

Sistem Non-Invasif Untuk Pengukuran Kadar Glukosa, Oksigen, dan Detak Jantung Berbasis LED Merah dan Infrared Dekat

Ahmad Bakir¹, Eko Mardianto², Agus Riyanto³

^{1,2,3}Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

e-mail: ahmadbakir923@gmail.com¹, emardianto74@gmail.com², ariyanto228@gmail.com³

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kesehatan non-invasif yang mampu mengukur kadar glukosa, oksigen, dan detak jantung menggunakan teknologi inframerah dekat (NIR) dan LED merah, tanpa perlu tusukan jarum. Sistem ini dirancang untuk mengatasi kelemahan metode invasif yang memerlukan sampel darah, yang sering menimbulkan ketidaknyamanan dan risiko infeksi, terutama bagi penderita diabetes. Metodologi penelitian mencakup pengembangan dan pengujian perangkat berbasis sensor MAX30102, yang menggunakan panjang gelombang inframerah 900 nm dan LED merah 670 nm, serta mikrokontroler mega328P untuk pengolahan data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki potensi yang signifikan dalam meningkatkan kualitas hidup penderita diabetes dengan menawarkan pemantauan kesehatan yang nyaman, aman, dan praktis. Hasil pengukuran menunjukkan kesesuaian dengan alat pembanding, yang mengindikasikan relevansi dan keakuratan teknologi ini. Penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut dalam teknologi pemantauan kesehatan non-invasif.

Kata kunci : Non-Invasif, MAX30102, NIRS, LED Merah, Kadar Glukosa, Kadar Oksigen, Detak Jantung

Abstract

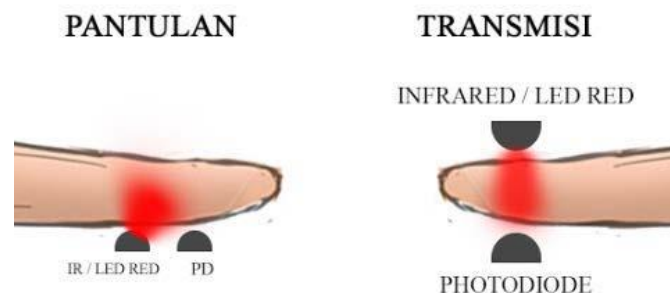
This research aims to develop a non-invasive health monitoring system capable of measuring glucose levels, oxygen saturation, and heart rate using near-infrared (NIR) technology and a red LED, without the need for needle pricks. This system is designed to address the drawbacks of invasive methods that require blood samples, which often cause discomfort and risk of infection, especially for diabetic patients. The research methodology includes the development and testing of a device based on the MAX30102 sensor, utilizing an infrared wavelength of 900 nm and a red LED at 670 nm, along with the mega328P microcontroller for data processing. The research results indicate that this technology has significant potential to improve the quality of life for diabetic patients by offering a convenient, safe, and practical health monitoring solution. Measurement results show consistency with comparative devices, indicating the relevance and accuracy of this technology. This research opens up opportunities for further advancements in non-invasive health monitoring technology.

Keywords : Non-Invasive, MAX30102, Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), Red LED, Glucose Levels, Oxygen Levels, Heart Rate

1. PENDAHULUAN

Pengukuran parameter kesehatan seperti kadar glukosa dan oksigen dalam tubuh seringkali melibatkan tusukan jarum untuk pengambilan sampel darah secara langsung, yang dikenal sebagai metode invasif [3]. Teknik invasif ini dapat menimbulkan rasa tidak nyaman serta risiko infeksi, khususnya pada penderita diabetes [4],[5]. Untuk mengatasi kekurangan pada metode invasif, pengukuran parameter kesehatan seperti glukosa, oksigen, dan detak jantung dapat dilakukan dengan metode non-invasif. Metode non-invasif ini mengacu pada teknik pengukuran yang tidak melibatkan pengambilan sampel darah secara langsung, sehingga dapat menghilangkan rasa tidak nyaman, nyeri, dan risiko infeksi yang terkait [4],[5],[8],[9],[11],[12]. Salah satu teknik non-invasif adalah penggunaan teknologi inframerah dekat (Near-Infrared atau NIR) dan LED merah [3],[6],[8],[9],[11],[12]. Spektroskopi Inframerah Dekat (NIR) dan LED merah adalah teknik optik yang memanfaatkan interaksi cahaya dengan komponen darah. Cahaya yang tersebar, ditransmisikan, atau dipantulkan dari permukaan kulit berinteraksi dengan komponen darah melalui proses penyerapan dan hamburan.

Gambar 1 memberikan gambaran dua teknik dalam pengiriman sinyal optik yaitu transmisi dan pantulan, baik dengan NIR maupun LED merah. Dalam proses ini, cahaya yang menembus jaringan kulit akan diserap oleh molekul-molekul seperti hemoglobin dan air, serta mengalami hamburan oleh struktur seluler dalam darah. Respons yang dihasilkan dari interaksi ini dapat diukur menggunakan fotodetektor seperti fotodiode.



Gambar 1. Metode Pemancaran Infrared dan LED merah

Gelombang NIR memiliki rentang panjang gelombang 700–2500 nm, sedangkan LED merah memiliki panjang gelombang 620–750 nm. Penelitian yang dilakukan oleh Hexa [5] dan Lee [9] menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara pelemahan gelombang NIR terhadap kadar glukosa dalam tubuh. Selain itu, penelitian oleh dhalwar [11] dan Jain [8] menemukan bahwa panjang gelombang yang relevan untuk pengukuran glukosa adalah sekitar 940 nm.

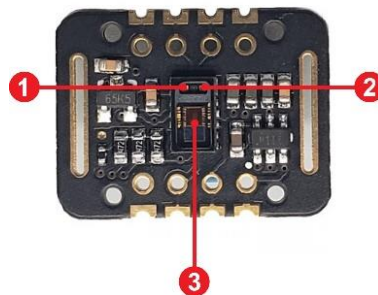
1.1 Metode Pengukuran Saturasi Oksigen, Konsentrasi Glukosa, dan Detak Jantung Menggunakan Inframerah Dekat Dan LED Merah

Untuk mengukur saturasi oksigen dalam tubuh, digunakan perbandingan antara cahaya inframerah dekat (NIR) dengan panjang gelombang 940 nm dan LED merah dengan panjang gelombang 660 nm. Hemoglobin deoksigenasi menyerap lebih banyak cahaya merah, sedangkan hemoglobin teroksigenasi menyerap lebih banyak cahaya inframerah. Selain itu, frekuensi perubahan dalam gelombang LED merah digunakan untuk menghitung detak jantung [10]. Untuk mengukur konsentrasi glukosa dalam tubuh, cahaya inframerah dekat (NIR) dengan panjang gelombang 940 nm dipancarkan dan akan diserap oleh glukosa dalam darah. Cahaya yang tidak diserap akan diteruskan atau dipantulkan kembali dan ditangkap oleh fotodetektor. Perubahan intensitas cahaya ini kemudian dianalisis menggunakan algoritma yang telah dikalibrasi dengan

pengukuran glukosa invasif untuk memprediksi konsentrasi glukosa secara akurat [4],[5],[6],[8],[9],[11],[12].

1.2 Sensor Optik

Dalam penelitian terdahulu[1],[14], sensor MAX30100 digunakan untuk mengukur saturasi oksigen dan detak jantung secara non-invasif. Selain itu, penelitian lain menggunakan sensor MAX30102 untuk mengukur kadar glukosa, kolesterol, serta asam urat dalam tubuh secara non-invasif [2]. Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, sensor MAX30100 dan MAX30102 termasuk dalam kategori sensor optik yang dirancang untuk pengukuran non-invasif saturasi oksigen dalam darah (SpO₂) dan detak jantung. Kedua sensor ini menggunakan teknologi LED merah dan inframerah untuk mengukur kadar oksigen dan detak jantung melalui metode pantulan. Sensor MAX30102 memiliki LED inframerah dengan panjang gelombang 870-900 nm dan LED merah dengan panjang gelombang 650-670 nm, serta fotodioda untuk menerima sinyal pantulan gelombang cahaya. Sensor MAX30102 yang digunakan menghasilkan keluaran digital dan berkomunikasi melalui antarmuka I²C dengan menggunakan pin SDA dan SCL. Hal ini memudahkan integrasi sensor dengan mikrokontroler untuk pemrosesan data. Gambar 2 memberikan gambaran visual atas sensor MAX30102 yang akan digunakan sebagai transduser utama dalam penelitian ini.



Gambar 2. Sensor MAX30102

Keterangan :

1. Infrared
2. LED Merah
3. Fotodioda

1.3 Mega328P

Mega328P adalah mikrokontroler AVR yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik. Dengan arsitektur RISC yang sederhana, mikrokontroler ini memiliki memori Flash 32KB, RAM 2KB, dan EEPROM 1KB. Fitur tambahan seperti I/O digital, konverter ADC, komunikasi serial, dan timer/counter menjadikannya pilihan serbaguna dan andal untuk proyek elektronik [15].

1.4 LCD OLED

OLED, singkatan dari Organic Light Emitting Diode, adalah jenis tampilan yang menggunakan bahan organik untuk menghasilkan cahaya saat dialiri arus listrik. Keunggulan utama OLED termasuk kemampuan setiap pikselnya untuk menghasilkan cahaya sendiri, tanpa memerlukan sumber cahaya latar tambahan seperti pada LCD[16].

2. METODE

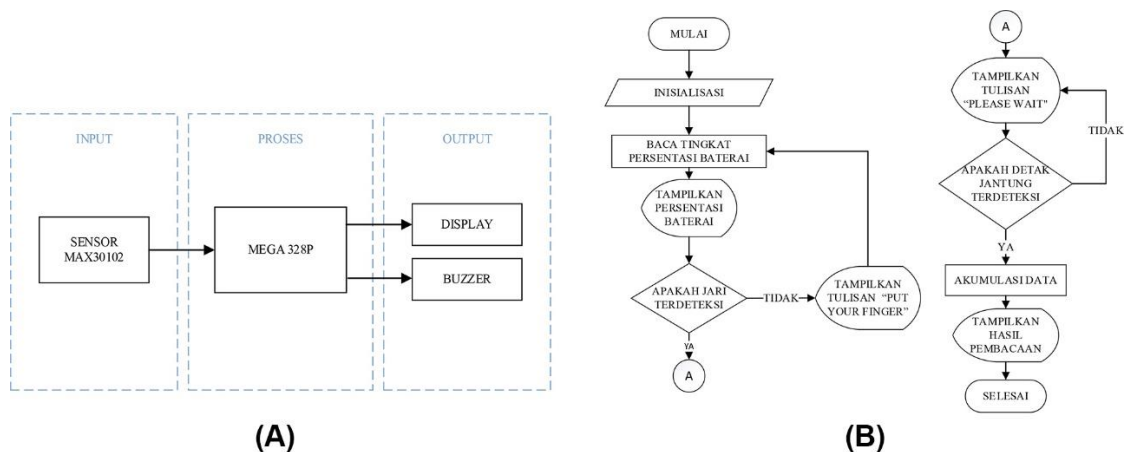
Pelaksanaan penelitian terbagi dalam tiga tahap utama yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

2.1 Penetapan Fokus dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan menetapkan fokus dan tujuan riset yang jelas. Langkah awal adalah menentukan alur kerja sistem yang akan dikembangkan. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data dari sumber primer dan sekunder untuk memperoleh informasi yang relevan mengenai parameter yang akan diukur serta teknologi yang akan diterapkan. Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi saturasi oksigen, detak jantung, dan kadar glukosa, dengan menggunakan sensor MAX30102 sebagai transduser utama. Setelah data terkumpul, langkah berikutnya adalah menyusun rencana penelitian yang rinci, disesuaikan dengan fokus dan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

2.2 Tahap Prototipe dan Pengumpulan Data

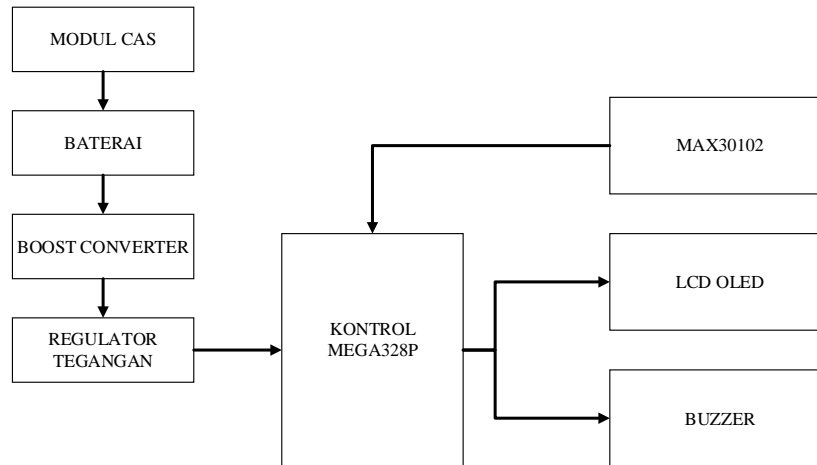
Pada tahap awal, perangkat ini dikembangkan dalam bentuk prototipe sesuai dengan diagram blok yang ditunjukkan pada Gambar 2. Prototipe ini digunakan untuk mengumpulkan data oksigen dan detak jantung yang diperoleh dari perangkat tersebut, yang kemudian dibandingkan dengan perangkat pulse oximeter untuk mengukur tingkat keakuratan pembacaan dari sensor MAX30102. Algoritma tambahan juga digunakan untuk meningkatkan keakuratan pembacaan kadar oksigen dan detak jantung dari MAX30102. Untuk mendapatkan saturasi glukosa dalam tubuh, analisis inframerah dekat (NIR) pada MAX30102 digunakan dengan algoritma yang telah disesuaikan, dengan mempertimbangkan respons cahaya inframerah dekat terhadap glukosa dalam tubuh. Data glukosa yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan alat invasif. Hal ini dilakukan dengan menggunakan banyak sampel berbeda guna menilai keakuratan algoritma yang dikembangkan. Setelah algoritma pemrosesan sinar optik berhasil diterapkan untuk mendapatkan saturasi glukosa, oksigen, dan detak jantung, langkah selanjutnya adalah membuat program secara keseluruhan. Program ini dimulai dari pendeteksian jari, kalkulasi data, pengaturan tampilan pada LCD OLED, serta penyalaan buzzer. Program ini dibuat berdasarkan flowchart program yang telah dirancang, seperti yang tertera pada Gambar 3. Langkah ini bertujuan untuk memastikan alur kerja sistem sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.



Gambar 3. (A) Diagram blok, (B) flowchat program

2.3 Integrasi Keseluruhan Sistem:

Integrasi keseluruhan sistem dilakukan dengan menyesuaikan skema rangkaian yang telah dirancang, seperti yang tertera dalam gambar 4. Seluruh sistem yang telah dikembangkan dirakit menjadi satu kesatuan yang kompleks. Pengujian dilakukan kembali pada setiap perangkat, mulai dari pengujian fungsi hingga akurasi data yang dihasilkan, untuk memastikan bahwa keseluruhan sistem telah sesuai dengan rancangan yang dibuat. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari sistem yang dikembangkan dengan perangkat standar yang telah teruji keakuratannya di pasaran. Hal ini memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat berfungsi dengan baik dan menghasilkan data yang akurat sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 4. Skema Rangkaian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penerapan Sistem

Gambar 5 memberikan gambaran secara aktual mengenai alat pemantauan glukosa, oksigen, dan detak jantung secara non-invasif yang telah dibangun.



Gambar 5. (a) Tampilan awal alat, (b) tampilan pengukuran

3.2 Pengambilan Data dan Penetapan Faktor Konversi

Data kadar glukosa dan nilai rata-rata inframerah diambil untuk menentukan faktor konversi yang akan digunakan dalam kalkulasi kadar glukosa dalam tubuh. Penentuan faktor konversi dilakukan dengan metode perbandingan antara kadar glukosa yang diukur secara invasif dan nilai rata-rata inframerah yang diperoleh. Faktor konversi ini dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F_{konversi} = \frac{\text{Kadar glukosa}}{\text{Nilai rata - rata infrared}}$$

Tabel 1. Pengambilan Data Kadar Glukosa dan Rata-Rata Infrared

No	Nama	Kadar Glukosa (mg/dl)	Nilai Rata-rata Infrared	Faktor Konversi
----	------	-----------------------	--------------------------	-----------------

1	Buana Seta	131	102460	0,001278548
2	Ahmad Bakir	92	129520	0,000710315
3	Muhamad Eko	85	133180	0,000638234
4	Kiagus Ajew	110	119500	0,000920502
5	Solfiani	119	113500	0,001048458

Berdasarkan faktor konversi yang diperoleh dalam Tabel 1, setiap perubahan sebesar 240 pada nilai rata-rata inframerah akan menyebabkan perubahan pada nilai faktor konversi sebesar 0,00000515, Penghitungan kadar glukosa dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Glukosa} = \text{Rata rata Infrared} \times \text{Faktor Konversi}$$

3.3 Tingkat akurasi pembacaan parameter

Tabel 2 menyajikan data hasil implementasi penggunaan sensor Max30102 sebagai transduser utama dalam pengukuran kadar glukosa, oksigen (SpO₂), dan detak jantung (HR). Pengujian ini dilakukan dengan metode perbandingan antara perangkat yang dikembangkan dengan perangkat komersial yang telah umum digunakan di pasaran.

Tabel 2. Pengambilan Data Kadar Glukosa dan Rata-Rata Infrared

No	Nama	Set Point			Hasil Pembacaan			Akurasi %
		Glukosa	Spo2	HR	Glukosa	Spo2	HR	
1	Ahmad Bakir	112	98	86	102	95	86	96,00
2	Buana Seta	132	99	92	140	93	85	93,55
3	Sukirno	87	99	82	80	94	88	90,76
4	Solfiani	132	98	87	142	93	93	88,65
5	Muhammad Eko	92	99	91	85	93	92	94,71
6	Kiagus Ajew	110	98	80	119	96	86	88,87

Berdasarkan hasil pengujian yang telah diperoleh, tingkat akurasi rata-rata untuk pengukuran kadar glukosa adalah sebesar 88,63%. Sementara itu, tingkat akurasi untuk pengukuran oksigen (SpO₂) mencapai 95,44%. Adapun tingkat akurasi rata-rata yang dicapai dalam pengukuran detak jantung adalah sebesar 92,20%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kegiatan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

- Penelitian ini berhasil mengimplementasikan pengukuran kadar glukosa, oksigen, dan detak jantung menggunakan sensor MAX30102 dengan hasil yang baik, terutama dalam pengukuran oksigen dan detak jantung.
- Pengukuran kadar glukosa belum mencapai tingkat akurasi yang optimal, yang disebabkan oleh keterbatasan panjang gelombang inframerah pada sensor MAX30102 yang hanya sebesar 900 nm.
- Jarak antara peletakan jari dengan pangkal sensor turut memengaruhi hasil pengukuran, sehingga berdampak pada penurunan akurasi.

- d. Penggunaan metode pantulan dalam pengukuran menyebabkan terjadinya hamburan cahaya, baik dari LED merah maupun inframerah, yang tidak terukur secara optimal.
- e. Keterbatasan kapasitas penyimpanan pada kontroler MEGA328P menjadi hambatan dalam pengolahan data glukosa secara maksimal.

Berikut beberapa rekomendasi untuk penyempurnaan sistem mekanik dalam penelitian ini:

- a. Disarankan untuk menggunakan sensor dengan panjang gelombang yang lebih sesuai untuk pengukuran kadar glukosa, yaitu mendekati 940 nm, guna meningkatkan akurasi pengukuran.
- b. Optimalisasi desain alat perlu dilakukan dengan meminimalkan jarak antara jari dan sensor, untuk mengurangi dampak negatif terhadap akurasi pengukuran.
- c. Pertimbangkan penggunaan metode yang dapat mengurangi hamburan cahaya, seperti metode transmisi, karena metode ini lebih efektif dalam meminimalkan hamburan cahaya yang tidak terukur.
- d. Disarankan untuk menggunakan kontroler dengan kapasitas penyimpanan yang lebih besar daripada MEGA328P, guna mendukung pengolahan data yang lebih kompleks dan meningkatkan akurasi pengukuran

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aditya, L., & Wahyuni, R. D. (2020). Rancang Bangun Alat Pengukur Kadar Oksigen Non Invasif Menggunakan Sensor MAX30100. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 8(2), Juli.
- [2]. Bagas Tri Fariza. (2022). Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gula Darah Non Invasive Dengan Meanfaatkan Internet Of Things Sebagai Monitoring Aplikasi Telegram. (Electronic Thesis or Dissertation).
- [3]. Dai, J., Ji, Z., Du, Y., & Chen, S. (2018). In vivo noninvasive blood glucose detection using near-infrared spectrum based on the PSO-2ANN model. *Technology and Health Care: Official Journal of the European Society for Engineering and Medicine*, 26(S1), 229–239.
- [4]. Darwich, M. A., Shahan, A., Daoud, A., Lahia, A., Diab, J., & Ismaiel, E. (2023). Non-Invasive IR-Based Measurement of Human Blood Glucose. *IECB 2023*.
- [5]. Haxha, S., & Jhoja, J. (2016). Optical Based Noninvasive Glucose Monitoring Sensor Prototype. *IEEE Photonics Journal*, 8(6), 1-11, Art no. 6805911.
- [6]. Hina, A., & Saadeh, W. (2022). Noninvasive Blood Glucose Monitoring Systems Using Near-Infrared Technology-A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(13), 4855.
- [7]. Hotromasari Dabukke, S., Sijabat, S., & Adiansyah. (2020). Rancang Bangun Pulse Oximetry (SPO2) pada Alat Pasien Monitor. *Jurnal Teknologi, Kesehatan dan Ilmu Sosial*, 2(2), 122.
- [8]. Jain, P., Maddila, R., & Joshi, A. M. (2019). A precise non-invasive blood glucose measurement system using NIR spectroscopy and Huber's regression model. *Optics and Quantum Electronics*, 51(51), 1-12.
- [9]. Lee, S. H., Kim, M. S., Kim, O.-K., Baik, H.-H., & Kim, J.-H. (2019). Near-Infrared Light Emitting Diode Based Non-Invasive Glucose Detection System. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(10), 6187–6191.
- [10]. Leppänen, T., Penzel, T., & Hornero, R. (2022). Pulse Oximetry: The Working Principle, Signal Formation, and Applications. In *Advances in the Diagnosis and Treatment of Sleep Apnea (Vol. 1384, pp. 317-340)*. Springer, Cham.

- [11]. Narkhede, P., & Dhalwar, S. (2016). NIR Based Non-Invasive Blood Glucose Measurement. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(41), 1-6.
- [12]. Oh, S., Kim, M.-S., Noh, B.-R., Baik, H.-H., & Kim, K.-K. (2021). Non-invasive measurement of glucose concentration using red and near-infrared light-emitting diodes. *Biomedical Sciences*, 7(2), 47-52.
- [13]. Rahman, S. A. (2022). Rancang Bangun Sistem Kesehatan Pendeteksi Gula Darah, Kolesterol, dan Asam Urat Berbasis Android. (Tesis, Politeknik Negeri Jakarta).
- [14]. Sacan, K. B., & Ertas, G. (2017). Performance assessment of MAX30100 SpO₂/heartrate sensor. In 2017 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO), Trabzon, Turkey, 2017, pp. 1-4.
- [15]. Saputra, Subandi, & Aswardi, A. (2018). Rancang Bangun Absensi Elektronik Berbasis Mikrokontroller Atmega328. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 18, 75-82.
- [16]. Shinar, J. (Ed.). (2004). *Organic light-emitting devices: A survey*. Springer.