

Implementasi Regulator Oksigen Otomatis berdasarkan Tingkat Pernapasan menggunakan Logika Fuzzy

SUGONDO HADIYOSO¹, NURSANTO², ACHMAD RIZAL²

1. Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom
2. Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Email: sugondo@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Otomasi perangkat kesehatan saat ini banyak dikembangkan dengan tujuan untuk mempermudah kerja manusia sekaligus efisiensi utilitas perangkat. Pada penelitian ini, diusulkan desain prototipe sebuah regulator oksigen otomatis pada sebuah alat bantu pernafasan yang berfungsi untuk mengatur tekanan atau kadar oksigen yang dikeluarkan. Kondisi ini disesuaikan dengan tingkat pernafasan pasien. Jika tingkat pernafasan pasien diatas ambang batas maka tekanan oksigen akan dinaikkan. Melalui sensor, pernafasan pasien dideteksi yang selanjutnya diolah oleh mikrokontroler untuk dihitung rate pernafasannya. Melalui logika fuzzy, perhitungan tersebut diolah untuk proses pengambilan keputusan berapa banyak oksigen yang harus dikeluarkan. Setelah dilakukan pengujian, regulator otomatis dapat mengatur volume oksigen yang dikeluarkan sesuai dengan jumlah pernafasan pasien. Terdapat 9 buah aturan yang diimplementasikan pada sistem dalam pengaturan volume oksigen. Dimana setiap logika tersebut dapat dijalankan dengan baik oleh sistem. Tingkat akurasi yang dicapai perangkat untuk menghitung rate pernafasan mencapai 92,73%.

Kata kunci: otomasi, regulator, oksigen, logika fuzzy.

ABSTRACT

Automatic medical device currently developed with the aim to help the work and efficiency of the device utilities. In this research, proposed to prototype design an automatic oxygen regulator to regulate pressure or levels of oxygen. This condition is adjusted by the respiratory rate of patient. If the respiratory rate of the patient above the threshold then the oxygen pressure would be raised. Sensor detect the patient's breathing then processed by a microcontroller to count breathing rate. Through fuzzy logic, that calculations are processed for the decision process to determine how much oxygen should be given. After testing, the automatic regulator can control the volume of oxygen according with the patient's respiratory condition. There are 9 rules that are implemented on the system for setting the volume of oxygen. Each logic rules can be run well by the system. The level accuracy of device to compute respiration rate, reached 92.73%.

Keywords: automation, regulator, oxygen, fuzzy logic.

1. PENDAHULUAN

Kecepatan dan ketepatan dalam pengambilan keputusan dan tindakan merupakan hal penting dalam penanganan pasien. Semakin cepat dan tepat dalam penanganan pasien akan mengurangi dampak negatif yang muncul dari penyakit yang dialami pasien. Salah satu cara untuk menjawab persoalan tersebut adalah otomasi peralatan medis yang juga berdampak pada kemudahan dan efisiensi penggunaannya. Beberapa perangkat medis, telah dilengkapi fungsi diagnose berikut *feedback* sehingga dapat langsung memberikan tindakan kepada pasien dengan pengawasan ahli medis.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat sebuah *prototype* regulator oksigen otomatis pada alat bantu pernafasan yang berfungsi untuk mengatur volume oksigen berdasarkan jumlah pernafasan pasien. Tujuan dibuat perangkat ini adalah efisiensi penggunaan oksigen dan memberikan tindakan medis yang cepat dan tepat.

Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Jones (**Jones dkk, 1994**) melakukan simulasi pengontrolan konsentrasi oksigen menggunakan kontrol PID. Penelitian lain oleh Tehrani (**Tehrani dan Bazar, 1991**) mensimulasikan kontrol oksigen otomatis untuk terapi bayi yang baru lahir pada inkubator. Pada kedua penelitian tersebut, *tuning* konsentrasi oksigen dilakukan menggunakan PID dikarenakan parameter input pembandingnya cukup kompleks. Pada penelitian yang dilakukan ini, tidak digunakan kontrol PID melainkan logika *fuzzy* untuk pengambilan keputusannya dengan pertimbangan efektifitas dan implementasi yang lebih sederhana karena hanya satu parameter yang diolah yaitu rate pernafasan sebagai masukannya.

Pernapasan

Pernapasan adalah suatu tindakan yang dilakukan oleh makhluk hidup untuk memasukkan oksigen (O₂) kedalam tubuh yang kemudian disebut inspirasi dan mengeluarkan karbondioksida (CO₂) keluar tubuh yang kemudian disebut ekspirasi. Kegiatan ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan oksigen didalam tubuh baik sel maupun organ tubuh. Bila ada gangguan pada salah satu organ sistem respirasi, maka kebutuhan oksigen akan mengalami gangguan (**Asmadi, 2009**). Contoh gangguan tersebut misalnya pada pasien penderita Asma. Pada penderita asma saluran pernafasan mengalami penyempitan sehingga oksigen yang masuk ke tubuh jumlahnya minimum.

Rate Pernapasan (Respirasi Rate)

Respirasi rate adalah jumlah seseorang mengambil napas per menit (**nursingbegin.com, 2009**). Faktor kesehatan seseorang, kondisi emosional dan umur dapat mempengaruhi jumlah pernafasan per menit. Respirasi dapat meningkat pada saat demam, berolahraga, emosi (**nursingbegin.com, 2009**). Pada keadaan seseorang yang mengalami sesak nafas, *rate* pernafasan akan menjadi sangat tinggi. Kondisi yang kontras, kadar oksigen yang masuk kedalam paru-paru sangat rendah. Ini memerlukan penanganan khusus yaitu dengan memberikan gas oksigen melalui terapi oksigen. Untuk mengetahui rate pernafasan normal seseorang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Jumlah Pernapasan Normal (Ayip, 2011)

No	Kondisi	Rate Pernapasan/menit
1	Bayi	30-60
2	Bayi tahun pertama	25-30
3	Bayi tahun kedua	20-26
4	Anak usia 14 tahun	20-30
5	Wanita Dewasa	18-20
6	Laki-laki Dewasa	16-18
7	Orang tua 50 tahun	14-16
8	Orang tua 70 tahun	12-14

Terapi Oksigen

Terapi oksigen adalah tindakan pemberian tambahan oksigen melalui saluran pernapasan kepada seseorang agar organ tubuh dapat berfungsi dengan baik. Beberapa penyakit dan kondisi emosi seseorang dapat mempengaruhi kadar oksigen yang masuk. Diperlukan terapi oksigen agar tubuh tetap dapat memperoleh oksigen dengan cukup. Adapun tujuan pemberian terapi oksigen adalah:

1. Mengatasi hipoksemia
2. Menurunkan kerja pernafasan oleh paru-paru
3. Menurunkan kerja otot Jantung

Persamaan kebutuhan oksigen dengan memperhitungkan *rate* respirasi adalah sebagai berikut:

$$MV = \frac{VT \times RR}{1000} \quad (1)$$

Keterangan :

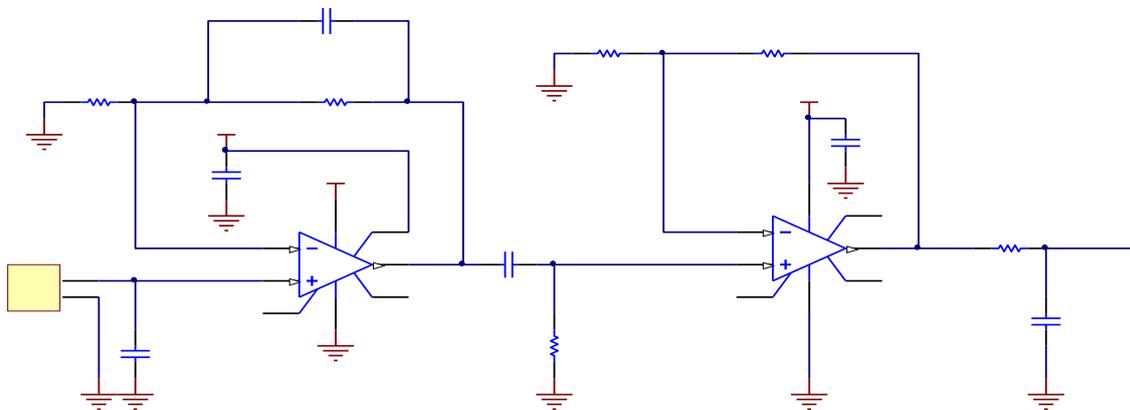
- MV : volume per menit
 VT : volume tidal (500 ml)
 RR : *respiratory rate*

Airflow Sensor

Airflow sensor adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi adanya pernapasan baik saat fase inspirasi maupun ekspirasi. Sensor ini dipasang pada sekitaran hitung pasien dengan tetap memperhatikan kenyamanan penggunaannya. Untuk mengetahui ada tidaknya pernapasan yaitu dengan mendeteksi perubahan suhu yang ada disekitar lubang hidung karena pada saat ekspirasi, suhu meningkat jika dibandingkan pada saat fasa inspirasi. Oleh karena itu, *Airflow* sensor dibuat dari bahan yang peka terhadap perubahan suhu yaitu menggunakan resistor yang nilai resistansinya berubah terhadap suhu. Selanjutnya dengan menambahkan rangkaian pembagi tegangan dan pengkondisi sinyal berupa penguat dan filter sinyal keluaran disesuaikan dengan kebutuhan. Keluaran blok sensor ini berupa tegangan analog yang nantinya di konversi menjadi data digital oleh mikrokontroler. Bentuk fisik dari *airflow* sensor dapat dilihat pada Gambar 1 dan rangkaian pengkondisi sinyal dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Airflow Sensor



Gambar 2. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Arduino

Arduino adalah sebuah *board* sistem minimum mikrokontroler dengan chip ATMEGA 328 sebagai pengendali utamanya. Board arduino yang digunakan pada penelitian ini adalah arduino uno yang didalamnya sudah dilengkapi dengan chip FTDI dan juga *bootloader* sehingga tidak memerlukan komponen tambahan atau aplikasi khusus agar dapat diakses oleh komputer. Pada penelitian ini, arduino berfungsi untuk konversi sinyal analog keluaran blok sensor, menghitung *rate* pernapasan, dan menentukan keputusan untuk menjalankan actuator sesuai dengan program logika *fuzzy* yang diberikan. Board arduino uno yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Pemrograman arduino ini menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan bahasa C sebagai basis pemrogramannya.



Gambar 3. Arduino Uno

Regulator Oksigen

Regulator oksigen berfungsi untuk mengatur volume oksigen yang keluar dari tabung oksigen sebelum disalurkan ke pasien. Alat pengaturnya berupa katup yang dipasang pada saluran distribusi oksigen dari tabung oksigen ke selang pernapasan. Pada penelitian ini, dilakukan modifikasi pada saluran tersebut sehingga dapat mengatur katup secara otomatis sesuai dengan aturan yang telah ditentukan. Bentuk regulator oksigen dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Regulator Oksigen

Logika Fuzzy

Teori himpunan *fuzzy* diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Lotfi A. Zadeh. Kemudian digunakan pertama kali pada bidang kontrol oleh Profesor Ebrahim Mamdani dan kawan-kawannya. Menurut definisi kata *fuzzy* memiliki arti kabur atau samar atau ketidakpastian. Dengan *fuzzy* nilai samar tersebut dapat menjadi nilai yang *logic* yang tegas sesuai derajat keanggotaannya.

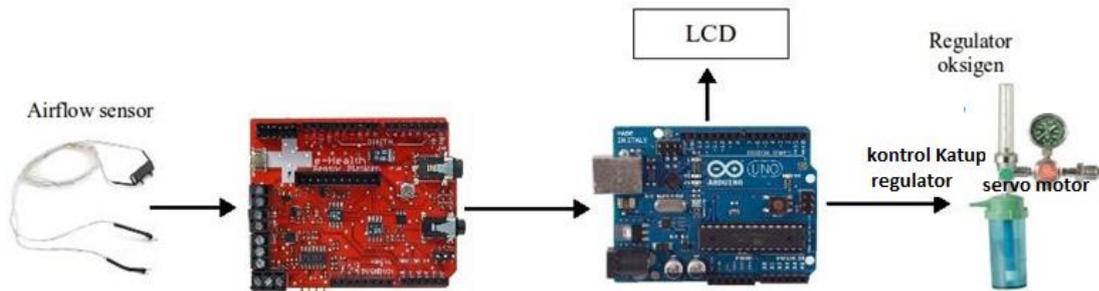
Pada teori himpunan *crisp*, keberadaan suatu elemen x pada himpunan semesta A , hanya memiliki dua keanggotaan. Yaitu menjadi anggota A atau bukan menjadi anggota A (Timothy, 2010). Pada kondisi tertentu terdapat kemungkinan, derajat elemen/anggota tersebut berada diantara keduanya atau sering disebut pada daerah samar. Solusi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan logika *fuzzy* untuk mengatasi bobot keanggotaan elemen yang berada pada daerah diantara keduanya atau kabur tersebut. Dengan logika *fuzzy* keanggotaan suatu elemen dapat ditentukan secara tegas berdasarkan nilai derajat masing-masing elemen tersebut. Komponen utama pada sistem logika *fuzzy*, yaitu *fuzzyfication*, *inference* dan *defuzzyfication*.

2. IMPLEMENTASI

2.1 Desain Sistem

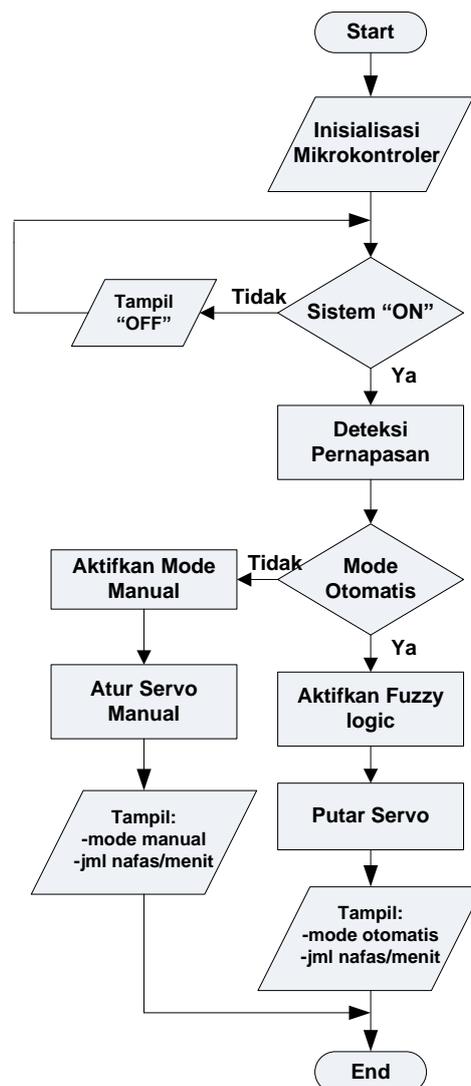
Gambaran umum mengenai sistem regulator oksigen otomatis yang direalisasikan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.

Implementasi Regulator Oksigen Otomatis berdasarkan Tingkat Pernapasan menggunakan Logika Fuzzy



Gambar 5. Desain Sistem

Dari model sistem diatas ditunjukkan bahwa regulator oksigen otomatis bekerja berdasarkan perintah mikrokontroler yang disesuaikan dengan kondisi pernapasan pasien. Tegangan analog bagian pengkondisi sinyal dikonversi ke bentuk digital untuk proses pengolahan data. Proses tersebut dilakukan oleh ADC mikrokontroler. Setelah data terbaca kemudian diklasifikasikan menggunakan logika *fuzzy* untuk menentukan terapi yang diberikan sekaligus dijadikan luaran untuk menggerakkan motor servo, yang kemudian memicu keluarnya oksigen melalui regulator oksigen. Terdapat switch agar perangkat ini dapat digunakan pada mode otomatis ataupun manual. Detail proses dapat dilihat pada Gambar diagram alir berikut.



Gambar 6. Flowchart sistem

2.2 Implementasi *Hardware*

Implementasi perangkat keras yang terdiri dari implementasi sensor *airflow*, mikrokontroler, desain mekanik serta integrasi dengan motor servo.

2.2.1 Implementasi Sensor *Airflow*

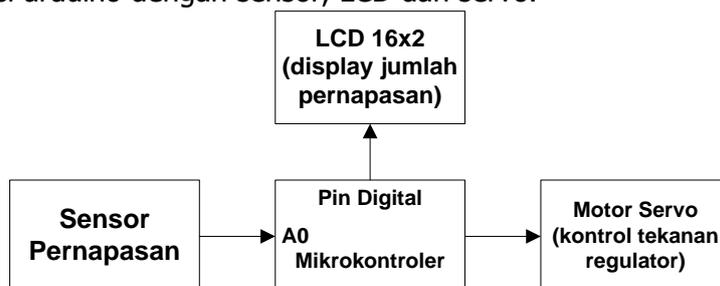
Airflow sensor yang digunakan berupa modul yang terbuat dari resistor yang nilai resistansinya berubah terhadap suhu. Kemudian dibungkus menggunakan *heatsrink* atau karet agar nyaman saat digunakan oleh pasien. Luaran blok sensor berupa tegangan analog yang nilainya berubah sesuai perubahan resistansi sensor setelah dilewatkan pada rangkaian pembagi tegangan. Pemasangan sensor pada daerah sekitaran hidung dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemasangan Sensor

2.2.2 Integrasi Mikrokontroler

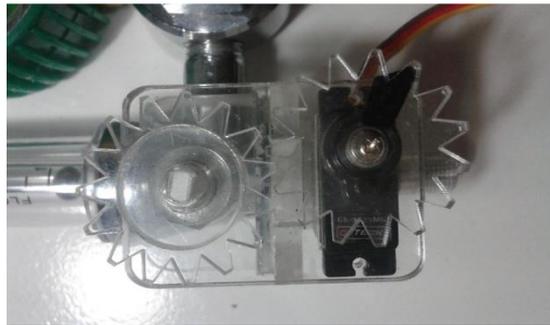
Mikrokontroler berfungsi untuk konversi tegangan analog luaran sensor, menghitung *rate* penapasan serta mengambil keputusan untuk mengontrol motor servo berdasarkan logika *fuzzy* yang ditanam. *Board* mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino uno berbasis IC ATMEGA328 sebagai pengendali utamanya. Arduino juga terintegrasi dengan LCD yang berfungsi untuk *display* mode perangkat dan jumlah pernapasan. Pin Analog 0 dihubungkan ke sensor dan pin digital terhubung dengan LCD dan Motor Servo. Berikut ini adalah gambaran integrasi arduino dengan sensor, LCD dan servo.



Gambar 8. Integrasi Mikrokontroler

2.2.3 Desain Mekanik dan Integrasi Motor Servo

Agar dapat menggerakkan regulator secara otomatis, maka dilakukan modifikasi pada regulator yang ada di pasaran. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan menambahkan servo pada regulator oksigen. Motor servo dipasang menyatu terhadap regulator dengan posisi berada di dekat pemutar keluaran oksigen dengan menggunakan akrilik. Kemudian servo dihubungkan terhadap pemutar keluaran oksigen dengan menggunakan gear. Servo yang digunakan mempunyai spesifikasi torsi 2.5 kg-cm.



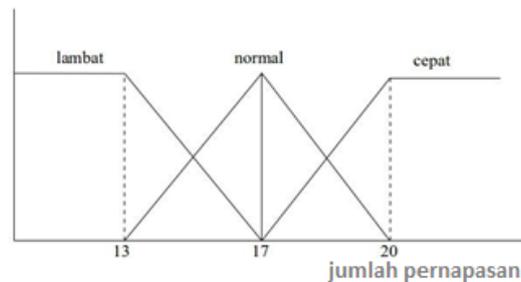
Gambar 9. Pemasangan Mekanik Motor Servo

2.3 Perancangan Logika Fuzzy

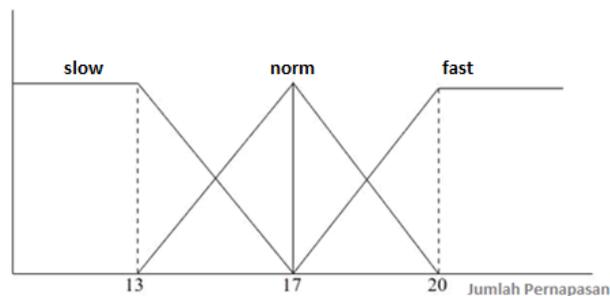
Perancangan logika *fuzzy* untuk regulator oksigen otomatis ini digunakan dua variabel masukan, yaitu tingkat pernapasan saat ini dan tingkat pernapasan sebelumnya. Pembagian cluster untuk kedua variabel tersebut, dibagi ke dalam tiga *cluster*. Untuk variabel tingkat pernapasan sebelumnya terdiri dari lambat, normal dan cepat. Sedangkan untuk variabel saat ini terdiri dari *slow*, *norm* dan *fast*.



Gambar 10. Diagram sistem *fuzzy* pada regulator otomatis

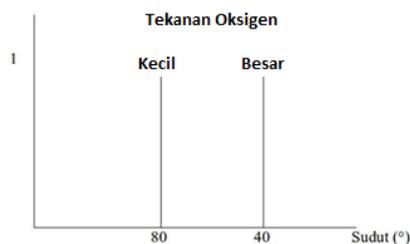


Gambar 11. Fungsi keanggotaan pernapasan sebelumnya



Gambar 12. Fungsi keanggotaan pernapasan saat ini

Untuk menentukan keluaran pada sistem ini digunakan model sugeno. Karena penggunaan model sugeno, dalam menentukan fungsi keanggotaannya cukup sederhana dan responnya lebih cepat dari pada model lainnya. Keluaran dari model *fuzzy* yang dibuat ini adalah besaran putaran motor servo. Semakin kecil derajat putaran servo maka tekanan oksigen yang dikeluarkan akan semakin besar dan sebaliknya.



Gambar 13. Fungsi keanggotaan output

Data yang telah dikelompokkan kemudian dibuat aturan yang disebut aturan jika-maka (*if-then*). Aturan ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan keluaran tertentu saat ada masukan tertentu. Pembuatan aturan tersebut didasarkan pada perhitungan, pengamatan data dan konsultasi dengan pihak medis. Jika kondisi pernapasan lambat, menandakan pasien dalam kondisi sangat lemah atau pasien dalam kondisi darurat sehingga memerlukan *volume* oksigen yang besar. Begitu juga pada pasien yang mengalami sesak nafas dengan ritme pernapasan yang tinggi, pada kondisi tersebut udara yang masuk ke paru-paru sangat kecil *volume*-nya. Oleh Karena itu, pada pasien dengan ritme pernapasan cepat juga membutuhkan *volume* oksigen yang besar. Detail aturan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel fuzzy rule

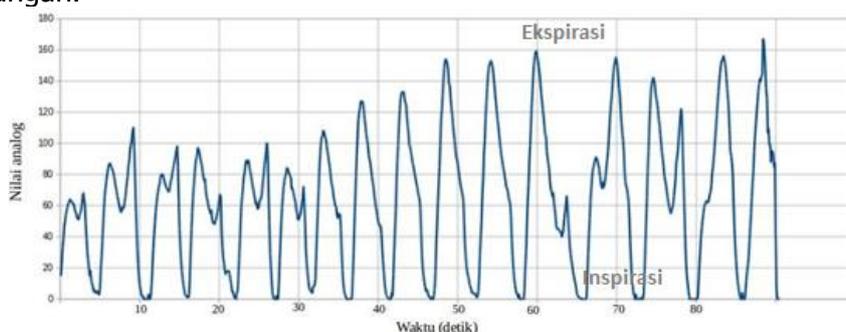
		Pernapasan sebelumnya		
		Lambat	Normal	Cepat
Pernapasan saat ini	Slow	Besar	Besar	Besar
	Norm	Kecil	Kecil	Kecil
	Fast	Besar	Besar	Besar

3. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian hardware, software dan performansi alat yang telah dibuat.

3.1 Pengujian Pembacaan *Airflow* Sensor

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk grafik luaran sensor pada saat fase inspirasi dan ekspirasi. Data serial hasil pembacaan ADC dikirimkan ke PC kemudian di plot dalam bentuk grafik. Grafik luaran sensor dapat dilihat pada Gambar 14. Dari grafik tersebut terlihat bahwa fase ekspirasi memiliki tegangan lebih besar dibandingkan fase inspirasi. Pada saat ekspirasi, hidung mengeluarkan udara panas sehingga resistansi naik yang diikuti kenaikan tegangan.



Gambar 14. Grafik pembacaan sensor

3.2 Pengujian dan Analisis Perhitungan Jumlah Pernapasan

Pengujian dilakukan dengan menghitung jumlah pernapasan dalam satu menit menggunakan sistem regulator oksigen otomatis dibandingkan dengan perhitungan yang dilakukan secara manual. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Pengujian Perhitungan Jumlah Pernapasan

No	ID Pasien	Hitungan Aplikasi (nafas/menit)	Manual (nafas/menit)	% Kesalahan	% Akurasi
1	Pasien 1 (1)	20	16	40	60
2	Pasien 1 (2)	16	16	0	100
3	Pasien 1 (3)	15	15	0	100
4	Pasien 1 (4)	16	16	0	100
5	Pasien 1 (5)	17	16	6,25	93,75
6	Pasien 2 (1)	14	14	0	100
7	Pasien 2 (2)	14	15	6,66	93,34
8	Pasien 2 (3)	12	13	7,69	92,31
9	Pasien 2 (4)	13	13	0	100
10	Pasien 2 (5)	9	13	30,76	69,24
11	Pasien 3 (1)	15	17	11,76	88,24
12	Pasien 3 (2)	16	17	5,88	94,12
13	Pasien 3 (3)	18	18	0	100
14	Pasien 3 (4)	14	14	0	100
15	Pasien 3 (5)	15	15	0	100
16	Pasien 4 (1)	13	14	7,14	92,86
17	Pasien 4 (2)	13	13	0	100
18	Pasien 4 (3)	15	14	7,14	92,86
19	Pasien 4 (4)	12	14	14,28	85,72
20	Pasien 4 (5)	13	13	0	100
21	Pasien 5 (1)	20	22	9,09	90,91
22	Pasien 5 (2)	16	15	6,66	93,34
23	Pasien 5 (3)	15	15	0	100
24	Pasien 5 (4)	21	22	4,54	95,46
25	Pasien 5 (5)	20	20	0	100
26	Pasien 6 (1)	12	13	7,69	92,31
27	Pasien 6 (2)	12	10	20	80
28	Pasien 6 (3)	12	14	14,28	85,72
29	Pasien 6 (4)	12	16	12,5	87,5
30	Pasien 6 (5)	15	15	0	100
Rata-rata				7,07	92,93

Dari hasil pengujian perhitungan jumlah pernapasan tiap menit sebanyak 30 kali didapatkan nilai akurasi sebesar 92,93% dengan nilai kesalahan sebesar 7,07%. Kesalahan perhitungan rate pernapasan dapat dipengaruhi karena pemasangan posisi sensor yang kurang tepat. Nilai kesalahan tersebut tidak mempengaruhi pengambilan keputusan oleh sistem karena

sistem bekerja berdasar perhitungan pernapasan saat ini dan sebelumnya.

3.3 Pengujian Putaran Servo Terhadap Keluaran Oksigen

Pada bagian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui *volume* oksigen yang dikeluarkan saat motor servo berputar dengan sudut tertentu. Pengujian dilakukan dengan cara menggerakkan motor servo pada sudut tertentu, kemudian diamati keluaran oksigen yang ditunjukkan pada meter tekanan regulator oksigen. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hubungan pergerakan motor servo terhadap keluaran oksigen

No	Putaran servo (derajat)	Keluaran Oksigen (l/mnt)
1	180	0
2	150	0
3	120	1,5
4	90	4
5	60	6
6	30	9
7	0	12

Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa semakin kecil putaran servo maka tekanan oksigen yang dikeluarkan semakin besar dengan demikian sesuai dengan rancangan yang dibuat.

3.4 Pengujian dan Analisis Logika Fuzzy

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon program logika *fuzzy*. Masukan yang digunakan adalah nilai-nilai dari fungsi keanggotaan logika *fuzzy* yang sudah dibuat.

Tabel 5. Pengujian logika fuzzy

Pernapasan Sebelumnya (nafas/menit)	Pernapasan Sekarang (nafas/menit)	Output (Derajat Putaran Servo)	Volume Oksigen (L/menit)
10	11	40	8
15	11	40	8
18	11	40	8
21	11	40	8
10	15	53,3	7
15	15	60	6
18	15	60	6
21	15	60	6
20	18	66,7	6
15	18	64	6
18	18	66,7	6
21	18	62,86	6
10	21	40	8
15	21	40	8
18	21	40	8
21	21	40	8

Dari data diatas apat disimpulkan bahwa program yang dibuat menggunakan metode logika *fuzzy* sudah bekerja dengan baik. Hal tersebut dapat dilihat dari keluaran oksigen yang sesuai dengan rancangan dan aturan yang ditetapkan pada bagian 2 serta tidak melebihi batas maksimum dan batas minimum yaitu antara 5 – 8 liter/menit.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada perancangan regulator oksigen otomatis, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan regulator oksigen otomatis dengan menggunakan metode logika *fuzzy* berdasarkan jumlah pernapasan pasien.
2. Regulator oksigen otomatis dapat menunjukkan jumlah tingkat pernapasan tiap menit dengan akurasi sebesar 92,93 %.
3. Aturan logika *fuzzy* yang diimplementasikan pada mikrokontroler dapat dijalankan dengan baik sesuai dengan *rule* yang ditetapkan.
4. Volume oksigen yang dikeluarkan sesuai dengan kondisi pernapasan dengan batas minimum dan batas maksimum pada kisaran 5 – 8 Liter/menit. Jumlah ini disesuaikan dengan anjuran ahli medis hasil survey.

DAFTAR RUJUKAN

- Jones, K.O., Williams, D., Phipps, D.(1994). On-Line Control Of Dissolved Oxygen Concentration Using *An* Automatic Tuning PID Controller. IEEE International Conference.
- Tehrani, F.T., Bazar, A.R.(1991). *An* Automatic Control System for Oxygen Therapy Of Newborn Infants. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.
- Asmadi.(2009). Teknik Prosedural Keperawatan Konsep dan Aplikasi Kebutuhan Dasar Klien. Jakarta: Salemba Medika.
- Nursingbegin.com. (2009). Respirasi Rate. Dipetik 4 Mei 2015 dari <http://nursingbegin.com/vital-signs-atau-tanda-vital/#>
- Syarifudin, A. (2011). Jumlah Pernapasan Normal. Dipetik 4 Mei 2015 dari <http://ayipsyarifudin.blogspot.com/2011/06/menghitung-pernapasan.html>
- Ross, Timothy J. (2010). Fuzzy Logic with Engineering Applications. UK: John Wiley & Sons.