

## Prototipe Powered Emergency Resuscitator Berbasis Bag Valve Mask

Ghandy<sup>a</sup>, Jayandi Panggabean<sup>b</sup>, Virginia Lalujan<sup>c</sup>, Maria Anindita Nauli<sup>d</sup>, Sanga Lawalata<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Prodi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Institut Teknologi Calvin, ghandy.salim@calvin.ac.id

<sup>b</sup>Prodi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Institut Teknologi Calvin, jayandi.panggabean@calvin.ac.id

<sup>c</sup>Prodi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Institut Teknologi Calvin, virginia.lalujan @calvin.ac.id

<sup>d</sup>Prodi Teknik Kimia, Fakultas Sains dan Teknik, Institut Teknologi Calvin, maria.anindita @calvin.ac.id

<sup>e</sup>Prodi Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknik, Institut Teknologi Calvin, sanga.lawalata @calvin.ac.id

Submitted: 02-08-2024, Reviewed: 15-08-2024, Accepted 18-10-2024

<https://doi.org/10.47233/jteksis.v6i4.1587>

### Abstract

The COVID-19 pandemic proves that healthcare capacity and equipment are not sufficient to handle a pandemic, especially the availability of ventilators. Composed of more than 17.500 islands, 6.000 of which are inhabited, Indonesia's demographic varies widely from one area to another. Health infrastructure in many areas is minimal, with many having no hospitals but clinics with limited resources/funds and minimally-trained healthcare professionals. The need for domestically produced ventilators is clear. But not only that, there is a need to produce simpler/more economical ventilators that are affordable and simpler to operate. This paper will discuss the requirements and examples of emergency resuscitator designs developed based on MIT's Open Design as an alternative respiratory aid expected to be used during a pandemic when the demand for respiratory devices drastically increases, or in remote areas that require more affordable respiratory aids. The method used in the development of this prototype is the Waterfall method, which is divided into 5 stages: requirements analysis, system design, implementation, testing, and documentation. The developed prototype successfully meets twenty requirements obtained from the Health Facility Security Agency (BPFK) Jakarta and is in the final development stage before product testing at BPFK Jakarta.

**Keywords:** Economical Ventilator, Powered Emergency Ventilator

### Abstrak

Pandemi COVID-19 membuktikan bahwa kapasitas dan peralatan kesehatan tidak cukup untuk menangani pandemi, terutama ketersediaan ventilator. Terdiri dari lebih dari 17.500 pulau, 6.000 di antaranya berpenghuni, demografi Indonesia sangat bervariasi dari satu daerah ke daerah lain. Infrastruktur kesehatan di banyak daerah sangat minim, dengan banyak yang tidak memiliki rumah sakit hanya klinik dengan sumber daya/dana yang terbatas dan profesional perawatan kesehatan yang minim pelatihan. Kebutuhan ventilator produksi dalam negeri sudah jelas. Namun tidak hanya itu, ada kebutuhan untuk memproduksi ventilator yang lebih sederhana/ekonomis yang terjangkau dan lebih mudah dioperasikan. Makalah ini akan membahas persyaratan dan contoh desain resusitator darurat yang dikembangkan berdasarkan Desain Terbuka MIT sebagai alternatif alat bantu pernafasan yang diharapkan dapat digunakan pada saat pandemi, apabila kebutuhan alat pernafasan meningkat drastis atau di daerah terpencil yang membutuhkan alat bantu pernafasan yang lebih terjangkau. Metode yang digunakan dalam pengembangan prototipe ini adalah metode *Waterfall* yang dibagi menjadi 5 tahap, yaitu analisis persyaratan, perancangan sistem, implementasi, pengujian dan dokumentasi. Prototipe yang dikembangkan berhasil memenuhi dua puluh persyaratan yang didapatkan dari Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Jakarta dan berada dalam tahap pengembangan terakhir sebelum uji produk di BPFK Jakarta.

**Keywords:** Ventilator Ekonomis, Resusitator otomatis

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license



### PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 membuktikan bahwa kapasitas dan peralatan kesehatan tidak cukup untuk menangani pandemi. Untuk negara dengan lebih dari 267 juta penduduk, 6 bulan sejak COVID-19 menyerang, Indonesia hanya memiliki 5.635 tempat tidur untuk pasien COVID-19 secara nasional, di mana 483 di antaranya adalah tempat tidur ICU dengan ventilator dan 364 tempat tidur ICU tanpa ventilator [5]. Terdiri dari lebih 17.500 pulau, 6.000 di antaranya berpenghuni, demografis Indonesia sangat bervariasi dari satu daerah ke daerah lain [10]. Infrastruktur kesehatan di banyak daerah sangat minim, dengan banyak yang tidak memiliki

rumah sakit tetapi klinik dengan sumber daya/dana yang terbatas dan profesional perawatan kesehatan yang minim pelatihan [6]. Kebutuhan ventilator produksi dalam negeri sudah jelas.

Kemampuan negara untuk memproduksi ventilator sendiri akan sangat penting. Indonesia merupakan negara berkembang dengan PDB per kapita 2019, USD 4.160 [7]. Di negara-negara yang lebih maju, harga ventilator cukup ringan (sebelum pandemi) rata-rata USD 25.000, dan sejak mulai pandemi, harga melonjak sampai USD 55.000 [8]. Jadi harga ventilator 5 sampai 10 kali lipat dari rata-

rata PDB per kapita 2019, sehingga mahal bagi banyak rumah sakit Indonesia.

Salah satu jenis ventilator yang banyak dibutuhkan adalah ventilator dasar atau disebut dengan resusitator. Institut Teknologi Calvin, dalam upaya mengembangkan ventilator dalam negeri, melakukan pengembangan secara bertahap. Pengembangan dimulai dari mengembangkan prototipe resusitasi darurat otomatis berdaya rendah (powered emergency resuscitator), yang dilakukan selama pandemi Covid-19 menggunakan komponen elektronik di Indonesia. Dalam keadaan dimana intervensi medis yang efektif pada pasien COVID-19 tidak memungkinkan pada saat pandemi, ventilasi mekanis suportif selama beberapa hari hingga beberapa minggu merupakan pengobatan utama untuk pasien-pasien yang kesulitan bernafas [4].

Resusitator yang dikembangkan ini merupakan ventilator darurat berbasis *bag valve mask* yang dibuat dalam rangka memenuhi kebutuhan alat bantu pernapasan darurat selama masa pandemi COVID-19. *Bag valve mask* (BVM) adalah alat medis yang digunakan untuk memberikan ventilasi buatan kepada pasien yang tidak dapat bernapas. BVM terdiri dari kantong elastis, masker wajah, dan katup satu arah yang mengalirkan udara ke paru-paru pasien saat kantong ditekan. BVM sering digunakan dalam situasi darurat, seperti di ruang gawat darurat atau saat menangani kondisi henti napas. Desain BVM memungkinkan satu orang untuk memberikan bantuan pernapasan kepada pasien sambil menjaga saluran napas tetap terbuka. Tekanan yang diterapkan pada kantong BVM dapat menyediakan dorongan aliran udara yang cukup untuk memenuhi kebutuhan oksigen pasien. Resusitator darurat yang dikembangkan dalam penelitian ini dilakukan dengan adaptasi terhadap desain open source dari Massachusetts Institute of Technology atau MIT (MIT Design) yang juga menggunakan BVM[9]. Kelebihan dari resusitator yang dikembangkan terletak pada desainnya yang sederhana, biaya yang terjangkau, portabilitas, dan kemampuan untuk beroperasi menggunakan daya baterai atau listrik. Sistem yang dikembangkan memiliki mekanisme kontrol yang mudah dengan sedikit tombol untuk mengatur variabel. Oleh karena itu, sistem ini dapat digunakan dengan mudah untuk membantu pasien bernafas tanpa memerlukan pelatihan khusus untuk mengoperasikan perangkat tersebut [3].

Tujuan dibuatnya alat ini adalah untuk meringankan beban tenaga kesehatan, yang pada umumnya harus menggunakan tangan untuk menekan kantong resusitasi *bag valve mask* pada keadaan darurat. Alat ini diharapkan dapat mendistribusikan udara pernapasan dengan lebih akurat dibandingkan dengan kerja tangan manual

pada volume tidal, rasio I:E, dan laju pernapasan yang diharapkan. Alat ini bekerja secara elektromekanis menggunakan tenaga listrik untuk menggerakkan bagian mekanik yang menekan *bag valve mask*. Keterbaruan dari resusitator darurat ini terletak pada desain mekanik yang dikembangkan lebih lanjut dari MIT Design. Komponen elektronik yang dipilih juga berbeda dari MIT Design dan merupakan komponen-komponen yang tersedia di Indonesia, sehingga memungkinkan produksi massal di dalam negeri yang bisa sangat diperlukan dalam kondisi darurat seperti pandemi COVID-19. Perangkat lunak dan antarmuka pengguna didesain sendiri oleh tim peneliti dengan memperhatikan semua persyaratan resusitator darurat yang didapatkan dari Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Jakarta.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam pengembangan prototipe ini adalah metode *Waterfall* yang dibagi menjadi 5 tahap, yaitu analisis persyaratan, perancangan sistem, implementasi, pengujian dan dokumentasi [1].

Persyaratan-persyaratan sebuah resusitator darurat dikumpulkan melalui rangkaian bimbingan teknis di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Jakarta. Pada langkah selanjutnya, perancangan resusitator dilakukan. Rancangan ini terdiri dari bagian mekanik, pneumatik, elektronik dan perangkat lunak. Setelah implementasi, pengujian alat dilakukan untuk memastikan performa resusitator dapat memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah dikumpulkan.

Persyaratan-persyaratan *powered emergency resuscitator* yang dikembangkan disesuaikan dengan persyaratan yang diberikan oleh Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Jakarta. Adapun persyaratan pada pengujian di BPFK adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan Resusitator Darurat

No	Persyaratan
1	Memiliki minimal salah satu moda ventilasi wajib dari antara pilihan-pilihan berikut ini: (a). BIPAP, (b). Pressure Support, (c). Volume Control
2	Memiliki minimal satu pengaturan waktu inspirasi dan ekspirasi (rasio I:E): a) 1:2 (wajib) b) 1:1 (tambahan) c) 1:3 (tambahan) d) 1:4 (tambahan)
3	Memiliki pengaturan frekuensi nafas dalam satu menit pada rentang 10-30 BPM
4	Memiliki volume tidal: 350-450 ml dengan kelipatan 50 ml
5	Alat mampu menyampaikan udara dengan FiO <sub>2</sub> minimal 21%
6	Tekanan jalan napas tidak pernah berada di bawah 10 cmH <sub>2</sub> O pada saat sebuah moda ventilasi telah dijalankan

No	Persyaratan
7	Alarm mulai berbunyi maksimal setelah 3 detik setelah penyebabnya diketahui
8	Alat memiliki klep pelepas tekanan 40 cmH <sub>2</sub> O
9	Alat memiliki klep pengaman mekanis 60 cmH <sub>2</sub> O
10	Memiliki kestabilan alat dengan <i>relative standard deviation</i> (RSD) maksimal 2%
11	Terdapat tampilan tekanan puncak jalan napas aktual
	Terdapat tampilan satuan pengukuran dengan ketentuan:
12	a) volume tidal: ml b) laju pernapasan: bpm c) PEEP: cmH <sub>2</sub> O d) Tekanan jalan napas inspirasi: cmH <sub>2</sub> O
13	Terdapat pengaturan volume tidal, laju pernapasan dan rasio I:E
14	Terdapat filter bakteri pada jalur inspirasi dan jalur ekspirasi
15	Tanda pada alat hanya dapat dilepas dengan menggunakan alat bantu dan tidak melemah atau bergulung pada ujungnya.
16	Terdapat penandaan pada alat yang terdiri dari merek, model atau tipe, nomor seri
17	Memiliki koneksi sirkuit pernapasan pasien dengan konektor standar yang berlaku dan sesuai dengan standar medis
18	Seluruh bahan yang digunakan untuk pembuatan alat tidak boleh mengandung bahan PVC (polyvinyl chloride) dan lateks
19	Tidak ada permukaan yang kasar serta sudut atau ujung yang tajam pada selungkup alat
20	Baterai dapat digunakan lebih dari 2 jam
	Terdapat alarm yang handal, serta melaporkan:
21	a) kegagalan pasokan listrik b) kegagalan pasokan gas c) Tekanan jalan napas inspirasi berlebih d) Tekanan jalan napas tidak tercapai atau selang ke pasien terbuka

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memberikan kesimpulan mengenai hasil penelitian dan menampilkan persyaratan-persyaratan BPFK yang telah dipenuhi oleh resusitator yang telah dikembangkan. Tim Peneliti resusitator telah mengikuti sejumlah bimbingan teknis di BPFK serta memperbaiki resusitator sesuai dengan saran-saran yang didapatkan dari BPFK.

Luaran dari penelitian ini adalah sebuah prototipe resusitator darurat yang memiliki moda ventilasi Volume-controlled Continuous Mandatory Ventilation (VC-CMV) serta memenuhi hampir semua persyaratan yang diberikan oleh BPFK. Gambar 1 menunjukkan prototipe yang telah dikembangkan.

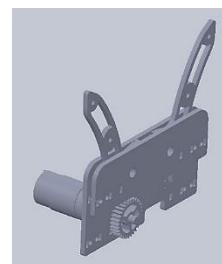


Gambar 1. Prototipe resusitator darurat dengan moda ventilasi VC-CMV

### 3.1. Desain Mekanik

Bagian mekanik merupakan bagian yang berfungsi sebagai pengganti tangan manusia yang bekerja menekan *bag valve mask*. Bagian mekanik menggunakan dua jenis material yaitu logam dan akrilik. Material logam digunakan sebagai kerangka utama dari bagian mekanik dan akrilik digunakan sebagai bagian lengan tambahan yang menekan *bag valve mask*.

Gambar 2 menunjukkan desain 3 dimensi dari sistem mekanik prototipe. Untuk menggerakkan bagian lengan, sebuah motor listrik dihubungkan ke bagian mekanik dengan mekanisme roda gigi agar dapat membuat bagian lengan memiliki kemampuan menekan *bag valve mask*.



Gambar 2. Desain 3D mekanik bag valve mask

Gambar 3 merupakan realisasi dari sistem mekanik sesuai desain. Pada bagian lengan, dapat terlihat adanya beberapa material akrilik yang ditumpuk agar luas penampang *bag valve mask* yang ditekan lebih besar dan volume udara yang diberikan dapat mencapai minimal 450 ml.



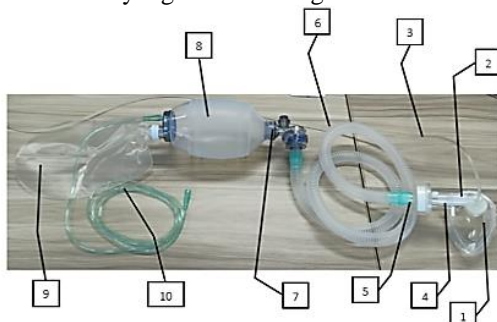
Gambar 3. Mekanik penekan bag valve mask

### 3.2. Desain Pneumatik

Bagian pneumatik merupakan bagian yang berfungsi sebagai penampungan dan penyalur udara ke pasien. Bagian pneumatik dari prototipe yang dikembangkan ini menggunakan sistem kantong resusitasi manual yang dapat memberikan rentang volume tidal yang tepat melalui kompresi manual yang sederhana serta tidak memerlukan sumber gas tertekan dari luar [2].

Desain pneumatik prototipe ini dapat dilihat pada Gambar 4. Bagian pneumatik terdiri atas 1 (satu) set *bag valve mask* yang sudah dilengkapi dengan kantong penampungan, selang gas oksigen, dan penghubung berupa *elbow* dengan safety relief valve 60 cm H<sub>2</sub>O. *Bag valve mask* kemudian dihubungkan dengan selang pernapasan tipe *single circuit*, filter *Heat and Moisture Exchanger (HME)*, dan masker.

Pada bagian di antara filter HME dengan masker, terdapat sebuah penghubung berupa penghubung lurus (*straight adaptor*) dan *elbow* yang dilengkapi dengan sensor port. Sensor port ini dihubungkan dengan sebuah selang menuju ke sensor tekanan yang berada di bagian elektronik.



Gambar 4. Desain pneumatik prototipe

Tabel 2. Penjelasan komponen pneumatik prototipe

No	Keterangan
1	Masker
2	<i>Elbow</i> dengan port sensor
3	Selang sensor tekanan
4	<i>Straight adaptor</i>

No	Keterangan
5	Filter HME
6	Selang pernapasan
7	<i>Elbow</i> dengan <i>safety relief valve</i> 60 cmH <sub>2</sub> O
8	<i>Bag valve mask</i>
9	Kantong penampungan
10	Selang gas oksigen

### 3.3. Desain Elektronik

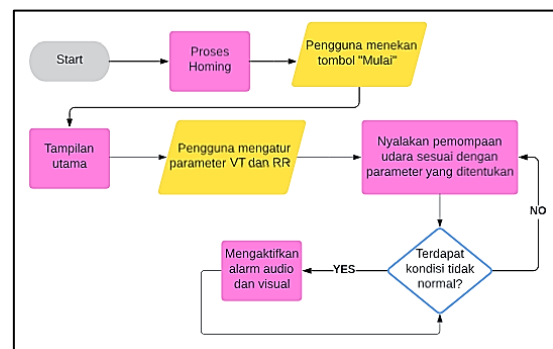
Desain elektronik resusitator ini menggunakan komponen-komponen elektronik yang bisa didapatkan di dalam negeri, sehingga memiliki nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) yang tinggi. Tabel 3 memberikan informasi mengenai spesifikasi elektronik utama dalam resusitator ini.

Tabel 3. Spesifikasi Elektronik

No	Nama Bagian	Keterangan
1	Input daya	100-240 VAC, 50/60 Hz
2	Kapasitas sekering	250V/ 5.0A
3	Konsumsi daya	36 W
4	Baterai internal	12VDC/(2x7.5Ah) 2 jam operasi normal 2 jam waktu pengisian Dapat diganti setelah 1000 kali pemakaian
5	Antarmuka Pengguna	3.5" LCD (Resolusi 320x480 berwarna)
6	Grounding	Terintegrasi dengan grounding catu daya dan rangka
7	Mikrokontroler	Arduino Mega 2560 Robodyn
8	Motor	12VDC, Planetary Gear, 300kgf, 34 RPM dengan Encoder
9	Buzzer	Analog, Multi frekuensi, 5VDC
10	Sensor tekanan udara	MPX5010DP, 5VDC, Analog Data

### 3.4. Desain Perangkat Lunak dan Antarmuka Pengguna

Desain perangkat lunak resusitator darurat otomatis yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 5.



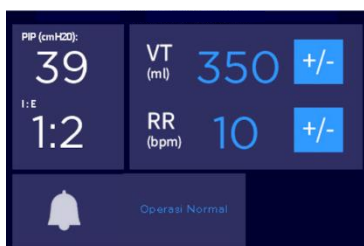
Gambar 5. Diagram alir perangkat lunak resusitator darurat



Setelah sistem dinyalakan, sistem menampilkan “Halaman Pertama” dan melakukan proses “homing”. Di dalam proses “homing”, resusitator akan menggerakkan posisi lengan ke sebuah posisi yang sudah ditentukan sebelumnya (posisi default) dan siap untuk diletakkan *bag valve mask* di atasnya. Setelah proses “homing” selesai, pengguna dapat menekan tombol “Mulai” untuk menampilkan halaman utama dari resusitator ini.



Gambar 6. Halaman Pertama

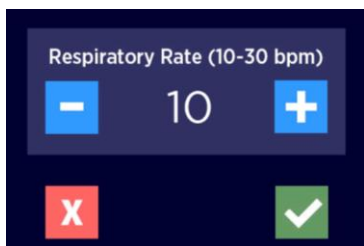


Gambar 7. Halaman Utama

Pada halaman utama, pengguna dapat mengatur Volume Tidal (VT) dan Respiratory Rate (RR). Halaman pengaturan yang sesuai kemudian akan ditampilkan.



Gambar 8. Halaman pengaturan Volume Tidal



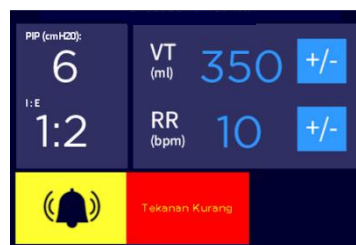
Gambar 9. Halaman pengaturan Respiratory Rate

Setelah pengaturan VT atau RR, perangkat lunak akan kembali menampilkan halaman utama. Jika terjadi kondisi yang tidak normal alarm akan berbunyi dan gambar lonceng pada layar sentuh

akan berubah menjadi warna kuning dengan keterangan alarm berubah menjadi warna merah.



Gambar 10. Kondisi pada saat listrik padam,



Gambar 11. Kondisi pada saat tekanan kurang



Gambar 12. Kondisi pada saat tekanan lebih

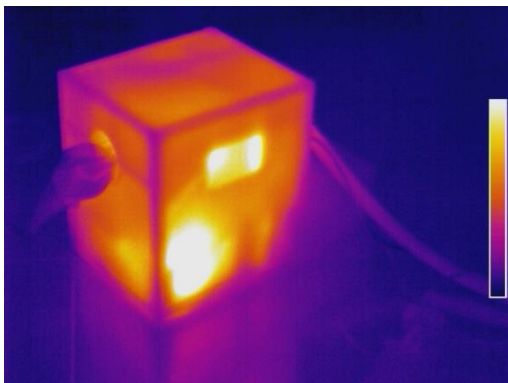
### 3.5. Pengujian Ketahanan

Pengujian ketahanan dilakukan dengan menjalankan resusitator selama 14 hari berturut-turut. Pada saat ini, performa resusitator harus dipastikan masih berada di dalam batas toleransi yang diperbolehkan oleh BPFK. Hasil analisa performa akan dibahas pada subbab ini.

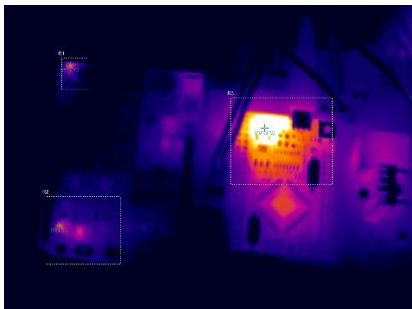
Elemen penting lainnya pada saat pengujian ketahanan adalah pengukuran suhu resusitator. Pengukuran suhu resusitator sangat penting dilakukan untuk melihat ketahanan komponen-komponen elektronik, pneumatik, dan selang di dalam resusitator. Apabila terdapat performa yang diluar batas toleransi, Peneliti perlu memperhatikan suhu resusitator atau suhu komponen-komponen pada saat itu. Suhu yang sangat tinggi dapat mempengaruhi kinerja komponen-komponen elektronik, seperti mikrokontroler atau bahkan merusak komponen-komponen ini. Di dalam penelitian ini, pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan termografi inframerah.



Gambar 13. Resusitator yang sedang menjalankan uji ketahanan



Gambar 14. Pengukuran suhu pada resusitator yang sedang menjalankan uji ketahanan



Gambar 15. Pengukuran suhu komponen pada resusitator yang sedang menjalankan uji ketahanan

Tabel 4 menunjukkan persyaratan-persyaratan yang diberikan oleh BPFK serta informasi mengenai persyaratan-persyaratan yang telah berhasil dipenuhi oleh resusitator otomatis yang dikembangkan.

Tabel 4. Kesesuaian dengan persyaratan dari BPFK

No	Persyaratan	Prototipe
1	Memiliki minimal salah satu moda ventilasi wajib dari antara pilihan-pilihan berikut ini: (a). BIPAP, (b). Pressure Support, (c). Volume Control	Sudah memenuhi
2	Memiliki minimal satu pengaturan waktu inspirasi dan ekspirasi (rasio I:E): e) 1:2 (wajib) f) 1:1 (tambahan) g) 1:3 (tambahan) h) 1:4 (tambahan)	Sudah memenuhi

No	Persyaratan	Prototipe
3	Memiliki pengaturan frekuensi nafas dalam satu menit pada rentang 10-30 BPM	Sudah memenuhi
4	Memiliki volume tidal: 350-450 ml dengan kelipatan 50 ml	Sudah memenuhi
5	Alat mampu menyampaikan udara dengan FiO <sub>2</sub> minimal 21%	Sudah memenuhi
6	Tekanan jalan napas tidak pernah berada di bawah 10 cmH <sub>2</sub> O pada saat sebuah moda ventilasi telah dijalankan	Sudah memenuhi
7	Alarm mulai berbunyi maksimal setelah 3 detik setelah penyebabnya diketahui	Sudah memenuhi
8	Alat memiliki klep pelepas tekanan 40 cmH <sub>2</sub> O	Sudah memenuhi
9	Alat memiliki klep pengaman mekanis 60 cmH <sub>2</sub> O	Sudah memenuhi
10	Memiliki kestabilan alat dengan <i>relative standard deviation</i> (RSD) maksimal 2%	Tidak memenuhi
11	Terdapat tampilan tekanan puncak jalan napas aktual	Sudah memenuhi
12	Terdapat tampilan satuan pengukuran dengan ketentuan: e) volume tidal: ml f) laju pernapasan: bpm g) PEEP: cmH <sub>2</sub> O h) Tekanan jalan napas inspirasi: cmH <sub>2</sub> O	Sudah memenuhi
13	Terdapat pengaturan volume tidal, laju pernapasan dan rasio I:E	Sudah memenuhi
14	Terdapat filter bakteri pada jalur inspirasi dan jalur ekspirasi	Sudah memenuhi
15	Tanda pada alat hanya dapat dilepas dengan menggunakan alat bantu dan tidak melemah atau bergulung pada ujungnya.	Sudah memenuhi
16	Terdapat penandaan pada alat yang terdiri dari merek, model atau tipe, nomor seri	Sudah memenuhi
17	Memiliki koneksi sirkuit pernapasan pasien dengan konektor standar yang berlaku dan sesuai dengan standar medis	Sudah memenuhi
18	Seluruh bahan yang digunakan untuk pembuatan alat tidak boleh mengandung bahan PVC (polyvinyl chloride) dan lateks	Sudah memenuhi
19	Tidak ada permukaan yang kasar serta sudut atau ujung yang tajam pada selungkup alat	Sudah memenuhi
20	Baterai dapat digunakan lebih dari 2 jam	Sudah memenuhi
21	Terdapat alarm yang handal, serta melaporkan: e) kegagalan pasokan listrik f) kegagalan pasokan gas g) Tekanan jalan napas inspirasi berlebih h) Tekanan jalan napas tidak tercapai atau selang ke pasien terbuka	Sudah memenuhi

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa prototipe yang dikembangkan sudah memenuhi semua persyaratan yang diberikan oleh BPFK, kecuali 1 persyaratan, yaitu “Memiliki kestabilan alat dengan *relative standard deviation* (RSD) 2%”.

Kesulitan pemenuhan persyaratan “Memiliki kestabilan alat dengan *relative standard deviation* (RSD) 2%” disebabkan oleh putaran motor yang

kurang stabil serta posisi *bag valve mask* yang bisa berubah sedikit setelah ditekan.

## SIMPULAN

Desain resusitator yang ada dapat memenuhi hampir semua persyaratan yang diberikan oleh BPFK. Pemenuhan syarat kestabilan alat dengan relative standard deviation (RSD) 2% belum dapat dicapai dan merupakan tantangan terbesar yang dihadapi dalam pengembangan prototipe ini.

Desain resusitator yang ada pada saat ini hanya dapat memberikan udara dengan kadar oksigen 21%. Oleh karena itu prototipe perlu dikembangkan lebih lanjut, agar dapat memberikan kadar oksigen yang lebih tinggi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan sejak awal hingga terselesaikannya artikel ini. Secara khusus, saya ucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Calvin yang telah memberikan dana untuk penerbitan artikel ini serta menjadi lembaga afiliasi saya sebagai penulis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayat, T., Akbar, M. and Mursalim, 2024. Perancangan Prototype Alat Penjemur Pakaian Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega 328. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*. Available at: <https://jurnal.unidha.ac.id/index.php/jteksis/article/view/1333/811> [Accessed 2 August 2024].
- [2] Vasani, A., Weekes, R., Connacher, W., & Acute Ventilation Rapid Response Taskforce (AVERT), 2020. MADVent: A low-cost ventilator for patients with COVID-19. *Medical Devices & Sensors*, 3, e10106. <https://doi.org/10.1002/mds3.10106>
- [3] Kumar, M., Kumar, R., Kumar, V., Chander, A., Gupta, V., & Sahani, A. K., 2021. A low-cost ambu-bag based ventilator for COVID-19 pandemic. In *2021 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)* (pp. 1-5). Berlin, Germany. <https://doi.org/10.1109/BioCAS49922.2021.9644985>
- [4] Cole, J. H., Hughey, S. B., Rector, C. H., & Booth, G. J., 2020. A novel low-cost ventilator for use in a worldwide pandemic: The Portsmouth ventilator. *Critical Care Explorations*, 2(12), e0292. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000292>
- [5] Pratama, A.W., et al., 2021. Healthcare System Capacity and Demand for COVID-19: Evidence from Indonesia. *Global Health Action*. Available at: <https://doi.org/10.1080/16549716.2021.1882286> [Accessed 2 August 2024].
- [6] Hidayat, R.A., et al., 2021. Health System Preparedness and Response to COVID-19 in Indonesia: An Overview. *Asia Pacific Journal of Public Health*. Available at: <https://doi.org/10.1177/10105395211023560> [Accessed 2 August 2024].
- [7] Ahmed, M.F., et al., 2021. Economic Growth and GDP Per Capita in Developing vs. Developed Countries: A

Comparative Analysis. *Journal of Economic Perspectives*, 35(4), pp.37-58. Available at: <https://doi.org/10.1257/jep.35.4.37> [Accessed 2 August 2024].

- [8] Thompson, L.M., et al., 2022. Economic Evaluation of Ventilator Use in Critical Care: Costs and Implications. *Health Economics Review*, 12(1), pp.10. Available at: <https://doi.org/10.1186/s13561-022-00303-4> [Accessed 2 August 2024].
- [9] Al-Husseini, A.M., Lee, H.J., Negrete, J., Powelson, S., Servi, A., Slocum, A. & Saukkonen, J., 2010. Design and Prototyping of a Low-cost Portable Mechanical. In: *Proceedings of the 2010 Design of Medical Devices Conference*. Minneapolis, 2010.
- [10] Rahardjo, T.Y., et al., 2021. Urban Development and Housing Policy in Indonesia: Challenges and Opportunities. *Urban Studies*, 58(7), pp.1302-1320. Available at: <https://doi.org/10.1177/00420980211018400> [Accessed 2 August 2024].