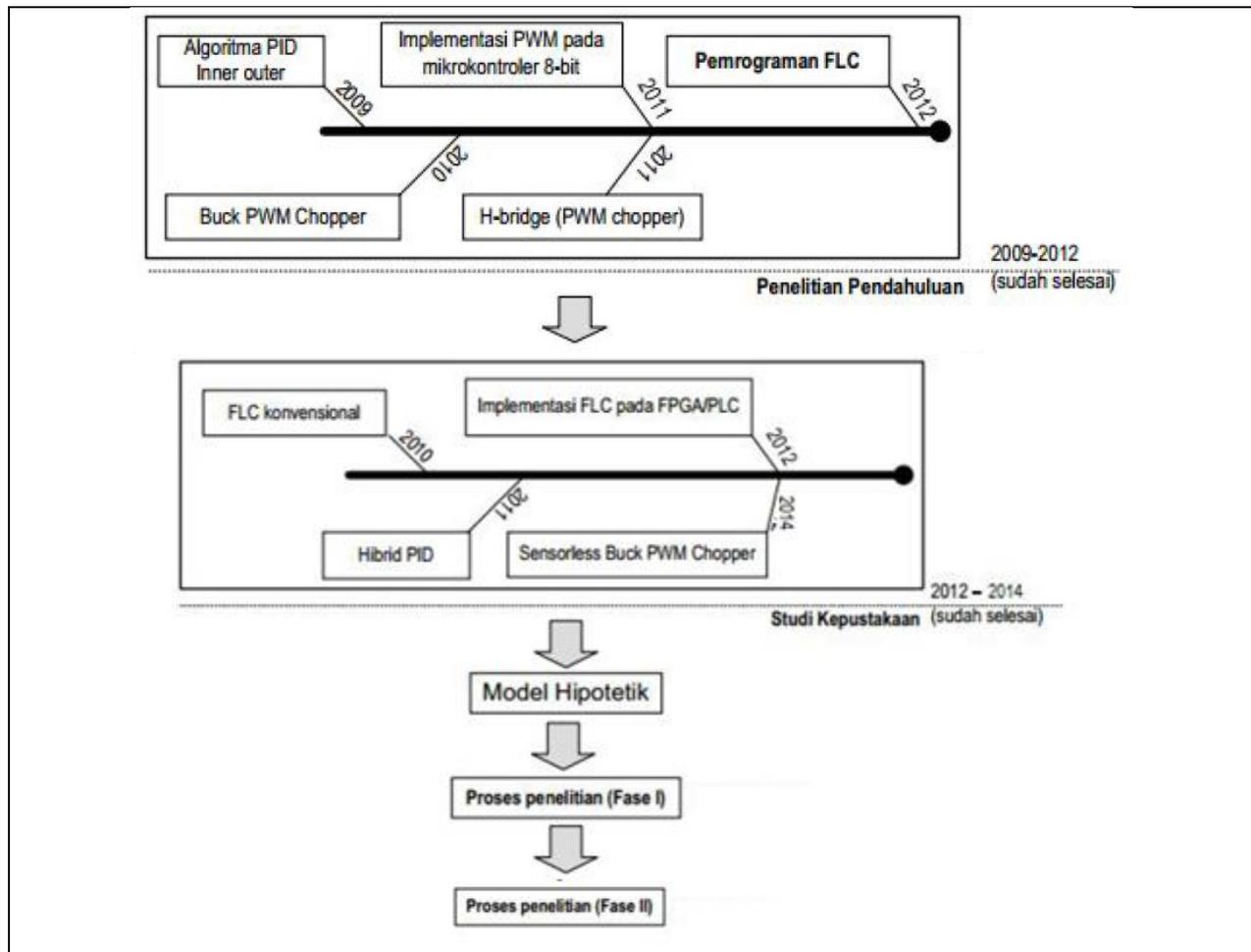
Algoritma sensorless tradisional lebih ekonomis, cocok untuk aplikasi kecepatan tinggi. Akan tetapi, metode ini tidak dapat diandalkan untuk aplikasi kecepatan rendah (Aripriharta, 2012). Pada kecepatan rendah back-emf yang dibangkitkan oleh motor dc sangat kecil, sehingga kontroler PID tidak merespon perubahan ini. Selain itu, sistem ini sangat rentan terhadap masalah stabilitas. Beberapa upaya untuk meningkatkan performa algoritma sensorless tradisional telah dilakukan, diantaranya adalah self tuning dengan metode hibrid pid fuzzy, dan optimasi menggunakan metode algoritma genetika. Metode-metode tersebut cenderung efektif untuk mengatasi masalah stabilitas sistem tanpa meningkatkan performa sistem pada kecepatan rendah.

Pada penelitian ini, digagas ide untuk mengembangkan algoritma sensorless-fuzzy. Metode fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan untuk menyatakan variabel yang akan dikontrol, dimana kawasan nilai keanggotaannya dapat dipersempit sesuai keinginan. Keistimewaan ini memungkinkan kontroler fuzzy untuk merespon perubahan kecil pada back-emf dengan baik ketika motor dc bekerja pada kecepatan rendah. Dengan demikian, maka permasalahan pada algoritma sensorless tradisional dapat diatasi dengan metode ini. Selanjutnya, pada penelitian ini metode sensorless-fuzzy akan diterapkan pada sebuah mikrokontroler 8bit mengganti metode PID pada pengendali pompa air bertenaga surya. Harapannya metode ini mampu memberikan hasil yang signifikan dalam memperbaiki performa sistem sekaligus efisiensinya.

Beberapa ahli berpendapat bahwa fuzzy dapat digunakan pada mikrokontroler 8bit. Bila dipandang dari aspek ekonomi/ komersialisasi, maka harga mikrokontroler 8bit yang terbilang murah dapat menekan biaya investasi (Hepzibah, E. J., Korah, R., 2012). Hal ini berarti bahwa alat yang akan dikembangkan pada penelitian ini memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Teknologi yang dihasilkan dari penelitian ini akan berdampak signifikan bagi pembangunan iptek di Indonesia, mengingat FLC sensorless dapat diterapkan pada berbagai aplikasi yang mencakup residensial, industri kecil, menengah maupun industri besar (Natsheh, E., Buragga, K.A., 2010). Selain berguna bagi masyarakat industri, teknologi ini juga penting untuk kalangan akademisi. Alat yang dihasilkan dapat dikemas menjadi trainer atau modul.

2. Metode

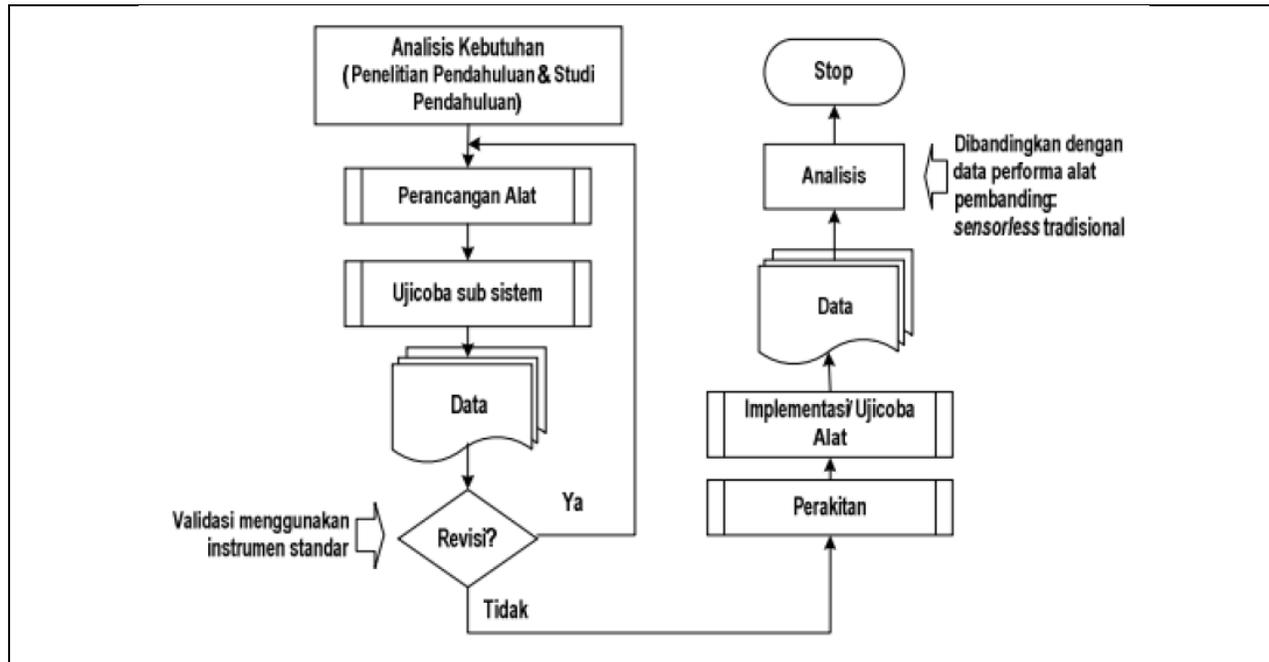
Penelitian ini merupakan jenis pengembangan. Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan sejak tahun 2009 dalam rangka mencapai target akhir penelitian ini. Gambar 1 memperlihatkan bagan alir penelitian. Penelitian ini telah dimulai dengan beberapa kegiatan penelitian pendahuluan yang mencakup PID, FLC, buck PWM dengan metode konvensional.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

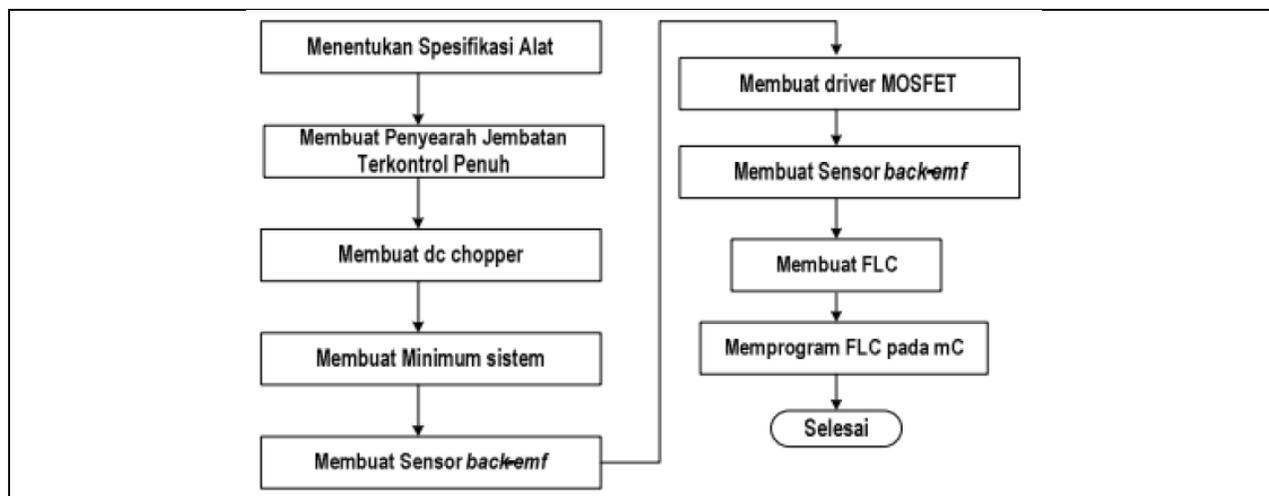
Studi kepustakaan dari jurnal internasional yang terkini telah diselesaikan pada akhir tahun 2012 dan diteruskan sampai awal 2013 untuk memperoleh informasi tambahan sebagai bahan kerja dan pertimbangan dalam penelitian ini. Proses penelitian ini dibagi menjadi dua fase selama dua tahun. Fase I yang telah dilaksanakan pada tahun ke-1 bertujuan untuk menghasilkan alat atau prototipe dan algoritma FLC *sensorless* untuk kendali motor dc. Berakhirnya fase 1 berarti 55% target penelitian telah terpenuhi. Fase II (penelitian saat ini) bertujuan untuk menghasilkan algoritma FLC *sensorless* yang teroptimasi khusus untuk kecepatan rendah. Fase ini dilakukan dengan metode eksperimen yang dimulai dengan proses optimasi algoritma hasil temuan fase I.

Seperti yang telah dituliskan di atas, penelitian ini terbagi menjadi dua fase penelitian. Proses penelitian Fase I yang telah dilaksanakan pada penelitian sebelumnya dilakukan sesuai diagram alir pada Gambar 2 berikut ini.

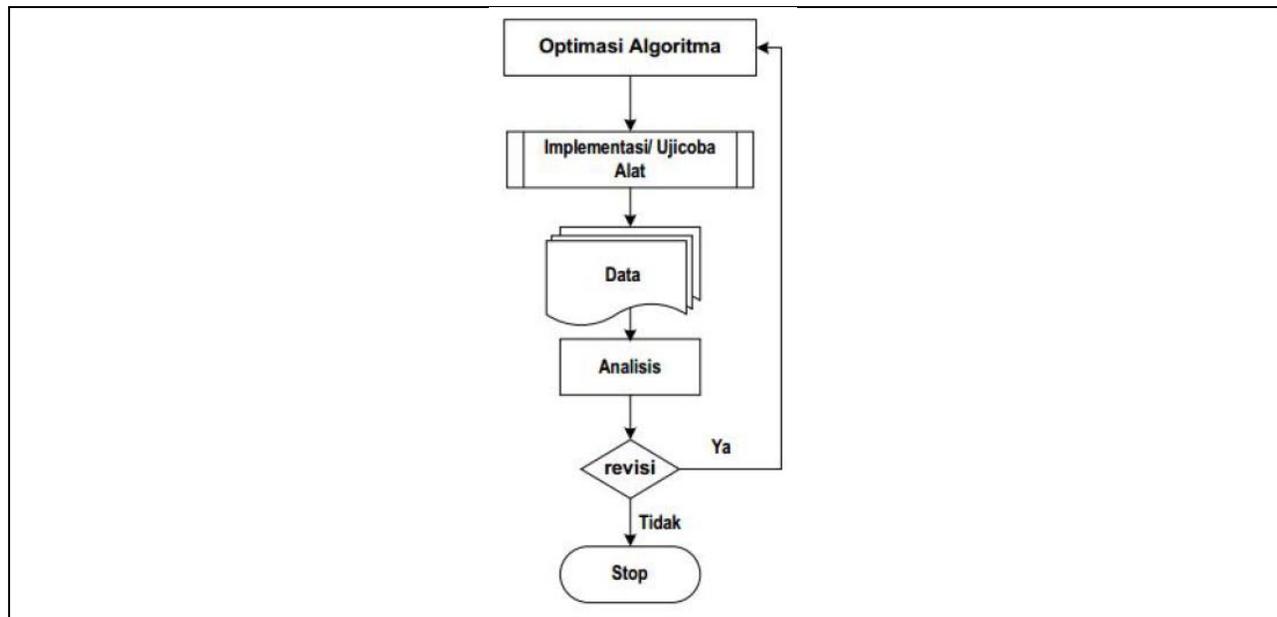


Gambar 2. Prosedur Penelitian Fase I

Fase I dimulai dengan analisis kebutuhan yang dilakukan dengan penelitian pendahuluan dan studi pendahuluan. Kemudian diteruskan dengan perancangan alat sesuai alur pada Gambar 3. Setiap sub sistem akan diuji performanya sebelum dirakit menjadi satu kesatuan. Selanjutnya dilakukan pengujian performa alat. Fase satu diakhiri dengan analisis performa FLC sensorless dengan membandingkannya terhadap metode PID konvensional.



Gambar 3. Prosedur Perancangan Alat

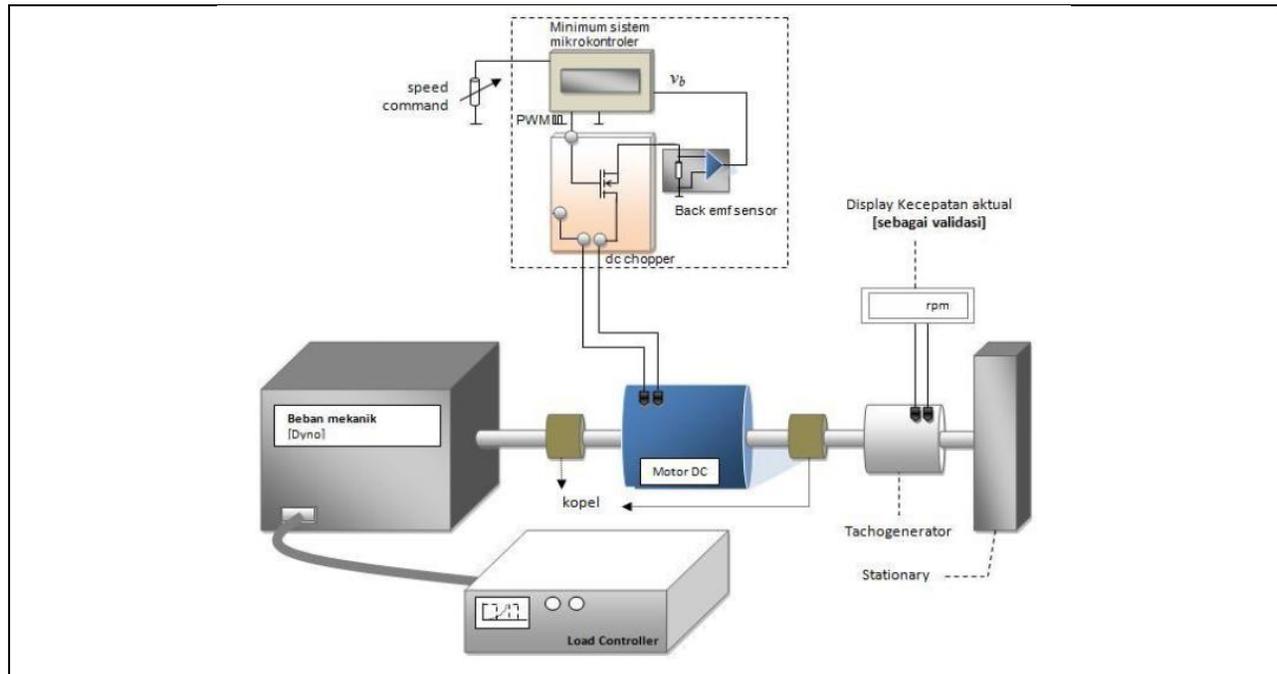


Gambar 4. Prosedur Penelitian Fase II

Fase II atau penelitain yang saat ini dijalankan menggunakan pendekatan optimasi algoritma. Teknik optimasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak. Selanjutnya, dilakukan implementasi atau ujicoba alat untuk memperoleh data performa sistem daalm kecepatan rendah. Selanjutnya data dianalisis, apabila performanya masih belum sesuai target, maka algoritma akan direvisi kembali agar dicapai performa yang baik pada kecepatan rendah.

a) Desain Eksperimen

Eksperimen dirancang sesuai Gambar 5. untuk mengetahui prilaku sistem terhadap perlakuan khusus yang diberikan. Perlakuan diterapkan pada setpoint dan torsi motor. Torsi beban diubah-ubah menggunakan kontroler beban mekanik. Setiap perubahan setpoint akan menghasilkan perubahan kecepatan motor dc, variabel eror, delta eror dan matriks FAM. Variabel PWM dan duty cycle akan mempengaruhi besarnya tegangan dan arus jangkar (Dewangan,A. K., Shukla, S., Yadu, V. 2012). Tegangan jangkarnya berpengaruh pada kecepatan motor. Arus jangkar dipengaruhi oleh tegangan jangkar, arus jangkar mempengaruhi besar kecilnya torsi motor.



Gambar 5. Pengujian Alat

Prilaku sistem diamati berdasarkan perubahan beberapa variabel-variabel tersebut. Secara khusus hubungan antara variabel yang akan diamati dalam penelitian ini antara lain:

- Respon sistem terhadap setiap perubahan setpoint
- Perubahan kecepatan motor terhadap duty cyclenya
- Gejala dinamis sistem akibat pengaruh perlakuan variabel torsi dengan menerapkan torsi undak melalui beban mekaniknya.

Dari hasil pengambilan data variable dalam penelitian ini, akan dikaji lebih mendalam mengenai data sensorless yaitu, kecepatan aktual tidak langsung yang diperoleh melalui sensor kecepatan, melainkan diperoleh melalui proses estimasi optimasi fuzzy.

b) Teknik Analisis Data

Data-data dalam penelitian ini dikumpulkan berdasarkan hasil teraan instrumen laboratorium. Data-data ini dibandingkan dengan data-data performa metode terdahulu. Analisis dalam penelitian ini mencakup performa sistem dan stabilitas sistem. Masing-masing analisis menunjukkan hasil perbandingan dengan metode sensorless tradisional untuk menunjukan margin keberhasilan metode yang dikembangkan. Profil performansi dan kestabilan alat dideskripsikan melalui grafik.

3. Hasil

Dari hasil pengambilan data variable dalam penelitian ini, akan dikaji lebih mendalam mengenai data *sensorless* yaitu, kecepatan aktual tidak langsung yang diperoleh melalui sensor kecepatan, melainkan diperoleh melalui proses estimasi optimasi fuzzy. Tahapan yang dapat diselesaikan saat ini (tahap pertama) adalah model simulasi dan protipe sistem kendali fuzzy *sensorless* untuk mengatur *flow rate* pompa air DC. Sistem ini akan memiliki kemampuan untuk memenuhi kebutuhan air dala satu keluarga kecil. Apabila rata-rata dalam satu keluarga diperlukan 160 Galon sampai dengan 240 Galon air per hari dalam stiap bulannya, tergantung keperluannya dan musim (1). Kebutuhan air rata-rata per hari mencapai 200 Galon. Bila kita menggunakan sistem pompa air bertenaga surya langsung diperlukan debit air (*flow rate*), seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Estimasi *Flow Rate*

Item	Volume air (Galon)	waktu operasinal (hours)	Flow (Gph)	Flow (Gpm)
min	160	2	80.00	1.33
max	200	2	100.00	1.67
rerata	180	2	90.00	1.50

Sesuai rencana penelitian, pompa harus mampu mengangkat air dari ketinggian 3 m (hv) sampai dengan 5 m, kemudian memindahkan air tersebut ke tangki yang berjarak 100 m (ht) sampai 150 m.

a) Total *Dynamic Head* (TDH)

Tabel 2. Hasil Perhitungan TDH

Total Dynamic Head (TDH)	Tekanan Hidrolis (Ekivalen Head)			
I. Static head				
a. Lift	5 m	16.4 f	vertical loss	7.10 psi
b. Slide (pipa 1/2" horisontal)	100 m	328 f	horizontal loss	4.89 psi
II. Dynamic Head				
a. valve & Fitting loss	0.58 m	1.8938 f	valve & fitting	0.82 psi
Total TDH	105.58 m	346.29 f	Total TDH (psi)	12.81

TDH bergeser dari 105 m menjadi 105,58 karena pengaruh rugi-rugi pada transmisi air (*valve*, *fitting*, dan tekanan horizontal pipa).

b) Energi keluaran hidrolis pompa (E_{out_pompa})

Tabel 3. Hasil Perhitungan Energi Hidrolis Pompa per hari

Waktu operasional pompa		2.00 h	
Daya Hidrolik (Po,pump)		Energi yang dihasilkan pompa	
a. min	75.81 W	a. min	151.63 Wh
b. max	94.77 W	b. max	189.54 Wh
c. rerata	85.29 W	c. rerata	170.58 Wh

c) Energi yang dihasilkan PV panel

Perlu diperhatikan bahwa dalam merancang sistem pompa air bertenaga surya, kapasitas panel harus dikalikan dengan konstanta 1,2 sampai dengan 1,3 (*oversize factor*) dari kapasitas hidrolis pompa. Total energi yang harus dihasilkan oleh panel surya = $E_{out_pompa} \times 1,3$ Wh/hari = 246,40 Wh/hari. Sedangkan ukuran PV panel diperhitungkan sebagai berikut ini. Kapasitas panel surya yang diperlukan = $E_{panel}/2,4$ Wp = $246,40/2,4 \cong 110$ Wp. Jumlah panel surya yang diperlukan = 1×110 Wp. Dengan demikian dipilih panel surya dengan kemampuan 110 Wp dengan detail sebagai berikut.

Maximum Power	: 110 Watt
Power Tolerance	: $\pm 5\%$
Voltage at max power (Vmp)	: 17.2V
Current at max power (Imp)	: 6.40A
Open Circuit Voltage (Voc)	: 21.6V
Short Circuit Current (Isc)	: 6.32A
Operating Temperature	: -40°C - 85°C
Maximum System Voltage	: 1000V
Maximum Series Fuse Rating	: 8A

Dengan rerata efektif terik matahari 5,4h per hari dan tingkat optimisme dipilih 0.76, maka panel ini mampu menghasilkan energi sebesar $(5.6hx110Wp \times 0.76) = 468,16$ Wh perhari. Dari aspek desain, kapasitas energi listrik yang tersedia cukup untuk menjalankan sistem secara optimal, bahkan bila sistem selalu dioperasikan dengan rating maksimalnya.

d) Motor Pompa, Regulator (*charge controller*) dan Baterai

Motor pompa yang dipilih memiliki rating daya 100W, sehingga memiliki margin 5.23W lebih besar dari daya hidrolis yang diperlukan. Pompa air yang digunakan :

Tipe	: DPW69-12 DC 12V 8A 1000 GPH
Alternatif	: 1) DPW69-24 DC 24V 4.5A 1000GPH

2) 12VShuflo motor

Motor Penggerak : Brushless DC Motor

Daya Keluaran = 100W

Tegangan kerja = 12 Vdc

Arus masukan = 8A

Eff. Motor = 88%

Head = 7m max. Lift

Volume = 69Lpm (setara 18.22 Gpm)

Dimensi = 3.5" x 5.7" berat 740g

Pipe = ½ "

Kapasitas regulator dc = 20-30% lebih besar dari total daya beban, sehingga

$P_{\text{regulator}} = 125\% \times 100W = 125 W$

Battery capacity = $(E_{\text{out_pompa}} \times 3) / (0.85 \times 0.6 \times 12) = 49.01 \text{ Ah}$.

Jadi baterai yang digunakan memiliki kapasitas 12V, 50Ah dengan 3 hari *autonomy*.

Solar charge controller rating = $(4 \text{ strings} \times 6,32 \text{ A}) \times 1,3 = 32,8A \approx 33A, 12V$

Untuk simulasi pengendalian kecepatan digunakan sebuah motor dc 6V seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Fuzzy Logic Controller

Kendali *close loop* bekerja berdasarkan sensor *photodiode* yang mendeteksi perbedaan RPM *setpoint* dan kecepatan putar motor dc yang digunakan sebagai umpan balik dari sistem kendali. Selisih (*Error*) dikelompokkan dalam jangkauan -10% sampai +10%.

Setelah kuantisasi *error* didapat, maka langkah selanjutnya adalah mencari *delta error* untuk mendapatkan nilai *error* yang sama dengan atau mendekati 0%. *Delta error* diperoleh dengan cara mengurangi *error* saat ini dengan *error* sebelumnya. Setelah itu dilakukan proses

fuzzifikasi, pengaturan *rule out* dan defuzzifikasi sehingga *output* RPM akan mencapai *setpoint* yang ditentukan. Tabel 4 dan Tabel 5, menunjukkan bahwa *error* semakin kecil setelah melalui periode waktu (t) tertentu. Nilai *error* yang menurun menunjukkan bahwa kendali *fuzzy* berhasil mengendalikan kecepatan motor dc mendekati RPM.

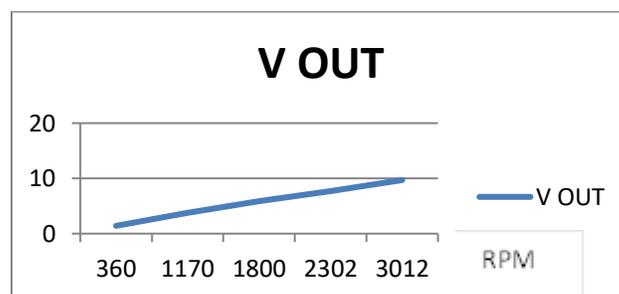
Tabel 4. Rangkaian Dengan Mode Normal

Kondisi Beban	Set Point (PWM)	Output RPM	Tegangan (V out Motor)
Tanpa beban	50	360	1,41
	100	1170	3,8
	150	1800	5,9
	200	2302	7,7
	250	3012	9,7

Tabel 5. Rangkaian Dengan Mode Normal

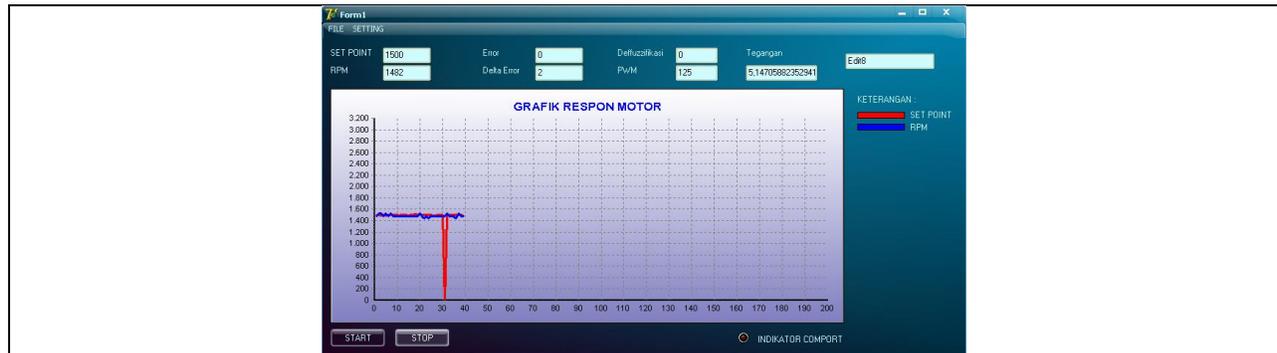
Beban	Set Point (RPM)	Output RPM	Tegangan (V out motor)
1	1500	1482	5,06
2	1500	1482	5,1
3	1500	1482	5,18
4	1500	1482	5,4
5	1500	1482	6

Grafik hasil percobaan tegangan keluaran V_{out} terhadap kecepatan putaran motor, seperti pada gambar 7.

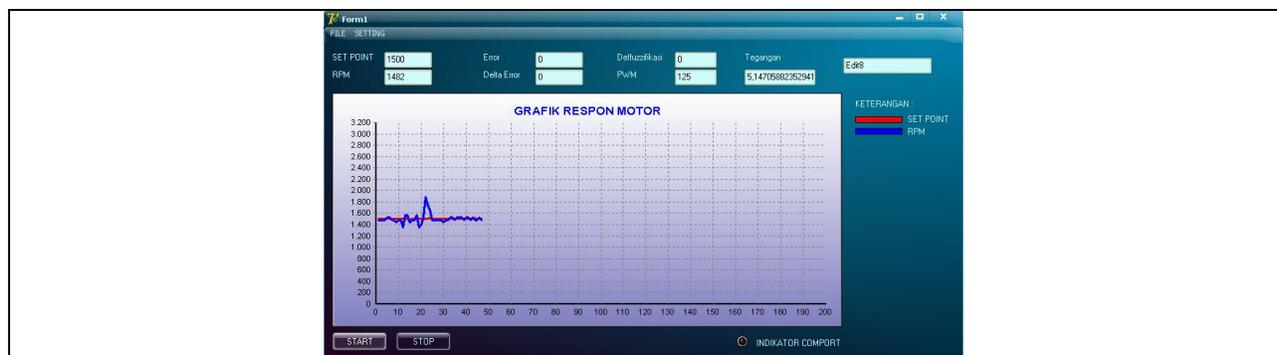


Gambar 7. Grafik Tegangan Keluaran V_{out} Terhadap Kecepatan Putaran Motor

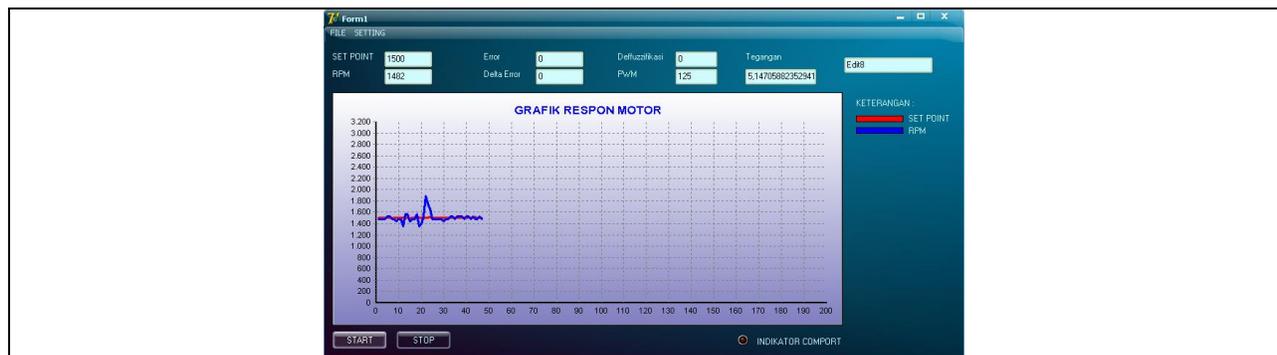
Berikut ini merupakan hasil monitoring kecepatan putaran motor dalam RPM dengan pembebanan, melalui tampilan aplikasi, seperti pada gambar 8. sampai gambar 12.



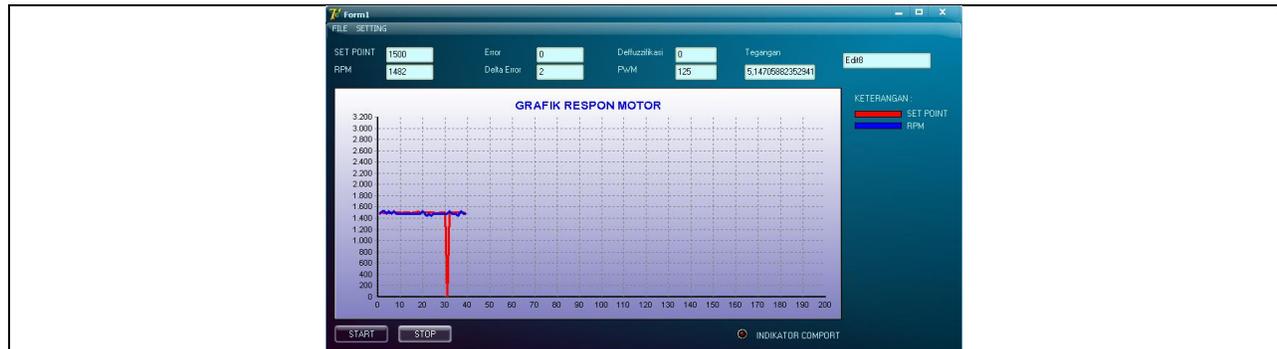
Gambar 8. Grafik Beban 1



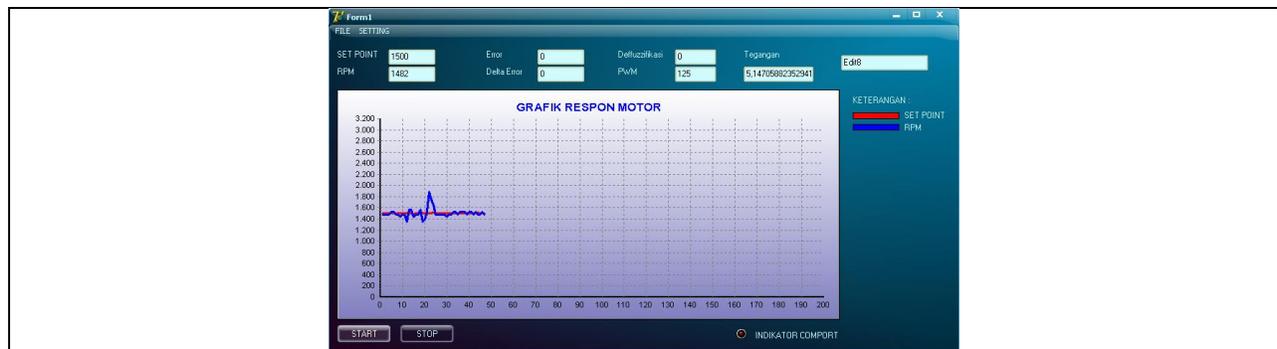
Gambar 9. Grafik Beban 2



Gambar 10. Grafik Beban 3



Gambar 11. Grafik Beban 4



Gambar 12. Grafik Beban 5

4. Kesimpulan

Pada penelitian tahap tahun pertama ini menghasilkan sebuah prototipe pengendali pompa air dc menggunakan algoritma *sensorless*. Prototipe yang dihasilkan cukup stabil dalam mengatur putaran motor dengan menghasilkan *error* 1.2% yang lebih kecil nilainya dari nilai *error* yang ditargetkan (5-7%).

Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa *output* rpm akan melakukan *tunning* sehingga mencapai *setpoint* 1500, namun tegangan motor akan berubah-ubah. Ini dikarenakan untuk membuat putaran motor sesuai yang diinginkan, maka logika *fuzzy* mengolah data tersebut, kemudian secara otomatis menaikkan atau menurunkan tegangan (dalam hal ini PWM diubah-ubah) motor untuk mencapai *setpoint* yang diinginkan.

Daftar Rujukan

Afjei, E., Ghomsheh, A. N., dan Karami, A. 2007. "Sensorless Speed/ Position Control of Brushed DC Motor. IEEE".

- Anonim, Sistem Off Grid, On Grid PLTS. (<http://solarsuryaindonesia.com/info/sistem-off-grid-on-grid-tie>), online diakses 21 November, 2013.
- Aripriharta, 2012. Performance analysis of sensorless SVPWM inverter. SENTIA Vol 7.
- Belohlavek, R., Klir, G. J., 2011. Concepts and Fuzzy Logic. Massachusetts Institute of Technology.
- Dewangan, A. K., Shukla, S., Yadu, V. 2012. Speed Control of a Separately Excited DC Motor Using Fuzzy Logic Control Based on Matlab Simulation Program. International Journal of Scientific & Technology Research Volume 1, Issue 2, March ISSN 2277-8616.
- Hepzibah, E. J., Korah, R., 2012. Microcontroller Implementation for Speed Control of a DC Motor using Fuzzy Logic. European Journal of Scientific Research (EJSR) ISSN 1450-216X Vol. 92 No 2 December pp.203-213.
- Khan, S., Kulkarni, U. 2012. Design and implementation of Fuzzy logic controller for a DC. ISSN 2250-2459, Volume 2, Issue 8, August.
- Natsheh, E., Buragga, K.A., 2010. Comparison between Conventional and Fuzzy Logic PID Controllers for Controlling DC Motors. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue 5.
- Terki, A., Moussi, A., Betka, A., Terki, N, 2011. "The Effectiveness Of Fuzzy Logic Control For Pv Pumping System". Courrier Du Savoir, Octobre 2011, Pp.47-55.