

A compact oxygen concentrator for premature infants: Integrating portability and performance in the third-generation prototype

Cornelia Christiani Vianney, Yudan Whulanza, Imansyah Ibnu Hakim, Raldi Artono Koestoe¹

Heat Transfer Laboratory, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424

¹Email korespondensi: koestoe@eng.ui.ac.id

Abstract. Oxygen concentrators are vital devices in medical oxygen therapy. It provides supplemental oxygen extracted from ambient air to patients with hypoxemia or other conditions characterized by low blood oxygen saturation. The need for oxygen therapy extends across various patient populations, including adults, children, and neonates, especially premature infants. However, commercially available concentrators are usually designed for adults, making them unsuitable for premature infants whose delicate, underdeveloped organs can be harmed by high oxygen levels. Meanwhile, field observations from the Indonesian Incubator Team indicate frequent demand for supplemental oxygen following hospital discharge. To meet the urgent need for a suitable device, especially for premature infants discharged from hospitals, this study describes the design and development of a compact, portable, and neonatal-specific oxygen concentrator. A reverse engineering approach was adopted through a three-phase prototyping process. The first prototype verified the feasibility of the pressure swing adsorption (PSA) principle as the oxygen concentrator's main process. The second prototype integrated a complete system to evaluate performance by measuring flow rate and oxygen concentration and adjusting components to achieve optimal results. The final, third prototype refined the design to improve compactness and portability. The device achieved an oxygen concentration of about 40% at a steady flow rate of 2 L/min. This advanced oxygen concentrator represents a significant step forward in neonatal care, providing a tailored, accessible solution that can support widespread use in home-based infant healthcare programs.

Keywords: oxygen concentrator, portable, infant, design development

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/zs2cbg95>

PENDAHULUAN

Konsentrator oksigen merupakan alat medis yang memanfaatkan kandungan oksigen di atmosfer untuk menyediakan pasokan oksigen tambahan bagi para penderita gangguan pernapasan [1, 2]. Tidak hanya orang dewasa yang memerlukan tambahan oksigen, bayi juga memerlukan oksigen untuk mengatasi kekurangan oksigen dalam darah setelah lahir [3, 4]. Bayi yang baru lahir, terutama bayi prematur, memiliki kondisi *Respiratory Distress Syndrome* (RDS) dimana kondisi organ paru-paru yang belum berkembang sempurna [5]. Terapi oksigen dengan konsentrator oksigen dapat meningkatkan kadar oksigen dalam darah bayi untuk membantu fungsi kerja organ dalam perkembangannya.

Terapi oksigen pada bayi prematur merupakan intervensi penting namun berisiko tinggi, karena organ-organ mereka masih belum matang dan sangat sensitif terhadap perubahan konsentrasi oksigen. Rentang target saturasi oksigen (SpO_2) pada populasi neonatal lebih sempit dibandingkan orang dewasa, sehingga pemberian oksigen yang berlebihan dapat memicu komplikasi serius, seperti retinopati prematuritas atau kerusakan paru berkembang [6]. Di sisi lain, hipoksemia juga mengancam kelangsungan hidup bayi. Oleh karena itu, diperlukan perangkat konsentrator oksigen yang mampu memberikan aliran

gas dengan konsentrasi terkendali, stabil, serta mudah dioperasikan di berbagai kondisi klinis.

Dalam satu dekade terakhir, penelitian mengenai konsentrator oksigen telah berkembang melalui optimasi *Pressure Swing Adsorption* (PSA), integrasi sensor untuk pemantauan konsentrasi secara real-time, serta penerapan desain terbuka (open hardware) untuk menekan biaya produksi. Meski demikian, sebagian besar konsentrator yang tersedia masih ditujukan bagi pasien dewasa, dengan ukuran besar, bobot berat, serta biaya yang tinggi. Keterbatasan ini menyulitkan penerapan di fasilitas kesehatan kecil atau layanan berbasis komunitas, khususnya di negara dengan infrastruktur terbatas. Selain itu, organisasi Tim Inkubator Indonesia, yang bergerak di bidang pengembangan alat medis dan meminjamkan inkubator portabel secara gratis ke keluarga bayi prematur, sering menemui kasus dimana keluarga bayi juga memerlukan tabung oksigen untuk perawatan di rumah, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Pengamatan akan kejadian tersebut menegaskan kebutuhan akan konsentrator oksigen neonatal yang portabel, ringan, terjangkau, dan dapat dirakit dari komponen komersial yang tersedia secara lokal.

Penelitian sebelumnya telah berhasil mengembangkan prototipe konsentrator oksigen dua tahap. Prototipe I berfokus pada pembuktian konsep dasar sistem PSA, dilanjutkan dengan Prototipe II, yang mengintegrasikan sistem secara lebih

menyeluruh sampai dengan evaluasi operasional. Meskipun Prototipe II menunjukkan fungsionalitas yang menjanjikan, terdapat kesenjangan (gap) yang signifikan antara desain yang ada dengan kebutuhan aplikasi neonatal. Prototipe II belum dioptimalkan

dalam hal dimensi, bobot, dan tata letak komponen, sehingga belum memenuhi kriteria sebagai perangkat portabel yang ringkas dan efisien untuk ditempatkan di dekat inkubator bayi.

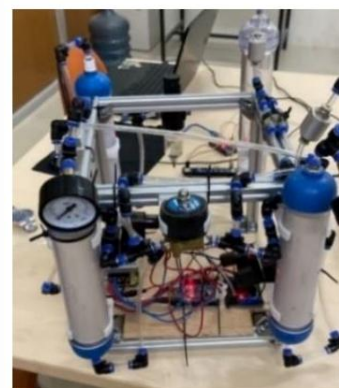


Gambar 1. Dokumentasi Peminjaman Inkubator Bayi Bersama Tabung Oksigen

Perkembangan Prototipe I dan II

Prototipe I merupakan fase awal yang didedikasikan untuk validasi prinsip Pressure Swing Adsorption (PSA). Tahap ini berfokus pada pembangunan rangkaian inti, mulai dari udara yang dikompresi, disaring hingga dialirkan ke dalam tabung zeolit melalui katup solenoida, dan akhirnya keluar dari tabung. Pengujian menunjukkan sistem beroperasi dengan stabil pada tekanan 0,2 MPa, yang menghasilkan aliran udara keluar dari tabung zeolit. Hasil ini memberikan validasi awal yang kuat terhadap konsep PSA [7]. Pengujian metode PSA ini menggunakan rangkaian komponen yang disusun pada sebuah papan yang berfungsi sebagai model untuk merepresentasikan aliran udara dalam sistem.

Prototipe II dikembangkan sebagai penyempurnaan dari Prototipe I, dengan mengintegrasikan sistem lengkap untuk pengujian performa secara menyeluruh. Sistem ini mencakup seluruh alur kerja, mulai dari input udara terkompresi hingga pengiriman oksigen ke pasien. Pengujian performa menunjukkan bahwa Prototipe II mampu menghasilkan oksigen dengan kemurnian 40% pada laju aliran 2 L/menit. Penelitian ini juga mengidentifikasi bahwa waktu siklus adsorpsi optimal untuk mencapai konsentrasi oksigen stabil tertinggi adalah 3 detik [8]. Semua komponen disusun pada rangka besi kotak, dan model ini menjadi dasar acuan untuk pengembangan Prototipe III dari segi kompakabilitas. Gambar Prototipe I dan Prototipe II ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Dokumentasi Konsentrator Oksigen Pengembangan Sebelumnya; Prototipe I (kiri) dan Prototipe II (kanan)

Standar Terapi Oksigen Neonatal

Terapi oksigen yang dijalankan juga memiliki potensi risiko pada bayi apabila tidak diberikan secara tepat [9]. Bayi normal memiliki tingkat oksigen dalam darah (SpO₂) sebesar 99-100%, sedangkan bayi prematur

memerlukan terapi oksigen untuk mempertahankan SpO₂ dalam rentang 90-95% untuk menghindari risiko hipoksemia dan hiperoksemia [10]. Pemberian terapi oksigen disesuaikan dari 21% sampai dengan 100% sesuai kebutuhan setiap bayi dan dikontrol setiap 20-30 menit [10, 11]. Bayi dengan usia kehamilan lebih

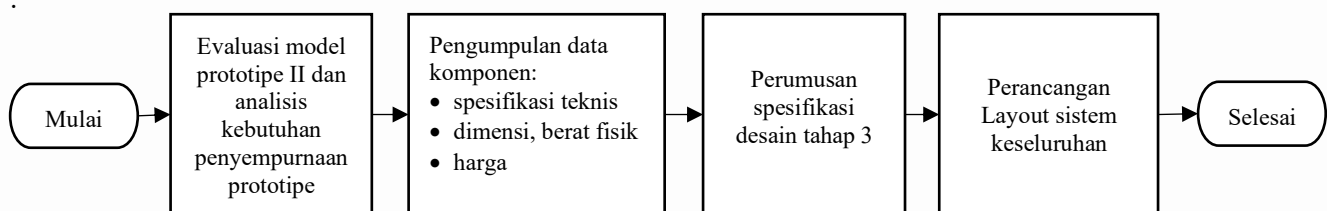
dari 33 minggu memerlukan tingkat kemurnian oksigen tambahan (FiO₂) sebesar 30%. Bayi prematur di bawah usia kehamilan 28 minggu memerlukan FiO₂ di sekitar 30-40% [12-14]

METODOLOGI

Desain dan Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui pendekatan desain rekayasa dengan tahapan yang sistematis, seperti diilustrasikan pada Gambar 3. Tahapan penelitian diawali dengan evaluasi mendalam terhadap desain Prototipe II untuk mengidentifikasi area yang memerlukan penyempurnaan, terutama terkait

portabilitas. Rangkaian lengkap yang digunakan pada Prototipe II menjadi rangkaian utama pada Prototipe III, ditambahkan dengan komponen pendukung seperti LCD untuk menampilkan hasil bacaan sensor oksigen. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data komprehensif untuk setiap komponen, mencakup spesifikasi teknis, dimensi fisik, berat, dan harga. Data ini menjadi dasar pertimbangan untuk merumuskan spesifikasi desain Prototipe III yang menargetkan kebutuhan neonatal. Tahap akhir adalah perancangan tata letak sistem secara keseluruhan, di mana posisi setiap komponen diatur pada sebuah struktur untuk mencapai volume yang paling ringkas dan bobot yang paling ringan

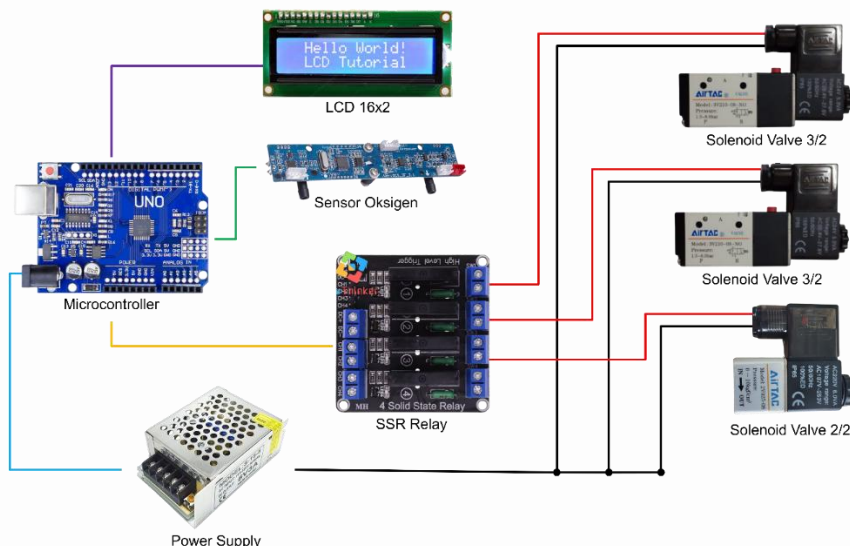


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian Pengembangan Konsentrator Oksigen Prototipe III

Perancangan Sistem

Sistem pada konsentrator oksigen Prototipe III mencakup dua rangkaian besar, yaitu rangkaian elektrik dan mekanikal yang diadopsi dari penelitian sebelumnya. Sistem kontrol diatur oleh mikrokontroler Arduino Uno, yang mengendalikan tiga katup

solenoida melalui modul *Solid-State Relay* (SSR) 4-channel. Sebuah layar LCD 16x2 ditambahkan pada rangkaian untuk menampilkan data konsentrasi oksigen dan laju aliran yang dibaca oleh sensor oksigen OCS-3F. Seluruh sistem elektrik ditenagai oleh sebuah power supply AC ke DC. Rangkaian elektrik yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 4.



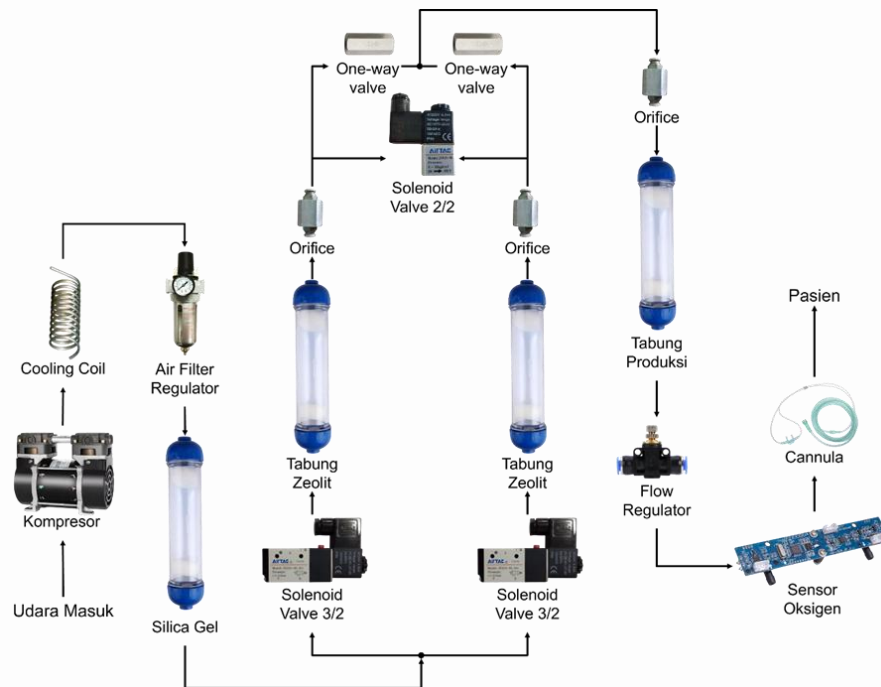
Gambar 4. Skema Rangkaian Elektrikal Konsentrator Oksigen Prototipe III

Program pada mikrokontroler dirancang untuk mengatur waktu buka-tutup katup solenoida secara presisi untuk menjalankan siklus PSA yang terdiri dari tahap produksi, pelepasan (*flush*), dan pengisian ulang (*pre-charge*) dari dua tabung zeolit. Waktu tunda (*delay*) untuk setiap tahap diatur berdasarkan hasil

optimal dari penelitian Prototipe II, yaitu 3000 ms untuk produksi, 500 ms untuk *flush*, dan 1000 ms untuk *pre-charge*. Selain itu, program juga secara kontinu membaca dan menampilkan data dari sensor oksigen ke layar LCD.

Struktur mekanikal konsentrator oksigen dirancang sebagai sistem utuh yang terdiri dari komponen komersial. Udara masuk pertama kali ditarik oleh kompresor, didinginkan oleh *cooling coil*, dan disaring oleh *air filter regulator* serta tabung gel silika untuk menghilangkan uap air. Udara kering bertekanan kemudian dialirkan secara bergantian ke dua tabung

zeolit melalui katup solenoida 3/2. Oksigen yang telah dipisahkan kemudian dialirkan ke tabung produksi, diatur laju alirannya oleh *flow regulator*, sebelum akhirnya disalurkan ke pasien. Semua komponen dihubungkan dengan selang pneumatik. Komponen lengkap rangkaian mekanikal yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Rangkaian Mekanikal Konsentrator Oksigen Prototipe III

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Desain dan Spesifikasi Komponen

Berdasarkan analisis kebutuhan terapi neonatal dan evaluasi prototipe sebelumnya, parameter desain untuk

Prototipe III ditetapkan sebagai berikut: tingkat konsentrasi oksigen target 40-50% (mengacu pada hasil Prototipe II), laju aliran 2 LPM, dan tingkat kebisingan <50 dB. Spesifikasi desain tambahan adalah bobot total <5 kg yang mengacu pada contoh

konsentrator oksigen komersial di Laboratorium Perpindahan Kalor Fakultas Teknik Universitas Indonesia, dan dimensi yang lebih kecil dari inkubator bayi standar, guna menunjang permintaan peminjaman bersama dengan inkubator bayi Grashof milik Tim Inkubator Universitas Indonesia. Untuk mencapai target tersebut, dilakukan pengukuran dimensi dan bobot komponen yang digunakan pada konsentrator oksigen Prototipe III dan hasil penelitian Prototipe II.

Data spesifikasi komponen utama konsentrator oksigen disajikan pada

Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Data Komponen Utama Konsentrator Oksigen Prototipe III

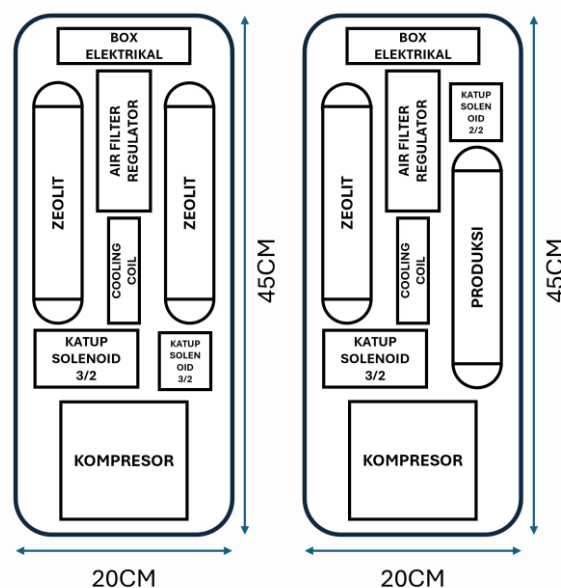
No.	Metrik	Nilai
1.	Volume komponen minimum	8.826,8 cm ³
2.	Bobot komponen	4.978,1 g
3.	Kinerja rujukan Prototipe II	~40% O ₂ @ 2 LPM

Desain Tata Letak dan Analisis

Sebuah tata letak vertikal yang ringkas, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Posisi komponen dengan massa lebih berat, seperti kompresor, ditempatkan di bagian bawah untuk menjaga stabilitas. Tabung zeolit, tabung produksi, dan tabung gel silika disusun secara vertikal untuk mendukung sistem PSA. Sesuai dengan operasional sistem PSA, katup solenoid diposisikan di bawah tabung zeolit. Komponen mekanik lainnya ditempatkan di bagian tengah, di antara keempat tabung tersebut. Terakhir, seluruh komponen elektrik ditempatkan dalam boks terpisah pada bagian atas

untuk memastikan keamanan dan memfasilitasi kemudahan perawatan.

Berdasarkan tata letak komponen, volume keseluruhan konsentrator oksigen Prototipe III diperkirakan sekitar 18.000 cm³ (20 cm x 20 cm x 45 cm), dengan pendekatan struktur balok. Estimasi massa akhir perangkat, setelah memperhitungkan material casing, selang, fitting, dan boks elektrik, mencapai 5,2 kg. Perkiraan ini mencakup ruang dan komponen pendukung yang tidak terhitung dalam volume minimal dari masing-masing komponen. Ditambah dengan target kemurnian oksigen yang dituju, Tabel 2 menunjukkan metrik konsentrator oksigen Prototipe III.



Gambar 6. Desain Penempatan Komponen Konentrator Oksigen Prototipe III; tampak depan (kiri) dan tampak samping (kanan)

Tabel 2. Tabel Metrik Konsentrator Oksigen Prototipe III

No.	Metrik	Nilai
1.	Volume komponen minimum	8.826,8 cm ³
2.	Estimasi volume overall	~18.000 cm ³
3.	Bobot komponen	4.978,1 g
4.	Estimasi bobot overall	~5,2 kg
5.	Kinerja rujukan Prototipe II	~40% O ₂ @ 2 LPM
6.	Target Prototipe III	50% O ₂ @ 2 LPM

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merumuskan desain dan tata letak untuk prototipe III konsentrator oksigen portabel yang ditujukan untuk terapi neonatal. Desain yang diusulkan memiliki estimasi volume akhir sebesar 18.000 cm³ (20x20x45 cm) dengan perkiraan

berat 5,2 kg. Dengan asumsi kinerja setara dengan prototipe sebelumnya (kemurnian oksigen 40% pada 2 LPM), desain ini menjawab kebutuhan akan perangkat terapi oksigen yang ringkas, portabel, dan berbiaya rendah. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah cetak biru rekayasa yang fokus pada optimasi dimensi dan bobot. Namun, terdapat batasan bahwa bobot akhir

sedikit melebihi target, sehingga disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada penggantian beberapa komponen terbesar seperti kompresor dan tabung zeolit untuk mengurangi bobot dan volume, diikuti dengan pengujian lanjutan, serta penyederhanaan rangkaian elektrikal menggunakan *Printed Circuit Board* (PCB) untuk meringkas rangkaian kabel guna mencegah potensi disfungsi elektrikal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing akademis penulis beserta dosen pembimbing penelitian ini, rekan penelitian mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Indonesia selaku peneliti utama pada tahap kedua pengembangan prototipe konsentrator oksigen, serta Tim Inkubator Universitas Indonesia.

DANA PENELITIAN

Penelitian ini telah didanai oleh Yayasan Bayi Prematur Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. R. Vemula, M. Kothare, and S. Sircar, "Novel Design and Performance of a Medical Oxygen Concentrator Using a Rapid Pressure Swing Adsorption Concept," *AIChE Journal*, vol. 60, 2014, doi: 10.1002/aic.14518.
- [2] S. Ongtrakul, A. Thitiratannapong, C. Pintavirooj, and T. Treebupachatsakul, "Pressure Swing Absorption Oxygen Concentrator equipped with Remote Monitoring Pulse Oximeter," in *2021 13th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*, ed, 2021, pp. 1-5.
- [3] W. Stoudemire, "Common respiratory disorders in children," in *Encyclopedia of Child and Adolescent Health, First Edition*, vol. 1: Elsevier, 2023, pp. 600-616.
- [4] F. Jabeen, R. Ahmad, N. Khursheed, S. Rashid, A. Ali, and S. A. Ganie, "Pharmacogenomics of pulmonary and respiratory diseases," in *Pharmacogenomics: from Discovery to Clinical Implementation*: Elsevier, 2023, pp. 223-246.
- [5] T. Keim, R. Amjad, and R. Fales, "Modeling and feedback control of inspired oxygen for premature infants," in *ASME 2011 Dynamic Systems and Control Conference and Bath/ASME Symposium on Fluid Power and Motion Control, DSCC 2011*, 2011, vol. 1, pp. 501-508, doi: 10.1115/DSCC2011-6107. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84881413229&doi=10.1115%2fDSCC2011-6107&partnerID=40&md5=aafa912898eb223f5b9b02bb2e094adc>
- [6] W. Tin, "Optimal oxygen saturation for preterm babies: Do we really know?," in *Biology of the Neonate*, 2004, vol. 85, 4 ed., pp. 319-325, doi: 10.1159/000078173. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-3042677619&doi=10.1159%2f000078173&partnerID=40&md5=da91dd53142adb1aacd6818047a6a6d7>
- [7] C. C. Vianney, A. Riantono, and R. A. Koestoer, "Design and Prototyping Oxygen Concentrator Simulator toward Low-cost and Portable System," in *The 3rd of International Mechanical and Industrial Engineering Conference (IMIEC) 2022*, ed. Universitas Negeri Malang, Indonesia, 2022.
- [8] F. F. Amarullah, C. C. Vianney, A. Riantono, I. Roihan, and R. A. Koestoer, "Design and Prototyping Low-Cost Portable Oxygen Concentrator for Infant," in *International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE 2023)*, ed. Bali, Indonesia, 2023.
- [9] K. Johnson, S. D. Scott, and K. D. Fraser, "Oxygen use for preterm infants: Factors that may influence clinical decisions surrounding oxygen titration," *Advances in Neonatal Care*, Review vol. 11, no. 1, pp. 8-14, 2011, doi: 10.1097/ANC.0b013e318206d0c0.
- [10] P. Chanyagorn and P. Kiratiwudhikul, "Automation control algorithms in gas mixture for preterm infant oxygen therapy," in *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan, ICCE-TW 2015*, 2015, pp. 236-237, doi: 10.1109/ICCE-TW.2015.7216874. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84959537034&doi=10.1109%2fICCE-TW.2015.7216874&partnerID=40&md5=e1b5f9c1e667af274c33e4d9e62c3aeb>
- [11] P. Kiratiwudhikul and P. Chanyagorn, "Gas mixture control system for oxygen therapy in pre-term infants," in *Proceedings of 2014 International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2014*, 2014, pp. 289-294, doi: 10.1109/SMARTCOMP.2014.7043870. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84946531367&doi=10.1109%2fSMARTCOMP.2014.7043870&partnerID=40&md5=8a3eca30a50151044f9554d7f3cb7cdc>
- [12] L. Torrejón-Rodríguez, Á. Solaz-García, I. Lara-Cantón, A. Pinilla-González, M. Aguar, and M. Vento, "Clinical Parameters in the First 5 Minutes after Birth Have a Predictive Value for Survival of Extremely Preterm Infants," *Maternal-Fetal Medicine*, Article vol. 5, no. 4, pp. 244-247, 2023, doi: 10.1097/FM9.0000000000000206.
- [13] N. Finer and T. Leone, "Oxygen saturation monitoring for the preterm infant: The evidence basis for current practice," *Pediatric Research*, Review vol. 65, no. 4, pp. 375-380, 2009, doi: 10.1203/PDR.0b013e318199386a.
- [14] A. Buckmaster, G. Arnold, I. Wright, and J. Foster, "Targeted oxygen therapy in special care nurseries: Is uniformity a good thing?," *Journal of Paediatrics and Child Health*, Article vol. 48, no. 6, pp. 476-482, 2012, doi: 10.1111/j.1440-1754.2011.02220.x.