

MAKALAH SEMINAR HASIL

**PENGATURAN ARAH DAN KECEPATAN PUTAR DISK INERSIA UNTUK
MENJAGA KESEIMBANGAN MINIATUR SEPEDA MOTOR
MENGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY**



Disusun oleh :
ADHITYA YOGA GURITNA
NIM. 0810633001

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012**

**PENGATURAN ARAH DAN KECEPATAN PUTAR DISK INERSIA UNTUK
MENJAGA KESEIMBANGAN MINIATUR SEPEDA MOTOR
MENGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY**

MAKALAH SEMINAR HASIL

Disusun oleh :
ADHITYA YOGA GURITNA
NIM. 0810633001

Telah diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing :

Pembimbing I

Tri Nurwati. ST., MT
NIP. 19790615 200812 2 003

Pembimbing II

M. Aziz Muslim. ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGATURAN ARAH DAN KECEPATAN PUTAR DISK INERSIA UNTUK MENJAGA KESEIMBANGAN MINIATUR SEPEDA MOTOR MENGGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY

Adhitya Yoga Guritna

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Dosen Pembimbing: 1. Tri Nurwati, ST., MT

2. M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D

Abstrak— Seiring dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan terutama kemajuan dalam bidang robotika, mesin maupun robot dirancang agar mempunyai kemampuan yang sama bahkan melebihi kapasitas manusia, salah satu kemampuan manusia yang tidak dimiliki robot adalah kemampuan menjaga keseimbangan secara mandiri, di mana manusia memiliki sensor dan aktuator penyeimbang yang sangat kompleks. Miniatur sepeda motor dibuat berdasarkan betuk dari sepeda motor dengan disk inersia sebagai penyeimbang. Pada skripsi ini yang menjadi fokus bahasan adalah perubahan kecepatan dan arah dari disk inersia untuk menyeimbangkan miniatur sepeda motor.

Kontrol logika fuzzy merupakan salah satu metode pengontrolan yang sangat baik dan mudah dipahami, kontroler fuzzy diprogram pada sebuah mikrokontroler AVR AT Mega 8, yang berfungsi sebagai media penyimpanan dan akuisisi data dari alat, sensor yang digunakan adalah accelerometer. Pemrograman dilakukan di software CVAVR dan untuk flash ke dalam mikrokontroler menggunakan My Write. Dalam perancangan Fuzzy Logic Control (FLC) digunakan metode mamdani, dengan inferensi max-min. dan dua masukan berupa kemiringan dan perubahan kemiringan. Dari parameter-parameter itu sistem dapat berjalan dengan baik dan mampu mempertahankan keseimbangan selama 10 detik.

Kata kunci: Keseimbangan, perubahan arah dan kecepatan disk inersia, Kontrol Logika Fuzzy (FLC).

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan terutama kemajuan dalam bidang robotika, mesin maupun robot dirancang agar mempunyai kemampuan yang sama bahkan melebihi kapasitas manusia, salah satu kemampuan manusia yang tidak dimiliki robot adalah kemampuan menjaga keseimbangan secara mandiri, dimana manusia memiliki sensor dan aktuator penyeimbang yang sangat kompleks.

Dalam kehidupan sehari-hari kendaraan roda dua menjadi kendaraan yang paling banyak dipilih masyarakat sebagai kendaraan pribadi. Namun kendaraan roda dua mempunyai kelemahan dimana

sepeda roda dua tidak dapat menjaga keseimbangannya, sepeda akan mudah jatuh ke kiri atau kekanan apabila mendapat gangguan. Dalam skripsi sebelumnya (Putra, ARW, 2011) menyebutkan bahwa “Keseimbangan pendulum terbalik dalam bergerak merupakan salah satu aplikasi bidang robotika yang sedang dikembangkan. Terutama pada robot berkaki dan beroda dua, sehingga diperoleh mobilitas yang lebih tinggi.” Seperti permasalahan yang pernah dari hal itu munculah ide untuk membuat sistem keseimbangan otomatis pada miniatur sepeda roda dua, dimana sistem ini adalah sebuah sistem sensorik dan mekanis yang akan menjaga miniatur sepeda roda dua dalam keadaan seimbang dengan menggunakan “accelerometer” dan mekanis penyeimbang “disk inertia” dan kecerdasan buatan yang ditanam ke dalam mikrokontroler Atmega8.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini pertama adalah studi literatur yang mengacu pada spesifikasi alat yang akan dibuat untuk memahami komponen dan teknik-teknik yang diperlukan untuk merealisasikan alat. Studi literatur yang dilakukan meliputi: sistem pengendalian arah dan kecepatan putar disk inertia dengan menggunakan FLC (Fuzzy Logic Controller), karakteristik dari komponen yang digunakan serta studi tentang media pengendali dan akuisisi data yaitu menggunakan AVR ATmega 8 produksi dari ATMEL sebagai pusat pengontrol FLC. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan dan pembuatan alat lalu diakhiri dengan proses pengujian alat dan analisa data untuk mendapatkan spesifikasi yang diharapkan.

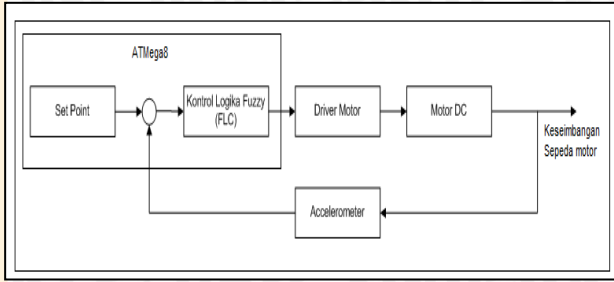
III. PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan alat terdiri atas perancangan sistem, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak. Perancangan dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok diagram sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknya maupun secara keseluruhan.

A. Perancangan Sistem

Sistem Pengaturan Arah dan Kecepatan Putar Disk Inersia Untuk Menjaga Keseimbangan Miniatur

Sepeda Motor Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



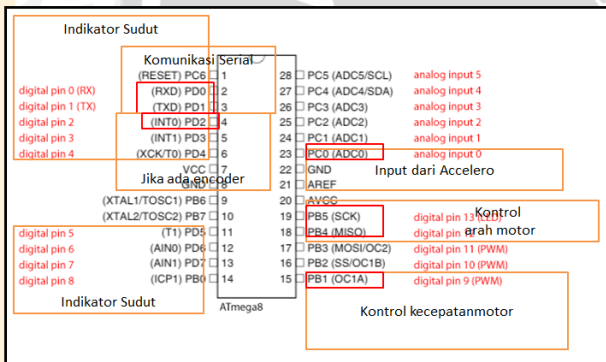
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

B. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan dan pembuatan perangkat keras terdiri atas beberapa rangkaian yaitu, rangkaian mikrokontroler Atmega8 dan rangkaian driver motor DC PWM Mosfet IRFZ44 dan relay dual pole dual throw (DPDT).

1) Perancangan Rangkaian Mikrokontroler

Pada miniatur sepeda motor ini digunakan Mikrokontroler ATmega8 sebagai pusat dari pengolahan data. Skematik Mikrokontroler ATmega8 dan perancangan secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mikrokontroler ATmega8

Agar sebuah Mikrokontroler ATmega8 dapat bekerja sebagai pengontrol, kaki-kaki/pin Mikrokontroler ATmega8 dihubungkan dalam rangkaian-rangkaian eksternal. Dalam perancangan ini, port yang digunakan adalah Port PB5 (SCK), PB (MISO), Port PB1 (OC1A), Port PC0 (ADC0), Port PD0 (RXD), PD1 (TXD), Port PD5 (T1), PD6 (AIN0), PD7 (AIN1), PB0 (ICP1), Port VCC dan GND [1].

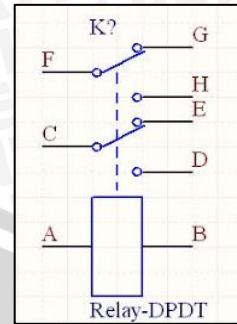
2) Perancangan Driver Motor

Untuk driver motor DC digunakan PWM Mosfet IRFZ44 dan relay dual pole dual throw (DPDT). Mosfet IRFZ44 digunakan sebagai penguat PWM yang masuk ke driver untuk diteruskan ke motor DC dan relay dual pole dual throw digunakan untuk mengatur arah putaran motor.

Relay terdiri dari Coil & Contact. Coil adalah gulungan kawat yang mendapat arus listrik, sedang contact adalah sejenis saklar yang pergerakannya tergantung dari ada tidaknya arus listrik dicoil.

Contact ada 2 jenis : Normally Open (kondisi awal sebelum diaktifkan open), dan Normally Closed (kondisi awal sebelum diaktifkan close). Secara

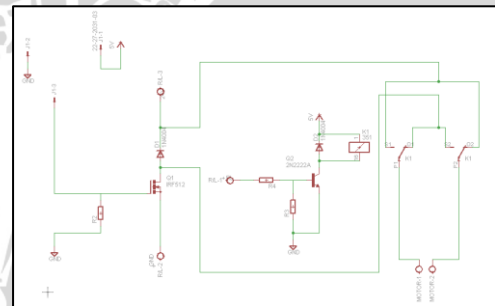
sederhana berikut ini prinsip kerja dari relay, ketika Coil mendapat energi listrik (energized), akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik armature yang berpegas, dan contact akan menutup. Skema relay DPDT dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Prinsip Dasar Kerja Relay DPDT

Blok AB terdapat kumparan sebagai driver. Prinsip kerja dari relay ini yaitu, ketika AB belum dilewati arus, maka terminal CE dan FG akan tersambung, dan pada saat AB dilewati arus maka plat C dan F akan berpindah sehingga terminal CD dan FH akan tersambung. Jadi ketika driver AB dilewati arus plat yang berpindah ada 2 yaitu C dan F.

Alasan pemilihan IRFZ44N sebagai komponen driver yang akan digunakan adalah karena IRFZ44N memiliki I_{Dmax} cukup besar dan $R_{DSonmax}$ lebih kecil dibanding beberapa jenis E-MOSFET kanal N lain, contohnya IRF520, IRF540, IRF630, IRF720, IRF820 dan IRFZ40. Dengan I_{Dmax} yang cukup besar dan $R_{DSonmax}$ yang kecil membuat IRFZ44N tidak cepat panas ketika dilewati arus yang cukup besar. Rangkaian elektrik driver motor relay dan mosfet yang digunakan untuk mengatur motor DC dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Driver Motor DC.

3) Perancangan Accelerometer

Accelerometer digunakan sebagai pendeteksi kemiringan miniatur sepeda motor terhadap permukaan bumi. Setiap perubahan sudut pada miniatur sepeda motor akan terdeteksi oleh accelerometer yang kemudian akan mengeluarkan tegangan sesuai dengan besaran kemiringan sudut miniatur sepeda motor terhadap permukaan bumi.

Gambar 5 adalah accelerometer MMA7455 3-Axis Accel Module yang digunakan pada miniatur sepeda motor.

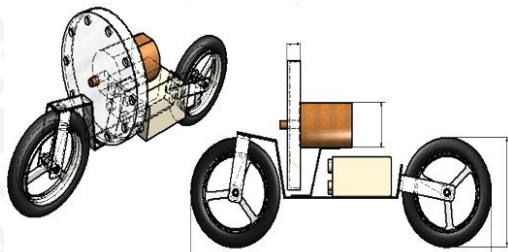


Gambar 5 Accelerometer MMA7455 3-Axis Accel Module

4) Perancangan Mekanik Miniatur Sepeda Motor

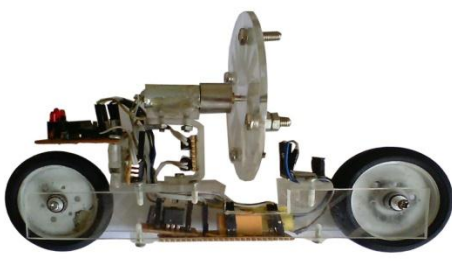
Miniatur sepeda motor mempunyai beberapa bagian yang penting dalam perancangannya, yaitu: bentuk dan posisi *disc inertia*, posisi motor DC dan *accelerometers* serta kerangka miniatur sepeda motor. Motor DC dipasang ditengah dan sejajar dengan miniatur sepeda motor agar posisi *disc inertia* berpotongan dengan posisi motor. Sedangkan posisi dari *accelerometer* yaitu dipasangkan sejajar dengan posisi pada saat motor berada dalam keadaan seimbang, sehingga setiap perubahan posisi miniatur sepeda motor akan terbaca oleh *accelerometer*.

Rencana desain awal mekanik yang akan dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Implementasi Desain Bagian Pertama "Posisi Disc Inertian dan Posisi Sensor Accelerometer"

Gambar 7 berikut adalah miniatur sepeda motor beserta komponen elektrik, motor DC dan mekanis penyeimbang *disc inertia*.

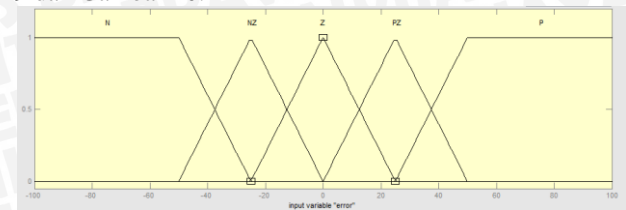


Gambar 7 Miniatur Sepeda Motor dan Mekanis Penyeimbang

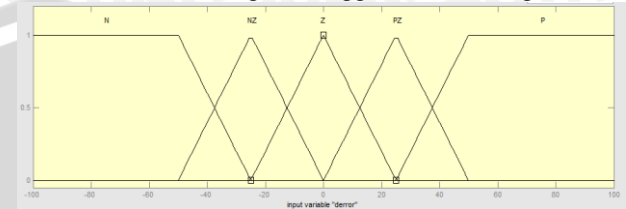
C. Perancangan Perangkat Lunak

Dalam perancangan Kontrol Logika Fuzzy langkah pertama adalah menentukan variabel masukan dan variabel keluaran, dalam skripsi ini variabel masukan menggunakan kemiringan (*error*) (*e*) dan perubahan kemiringan (*derror*) (*de/dt*) sebagai masukan pembanding dan variabel keluaran berupa % *duty cycle* untuk PWM motor DC.

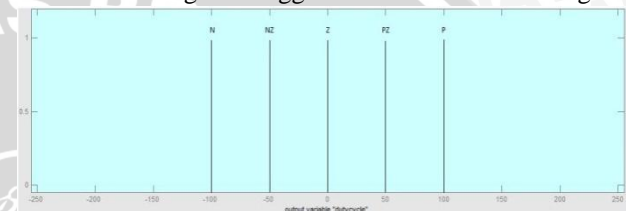
Fungsi keanggotaan masukan *error*, *derror* dan keluaran Motor DC ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Kemiringan



Gambar 9 Fungsi Keanggotaan Perubahan Kemiringan



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Keluaran Motor DC

Kaidah atur kontroler logika fuzzy didasarkan pada pengamatan dalam bentuk Jika-Maka. Setelah *crisp input* diubah menjadi *input fuzzy*, selanjutnya diolah sesuai dengan kaidah aturnya. Metode penalaran fuzzy yang dipergunakan oleh kontroler logika fuzzy adalah metode MAX-MIN. Kaidah atur selengkapnya terdapat dalam Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Tabel Kaidah Atur Kemiringan

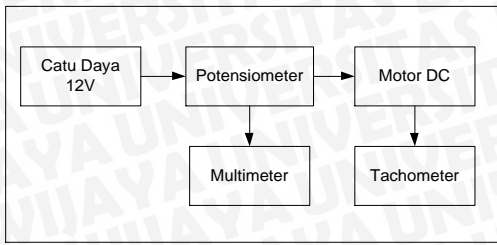
e \ de	N	NZ	Z	PZ	P
N	N	N	N	NZ	PZ
NZ	N	N	NZ	Z	PZ
Z	N	NZ	Z	PZ	P
PZ	NZ	Z	PZ	P	P
P	NZ	PZ	P	P	P

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk menganalisis alat yang telah dirancang dan direalisasikan apakah telah bekerja sesuai perancangan. Pengujian dilakukan tiap-tiap blok dengan tujuan untuk mengamati apakah tiap blok rangkaian sudah sesuai dengan perancangan, baru kemudian dilanjutkan dengan pengujian secara keseluruhan sistem.

A. Pengujian Motor DC

Pengujian motor DC bertujuan untuk mengetahui *output* dari driver motor apabila diberi *input* yang berbeda-beda, serta mengetahui waktu yang dibutuhkan motor untuk mencapai kecepatan maksimum. Diagram blok pengujian motor DC ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Blok Pengujian Motor DC

Catu daya yang digunakan adalah catu daya sebesar 12 volt. Catu daya ini dipilih berdasarkan spesifikasi motor yang dapat bekerja dengan tegangan maksimal sebesar 12 volt. Tegangan dari catu daya diatur menggunakan sebuah potensiometer mulai dari 0 volt hingga 12 volt dengan interval sebesar 0.5 volt. Motor akan berputar dengan kecepatan tertentu dan diukur dengan menggunakan sebuah *tachometer*. Dengan menggunakan tegangan maksimal 12 volt, waktu yang digunakan motor untuk mencapai kecepatan maksimum akan diukur menggunakan *tachometer*. Tabel 2 menunjukkan data pengukuran waktu motor DC menapai kecepatan maksimum dan Tabel 3 menunjukkan data pengukuran motor DC.

Tabel 2. Data Pengukuran Waktu Motor DC Mencapai Kecepatan Maksimum

No. Percobaan	Waktu (detik)	Kecepatan (rpm)
1	4.46	201
2	4.40	203
3	4.48	202
4	4.30	203
5	4.80	203
6	4.00	202
7	4.40	203
8	4.20	201
9	4.40	203
10	4.36	203
Rata - rata	4.376	202.5

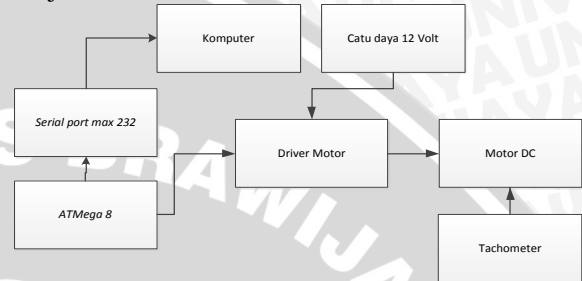
Tabel 3. Data Pengukuran Kecepatan Motor DC

Tegangan Motor DC (V)	Kecepatan Motor DC (rpm)	Tegangan Motor DC (V)	Kecepatan Motor DC (rpm)
0	0	6.5	120
0.5	0	7	133
1	10	7.5	140
1.5	14	8	149
2	20	8.5	155
2.5	30	9	165
3	43	9.5	169
3.5	50	10	175
4	75	10.5	185
4.5	84	11	198
5	95	11.5	200
5.5	100	12	203
6	108		

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa motor dapat berputar pada saat tegangan minimum 1V volt, motor DC *gearbox* ini dapat berputar pada range tegangan yang relatif kecil. Dan dari Tabel 3 terlihat hubungan antara tegangan dan kecepatan motor DC hampir linier. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa motor DC *gearbox* ini sudah baik untuk digunakan dalam penelitian ini.

B. Pengujian Driver Motor

Pengujian *Driver Motor* dilakukan Untuk mengetahui *output* dari *driver* motor apabila diberikan input PWM yang berbeda. Diagram blok *Driver Motor* ditunjukkan dalam Gambar 12.



Gambar 12. Diagram Blok Pengujian *Driver Motor*

Dari Tabel 4 terlihat bahwa motor akan diam apabila diberi tegan 0V sedangkan arah putaran motor bergantung pada Pin PB5. Pin PB 5 yang mengatur *on-off* dari *relay* pada *driver* motor, saat PB 5 berlogika 0 dan tegangan diberikan maka motor akan berputar ke arah kiri dan pada saat PB 5 berlogika 1 atau *relay* pada keadaan *on* maka motor akan berputar kearah kanan. Sehingga dapat dikatakan bahwa *driver* motor bekerja dengan cukup baik dan dapat digunakan pada pengontrolan motor DC pada miniatur sepeda motor.

Tabel 4. Data Pengukuran *Driver Motor*

PIN PB5	PWM (PIN PB1)	Tegangan Keluaran (V)	Kecepatan Motor (rpm)	Arah Putaran motor
0	0	0	0	Diam
0	20	5.8	100	Kiri
0	40	7.2	152	Kiri
0	60	8.1	170	Kiri
0	80	9.6	180	Kiri
0	100	10	186	Kiri
0	120	10.2	190	Kiri
0	140	10.5	190	Kiri
0	160	10.7	195	Kiri
0	180	10.77	195	Kiri
0	200	10.8	195	Kiri
0	220	10.9	198	Kiri
0	240	11	200	Kiri
0	255	11.1	203	Kiri

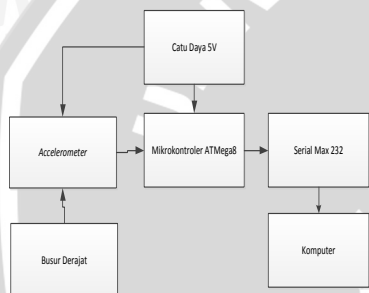
PIN PB5	PWM (PIN PB1)	Tegangan Keluaran (V)	Kecepatan Motor (rpm)	Arah Putaran motor
1	0	0	0	Diam
1	20	5.8	100	Kanan
1	40	7.2	152	Kanan
1	60	8.1	170	Kanan
1	80	9.6	180	Kanan
1	100	10	186	Kanan
1	120	10.2	190	Kanan
1	140	10.5	190	Kanan
1	160	10.7	195	Kanan
1	180	10.77	195	Kanan
1	200	10.8	195	Kanan
1	220	10.9	198	Kanan
1	240	11	200	Kanan
1	255	11.1	203	Kanan

Tabel 5. Menunjukkan Data Pengamatan *Accelerometer*

No	Data				
	Tegangan accelerometer (Volt)	DC	Sudut Accelerometer(°)	Sudut Aktual (°)	Error
1	1.275492	261	41	41	0
2	1.298876	266	44	43	1
3	1.315445	269	45	45	0
4	1.332014	273	47	47	0
5	1.348583	276	49	49	0
6	1.413242	289	56	55	1
7	1.655906	339	83	82	1
8	1.676876	343	85	85	0
9	1.697846	348	88	88	0
10	1.718816	352	90	90	0
11	1.769997	362	96	96	0
12	1.810996	371	100	100	0
13	1.851995	379	105	105	0
14	1.892994	388	109	108	1
15	1.933993	396	114	115	1
16	1.974992	404	118	118	0
17	2.015991	413	123	124	1
18	2.05699	421	127	128	1
19	2.097989	430	132	132	0
20	2.138988	438	136	137	1

C. Pengujian Accelerometer

Pengujian *Accelerometer* dilakukan Untuk mengetahui tingkat keakuratan dari *Accelerometer* dalam membaca perubahan sudut dari miniatur sepeda motor. Diagram blok *Accelerometer* ditunjukkan dalam Gambar 13.



Gambar 13. Diagram Blok Pengujian *Accelerometer*

Gambar 13 menunjukkan diagram blok pengujian *accelerometer*. *Accelerometer* terhubung dengan mekanik miniatur sepeda motor dan mikrokontroler ATmega8. Kemiringan dari miniatur sepeda motor diubah-ubah lalu komputer akan menunjukkan perubahan tegangan dari *accelerometer*. Tabel 5 menunjukkan pengamatan pada *accelerometer*.

Rata – rata kesalahan *Accelerometer* dapat dihitung dengan menggunakan rumus 1

$$\text{rata – rata kesalahan (\%)} = \frac{\sum \text{error}}{\text{jumlah data}} \quad (1)$$

Sehingga didapat:

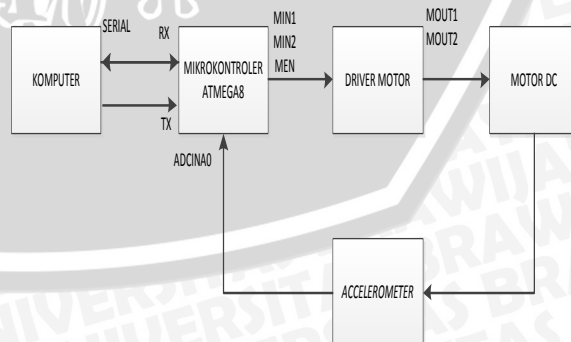
$$\text{rata- rata kesalahan (\%)} = \frac{8}{20} \quad (2)$$

$$\text{rata- rata kesalahan (\%)} = 0,4 \quad (3)$$

Dari tabel 5 terlihat bahwa pembacaan sudut *Accelerometer* sudah akurat, terlihat dari selisih error dengan sudut aktual yang sangat kecil. Dapat disimpulkan bahwa *Accelerometer* sudah bekerja dengan baik.

D. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem setelah seluruh bagian-bagian penyusun sistem digabungkan menjadi satu kesatuan utuh. Pengujian ini dilakukan dengan cara menggabungkan semua bagian alat yang telah dirancang kemudian menganalisis kinerja dari alat tersebut. Diagram blok pengujian sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 14.

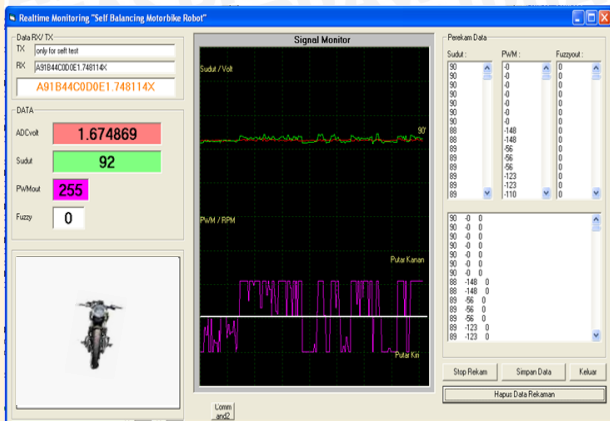


Gambar 14. Diagram Blok Sistem Secara Keseluruhan

Gambar 14 menunjukkan diagram blok pengujian keseluruhan sistem keseimbangan miniatur sepeda motor. Mula-mula miniatur sepeda motor diberdirikan 90° kemudian dilepaskan untuk melihat kemampuan sistem penyeimbang dalam menjaga keseimbangan miniatur sepeda motor.

Parameter yang diamati pada skripsi ini adalah lama waktu sistem dapat bertahan pada keadaan setimbang pada posisi 90^0 sebelum *collapse* atau terjatuh. Untuk setiap parameter kontroler pengujian dilakukan hingga miniatur sepeda motor *collapse*.

Pengujian pada saat motor posisi tegak, posisi miring dan posisi jatuh untuk melihat pembacaan *accelerometer*, kinerja motor DC, PWM, dan ADC pada keseluruhan sistem serta melihat kerja *software Visual Basic 6*, sehingga bisa mengoptimalkan kinerja kontroler fuzzy.



Gambar 15. Pengambilan Data Pada Saat Posisi Miniatur Sepeda Motor Tidak Tegak Lurus atau 92^0 dari Permukaan Pijak

Secara keseluruhan dari pengujian ini dapat dilihat bahwa miniatur sepeda motor yang dirancang telah berjalan dengan baik. Proses penyeimbangan dengan bergerak sesuai arah dan kecepatan tertentu dapat berjalan sebagaimana mestinya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada miniatur sepeda motor maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Penggunaan *accelerometer* sebagai sensor pembacaan kemiringan sudut sudah bekerja dengan keakuratan yang baik begitu pula dengan kinerja motor DC *gearbox* yang mengatur *disc inertia* sebagai upaya untuk menjaga keseimbangan sudah sesuai harapan. Namun, perancangan mekanik miniatur sepeda motor belumlah sempurna, sehingga belum tercapainya performansi sistem sesuai dengan yang diinginkan.
- 2) Dengan menggunakan teorema kontroler fuzzy yang ditanamkan pada mikrokontroler ATmega8, menggunakan *software Code Vision AVR Pro v2.03.9*, sistem dapat mengambil keputusan untuk berputar searah putaran jarum jam atau berkebalikan arah jarum jam dengan kecepatan tertentu dari motor DC sebagai upaya untuk menyeimbangkan miniatur sepeda motor. Dalam

penelitian ini sistem dapat mempertahankan keseimbangan selama kurang lebih 10 detik.

B. Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan :

- 1) Penyempurnaan konstruksi mekanik pada sistem miniatur sepeda motor agar dicari titik keseimbangannya sehingga motor dapat berdiri tegak sebelum adanya aksi pengontrolan. Penyempurnaan pada *disc inertia* untuk dibuat lebih simetris, hal ini untuk mengurangi *noise* dan *disturbance* saat sistem sedang berjalan.
- 2) *Accelerometer* yang digunakan sebagai pembacaan sudut dapat diganti dengan menggunakan *gyroscope*. Dapat juga menggunakan kombinasi antara *accelerometer* dan *gyroscope* agar pembacaan sudut lebih baik dan lebih tepat.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ATMEL. 2007 *ATMEGA8535/ATMEGA8535L, 8-bit AVR Microcontroller with 8 Kbytes in System Programmable Flash*.
- [2] Innovative Electronics. *EMS 5A H-Bridge Datasheet*.
- [3] Jantzen, Jan. 1998. *Tuning of Fuzzy PID Controller*, Technical University of Denmark, Department of Automation. Denmark.
- [4] Ogata, K. 1997. Terjemahan *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [5] Ogata, K. 1997. Terjemahan *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [6] Putra, Al Ridho W. 2011. *Perancangan dan pembuatan rotary inverted pendulum dengan menggunakan kontrol logika fuzzy*, Malang. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [7] Rahman, Ari. 2010. *Desain dan implementasi control logika fuzzy untuk pengendalian kestabilan pendulum terbalik*, Malang. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [8] Soemarwanto. 1997. *Dasar Konversi Energi Elektrik Jilid II*. Malang. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [9] Stephani, Herlina. 2010. *Pengendalian Optimal Furuta Pendulum*, Surabaya. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [10] Sulistiono, A. 2010. *Pengenalan : Pulse Width Modulation*. <http://www.aristy.cz.cc/2010/02/pulse-width-modulation-pwm-pengenalan.html>
- [11] Texas Instrument Inc. 2002. *TMS320F2812 Digital Signal Processor Implementation tutorial*.