

# Quality Control Patient Trigger Ventilator using Negative Air Pressure

Rahman Maulana Jundika<sup>a,1</sup>, Ardy Seto Priambodo<sup>a,2,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Electrical and Electronics Engineering, Vocational Faculty, UNY

<sup>1</sup> [alifnaufal.2019@gmail.com](mailto:alifnaufal.2019@gmail.com); <sup>2</sup> [ardyseto@uny.ac.id](mailto:ardyseto@uny.ac.id)

\* Corresponding Author

## ARTICLE INFO

### Article History

Received 19 June 2023

Revised 26 June 2023

Accepted 10 July 2023

### Keywords

Patient Trigger Ventilator, Quality Control, Tekanan Udara Negatif.

## ABSTRACT

This research aims to develop a quality control tool for patient trigger ventilators at PT Stechoq Robotika Indonesia. The increasing demand for ventilators has driven PT Stechoq Robotika Indonesia to create high-end ventilators. However, the production process faces challenges, particularly in the manual quality control of patient trigger alarms. Therefore, an automated quality control tool is needed to replace the manual mechanism. The research utilizes the Research and Development method. Trials are conducted on SIMV and CPAP modes with variations in pressure trigger and flow trigger parameters to evaluate the performance of patient trigger alarms on ventilators. The results of implementing the patient trigger quality control tool show an average accuracy rate of 70% for pressure and flow triggers in SIMV and CPAP modes. This tool is expected to reduce time and effort in the quality control process while improving the accuracy of triggering patient alarms on ventilators. Overall, the patient trigger ventilator quality control tool has significant potential in the ventilator industry, with positive implications for product quality and production efficiency at PT Stechoq Robotika Indonesia.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan alat quality control patient trigger ventilator di PT Stechoq Robotika Indonesia. Kebutuhan ventilator yang terus meningkat mendorong PT Stechoq Robotika Indonesia untuk menciptakan ventilator high-end. Namun, proses produksi menghadapi kendala dalam quality control alarm patient trigger yang masih dilakukan secara manual. Oleh karena itu, alat quality control otomatis diperlukan untuk menggantikan mekanisme manual. Metode Research and Development digunakan dalam penelitian ini. Ujicoba dilakukan pada mode SIMV dan CPAP dengan variasi parameter pressure trigger dan flow trigger untuk mengevaluasi kinerja alarm patient trigger pada ventilator. Hasil penerapan alat quality control patient trigger menunjukkan tingkat akurasi rata-rata 70% pada pressure dan flow trigger untuk mode SIMV dan CPAP. Alat ini diharapkan mengurangi waktu dan tenaga dalam proses quality control serta meningkatkan keakuratan memicu alarm patient trigger ventilator. Secara keseluruhan, alat quality control patient trigger ventilator memiliki potensi besar dalam industri ventilator dengan implikasi positif pada kualitas produk dan efisiensi produksi di PT Stechoq Robotika Indonesia..

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.





## 1. Pendahuluan

Ventilator adalah alat untuk membantu kerja paru-paru dalam proses pernapasan saat pasien sulit atau bahkan tidak bisa bernapas. Alat ventilator berfungsi mendorong oksigen masuk ke paru-paru pasien dan mengeluarkan karbon dioksida dari dalam tubuh. Saat ini kebutuhan ventilator secara global juga sedang meningkat, bukan hanya untuk kebutuhan pandemi Covid-19, tetapi juga untuk penanganan penyakit kronis lainnya yang membutuhkan alat bantu pernapasan. Kebutuhan pasar global dari ventilator diperkirakan akan meningkat sebanyak 5% setiap tahunnya dengan nilai sebesar USD5,79 Miliar pada tahun 2022 dan diperkirakan pada tahun 2027 pasar global ventilator akan mencapai USD9,13 Miliar. Maka dari itu Kementerian Perindustrian terus melakukan koordinasi dan memberikan dukungan kepada tim Perguruan tinggi untuk melakukan proses produksi ventilator dan alat bantu pernafasan lainnya.

Oleh sebab itu, anak bangsa mulai bergerak membuat beberapa ventilator salah satunya adalah Venindo V-01 dan R-03 yang merupakan Ventilator asli buatan anak bangsa Indonesia yang diciptakan dengan kolaborasi beberapa perusahaan di Yogyakarta yaitu RSUP dr Sardjito, Universitas Gadjah Mada, PT Swasaya Prakarsa, PT YPTI, PT Stechoq Robotika Indonesia, dan Rajawali 3D. Ventilator yang sudah diproduksi sebelum didistribusikan perlu melalui proses pengecekan akan dilakukan oleh seorang operator. Metode yang dilakukan dalam proses pengecekan yaitu quality control.

Quality Control merupakan proses pengecekan dan pengujian yang dilakukan untuk mengukur serta memastikan kualitas produk telah sesuai dengan standar yang ditetapkan. Quality Control sangat diperlukan di setiap produksi barang sehingga ventilator ini juga perlu dilakukan pengecekan kualitas udara maupun mode-mode yang ada pada ventilator agar sesuai dengan standar yang telah ada. Pada ventilator terdapat beberapa hal yang harus dicek terlebih dahulu sebelum di pasarkan. Salah satunya adalah Alarm Patient Trigger. Patient Trigger adalah tarikan nafas dari pasien yang akan memicu ventilator agar memberikan support berupa oxygen.

Perharinya, ventilator dapat diproduksi sebanyak 40 pcs. Maka dari itu diperlukan standarisasi proses quality control yang baik, agar dapat segera memproduksi ventilator dengan kualitas yang baik di indonesia. Namun di PT Stechoq Robotika Indonesia sendiri masih melakukan Quality Control Patient Trigger secara manual yang dilakukan oleh operator dengan menggunakan sebuah alat yaitu Test Lung dengan cara dikembang-kempiskan secara manual dengan cara ditarik menggunakan tangan.

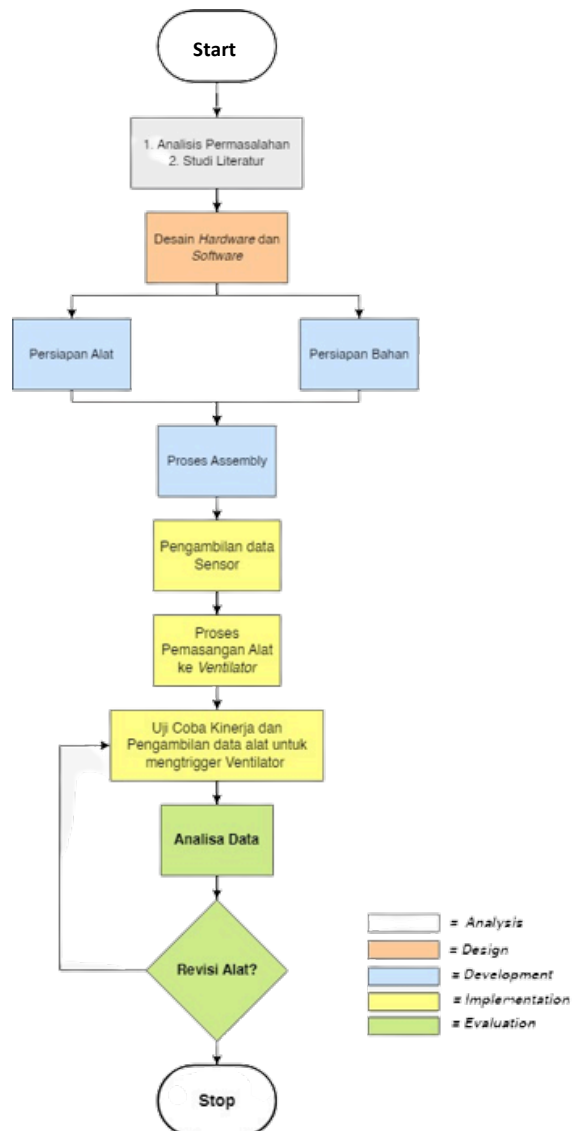
Terdapat alasan kenapa mekanisme quality control secara manual ini perlu digantikan oleh alat quality control otomatis. Diantaranya dari segi akurasi, proses quality control yang dilakukan oleh alat akan lebih memberikan hasil yang akurat dan konsisten daripada tenaga manusia. Selain itu dengan adanya alat quality control ventilator otomatis, proses quality control dapat selalu dilakukan secara terus menerus tanpa memerlukan istirahat atau kelelahan. Selanjutnya adalah untuk mengurangi resiko human error pada saat proses quality control seperti kesalahan pengukuran dan kesalahan ujicoba.

Maka dari itu untuk meningkatkan jumlah produksi ventilator di indonesia, PT Stechoq Robotika Indonesia saat ini sedang mengembangkan alat yang dapat melakukan Quality Control Patient Trigger Ventilator secara otomatis agar bisa mempercepat produksi ventilator di indonesia. Pengembangan alat ini kemudian dijadikan salah satu project riset alat kesehatan yang harus dikerjakan oleh mahasiswa magang MSIB. Peneliti merupakan mahasiswa magang MSIB yang terdaftar di PT Stechoq Robotika Indonesia pada divisi Hardware Engineer dan terplot pada tim Quality Control Patient Trigger Ventilator. Diharapkan dengan terciptanya alat Quality Control ini dapat mempercepat produksi ventilator dan meningkatkan efisiensi proses Quality Control Patient Trigger Ventilator.

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam pembuatan alat quality control patient trigger ventilator mengikuti metode penelitian dan pengembangan R&D (Research and Development)

dengan mengacu pada model ADDIE yang terdiri dari lima tahap, yaitu Analisis, Perancangan, Pengembangan, Implementasi, dan Evaluasi.



**Fig. 1.** Diagram alur penelitian

Pada tahap Analisis, dilakukan analisis terhadap pengembangan alat berdasarkan masalah yang ada di PT Stechoq Robotika Indonesia. Langkah pertama adalah melakukan observasi terhadap proses quality control di PT Stechoq Robotika Indonesia untuk mengumpulkan data mengenai permasalahan yang muncul saat proses quality control ventilator. Selanjutnya, dilakukan wawancara dengan mentor ahli terkait pengembangan alat yang diperlukan untuk mempermudah proses quality control patient trigger pada ventilator. Setelah mendapatkan hasil dari observasi dan wawancara, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi permasalahan yang terjadi saat proses quality control patient trigger pada ventilator. Salah satu permasalahan yang ditemukan adalah proses quality control masih dilakukan secara manual dengan mengembang-kempiskan test lung secara manual dalam waktu minimal selama 1 jam.

Pada tahap perancangan (design) dilakukan perancangan konsep cara kerja, kebutuhan komponen dan software yang akan digunakan, dan design box dari alat quality control patient trigger ventilator. Setelah semua konsep sudah dirancang maka selanjutnya adalah finalisasi konsep. konsep tersebut didiskusikan dengan mentor ahli di PT Stechoq Robotika Indonesia untuk mendapatkan persetujuan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

Pada tahap pengembangan (Development), dilakukan pembuatan alat quality control patient trigger ventilator sesuai dengan finalisasi konsep perancangan sebelumnya. Setelah semua alat dan bahan tersedia, dilakukan proses perakitan alat ke dalam box. Kemudian, alat quality control patient trigger ventilator akan dipasang ke ventilator untuk melakukan pengambilan data mengenai akurasi keberhasilan alat dalam memicu ventilator.

Tahap Implementasi melibatkan ujicoba alat pada ventilator untuk pengujian pressure dan flow trigger pada mode SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation) dan CPAP (Continuous Positive Airway Pressure). Pada tahap ini, dilakukan pengambilan data mengenai keberhasilan alat quality control patient trigger dalam memicu ventilator dengan parameter pressure trigger (-1-15 cmH2O) dan flow trigger (1-5 L/min) pada mode SIMV dan CPAP. Setelah data terkumpul, data tersebut akan diolah menjadi persentase keberhasilan alat dalam memicu ventilator.

Terakhir, tahap Evaluasi bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat quality control patient trigger ventilator dan menganalisis data yang belum dapat dipenuhi oleh alat ini. Pada tahap ini juga dilakukan evaluasi untuk kebutuhan revisi, dan jika tidak ada revisi yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah finalisasi alat. Pada tahap finalisasi, dilakukan persiapan untuk presentasi kepada PT Stechoq Robotika Indonesia untuk tahap produksi massal

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil Rancang Bangun Alat Quality Control Patient Trigger

Rancang Bangun Alat Quality Control Patient Trigger ditunjukkan pada gambar 1 berikut,



Fig. 2. Quality control patient trigger

Berikut merupakan daftar kebutuhan komponen dan fungsinya yang ada pada alat quality control patient trigger ventilator:

Table. 1. Spesifikasi Komponen Elektronik

No.	Komponen	Fungsi
1.	Arduino Nano	Sebagai Mikrokontroler
2.	Pressure Sensor Honeywell	Untuk mengukur tekanan udara yang dihasilkan ventilator
3.	Pressure Sensor Festo SPAN	Untuk mengukur tekanan yang ada pada air reservoir
4.	Flow Sensor Festo SFAH	Untuk mengukur aliran udara yang dihasilkan setelah proses vacuum
5.	Air Reservoir	Sebagai tabung kosong untuk nanti udara didalamnya dihisap menggunakan motor vacuum
6.	Motor Vacuum	untuk menghisap udara yang ada pada Air Reservoir sehingga menghasilkan tekanan udara negatif
7.	Solenoid Valve	Sebagai katup untuk membuka dan menutup salah satu ujung pada air reservoir dan menjadi jalan keluar udara dari support yang diberikan oleh ventilator
8.	Relay 1 Channel	Sebagai saklar yang akan mengaktifkan dan menonaktifkan Solenoid Valve

9.	Step-up Regulator	Untuk menaikkan tegangan dari adaptor 12 V menjadi 24 V
10.	Adaptor 12 V/5A	Sebagai power supply

### 3.2. Cara Kerja Sistem

Alat ini memiliki cara kerja yang menghasilkan output seperti tarikan nafas manusia dengan memanfaatkan negative air pressure. Setelah memasukkan nilai target pressure yang diinginkan, motor vakum akan mulai menghisap udara hingga mencapai target tersebut. Setelah tekanan yang dihasilkan dari hisapan vakum mencapai nilai target, solenoid valve akan terbuka sehingga udara dari saluran luar alat quality control patient trigger ventilator akan terhisap.

Pada awalnya, solenoid valve pada air reservoir akan tertutup. Selanjutnya, motor vakum akan menghisap udara yang tersisa pada air reservoir hingga mencapai nilai target pressure yang dimasukkan. Setelah tekanan yang dihasilkan oleh motor vakum mencapai nilai target, solenoid valve akan terbuka sehingga udara dari saluran udara di luar alat quality control patient trigger ventilator akan terhisap. Hisapan udara tersebut akan menjadi trigger untuk menguji respon ventilator. Nilai tekanan yang dihasilkan dibaca oleh sensor pressure SPAN, sementara nilai aliran udara didapatkan dari pembacaan sensor flow SFAH. Sensor pressure Honeywell digunakan untuk membaca nilai tekanan yang masuk dari ventilator atau support oksigen.

Sistem kerja alat ini menggunakan Arduino nano sebagai mikrokontroler dan diprogram menggunakan Arduino IDE. Prinsip kerjanya melibatkan penggunaan kendali PID (Proportional, Integral, Derivative) yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor vakum agar mencapai nilai masukan target pressure. Alat ini memiliki tiga tahapan dalam urutan kerjanya, yaitu tahap 1 proses vakum, tahap 2 proses membuka valve, dan tahap 3 proses menutup valve. Untuk flowchart dapat dilihat pada gambar 3.

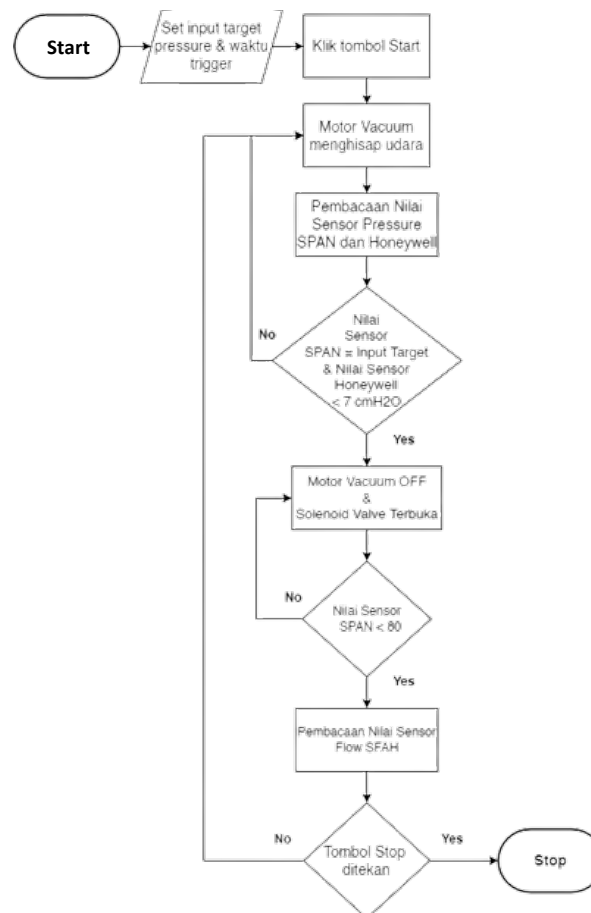


Fig. 3. Flowchart cara kerja alat quality control

### 3.3. Hasil Uji Coba Pressure Trigger pada Mode SIMV

Parameter nilai Pressure trigger yang digunakan untuk uji coba ada pada nilai -1 - -5 cmH2O. Hasil dari uji coba dari alat quality patient trigger ventilator dapat dilihat pada tabel 2. Dari 40 kali ujicoba, alat ini berhasil memicu ventilator sebanyak 23 kali. Dari jumlah keberhasilan tersebut alat ini memiliki tingkat akurasi keberhasilan trigger sebesar 57.5% pada pressure trigger mode SIMV.

**Table 2.** Data pressure trigger mode SIMV

	Pressure Trigger (cmH2O)				
	-1	-2	-3	-4	-5
Target Pressure (cmH2O)	100	V	X	X	X
	150	V	V	X	X
	200	V	V	X	X
	250	V	V	V	X
	300	V	V	V	X
	350	V	V	V	X
	400	V	V	V	V
	450	V	V	V	V

Untuk indikator bahwa alat ini dapat memicu ventilator dapat dilihat pada gambar 4. Dari gambar tersebut apabila ada tarikan udara seperti lingkaran warna merah maka akan muncul notifikasi seperti pada garis warna kuning.



**Fig. 4.** Hasil uji coba mode SIMV dengan pressure trigger

### 3.4. Hasil Uji Coba Flow Trigger pada Mode SIMV

Parameter nilai flow trigger yang digunakan untuk uji coba ada pada nilai 1- 5 L/min. Hasil dari uji coba dari alat quality patient trigger ventilator dapat dilihat pada Tabel 3. Dari 40 kali ujicoba, alat ini berhasil memicu ventilator sebanyak 29 kali. Dari jumlah keberhasilan tersebut alat ini memiliki tingkat akurasi keberhasilan trigger sebesar 72.5% pada flow trigger mode SIMV.

**Table 3.** Data flow trigger mode SIMV

	Flow Trigger (L/min)				
	-1	-2	-3	-4	-5
Target Pressure (cmH2O)	100	V	X	X	X
	150	V	X	X	X
	200	V	V	V	X
	250	V	V	V	V
	300	V	V	V	V
	350	V	V	V	V
	400	V	V	V	V
	450	V	V	V	V

Indikator alat ini dapat memicu ventilator dapat dilihat pada Gambar 5.





Fig. 5. Hasil uji coba mode SIMV dengan flow trigger

### 3.5. Hasil Uji Coba Pressure Trigger pada Mode CPAP

Parameter nilai pressure trigger yang digunakan untuk uji coba ada pada nilai -1 - -5 cmH<sub>2</sub>O. Hasil dari ujicoba dari alat quality patient trigger ventilator dapat dilihat pada tabel 4. Dari 40 kali ujicoba, alat ini berhasil memicu ventilator sebanyak 27 kali. Dari jumlah keberhasilan tersebut alat ini memiliki tingkat akurasi keberhasilan trigger sebesar 67.5% pada pressure trigger mode CPAP.

Table 4. Data pressure trigger mode CPAP

	Pressure Trigger (cmH <sub>2</sub> O)				
	-1	-2	-3	-4	-5
Target Pressure (cmH <sub>2</sub> O)	100	V	X	X	X
	150	V	V	X	X
	200	V	V	V	X
	250	V	V	V	X
	300	V	V	V	X
	350	V	V	V	X
	400	V	V	V	V
	450	V	V	V	V

Indikator alat ini dapat memicu ventilator dapat dilihat pada Gambar 6.



Fig. 6. Hasil uji coba mode CPAP dengan pressure trigger

### 3.6. Hasil Uji Coba Flow Trigger pada Mode CPAP

Parameter nilai flow trigger yang digunakan untuk ujicoba ada pada nilai 1- 5 L/min. Hasil dari ujicoba dari alat quality patient trigger ventilator dapat dilihat pada tabel 5. Dari 40 kali ujicoba, alat ini berhasil memicu ventilator sebanyak 33 kali. Dari jumlah keberhasilan tersebut alat ini memiliki tingkat akurasi keberhasilan trigger sebesar 82.5 %.



**Table 5.** Data flow trigger mode CPAP

	Flow Trigger (L/min)					
	-1	-2	-3	-4	-5	
Target Pressure (cmH2O)	100	V	V	X	X	X
	150	V	V	V	X	X
	200	V	V	V	X	X
	250	V	V	V	V	V
	300	V	V	V	V	V
	350	V	V	V	V	V
	400	V	V	V	V	V
	450	V	V	V	V	V

Indikator alat ini dapat memicu ventilator dapat dilihat pada Gambar 7.



**Fig. 7.** Hasil uji coba mode CPAP dengan flow trigger

Hasil pengujian alat quality control patient trigger ventilator menunjukkan performa yang cukup baik. Setelah dilakukan beberapa kali pengujian, rata-rata akurasi yang diperoleh adalah 70%. Hal ini menunjukkan bahwa alat quality control patient trigger ventilator yang telah dikembangkan mampu memicu ventilator menggunakan pressure trigger dan flow trigger pada setiap mode, meskipun pada beberapa nilai target pressure, alat ini tidak dapat memicu ventilator untuk semua parameter nilai.

Hal ini dikarenakan output keluaran tarikan udara yang terlalu kecil untuk memicu ventilator. Namun apabila output tarikan udara yang dihasilkan cukup besar dari parameter pressure dan flow trigger maka seharusnya muncul notifikasi patient trigger pada ventilator. Dari pernyataan tersebut, jika alat ini tidak dapat memicu ventilator, solusi terbaiknya adalah meningkatkan nilai target pressure pada alat quality control patient trigger ventilator. Namun, kelemahan dari meningkatkan nilai target pressure adalah membutuhkan waktu sekitar 14 detik agar alat dapat memicu ventilator. Hal ini tentu memiliki dampak pada mode SIMV, karena perlu menyesuaikan nilai respiration rate menjadi 4, mengingat dalam 1 menit alat ini akan menghisap udara sebanyak 4 kali pada target pressure 450 cmH2O.

#### 4. Kesimpulan

Setelah dilakukan kegiatan penelitian dan pengembangan (research & development) Alat quality control patient trigger ventilator di PT Stechoq Robotika Indonesia, maka dapat disimpulkan bahwa kerja setiap komponen yang digunakan pada alat quality control patient trigger ventilator dapat bekerja dengan baik dan stabil pada masing masing bagian dengan total eror 1.08 %. Cara kerja alat ini dibuat menyerupai tarikan nafas manusia. Setelah memasukkan nilai target pressure yang diinginkan selanjutnya motor vakum akan mulai menghisap udara sampai target tercapai. Setelah tekanan yang dihasilkan dari hisapan vakum tercapai, solenoid valve akan terbuka menyebabkan udara dari saluran luar alat quality control patient trigger ventilator terhisap. Cara kerja ini akan terus berulang, sehingga proses quality control patient trigger ventilator dapat dilakukan secara otomatis dengan output pressure dan flownya yang dapat diubah sesuai dengan

nilai input target pressure yang dimasukkan. pengaruh dari variasi nilai target pressure dalam uji coba alarm patient trigger ventilator yaitu, semakin besar nilai masukan dari target pressure alat ini maka kemampuan untuk memicu ventilator juga akan semakin besar namun hal ini juga akan berpengaruh pada waktu penarikan udara motor vakum yang juga akan semakin lama khususnya dalam mode SIMV yang dimana juga perlu memperhatikan respiration rate dari ventilator. Sebaliknya jika nilai masukan target pressure kecil maka kemampuan untuk memicu ventilator juga akan menurun namun waktu yang diperlukan untuk menarik udara dari motor vakum akan semakin cepat. Alat quality control patient trigger ventilator memiliki tingkat akurasi pada uji coba pressure trigger mode SIMV sebesar 57.5 %, pressure trigger mode CPAP sebesar 67.5 %, flow trigger mode SIMV sebesar 72.5 %, dan flow trigger mode CPAP sebesar 82.5 %. Dengan total rata-rata sebesar 70 %. Hal ini menunjukkan bahwa alat quality control patient trigger ventilator yang telah dikembangkan mampu memberikan hasil yang konsisten dan dapat meningkatkan efisiensi dari proses quality control patient trigger ventilator di PT Stechoq Robotika Indonesia. Dengan ini juga mekanisme manual proses quality control dapat digantikan dengan alat quality control ventilator otomatis.

Kedepannya, untuk mempercepat waktu penarikan udara dan kekuatan hisap dari motor vakum, motor vakum dapat diganti dengan motor vakum yang memiliki spesifikasi lebih besar dari segi penarikan udaranya. Selain itu, agar alat quality control patient trigger ventilator dapat bekerja tanpa digunakannya laptop, pada pengembangan selanjutnya bisa mengubah HMI dari alat ini dengan HMI baru menggunakan LCD atau OLED.

## References

- [1] Pham, T., Montanya, J., Telias, I. et al. Automated detection and quantification of reverse triggering effort under mechanical ventilation. *Crit Care* 25, 60 (2021).
- [2] Sassoon CS, Gruer SE. Characteristics of the ventilator pressure- and flow-trigger variables. *Intensive Care Med.* 1995 Feb;21(2):159-68. doi: 10.1007/BF01726540. PMID: 7775698.
- [3] Sawyer AM, Gooneratne NS, Marcus CL, Ofer D, Richards KC, Weaver TE. A systematic review of CPAP adherence across age groups: clinical and empiric insights for developing CPAP adherence interventions. *Sleep Med Rev.* 2011 Dec;15(6):343-56. doi: 10.1016/j.smrv.2011.01.003. Epub 2011 Jun 8. PMID: 21652236; PMCID: PMC3202028.
- [4] Santosh V. Angadi, Robert L. Jackson. A critical review on the solenoid valve reliability, performance and remaining useful life including its industrial applications (2022).
- [5] Yavuz Bahadır Koca, Yilmaz Aslan, Baris, G "okc,e, "Speed Control Based PID Configuration of a DC Motor for An Unmanned Agricultural Vehicle", 2021 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE), pp.117-120, 2021.
- [6] Jackson, J. Edward. "Quality Control Methods for Several Related Variables." *Technometrics*, vol. 1, no. 4, 1959, pp. 359–77. JSTOR, <https://doi.org/10.2307/1266717>. Accessed 8 July 2023.
- [7] Pavelchak, N., DePersis, R., London, M., Stricof, R., Oxtoby, M., DiFerdinando, G., & Marshall, E. (2000). Identification of Factors That Disrupt Negative Air Pressurization of Respiratory Isolation Rooms. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 21(3), 191-195. doi:10.1086/501742.
- [8] Sassoon CSh. Triggering of the ventilator in patient-ventilator interactions. *Respir Care.* 2011 Jan;56(1):39-51. doi: 10.4187/respcare.01006. PMID: 21235837.
- [9] Patel DS, Rafferty GF, Lee S, Hannam S, Greenough A. Work of breathing during SIMV with and without pressure support. *Arch Dis Child.* 2009 Jun;94(6):434-6. doi: 10.1136/adc.2008.152926. Epub 2009 Feb 17. PMID: 19224888.
- [10] Duncan AW, Oh TE, Hillman DR. PEEP and CPAP. *Anaesthesia and Intensive Care.* 1986;14(3):236-250. doi:10.1177/0310057X8601400304.
- [11] Robert M Kacmarek. The Mechanical Ventilator: Past, Present, and Future. *Respiratory Care* Aug 2011, 56 (8) 1170-1180; DOI: 10.4187/respcare.01420