

Rancang Bangun Uji Ventilator Berbasis Arduino

Suriansjah¹⁾, Taswanda Taryo²⁾

¹⁾ Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta, Indonesia. ²⁾ Badan Tenaga Nuklir Nasional Jalan Moch. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan, 12640, Indonesia
e-mail: suriansjah.bpfkjt@gmail.com, hendro@batan.go.id

ABSTRAK

Sejak pertama kalinya virus corona timbul di wuhan cina pada akhir Desember 2019 yang dikenal sebagai SARS-CoV-2 (*Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*) telah menyebar secara global, maka kebutuhan untuk alat *ventilator* meningkat secara dratis dan tajam, sehingga WHO mendorong setiap negara didunia kedokteran untuk membuat dan mengembangkan alat ventilator, khususnya ventilator emergency. Pemerintah mengintruksikan ke Kementerian Kesehatan R.I. melalui Instansi Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Jakarta untuk melakukan pengujian terhadap ventilator tersebut. Gas Flow Analyzer merupakan suatu alat kalibrator yang berfungsi untuk menguji ventilator tersebut. Kalibrator ventilator ini merupakan produksi dari luar negeri yang harganya tentu sangat mahal. Dalam penelitian ini dirancang suatu alat uji ventilator dengan menggunakan mikrokontroler ATMEL SAM3X8E yang berbasis arduino digunakan untuk mengolah data dari tekanan dan aliran udara yang masuk, sehingga bisa di tampilkan di LCD dan komputer. Dari hasil analisa data berdasarkan Mandatory Rapidly Manufactured Ventilator System (RMVS) [15], dengan pengaturan Tidal Volume (TV) 400 mL, Breath Rate (RR) 15 BPM dan I : E Ratio 1 : 2 adalah untuk persentase Tidal Volume (TV) sebesar 2,7%, persentase Minute Volume (MV) sebesar 2,9%, persentase Breath Rate (RR) sebesar 1,2%, persentase I : E Ratio sebesar 2,3%, persentase Inspiratory Time (Ti) sebesar 3,9%, persentase Expiratory Time (Te) sebesar 3,1%, persentase Peak Inspiratory Pressure (PIP) sebesar 13,2%, persentase Positive End Expiratory Pressure (PEEP) sebesar 84,3%, persentase Peak Inspiratory Flow (PIF) sebesar 5,3% dan persentase Peak Expiratory Flow (PEF) sebesar 11,4%.

Kata Kunci : Kalibrator, Arduino, keakurasian.

ABSTRACT

Since the first time, coronavirus appeared in China at the ends December 2019 as known as SARS-CoV-2 (Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2), has spread globally, the ventilators needs have increased drastically and sharply, so WHO encourages every country in the world of medicine to manufacturing and developing ventilators, especially emergency ventilators. The government instructed the Indonesian Ministry of Health through the Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Jakarta which is to test the ventilator. Gas Flow Analyzer is a calibrator tool that has functions to test the ventilator. This ventilator calibrator is a product from abroad which is very expensive. In this study, a ventilator test device using an ATMEL SAM3X8E microcontroller based on Arduino was designed for process data from the incoming air pressure and flow, so that it can be displayed on the LCD and computer. From the results of data analysis based on the Mandatory Rapidly Manufactured Ventilator System (RMVS) [15], a setting with 400 mL Tidal Volume (TV), 15 BPM Breath Rate (RR), and 1 : 2 is I : E Ratio for the percentage obtained of Tidal Volume (TV) 2.7%, Minute Volume (MV) the percentage of 2.9%, Breath Rate (RR) the percentage of 1.2%, I : E ratio the percentage of 2.3%, Inspiratory Time (Ti) the percentage of 3.9%, Expiratory Time (Te) the percentage of 3.1%, Peak Inspiratory Pressure (PIP) the percentage of 13.2%, Positive End Expiratory Pressure (PEEP) the percentage of 84.3%, Peak Inspiratory Flow (PIF) the percentage of 5.3% and Peak Expiratory Flow (PEF) the percentage of 11.4%.

Keywords: Calibrator, Arduino, accuracy.

1. PENDAHULUAN

Gagal jantung akut adalah keadaan darurat medis yang paling umum terjadi dan penyebab utama rawat inap yang menyumbang 6,5 juta hari di rumah sakit setiap tahun. Tingkat kematian di rumah sakit pada gagal jantung akut adalah 10% sampai 20%. Gagal jantung akut menjadi masalah Kesehatan masyarakat yang utama pada beberapa negara industry maju dan Negara berkembang seperti Indonesia [1]. Pusat Pengendalian Penyakit di Amerika Serikat melaporkan rata rata pemakaian Ventilator terkait pneumonia 3,6 kasus dari 1000 ventilator per hari di ruang ICU dan data terbaru dari Internasional Nosocomial Pengendalian Infeksi menunjukkan adanya peningkatan yaitu 16,8 kasus Ventilator per hari [2]. Di akhir abad 19, mulai banyak dikembangkan konsep ventilator bertekanan negatif, dimana sebuah kotak menutupin seluruh tubuh untuk ventilasi mekanis dengan menggunakan teknik implementasi yang berbeda meniru siklus pernapasan dan mendapatkan hasil yang sama atau sebanding dengan masalah yang dihadapi, konsep ini pertama kali dikembangkan dan dipatenkan oleh Alfred Jones [3]. Yaitu terdiri dari sebuah kotak berlubang di mana seorang pasien dapat duduk sehingga lehernya mencuat keluar dari kotak. Plunger yang dipasang di dalam wadah akan mengurangi tekanan ke tingkat subatomik (Tekanan negatif) menyebabkan terhirup. Membiarkan tekanan untuk kembali ke tingkat atom (tekanan positif) menghasilkan pernafasan [3]. Saat epidemi polio terjadi hampir di seluruh dunia pada tahun 1950-an terutama di Amerika Serikat. Pada saat itu dibutuhkan suatu bentuk bantuan ventilasi yang dapat bertindak sebagai tangki ventilator bertekanan negatif yang dikenal dengan istilah iron lung [3]. Sejak saat itu, dimulailah era baru penggunaan

ventilasi mekanik bertekanan positif serta ilmu kedokteran dan perawatan intensif.

Sejak pertama kalinya virus corona timbul di wuhan cina pada akhir Desember 2019 yang dikenal sebagai SARS-CoV-2 (Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) telah menyebar secara global [4]. Pada tanggal 27 Februari 2020 dilaporkan 82000 kasus penyakit korona 2019 dan 2800 kematian telah dilaporkan, dengan sekitar 95% kasus dan 97% kematian terjadi di Tiongkok dan penyebarannya terjadi di 49 negara [4]. Studi tentang pasien yang dirawat di rumah sakit sebagian besar di wuhan, cina terjadi pada usia 50-an yang didominasi laki-laki sekitar 25% dan harus menjalani perawatan intensif sedangkan sekitar 10% memerlukan mesin ventilator [4].

Mengenai COVID-19 di tahun 2020 ini, WHO mengangkat ancaman terhadap epidemi CoV ke level "sangat tinggi", pada tanggal 28 Februari 2020. Kemungkinan, efek epidemi yang disebabkan oleh CoV baru belum muncul karena situasinya berkembang dengan cepat. Pada 11 Maret, ketika jumlah kasus COVID-19 di luar China telah meningkat 13 kali lipat dan jumlah negara yang terlibat telah berlipat tiga dengan lebih dari 118.000 kasus di 114 negara dan lebih dari 4.000 kematian, WHO menyatakan COVID-19 sebagai pandemi [4].

Dengan demikian WHO mendorong setiap negara didunia kedokteran, terutama pada perusahaan yang membuat mesin ventilator dengan berbagai jenis ventilator dalam pemenuhan kebutuhan dalam menunjang kehidupan seseorang. Dengan diproduksinya mesin ventilator yang sekarang maka tidak serta merta mesin ventilator tersebut dipakai langsung ke pasien tapi perlu adanya uji ventilator sebelum diproduksi masal atau yang disebut dengan uji produk dari ventilator, ada banyak perusahaan dan institusi pendidikan tinggi yang menciptakan mesin ventilator sehingga pemerintah Republik Indonesia mendorong Instansi yang terkait dalam hal ini Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan R.I. yang ada di Jakarta melakukan pengujian mesin

ventilator tersebut. Tapi alat uji ventilator yang ada di BPFK jumlahnya terbatas dan harganya juga mahal, sehingga penulis berusaha untuk membuat suatu rancangan alat uji ventilator guna mendukung program dari pemerintah. Ada pun Rancang bangun tersebut berjudul “Rancang Bangun Alat Uji Ventilator dengan Arduino”

2. METODOLIGI PENELITIAN

1. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah dengan membuat alat uji ventilator yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi peralatan ventilator. Rancang bangun ini diuji dengan membandingkan nilai yang terukur dengan nilai yang terbaca pada alat standar (kalibrator Ventilator Analyzer) yang sumbernya dari ventilator.

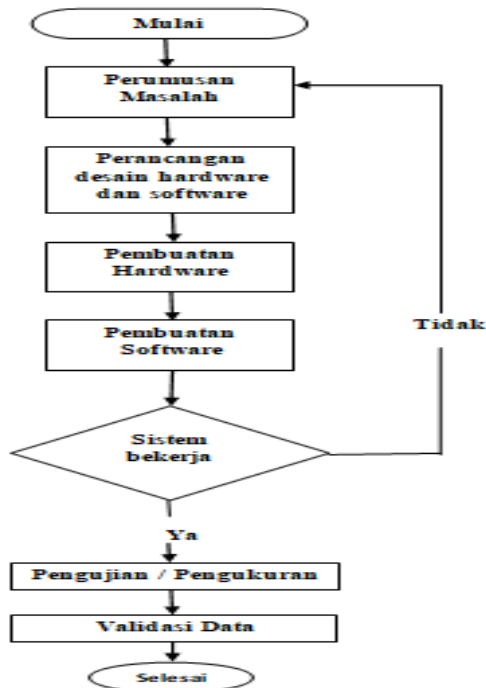
2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan dan menganalisa penelitian ini adalah :

1. Studi literatur yang berhubungan dengan rancangan dan pembuatan alat.
2. Perancangan desain perangkat keras dan perangkat lunak
Sebelum melakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, perancangan desain perlu dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui kebutuhan peralatan yang digunakan. Pada tahap ini perancangan menggunakan bahan yang mudah didapat, ekonomis, simple, dan dalam melakukan pengujian sesuai dengan spesifikasi.
3. Pembuatan perangkat keras (hardware)
Perancangan perangkat hardware ini terdiri dari ; casing (terbuat dari akrilik), komponen seperti sensor tekanan MPX10DP, sensor aliran udara MPXV7002DP, mikrokontroler (Arduino) ATSAM3X8E, Display TFT LCD

ILI9481 dan adapter output tegangan 5 Volt dc.

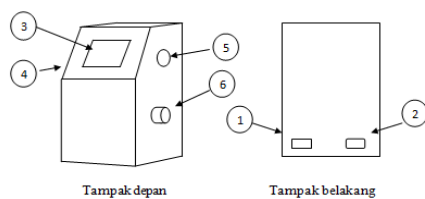
4. Perancangan perangkat lunak
Pada perangkat lunak ini berisi program yang digunakan untuk membaca sensor, membaca dan mengirim data dari sensor, serta menampilkan data ke display dan komputer.
5. Melakukan pengujian dan kalibrasi,
Setelah selesai perangkat keras dan perangkat lunaknya maka dilakukan pengujian perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem mikrokontroler. Bila sistem sudah bekerja dengan benar maka dilakukan pengukuran dengan kalibrator ventilator analyzer dengan menggunakan sumber dari ventilator emergency.
Metode yang digunakan adalah metode langsung mengikuti prosedur dan pedoman dari *“KAN Guide On The Evaluation And Expression Of Uncertainty In Measurement”*
6. Validasi data
Validasi data adalah membandingkan nilai yang diperoleh oleh rancang bangun kalibrator ventilator analyzer dengan kalibrator ventilator analyzer yang dimiliki oleh Laboratorium Kalibrasi BPFK Jakarta dengan menggunakan Metode Kerja dari Fasyankes Kemenkes R.I. no MK : 069 Metode Kerja Ventilator (halaman 335).
Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan dengan alur diagram sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

3. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Pada Gambar 2 merupakan casing dari modul rancang bangun ventilator analyzer dengan bahan akrilik dimana akrilik merupakan bahan yang mudah didapat dan mudah dalam pembuatannya, dengan ukuran panjang 10 cm, lebar 14 cm, dan tinggi 23 cm, serta harganya yang murah.



Gambar 2. Box Rancang Bangun Uji Ventilator

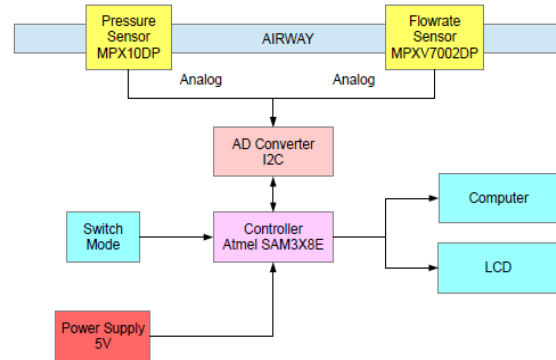
Keterangan :

1. Tombol On/Off
2. Input PLN (220 Vac)
3. Display
4. Input dari sirkuit pasien ventilator
5. Output ke pasien atau test lung
6. Selektor mode ATP, BTPS dan STPD21

4. Prinsip Kerja Blok Diagram

Pada Gambar 3. skema bagan atau

blok diagram dari rancang bangun ventilator analyzer yang akan dibuat sebagai peralatan kalibrator untuk mengkalibrasi ventilator yang ada di Rumah Sakit.



Gambar 3. Skema atau blok diagram Rancang Bangun Uji Ventilator.

Prinsip kerjanya adalah Sensor tekanan (MPX10DP) dan sensor aliran (MPXV700DP) diletakan pada jalur aliran udara. Data analog yang didapatkan oleh kedua sensor akan dikonversi menjadi data digital oleh A/D Converter untuk mempermudah proses perhitungan serta meningkatkan resolusi pengukuran. Data-data tersebut diolah oleh controller ATMEL SAM3X8E pada modul Arduino Due untuk memperoleh parameter aliran udara yang nantinya akan ditampilkan di LCD dan Komputer. Terdapat switch mode untuk memberikan nilai koreksi volume sesuai mode yang dipilih meliputi mode ATP, STPD21 dan BTPS.

5. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Perancangan system *software* dari alat monitoring parameter ventilator dibuat sesuai dengan *flowchart* yang telah ditampilkan sebelumnya. *Software* bekerja untuk mendeteksi parameter waktu, tekanan dan volume yang dialirkan oleh ventilator. Parameter tersebut didapat dari pengamatan terhadap data yang dikirimkan oleh sensor-sensor yang terpasang. Data flowrate diolah sebagai referensi perhitungan volume dan *trigger* dalam menentukan apakah system sedang melakukan fase inspirasi maupun expirasi. Pengolahan data waktu inspirasi maupun expirasi menggunakan pewaktu dari

controller menggunakan fungsi *millis()* sehingga diharapkan resolusi pengukuran hingga skala milidetik. Gambar 4. berikut adalah contoh penulisan program berkaitan dengan perhitungan volume inspirasi, waktu inspirasi, flowrate dan tekanan maksimal saat inspirasi.

```

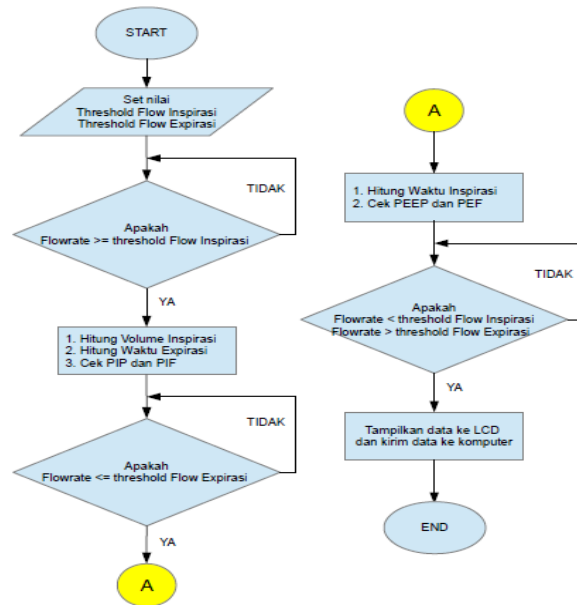
3748 if((flowrate_analog>frfx_threshold) && inspirasi == 1) // mengukur parameter dalam inspirasi
375 vol_siklus = flowrate_analog*(millis()-siklus_nafas);
376 siklus_nafas = millis();
377 if(vol_siklus <= 0) vol_siklus = 0;
378 vol_lewat = vol_lewat + vol_siklus; // volume tidal
379 volume = vol_lewat;
380 if(tek_relative >= tek_PIP) tek_PIP = tek_relative; // menyimpan data PIP
381 if(flowrate_analog >= fr_PIF) fr_PIF = flowrate_analog; // menyimpan data PIF
382 }
    
```

Gambar 4. Contoh program dari arduino Mikrokontroler ATSAM3X8E

Data tersebut direkam dan akan ditampilkan di LCD dan dikirim ke komputer. Data-data tersebut akan diperbaharui setiap terdeteksi nafas oleh alat.

6. Prinsip Kerja Flow Chart Dari System Perancangan

Seperti pada Gambar 5. dimana flowchart yang dibuat untuk menggambarkan sistem kerja dari monitoring ventilator. Pada saat *start-up* sistem akan memulai dengan membaca parameter yang akan digunakan sebagai batasan dalam melakukan deteksi nafas, parameter tersebut adalah batasan flowrate inspirasi dan batasan flowrate ekspirasi. Kemudian sistem akan *standby* hingga flowrate terdeteksi melebihi batasan flowrate inspirasi. Ketika inspirasi terdeteksi maka sistem akan menghitung volum inspirasi berdasarkan data flowrate, mengukur nilai tekanan maksimal atau PIP (*positive inspiratory pressure*) dan flowrate maksimal atau PIF (*positive inspiratory flowrate*) serta menghitung parameter waktu ekspirasi dan kegiatan ini akan terus berlangsung hingga flowrate melewati batasan flowrate ekspirasi dan akan memulai siklus pengamatan data-data ekspirasi.



Gambar 5. Flow Chart dari Rancang Bangun Uji Ventilator .

Kemudian sistem akan *standby* hingga flowrate terdeteksi melebihi batasan flowrate inspirasi. Ketika inspirasi terdeteksi maka sistem akan menghitung volum inspirasi berdasarkan data flowrate, mengukur nilai tekanan maksimal atau PIP (*positive inspiratory pressure*) dan flowrate maksimal atau PIF (*positive inspiratory flowrate*) serta menghitung parameter waktu ekspirasi dan kegiatan ini akan terus berlangsung hingga flowrate melewati batasan flowrate ekspirasi dan akan memulai siklus pengamatan data-data ekspirasi. Selama siklus ekspirasi sistem akan mengukur nilai tekanan minimal atau PEEP (*positive end expiratory pressure*) sebagai data dan flowrate ekspirasi maksimal atau PEF (*positive expiratory flowrate*). Selama siklus ekspirasi sistem juga akan mendeteksi flowrate hingga nilainya terdeteksi antara batasan flowrate inspirasi dan batasan flowrate ekspirasi, jika terdeteksi maka tampilan di LCD akan diperbaharui dengan data yang terakhir didapatkan.

7. Subyek dan Metode Pengukuran

Dalam proses pengujian ini, objek penelitian menggunakan Ventilator Emergency dari prototipe, yaitu :

- Merk : AIRGENCY
- Model/Tipe : AG-03

Nomer Seri : 0320-000

Sedangkan Kalibrator (Gas Flow Analyzer) yang digunakan ada 3 unit, yaitu :

1. Merk : Fluke
 Model/Tipe : VT Plus HF
 Nomer Seri : 4460034
2. Merk : Fluke
 Model/Tipe : VT Plus HF
 Nomer Seri : 213104
3. Merk : Fluke
 Model/Tipe : VT Plus HF
 Nomer Seri : 4707001

Dalam pengujian mengikuti metode pengujian dan kalibrasi dari Fasyankes Kemenkes R.I. no MK : 069 Metode Kerja Ventilator (halaman 335), antara lain :

1. Suhu ruangan : $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
2. Kelembaban : $55\% \text{RH} \pm 20\% \text{RH}$
3. Tegangan : $220\text{V} \pm 10\%$

Adapun parameter yang di ukur adalah :

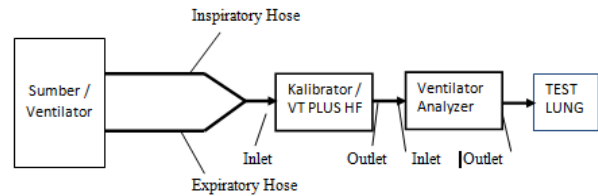
1. Tidal Volume satuan mL (miliLiter)
2. Minute Volume satuan LPM (Liter PerMinute)
3. Breath Rate satuan BPM (Beat PerMinute)
4. I : E ratio
5. Peak Inspiratory Pressure satuan cmH_2O
6. Positive End Expiratory Pressure (PEEP) satuan cmH_2O
7. Inspiratory Time satuan detik (second)
8. Expiratory Time satuan detik (second)
9. Peak Expiratory Flow satuan LPM (Liter PerMinute)
10. Peak Inspiratory Flow satuan LPM (Liter PerMinute)

8. Skema Pengujian Ventilator

a. Proses pengukuran

Untuk melakukan pengujian ventilator maka dilakukan dengan metode langsung dengan cara

membandingkan langsung alat rancang bangun uji ventilator dengan alat kalibrator, seperti ada pada Gambar dibawah ini :



Gambar 6. Skema pengujian ventilator

9. Teknik Pengambilan Data

Sumber atau Ventilator dikondisikan dengan mengatur nilai yang akan diberikan ke kalibrator agar bisa dibaca oleh kalibrator dan rancang bangun ventilator dibuat seri setelah output dari kalibrator ventilator (VT Plus HF) dan ke Test Lung. Pilih mode di kalibrator ventilator (VT Plus HF) pada mode STPD₂₁ dan di rancang bangun juga dibuat pada mode STPD₂₁.

ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN

1. Subyek dan Obyek Penelitian

Pada Gambar 7. merupakan Alat Kalibrator Ventilator Analyzer (milik BPFK Jakarta) yang dipakai untuk mengkalibrasi peralatan ventilator yang ada di Rumah Sakit maupun untuk menguji ventilator buatan dalam negeri (uji Produk Ventilator) yang dilakukan di Laboratorium Uji Produk di BPFK Jakarta.



Gambar 7. Ventilator Analyzer

BPFK (Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan) Jakarta memiliki beberapa alat kalibrator ventilator, salah satu nya adalah merk Fluke, model VT Plus HF yang mana alat kalibrator ventilator ini cukup mahal harganya dibandingkan alat ventilatornya sendiri sehingga peneliti berkonsentrasi pada pembuatan alat uji atau rancang bangun uji ventilator yang berbasis arduino.

Seperti pada gambar dibawah, merupakan propotype dari rancang bangun uji ventilator yang sederhana dengan biaya

yang murah.



Gambar 8. Prototype Rancang Bangun Uji Ventilator Tampak Bagian Depan



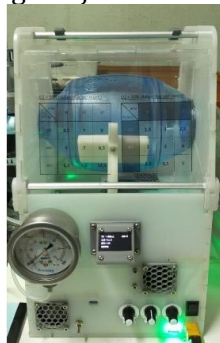
Gambar 9. Prototype Rancang Bangun Uji Ventilator Tampak Bagian Belakang



Gambar 10. Test Lung

2. Sumber atau Suplay Pengujian

Seperti pada Gambar 11. merupakan produk ventilator yang sudah diuji oleh BPFK (Balai Pengamana Fasilitas Kesehatan) Jakarta sehingga bisa dipakai sebagai sumber penelitian uji alat propotype rancang bangun uji ventilator.



Gambar 11. Ventilator Emergency

Yang mana sumber dari ventilator ini dengan pengaturan pada Tidal Volume (TV) 300 mL, 400mL dan 500 mL, Breath Rate nya adalah 10 BPM, 15 BPM dan 20 BPM, sedangkan Ratio I : E nya adalah antara 1 : 1, 1 : 2 dan 1 : 3.

3. Instalasi Pengujian

Proses pengujian dimana sumber atau ventilator (output) di masukkan ke inlet kalibrator ventilator analyzer kemudian outlet (output) nya dimasukkan ke inlet dari propotype rancang bangun uji ventilator kemudian outletnya di pasang Test Lung, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Instalasi uji ventilator

4. Data Hasil Pengukuran

Pada pengukuran ini didapat hasil yang berbeda pada 3 (tiga) unit kalibrator dengan hasil sebagai berikut :

Hasil Pengukuran Rancang Bangun Ventilator Dengan Kalibrator Nomer Seri 213169, 4460034 dan 2939032.

Tabel 1. Tidal Volume

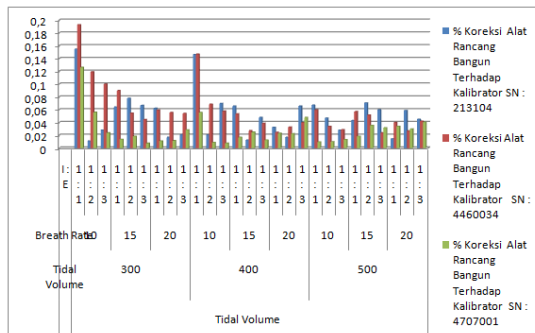
No	Parameter	Setting pada Ventilator		Penunjukan Alat (Rancang Bangun) (SN : 213164)	Penunjukan Alat (Rancang Bangun) (SN : 4460034)	Penunjukan Alat (Rancang Bangun) (SN : 4707091)	Koreksi Alat Rancang Bangun terhadap Kalibrator (SN : 213104)	Koreksi Alat Rancang Bangun terhadap Kalibrator (SN : 4460034)	Koreksi Alat Rancang Bangun terhadap Kalibrator (SN : 4707091)	
		Tidal Volume	Breath Rate I : E							
1	Tidal Volume	300	10	1:1	5,98	5,75	8,69	46,74	59,54	37,07
2				1:2	2,82	2,88	2,69	0,80	18,53	18,09
3				1:3	3,10	2,65	3,61	-5,65	29,96	4,07
4		15	10	1:1	3,14	3,02	2,64	-17,31	27,07	1,96
5				1:2	2,99	2,66	2,60	-22,21	15,31	-3,38
6				1:3	2,63	2,00	2,24	-19,08	12,73	-0,27
7		20	10	1:1	2,82	2,39	1,82	-18,02	18,09	-1,96
8				1:2	2,08	2,27	3,07	-3,43	19,21	0,79
9				1:3	2,38	2,00	1,89	4,49	13,78	7,50
10		400	10	1:1	4,15	3,54	4,52	38,33	19,99	19,55
11				1:2	3,54	3,73	3,54	-4,78	25,19	-2,10
12				1:3	2,90	2,87	2,81	26,53	21,40	0,39
13		15	10	1:1	3,14	2,92	3,48	26,53	21,14	-4,08
14				1:2	2,28	2,40	2,68	-3,93	9,28	-7,90
15				1:3	2,00	2,68	3,12	17,97	13,73	2,22
16		20	10	1:1	2,99	2,13	2,27	11,29	8,69	-7,82
17				1:2	2,34	2,41	2,34	4,80	11,40	7,24
18				1:3	2,82	2,44	2,43	25,40	14,89	18,50
19		500	10	1:1	3,90	4,21	4,82	30,86	27,59	-0,30
20				1:2	2,91	2,87	3,30	20,87	14,72	-1,85
21				1:3	3,89	3,27	3,97	10,87	11,96	-3,42
22		15	10	1:1	3,96	4,00	4,56	18,79	28,79	8,51
23				1:2	2,72	2,98	2,86	34,03	24,25	18,02
24				1:3	2,54	2,71	2,71	29,28	9,70	14,22
25		20	10	1:1	3,82	3,21	3,92	3,82	17,41	-13,88
26				1:2	2,82	2,30	2,79	28,86	12,10	13,30
27				1:3	2,88	2,72	2,18	21,41	19,53	19,61

Tabel 2. Pengolahan Data Tidal Volume (1)

No	Parameter	Setting pada Ventilator			ICM1 Alat Rancang Bangun Dgn Kalibrator Standar SN : 213104		ICM1 Alat Rancang Bangun Dgn Kalibrator Standar SN : 4460034		ICM1 Alat Rancang Bangun Dgn Kalibrator Standar SN : 4707001	
		Tidal Volume	Breath Rate	I : E	Nilai Toleransi ±5% dari Nilai Penunjukkan Kalibrator Standar	Nilai Toleransi ±5% dari Nilai Penunjukkan Kalibrator Standar	Nilai Toleransi ±5% dari Nilai Penunjukkan Kalibrator Standar	Nilai Toleransi ±5% dari Nilai Penunjukkan Kalibrator Standar	Nilai Toleransi ±5% dari Nilai Penunjukkan Kalibrator Standar	Nilai Toleransi ±5% dari Nilai Penunjukkan Kalibrator Standar
1	Tidal Volume	300	10	1 : 1	52,7	51,1	52,7	48,9	43,9	52,3
2					7,8	48,4	32,9	48,9	19,1	50,7
3					9,5	47,7	32,9	48,9	7,7	48,2
4		21,9	48,1	30,1	50,2	4,8	50,3			
5		29,2	48,5	19,1	49,2	8,0	49,0			
6		21,7	48,7	14,7	49,1	2,5	48,2			
7		21,9	50,9	20,4	51,4	3,9	51,4			
8		9,5	49,9	19,1	49,1	1,9	49,7			
9		8,9	49,9	17,9	49,2	9,4	49,4			
10		50,3	50,9	50,9	50,9	2,1	50,9			
11		9,5	50,9	20,2	51,9	3,9	50,9			
12		28,4	51,9	24,1	52,4	3,9	51,9			
13		28,7	51,9	24,1	52,4	7,9	51,9			
14		9,5	51,9	11,7	54,3	10,9	51,9			
15		20,2	52,4	18,4	53,2	8,9	52,7			
16		19,9	52,4	19,9	52,9	9,9	52,9			
17		7,7	52,9	13,9	53,9	9,9	53,9			
18		28,2	54,9	17,9	54,1	20,9	53,9			
19		34,4	54,9	13,9	55,9	4,1	53,9			
20		28,9	55,9	17,9	57,9	4,1	53,9			
21		14,9	57,9	19,9	58,9	7,9	53,9			
22		29,9	58,9	19,9	59,9	9,9	53,9			
23		38,7	58,9	25,9	59,9	10,9	53,9			
24		11,4	59,9	24,9	59,9	10,9	53,9			
25		14,9	59,9	25,9	59,9	19,4	53,9			
26		31,7	60,7	14,9	60,9	10,1	60,7			
27		24,1	60,7	22,9	59,1	21,9	60,7			

Tabel 3. Pengolahan Data Tidal Volume (2)

No	Parameter	Setting pada Ventilator			% Koreksi Alat Rancang Bangun Terhadap Kalibrator SN : 213104		% Koreksi Alat Rancang Bangun Terhadap Kalibrator SN : 4460034		% Koreksi Alat Rancang Bangun Terhadap Kalibrator SN : 4707001	
		Tidal Volume	Breath Rate	I : E						
1	Tidal Volume	300	10	1 : 1	15,5%	10%	13%	10%	13%	
2					1,1%	1,2%	6%	1,1%	6%	
3					2,8%	2,9%	10%	2%	2%	
4		6,4%	6,4%	9%	1%	1%				
5		7,8%	7,8%	4%	2%	2%				
6		8,7%	8,7%	4%	1%	1%				
7		8,9%	8,9%	6%	1%	1%				
8		1,7%	1,7%	6%	1%	1%				
9		2,1%	2,1%	5%	3%	3%				
10		14,6%	14,6%	15%	6%	6%				
11		2,1%	2,1%	7%	1%	1%				
12		7,0%	7,0%	6%	1%	1%				
13		4,6%	4,6%	3%	2%	2%				
14		1,3%	1,3%	3%	3%	3%				
15		3,2%	3,2%	4%	1%	1%				
16		1,3%	1,3%	2%	2%	2%				
17		1,7%	1,7%	3%	2%	2%				
18		0,6%	0,6%	4%	5%	5%				
19		0,9%	0,9%	6%	1%	1%				
20		4,7%	4,7%	3%	1%	1%				
21		2,8%	2,8%	3%	1%	1%				
22		4,5%	4,5%	6%	2%	2%				
23		7,1%	7,1%	5%	4%	4%				
24		6,0%	6,0%	2%	3%	3%				
25		1,5%	1,5%	4%	3%	3%				
26		5,9%	5,9%	3%	3%	3%				
27		4,5%	4,5%	4%	4%	4%				



Grafik 1. Persentase Tidal Volume

Tabel 2. Hasil data (mandatory MK Fasyankes 2018)

Dengan merujuk ke MK Fasyankes [14] bahwa perhitungan nilai batas koreksi adalah $|C+U| \leq 15\%$ dari nilai penunjukkan pada kalibrator standard, dimana :

C adalah nilai koreksi alat rancang bangun terhadap kalibrator standard

U adalah standar deviasi dari alat rancang bangun uji ventilator

Dari Tabel 1, 2 dan 3. dan Grafik 1.

terlihat persentase yang terbesar terjadi pada pengaturan Tidal Volume (TV) 300 mL, Breath Rate (RR) 10 dan I : E ratio 1 : 1 yaitu : 15,5% terhadap Kalibrator Standard SN : 213104 dan 19% terhadap Kalibrator Standard SN : 4460034.

4.1. Pembahasan Hasil Data Berdasarkan Mandatory Rapidly Manufactured Ventilator System (RMVS).

Analisa Data Berdasarkan Mandatory Rapidly Manufactured Ventilator System (RMVS) [15], dengan pengaturan Tidal Volume (TV) 400 mL, Breath Rate (RR) 15 BPM dan I : E Ratio 1 : 2 adalah untuk persentase Tidal Volume (TV) sebesar 2,7%, persentase Minute Volume (MV) sebesar 2,9%, persentase Breath Rate (RR) sebesar 1,2%, persentase I : E Ratio sebesar 2,3%, persentase Inspiratory Time (Ti) sebesar 3,9%, persentase Expiratory Time (Te) sebesar 3,1%, persentase Peak Inspiratory Pressure (PIP) sebesar 13,2%, persentase Positive End Expiratory Pressure (PEEP) sebesar 84,3%, persentase Peak Inspiratory Flow (PIF) sebesar 5,3% dan persentase Peak Expiratory Flow (PEF) sebesar 11,4%.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari pembahasan dan dari hasil pengukuran yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Alat Rancang Bangun Ventilator yang dibuat sudah sesuai dengan desain baik dari segi hardware atau software dengan modul Arduino yang mudah di buat programnya.
2. Nilai presentase semua parameter hanya di Peak End Expiratory Pressure yang sangat besar melebihi nilai standar [13], yaitu rata-rata 84,3% sehingga dapat disimpulkan bahwa alat rancang bangun ventilator sudah 90% memenuhi standar yang telah ditetapkan

2. Saran

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan maka dapat ditarik saran sebagai berikut :

1. Perlu adanya perbaikan pada alat (baik di hardware atau software/program)

- agar parameter Peak End Expiratory Pressure (PEEP) bisa mencapai nilai yang di persyaratkan.
2. Perlu dicoba penggantian pada sensor baik sensor tekanan atau sensor aliran udara yang memiliki tekanan yang lebih kecil dari 10 kPa, agar hasilnya lebih baik terutama pada pembacaan Peak End Expiratory Pressure (PEEP)
 3. Semoga dengan terciptanya alat uji Ventilator yang berbasis Arduino ini dapat dikembangkan dan diproduksi oleh pengembang atau pengusaha sama halnya dengan produksi Ventilator Emergency buatan dalam negeri dapat diwujudkan karena peralatan kalibrator seperti kalibrator Ventilator harganya sangat mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- Dian Puspita, Muhammad Fadli (2020). *Penggunaan Ventilasi Mekanik pada Gagal Jantung Akut. Jurnal Kesehatan Andalas*, hlm. 1.
- Raymond Khan MD, Hasan M. Al-Dorzi MD, Khalid Al-Attas MD, Faisal Wali Ahmed MBBS, Abdellatif M. Marini RN, MSc, CPHQ, Shihab Mundekkan RN, CCRC, Hanan H. Balkhy MD, Joseph Tannous BS, CBIC, Adel Almesnad BSRC, RRT, Dianne Mannion RN, Hani M. Tamim MPH, PhD, Yaseen M. Arabi MD, FCCP, FCCM (2016). *The impact of implementing multifaceted interventions on the prevention of ventilator-associated pneumonia*, hlm. 2.
- Arthur S. Slutsky, M.D. (2015). *History of Mechanical Ventilation: From Vesalius to Ventilator-Induced Lung Injury*. Article, hlm. 4.
- American Medical Association (2020). COVID-19—New Insights on a Rapidly Changing Epidemic. Volume 323, Number 14, hlm. 1.
- G-01 KAN *Guide On The Evaluation And Expression Of Uncertainty In Measurement* (2016), number 4.
- Afnida Selvia Gultom (2019). *Rancang Bangun Alat Ukur Volume Paru Dengan Menggunakan Sensor Tekanan Untuk Mengenali Kelainan Paru-Paru*. Skripsi Universitas Sumatera Utara-Departemen Fisika.
- Purwowibowo, Ninuk Ragil Prasati (2017), *Desain Akselerometer Menggunakan Mikrokontroler Arduino Due*. Jurnal Puslit Metrologi LIPI, Kompleks Puspitek Serpong, Tangerang, Banten.
- ISO 80601-1-2-12, second edition 2020-02. *Particular requirement for basic safety and essential performance of critical care ventilators*. Part 2-12.
- Carlos L. Alviar, MD, P. Elliott Miller, MD, Dorothea McAreavey, MD, ...David A. Morrow, MD, MPH, for the ACC Critical Care Cardiology Working Group (2018). *Positive Pressure Ventilation In The Cardiac Intensive Care Unit*. Journal Of The American College Of Cardiology.
- Freescale (2011). *Ventilator/Respirator Hardware and Software Design Specification*, Rev. 0. Page 14.
- Yuan Lei. *Medical Ventilator System Basics, A Clinical Guide*, Basic Concepts-Chapter 2
- Operator Manual (2005), Gas Flow Analyzer VT Plus HF, Fluke Corporation in USA.
- Metode Kerja Pengujian dan atau Kalibrasi Alat Kesehatan oleh Kementerian Kesehatan bidang Fasilitas Pelayanan Kesehatan (2018), hlm 335.