

ANALISIS KINERJA VENTILATOR MEKANIS DENGAN PENGGERAK MOTOR STEPPER BERBASIS ARDUINO

Slamet Supriyadi¹, Aan Burhanudin², Yuris Setiyoadi³, Iffan Bayu Setyono⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI
Semarang

Email : slametsupriyadi@upgris.ac.id

ABSTRACT

One of the main issues in Indonesia in dealing with the Covid-19 pandemic outbreak is the limited availability of medical devices to help support the care of patients infected with the Covid-19 virus. One of the devices that has limited availability is a ventilator, which is a breathing apparatus that produces controlled air flow in the patient's airway, to maintain ventilation and oxygen delivery for a long time. The mechanical breathing apparatus acts as a replacement for the chest pump function that is experiencing fatigue or failure. The purpose of this research is to design a mechanical ventilator with a stepper motor driving mechanism based on Arduino. This research went through several stages of activity, namely, preliminary studies, designing ventilator design, manufacturing ventilator, operation trials. The driving motor on the mechanical ventilator uses a Nema 23 stepper motor and a Nema 17 stepper motor. The research results were taken as many as 647 sensor readings, where each sensor reading took 0.5 seconds. The results of the study using the Nema 17 stepper motor and the Nema 23 stepper motor, with comparisons at the initial 5 minutes show that the performance of the Nema 23 stepper motor has better performance than the Nema 17 stepper motor, where the Nema 23 stepper motor shows a more constant pumping volume and there is no significant change in power.

Keywords: ventilator; motor *stepper*; Nema 23; Nema17.

ABSTRAK

Salah satu isu utama saat ini di Indonesia dalam menghadapi wabah pandemi Covid-19 adalah keterbatasan alat kesehatan dalam membantu menunjang perawatan pasien yang terinfeksi virus Covid-19. Salah satunya alat yang terbatas ketersediaannya adalah ventilator, dimana alat ini merupakan alat bantu pernapasan yang menghasilkan aliran udara terkontrol pada jalan napas pasien, sehingga mampu mempertahankan ventilasi dan pemberian oksigen dalam jangka waktu lama. Alat bantu napas mekanik berperan sebagai alat pengganti fungsi pompa dada yang mengalami kelelahan atau kegagalan. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancang bangun ventilator mekanis dengan mekanisme penggerak motor *stepper* berbasis Arduino. Penelitian ini melalui beberapa tahap kegiatan, yaitu tahap, studi pendahuluan, merancang desain ventilator, *Manufacturing* ventilator, uji coba Pengoperasian. Motor penggerak pada ventilator mekanis yang dipakai menggunakan motor *stepper* Nema 23 dan motor *stepper* Nema 17. Data hasil penelitian diambil sebanyak 647 kali pembacaan sensor, dimana setiap pembacaan sensor membutuhkan waktu 0,5 detik. Hasil penelitian menggunakan motor *stepper* Nema 17 dan motor *stepper* Nema 23, dengan komparasi pada 5 menit awal menunjukkan bahwa kinerja motor *stepper* Nema 23 mempunyai kinerja lebih baik dibandingkan dengan

performa motor stepper Nema 17. Dimana motor *stepper* Nema 23 menunjukkan volume pemompaan yang lebih konstan dan tidak ada perubahan daya yang signifikan.

Kata Kunci : ventilator; motor *stepper*; Nema 23; Nema 17

PENDAHULUAN

Wuhan di provinsi Hubei, Cina, salah satu dari enam megalopolis dengan jumlah penduduk 14 juta, menjadi pusat wabah pneumonia yang tidak diketahui penyebabnya (Zhang et al., 2020). Satu minggu kemudian, pada tanggal 7 Januari 2020, otoritas kesehatan Tiongkok mengkonfirmasi bahwa mereka telah mengidentifikasi coronavirus baru (COVID-19). Coronavirus adalah virus non-segmented positive-sense RNA yang termasuk dalam famili Coronaviridae dan ordo Nidovirales dan dapat menular secara luas pada manusia dan mamalia lainnya (X. He et al., 2020). Penyakit Coronavirus 2019 (COVID-19), merupakan wabah infeksi yang disebabkan oleh sindrom pernapasan akut coronavirus 2 (SARS-CoV-2) (Lippi et al., 2020). Kasus simptomatik khas penyakit coronavirus baru (COVID-19) tersebut dapat menyebabkan demam, nyeri otot, dan batuk (G. He et al., 2020).

Salah satu isu utama yang berkembang saat ini di Indonesia dalam menghadapi wabah pandemi Covid19 adalah keterbatasan alat kesehatan dalam membantu menunjang perawatan karena banyaknya warga masyarakat yang terinfeksi virus Covid-19 tersebut. Salah satu alat kesehatan yang kebutuhannya besar namun persediaannya terbatas di Indonesia adalah ventilator. Ventilator adalah alat bantu pernapasan bertekanan positif atau negatif yang menghasilkan aliran udara terkontrol pada jalan napas pasien sehingga mampu mempertahankan ventilasi dan pemberian oksigen dalam jangka waktu lama.

Alat bantu napas mekanik berperan sebagai alat pengganti fungsi pompa dada yang mengalami kelelahan atau kegagalan. Tujuan pemasangan ventilator mekanik adalah untuk mempertahankan ventilasi alveolar secara optimal dalam rangka memenuhi kebutuhan

metabolik, memperbaiki hipoksemia, dan memaksimalkan transpor oksigen (Mangku G, 2017).

Pengoperasian ventilator mekanis adalah dengan melakukan gerakan penekanan pada resuscitator sehingga udara yang ada dalam resuscitator tersebut mengalir keluar melalui selang menuju kedala alat pernapasan. Namun, ventilasi mekanis juga dapat berpotensi merusak paru-paru pasien karena tekanan dan aliran udara. Oleh karena itu diperlukan sebuah mekanisme untuk mengatur proses pemompaan resuscitator secara stabil dan tahan lama.

Motor *stepper* merupakan suatu perangkat elektronik, sama seperti motor listrik pada umumnya, motor *stepper* bekerja mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa gerakan motor *discert* (terputus) yang disebut *step* (langkah) menggunakan prinsip elektromagnetik.

Karena masih kurangnya studi tentang teknologi ventilator, maka penelitian ini bertujuan membuat purwarupa/prototipe ventilator mekanis dengan motor stepper sebagai penggerak utama yang mampu memompa *resuscitator* dalam jangka waktu yang lama. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis kinerja ventilator dengan menggunakan motor *stepper* Nema 17 dan Nema 23.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dilakukan di dua tempat, yaitu pembuatan part menggunakan 3D printing dilakukan di ruang satgas covid-19 Gedung Utama Universitas PGRI, adapun proses perakitan komponen dilakukan di Laboratorium Proses Produksi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang.

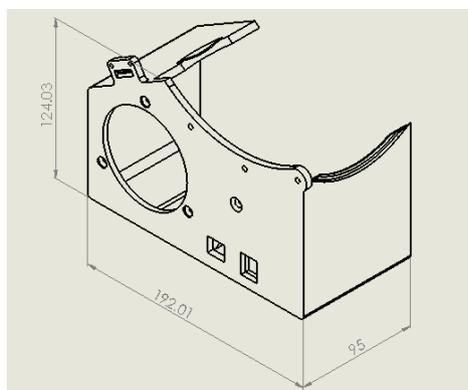
Proses desain meliputi desain mekanik dan desain elektronik. Desain mekanik merupakan desain untuk rangka motor stepper, yaitu untuk penempatan motor stepper agar

motor stepper tetap sejajar dengan poros penggerak dan tidak bergeser. Desain ini juga untuk penempatan rangkaian elektronik yang terdiri dari mikrokontroler, motor driver, LCD display dan tombol-tombol switch.

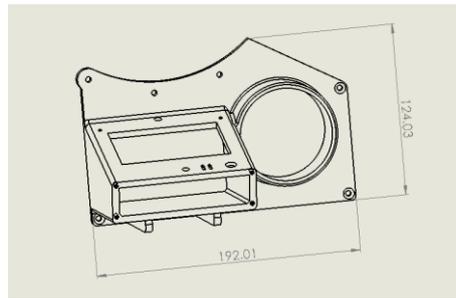
Desain elektronik ini untuk mengetahui perbandingan tekanan udara dan laju udara dalam resuscitator terhadap tekanan yang dihasilkan oleh variasi motor stepper. Desain elektronik menggunakan *software fritzing*, dimana pada software ini sudah terdapat paket pustaka komponen-komponen elektronika yang dibutuhkan. Selain itu, software ini juga dapat menghasilkan file gambar yang berupa rangkaian elektronika, ilustrasi rangkaian dengan *bread board* dan juga gambar PCB sekaligus. Rangkaian control motor stepper menggunakan driver TB6600. Driver micro-stepping TB6600 dibuat dengan IC Toshiba TB6600HG.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 merupakan desain untuk rangka motor stepper. Rangka ini digunakan untuk penempatan motor stepper agar motor stepper tetap sejajar dengan poros penggerak dan tidak bergeser. Sedangkan pada gambar 2 desain untuk penempatan rangkaian elektronik yang terdiri dari mikrokontroler, motor driver, LCD display dan tombol-tombol switch.

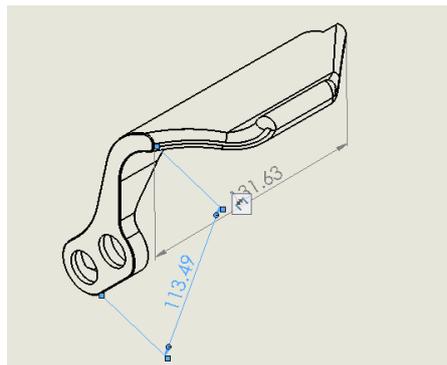


Gambar 1. Rangka motor stepper



Gambar 2. Rangka Elektronik

Gambar 3 adalah desain penekan resuscitator yang nantinya akan berfungsi seperti telapak tangan untuk menekan udara di dalam resuscitator agar keluar melewati selang oksigen. Gambar 4 adalah lengan transmisi yang berfungsi untuk menyalurkan gerakan dari motor stepper ke penekan resuscitator



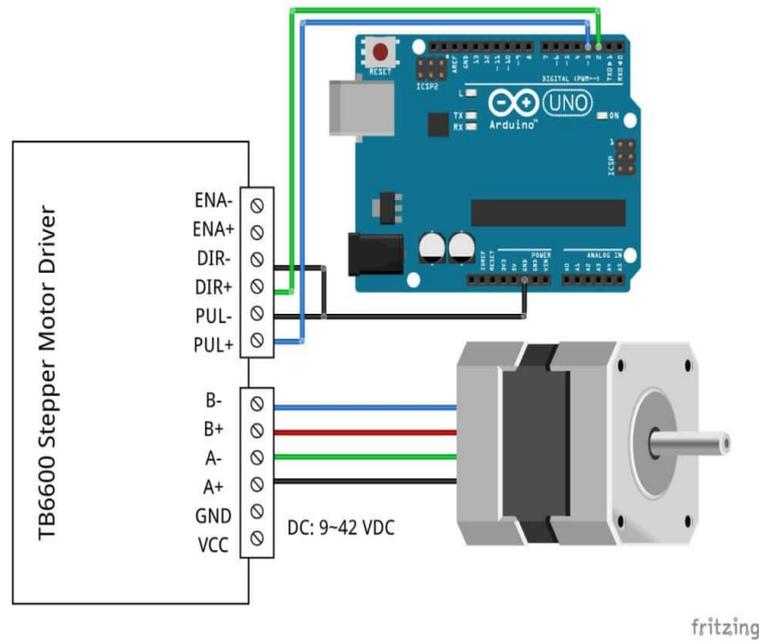
Gambar 3. Penekan Resusitator



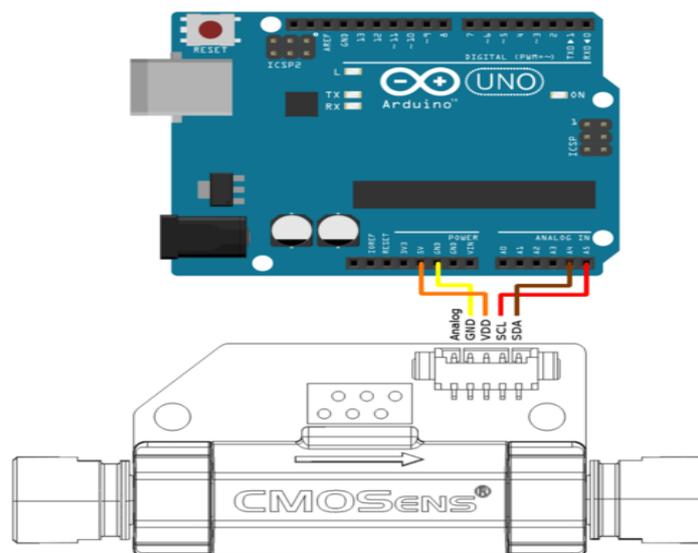
Gambar 4 Lengan transmisi

Gambar 5 adalah rangkaian control *motor stepper* dengan menggunakan driver TB6600. Driver micro-stepping TB6600 dibuat dengan IC Toshiba TB6600HG dan dapat digunakan untuk menggerakkan motor *stepper* bipolar dua fase. Dengan arus maksimum 3,5

A kontinu. Driver TB6600 dapat digunakan untuk mengontrol *motor stepper* yang cukup besar seperti Nema 23. TB6600 ini memiliki beberapa fungsi keselamatan *built-in* seperti *over-current*, *under-voltage shutdown*, dan *overheating protection*.



Gambar 5 Rangkaian Motor Stepper



Gambar 6 Rangkaian Sensor Aliran Udara

Gambar 6 adalah rancangan pengukur aliran (*flow meter*) udara menggunakan arduino. Pada dasarnya *flow meter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran atau kuantitas gas atau cairan yang bergerak melalui pipa. Aplikasi pengukuran aliran sangat beragam dan setiap situasi memiliki batasan dan persyaratan tekniknya sendiri. Pengukur aliran disebut dengan banyak nama, seperti pengukur aliran, indikator aliran, pengukur cairan, dan lainnya, tergantung pada industri tertentu, namun fungsinya untuk mengukur aliran tetap sama.

Prototype ventilator mekanik bekerja melalui sistem *planetary gear* yang digerakkan oleh motor DC yang berputar menggerakkan poros. Prinsip kerja mesin ini seperti batang torak yang digerakkan oleh poros engkol yang kemudian dihubungkan dengan *press arm* untuk melakukan tekanan terhadap resuscitator. Hasil penekanan terhadap resuscitator ini akan mempengaruhi pembacaan sensor tekanan udara dan aliran udara. Dalam pengujian ini, digunakan mikrokontroler ATmega328 sebagai kontroler, TB6600 sebagai driver motor, dan *motor stepper* sebagai penggerak yang kemudian diaplikasikan pada konstruksi ventilator mekanis. Pengujian awal yaitu mengendalikan motor stepper dengan beberapa metode setelah itu dilakukan implementasi motor *stepper* pada sebuah konstruksi model seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Ventilator mekanik

Pengujian sensor *flow* bertujuan untuk menghitung tingkat akurasi sensor saat mendeteksi volume aliran udara yang dikeluarkan oleh resusitator dengan *set value* yang sudah di tentukan. Selain itu, untuk mengetahui berapa persen *error sensor water flow* yang telah diterapkan pada sistem pengisian udara. Alat yang digunakan untuk melakukan proses pengujian yaitu menggunakan gelas ukur dengan skala 500 dan 750 mL.

Tabel 1 dan tabel 2 menunjukkan nilai presentase kesalahan pengukuran yang berbeda. Pembacaan sensor *flow* meter dengan set value 500 mL nilai presentase kesalahannya sebesar 3,3% dan akurasi sensor 97,8%, sedangkan dengan set value 700 mL nilai presentase kesalahannya sebesar 3% dan akurasi sensor 97%. Jika dilihat dari tabel data pengukuran nilai akurasi sensor juga tergantung dari seting pada kalibrasi awal.

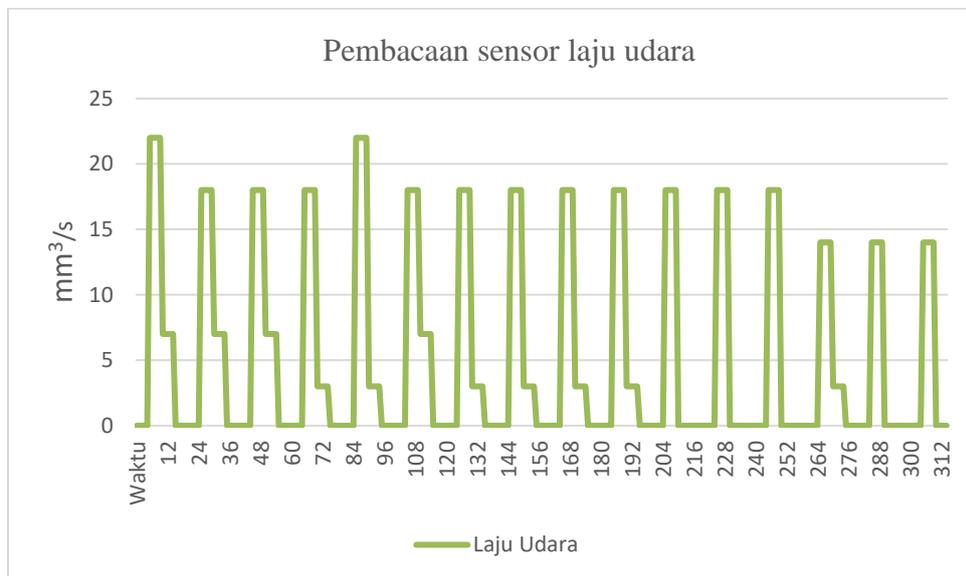
Tabel 1 Hasil Percobaan Sensor *Flow* 500 mL

SET VALUE 500 MI			
Percobaan	Pembacaan Sensor		
	Nilai volume pada Sensor (ml)	Presentase error %	Akurasi %
1	503	3,0%	97,0%
2	503	3,0%	97,0%
3	505	5,0%	95,0%
4	503	3,0%	97,0%
5	503	3,0%	97,0%
6	502	2,0%	98,0%
7	503	3,0%	97,0%
8	505	5,0%	95,0%
9	503	3,0%	97,0%
10	503	3,0%	97,0%
Rata-rata		3,3%	97,8%

Tabel 2 Hasil Percobaan Sensor *Flow* 700 mL

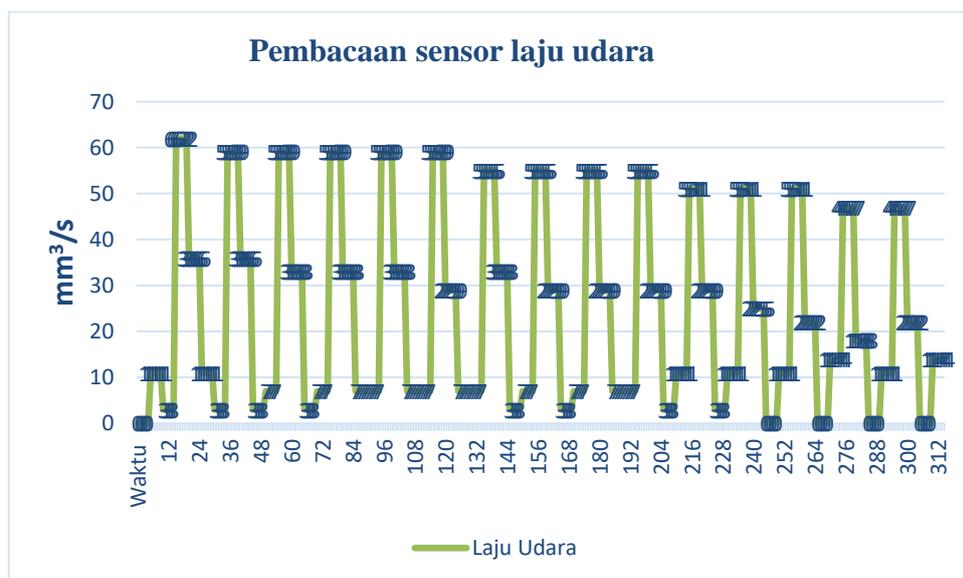
SET VALUE 700 mL			
Percobaan	Pembacaan Sensor		
	Nilai volume pada Sensor (ml)	Presentase error %	Akurasi %
1	702	2,0%	98,0%
2	703	3,0%	97,0%
3	705	5,0%	95,0%
4	703	3,0%	97,0%
5	702	2,0%	98,0%
6	702	2,0%	98,0%
7	703	3,0%	97,0%
8	705	5,0%	95,0%
9	702	2,0%	98,0%
10	703	3,0%	97,0%
Rata-rata		3%	97%

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian pertama sensor laju udara dengan menggunakan Nema 17.



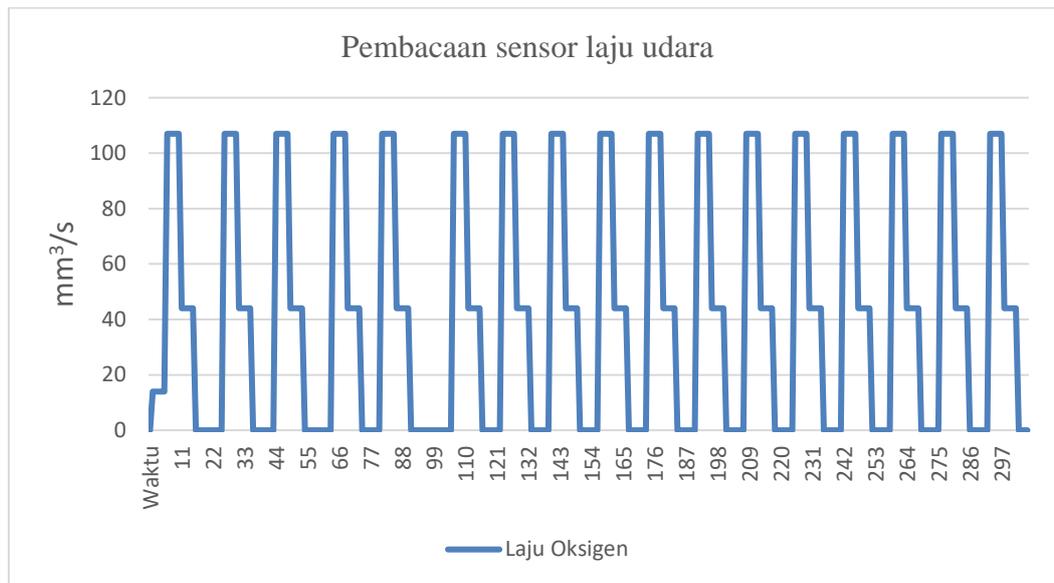
Gambar 8 Pengujian Ke-1 Laju Udara dengan Motor Stepper Nema 17

Pengukuran yang terbaca pada arduino seperti pada Gambar 8 untuk laju aliran udara adalah pada detik pertama 23 mm³/s, data tersebut terbaca ketika lengan penekan berada di posisi turun penuh atau motor *stepper* berada pada posisi 90° kemudian motor *stepper* akan melanjutkan putaran menuju 180° yang berarti lengan penekan akan terangkat dengan data laju udara akan menurun sehingga yang terbaca pada detik ke tiga adalah 7 mm³/s. Pada gerakan lengan akan diulang terus menerus sehingga akan terbaca *peak* atau pembacaan laju udara tertinggi pada setiap rotasi yaitu 17 mm³/s dengan 7 mm³/s, kemudian nilai *peak* laju udara ketika rotasi motor *stepper* ke tiga adalah 17 mm³/s, nilai *peak* rotasi ke-13 adalah 14 mm/s. Laju udara semakin menurun pada rotasi ke-14 yang berarti performa motor Nema 17 mengalami penurunan. Penghitungan ini bertujuan untuk mengetahui konsistensi penurunan laju udara sebagai representasi kerugian pada proses penekanan *resusitator*.



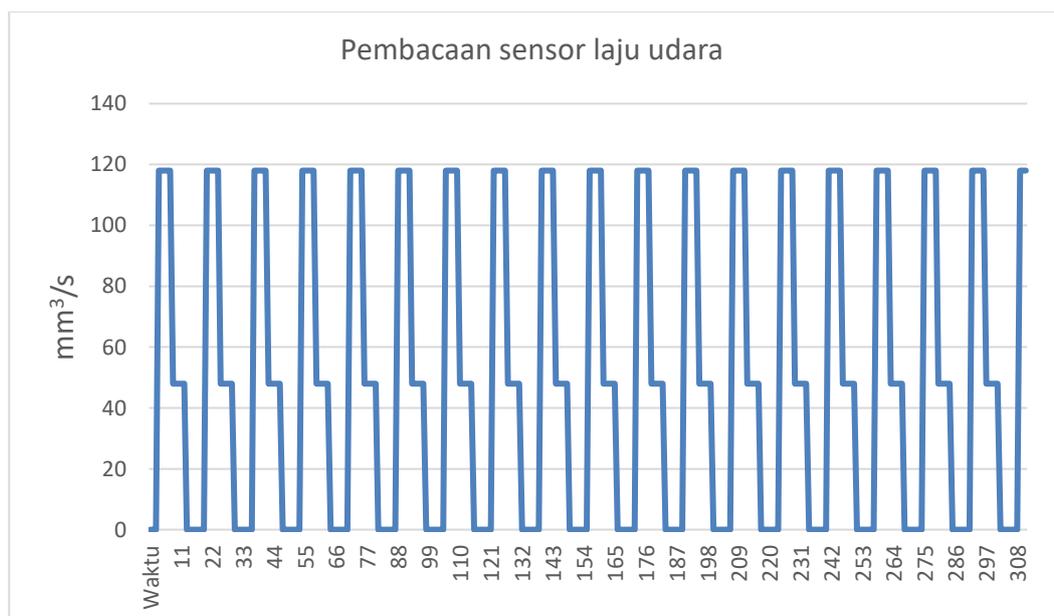
Gambar 9. Pengujian Ke-2 Laju Udara dengan Motor *Stepper* Nema 17

Pengukuran yang terbaca pada arduino seperti pada Gambar 9 untuk laju aliran udara adalah pada detik pertama 60 mm³/s, data tersebut terbaca ketika lengan penekan berada di posisi turun penuh atau motor *stepper* berada pada posisi 90° kemudian motor *stepper* akan melanjutkan putaran menuju 180° yang berarti lengan penekan akan terangkat dengan data laju udara akan menurun sehingga yang terbaca pada detik ke tiga adalah 37 mm³/s. Pada gerakan lengan akan diulang terus menerus sehingga akan terbaca *peak* atau pembacaan laju udara tertinggi pada setiap rotasi yaitu 58 m³/s dengan 37 mm³/s, kemudian nilai *peak* laju udara ketika rotasi motor *stepper* ke tiga adalah 58 mm³/s, nilai *pick* pada rotasi ke-13 adalah 54 mm³/s. Laju udara semakin menurun pada rotasi ke-14 yang berarti performa motor Nema 17 mengalami penurunan. Penghitungan ini bertujuan untuk mengetahui konsistensi penurunan laju udara sebagai representasi kerugian pada proses penekanan resusitator. Laju aliran udara ditentukan digunakan untuk menentukan seberapa kuat dan akurat *motor stepper* Nema 17 untuk dapat digunakan dalam alat ventilator.



Gambar 10 Pengujian Ke-1 Laju Udara dengan Motor *Stepper* Nema 23

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa pada pengujian motor *stepper* Nema 23 menunjukkan data yang stabil. Laju udara dengan *peak* tertinggi dihasilkan oleh aliran udara dengan laju 118 mm³/s dan terendah pada aliran 40 mm³/s. Pada semua laju aliran yang terbaca pada arduino, tidak terjadi penurunan aliran udara di sepanjang pengujian yang berarti bahwa tidak terjadi penurunan performa *motor stepper* Nema 23.



Gambar 11 Pengujian Ke-2 Laju Udara dengan Motor *Stepper* Nema 23

Pada Gambar 11, data tersebut diambil sebanyak 308 kali pembacaan sensor seperti halnya pada pengambilan data pada saat pengujian Nema 17. Setiap pembacaan sensor membutuhkan waktu 0,5 detik. Metode yang digunakan untuk menganalisa pengujian adalah menggunakan *time series*. Indeks telah diperoleh sebagai perbedaan dalam loop volume udara, sebagai simulasi pada nafas tanpa usaha atau hanya dikendalikan oleh ventilator. Bentuk gelombang referensi telah dipilih dari beberapa gelombang yang diperoleh, sehingga dapat diamati nilai bentuk keteraturannya. Simulasi pernafasan ini telah direplikasi dan dibandingkan dengan seluruh pengujian. Ekstraksi pembacaan dari sensor ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11 terdapat perbedaan bentuk terlihat jelas.

Perbedaan dari pengukuran ini, yang diwakili oleh area biru, merupakan indikator keandalan dalam melakukan gerakan menekan resuscitator sehingga volume udara yang ada di dalamnya mengalir keluar dan terbaca oleh sensor. Dengan mengamati tren pada Gambar 10 dan Gambar 11, fluktuasi periodik sinyal dapat diketahui sama yaitu mengalami penurunan performa pada *motor stepper* Nema 17 terjadi dari waktu pengujian ke-1 sampai dengan pengujian ke-240, kemudian mengalami penurunan daya tekan motor stepper dengan ditandai oleh penurunan pembacaan laju udara pada waktu pengujian ke-241 sampai dengan pengujian ke-308. Hal ini berakibat pada laju udara yang menurun dan juga pembacaan sensor yang menurun pula. Pengujian ini digunakan untuk memverifikasi bahwa korelasi dalam fluktuasi aliran udara dari parameter adalah nyata jadi, meskipun prosedur ini tidak mengubah distribusi amplitudo dalam deret waktu, urutan yang berkorelasi adalah menurunnya pembacaan sensor pada waktu yang sama.

Pada Gambar 11 terlihat bahwa dalam situasi ini volumenya tetap konstan, dan kemudian dayanya tidak berubah. Pada detik pertama sampai dengan detik ke 308 tidak terdapat penurunan performa pada motor *stepper*. Seperti dapat dilihat dari Gambar 11 dan

Gambar 11, model mengikuti tren laju udara dengan akurasi yang hampir sama. Dari evaluasi kualitatif pertama semua model melakukan rekonstruksi yang baik dari proses penekanan *resuscitator*. Untuk subjek berventilasi dengan kontrol penekanan *resuscitator*, rekonstruksi terburuk adalah selama fase peralihan ketika lengan melepaskan penekan dengan lengan ketika akan menekan *resuscitator*, sedangkan kontrol volume terbaik adalah saat jeda inspirasi.

Pengamatan tren kesalahan berguna untuk menilai perilaku ini. Dari evaluasi terhadap Gambar 8 dan Gambar 9, terlihat bahwa *error* masing-masing model mencapai nilai maksimalnya sesuai dengan waktu yang ada. Selanjutnya dari analisis pada gambar-gambar tersebut dapat diketahui bahwa pada awal inspirasi model tidak sesuai dengan tekanan yang sebenarnya, yang menurun akibat aktivasi rotasi motor *stepper*. Kuantifikasi koefisien determinasi, memungkinkan untuk memahami model mana yang paling andal. Semakin rendah nilai kesalahannya, semakin baik kemampuan model dalam memprediksi data yang diamati. Namun perlu diperhatikan bahwa semakin lama motor bekerja akan terjadi penurunan performa yang diakibatkan oleh kerusakan gear yang terdapat pada gear box ventilator. Hal ini dikarenakan factor keausan pada planetary gear akibat penggunaan yang terus menerus. Faktanya adalah selama melakukan uji coba penelitian ini belum pernah mengganti spare part yang berada pada ventilator sehingga hal ini dimungkinkan menjadi faktor keausan pada planetary gear.

Penelitian ini tidak mengamati secara detail faktor keausan yang diakibatkan penggunaan tersebut karena berfokus pada penelitian performa *motor stepper*. Setelah pengujian alat dilakukan, maka dapat diketahui bahwa sistem dapat bekerja dengan baik untuk mengendalikan putaran *motor stepper* dan mengimplementasikannya pada ventilator

mekanis. Dengan menggunakan metode yang telah dirancang untuk mengoperasikan *motor stepper*, motor dapat bekerja dengan baik untuk menggerakkan lengan penekan resusitator.

Motor stepper Nema 23 dengan metode *microstep* lebih baik untuk diimplementasikan, karena metode ini menghasilkan sudut *step* yang kecil sehingga torsi yang dihasilkan tinggi, selain itu posisi yang diinginkan presisi dan tidak terjadi pergeseran akibat pembebanan pada rotor *motor stepper* untuk setiap pergantian stepnya. Namun sistem masih memiliki kelemahan yaitu pengontrolan *motor stepper* masih menggunakan kendali *open loop*, sehingga tidak ada umpan balik terhadap kinerja sistem.

SIMPULAN DAN SARAN

Motor penggerak pada ventilator mekanis yang dipakai menggunakan motor *stepper* Nema 23 dan motor *stepper* Nema 17. Data hasil penelitian diambil sebanyak 647 kali pembacaan sensor, dimana setiap pembacaan sensor membutuhkan waktu 0,5 detik. Hasil penelitian menggunakan motor *stepper* Nema 17 dan motor *stepper* Nema 23, dengan komparasi pada 5 menit awal menunjukkan bahwa kinerja motor *stepper* Nema 23 mempunyai kinerja lebih baik dibandingkan dengan performa motor *stepper* Nema 17. Dimana motor *stepper* Nema 23 menunjukkan volume pemompaan yang lebih konstan dan tidak ada perubahan daya yang signifikan

DAFTAR PUSTAKA

- He, G., Sun, W., Fang, P., Huang, J., Gamber, M., Cai, J., & Wu, J. (2020). The clinical feature of silent infections of novel coronavirus infection (COVID-19) in Wenzhou. *Journal of Medical Virology*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1002/jmv.25861>
- He, X., Lau, E. H. Y., Wu, P., Deng, X., Wang, J., Hao, X., Lau, Y. C., Wong, J. Y., Guan, Y., Tan, X., Mo, X., Chen, Y., Liao, B., Chen, W., Hu, F., Zhang, Q., Zhong, M., Wu, Y., Zhao, L., ... Leung, G. M. (2020). Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature Medicine*, 26(5), 672–675.

<https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>

Lippi, G., Mattiuzzi, C., Sanchis-Gomar, F., & Henry, B. M. (2020). Clinical and demographic characteristics of patients dying from COVID-19 in Italy versus China. *Journal of Medical Virology*, 0–3. <https://doi.org/10.1002/jmv.25860>

Mangku G, S. T. (2017). *Buku Ajar Ilmu Anestesia dan Reanimasi. Edisi II. Jakarta. Indeks.*

Zhang, Y., Xu, J., Li, H., & Cao, B. (2020). A Novel Coronavirus (COVID-19) Outbreak: A Call for Action. *Chest*, 157(4), e99–e101. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.02.014>