

Sistem Informasi Pengukuran Kadar Hemoglobin Non-Invasif Berbasis Android Menggunakan Algoritma *Extreme Gradient Boosting*

Sri Dewi Sartika Syarifuddin^{1*}, Amri Khurniawan², Rendy Munadi³, Sussi⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Jl. Telekomunikasi, Sukapura, Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40257

*email: sridewi@student.telkomuniversity.ac.id

(Naskah masuk: 14 Juni 2021; diterima untuk diterbitkan: 08 Oktober 2022)

ABSTRAK – Pengukuran kadar hemoglobin secara nasional dilakukan dengan cara invasif menggunakan metode sahli sebesar 27.9 %. Pengukuran kadar hemoglobin invasif membutuhkan waktu yang lama disebabkan proses analisis sampel darah pasien secara kimiawi di laboratorium darah. Secara umum, sampel darah diambil menggunakan jarum suntik, dimana hal tersebut dapat menyebabkan rasa sakit dan meningkatkan resiko penyebaran penyakit lainnya melalui luka akibat jarum suntik. Pengukuran kadar hemoglobin dapat dilakukan dengan menggunakan teknik multiwavelength oximetry. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat sistem pengukuran kadar hemoglobin non-invasif secara real-time berbasis internet of things menggunakan teknik multiwavelength oximetry dengan algoritma *Extreme Gradient Boosting* yang terintegrasi dengan Real-time Database dan sistem informasi berbasis android mampu memetakan pengguna menggunakan QR Code. Hasil pengujian menggunakan parameter RMSE didapatkan nilai 0.801085 yang menunjukkan tingkat kategori tinggi dan akurasi sebesar 94.91%. Sistem informasi dapat menampilkan informasi pengukuran kadar hemoglobin secara real-time dengan delay sebesar 317 ms dan throughput sebesar 3138 bps. Hasil pengujian fungsionalitas saturasi oksigen sebesar 0.654 % dengan selisih nilai pengukuran kadar saturasi oksigen tertinggi sebesar 1.33 % dan terkecil sebesar 0.08 %.

Kata Kunci – Hemoglobin; *Extreme Gradient Boosting*; Non-Invasif; Internet of Things; Machine Learning.

Android Based Non-Invasive Hemoglobin Level Measurement Information System Using the *Extreme Gradient Boosting* Algorithm

ABSTRACT – Measurement of hemoglobin levels nationally was carried out invasively using the sahli method of 27.9%. Measurement of invasive hemoglobin levels takes a long time due to the chemical analysis of patient blood samples in the blood laboratory. In general, blood sampling is done using a syringe, which can cause pain and increase the risk of spreading other diseases through needle-stick wounds. Measurement of hemoglobin levels can be done using multiwavelength oximetry technique. Therefore, in this study, a non-invasive real-time measurement system for hemoglobin levels based on the internet of things was created using the multiwavelength oximetry technique with the *Extreme Gradient Boosting* algorithm which is integrated with Real-time Database and an android-based information system capable of mapping users using QR Code. The test results using the RMSE parameter obtained a value of 0.801085 which indicates a high category level and an accuracy of 94.91%. The information system can display real-time measurement of hemoglobin levels with a delay of 317 ms and a throughput of 3138 bps. The results of testing the oxygen saturation functionality are 0.654% with the difference in the measurement value of the highest oxygen saturation level being 1.33% and the smallest being 0.08%.

Keywords - Hemoglobin; *Extreme Gradient Boosting*; Non-Invasive; Internet of Things; Machine Learning.

1. PENDAHULUAN

Hemoglobin adalah komponen utama yang berada di dalam sel darah merah yang berfungsi untuk mengedarkan kadar oksigen ke seluruh sel-sel di seluruh tubuh [1], [2], [3]. Secara nasional,

pengukuran kadar nilai hemoglobin dilakukan secara invasif menggunakan metode Sahli sebesar 27.9% dan sisanya tidak mempunyai alat ukur hemoglobin [4]. Pengukuran kadar hemoglobin secara invasif yaitu dengan cara mengambil sampel darah pada pasien menggunakan jarum suntik lalu diproses secara

analisis kimiawi di laboratorium darah [5], [6], [7]. Dalam hal tersebut, penggunaan jarum suntik dapat menyebabkan rasa sakit terhadap pasien dan waktu yang dibutuhkan cukup lama untuk mengumpulkan sampel darah dan melakukan analisisnya. Beberapa penelitian [1], [8] menyarankan untuk melakukan pengukuran kadar *hemoglobin* dengan cara non-invasif.

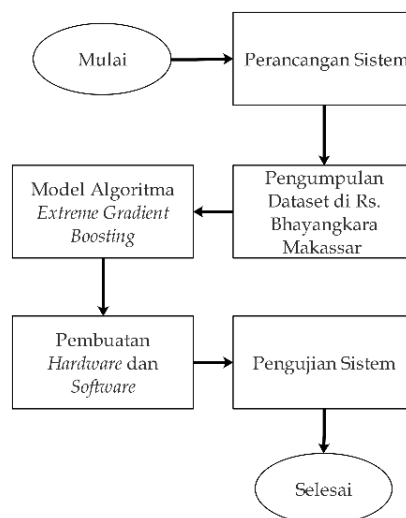
Dari uraian di atas, maka diperlukan sistem pengukuran kadar *hemoglobin* (Hb) yang mampu melakukan pengukuran secara non-invasif dan *real-time* yang terhubung dengan *database* dan diproses menggunakan *machine learning* dengan model algoritma *extreme gradient boosting*. Pada penelitian sebelumnya [9], [10] memiliki keluaran hasil yang menggunakan LCD, dalam hal ini pasien hanya bisa melihat hasil pengukuran hanya pada saat pengukuran dilakukan, dan pada penelitian[11], [5] memiliki sistem informasi berupa aplikasi android yang hanya menampilkan nilai hasil pengukuran secara *real-time* saja, oleh karena itu juga pasien hanya bisa melihat hasil pengukuran hanya pada saat pengukuran dilakukan. Sehingga, diperlukan suatu *mobile application* yang bisa menampilkan hasil pengukuran secara *real-time* dan *history* hasil pengukuran *hemoglobin* yang dilakukan oleh pasien.

Maka dari itu, pada penelitian ini dirancang sebuah sistem pengukuran kadar *hemoglobin* non-invasif dengan sistem informasi berupa *mobile application* berbasis *android* yang digunakan untuk menampilkan nilai kadar *hemoglobin*. *Mobile application* akan terintegrasi dengan *machine learning* menggunakan model algoritma *extreme gradient boosting* untuk memprediksi nilai kadar *hemoglobin* non-invasif. *Mobile application* dibuat dengan dua *user interface* untuk pasien dan dokter. Data pengukuran *hemoglobin* yang dilakukan pasien akan disimpan di *database* sebagai riwayat medis yang akan digunakan dokter sebagai visualisasi vital untuk melakukan diagnosa medis secara *telemedicine*. Penelitian ini memiliki keterbaharuan berupa dataset yang diambil secara langsung pada pasien yang mengalami suatu indikasi penyakit di RS. Bhayangkara Makassar. Selain itu, penelitian ini menggunakan Algoritma *machine learning* berjenis *supervised learning* dengan model *Extreme Gradient Boosting* untuk memprediksi kadar *hemoglobin* non-invasif dan juga sebagai pembaharuan platform layanan kesehatan secara *telemedicine* sehingga dapat membantu dokter mendapatkan visualisasi vital terhadap kondisi kadar *hemoglobin* pasien ketika melakukan pemeriksaan medis.

2. METODE DAN BAHAN

Gambar 1 menunjukkan tahapan metode penelitian yang digunakan untuk membuat sistem informasi pengukuran kadar *hemoglobin* non-invasif

menggunakan algoritma *extreme gradient boosting*.

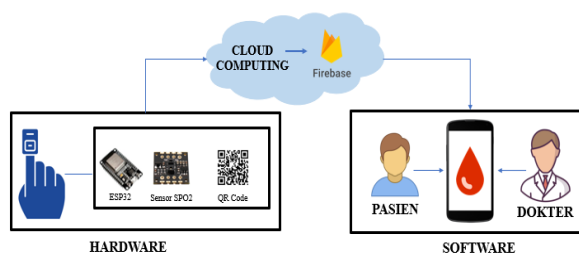


Gambar 1. Flowchart Penelitian

Tahapan penelitian yang terdiri dari lima tahap, yaitu: 1) Perancangan Sistem, membuat diagram alir dan pemodelan sistem algoritma; 2) Pengumpulan Dataset di RS. Bhayangkara Makassar, melakukan pengumpulan dataset di Rs. Bhayangkara dengan mengambil data *hemoglobin* invasif dan saturasi oksigen pada pasien yang ada di rumah sakit dengan jumlah data sebesar 36 data; 3) Model Algoritma *Extreme Gradient Boosting*, pada tahap ini dataset yang sudah dianalisis akan digunakan untuk pemodelan *machine learning* sebagai data latih untuk mendapatkan prediksi nilai kadar *hemoglobin*; 4) Membuat *hardware* dan *software*, membuat *hardware* menggunakan *pulse oximetry sensor* dan mikrokontroler *ESP-32*, aplikasi pengukur kadar *hemoglobin* menggunakan *software android studio* dan menggunakan bahasa pemrograman *java*; 5) Pengujian Sistem, tahap pengujian pada *hardware* dilakukan dengan mengukur akurasi fungsionalitas sensor dan model algoritma. Pada *software* pengukuran kadar *hemoglobin* dilakukan dengan meng-*compile* aplikasi dan uji fungsionalitas aplikasi yang sudah dibuat menggunakan *software android studio*.

Rancangan Sistem

Adapun gambar 2 menunjukkan rancangan sistem untuk pengukur kadar *hemoglobin*.



Gambar 2. Rancangan Sistem Pengukuran Kadar Hemoglobin Non-Invasif

Pada Gambar 2 terdapat dua bagian, yaitu bagian *software* dan bagian *hardware*. Pada bagian *hardware* terdapat *pulse oximetry MAX30100 sensor* yang digunakan untuk mengukur kadar saturasi oksigen dan ESP-32 sebagai modul mikrokontroler. Pada bagian *software*, terdapat aplikasi untuk pasien dan aplikasi untuk dokter. *Hardware* akan mengirimkan nilai saturasi oksigen ke *database* lalu server sebagai tempat *machine learning* dengan model pemrograman algoritma *extreme gradient boosting* akan mengambil data saturasi oksigen tersebut dan diolah untuk mendapatkan nilai kadar *hemoglobin*.

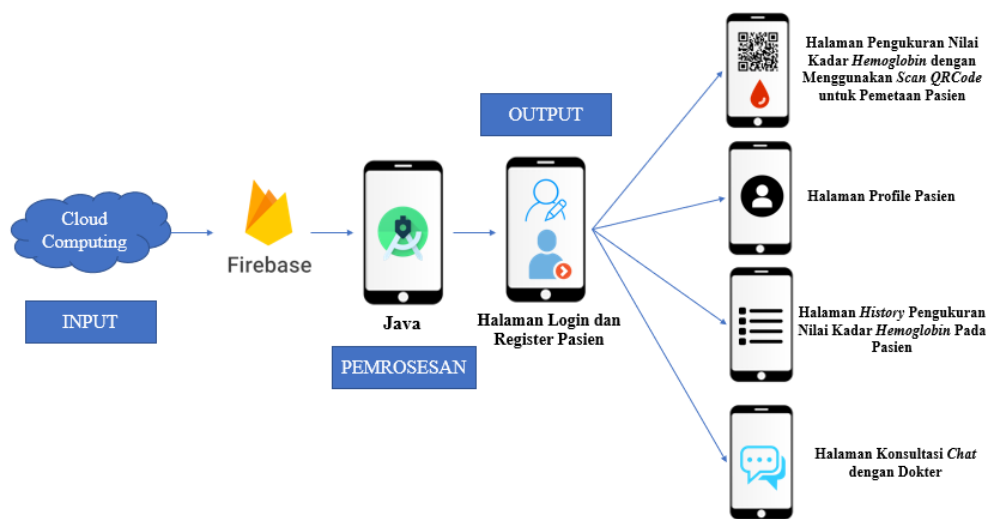
Data nilai *hemoglobin* dari setiap pengguna akan di simpan di *database*, hal ini bertujuan mempermudah susunan *database* agar terlihat rapi dan mudah untuk proses pengambilan data pada aplikasi android. Berikut gambar 3 yang menunjukkan rancangan sistem informasi pengukur kadar *hemoglobin* untuk pasien.

Pada halaman pengukuran nilai kadar *hemoglobin*, pasien akan melakukan *scan QR Code* yang terdapat pada *hardware* sebelum melakukan pengukuran, setelah pasien melakukan *scan QR Code*, maka pasien akan menerima notifikasi bahwa pengukuran bisa

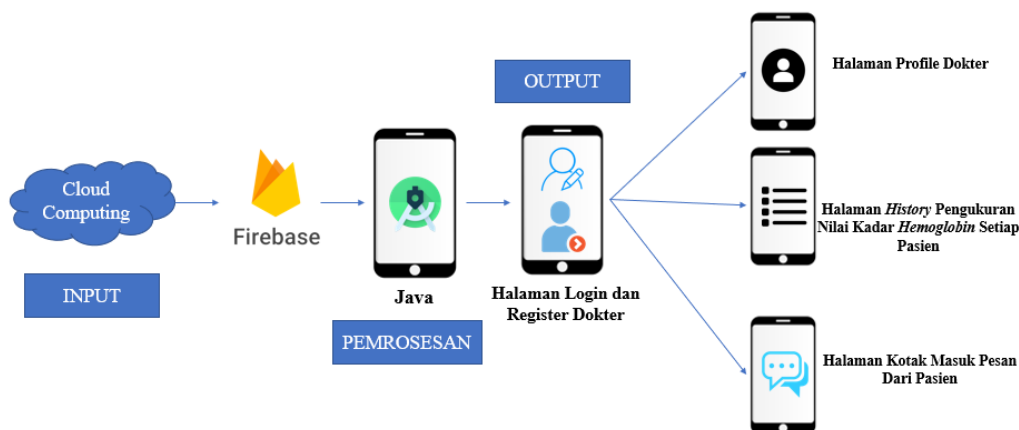
dilakukan pada alat, lalu menampilkan nilai kadar *hemoglobin* pasien secara *real-time*.

Lalu pada halaman riwayat pengukuran akan menampilkan riwayat pengukuran nilai kadar *hemoglobin* yang sudah dilakukan oleh pasien beserta nilai kadar *hemoglobin*. Pada halaman konsultasi dengan dokter, pasien akan memilih dokter untuk melakukan konsultasi, lalu pasien akan memasukkan nama beserta isi pesan dan akan di tampilkan pada aplikasi dokter. Gambar 4 yang menunjukkan rancangan sistem informasi pengukur kadar *hemoglobin* untuk dokter.

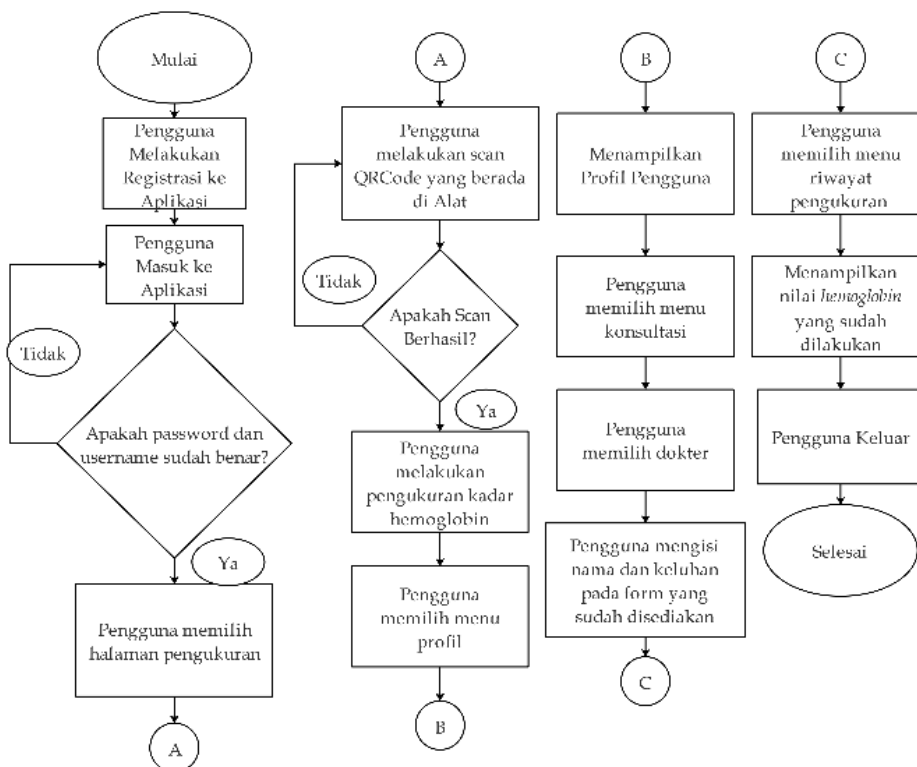
Dokter akan melakukan registrasi dengan meng-*upload* foto surat izin praktek dokter beserta nama, *email*, *username*, *password*, dan jenis kelamin lalu data tersebut akan disimpan ke dalam *database*. Dokter akan menerima notifikasi berupa *chat* melalui *whatsapp* yang dikirim oleh admin bahwa registrasi dokter berhasil, lalu dokter sudah bisa melakukan *login* pada aplikasi. Halaman riwayat pengukuran pasien, akan menampilkan riwayat pengukuran yang dilakukan oleh semua pasien beserta nilai kadar *hemoglobinnya*.



Gambar 3. Rancangan Sistem Informasi Pasien



Gambar 4. Rancangan Sistem Informasi Untuk Dokter



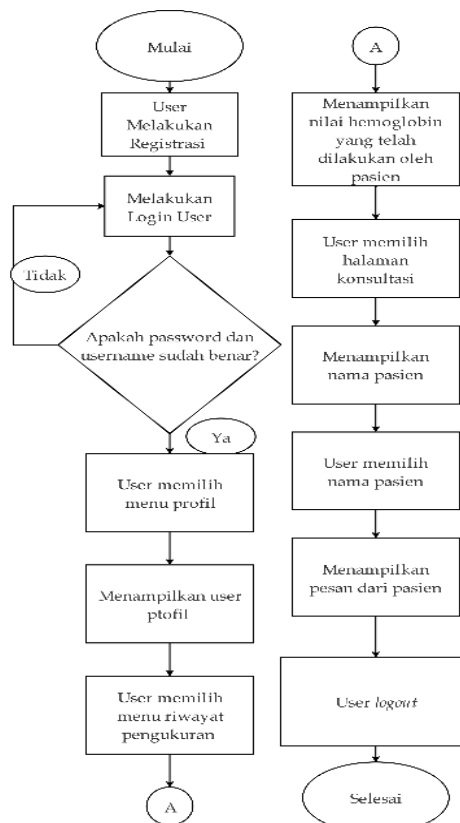
Gambar 5. Flowchart Sistem Informasi Pada Pasien

Flowchart Sistem

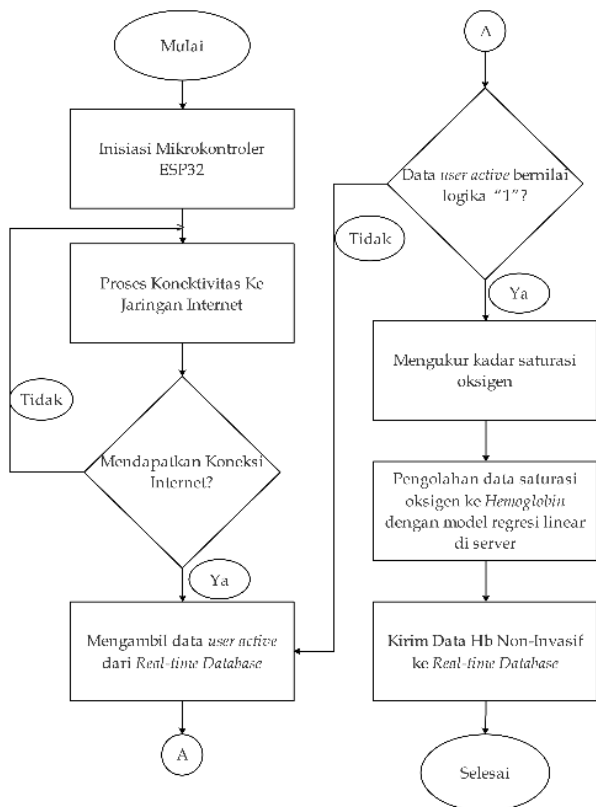
Gambar 5 menampilkan flowchart sistem informasi pengukur kadar hemoglobin pada pasien. Pada Gambar 5 terdapat flowchart sistem informasi pada pasien, langkah awal untuk dapat mengakses sistem informasi berupa mobile application pada pasien ini yaitu melakukan registrasi terlebih dahulu dengan mendaftarkan nama, umur, jenis kelamin, e-mail, password, dan status hamil atau status tidak hamil. Status, umur, dan jenis kelamin dibutuhkan agar dapat menentukan kategori kadar hemoglobin pada pasien berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh World Health Organization (WHO) [12]. Lalu pasien melakukan login dengan password dan e-mail yang sudah didaftarkan. Kemudian, jika pasien ingin melakukan pengukuran maka pasien terlebih dahulu melakukan scan QR Code sebagai activity user yang terletak pada hardware, kemudian pasien bisa melakukan pengukuran kadar hemoglobin secara non-invasif. Selanjutnya pasien dapat melihat riwayat pengukuran kadar hemoglobin yang dilakukan dan dapat melakukan konsultasi kepada dokter melalui fitur real-time chat. Gambar 6 yang menampilkan flowchart sistem informasi pengukur kadar hemoglobin pada dokter.

Gambar 6 terdapat flowchart sistem informasi pada dokter, langkah awal untuk dapat mengakses sistem informasi berupa mobile application pada dokter ini yaitu melakukan registrasi dengan mendaftarkan nama, email, password, jenis kelamin, nomor telepon, dan foto surat izin dokter. Lalu dokter melakukan login dengan password dan e-mail

yang sudah didaftarkan. Dokter dapat melihat riwayat pengukuran kadar hemoglobin setiap pasien yang sudah terdaftar pada aplikasi. Pada pengerjaan alat ukur kadar hemoglobin ini memiliki sistem kerja keseluruhan seperti Gambar 7.



Gambar 6. Flowchart Sistem Informasi Pada Dokter



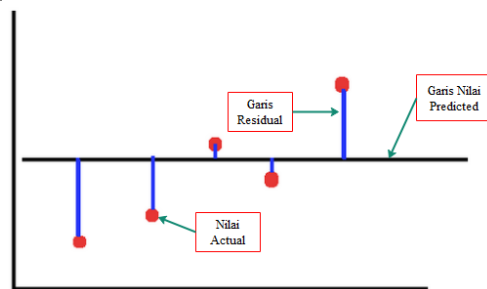
Gambar 7. Flowchart Sistem Hardware

Pada Gambar 7 menjelaskan tentang sistem pada alat ukur kadar hemoglobin non-invasif yang dimulai dengan inialisasi program pada mikrokontroler ESP-32 dan konektivitas internet. Apabila konektivitas internet telah berhasil dilakukan maka hardware akan mengambil data user active dari database. Jika data user active bernilai logika "1" maka selanjutnya akan melakukan pengukuran saturasi oksigen. Nilai saturasi oksigen akan diproses menggunakan rule model Extreme Gradient Boosting untuk menghasilkan nilai kadar hemoglobin dari user active tersebut. Selanjutnya, hardware akan mengirimkan nilai saturasi oksigen dan hemoglobin tersebut ke firebase realtime database sebagai data riwayat pengguna.

Perancangan Model Extreme Gradient Boosting

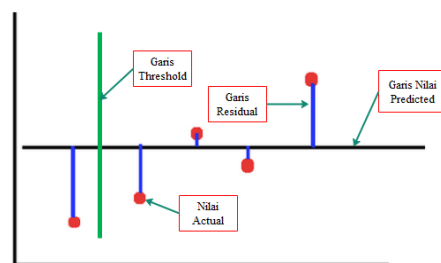
Algoritma Extreme Gradient Boosting atau disingkat dengan xgboost merupakan machine learning berjenis supervised learning yang menggunakan sistem tree boosting [13]. Pada sistem tree boosting bisa digunakan untuk model klasifikasi dan regresi [14], yang memiliki optimasi 10 kali lebih cepat di dibandingkan dengan gradient boosting lainnya [13]. Dalam proses machine learning Xgboost terdapat parameter residual, parameter residual ini merupakan hasil pengurangan antara nilai predicted atau nilai tengah dan nilai actual. Berikut gambar 8

yang menunjukkan ilustrasi residual pada machine learning Xgboost.



Gambar 8. Ilustrasi Residual [15]

Setelah mendapatkan nilai residual, machine learning Xgboost akan menentukan garis threshold secara acak, berikut gambar 9 menunjukkan ilustrasi garis threshold.



Gambar 9. Garis Threshold [15]

Gambar 9 terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian kanan dan bagian kiri, bagian kanan dan kiri akan menjadi leaf pada sistem tree boosting. Dari dua bagian tersebut diproses menggunakan formula gain pada machine learning algoritma Xgboost berikut ini persamaan 1 menunjukkan formula gain [15].

$$Gain = \frac{G_L^2}{H_L + \lambda} + \frac{G_R^2}{H_R + \lambda} - \frac{(G_L + G_R)^2}{H_L + H_R + \lambda} - \gamma \quad (1)$$

Dalam formula gain, G_L^2 merupakan jumlah residual sebelah kiri sedangkan G_R^2 merupakan jumlah residual sebelah kanan dan H_L merupakan banyaknya residual sebelah kiri sedangkan H_R banyaknya residual sebelah kanan.

Selanjutnya, gamma pada algoritma Xgboost menunjukkan nilai minimum loss reduction dan lambda menunjukkan jumlah node pada tree yang dibangun sehingga jika nilai lambda meningkat maka akan menghasilkan lebih banyak pruning [16].

Pada formula gain, terdapat lamda dan gama dimana lambda dan gama ini merupakan hyperparameter yang nilai nya tergantung oleh sebaran data yang terjadi pada machine learning. Nilai gain yang sudah di dapatkan oleh machine learning selanjutnya, dilakukan lagi proses dengan nilai threshold yang berbeda dan melakukan perhitungan nilai gain lagi sehingga mendapatkan nilai keluaran berupa nilai prediksi.

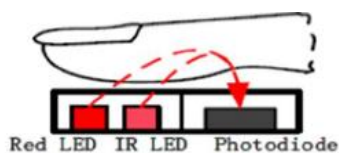
Perancangan pada model Xgboost ini menggunakan dataset yang berjumlah 36 data yang merupakan nilai kadar *hemoglobin* invasif dan nilai saturasi oksigen yang akan dijadikan sebagai data latih pada *machine learning*.

Kebutuhan Sistem

Adapun kebutuhan sistem yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Pulse Oximetry MAX30100 Sensor

Salah satu metode pengukuran kadar *hemoglobin* non-invasif yaitu menggunakan *multiwavelength pulse oximetry* [17]. *Pulse Oximeter Sensor* MAX30100 memiliki prinsip kerja dengan mengukur perbedaan panjang gelombang cahaya merah dan inframerah secara reflektif yang akan ditangkap oleh *photodiode* seperti pada Gambar 10. Pada bagian tubuh tertentu seperti jari tangan, jari kaki, dan daun telinga dapat melewati gelombang cahaya merah dan inframerah[3].



Gambar 10. Prinsip Kerja Sensor

Pada penelitian ini, pengukuran kadar *hemoglobin* non-invasif akan dilakukan di jari tangan. Cahaya yang ditangkap oleh *photodiode* akan dilanjutkan pada proses *analog-digital converter* melalui mikrokontroler ESP-32. Mikrokontroler ESP-32 seperti pada Gambar 11 berikut ini:



Gambar 11. Mikrokontroler ESP-32

Metode yang digunakan dalam kalibrasi sensor MAX30100 yaitu dengan membandingkan nilai saturasi oksigen pada *Hardware* dengan alat ukur standar saturasi oksigen. *Pulse Oximeter Sensor* MAX30100 seperti pada Gambar 12 berikut ini:

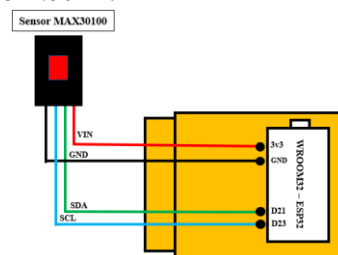


Gambar 12. Sensor MAX30100

Sensor MAX30100 merupakan modul sensor jenis analog yang terintegrasi dengan *photodetectors*, *optical elements*, dan *low-noise electronics unit*. Sensor MAX30100 memiliki nilai keluaran analog yang disambungkan ke mikrokontroler untuk pengolahan data sensor.

Skematik Hardware

Adapun skematik pada *Hardware* seperti pada Gambar 13 berikut ini:



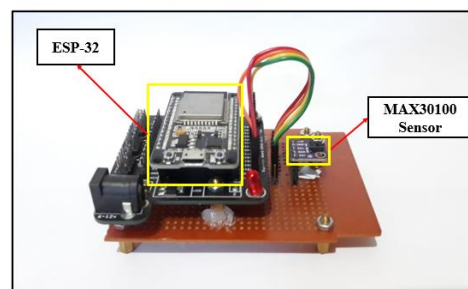
Gambar 13. Skematik Hardware

Pada Gambar 13 dijelaskan mengenai skematik dari *Hardware* yang menggunakan catu daya VIN yang merupakan tegangan USB. Modul *sensor* MAX30102 menggunakan I/O ADC pada pin D21 untuk SDA dan pin D23 untuk SCL.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

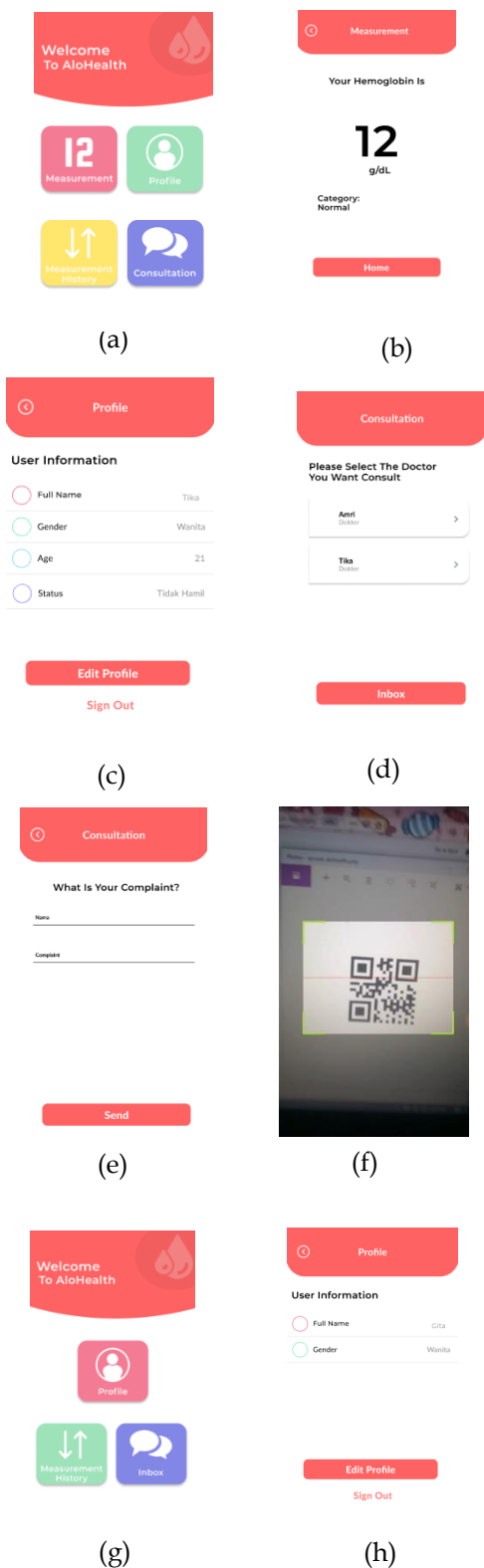
Realisasi Sistem

Gambar 14 dan Gambar 15 menunjukkan tampilan dari *hardware* dan *software* pada sistem pengukuran kadar *hemoglobin* non-invasif.



Gambar 14. Hardware Pengukur Kadar Hemoglobin

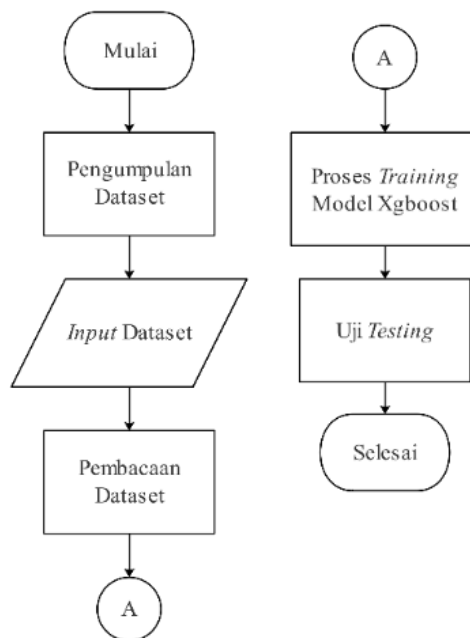
Gambar 14 terdapat *hardware* pengukuran kadar *hemoglobin* secara Non-Invasif dengan menggunakan sensor MAX30100 dan NodeMCU ESP-32. Lalu Gambar 15 terdapat tampilan sistem informasi pengukur kadar *hemoglobin* yang sudah dibuat sesuai dengan perancangan bernama AloHealth. Pada sistem informasi pasien akan melakukan *scan QR Code* yang terletak pada *hardware* sebelum melakukan pengukuran kadar *hemoglobin* yang bertujuan autentikasi *activity* data pengguna di *database*.



Gambar 15. *Software Pengukur Kadar Hemoglobin* (a) Tampilan Menu Pasien (b) Tampilan Pengukuran Hemoglobin Pada Pasien (c) Tampilan Profil Pasien dan Dokter (d) Tampilan Konsultasi Pada Pasien (e) Tampilan Form Konsultasi Pada Pasien (f) Tampilan *Scan QRCode* Pada Pasien (g) Tampilan Halaman Menu Dokter (h) Tampilan Profil Dokter

Proses Model *Extreme Gradient Boosting*

Adapun flowchart proses algoritma *machine learning* dengan model *extreme gradient boosting* digunakan untuk menentukan nilai kadar hemoglobin seperti pada gambar 16.



Gambar 16. *Flowchart Model Extreme Gradient Boosting*

Dari gambar 16, dapat dilihat bahwa proses model *extreme gradient boosting* dimulai dari pengumpulan dataset saturasi oksigen dan hemoglobin invasif yang dilakukan di RS. Bhayangkara Makassar.

Pengambilan dataset dilakukan pada pasien rawat inap yang tidak memiliki riwayat sakit yang berhubungan dengan hemoglobin beserta sakit yang berhubungan dengan pernapasan dan pasien yang melakukan rawat jalan untuk pasien *medical checkup*.

Lalu ke tahap pembacaan dataset dilakukan menggunakan variabel pada pemrograman yang menggunakan bahasa *python*.

Kemudian dilakukan proses *training*, dimana dataset tersebut akan di *training* dengan menggunakan model *extreme gradient boosting* dan menghasilkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE).

Tahap selanjutnya yaitu dilakukan uji *testing* untuk mendapatkan nilai prediksi kadar hemoglobin non-invasif dan dilakukan pengujian akurasi algoritma *extreme gradient boosting*.

Proses *Training Model Extreme Gradient Boosting*

Proses *training* pada *machine learning* ini merupakan proses latihan untuk mengetahui pola dari dataset yang terdiri dari nilai kadar *hemoglobin*

invasif dan nilai saturasi oksigen. Variabel "data" menjadi letak proses pembacaan dataset dengan format csv.

Masukan dari sistem *machine learning* ini adalah sebuah dataset yang berisi data saturasi oksigen beserta data hemoglobin invasif seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Dataset

SpO ₂ (%)	Hb Invasif (g/dL)	SpO ₂ (%)	Hb Invasif (g/dL)
95	12.1	98	10.6
96	14.6	95	12.1
97	12.7	95	12.5
93	11.9	95	12.6
98	12.9	96	12.6
96	13.8	98	15.1
97	16.5	98	15.2
95	13.6	99	12.9
96	16	97	14.2
94	9.9	97	13
97	14.9	96	13.1
98	13.2	97	14.5
99	15.3	97	14.1
93	11.6	99	12.7
94	8.9	99	14.7
95	12.6	96	13.3
98	18.7	94	12.3
94	10.6	96	13.4

Pengumpulan dataset tersebut dilakukan di RS. Bhayangkara Makassar sebanyak 36 data yang berfungsi sebagai data latih pada proses *training*.

Data dari dataset dipecah menjadi dua bagian yaitu bagian *train* dan bagian *test*. Lalu variabel "model" menjadi letak pembuatan model *machine learning* menggunakan algoritma Xgboost. Gambar 17 menunjukkan pemrograman proses latih pada *machine learning* menggunakan bahasa pemrograman python.

```
data = np.loadtxt("dataset.csv", delimiter = ",")
X = data[:,0].reshape((-1,1))
y = data[:,1]

train_X, test_X, train_y, test_y = train_test_split(X, y, test_size = 0.3, random_state = 78)

model = xgb.XGBRegressor(objective = 'reg:squarederror', n_estimators = 10, seed = 123)
model.fit(train_X, train_y)
```

Gambar 17. Proses Latih *Machine Learning* Xgboost

Proses latih dataset yang dilakukan pada *machine learning* dengan hypeparameter mendapatkan nilai *root mean square error* atau RMSE seperti tabel 2.

Tabel 2. Nilai RMSE

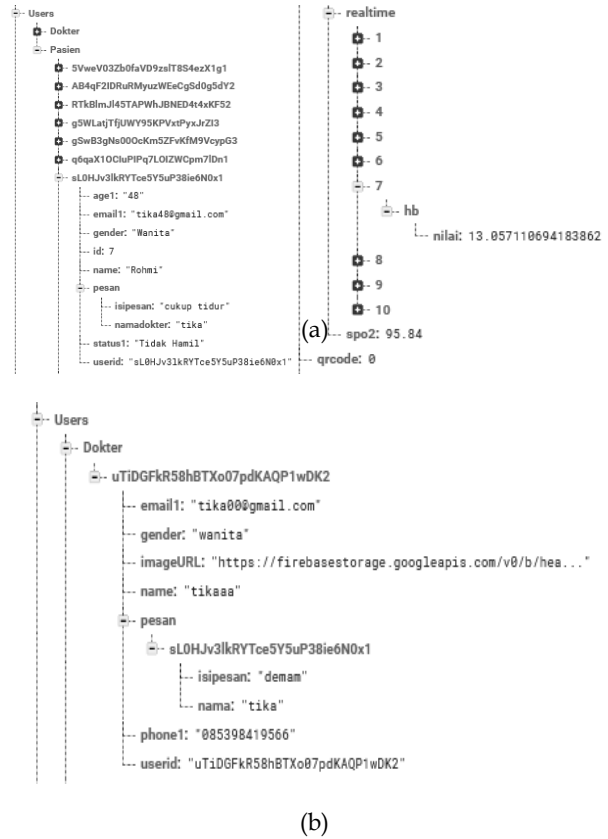
No	Parameter	Nilai
1	Root Mean Square Error	0.801085

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian yang sudah dilakukan dengan menggunakan parameter RMSE memiliki hasil 0.801085 dapat disimpulkan

bahwa proses *machine learning* dengan model Xgboost telah memenuhi syarat ketelitian dengan nilai RMSE mendekati nilai nol yang menunjukkan tingkat kesalahan yang rendah [18].

Database Sistem

Gambar 18 dibawah ini merupakan struktur *database* dari firebase terhadap sistem informasi pada pasien dan dokter.

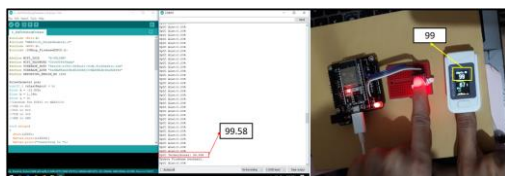


Gambar 18. Struktur *Database* Sistem Informasi (a) Pada Pasien (b) Pada Dokter

Gambar 18 menunjukkan adanya *user id* pada pengguna. *User id* tersebut didapatkan setelah pengguna melakukan registrasi yang bertujuan memetakan data diri dan riwayat medis dari setiap pengguna.

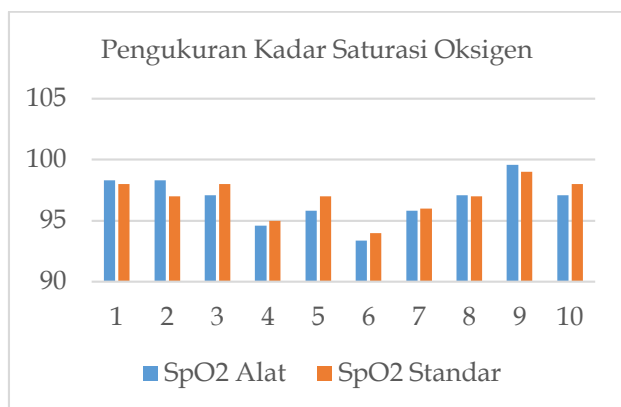
Pengujian Fungsionalitas Saturasi Oksigen

Pengujian fungsionalitas *pulse oximeter sensor MAX30100* bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran kadar nilai saturasi oksigen pada *Hardware* sebagai nilai masukan pada algoritma *Extreme Gradient Boosting*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai saturasi oksigen *hardware* dengan alat ukur saturasi oksigen terstandar seperti pada Gambar 19 berikut ini.



Gambar 19. Pengujian Fungsionalitas saturasi oksigen

Alat ukur saturasi oksigen standar yang digunakan sebagai pembanding pada pengujian akurasi sensor MAX30100 ini berjenis *pulse oximeter S0911*. Hasil pengujian akurasi sensor MAX30100 dalam mengukur kadar saturasi oksigen seperti pada grafik dalam Gambar 20.

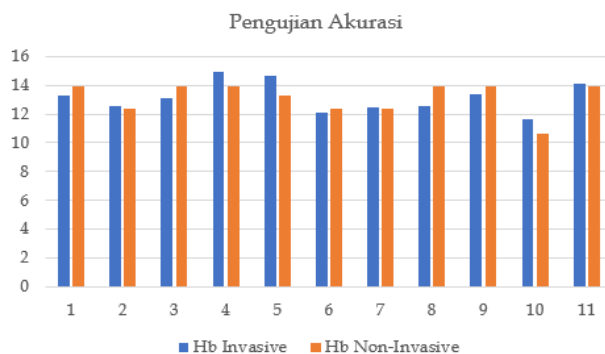


Gambar 20. Grafik pengujian Fungsionalitas Sensor MAX30100

Berdasarkan hasil pengujian fungsionalitas sensor MAX30100 dalam pengukuran kadar saturasi oksigen seperti pada Grafik 1 didapatkan nilai rata-rata kesalahan sensor MAX30100 dari 10 kali percobaan dalam mengukur kadar saturasi oksigen sebesar 0.654 persen dengan selisih nilai pengukuran kadar saturasi oksigen tertinggi sebesar 1.33 % dan terkecil sebesar 0.08 persen. Hasil pengujian fungsionalitas sensor MAX30100 terhadap alat ukur pembanding *pulse oximeter S0911* didapatkan nilai rata-rata kesalahan yang kecil disebabkan sensor MAX30100 yang digunakan pada *hardware* memiliki prinsip kerja yang sama dengan alat pembanding *pulse oximeter S0911* menggunakan *multiwavelength pulse oximetry* dengan cahaya inframerah dan merah.

Hasil Akurasi Sistem

Pengujian akurasi algoritma *extreme gradient boosting* dari tahap *testing machine learning* dilakukan sebanyak 11 kali pengukuran nilai kadar *hemoglobin* dengan cara membandingkan nilai hasil pengukuran *hemoglobin* invasif dengan nilai hasil pengukuran *hemoglobin* non-invasif dari *hardware* dan diolah oleh model algoritma Xgboost. Gambar 21 menampilkan grafik hasil akurasi sistem pengukur kadar *hemoglobin*.

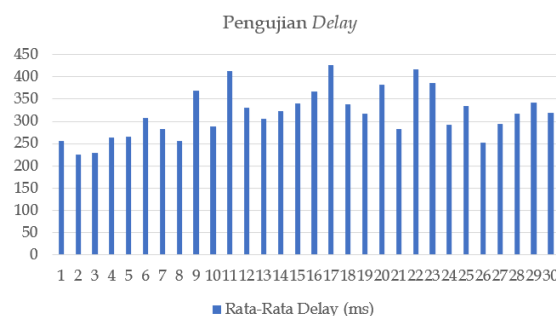


Gambar 21. Pengujian Hasil Akurasi Hemoglobin

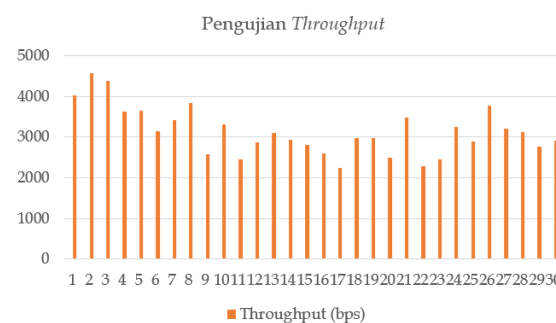
Gambar 21 dapat dilihat bahwa hasil pengujian akurasi yang dilakukan sebanyak 11 kali memiliki hasil rata-rata akurasi yaitu sebesar 94.91%. Dari hasil akurasi yang didapatkan bahwa sistem ini dengan model algoritma Xgboost memiliki nilai akurasi yang relatif tinggi karena memiliki nilai hasil akurasi diatas 90%.

Hasil Pengukuran Jaringan

Pengukuran jaringan ini dilakukan menggunakan aplikasi Wireshark. Berikut ini gambar 22 menunjukkan hasil pengukuran jaringan.



(a)



(b)

Gambar 22. Hasil Pengukuran Jaringan (a) Delay (b) Throughput

Pada jaringan ini dilakukan sebanyak 30 kali pengukuran dan menggunakan laptop sebagai *access point* yang terhubung dengan sistem informasi pengukuran kadar *hemoglobin*. Hasil yang

didapatkan yaitu dengan rata-rata *delay* sebesar 300 ms, yang menunjukkan aplikasi dari sistem pengukuran kadar *hemoglobin* dapat menampilkan informasi secara *real-time* dengan kategori bagus sesuai rekomendasi TIPHON [19].

4. KESIMPULAN

Akurasi sistem *machine learning* menggunakan model algoritma Xgboost untuk mengukur kadar *hemoglobin* non-invasif bernilai 94.91% dengan RMSE yaitu 0.80. Sistem pengukuran *hemoglobin* non-invasif berhasil memberikan informasi kadar *hemoglobin* pasien melalui aplikasi android yang berbasis *internet of things*. Hasil pengujian jaringan diperoleh nilai rata-rata *delay* sebesar 317 ms dan *throughput* 3138 bps. Hasil pengujian fungsionalitas saturasi oksigen sebesar 0.654% dengan selisih nilai pengukuran kadar saturasi oksigen tertinggi sebesar 1.33 % dan terkecil sebesar 0.08 %. Pada penelitian ini hanya terdapat pengukuran *hemoglobin* secara non-invasif. Kedepannya diharapkan dapat melakukan identifikasi penyakit yang berkaitan dengan darah secara non-invasif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak RS. Bhayangkara Makassar dan dr. Agustini, Sp. Pk, M. Kes., karena telah menjadi mitra dalam penelitian ini dengan mengizinkan kami untuk memperoleh data berupa nilai *hemoglobin* invasif dan nilai saturasi oksigen pada pasien rawat inap dan rawat jalan di RS. Bhayangkara Makassar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Acharya, D. Swaminathan, S. Das, K. Kansara, S. Chakraborty, D. Kumar, T. Francis, K. R. Aatre, "Non-Invasive Estimation of Hemoglobin Using a Multi-Model Stacking Regressor," *IEEE J Biomed Health Inform*, vol. 24, no. 6, hlm. 1717-1726, Jun 2020.
- [2] S. Ningsih, "Pemeriksaan Kesehatan Hemoglobin di Posyandu Lanjut Usia (Lansia) Pekon Tulung Agung Puskesmas Gadingrejo Pringsewu," *Jurnal Pengabdian Farmasi Malahayati*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [3] F. Ughi, "Simulasi Kadar Saturasi Oksigen untuk Evaluasi Pulse Oximeter," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 6, no. 1, hlm. 110, Apr 2018.
- [4] K. Kesehatan, *Laporan Puskesmas Rifaskes*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 2019.
- [5] M. H. Aziz, M. K. Hasan, A. Mahmood, R. R. Love, dan S. I. Ahamed, "Automated Cardiac Pulse Cycle Analysis from Photoplethysmogram (PPG) Signals Generated from Fingertip Videos Captured Using a Smartphone to Measure Blood Hemoglobin Levels," *IEEE J Biomed Health Inform*, vol. 25, no. 5, hlm. 1385-1396, Mei 2021.
- [6] Qomaruddin, "Pengukuran Kadar Hemoglobin (Hb) Darah dengan Metode Non-Invasif Menggunakan Laser" *Jurnal Instrumentasi*, vol. 40, no. 1, 2016.
- [7] E. Kusumawati, N. Lusiana, I. Mustika, S. Hidayati dan E. N. Andyarini, "Perbedaan Hasil Pemeriksaan Kadar Hemoglobin (Hb) Remaja Menggunakan Metode Sahli dan Digital (Easy Touch GCHb)," *Journal of Health Science and Prevention*, vol. 2, no. 2, 2018.
- [8] F. Yannan, "Case Study for Two Non-Invasive Devices Measuring Hemoglobin," *Journal of Clinical and Medical Case Studies*, 2017.
- [9] E. W. Ningsih, H. R. Fajrin, dan A. Fitriyah, "Pendeteksi Hemoglobin Non-Invasive," *Medika Teknika : Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [10] U. Umar dan R. Alyah, "Pemantauan Hemoglobin Darah Dengan Non-Invasive Menggunakan Sensor Near Infrared LED IR 940NM," *Jurnal Instek*, vol. 5, 2020.
- [11] S. Ghosal, D. Das, V. Udutalappally, A. K. Talukder, dan S. Misra, "SHEMO: Smartphone Spectroscopy for Blood Hemoglobin Level Monitoring in Smart Anemia-Care," *IEEE Sens J*, vol. 21, no. 6, hlm. 8520-8529, Mar 2021.
- [12] WHO, "Haemoglobin concentrations for the diagnosis of anaemia and assessment of severity," 2011. (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/85839>)
- [13] Y. Jiang, G. Tong, H. Yin, dan N. Xiong, "A Pedestrian Detection Method Based on Genetic Algorithm for Optimize XGBoost Training Parameters," *IEEE Access*, vol. 7, hlm. 118310-118321, 2019.
- [14] S. Zhang, D. Zhang, J. Qiao, X. Wang, dan Z. Zhang, "Preventive control for power system transient security based on XGBoost and DCOPF with consideration of model interpretability," *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 7, no. 2, hlm. 279-294, Mar 2021.
- [15] C. Maklin, "XGBoost Python Example", May 9, 2020. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/xgboost-python-example-42777d01001e>. [Accessed: April. 24, 2021].

- [16] Xgboost Developers, "dmlc Xgboost", 2021.
[Online]. Available:
<https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/index.html>. [Accessed: September 24, 2022]
- [17] S. Patil, G. K. Prabhu, dan A. N. Babu,
"Methods and Devices to Determine
Hemoglobin Non Invasively: A Review," *Int.
J. sci. Eng. Rechn*, hlm. 934-937, 2014,
[Daring]. Available: www.biosense.in
- [18] E. Dzisofi Amelia, S. Wahyuni, dan D.
Harisuseno, "Evaluasi Kesesuaian Data
Satelit sebagai Alternatif Ketersediaan Data
Evaporasi di Waduk Wonorejo," *Jurnal
Teknik Pengairan*, vol. 12, no. 2, hlm. 127-138,
Des 2021.
- [19] N. Naraswari dan F. Trias Pontia, "Analisis
Uji Kuat Sinyal Terhadap Jarak Jangkauan
Maksimal Sistem Penerimaan Sinyal Internet
Berbasis Edimax HP-5101ACK," *Jurnal Teknik
Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 1, no.1,
2017.