

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI VENTILATOR FRIENDLY SEBAGAI ALAT BANTU PERNAPASAN

Hidayat¹, Iman Satria², Arnita³, Seflahir Dinata⁴

^{1,2,3}Universitas Bung Hatta
^{1,2,3}Padang, 25135, Indonesia
⁴Universitas Pamulang
⁴Tangerang Selatan, 15310 Indonesia

¹hidayat@bunghatta.ac.id
²imansatria@bunghatta.ac.id
³arnita@bunghatta.ac.id
⁴dosen01138@unpam.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 04-02-2022
revisi : 01-06-2022
diterima : 26-06-2022
dipublish : 29-06-2022

ABSTRAK

Pandemi Covid-19 yang melanda dunia menyebabkan kurangnya ketersediaan ventilator alat bantu pernapasan. Makalah ini menyajikan perancangan, dan implementasi ventilator yang ramah, disebut *Ventilator Friendly*. Ventilator yang dikembangkan tipe ventilasi tekanan positif yaitu *Controlled Mechanical Ventilation* (CMV) dan *Cycled Volume Mode* (CVM) dengan konstruksi *simple* dan bersahabat. Pemantauan dan pengoperasiannya dapat dilakukan melalui *remote*, sehingga menghindarkan kontak langsung dengan pasien. Pemanfaatan teknologi *ambu bag* dengan cara mengatur besaran dan siklus tekanan. Perancangan dan implementasi meliputi sistem mekanis penekan *ambu bags* dan sistem kontrol berbasis arduino. Parameter dapat dikontrol secara *remote* atau mode layar sentuh. Hal ini bertujuan untuk memberi kemudahan dan mengurangi resiko penularan Covid-19 pada tenaga medis. Dari hasil penelitian diketahui bahwa nilai aktual yang tampil pada layar sama dengan nilai yang di-*setting*. Dimana nilai *setting* mempunyai nilai BPM 5-20, IER dari 1:1 hingga 1:4 serta persentase TV 40-100%. Sehingga dapat dikatakan bahwa alat ventilator friendly ini dapat bekerja dengan baik.

Kata kunci : ventilator; friendly; ambu bag; remote

ABSTRACT

Construction and Implementation Ventilator Friendly as A Breathing Apparatus. The Covid-19 pandemic that has swept the world. This causes the lack of availability of ventilators for breathing apparatus. This paper presents the design and implementation of a friendly ventilator. It is developed the positive pressure ventilation, the CMV and CVM with a simple and friendly construction. Monitoring and operation can be done remotely, thus avoiding direct contact with patients. Utilization of ambu-bag technology by adjusting the amount and pressure cycle. The design and implementation includes a mechanical bag suppression system and an Arduino-based control system. Parameters can be controlled remotely or in touch layer mode. This is intended to provide convenience and reduce the risk of transmitting Covid-19 to medical personnel. From the research results, it is known that the actual value that appears on the screen is the same as the value that is set. Where the setting value has a BPM value of 5-20, IER from 1:1 to 1:4 and the TV percentage is 40-100%. So it can be said that this friendly ventilator device can work well.

Keywords : ventilator, friendly, ambu bag, remote

PENDAHULUAN

Ventilator merupakan alat bantu pernapasan yang menjadi perhatian khusus sejak dimulainya pandemi ditingkat nasional dan tingkat internasional. Isu tersebut adalah terbatasnya ventilator sebagai alat untuk perawatan pasien yang terinfeksi corona virus (Covid-19). Di negara Jepang, penyebab utama kematian pasien corona adalah disebabkan oleh kekurangan ventilator. Pemerintah Jepang telah mendesak peningkatan produksi ventilator kepada seluruh pabrik yang memproduksi alat ini dan mempermudah administrasi sehingga masyarakat mudah untuk mendapatkannya. Jumlah pasien yang terinfeksi corona (Covid-19) kurang lebih sebanyak 8.057 dan sebanyak 2,73 juta orang di seluruh dunia.

Ketika seseorang terinfeksi Covid-19 akan menyebabkan penderitanya mengalami gangguan pernapasan yang diawali gangguan ringan hingga berat akibat infeksi paru-paru sehingga menjadi penyebab utama kematian penderita yang terinfeksi. Dalam beberapa kasus, paru-paru pasien yang terjangkit virus corona akan menjadi rusak sehingga mengakibatkan berkurangnya kadar oksigen dalam pasien yang berujung pada sulitnya bernafas pasien tersebut. Kesulitan bernafas tersebut dalam ilmu kedokteran dapat dibantu melalui alat bantu pernafasan yang disebut dengan ventilator.

Minimnya jumlah alat ventilator di rumah sakit adalah salah satu permasalahan penanganan pasien yang

terjangkit corona di seluruh dunia dan Indonesia. Selain minimnya jumlah yang tersedia, salah satu aspek penghambat adalah harganya yang mahal. Hal inilah yang mendorong institusi pendidikan dan bermacam universitas dalam negeri maupun luar negeri untuk merancang ventilator yang siap pakai, praktis, dan ekonomis. ITB telah menghasilkan Vent-I-nya, Robot Ventilator yang dihasilkan ITS, UNS, UGM, UI, ESDM, dan BPPT juga melakukan Penelitian dan Pengembangan dan sebagainya (Syarif, 2020). Demikian juga dengan universitas luar negeri, MIT di Amerika Serikat, Rice University, Oxford University. Pada level industri multinasional dilakukan juga pengembangan ventilator seperti industri otomotif, PT. LEN, PT. Pindad, dan lain-lain. Karena begitu mendesaknya ventilator akhir-akhir ini, maka karya-karya ventilator tersebut dipublikasikan oleh para peneliti dan diperbolehkan melakukan pengembangan tanpa izin terlebih dahulu. Dr. Saud Anwar di Amerika telah berhasil menciptakan ventilator yang mampu menangani 7 pasien secara bersamaan. Dr. Saud Anwar secara terbuka telah menyampaikan bahwa bersedia menerima korespondensi bagi mereka yang tertarik dalam pengembangan ventilator yang ia temukan (JawaPos.com, 2020).

Umumnya ventilator yang ada sangat kompleks dan tampilannya menakutkan bagian pasien. Disamping itu, pengoperasiannya relatif rumit, sehingga tenaga operator ventilator haruslah harus punya sertifikat kompetensi untuk bisa mengoperasikan ventilator. Pada penelitian mekanik ventilator dirancang secara kompak, ringan, hemat energi, biaya rendah, memenuhi estetika dan ramah sehingga mudah digunakan bagi pasien.

TEORI

Ventilasi mekanik atau disebut juga dengan ventilator merupakan upaya bantuan napas bagi pasien yang mengalami sesak napas menggunakan alat bantu pernapasan mekanik yang berfungsi sebagai pengganti pompa dada ketika mengalami kegagalan atau kelelahan. Ventilasi mekanik berguna untuk menggantikan napas spontan yang diaplikasikan dengan alat khusus yang dapat mendukung fungsi ventilasi dan memperbaiki oksigenasi melalui penggunaan gas dengan konten tinggi oksigen dan tekanan positif. Dewasa ini, perkembangan alat bantu napas mekanik tidak saja digunakan sebagai pengganti fungsi pompa dada, namun aplikasinya dikembangkan untuk mengatasi gangguan ventilasi-perfusi paru, sehingga alat bantu napas ini disepakati sebagai alat penolong kelangsungan kehidupan pasien kritis yang memerlukan terapi secara intensif. Tujuan utama penggunaan ventilasi ini adalah menjamin penguatan ventilasi-oksigenasi, mengurangi kerja napas, dan memperbaiki gangguan pertukaran oksigen di alveoli. Ventilator berfungsi untuk mengembangkan paru-paru selama proses inspirasi, pengaturan waktu dari inspirasi ke ekspirasi, mencegah penguncupan paru-paru saat ekspirasi, serta mengatur lamanya waktu dari fase ekspirasi ke fase inspirasi. Semua ventilator mekanik canggih dilengkapi oleh monitor pengukur tekanan (*pressure gauge*), pembatas tekanan untuk mencegah paru dari barotrauma (*pressure limiting device*), pengaman (*alarm*) tekanan tinggi dan rendah, serta pengatur volume paru (*spirometer*) (Aryanto dan Adyaksa, 2020).

Prinsip Kerja dan Parameter Ventilator

Ventilator dalam bentuknya yang paling dasar adalah mesin yang membantu mengalirkan udara ke dan dari paru-paru. Pada dasarnya, ventilator adalah perangkat khusus untuk memindahkan volume udara yang memiliki kemampuan dapat berinteraksi dengan pasien untuk menyesuaikan pengaturan seperti laju atau tekanan udara yang dipindahkan. Parameter standar ventilator yang menjadi acuan untuk pasien (WHO, 2020) antara lain:

- a) Laju Pernafasan (*Respiratory Rate*), mengacu pada berapa banyak napas yang diberikan dalam satu menit. Untuk ARDS, biasanya sekitar 10 hingga 14 napas per menit. Frekuensi pernapasan harus berkisar antara 6 hingga 36 napas per menit dengan kenaikan 2;
- b) Volume Tidal (*Tidal Volume, VT*), merupakan volume udara yang masuk menuju paru-paru. Biasanya sekitar 400 hingga 600mL. Volume tidal harus berkisar dari 250 hingga 750mL dengan penambahan 50;
- c) Rasio Inspirasi terhadap Ekspirasi (*Inspiratory to Expiratory Ratio, IE*), merupakan adalah rasio jumlah waktu yang dihabiskan untuk mengeluarkan napas dibandingkan dengan menarik napas. Perlu dua kali lebih lama untuk menghembuskan napas;
- d) *Peak End Expiratory Pressure (PEEP)*, merupakan jumlah tekanan di paru-paru setelah menghembuskan napas. Paru-paru seperti balon yang diisi dengan lem dan cairan lengket. Jika balon benar-benar mengempis, semua bahan itu menempel di dinding, membuatnya lebih sulit untuk mengembang lagi. Karena tujuan ventilasi adalah memasukkan udara menuju paru-paru

dan menarik udara keluar paru-paru berulang kali, maka perlu ada cara untuk mencegah lem menempel di dinding. Solusinya adalah jangan pernah membiarkan balon mengempis sepenuhnya. Itulah PEEP, dengan cara meninggalkan beberapa tekanan di paru-paru sehingga tidak menempel pada dirinya sendiri;

- e) Tekanan Puncak (*Peak Pressure*) merupakan jumlah tekanan maksimum dalam sistem. Besarannya berubah tergantung pada apakah ada PEEP. Karena ventilator menggunakan sistem tertutup, jika pasien batuk akan terjadi peningkatan tekanan yang cepat yang dapat mengakibatkan paru-paru meletus. Ini tidak bagus. Solusinya adalah menggunakan katup pelepas tekanan yang terbuka ketika tekanan sistem menjadi terlalu tinggi. Besarannya harus disesuaikan antara 30cm H₂O dan 60cm H₂O.

Klasifikasi Ventilator

Ventilator dapat diklasifikasikan (Dewantari & Nada, 2017) menjadi :

- a) *Negative Pressure Tank Respiratory Support* (ventilasi bertekanan negatif), mekanisme penggunaannya adalah dengan meletakkan penderita di dalam sebuah tabung yang memiliki tekanan udara *sub-atmosfer* (tekanan negatif). Hal ini akan mengakibatkan pengembangan dada dan menjadikan tekanan jalan napas *negative*;
- b) *Positive Pressure Ventilation* (Ventilasi Bertekanan Positif), dengan ventilator ini maka dada dan paru-paru akan mengembang pada fase inspirasi karena tekanan positif yang diberikan ventilator di atas tekanan atmosfer, selanjutnya tekanan akan sama dengan

tekanan atmosfer pada akhir inspirasi sehingga pada fase ekspresi udara akan keluar secara pasif. Selama ventilasi bertekanan positif, inflasi paru dicapai dengan secara berkala menerapkan tekanan positif ke saluran napas bagian atas melalui masker ketat (ventilasi mekanik non-invasif) atau melalui endotrakeal tube atau trakeostomi.

Mode Ventilator

Mode ventilator dibagi berdasarkan *cycling* (perubahan dari inspirasi ke ekspirasi), antara lain:

- a) *Pressure Limited/Pressure cycled*, dimana siklus tekanan ventilator berjalan ke fase ekspirasi ketika tekanan udara mencapai tingkat yang telah ditentukan sebelumnya. VT (tidal volume) dan waktu inspirasi bervariasi, yang terkait dengan resistensi saluran napas dan paru serta komplians sirkuit. Dalam penerapannya, ventilator ini lebih dengan mudah dapat dipacu oleh napas pasien. namun karena adanya penurunan daya paru atau regang dada pasien maka mengakibatkan terjadinya penurunan volume tidal dan volume per menit;
- b) *Time cycled*, waktu siklus ventilator masuk ke fase ekspirasi setelah interval yang telah ditentukan yang dihitung dari awal inspirasi. VT adalah produk dari waktu inspirasi dan laju aliran inspirasi. Ventilator *time-cycled* umumnya digunakan pada ruang operasi dan *neonates*;
- c) *Volume cycled*, keunggulan Ventilator ini adalah menghasilkan volume pada nilai yang dapat disesuaikan dengan keadaan penderita. Jika volume yang dituju sudah tercapai, maka hal tersebut

akan meakhiri fase inspirasi. Banyak ventilator untuk pasien dewasa menggunakan volume-cycled tapi dilengkapi dengan batas sekunder pada tekanan inspirasi untuk melindungi paru-paru dari barotrauma. Jika tekanan inspirasi melebihi batas tekanan, siklus mesin berlanjut ke ekspirasi bahkan jika volume yang dipilih belum disampaikan;

- d) *Flow cycled*, fase inspirasi akan berganti menjadi ekspirasi ketika aliran udara jatuh ke level tertentu. Ventilator flow-cycle memiliki sensor tekanan dan aliran yang memungkinkan ventilator untuk memantau aliran inspirasi pada tekanan inspirasi yang ditentukan sebelumnya; ketika aliran ini mencapai tingkat yang telah ditentukan.

Metode Ventilator

Metode-metode yang sering digunakan dalam perancangan ventilator antara lain:

- a) *Controlled Mechanical Ventilation* (Ventilasi Mekanik Terkontrol, CMV), siklus ventilator berubah dari ekspirasi ke inspirasi setelah interval waktu yang telah ditetapkan, karena pasien tidak dapat memicu pernapasan sendiri. Ventilasi jenis ini hanya dapat digunakan untuk pasien dengan kondisi tidak lagi memiliki usaha napas sendiri atau pada saat diberikan ventilasi, pengontrolan sepenuhnya harus dilakukan pada pasien (*time-triggered inspiration*);
- b) *Assist-Control (AC)* Ventilasi, penggabungan sensor tekanan di sirkuit pernapasan, upaya inspirasi dari pasien dapat digunakan untuk memicu inspirasi. Pernapasan pasien dapat dipicu dengan laju yang lebih cepat

- akan tetapi pada tiap napas volume preset atau tekanan tetap diberikan;
- c) *Intermittent Mandatory Ventilation (IMV)*, ventilator ini dirancang untuk memberikan bantuan ventilasi secara parsial. Metode ini merupakan kombinasi antara periode ventilasi *assist-control* dengan periode pernapasan spontan pasien. Melalui periode pernapasan spontan, pencegahan auto PEEP dan hiperinflasi paru pada pasien-pasien dapat dilakukan dengan pernapasan yang cepat;
 - d) *Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)*, *SIMV* merupakan ventilator yang memiliki keunggulan pada kenyamanan pasien. Ventilator ini memiliki napas cadangan yang dapat digunakan pada saat pasien lelah;
 - e) *Mandatory Minute Ventilation (MMV)*, Ventilator ini, pernapasan pasien dapat dilakukan secara spontan dan dapat juga menerima napas secara mekanik, kemudian mesin akan memonitor ventilasi satu menit yang dihembuskan;
 - f) *Pressure Support Ventilation (PSV)*, Ventilator jenis ini menggunakan metode untuk memperkuat sistem pernapasan secara spontan, namun bantuan napas keseluruhan tidak diberikan. Selain itu, metode *PSV* ini digunakan untuk mengatasi hambatan pernapasan melalui sirkuit ventilator. Metode ini bertujuan untuk pengurangan waktu work of breathing selama proses penyapihan (*weaning*) dari ventilator;
 - g) *Pressure Control Ventilation /ventilasi pressure-control (PCV)*, Ventilator jenis ini menerapkan metode paru-paru dikembangkan melalui tekanan konstan. Jenis ini kurang diminati

karena ketidaksamaan volume pengembangan paru-paru. Akan tetapi tetap dapat digunakan pada pasien yang mengalami resiko cedera paru-paru yang diberikan oleh ventilator yang lebih kecil dari mode ini. Ventilasi jenis *PCV* diatur oleh ventilator, di mana pasien tidak ikut serta (*ventilasi assistcontrol*).

METODOLOGI

Ventilator yang dikembangkan pada penelitian ini adalah *tipe Positive Pressure Ventilation* (ventilasi bertekanan positif), *Cycled Volume Mode (CVM)* dan metode *Controlled Mechanical Ventilation (CMV)*. Teknologi yang digunakan adalah *ambu bag*. Desain dan pembuatan meliputi *ambu bag* otomatis yang ditekan oleh sistem mekanik dan sistem kontrol yang dibangun dari mikrokontroler arduino. Perancangan mekanik ventilator dirancang kompak, bobot yang ringan, memiliki estetika dan mudah digunakan sehingga menjadikannya menarik dan menghilangkan ketakutan pada pasien. Nilai IER, BPM dan TV terkontrol melalui (*touch screen*) layar sentuh/jarak jauh (*remote*) dengan bantuan *hand phone* melalui 4 tombol dari jarak jauh untuk memudahkan dan menjaga tenaga medis dari penularan Covid-19. Nilai BPM dapat diatur pada rentang 5 sampai 20 BPM, IER pada 1:1 sampai 1:4 dan TV dari 40-100%. Dipilihnya teknologi *ambu bag* dikarenakan minimnya biaya dan kemudahan dalam produksi massal. Ventilator ini memiliki nilai efisiensi biaya yang jauh lebih hemat dibandingkan ventilator lain yang memiliki harga ratusan juta rupiah.

Tahapan perancangan

Tahapan yang dilakukan dalam perancangan *ventilator friendly* ini yaitu :

- a) Identifikasi Permasalahan, berdasarkan fenomena yang berkembang akhir-akhir ini ditemukan, bahwa pembuatan ventilator ini sangat penting, apalagi ditengah wabah covid-19 dimana diberbagai negara terjadi kekurangan ventilator untuk menangani pasien Covid-19. Untuk kesederhanaan sistem yang dirancang maka teknologi yang digunakan *ambu bag*.
- b) *Brain storming* dengan ahli, dalam rangka menggali kebutuhan ventilator dan karakteristik ventilator yang sangat mendesak diperlukan.
- c) Perancangan dan implementasi, kapasitas daya komponen penggerak lengan diperhitungkan sedemikian rupa dengan tujuan meminimalisir konsumsi daya alat. Rancangan posisi penekan *ambu bag* dan bentuk lengan dibuat mengikuti permukaan *ambu bag* untuk memaksimalkan volume tidal. Penstabilan posisi *ambu Bag* yang cenderung terjadi pemendekan pada saat ditekan dilakukan dengan memasang motor untuk mengendalikan posisi *ambu bag* sehingga gerakannya sama dengan motor yang menekan *ambu bag*.

Spesifikasi perancangan menggunakan *ambu bags*, respiratory rate (RR) 5 sampai 20 breaths per minute (bpm), Inspiratory, expiratory time ratio (I:Eratio) 1:1 sampai dengan 1:4, tidal volume (VT) volume of gas (ml) delivered during inspiration 250 sampai dengan 800, pengaturan dengan *touch screen* dan *hand phone*.

Tahapan Pengujian

Pengujian ventilator menggunakan peralatan sebagai berikut, yaitu komputer,

stopwatch, bejana dan gelas ukur. Tahap pengujian teknis diberikan nilai RR, IER dan TV, mencatat waktu penekanan (Inspirasi, T_i) melepaskan (Ekspirasi, T_e) *ambu bag*, mencatat nilai BPM, mengukur volume berdasarkan banyaknya air yang tumpah dan menghitung nilai IER.

Penentuan Daya Motor

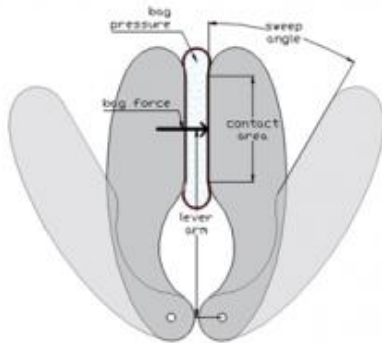
Sistem mekanik penekan *ambu bag* direncanakan memiliki *gripper* dengan dua buah motor yang masing-masing terpisah ketika proses menekan dan melepas. Sehingga perhitungan daya masing-masing motor mengacu pada spesifikasi ventilator yaitu, tekanan *maximum* pada jalan nafas ($P_{airway\ max}$) 40cm H₂O, *maximum respiration rate* (RR_{max}) 20 BPM, minimum *inhale/exhale ratio* adalah 1:4, IE_{ratio} minimum 4, *maximum volume output* (V_{max}) 800 cm³. Dalam kasus terburuk, aliran udara yang dihasilkan pada tekanan 40 cm H₂O, dalam waktu 0.3 detik. $T = 60\ \text{detik}/RR_{max}$: waktu dalam 1 bpm, $t_{inhale} =$ waktu penekanan, $t_{inhale} = T / (1 + IE_{ratio})$, $t_{inhale} = 60\ \text{dt} / RR_{max} / (1 + IE_{ratio})$, *Volumetric flow rate* yang dibutuhkan dalam kondisi terburuk (*peak*), $Q_{airway} = V_{max} / t_{inhale} = 0.0027\ \text{m}^3/\text{dt}$

Daya *output* (dalam bentuk aliran volume bertekanan dijalan napas (*airways*) adalah $power_{airway}$ (P_{airway}), $\max Q_{airway}$ 10.46 W. Namun, sebagian daya yang digunakan untuk menekan *ambu Bag* akan hilang (deformasi *ambu bag*, gesekan, dll.), dan diperkirakan 50% dikonversi menjadi aliran volume bertekanan. Dengan mempertimbangkan efisiensi, daya yang diperlukan oleh *gripper* adalah: $P_{gripper} = 2 P_{airway} = 20.92\ \text{W}$

Daya aktual yang dibutuhkan untuk motor akan lebih tinggi, tergantung pada

desain mekanik dan listrik. Dengan asumsi setengah dari *output* daya motor hilang ke inefisiensi mekanik dan listrik (roda gigi, disipasi termal, dll.), *Output* daya yang diperlukan dari motor diberikan oleh: $P_{\text{motor}} = 2 P_{\text{gripper}} = 41.84 \text{ W}$

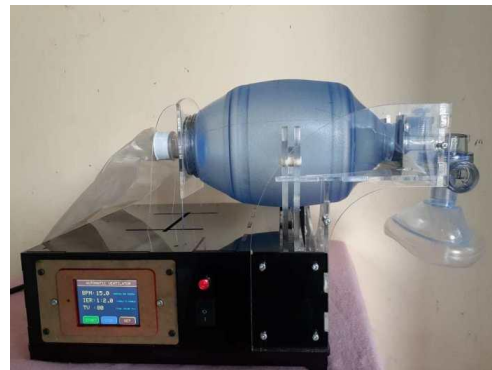
Kebutuhan daya untuk desain 2 *finger*, alternatif untuk menghitung daya dengan dengan desain penjepit 2 *finger*, ditunjukkan pada Gambar 1. Pendekatan langsung dapat digunakan untuk desain, dengan besaran berikut dapat diukur area kontak *ambu bag*, panjang lengan tuas, *sweep angle*. Untuk prototipe yang umum, diketahui bahwa area kontak *ambu bag* maksimum (A_{bag}) 90 mm × 115 mm. Panjang lengan tuas (*finger*) 12 cm. *Sweep angle* (α_{sweep}) 30°.



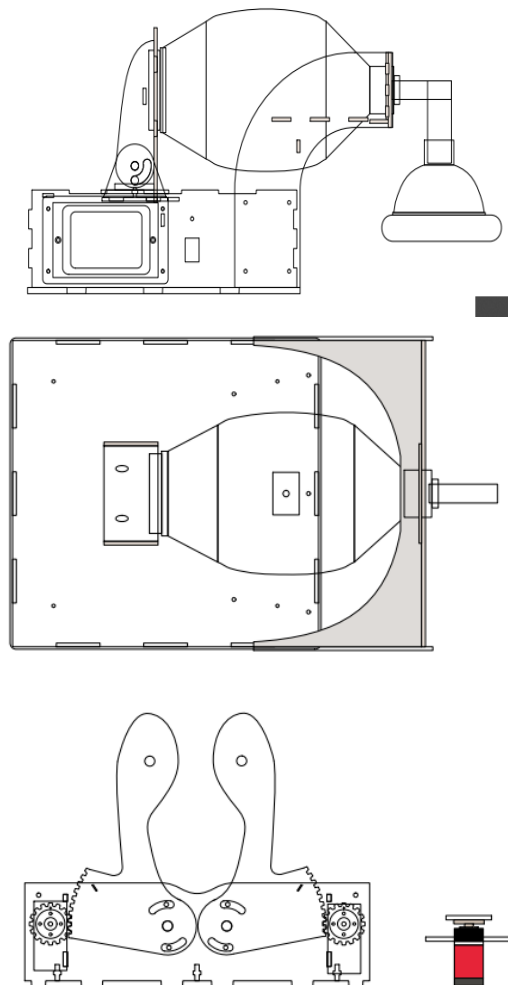
Gambar 1. Gripper Penekan Ambu Bag

Kekuatan maksimum *ambu bag* satu *finger* (ketika ditekan sepenuhnya) adalah, menggunakan efisiensi transmisi tekanan 50% yang sama seperti sebelumnya $F_{\text{finger}} = 2 A_{\text{bag}} P_{\text{airway max}} = 81.199 \text{ N}$. Torsi maksimum yang dibutuhkan pada setiap *finger* adalah: $F_{\text{finger}} l_{\text{finger}} = 9.74 \text{ N.m}$. Dengan demikian dapat dihitung daya yang diperlukan untuk *gripper* dua *finger* menggunakan laju sudut *sweep* (dalam 0,3 detik), $P_{\text{gripper}} = 2 \times \text{finger } W_{\text{finger}} = 34.01 \text{ W}$. Total daya untuk motor

(dengan asumsi motor tunggal) dengan tambahan 50% dan efisiensi *gearbox* yang sama, didapatkan $P_{\text{motor}} = 2 \times P_{\text{gripper}} = 68.03 \text{ W} \sim 70 \text{ W}$.



Gambar 3. Ventilator



Gambar 2. Gambar teknik ventilator

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Pengujian Untuk Berbagai Nilai *Setting*

No	Nilai <i>setting</i>			Nilai Aktual				
	BPM	IER	TV (%)	BPM	Ti (detik)	Te (detik)	IER	TV (%)
1	15	1 : 1	80	15	2	2	1:1	80
2	15	1 : 2	80	15	1,30	2,60	1:2	80
3	12	1 : 2	80	12	1,60	3,30	1:2	80
4	10	1 : 2	80	12	2	4	1:2	80
5	15	1 : 1	60	15	2	2	1:1	60
6	15	1 : 2	60	15	1,30	2,60	1:2	60
7	12	1 : 2	70	12	1,60	3,30	1:2	70
8	10	1 : 2	70	12	2	4	1:2	70

Pengujian pertama diberikan nilai *setting* BPM = 15, IER = 1:1 dan TV = 80%, kemudian ventilator diaktifkan dan hasil yang didapat adalah BPM = 15, IER = 1:1 dan TV = 80%. Hal ini menunjukkan bahwa ventilator dapat merespon sesuai dengan nilai yang diberikan pada ventilator.

Kemudian dilakukan pengujian kedua yaitu BPM = 15, IER = 1: 2 dan TV = 80%, kemudian ventilator diaktifkan. Hasil yang didapat adalah BPM = 15, IER = 1: 2 dan TV = 80%. Hal ini menunjukkan bahwa ventilator dapat merespon sesuai dengan *setting* nilai yang diberikan. Hasil pengujian untuk parameter lainnya dapat dilihat pada tabel 1. Dari hasil pengujian terlihat bahwa ventilator mampu merespon nilai *setting* yang diberikan secara cepat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian alat ventilator friendly diketahui bahwa nilai aktual yang tampil pada layar sama dengan nilai yang di-*setting*. Dimana nilai *setting* mempunyai nilai BPM 5-20, IER dari 1:1 hingga 1:4 serta persentase TV 40-100%. Sehingga dapat dikatakan bahwa alat ventilator friendly ini dapat bekerja dengan baik. Ventilator didesain bersahabat dari segi performa dan tampilan fisik tidak menakutkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Rektor Universitas Bung Hatta Prof. Dr. Tafdil Husni, S.E., MBA yang telah mendukung pendanaan penelitian. Demikian juga bantuan dana dari Yayasan Proklamator Bung Hatta (YPBH) dengan endorsement PT. Petrokimia Gresik. Dukungan teknis dari Kepala Bagian ICU dr. Emilson, Sp. An (K), Catur Suharinto, M.Kom. Ahli Peralatan Kesehatan dan 2 orang perawat ICU RSUP M. Jamil Padang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto dan Adhyaksa D.O (2020) Rancang Bangun Alat Bantu Pernapasan Ventilator Berbasis Wireless Sensor Network, Jurnal ICTEE, Vol. 1, No. 1, 2020, 11-14
- Branson, R. (2014). Principles and Practice of Mechanical Ventilation, Third Edition. *Critical Care Medicine*, 42(6), e488.
<https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000000286>
- Dewantari, L. P. A., & Nada, K. W. (2017). Aplikasi Alat Bantu Napas Mekanik. *Universitas Udayana*, 1–27.
https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dir/70805491e1c45489dcf7ada518d4d198.pdf
- Hariz Barak (2020), Jepang Kewalahan

Hadapi Lonjakan Kasus Baru Corona COVID-19, Minim Ventilator dan ICU, Liputan6, 19 April 2020

Jawa Pos (2020), Selamatkan Banyak Pasien Covid-19, Dr Saud Anwar Disebut Pahlawan, 15 April, 2020

Jeffrey Ebib, MD (2020) Global Ventilator Projects

Liwun, F. V., Taqwandi, M. F. H., Ramadhani, A. A. C., Ananda, W., Mauludin, M., & Fitriani, A. (2021). Ventilator Portable Sebagai Alat Bantu Pernapasan Pada Penanganan Pasien COVID-19. *Schrodinger Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika*, 2(1), 55-60.

Rimensberger, P. C. (2015). Pediatric and neonatal mechanical ventilation: From basics to clinical practice. In *Pediatric and Neonatal Mechanical Ventilation: From Basics to Clinical Practice*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01219-8>

Sayin, F. S., & Erdal, H. (2018). Design, modelling, prototyping and closed loop control of a mechanical ventilator for newborn babies. *2018 6th International Conference on Control Engineering and Information Technology, CEIT 2018*. <https://doi.org/10.1109/CEIT.2018.8751846>

Syarif H (2020), Ventilator Portabel Indonesia, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB, 30 Maret 2020

World Health Organization. (2020). Tatalaksana klinis infeksi saluran pernapasan akut berat (SARI) suspek penyakit COVID-19. *World Health Organization*, 4, 1-25.