

Simulasi Sistem *High Flow Nasal Cannula* berbasis Internet of Things

Aldi Muhamad Fikri¹, Alfirdaus Zaharda², Alief Maulana¹, Rian Fahrizal¹, Imamul Muttakin^{1*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten, Indonesia

²PT. Stechoq Robotika Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Informasi Artikel

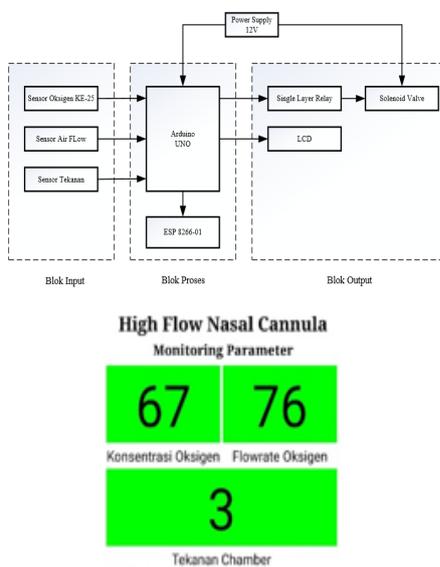
Naskah Diterima : 27 Mei 2024

Direvisi : 28 Mei 2024

Disetujui : 2 Juni 2024

*Korespondensi Penulis :
imamul@untirta.ac.id

Graphical abstract



Abstract

An oxygen therapy device with a high air flow rate or commonly referred to as a high flow nasal cannula (HFNC) has been designed. The device is important to obtain oxygen concentration and flow rate determined by using venturi tube gas mixing. Microcontrollers were employed to process data and connect with WiFi so it can be integrated with internet of things (IoT) system. Measurements were conducted utilizing KE-25 oxygen sensor, FS-300A air flow sensor and MPX5700 pressure sensor to read the parameters. A liquid crystal display (LCD) displays data on oxygen concentration, oxygen flow rate, pressure in the chamber and solenoid valve status. The HFNC was successfully designed on a double layer printed circuit board (PCB).

Keywords: High Flow Nasal Cannula, Oxygen Sensor, Air Flow Sensor, Pressure Sensor, Internet of Things

Abstrak

Paper ini membahas perancangan alat terapi oksigen dengan laju aliran udara tinggi atau biasa disebut dengan *high flow nasal cannula* (HFNC). Alat tersebut penting untuk memperoleh konsentrasi oksigen dan laju aliran yang ditentukan dengan menggunakan pencampuran gas tabung venturi. Mikrokontroler digunakan untuk mengolah data dan terhubung dengan WiFi sehingga dapat terintegrasi dengan sistem *internet of things* (IoT). Pengukuran dilakukan menggunakan sensor oksigen KE-25, sensor aliran udara FS-300A dan sensor tekanan MPX5700 untuk membaca parameter. Layar kristal cair (LCD) menampilkan data konsentrasi oksigen, laju aliran oksigen, tekanan dalam ruang, dan status katup solenoid. HFNC berhasil dirancang pada papan sirkuit cetak (PCB) dua lapis.

Kata kunci: High Flow Nasal Cannula, Sensor Oksigen, Sensor Aliran Udara, Sensor Tekanan, Internet of Things

© 2024 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) merupakan salah satu masalah kesehatan yang masih tetap terjadi hingga saat ini [1]. Infeksi saluran pernapasan menduduki peringkat ke-4 dalam kategori penyakit menular yang paling mematikan dan merupakan urutan ke-10 untuk penyebab kematian di negara berpenghasilan menengah ke bawah [2]. Pada tahun 2021 ditemukan kurang dari 3.000 kasus, pada tahun 2022 meningkat menjadi 50.000-70.000, dan pada tahun 2023 mencapai hingga 200.000. ISPA disebabkan oleh infeksi jasad renik atau bakteri, virus sampai riketsia, dengan dan atau tanpa radang parenkim paru [3]. Contoh virus ISPA yang menjadi pandemi kemarin adalah Covid-19. Apabila tidak diobati dan jika disertai dengan kekurangan nutrisi, maka ISPA akan menjadi berat dan akan menyebabkan terjadinya *bronchitis*, *pneumonia*, otitis media, sinusitis, *cardiac arrest*, syok, bahkan gagal napas [4].

Gagal napas merupakan penyebab utama kematian pada pasien ISPA virus Covid-19 karena disfungsi paru-paru yang mengakibatkan hipoksemia [5]. Kegagalan pernapasan terjadi ketika sistem pernapasan tidak dapat mempertahankan fungsi pertukaran gas untuk memenuhi kebutuhan metabolisme [6]. Gagal napas terbagi menjadi tiga tipe. Tipe 1 (Hipoksemia) adalah ketika $\text{PaO}_2 < 60$ mmHg, gagal napas tipe 2 (Hiperkapnik) adalah ketika $\text{PaCO}_2 > 50$ mmHg, dan gagal napas tipe 3 adalah gabungan dari hipoksemia dan hiperkapnia [7], [8]. Hipoksemia sendiri disebabkan oleh berbagai etiologi termasuk infeksi paru, peradangan, atau eksaserbasi penyakit jantung kronis, atau penyakit paru-paru [9].

Beberapa pasien gagal napas sehingga memerlukan perawatan di unit perawatan intensif (ICU) [10]. Pasien dengan gagal napas akut memerlukan perawatan dengan sumber daya tinggi yaitu penggunaan ventilasi mekanik [11]. Tujuan dari pemasangan ventilator ialah untuk mempertahankan ventilasi alveolar secara optimal guna memenuhi kebutuhan metabolik pasien, memperbaiki hipoksemia, dan memaksimalkan aliran oksigen [12]. Namun, ventilator konvensional memiliki beberapa kekurangan. Pertama, jumlah ventilator pada rumah sakit terbatas sehingga tidak mencukupi jika terjadi bencana alam atau pandemi yang menyebabkan peningkatan jumlah pasien secara signifikan. Kedua, ventilator konvensional memiliki harga yang mahal. Ketiga, ventilator konvensional yang ada adalah invasif sehingga penggunaannya cukup rumit karena perlu dilakukan intubasi untuk memasukkan selang ke dalam saluran pernapasan pasien. Keempat, ventilator invasif dapat menyebabkan trauma sehingga meningkatkan risiko masuknya bakteri berbahaya dari mulut dan tenggorokan ke dalam paru-paru.

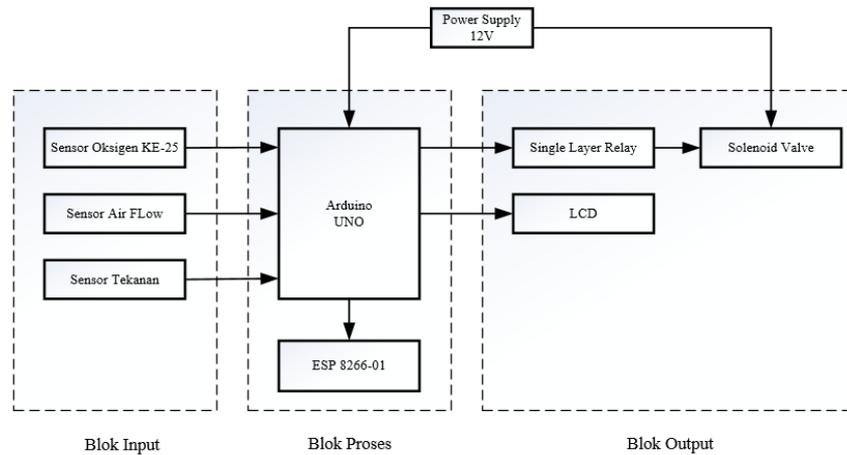
Untuk mengatasi masalah tersebut, telah dilakukan penelitian terkait masalah ini yaitu dengan membuat pengganti alat ventilator yang disebut sebagai HFNC (*High Flow Nasal Cannula*). HFNC adalah alat terapi oksigen yang mampu mengalirkan oksigen dengan konsentrasi dan aliran yang tinggi. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, telah dilakukan pembuatan alat HFNC yang mencapai konsentrasi oksigen antara 30% hingga 100% dan laju aliran oksigen mencapai 60 liter/menit [13]. Sistem dapat digunakan untuk memantau laju aliran oksigen yang dihasilkan [14]. Untuk mencapai parameter yang diinginkan memanfaatkan metode pencampuran gas menggunakan tabung venturi, laju aliran udara diukur dengan sensor FS-300A, konsentrasi oksigen diukur dengan sensor KE-25 [15]. Pada sistem juga terdapat modul WiFi agar dapat dilakukan pemantauan secara jarak jauh [16]. Pemantauan dapat dilakukan pada LCD dan *web platform* IoT pada internet [17].

Penelitian ini akan merancang HFNC sederhana. Alat ini menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler dengan memanfaatkan sensor oksigen KE-25 sebagai pendeteksi konsentrasi oksigen, sensor FS300A sebagai pendeteksi laju aliran udara, dan sensor MPX5700 sebagai pendeteksi tekanan udara. Alat ini terintegrasi IoT sebagai pemantau jarak jauh serta dilengkapi dengan aplikasi *smartphone*. Alat berpotensi digunakan untuk pemberian terapi oksigen untuk pasien yang mengalami gangguan pernapasan akut, hipoksemia, bronkitis, asma, edema paru-paru, dll.

2. METODE

Alur penelitian terfokus pada solusi alternatif yang tepat dari permasalahan yang telah diidentifikasi yaitu dengan HFNC. Tahapan dilakukan dengan membuat rancangan alat baik *hardware* maupun web untuk monitoring. Selanjutnya dilakukan penentuan komponen yang digunakan dalam rancangan, baik perangkat lunak maupun perangkat keras. Setelah perancangan, kemudian dibuat simulasi untuk mengetahui cara kerja alat.

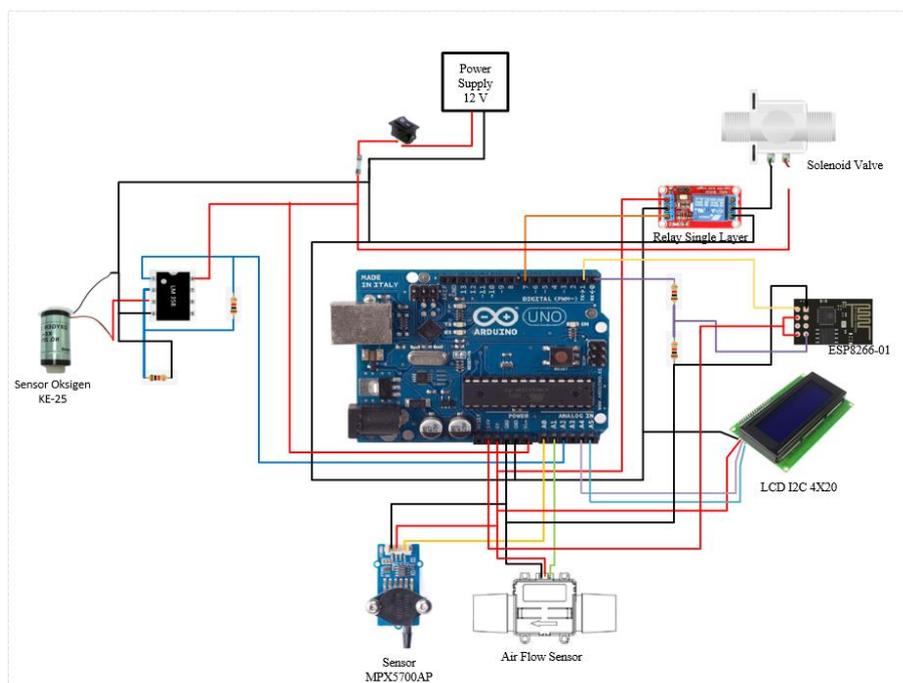
Perancangan sistem HFNC pada penelitian ini terdiri dari perancangan diagram blok, diagram skematik, dan diagram alir sistem. Pertama adalah membuat diagram blok yang terdiri dari komponen yang digunakan.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Diagram blok sistem pada Gambar 1 menunjukkan bagian inti berupa input, proses, dan output HFNC. Input dari sistem adalah kadar oksigen, laju aliran udara, dan tekanan. Pengukuran tersebut direalisasikan menggunakan sensor KE-25, sensor FS300A, serta sensor MPX5700. Peremater terukur kemudian ditransmisikan ke bagian proses yang terdiri dari mikrokontroler Arduino UNO sebagai pengolah inti dan ESP8266-01 sebagai modul komunikasi WiFi. Kondisi yang didapat dari pengolahan data digunakan untuk mengendalikan *solenoid valve* melalui *relay* yang akan menentukan kadar oksigen pada sistem. Output juga akan ditampilkan pada LCD sebagai antarmuka dengan pengguna. Keseluruhan sistem bekerja dengan catu daya eksternal sebesar 12V.

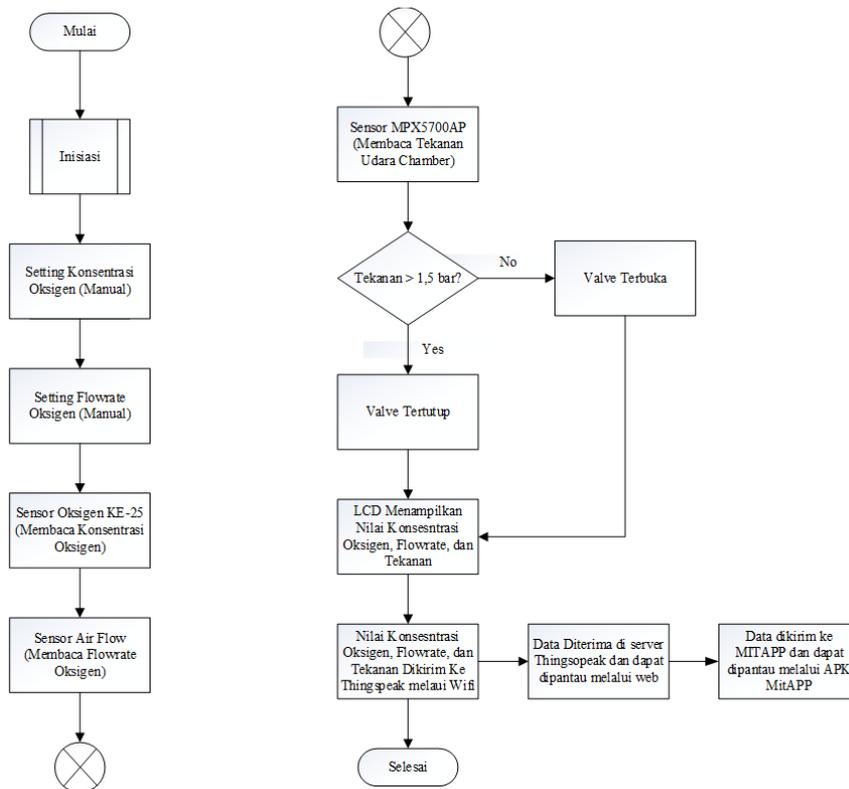
Implementasi diagram blok adalah berupa skematik yang menunjukkan hubungan antar pin komponen yang digunakan. Gambar 2 menunjukkan skematik sistem.



Gambar 2. Diagram skematik sistem

Sensor tekanan MPX5700 dihubungkan dengan input analog A0, sedangkan sensor aliran udara dihubungkan dengan input analog A1 pada Arduino UNO. Sensor oksigen KE-25 memberikan informasi kadar oksigen dengan output analog. Sebelum dihubungkan pada input analog A2 Arduino UNO, output dari sensor KE-25 terlebih dahulu dikuatkan oleh rangkaian penguat. Pengendalian solenoid valve melalui relay diberikan oleh output digital D7 dari Arduino UNO. Transmisi data dibangun oleh modul ESP8266-01 bersama Arduino UNO dimana pengiriman dan penerimaan data terhubung pada pin Tx dan Rx dari masing-masing modul. Tampilan LCD diatur dengan skema komunikasi I2C antara mikrokontroler dengan kit LCD.

Diagram alir kerja sistem pada Gambar 3 menunjukkan logika yang diterapkan ke dalam pemrograman alat.



Gambar 3. Diagram alir sistem

Sistem diinisiasi dengan mengeset konsentrasi oksigen serta laju aliran secara manual. Kemudian konsentrasi oksigen, laju aliran, dan tekanan udara akan dibaca oleh sensor oksigen KE-25, sensor *air flow* FS300A, dan sensor tekanan MPX5700. Pengecekan kondisi dilakukan dengan parameter tekanan pada nilai 1,5 bar. Jika tekanan lebih dari 1,5 bar maka valve ditutup; sebaliknya jika tekanan kurang dari 1,5 bar maka valve dibuka. Nilai kadar oksigen, laju aliran, dan tekanan udara ditampilkan pada LCD serta dikirimkan ke *platform* ThingSpeak dan MIT App untuk pemantauan di tempat maupun secara online.

Perancangan PCB dilakukan menggunakan *software* EAGLE. Perancangan terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah membuat skematik dan tahap kedua adalah dengan membuat *layout* PCB. Pada pembuatan *layout* PCB, hal yang perlu diperhatikan adalah penempatan komponen dan lebar jalur yang digunakan. Untuk menentukan lebar jalur yang sesuai, digunakan perhitungan seperti pada (1) dan (2) di bawah ini.

$$A = \left(\frac{I}{k \times T_{rise}^b} \right)^{\frac{1}{c}} \tag{1}$$

$$W = \frac{A}{t \times 1,378} \tag{2}$$

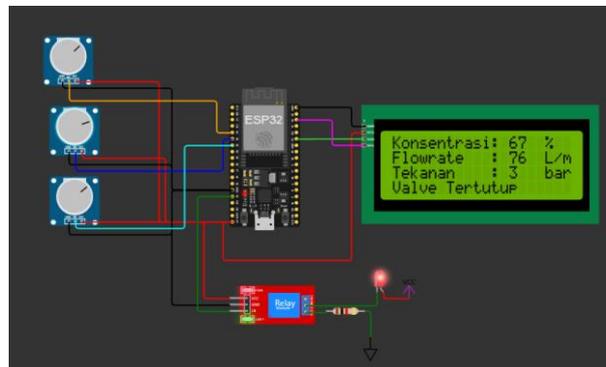
dimana A merupakan luas area, W adalah lebar jalur, $Trise$ kenaikan temperature, t yaitu ketebalan, dengan nilai-nilai $k = 0,024$, $b = 0,44$, $c = 0,725$ adalah konstan dari IPC-2221.

Simulasi dibuat menggunakan *platform* Wokwi, ThingSpeak, dan MIT App Inventor. Wokwi digunakan untuk membuat simulasi rangkaian komponen. ThingSpeak digunakan untuk memonitoring hasil simulasi melalui jarak jauh. MIT App Inventor digunakan untuk membuat aplikasi berbasis *smartphone*.

Desain fisik alat HFNC menggunakan perangkat lunak Blender. Blender adalah perangkat lunak *open source* pada komputer yang digunakan untuk membuat model cetak 3D, animasi, efek visual, dll. Perangkat Blender dipilih pada penelitian ini karena kemudahannya dalam merancang dan fitur yang cukup untuk membuat desain sederhana alat HFNC.

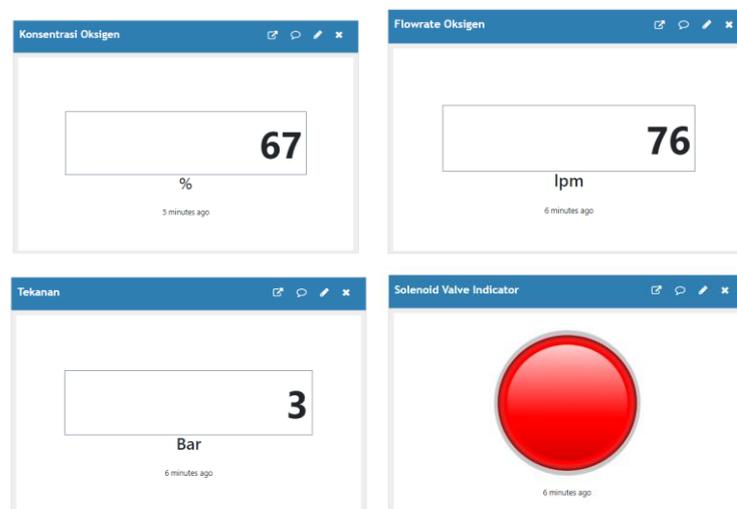
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi cara kerja alat dilakukan menggunakan *platform* wWkwi. Simulasi ini berguna untuk menunjukkan cara kerja alat agar fungsinya dapat terkonfirmasi. Karena keterbatasan komponen yang pada Wokwi, maka digunakan komponen pengganti sebagai model ekivalennya. Tiga buah potensiometer digunakan untuk mengganti sensor oksigen, laju aliran, dan tekanan udara. LED digunakan sebagai pengganti untuk komponen *solenoid valve*. LCD digunakan sebagai *display* untuk menampilkan hasil pembacaan sensor-sensor (dalam hal ini potensiometer). Pada LCD juga terdapat teks untuk menampilkan status *solenoid valve*. Hasil simulasi diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil simulasi Wokwi

Tahap monitoring berbass IoT menggunakan *platform* ThingSpeak. Disini dapat diamati parameter-parameter yang diperlukan melalui jarak jauh menggunakan internet. Dari hasil pengujian, tampak pada Gambar 5 nilai yang tertampil pada ThingSpeak sesuai dengan nilai pada Wokwi. Nilai pada ThingSpeak diperbarui setiap 15 detik. Terdapat juga indikator untuk melihat status *solenoid valve* terbuka atau tertutup.



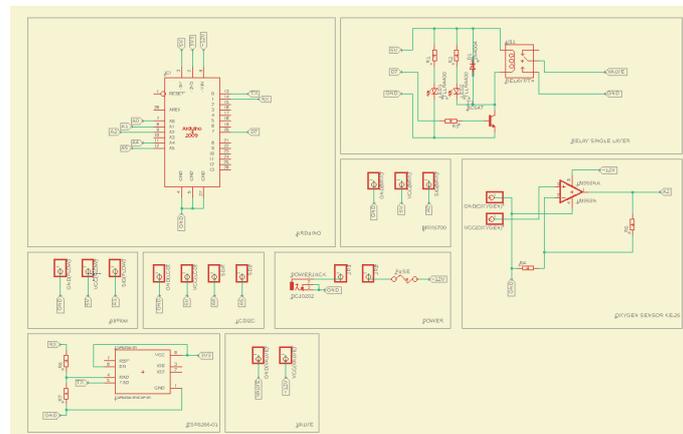
Gambar 5. Hasil monitoring ThingSpeak

Selain itu, monitoring juga dapat dilakukan menggunakan aplikasi *smartphone* yang dibuat menggunakan MIT App Inventor. Pada aplikasi dapat dilihat parameter konsentrasi oksigen, laju aliran oksigen, dan tekanan pada *chamber*.

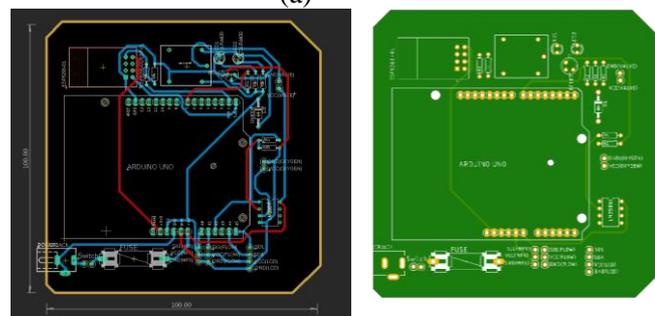


Gambar 6. Hasil monitoring aplikasi *smartphone*

Gambar 6 menunjukkan tampilan aplikasi pada *smartphone* yang merinci parameter pemantauan alat HFNC. Pada layar akan ditampilkan nilai konsentrasi, laju aliran (*flow rate*) oksigen, dan tekanan *chamber*. Nilai-nilai tersebut bersesuaian dengan simulasi *hardware* serta data pada *platform web*.



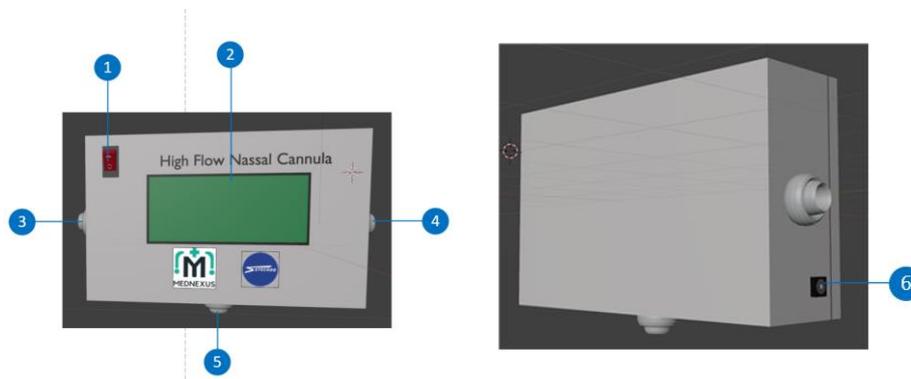
(a)



(b)

Gambar 7. (a) Skematik rangkaian EAGLE; (b) Hasil rancangan *layout PCB*

Hasil perancangan PCB ditunjukkan pada Gambar 7. Pada *layout* PCB, lebar jalur *power* Vin dan 5V yang diterapkan adalah 0,812 mm atau 32 inch. Lebar jalur yang diterapkan pada *power* 3,3V dan I/O adalah 0,1016 mm atau 4 mil. Angka ini didapatkan dari perhitungan lebar jalur pada rumus IPC-2221. PCB yang didesain terdiri dari dua layer yaitu *top* dan *bottom*. Ukuran PCB pada desain ini adalah sebesar 100 mm × 100 mm. Selain itu, dilakukan juga penamaan pada setiap komponennya yang berguna untuk memudahkan peletakan komponen ke PCB.



Gambar 8. Hasil desain 3D alat

Desain fisik HFNC secara 3D ditunjukkan pada Gambar 8. Bagian-bagian alat dirinci dengan penomoran sesuai fungsinya. Saklar (nomor 1) digunakan untuk menghidupkan dan mematikan. LCD (nomor 2) akan menampilkan parameter-parameter oksigen dan status *solenoid valve* sebagai pengaman. *Air Inlet* (nomor 3) adalah jalur dari kompresor angin untuk masukan ke tabung venturi. *Respiratory Outlet* (nomor 4) adalah keluaran dari pencampuran gas yang menghasilkan konsentrasi dan *flow rate* oksigen yang diinginkan. *Oxygen inlet* (nomor 5) dari tabung oksigen untuk masukan dari tabung venturi. *Jack DC power supply* (nomor 6) untuk dipasangkan dengan adaptor 12V.

4. KESIMPULAN

High Flow Nasal Cannula (HFNC) adalah alat terapi yang mampu mengatur aliran oksigen dengan konsentrasi 21%-100% dan laju aliran mencapai 70 lpm. Cara kerja HFNC adalah dengan mengatur tekanan oksigen dan kompresor udara yang masuk ke tabung venturi untuk mendapatkan parameter yang diinginkan. Simulasi HFNC pada penelitian ini diintegrasikan dengan IoT yang memudahkan monitoring jarak jauh parameter-parameter oksigen untuk pasien. Untuk meningkatkan efisiensi alat HFNC, fitur tambahan dapat berupa pengaturan suhu dan kelembaban untuk meningkatkan kenyamanan pasien.

REFERENSI

- [1] A. Magda Lesiwal and R. Adrianto, "Kasus ISPA Saat Pandemi Covid-19 Pada Masyarakat di Sekitar Hauling Batubara," *Kampurui J. Kesehat. Masy. (The J. Public Heal.)*, vol. 3, no. 1, pp. 19–25, 2021, doi: 10.55340/kjkm.v3i1.359.
- [2] S. M. Khairunnisa, O. Setiani, N. E. Wahyuningsih, and N. Nurjazuli, "Analisis Tata Laksana Klinik Sanitasi Untuk Pengendalian Ispa Pada Masa Pandemi Covid-19," *Link*, vol. 18, no. 2, pp. 86–95, 2022, doi: 10.31983/link.v18i2.8830.
- [3] F. Aulia and L. Fauzi, "Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian ISPA Pada Balita di Puskesmas Pasar Kemis, Kabupaten Tangerang," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>
- [4] T. S. Dewy, "PENGARUH LATIHAN SLOWDEEP BREATHING TERHADAP RESPIRATION RATE PADA PASIEN ISPA (The Effect of Slowdeep Breathing Training on Respiration Rate in Ispa Patients)," *J. Darul Azhar*, vol. 9, no. 1, pp. 70–76, 2020.
- [5] Y. Hidayat, "Hubungan Alat Bantu Napas Non Invasive Dengan Hemodinamik : Literature Review," *Lentera Perawat*, vol. 3, no. 2, pp. 38–45, 2022.
- [6] B. Ficial *et al.*, "Physiological basis of extracorporeal membrane oxygenation and

- extracorporeal carbon dioxide removal in respiratory failure,” *Membranes (Basel)*, vol. 11, no. 3, p. NA, 2021, doi: 10.3390/membranes11030225.
- [7] M. Sakti, F. Ferianto, D. V. Siswoyo, F. Candita, and R. F. Ifani, “Tatalaksana Gagal Nafas Akut Akibat Edem Paru Akut Pada Pasien Dengan Hipertensi,” *Collab. Med. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 26–32, 2021, doi: 10.36341/cmj.v4i1.2161.
- [8] E. E. Lius and I. Syafaah, “Hyperoxia in the management of respiratory failure: A literature review,” *Ann. Med. Surg.*, vol. 81, no. 6, p. 104393, 2022, doi: 10.1016/j.amsu.2022.104393.
- [9] S. Oczkowski *et al.*, “ERS clinical practice guidelines: high-flow nasal cannula in acute respiratory failure,” *Eur. Respir. J.*, vol. 59, no. 4, 2022, doi: 10.1183/13993003.01574-2021.
- [10] Y. Al Chikhanie, D. Veale, M. Schoeffler, J. L. Pépin, S. Verges, and F. Hérenge, “Effectiveness of pulmonary rehabilitation in COVID-19 respiratory failure patients post-ICU,” *Respir. Physiol. Neurobiol.*, vol. 287, no. March, 2021, doi: 10.1016/j.resp.2021.103639.
- [11] J. A. Kempker, M. K. Abril, Y. Chen, M. R. Kramer, L. A. Waller, and G. S. Martin, “The Epidemiology of Respiratory Failure in the United States 2002-2017: A Serial Cross-Sectional Study,” *Crit. Care Explor.*, vol. 2, no. 6, p. E0128, 2020, doi: 10.1097/CCE.000000000000128.
- [12] A. D. Oktavian, “Rancang Bangun Alat Bantu Pernapasan Ventilator Berbasis Wireless Sensor Network,” *J. ICTEE*, vol. 1, no. 1, pp. 11–14, 2020.
- [13] E. Susana *et al.*, “Rancang Bangun Kanula Hidung Aliran Tinggi dilengkapi Sistem Humidifikasi untuk Hipoksemik Akut,” *Teknik*, vol. 43, no. 3, pp. 287–295, 2022, doi: 10.14710/teknik.v43i3.42888.
- [14] R. A. Fatkhur Rokhman, T. B. Indrato, E. D. Setioningsih, and S. Misra, “High Flow Oxygen Analyzer Design on High Flow Nasal Cannula (HFNC) for Monitoring Oxygen therapy in Adults,” *J. Teknokes*, vol. 15, no. 4, pp. 223–229, 2022, doi: 10.35882/teknokes.v15i4.470.
- [15] R. S. Utomo, “Rancang Bangun High Flow Nasal Cannula dengan Parameter Flow Rate,” *Med. Tek. J. Tek. Elektromedik Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 71–83, 2022, doi: 10.18196/mt.v3i2.13844.
- [16] S. T. F and M. R. Mak, “Monitoring the Occurrence of Alarms in High Flow Nasal Cannula (HFNC) Using IoT-Based Thingier . io Platform for COVID-19 Isolation Room,” *J. Teknokes*, vol. 16, no. 1, pp. 37–43, 2023.
- [17] R. I. Puspitasari, D. Titisari, and L. Lamidi, “Monitoring Oxygen Concentration and Humidity Parameters of Bubble CPAP Based on IoT,” *J. Teknokes*, vol. 16, no. 2, pp. 80–85, 2023.