

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab 4 ini menyajikan hasil dari perancangan dan pengujian alat pengatur kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan Arduino dengan metode PID. Perancangan alat ini telah sesuai seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3 dan untuk pengujiannya dilakukan 3 pengujian yaitu pengujian *rise time* motor, pengujian efisiensi daya dan pengujian perbandingan daya dengan menggunakan alat pengatur kecepatan dengan tidak memakai alat pengatur kecepatan. Hasil perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan analisis rangkaian pengendali dijelaskan pada Lampiran 1.



Gambar 4.1 Hasil perancangan alat pengatur kecepatan motor induksi

4.1 Pengujian *Rise Time* Motor

Pengujian pertama adalah pengujian *rise time* motor, pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa cepat motor mencapai kecepatan referensi dalam keadaan berbeban. Respon motor untuk mencapai pada kecepatan referensi menggunakan metode PID dengan pengujian berulang – ulang/ *try & error* dan dengan menggunakan metode *good gain* untuk mendapatkan nilai Kp, Ki dan Kd yang sesuai. Dapat dilihat nilai Kp, Ki, dan Kd pada Tabel 4.1. Hasil pengujian *rise time* motor dapat dilihat pada Tabel 4.2 Pengujian tanpa beban dan Tabel 4.3 – 4.7 Pengujian berbeban.

Tabel 4.1 Nilai Kp, Ki, Kd

Kecepatan Referensi (Rpm)	Kp	Ki	Kd
2500	7	2	7
2300	7	1,8	6,5
2200	7	1,6	5
1900	7	2,5	5,5
1800	7	2,6	5,5

4.1.1 Pengujian *Rise Time* Tanpa Beban

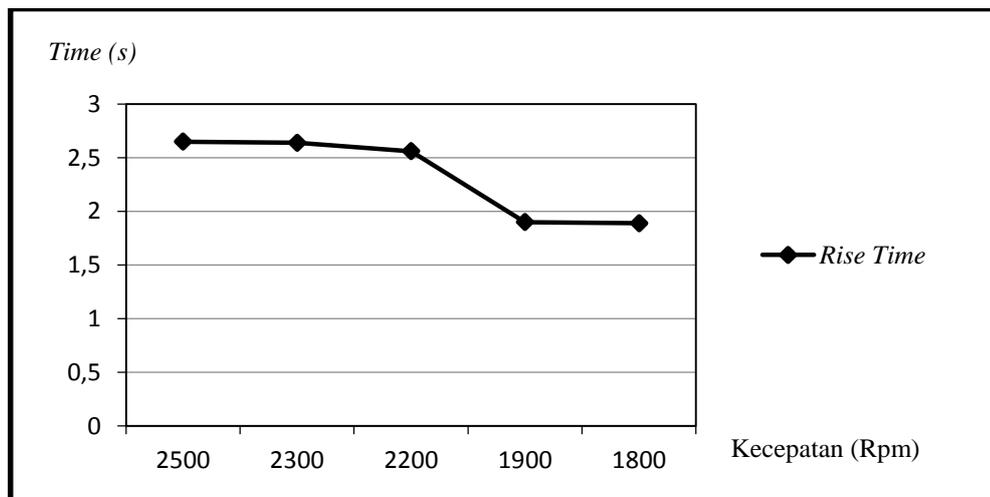
Pengujian *rise time* tanpa beban bertujuan untuk melihat seberapa cepat motor menuju pada kecepatan referensi. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengujian dengan kecepatan referensi yang berbeda.

Tabel 4.2 Pengujian *rise time* tanpa beban

Kecepatan Referensi (Rpm)	Delay Mosfet (ms)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		<i>Rise time</i> (s)
			V _{in}	V _o	I _{in}	I _o	
2500	9	41,67	171	88	0,54	0,58	2,65
2300	10	38,33	168	73	0,54	0,44	2,64
2200	11	36,67	170	70	0,52	0,24	2,56
1900	12	31,67	167	65	0,53	0,32	1,9
1800	13	30	173	50	0,56	0,26	1,89

Tabel 4.2 terlihat bahwa semakin besar nilai *delay* yang diberikan maka semakin kecil nilai frekuensi yang didapat karena *delay* merupakan jeda waktu dimana saklar atau *gate* pada mosfet di *on/off* kan. Besar kecilnya frekuensi

mempengaruhi kecepatan, tegangan dan arus keluaran. Dimana, semakin kecil frekuensi yang diberikan kecepatan, tegangan dan arus keluaran semakin kecil pula. *Rise time* motor untuk menuju keadaan kecepatan referensi juga semakin mengecil karena kecepatan referensi yang ditentukan semakin menurun. Hal ini dikarenakan, sistem pengendali akan mengatur kecepatan motor lebih cepat pada kecepatan referensi yang lebih kecil dan bila kecepatan referensi besar maka pengendali membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menuju kecepatan tersebut.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan *rise time* pada kecepatan referensi yang berbeda

Gambar 4.2 menunjukkan grafik perbandingan *rise time* motor pada keadaan kecepatan referensi yang berbeda. Semakin besar kecepatan referensi yang ditentukan maka semakin lama pula *rise time* motor dan sebaliknya semakin kecil kecepatan referensi semakin cepat *rise time* motor tersebut. Hal ini dikarenakan, pada sistem kendali memerlukan waktu untuk mengatur motor pada kecepatan referensinya.

4.1.2 Perbandingan Optimasi *Rise Time* Motor pada Saat Tidak Berbeban

Perbandingan optimasi *rise time* motor pada saat tidak berbeban dilakukan dengan membandingkan waktu *rise time* penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan pada jurnal yang berjudul Optimasi Parameter Kontrol PID Berbasis Particle Swarm Optimization untuk Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase dilakukan oleh Suhartono di ITS Surabaya. Perbandingan ini dilakukan pada objek yang berbeda yaitu motor induksi 1 fasa dan 3 fasa, tetapi menggunakan

metode yang sama yaitu pengendali PID. Hal ini, bertujuan untuk melihat seberapa besar optimasi pengendali PID dalam mempercepat *rise time* motor menuju kecepatan referensinya. Data hasil perbandingan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan *rise time* motor induksi 3 fasa dan 1 fasa

Motor Induksi	3 fasa	1 fasa
Set Point	1000 Rpm	1000 Rpm
K_p	11,2215	7
K_i	2,0873	2,5
K_d	5,4503	4,5
<i>Rise Time</i>	9,625 s	2,2 s

Tabel 4.3 menunjukkan hasil perbandingan waktu *rise time* motor induksi 3 fasa dan 1 fasa menggunakan pengendali PID. Terdapat perbedaan waktu *rise time* yang dibutuhkan motor untuk mencapai pada kecepatan referensinya, masing – masing sebesar 9,625 s untuk motor induksi 3 fasa dan 2,2 s untuk motor induksi 1 fasa.

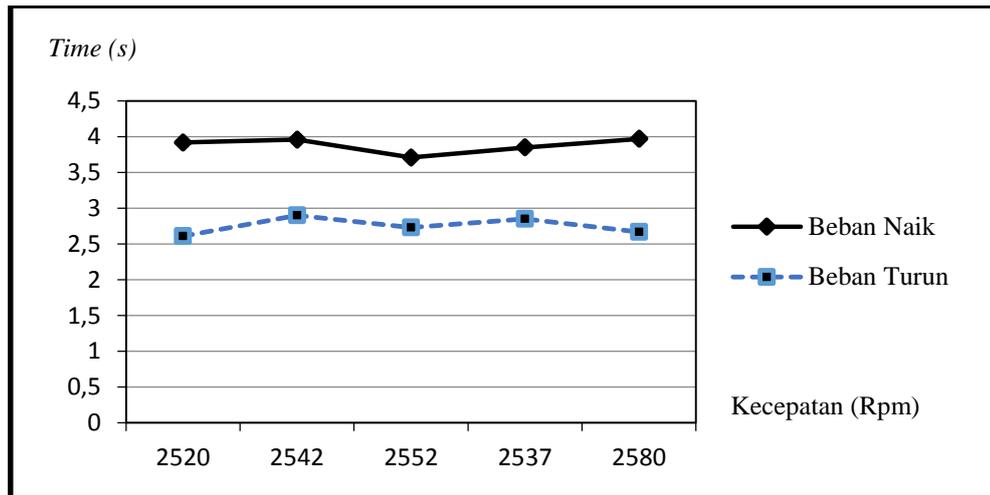
4.1.3 Pengujian *Steady State Time* Motor Berbeban

Pengujian *steady state time* motor berbeban dilakukan dengan memberi hambatan mekanik pada putaran motor untuk melihat seberapa cepat respon motor kembali pada kecepatan referensi yang telah ditentukan. Beban naik yaitu pada saat putaran diberi hambatan mekanik dan beban turun yaitu pada saat hambatan mekanik dilepas.

Tabel 4.4 Pengujian *steady state time* berbeban dengan kecepatan referensi 2500 Rpm

No.	Kecepatan (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		<i>Steady state time</i> (s)	
			V_{in}	V_o	I_{in}	I_o	Beban naik	Beban Turun
1.	2520	42,00	178	90	0,55	0,58	3,92	2,61
2.	2542	42,37	169	87	0,64	0,5	3,96	2,9
3.	2552	42,53	170	82	0,55	0,54	3,71	2,73
4.	2537	42,28	174	84	0,66	0,55	3,85	2,85
5.	2580	43,00	172	92	0,56	0,59	3,97	2,67

Tabel 4.4 menunjukkan pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengujian pada kecepatan referensi yaitu 2500 Rpm. *Steady state time* pada saat beban naik dan beban turun memiliki perbedaan waktu. Dimana, pada beban naik memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pada saat beban dilepas atau beban turun. Hal ini dikarenakan, alat pengendali membutuhkan waktu untuk menghitung dan mengembalikan putaran pada kecepatan referensi saat terjadi adanya hambatan.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan turun

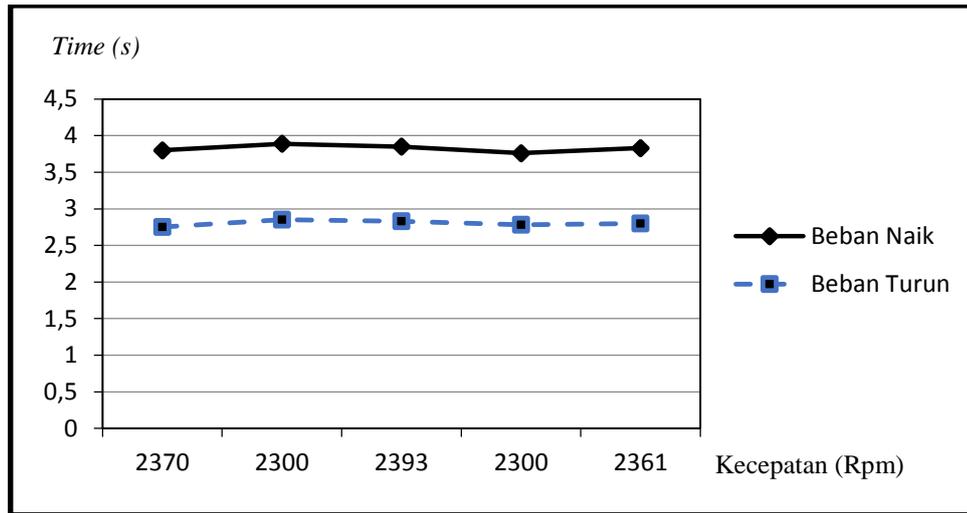
Gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan beban turun pada kecepatan referensi 2500 Rpm. Terlihat bahwa adanya perbedaan waktu sebesar ± 1 s pada beban naik dan beban turun untuk mencapai keadaan *steady state* pada kecepatan referensinya.

Tabel 4.5 Pengujian *steady state time* berbeban dengan kecepatan referensi 2300 Rpm

No.	Kecepatan (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		<i>Steady state time</i> (s)	
			V _{in}	V _o	I _{in}	I _o	Beban naik	Beban Turun
1.	2370	39,50	164	77	0,57	0,43	3,8	2,75
2.	2300	38,33	179	70	0,54	0,4	3,89	2,85
3.	2393	39,88	165	75	0,54	0,41	3,85	2,83
4.	2300	38,33	169	68	0,51	0,39	3,76	2,78
5.	2361	39,35	175	77	0,49	0,44	3,83	2,8

Tabel 4.5 menunjukkan pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengujian pada kecepatan referensi yaitu 2300 Rpm. *Steady state time* pada saat beban naik dan

beban turun memiliki perbedaan waktu. Dimana, pada beban naik memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pada saat beban dilepas atau beban turun. Hal ini dikarenakan, alat pengendali membutuhkan waktu untuk menghitung dan mengembalikan putaran pada kecepatan referensi saat terjadi adanya hambatan.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan turun

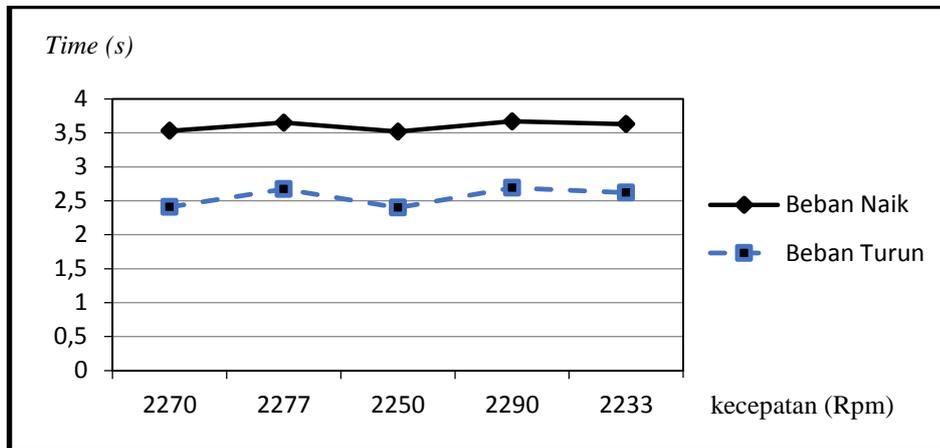
Gambar 4.4 menunjukkan grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan beban turun pada kecepatan referensi 2300 Rpm. Terlihat bahwa adanya perbedaan waktu sebesar ± 1 s pada beban naik dan beban turun untuk mencapai keadaan *steady state* pada kecepatan referensinya.

Tabel 4.6 Pengujian *steady state time* berbeban dengan kecepatan referensi 2200 Rpm

No.	Kecepatan (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		<i>Steady state time</i> (s)	
			V _{in}	V _o	I _{in}	I _o	Beban naik	Beban Turun
1.	2270	37,83	172	67	0,52	0,25	3,53	2,41
2.	2277	37,95	162	70	0,53	0,3	3,65	2,67
3.	2250	37,50	178	64	0,5	0,26	3,52	2,4
4.	2290	38,17	166	62	0,58	0,24	3,67	2,69
5.	2233	37,22	170	69	0,55	0,29	3,63	2,62

Tabel 4.6 menunjukkan pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengujian pada kecepatan referensi yaitu 2200 Rpm. *Steady state time* pada saat beban naik dan

beban turun memiliki perbedaan waktu. Dimana, pada beban naik memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pada saat beban dilepas atau beban turun. Hal ini dikarenakan, alat pengendali membutuhkan waktu untuk menghitung dan mengembalikan putaran pada kecepatan referensi saat terjadi adanya hambatan.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan turun

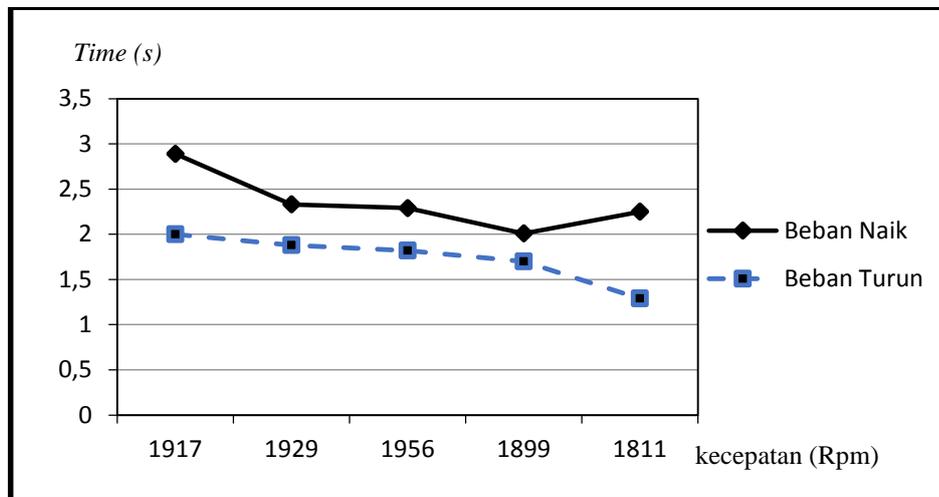
Gambar 4.5 menunjukkan grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan beban turun pada kecepatan referensi 2200 Rpm. Terlihat bahwa adanya perbedaan waktu sebesar ± 1 s pada beban naik dan beban turun untuk mencapai keadaan *steady state* pada kecepatan referensinya.

Tabel 4.7 Pengujian *steady state time* berbeban dengan kecepatan referensi 1900 Rpm

No.	Kecepatan (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		<i>Steady state time</i> (s)	
			V _{in}	V _o	I _{in}	I _o	Beban naik	Beban Turun
1.	1917	31,95	179	70	0,52	0,29	2,89	2
2.	1929	32,15	170	67	0,55	0,36	2,33	1,88
3.	1956	32,60	169	65	0,53	0,32	2,29	1,82
4.	1899	31,65	175	62	0,59	0,33	2,01	1,7
5.	1811	30,18	179	66	0,52	0,35	2,25	1,29

Tabel 4.7 menunjukkan pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengujian pada kecepatan referensi yaitu 1900 Rpm. *Steady state time* pada saat beban naik dan beban turun memiliki perbedaan waktu. Dimana, pada beban naik memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pada saat beban dilepas atau beban turun.

Hal ini dikarenakan, alat pengendali membutuhkan waktu untuk menghitung dan mengembalikan putaran pada kecepatan referensi saat terjadi adanya hambatan.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan *steady state time* paada saat beban naik dan turun

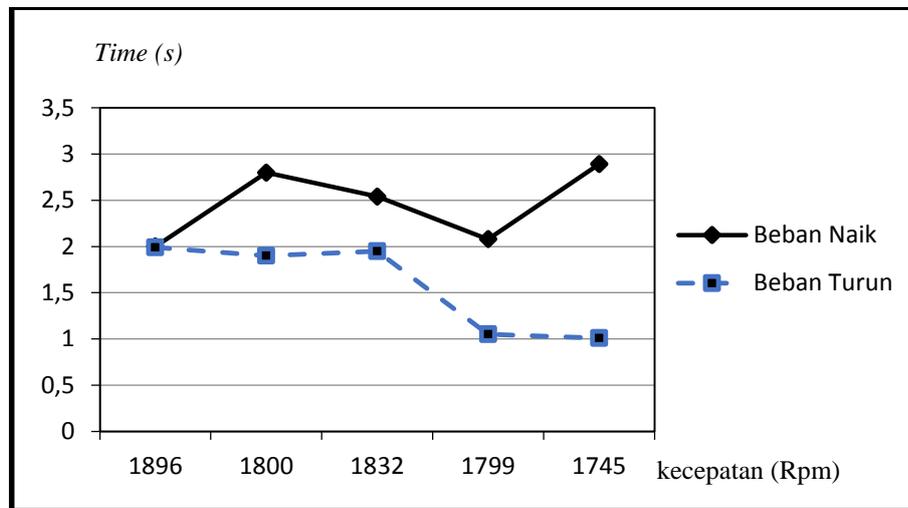
Gambar 4.6 menunjukkan grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan beban turun pada kecepatan referensi 1900 Rpm. Terlihat bahwa adanya perbedaan waktu sebesar ± 1 s pada beban naik dan beban turun untuk mencapai keadaan *steady state* pada kecepatan referensinya.

Tabel 4.8 Pengujian *steady state time* berbeban dengan kecepatan referensi 1800

No.	Kecepatan (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		<i>Steady state time</i> (s)	
			V _{in}	V _o	I _{in}	I _o	Beban naik	Beban Turun
1.	1896	34,93	169	47	0,5	0,3	2	1,99
2.	1800	33,33	176	45	0,57	0,37	2,8	1,9
3.	1832	33,87	173	48	0,53	0,29	2,54	1,95
4.	1799	34,98	170	40	0,58	0,31	2,08	1,05
5.	1745	34,08	174	50	0,54	0,26	2,89	1,01

Tabel 4.8 menunjukkan pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengujian pada kecepatan referensi yaitu 1800 Rpm. *Steady state time* pada saat beban naik dan beban turun memiliki perbedaan waktu. Dimana, pada beban naik memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pada saat beban dilepas atau beban turun.

Hal ini dikarenakan, alat pengendali membutuhkan waktu untuk menghitung dan mengembalikan putaran pada kecepatan referensi saat terjadi adanya hambatan.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan turun

Gambar 4.7 menunjukkan grafik perbandingan *steady state time* pada saat beban naik dan beban turun pada kecepatan referensi 1800 Rpm. Terlihat bahwa adanya perbedaan waktu sebesar ± 1 s pada beban naik dan beban turun untuk mencapai keadaan *steady state* pada kecepatan referensinya.

4.2 Pengujian Efisiensi Daya

Pengujian efisiensi daya dilakukan untuk mengetahui besar selisih antara daya yang masuk dengan daya yang digunakan dalam pengoperasian motor induksi ini. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengujian pada frekuensi dan kecepatan referensi yang berbeda. Pengujian efisiensi daya dilakukan juga pada keadaan tanpa beban dan pada keadaan motor berbeban.

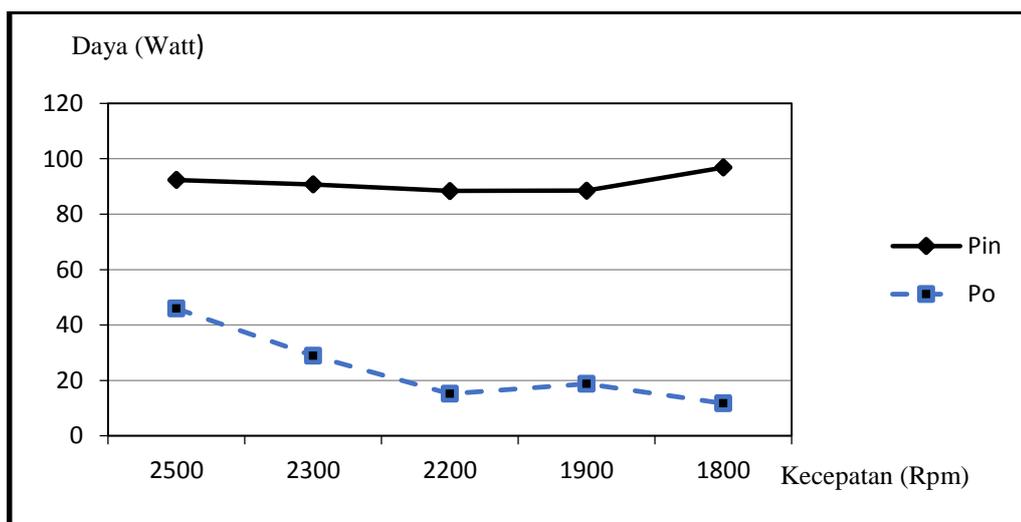
4.2.1 Pengujian Efisiensi Daya Tanpa Beban

Pengujian efisiensi daya tanpa beban dilakukan untuk melihat seberapa besar selisih daya masukan dan daya keluaran yang digunakan oleh motor pada keadaan motor tidak diberi hambatan. Perhitungan daya *input* dan daya *output* motor menggunakan Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.8. Data pengujian terlihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data pengujian daya tanpa beban

Kecepatan referensi (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		Daya (Watt)		η
		V_{in}	V_o	I_{in}	I_o	P_{in}	P_o	
2500	41,67	178	90	0,54	0,58	96,12	52,20	54,31
2300	38,33	170	78	0,54	0,44	91,80	34,32	37,39
2200	36,67	171	75	0,52	0,24	88,92	18	20,24
1900	31,67	169	70	0,53	0,32	89,57	22,40	25,01
1800	30	175	54	0,56	0,26	98	14,04	14,33

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa data hasil pengujian daya yang didapat pada setiap kecepatan referensi dan frekuensi yang semakin kecil akan menghasilkan daya keluaran yang semakin kecil dan nilai efisiensi yang menurun. Konsumsi daya yang semula memerlukan daya sebesar 186,5 watt, setelah menggunakan sistem pengendali konsumsi daya menjadi berkurang disebabkan motor tidak bekerja pada keadaan optimalnya sehingga motor tidak mengkonsumsi daya listrik normal. Hal yang sangat berpengaruh dalam penggunaan daya yaitu pengaturan frekuensi yang dilakukan oleh sistem kendali. Pada keadaan normal, suplai membutuhkan frekuensi sebesar 50 Hz untuk menghasilkan tegangan 220v yang akan diberikan oleh motor. Akan tetapi, pada sistem kendali frekuensi suplai motor diatur di bawah 50 Hz sehingga tegangan yang akan disuplai pada motor tidak mencapai 220v.



Gambar 4.8 pengujian daya *input* dan daya *output*

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian daya *input* dan daya *output* yang mengalami perubahan yaitu setiap kecepatan referensi dan frekuensi yang semakin kecil akan menghasilkan daya keluaran yang semakin kecil pula.

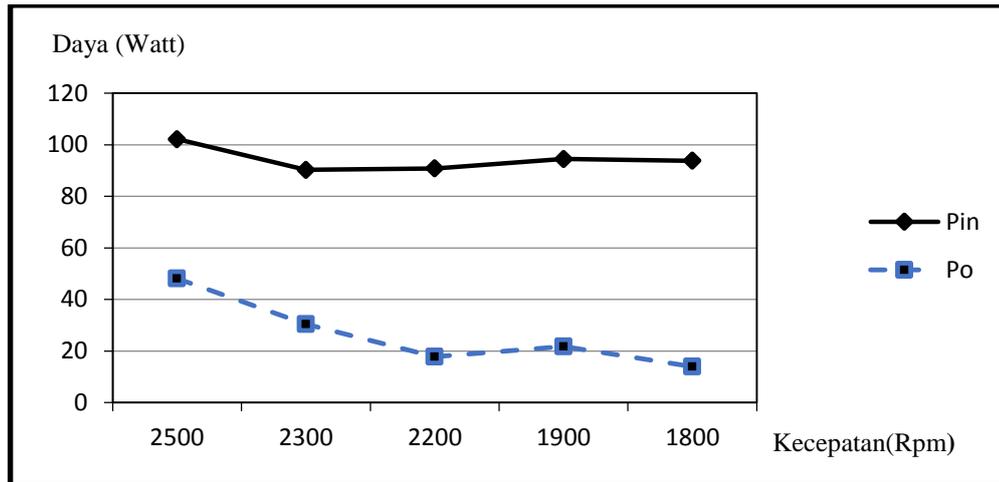
4.2.2 Pengujian Efisiensi Daya Berbeban

Pengujian efisiensi daya berbeban dilakukan untuk melihat seberapa besar selisih daya masukan dan daya keluaran yang digunakan oleh motor pada keadaan motor diberi hambatan. Perhitungan daya input dan daya motor menggunakan Persamaan 2.7 dan Persamaan 2.8. Data pengujian terlihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Pengujian efisiensi daya berbeban

Kecepatan referensi (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)		Arus (A)		Daya (Watt)		η
		V_{in}	V_o	I_{in}	I_o	P_{in}	P_o	
2500	41,67	171	88	0,54	0,58	102,14	48,09	47,08
2300	38,33	168	73	0,54	0,44	90,23	30,45	33,75
2200	36,67	170	70	0,52	0,24	90,81	17,85	19,66
1900	31,67	167	65	0,53	0,32	94,49	21,75	23,02
1800	30	173	50	0,56	0,26	93,81	14,01	14,93

Tabel 4.10 menunjukkan bahwa data hasil pengujian daya yang didapat pada setiap kecepatan referensi dan frekuensi yang semakin kecil akan menghasilkan daya keluaran yang semakin kecil dan nilai efisiensi yang menurun. Konsumsi daya yang semula memerlukan daya sebesar 186,5 watt, setelah menggunakan sistem pengendali konsumsi daya menjadi berkurang disebabkan sistem pengendali mengatur motor pada kecepatan yang konstan sesuai dengan kecepatan referensi yang telah ditentukan. Terjadi penyimpangan pada pengujian 1900 Rpm dikarenakan kurangnya ketelitian alat ukur dalam membaca nilai tegangan dan arus akibat jaringan listrik yang tidak stabil.



Gambar 4.9 pengujian daya *input* dan daya *output*

Gambar 4.9 menunjukkan hasil pengujian daya *input* dan daya *output* yang mengalami perubahan yaitu setiap kecepatan referensi dan frekuensi yang semakin kecil akan menghasilkan daya keluaran yang semakin kecil pula.

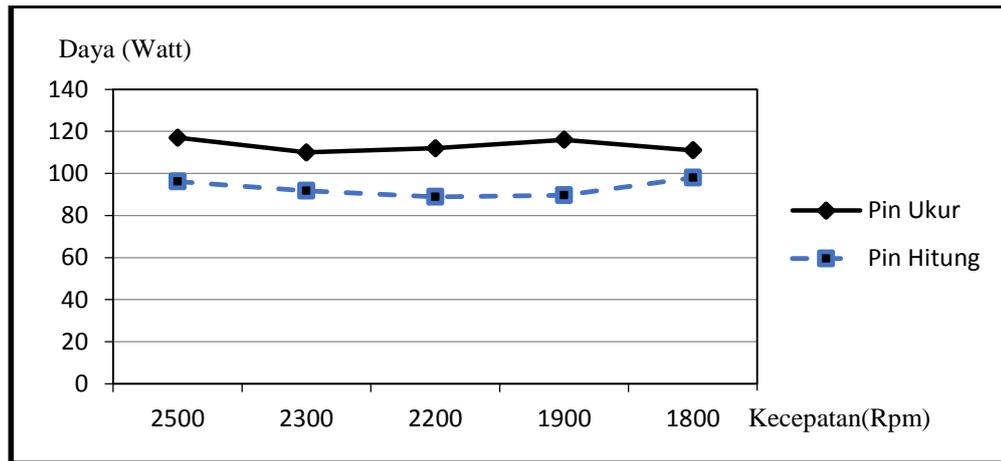
4.2.3 Perbandingan Pengukuran dan Perhitungan Efisiensi Daya Tanpa Beban

Perbandingan pengukuran dan perhitungan efisiensi daya tanpa beban dilakukan untuk melihat seberapa besar selisih yang terjadi antara data pengukuran dan perhitungan. Selisih yang terjadi dapat disebabkan oleh banyak faktor, antara lain sumber masukan yang tidak stabil, rugi – rugi yang terjadi pada setiap komponen dan alat ukur yang digunakan. Data hasil pengukuran dan perhitungan daya masukan dan daya keluaran dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Daya Pengukuran dan Perhitungan Tanpa Beban

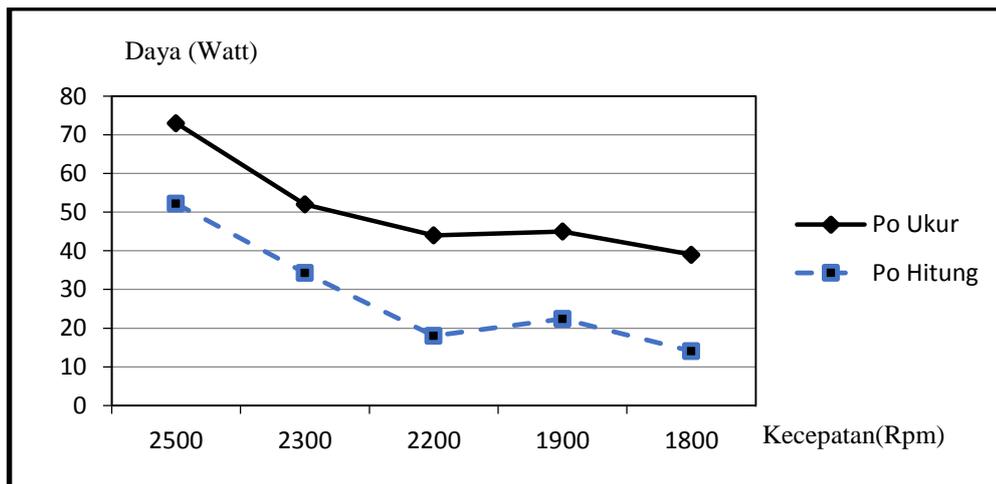
Kecepatan referensi (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Daya Pengukuran (Watt)		Daya Perhitungan (Watt)	
		P_{in}	P_o	P_{in}	P_o
2500	41,67	117	73	96,12	52,20
2300	38,33	110	52	91,80	34,32
2200	36,67	112	44	88,92	18
1900	31,67	116	45	89,57	22,40
1800	30	111	39	98	14,04

Tabel 4.11 menunjukkan adanya perbedaan antara daya hasil pengukuran dan daya hasil perhitungan. Dimana, daya hasil pengukuran lebih besar dibandingkan dengan daya hasil perhitungan. Perbedaan antara daya pengukuran dan perhitungan dapat disebabkan oleh adanya rugi – rugi yang terjadi pada komponen yang digunakan, tegangan sumber yang tidak stabil serta pembacaan alat ukur yang tidak akurat.



Gambar 4.10 Perbandingan Daya *input* ukur dan hitung tanpa beban

Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan daya *input* data pengukuran dan data perhitungan. Terlihat bahwa daya masukan pengukuran lebih besar dibandingkan dengan daya perhitungan yang akan digunakan oleh rangkaian pengendali.



Gambar 4.11 Perbandingan daya *output* ukur dan hitung tanpa beban

Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan daya *output* data pengukuran dan data perhitungan. Terlihat bahwa daya keluaran pengukuran lebih besar dibandingkan dengan daya perhitungan yang dihasilkan oleh keluaran inverter.

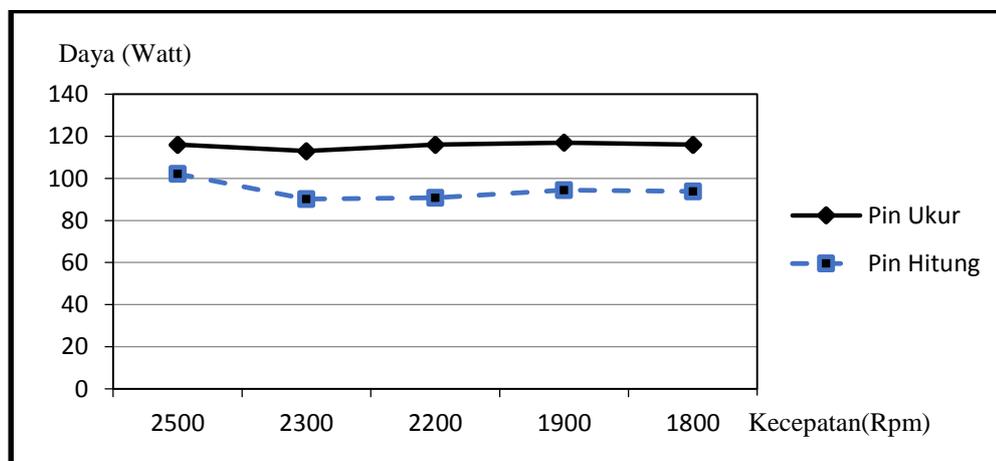
4.2.4 Perbandingan Pengukuran dan Perhitungan Efisiensi Daya Berbeban

Perbandingan pengukuran dan perhitungan efisiensi daya berbeban dilakukan untuk melihat seberapa besar selisih yang terjadi antara data pengukuran dan perhitungan. Selisih yang terjadi dapat disebabkan oleh banyak faktor, antara lain sumber masukan yang tidak stabil, rugi – rugi yang terjadi pada setiap komponen dan alat ukur yang digunakan. Data hasil pengukuran dan perhitungan daya masukan dan daya keluaran dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Daya pengukuran dan perhitungan berbeban

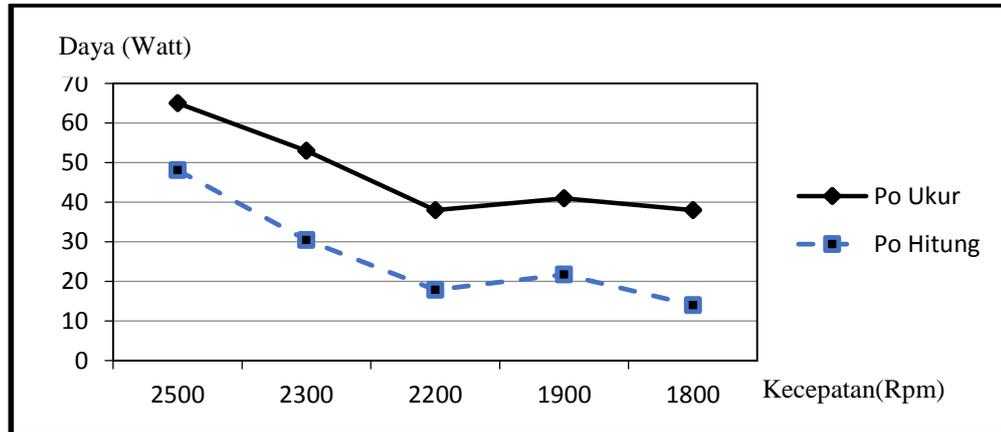
Kecepatan referensi (Rpm)	Frekuensi (Hz)	Daya Pengukuran (Watt)		Daya Perhitungan (Watt)	
		P _{in}	P _o	P _{in}	P _o
2500	41,67	116	65	102,14	48,09
2300	38,33	113	53	90,23	30,45
2200	36,67	116	38	90,81	17,85
1900	31,67	117	41	94,49	21,75
1800	30	116	38	93,81	14,01

Tabel 4.12 menunjukkan adanya perbedaan antara daya hasil pengukuran dan daya hasil perhitungan. Dimana, daya hasil pengukuran lebih besar dibandingkan dengan daya hasil perhitungan. Perbedaan antara daya pengukuran dan perhitungan dapat disebabkan oleh adanya rugi – rugi yang terjadi pada komponen yang digunakan, tegangan sumber yang tidak stabil serta pembacaan alat ukur yang tidak akurat.



Gambar 4.12 Perbandingan daya *input* ukur dan hitung berbeban

Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan daya *input* data pengukuran dan data perhitungan pada keadaan berbeban. Terlihat bahwa daya masukan pengukuran lebih besar dibandingkan dengan daya perhitungan yang akan digunakan oleh rangkaian pengendali.



Gambar 4.13 Perbandingan daya *output* ukur dan hitung berbeban

Gambar 4.13 menunjukkan perbandingan daya *output* data pengukuran dan data perhitungan pada keadaan berbeban. Terlihat bahwa daya keluaran pengukuran lebih besar dibandingkan dengan daya perhitungan yang dihasilkan oleh keluaran inverter.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pada pengujian tanpa beban didapat *rise time* motor akan semakin cepat pada kecepatan referensi yang semakin kecil. Pada kecepatan 2500 rpm *rise time* sebesar 2,65 s dan pada kecepatan 1800 rpm *rise time* sebesar 1,89 s. Pada pengujian berbeban didapat nilai *steady state time* motor pada kecepatan 2500 rpm yaitu pada beban naik 3,88 s dan beban turun 2,75 s. Pada kecepatan 1800 rpm yaitu pada beban naik 2,46 s dan beban turun 1,58 s.
2. Konsumsi daya motor saat menggunakan sistem pengendali kecepatan pada pengujian tanpa beban dikecepatan 2500 rpm yaitu 52,20 watt dan dikecepatan 1800 rpm yaitu 14,02 watt. Pada pengujian berbeban dikecepatan 2500 rpm yaitu 48,09 watt dan dikecepatan 1800 rpm yaitu 14,01 watt.

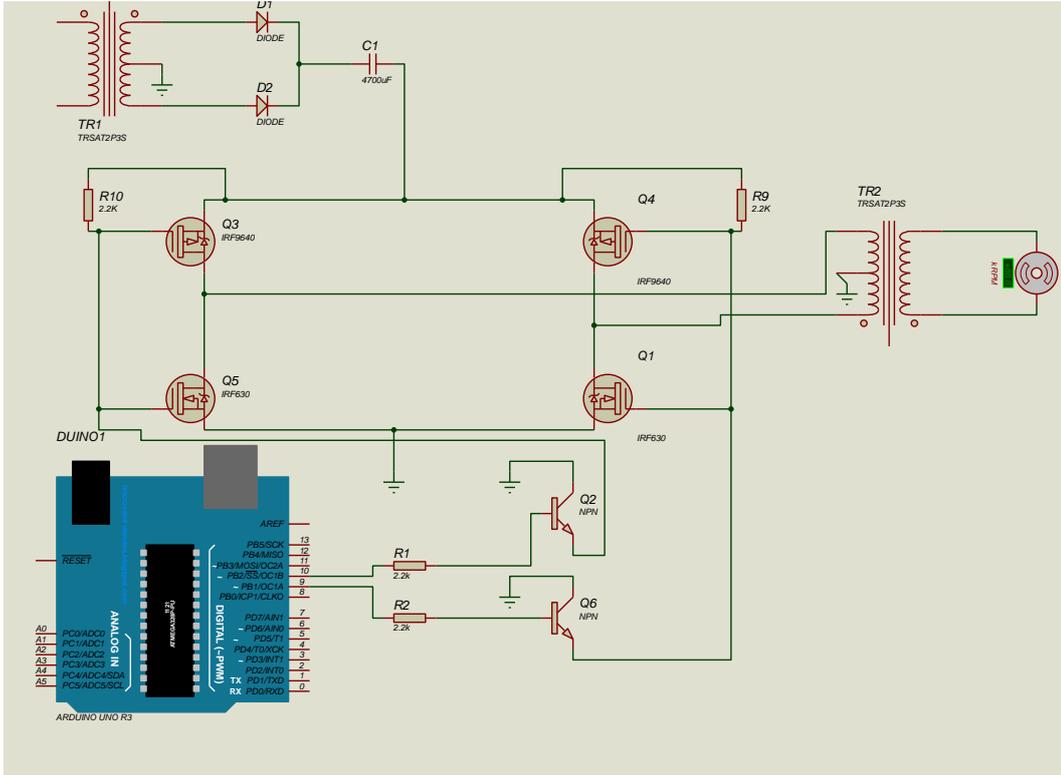
5.2 Saran

1. Diperlukan perbandingan dengan menggunakan metode yang berbeda untuk mendapatkan suatu sistem pengendalian yang lebih tanggap dan kompleks.
2. Lakukan menggunakan variasi motor dengan daya yang lebih besar untuk melihat apakah sistem pengendali ini dapat bekerja dengan persisi atau tidak.

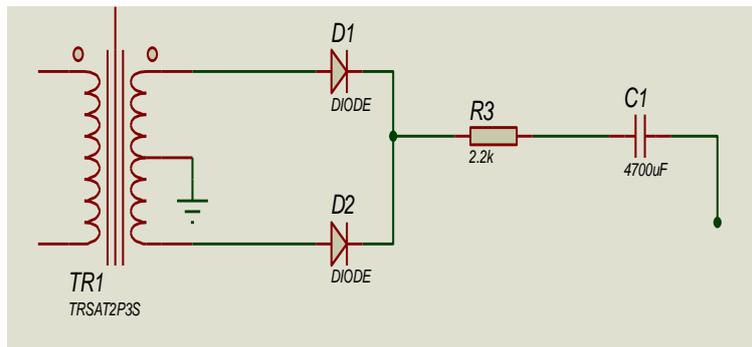
DAFTAR PUSTAKA

1. Racmadyanti, Nita. 2010. *Prototype ayunan bayi otomatis*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
2. Haryanto, heri. 2011. *Pembuatan Modul Inverter sebagai kendali kecepatan Motor Induksi*. Universitas sultan Agung Tirtoyoso.
3. Leonardus, H. Pratomo.2011. *Pengaruh Injeksi Harmonisa Orde ketiga terhadap Kecepatan Motor Induksi dengan Kendali Tipe Volt/Hertz*. Unika Soegijapraya.
4. Chapman, Stephen J. 2005. *Electric Machinery Fundamentals*. New York : The Mc Graw Hill Companies.
5. Syed A. Nasar Boldea Ion. 2002. *The induction machine Handbook*. Boca Raton. Florida.
6. Rashid, Muhammad. 2001. *Power Electronics Handbook*, Academic Press, California.
7. Ned Mohan, Tore Undeland, Wliiam Robins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, edisi kedua, John Wiley & Sons Inc., New York.
8. Frestama Charly. 2012. *Pembuatan Alat Pengendali Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa dengan Pengaturan Frekuensi Secara Otomatis*. Universitas Bengkulu. Bengkulu.
9. Massimo, Banzi. 2011. *Getting Started with Arduino*. O'Reilly.
10. Rahmadika, Sandi. 2013. *Perancangan Sistem Radar Ultra Sonik (PING) Berbasis Board Arduino uno (ATMega328)*. Universitas Bengkulu. Bengkulu.
11. Visioli, Antonio. 1988. *Practical PID Control*. Universitas degli studi di Brescia. Italy.
12. J. Silvia, Guillermo, Datta Anirudha, Bahttacharyya. 1973. *PID Controllers For Time-Delay System*. Department OF Electrical Engineering Texas A&M University. USA.
13. Willis, M.J. 1998. *Proportional Integral Derivatif Control*. Dept. Of Chemical and Process Engineering University of Newcastle.
14. Suhartono. 2012. *Optimasi Parameter Kontrol PID Berbasis Particler Swarm Optimization untuk Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase*. ITS. Surabaya.

1. Analisis Rangkaian Pengendali



Rangkaian pengendali menggunakan beberapa komponen yaitu trafo CT, dioda, kapasitor, MOSFET, resistor, mikrokontroler dan motor induksi. Sumber yang digunakan sebesar 200 v yang masuk pada trafo CT. Keluaran dari trafo CT sebesar 18 v yang masuk pada dioda atau penyearah gelombang penuh. Besar tegangan, arus dan daya dapat dilihat melalui pengukuran dan perhitungan.



$$V_{dc} = 0,637 \cdot V_m = 0,637 \cdot 18 \text{ volt} = 11,476 \text{ volt}$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{11,476 \text{ volt}}{2200 \Omega} = 0,005 \text{ A}$$

$$V_L = 0,707 \cdot V_m = 0,707 \cdot 18 = 13,86 \text{ volt}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R} = \frac{13,86 \text{ volt}}{2200 \Omega} = 0,0063 \text{ A}$$

$$P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc} = 11,467 \text{ volt} \cdot 0,005 \text{ A} = 0,057 \text{ Watt}$$

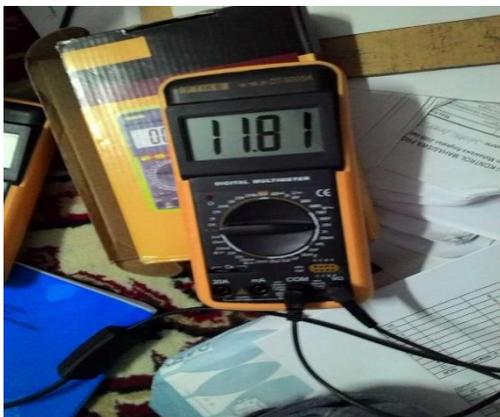
$$P_L = V_L \cdot I_L = 13,86 \text{ volt} \cdot 0,0063 \text{ A} = 0,087 \text{ Watt}$$

$$V_{dc} = V_m \left(1 - \frac{1}{2f_r RC} \right) = 17,82 \text{ volt}$$

$$V_r = \frac{V_m}{2\sqrt{2}f_r RC} = 0,012 \text{ volt}$$



Tegangan keluaran yang telah di filter digunakan sebagai sumber MOSFET + dan untuk sumber MOSFET – menggunakan sumber CT pada trafo. Tegangan keluaran dari MOSFET yang terukur yaitu:



Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino. Arduino memberikan perintah kepada inverter melalui gate MOSFET. Perintah tersebut dilakukan untuk mengatur frekuensi yang dikeluarkan inverter dan digunakan oleh motor induksi untuk mengatur kecepatannya.

2. Perhitungan Nilai Kp, Ki & Kd untuk Pengendali PID

Diketahui :

kecepatan 2500 Rpm

$$K_p = 7$$

$$T_{ou} = 2,5 \text{ s}$$

Ditanya :

$$K_i = \dots?$$

$$K_d = \dots?$$

Jawab :

$$T_i = 1,5. T_{ou} = 1,5 \cdot 2,5 \text{ s} = 3,75$$

$$T_d = \frac{T_i}{4} = \frac{3,75}{4} = 0,94$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{7}{3,75} = 1,87$$

$$K_d = K_p \cdot T_d = 7 \cdot 0,94 = 6,58$$

3. Perhitung Frekuensi

Diketahui :

Kecepatan Sinkron = 3000 Rpm

Kecepatan Rotor = 2950 Rpm

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{3000 - 2950}{3000} = 0,017$$

Pada kecepatan 2500 Rpm

$$N_s = S + N_r = 0,017 + 2500 = 2500,017 \text{ Rpm}$$

$$F = \frac{P \cdot N_s}{120} = \frac{2 \cdot 2500,017}{120} = 41,67 \text{ Hz}$$

4. Perhitungan Daya dan Efisiensi Daya pada Saat Tidak Berbeban

Kecepatan = 2500 Rpm

$$\text{Daya Input} = V_{in} \cdot I_{in} = 178 \text{ volt} \cdot 0,54 \text{ ampere} = 96,12 \text{ watt}$$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 90 \text{ volt} \cdot 0,58 \text{ ampere} = 52,20 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 54,31$$

Kecepatan = 2300 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 170 \text{ volt} \cdot 0,54 \text{ ampere} = 91,80 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 78 \text{ volt} \cdot 0,44 \text{ ampere} = 34,32 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 37,39$$

Kecepatan = 2200 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 171 \text{ volt} \cdot 0,52 \text{ ampere} = 88,92 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 75 \text{ volt} \cdot 0,24 \text{ ampere} = 18 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 20,24$$

Kecepatan = 1900 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 169 \text{ volt} \cdot 0,53 \text{ ampere} = 89,57 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 70 \text{ volt} \cdot 0,32 \text{ ampere} = 22,40 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 25,01$$

Kecepatan = 1800 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 175 \text{ volt} \cdot 0,56 \text{ ampere} = 98 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 54 \text{ volt} \cdot 0,26 \text{ ampere} = 14,04 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 14,33$$

5. Perhitungan Daya dan Efisiensi Daya pada Saat Berbeban

Kecepatan = 2500 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 171 \text{ volt} \cdot 0,54 \text{ ampere} = 102,14 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 88 \text{ volt} \cdot 0,58 \text{ ampere} = 48,09 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 47,08$$

Kecepatan = 2300 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 168 \text{ volt} \cdot 0,54 \text{ ampere} = 90,23 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 73 \text{ volt} \cdot 0,44 \text{ ampere} = 30,45 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 33,75$$

Kecepatan = 2200 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 170 \text{ volt} \cdot 0,52 \text{ ampere} = 90,81 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 70 \text{ volt} \cdot 0,24 \text{ ampere} = 17,85 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 19,66$$

Kecepatan = 1900 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 167 \text{ volt} \cdot 0,53 \text{ ampere} = 94,49 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 65 \text{ volt} \cdot 0,32 \text{ ampere} = 21,75 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 23,02$$

Kecepatan = 1800 Rpm

Daya Input = $V_{in} \cdot I_{in} = 173 \text{ volt} \cdot 0,56 \text{ ampere} = 93,81 \text{ watt}$

Daya output = $V_o \cdot I_o = 50 \text{ volt} \cdot 0,26 \text{ ampere} = 14,01 \text{ watt}$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = 14,93$$

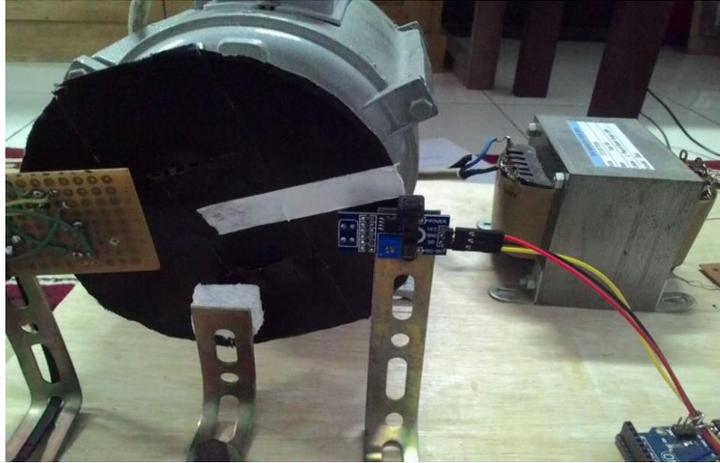
6. Foto pengujian *rise time* tanpa beban pada kecepatan 2500 Rpm



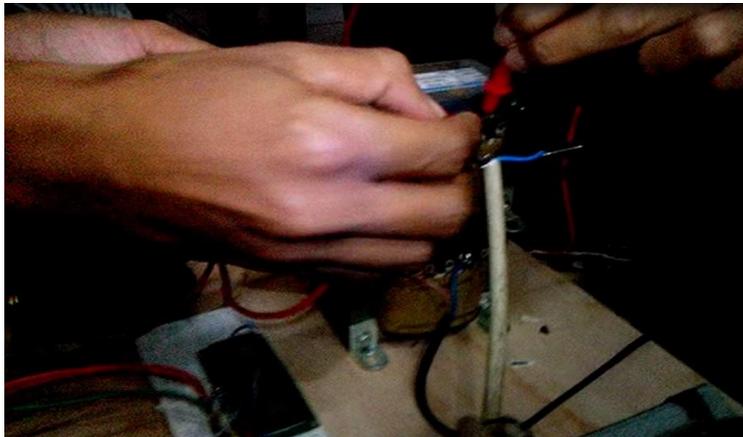


7. Foto pengujian *steady state* berbeban pada kecepatan 2500 Rpm





8. Foto pengujian daya



9. Program Pengendali

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <PID_v1.h>
double Setpoint, Input, Output;
double aggKp=7, aggKi=2, aggKd=7;
double consKp=1, consKi=0.29, consKd=1;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, consKp, consKi, consKd, DIRECT);
LiquidCrystal lcd(13, 12, 8, 7, 4, 2);
volatile float time = 0;
volatile float time_last = 0;
volatile word rpm_array[10] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
int pin1 = 9;
int pin2 = 10;

void setup()
{
pinMode(pin1, OUTPUT);
pinMode(pin2, OUTPUT);
attachInterrupt(1, mtr_interrupt, FALLING);
Input = analogRead(0)
Setpoint = 2500;
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
word rpm = 0;
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("STABILISATOR");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("KECEPATAN MOTOR");
delay(2500);
lcd.clear();
```

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Kec =   RPM");

}
void loop()
{
  digitalWrite(pin1, HIGH);
  digitalWrite(pin2, LOW);
  delay(9);
  digitalWrite(pin1, LOW);
  digitalWrite(pin2, HIGH);
  delay(9);
  word rpm = 0;
  while(1)
  {
    delay(100);
    lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print("   ");
    lcd.setCursor(7, 1);
    lcd.print("   ");
    lcd.setCursor(7, 0);
    lcd.print(rpm);
    lcd.setCursor(7, 1);
    lcd.print(freq);
    if(time > 0)
    {
      rpm_array[0] = rpm_array[1];
      rpm_array[1] = rpm_array[2];
      rpm_array[2] = rpm_array[3];
      rpm_array[3] = rpm_array[4];
      rpm_array[4] = rpm_array[5];
    }
  }
}

```

```

rpm_array[5] = rpm_array[6];
rpm_array[6] = rpm_array[7];
rpm_array[7] = rpm_array[8];
rpm_array[8] = rpm_array[9];
rpm_array[9] = 60*(1000000/(time*1));

rpm = (rpm_array[0] + rpm_array[1] + rpm_array[2] + rpm_array[3] +
rpm_array[4] + rpm_array[5] + rpm_array[6] + rpm_array[7] + rpm_array[8] +
rpm_array[9]) / 10;
}
}
freq = (rpm * 2) / 120;
}
while (2)
{
if (rpm < 2490);
Input = analogRead(0);
double gap = abs(Setpoint-Input);
if(gap<10)
}
{
myPID.SetTunings(consKp, consKi, consKd);
}
else
{
myPID.SetTunings(aggKp, aggKi, aggKd);
}

myPID.Compute(n);

int x = (n/277,5)
digitalWrite(pin1, HIGH);

```

```

digitalWrite(pin2, LOW);
delay(n);
digitalWrite(pin1, LOW);
digitalWrite(pin2, HIGH);
delay(n);
}
else (rpm > 2510);
{
Input = analogRead(0);
double gap = abs(Setpoint-Input);
if(gap<10)
{
myPID.SetTunings(consKp, consKi, consKd);
}
else
{
myPID.SetTunings(aggKp, aggKi, aggKd);
}
myPID.Compute(n);
int x = (n/277,5)
digitalWrite(pin1, HIGH);
digitalWrite(pin2, LOW);
delay(n);
digitalWrite(pin1, LOW);
digitalWrite(pin2, HIGH);
delay(n);
}
void mtr_interrupt()
}

time = (micros() - time_last);

```

```
time_last = micros();  
}
```