

Pengembangan Perangkat Pengukuran Hemoglobin Secara Non-Invasif Berbasis Jaringan Long Range (LoRa)

Development of a Non-Invasive Hemoglobin Measurement Device Based on the Long Range (LoRa) Network

Sevia Indah Purnama^{1*}, Irmayatul Hikmah², Mas Aly Afandi³

^{1,2,3} Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

E-mail: *sevia@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak

Stunting mengakibatkan gangguan pertumbuhan anak-anak batita sehingga perkembangan tubuhnya menjadi tidak maksimal. Kondisi ini berdampak pada perkembangan Indonesia di masa mendatang. Banyaknya stunting akan menyebabkan generasi muda Indonesia tidak mampu berkompetisi dalam dunia global. Penanganan stunting dapat dilakukan pada anak dan calon ibu. Calon ibu yang merupakan remaja putri jarang menjadi fokus untuk penurunan angka stunting. Remaja putri yang sering mengalami anemia akan memiliki kemungkinan besar untuk melahirkan calon bayi stunting. Pengukuran hemoglobin secara invasif seringkali menjadi halangan bagi remaja putri untuk melakukan pengukuran hemoglobin. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat pengukuran hemoglobin secara non-invasif sehingga dapat dilakukan untuk memantau hemoglobin pada remaja putri. Pencatatan hemoglobin secara elektronik nirkabel berbasis jaringan *Long Range* (LoRa) juga dilakukan untuk menyediakan data yang terbaru. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa perangkat mampu membaca Hemoglobin dengan tingkat galat berkisar antara 0,01% – 0,67% dengan rata-rata galat sebesar 0,31%. Hasil pengujian performa jaringan LoRa menunjukkan bahwa jaringan LoRa telah siap digunakan untuk pengiriman data jarak jauh secara nirkabel. Kuat sinyal pengiriman di sekitar Kabupaten Banyumas telah mencapai kuat minimum yang disyaratkan untuk pengiriman data yaitu -120dBm. Data penelitian menunjukkan bahwa pengembangan perangkat untuk mengirimkan data menggunakan jaringan LoRa dapat digunakan untuk pengukuran Hemoglobin remaja putri secara berkala di Kabupaten Banyumas.

Kata kunci: Stunting, Hemoglobin, Non-Invasif

Abstract

The stunting of batita children prevents their bodies from developing to their full potential. This situation will have an effect on Indonesia's future development. The quantity of stunts will prevent Indonesian teenagers from competing in the international market. Children and expectant mothers are candidates for the stunting treatment. Rarely are teenage daughters of candidates for motherhood the target of efforts to reduce stunting rates. A way to lower teenage stunting rates is by routine hemoglobin testing. Teenage daughters frequently encounter obstacles while attempting invasive hemoglobin measurements. To give up-to-date information, wireless electronic hemoglobin recording via the LoRa network is also carried out. The study's findings demonstrate that the instrument can read hemoglobin with error rates that range from 0.01% to 0.67%, with an average error of 0.31%. LoRa networks are ready to be employed for wireless remote data transfer, according to tests of their performance. The robust transmission signal in the area of Banyumas district has attained the necessary -120dBm minimum transmission strength. Based to the research data, teenage daughters in the Banyumas district might have their periodic hemoglobin levels measured using a device that transmits data over the LoRa network.

Keywords: Stunting, Hemoglobin, Non-Invasive

1. PENDAHULUAN

Stunting adalah masalah kurang gizi kronis yang disebabkan oleh kurangnya asupan gizi dalam waktu yang cukup lama [1]. Stunting dapat mengakibatkan gangguan pertumbuhan pada anak yakni tinggi badan anak lebih rendah atau pendek (kerdil) dari standar usianya. Permasalahan stunting menjadi salah satu fokus yang ingin diselesaikan di Indonesia melalui perpres No.72 Tahun 2021 [2]. Hal ini dikarenakan stunting dapat menjadi hambatan bagi perkembangan regenerasi dari generasi di Indonesia. Stunting dapat menyebabkan gangguan perkembangan sehingga membuat anak-anak Indonesia kesulitan untuk menyelesaikan pendidikannya [3]. Permasalahan stunting umumnya dikaitkan dengan kekurangan gizi pada anak batita. Status gizi pada anak didasarkan pada perbandingan antara tinggi badan, berat badan, dan umur anak. Batita dikatakan stunting apabila berat badan dan tinggi badan tidak sebanding dengan umurnya.

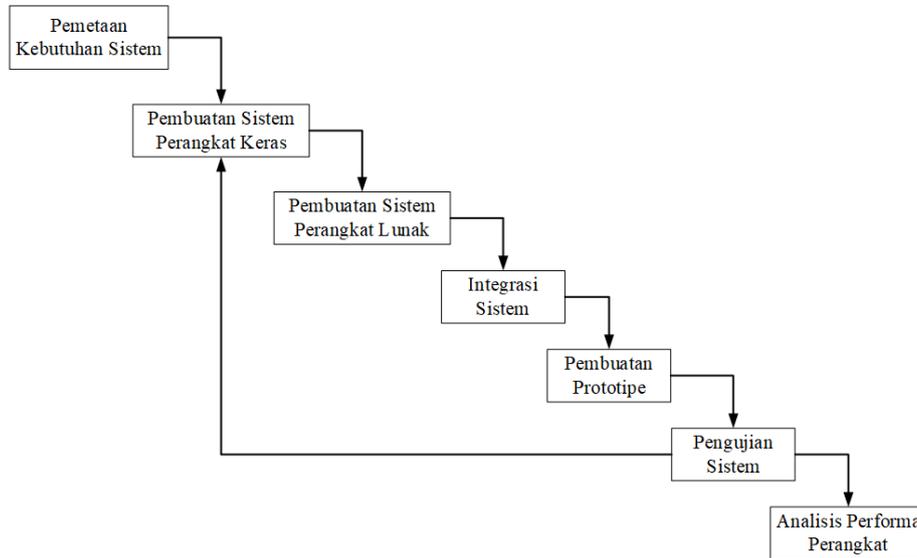
Faktor yang dapat menyebabkan stunting adalah faktor kekurangan gizi, faktor genetika, dan faktor anemia pada calon ibu [4], [5]. Faktor kekurangan gizi dapat diakibatkan pada asupan makanan pada batita. Bayi dengan umur di bawah tiga tahun membutuhkan asupan protein yang tinggi agar dapat tumbuh dan berkembang. Faktor genetika merupakan faktor yang paling sulit untuk dicegah [6]. Hal ini dikarenakan genetika diturunkan dari orang tua. Faktor anemia pada calon ibu merupakan faktor yang jarang dilakukan pencegahan [7]. Stunting dapat dicegah mulai dari calon ibu atau remaja putri dapat menjaga kesehatannya [8], [9]. Remaja putri yang sering mengalami anemia di masa sekolah memiliki kemungkinan besar untuk melahirkan anak yang stunting [10]. Pentingnya menjaga kesehatan bagi remaja putri merupakan hal kurang mendapat perhatian. Hal ini dikarenakan remaja putri masih memiliki energy yang cukup besar. Anemia memiliki gejala pusing dan tidak bertenaga. Gejala tersebut tidak banyak mengganggu kegiatan remaja putri sehingga terjadinya anemia tidak disadari. Faktor lain adalah anemia sering terjadi saat remaja putri mengalami menstruasi. Gejala anemia dan menstruasi menjadi bias sehingga remaja putri menganggap gejala tersebut adalah gejala menstruasi dan bukan karena anemia. Pengukuran hemoglobin pada remaja putri menjadi hal yang penting untuk dilakukan. Informasi mengenai pentingnya menjaga Kesehatan untuk mencegah stunting menggunakan aplikasi telah banyak dilakukan [11], [12].

Pengukuran hemoglobin umumnya dapat dilakukan di laboratorium [13]. Pengukuran jenis ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Kelemahan dari pengukuran ini adalah tidak dapat dilakukan sewaktu-waktu dan menggunakan perangkat invasif untuk melakukan pengukuran hemoglobin. Pengukuran hemoglobin melalui laboratorium tidak efektif untuk dilakukan secara berkala terhadap remaja putri. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk pengukuran hemoglobin secara berkala adalah menggunakan metode non-invasif [14], [15]. Teknologi menjadi hal yang menjanjikan untuk melakukan pengukuran hemoglobin pada remaja putri secara non-invasif [16]. Berbagai penelitian dilakukan untuk melakukan pengukuran hemoglobin menggunakan teknologi. Pengembangan perangkat pengukuran hemoglobin secara non-invasif [17], [18]. Pengukuran hemoglobin dengan memanfaatkan cahaya dapat dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat pengukuran hemoglobin secara non-invasif dengan memanfaatkan kombinasi panjang gelombang cahaya yang berbeda. Terdapat dua hal yang menjadi fokus utama pada penelitian ini yaitu akurasi dalam pengukuran hemoglobin dan penyimpanan data hasil pengukuran. Penyimpanan data sangat penting untuk mendapatkan pola dari hasil pengukuran apabila dilakukan secara berkala. Upaya dalam meningkatkan akurasi menggunakan pendekatan regresi linier berganda dengan sampel yang berbeda. Terdapat 2 input yang digunakan pada penelitian ini yaitu input cahaya dengan panjang gelombang 600 – 700nm dan 700nm – 1000nm. Kedua panjang gelombang tersebut memiliki tingkat penyerapan yang berbeda dalam darah seiring dengan kadungan hemoglobin dalam darah. Pengiriman data menggunakan konsep *Internet of Things* (IoT) dengan media *Long Range* (LoRa) juga diuji. Teknologi IoT dan LoRa digunakan sebagai media penyimpanan data dalam server karena perangkat memiliki media penyimpanan yang terbatas.

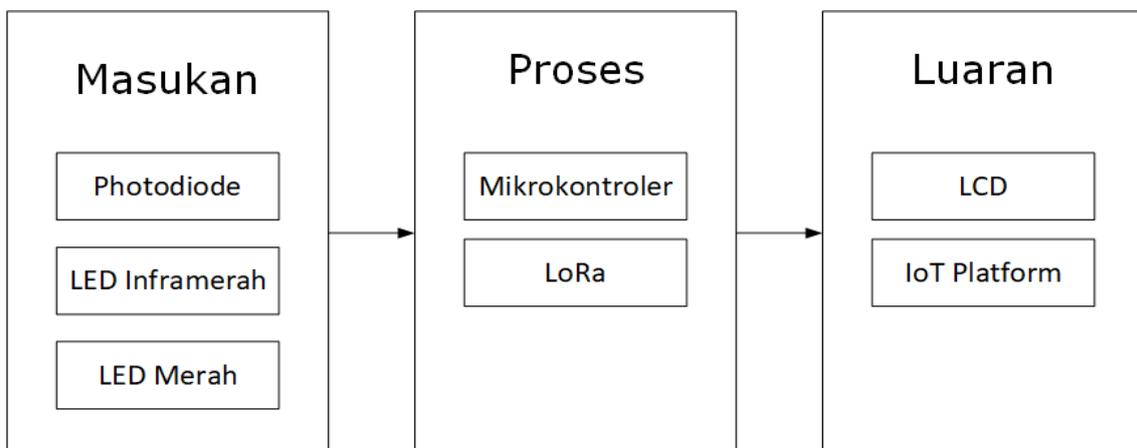
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode *waterfall* dengan pengujian prototipe di dalamnya. Metode *waterfall* digunakan karena metode tersebut dapat memberikan gambaran untuk pengerjaan penelitian yang dilakukan secara bertahap.



Gambar 1. Metode Penelitian Model *Waterfall*

Penelitian dimulai dengan memetakan kebutuhan dari perangkat pengukuran hemoglobin secara keseluruhan sistem seperti pada Gambar 1. Perangkat terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang saling terhubung. Hasil dari pemetaan kebutuhan akan mempermudah pembuatan perangkat keras, perangkat lunak serta proses integrasinya. Melalui proses pemetaan diketahui perangkat keras dapat dibuat dengan menggunakan lampu LED yang memiliki panjang gelombang dibawah 1000nm. Banyak spektrum warna yang dapat digunakan dengan panjang gelombang di bawah 1000nm. Berdasarkan hasil dari pemetaan, didapatkan bahwa warna lampu yang memiliki panjang gelombang di bawah 1000nm dan berpotensi untuk digunakan dalam pengukuran hemoglobin adalah warna merah dan inframerah. Kebutuhan lain untuk pembuatan sistem adalah mikrokontroler untuk mengolah data dan LoRa sebagai media untuk pengiriman jarak jauh secara nirkabel.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Setelah dilakukan pemetaan dilakukan pembuatan sistem perangkat keras. Pembuatan sistem perangkat keras mengacu pada Gambar 2. Sistem memiliki masukan dari Photodiode sebagai sensor untuk mengukur intensitas cahaya yang dipantulkan darah, LED merah dan inframerah sebagai sumber cahaya. Penyerapan cahaya yang melewati suatu medium sehingga yang terserap, dipantulkan, dan diteruskan menjadi acuan untuk menentukan parameter dalam darah. Fenomena ini memanfaatkan hukum Beer Lambert. Input tersebut kemudian akan diproses oleh mikrokontroler. Proses konversi dari nilai intensitas cahaya menjadi kadar hemoglobin menggunakan regresi linier berganda terjadi di mikrokontroler. Mikrokontroler menggunakan LoRa untuk media pengiriman data ke *server IoT platform*. Penelitian ini menggunakan teknologi IoT karena teknologi tersebut umum digunakan untuk media pengiriman data ke server [19]–[21].

$$A = \epsilon Lc \quad (1)$$

$$I = I_0 e^{-\mu(x)} \quad (2)$$

Hukum Beer Lambert mengindikasikan bahwa panjang gelombang tertentu yang diserap oleh suatu medium sebanding dengan konsentrasi dan kadar suatu bahan dalam medium. Dimana A pada persamaan 1 adalah banyaknya intensitas cahaya yang diserap dengan panjang gelombang tertentu, ϵ adalah koefisien molar, L adalah jarak, dan c adalah konsentrasi penyerapan. Sedangkan pada persamaan 2 dijelaskan bahwa I adalah intensitas akhir, I_0 adalah intensitas awal, x adalah kedalaman dalam satuan meter, dan μ adalah koefisien penyerapan.

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (3)$$

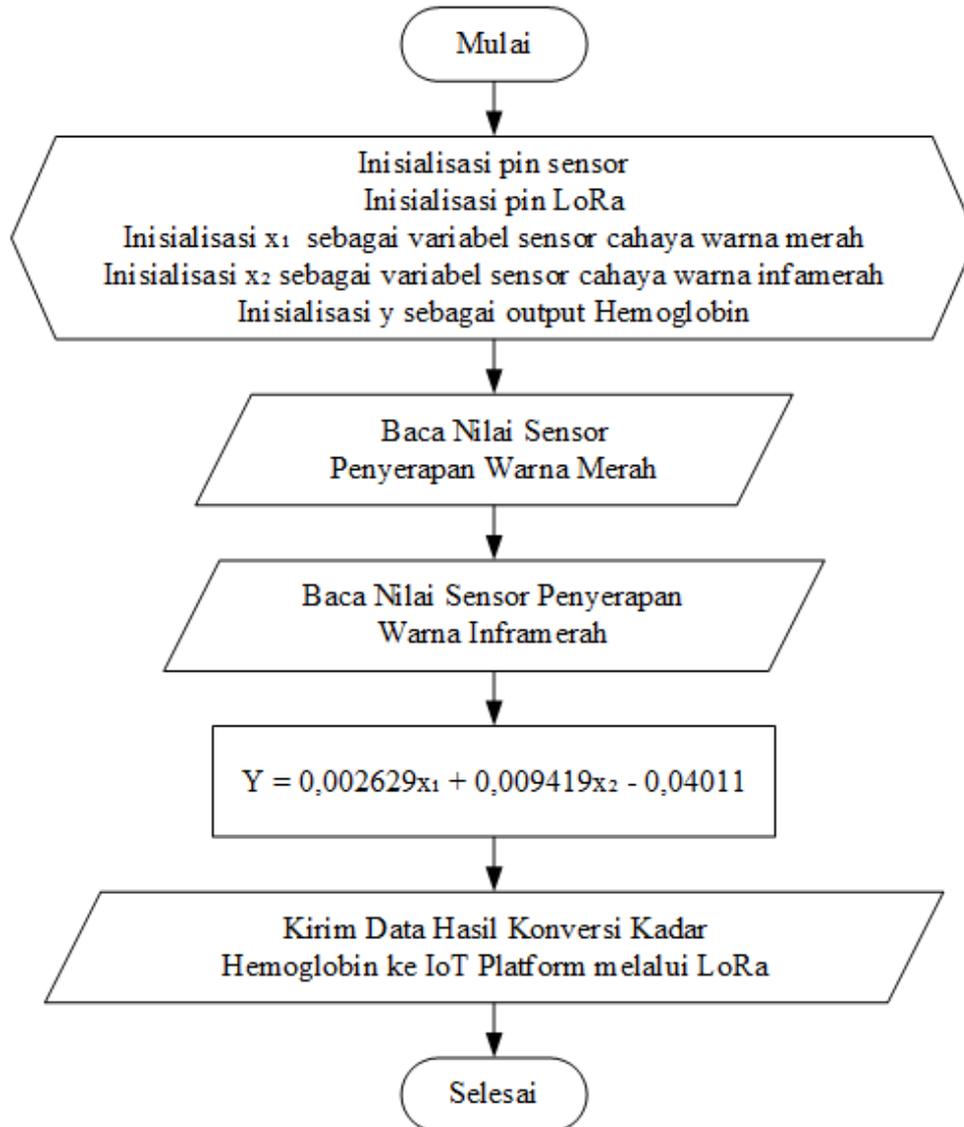
$$b_0 = \frac{Y - b_1 X_1 - b_2 X_2}{n} \quad (4)$$

$$b_1 = \frac{(\sum x_2^2)(\sum x_1 y) - (\sum x_1 x_2)(\sum x_2 y)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_1^2)(\sum x_2 y) - (\sum x_1 x_2)(\sum x_1 y)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \quad (6)$$

Hukum Beer Lambert mendukung potensi pengukuran kadar hemoglobin dalam darah dengan memanfaatkan penyerapan cahaya. Hubungan penyerapan cahaya dengan kadar hemoglobin dalam darah akan dimodelkan menggunakan persamaan regresi linier berganda. Model umum regresi linier berganda dapat diamati pada persamaan 3, dimana \hat{y} adalah output model, b_0 adalah konstanta intercept, b_1 adalah koefisien parameter 1, dan b_2 adalah koefisien parameter 2. Luaran model adalah estimasi dari hemoglobin yang direpresentasikan dalam simbol \hat{y} , sementara x_1 adalah nilai ADC yang didapatkan dari penyerapan cahaya warna merah, dan x_2 adalah nilai ADC yang didapatkan dari penyerapan cahaya warna inframerah. Dengan demikian, model regresi berganda akan dapat digunakan setelah menghitung konstanta b_0 menggunakan persamaan 4, konstanta b_1 menggunakan persamaan 5, dan konstanta b_2 menggunakan persamaan 6. Simbol y pada persamaan 4, 5, dan 6 merupakan nilai hemoglobin yang didapatkan menggunakan pengukuran hemoglobin secara invasif.

Metode regresi linier berganda digunakan untuk upaya dalam peningkatan akurasi dari pembacaan hemoglobin dalam darah. Model ini digunakan untuk membuat sistem perangkat lunak pada rangkaian tahapan penelitian pada Gambar 1. Pembuatan model dilakukan agar pengukuran hemoglobin secara non-invasif dapat mendekati pengukuran secara invasif. Hal ini dapat dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran yang didapatkan dengan perangkat pengukuran hemoglobin secara invasif. Kedua data tersebut akan dimodelkan menggunakan metode regresi linier berganda. Model yang didapatkan akan ditanam di mikrokontroler sehingga mikrokontroler mampu mengestimasi hemoglobin.



Gambar 3. Diagram Alir Perangkat Lunak

Diagram alir dari pembuatan perangkat lunak dapat diamati pada Gambar 3. Mikrokontroler akan bertindak untuk mengatur jalur komunikasi data antara sensor dan media pengiriman data ke *platform* menggunakan jaringan LoRa. Pembuatan perangkat lunak dimulai dengan melakukan inisialisasi dari kebutuhan perangkat keras. Sensor pada penelitian ini membutuhkan fitur ADC (*Analog Digital Converter*) untuk membaca nilai intensitas dari serapan cahaya. Nilai penyerapan intensitas cahaya warna akan disimpan pada variable x_1 dan x_2 untuk nilai intensitas warna inframerah. Langkah selanjutnya adalah pembacaan nilai intensitas dengan membaca nilai ADC untuk masing-masing sensor cahaya. Setelah didapatkan nilai intensitas dari masing-masing panjang gelombang, mikrokontroler akan mengestimasi hemoglobin dengan memanfaatkan model regresi linier berganda yang telah didapatkan. Model regresi linier berganda yang didapatkan berdasarkan data adalah $Y = 0,002629x_1 + 0,009419x_1 + 0,04011$. Hasil dari estimasi hemoglobin kemudian akan dikirimkan ke IoT *platform* melalui media LoRa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai macam pengujian dilakukan untuk mengetahui performa dari perangkat yang dikembangkan. Pengujian terdiri dari pengujian respon intensitas penyerapan cahaya pada sumber LED merah dan LED inframerah terhadap sampel pengukuran hemoglobin secara invasif, pengujian pembuatan persamaan berdasarkan hasil respon yang didapatkan, pengujian performa perangkat ditinjau dari akurasi dan presisi dari perangkat, dan terakhir pengujian *Receive Signal Strength Indicator* (RSSI) dari komunikasi LoRa. Perangkat yang dikembangkan bertujuan untuk memudahkan pengukuran hemoglobin secara non-invasif agar dapat digunakan oleh remaja putri. Pencatatan hasil dari pengukuran secara berkala merupakan fungsi tambahan agar anemia pada remaja putri dapat ditahui lebih dini.

Tabel 1. Pengukuran Nilai Intensitas Penyerapan Cahaya pada LED Merah dan Inframerah Terhadap Pengukuran Hemoglobin Secara Invasif

No	ADC Penyerapan LED Merah	ADC Penyerapan LED Inframerah	Hasil Pengukuran Hemoglobin Secara Invasif (g/dl)
1	900	1350	15,00
2	897	1363	15,20
3	911	1345	15,00
4	908	1351	15,10
5	899	1355	15,10
6	712	1365	14,70
7	723	1375	14,80
8	735	1360	14,70
9	718	1373	14,80
10	705	1378	14,80
11	912	1362	15,20
12	909	1361	15,20
13	895	1350	15,10
14	919	1357	15,20
15	908	1365	15,10
SU M	12651	20410	225,00
AV G	843,40	1360,67	15,00

Tabel 2. Perhitungan Parameter Regresi Berganda

X ₁	X ₂	Y	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₁ Y	X ₂ Y	X ₁ X ₂
900	1350	15,00	810000	1822500	13500,00	20250,00	1215000
897	1363	15,20	804609	1857769	13634,40	20717,60	1222611
911	1345	15,00	829921	1809025	13665,00	20175,00	1225295
908	1351	15,10	824464	1825201	13710,80	20400,10	1226708
899	1355	15,10	808201	1836025	13574,90	20460,50	1218145
712	1365	14,70	506944	1863225	10466,40	20065,50	971880
723	1375	14,80	522729	1890625	10700,40	20350,00	994125
735	1360	14,70	540225	1849600	10804,50	19992,00	999600
718	1373	14,80	515524	1885129	10626,40	20320,40	985814
705	1378	14,80	497025	1898884	10434,00	20394,40	971490
912	1362	15,20	831744	1855044	13862,40	20702,40	1242144
909	1361	15,20	826281	1852321	13816,80	20687,20	1237149
895	1350	15,10	801025	1822500	13514,50	20385,00	1208250
919	1357	15,20	844561	1841449	13968,8	20626,40	1247083

Pengukuran hemoglobin pada penelitian ini didapatkan dari hasil intensitas yang dibaca oleh sensor dengan sumber dari LED merah dan inframerah. Hasil data penyerapan cahaya dapat diamati pada Tabel 1. Penyerapan yang tinggi ditandai dengan nilai ADC yang tinggi juga. ADC yang digunakan memiliki kapasitas 10-bit sehingga range nilai ADC menjadi 0 – 4095. Hasil pengukuran pada Tabel 1 menunjukkan bahwa ada korelasi antara nilai intensitas penyerapan cahaya merah dan infra merah terhadap kadar hemoglobin dalam darah. Hubungan tersebut akan digunakan untuk mendapatkan sebuah model untuk memetakan nilai kadar hemoglobin terhadap penyerapan intensitas cahaya merah dan inframerah. Proses memodelkan tersebut menggunakan

metode regresi linier berganda. Untuk dapat melakukan regresi linier berganda dibutuhkan beberapa parameter lain yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dengan menggunakan persamaan 3, 4, dan 5 dari parameter yang ada pada Tabel 2 didapatkan model yang mampu memetakan kadar hemoglobin. Model persamaan tersebut adalah $y = 0,002629x_1 + 0,009419x_2 - 0,04011$. Persamaan tersebut kemudian diuji terlebih dahulu untuk menunjukkan tingkat akurasi terhadap data pada Tabel 1 sebelum dilakukan pengukuran terhadap remaja putri yang sebenarnya. Hasil dari percobaan ini menunjukkan bahwa metode regresi linier berganda berhasil dalam melakukan estimasi pengukuran hemoglobin. Nilai konstanta dan koefisien dapat berbeda-beda tergantung dari kondisi pengukuran. Hal ini dikarenakan sensor cahaya rentan terhadap cahaya sehingga pembuatan wadah perangkat dan proses kalibrasi menjadi parameter penting untuk pembuatan perangkat pengukuran hemoglobin secara non-invasif.

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan Kadar Hemoglobin Menggunakan Model $y = 0,002629x_1 + 0,009419x_2 - 0,04011$

No	ADC Penyerapan LED Merah	ADC Penyerapan LED Inframerah	Hasil Pengukuran Hemoglobin Secara Invasif (g/dl)	Estimasi Kadar Hemoglobin Menggunakan Model (g/dl)	Galat (%)
1	900	1350	15,00	15,04	0,29
2	897	1363	15,20	15,16	0,28
3	911	1345	15,00	15,03	0,17
4	908	1351	15,10	15,07	0,17
5	899	1355	15,10	15,09	0,08
6	712	1365	14,70	14,69	0,07
7	723	1375	14,80	14,81	0,09
8	735	1360	14,70	14,70	0,02
9	718	1373	14,80	14,78	0,13
10	705	1378	14,80	14,79	0,04
11	912	1362	15,20	15,19	0,08
12	909	1361	15,20	15,17	0,19
13	895	1350	15,10	15,03	0,46
14	919	1357	15,20	15,16	0,27
15	908	1365	15,10	15,21	0,70
Rata-rata					0,20

Tabel 4. Data Perbandingan Pengukuran Hemoglobin Secara Invasif dan Non-Invasif

No	ADC Penyerapan LED Merah	ADC Penyerapan LED Inframerah	Hasil Pengukuran Hemoglobin Secara Invasif (g/dl)	Estimasi Kadar Hemoglobin Menggunakan Model (g/dl)	Galat (%)
1	646	1342	14,30	14,34	0,28
2	628	1253	13,40	13,41	0,11
3	814	1315	14,40	14,49	0,61
4	791	1388	15,10	15,11	0,10
5	776	1359	14,80	14,80	0,01
6	896	1312	14,60	14,67	0,51
7	866	1392	15,30	15,35	0,32
8	723	1317	14,20	14,27	0,47
9	811	1333	14,60	14,65	0,34
10	639	1391	14,70	14,74	0,29
11	815	1289	14,20	14,25	0,32
12	700	1391	14,90	14,90	0,02
13	706	1259	13,60	13,68	0,56
14	824	1315	14,50	14,51	0,09
15	893	1326	14,70	14,80	0,67
Rata-rata					0,31

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa model yang didapatkan telah bekerja dengan baik. Model dapat digunakan untuk menghitung estimasi Hemoglobin dengan galat tertinggi adalah 0,70% dan nilai terendah adalah 0,02% dengan nilai rata-rata 0,20%. Berdasarkan rentang data tersebut dapat diketahui bahwa model bekerja dengan cukup baik dalam mengestimasi kadar Hemoglobin dalam darah. Model tersebut kemudian digunakan untuk uji coba pengukuran secara langsung menggunakan sampel yang berbeda. Data pada pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 4. Pengujian menggunakan sampel yang lain dilakukan sebanyak 15 kali pengukuran. Nilai

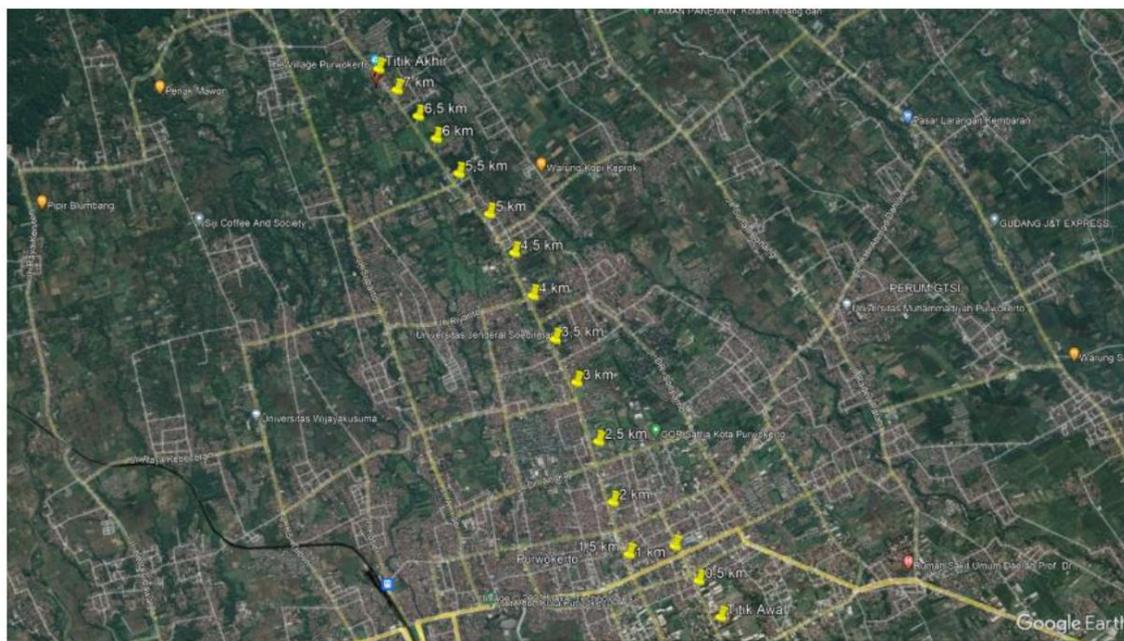
Hemoglobin yang didapatkan pada pengukuran selanjutnya lebih memiliki variasi. Hal ini dikarenakan sampel yang digunakan acak. Hasil dari Tabel 4 menunjukkan bahwa model juga memiliki performa yang baik.

Terlihat bahwa akurasi terendah melalui hasil pengujian adalah 0,01% dan tertinggi 0,67% dengan rata-rata akurasi 0,31%. Performa rata-rata akurasi pada Tabel 4 lebih tinggi disbanding dengan Tabel 3. Akurasi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa performa turun ketika dilakukan pengukuran secara acak. Penurunan performa yang terjadi cukup rendah yaitu 0,1% dan masih dalam rentang yang dapat diterima untuk kebutuhan pengukuran Hemoglobin. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan kesimpulan bahwa perangkat yang dibuat memiliki performa yang baik.

Tingkat galat yang dihasilkan oleh perangkat sudah dalam rentang yang rendah dan dapat diterima. Performa dari penggunaan media cahaya dalam pengukuran hemoglobin dapat dilakukan dengan memanfaatkan cahaya.

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran RSSI Penggunaan LoRa

No	Jarak (Km)	RSSI (dBm)	Banyaknya Data yang Dikirim (Paket)	Banyaknya Data yang Diterima (Paket)	Persentase Data yang Hilang (%)
1	0,50	-101,00	150,00	150,00	0,00%
2	0,50	-106,00	150,00	150,00	0,00%
3	1,00	-105,00	150,00	150,00	0,00%
4	1,00	-105,00	150,00	150,00	0,00%
5	1,50	-113,00	150,00	150,00	0,00%
6	1,50	-113,00	150,00	150,00	0,00%
7	2,00	-112,00	150,00	150,00	0,00%
8	2,00	-113,00	150,00	150,00	0,00%
9	2,50	-113,00	150,00	150,00	0,00%
10	2,50	-113,00	150,00	150,00	0,00%
11	3,00	-112,00	150,00	150,00	0,00%
12	3,00	-114,00	150,00	150,00	0,00%
13	3,50	-114,00	150,00	150,00	0,00%
14	3,50	-115,00	150,00	150,00	0,00%
15	4,00	-117,00	150,00	150,00	0,00%
16	4,00	-119,00	150,00	150,00	0,00%
17	4,50	-118,00	150,00	150,00	0,00%
18	4,50	-119,00	150,00	150,00	0,00%
19	5,00	-118,00	150,00	150,00	0,00%
20	5,00	-118,00	150,00	150,00	0,00%
21	5,50	-119,00	150,00	150,00	0,00%
22	5,50	-120,00	150,00	150,00	0,00%
23	6,00	-119,00	150,00	150,00	0,00%
24	6,00	-120,00	150,00	150,00	0,00%
25	6,50	-116,00	150,00	150,00	0,00%
26	6,50	-117,00	150,00	150,00	0,00%
27	7,00	-117,00	150,00	150,00	0,00%
28	7,00	-119,00	150,00	150,00	0,00%
29	7,50	-119,00	150,00	150,00	0,00%
30	7,50	-119,00	150,00	150,00	0,00%



Gambar 4. Titik Pengambilan Percobaan LoRa

Data pada Tabel 5 menunjukkan performa dari pengiriman data menggunakan jaringan LoRa. Terlihat bahwa jaringan LoRa mampu mengirimkan data dengan jarak terjauh 7,50Km untuk kondisi perkotaan di daerah Banyumas. Nilai kekuatan sinyal terkuat adalah -101dBm dengan jarak 0,50Km dan terlemah berada pada -120dBm dengan jarak 5,50Km dan 6,00Km. Data ini menunjukkan bahwa jaringan LoRa pada kabupaten Banyumas sudah memenuhi nilai minimum yang ditetapkan yaitu -120dBm. Data pada Tabel 5 juga menunjukkan bahwa paket yang dikirim tidak memiliki kendala. Selama 30 percobaan dengan variasi jarak yang berbeda, sebanyak 150 paket telah diterima dengan baik tanpa ada kondisi kehilangan paket. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan LoRa telah data digunakan untuk mengirimkan data secara nirkabel. Gambar 4 menunjukkan titik-titik dimana data pada Tabel 5 diambil. Terlihat bahwa cakupan data yang dihasilkan menggunakan LoRa cukup luas sehingga dapat menjangkau berbagai sekolah untuk melakukan monitoring hemoglobin pada remaja putri.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian mengenai pengembangan perangkat pengukuran hemoglobin secara non-invasif telah dilakukan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pengembangan dalam penggunaan regresi linier berganda dan penggunaan jaringan LoRa untuk media pengiriman meningkatkan kinerja perangkat yang dikembangkan. Model menggunakan metode regresi linier dapat digunakan untuk estimasi pengukuran hemoglobin dengan perbandingan dengan metode invasif. Galat yang dihasilkan dari penggunaan metode ini berkisar antara 0,01% – 0,67% dengan rata-rata galat sebesar 0,31% selama proses percobaan pengukuran dengan sampel acak. Tingkat galat tersebut dapat digunakan sebagai landasan untuk menyimpulkan bahwa metode regresi linier berganda dapat digunakan untuk memodelkan pengukuran hemoglobin berdasarkan penyerapan intensitas cahaya merah dan inframerah. Hasil percobaan pengujian performa jaringan LoRa juga memberikan informasi bahwa jaringan LoRa telah siap digunakan untuk pengiriman data jarak jauh secara nirkabel. Kuat sinyal pengiriman di sekitar Kabupaten

Banyumas telah mencapai kuat minimum yang disyaratkan untuk pengiriman data menggunakan jaringan LoRa yaitu -120dBm. Pengujian dilakukan sebanyak 30 pengambilan data dengan sampling 2 data untuk setiap perubahan jarak sejauh 0,50Km. Data yang dikirimkan menggunakan jaringan LoRa juga telah diterima sepenuhnya oleh perangkat penerima tanpa ada data yang hilang. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan perangkat untuk mengirimkan data menggunakan jaringan LoRa dapat dilakukan dengan baik. Potensi cahaya yang digunakan untuk pengukuran berbagai parameter dalam darah masih terbuka. Pengukuran kadar gula dalam darah, denyut jantung, dan parameter lain memungkinkan dilakukan dengan memanfaatkan cahaya. Penggunaan model lain untuk estimasi juga dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Telkom Purwokerto (ITTP) yang telah memberikan dukungan pendanaan untuk penelitian ini melalui skema hibah penelitian internal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Abdillah, "The Effect of Maternal and Child Factors on Stunting in Children Under Five Years in Rural Indonesia," *KnE Life Sci.*, Feb. 2022, doi: 10.18502/cls.v7i2.10382.
- [2] Kementrian, "Peraturan Presiden No. 28," no. 1. 2020.
- [3] M. Lupiana and S. Sutrio, "Penyuluhan Gizi Tentang Anemia Dan Stunting Di Desa Gedong Pakuan Kecamatan Baradatu Kabupaten Way Kanan," *Jompa Abdi J. Pengabd. Masy.*, vol. 1, no. 4, pp. 52–56, Dec. 2022, doi: 10.57218/jompaabdi.v1i4.306.
- [4] A. Mizawati, N. Effendi, D. Sulastri, and R. S. Purna, "Genetic Factors Causing the Prevalence of Anemia in Young Girls and Stunting in Toddlers: A Systematic Literature Review," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 9, pp. 531–538, Sep. 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i9.4822.
- [5] L. H. Adilah, A. Syafiq, and S. Sukoso, "Correlation of Anemia in Pregnant Women with Stunting Incidence: A Review," *Indones. J. Multidiscip. Sci.*, vol. 2, no. 9, pp. 3155–3169, Jun. 2023, doi: 10.55324/ijoms.v2i9.545.
- [6] Z. Riady and D. E. Nursyam, "Analysis of Hemoglobin Levels and Hematocrite Value in Stunting Children in Bukit Sileh, Solok Regency," 2022, doi: 10.2991/ahsr.k.220303.032.
- [7] A. Astuti, Y. Muyassaroh, and M. Ani, "The Relationship Between Mother's Pregnancy History and Baby's Birth to the incidence of stunting in infants," *J. Midwifery Sci. Basic Appl. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 22–26, Jul. 2020, doi: 10.31983/jomisbar.v2i1.5934.
- [8] S. M. Agritubella and F. Jannah, "Prevention of Stunting Through Nutrition Education on Pregnant Women," *J. Endur.*, vol. 7, no. 1, Feb. 2022, doi: 10.22216/jen.v7i1.863.
- [9] F. H. N. Adriyani and A. Hikmanti, "Correlations of Anemia, Stunting, and Sociodemographic Characteristics and Energy Among Children Aged 6–23 Months at Karangklesem Village, South Purwokerto," 2020, doi: 10.2991/ahsr.k.200204.044.
- [10] N. W. D. Tarini, W. Sugandini, and N. K. Sulyastini, "Prevalence of Anemia and Stunting in Early Adolescent Girls," 2020, doi: 10.2991/assehr.k.200115.065.
- [11] Resmiati, "Efektifitas Aplikasi Edukasi Gizi Remaja Berbasis Android Untuk Pencegahan Stunting," *J. Endur.*, vol. 6, no. 2, pp. 443–451, Jun. 2022, doi: 10.22216/jen.v6i2.357.
- [12] F. Aminin, SST, M.Kes., R. Rahmadona, and A. B. Gizta, "The Effectiveness of Health Education Using Si NaNing Module to Increase Independence in Stunting Prevention," *J. KEBIDANAN*, vol. 13, no. 1, pp. 78–84, Apr. 2023, doi: 10.31983/jkb.v13i1.9650.
- [13] R. D. Whitehead, Z. Mei, C. Mapango, and M. E. D. Jefferds, "Methods and analyzers for hemoglobin measurement in clinical laboratories and field settings," *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1450, no. 1, pp. 147–171, Aug. 2019, doi: 10.1111/nyas.14124.
- [14] M. N. Garcia-Casal, O. Dary, M. E. Jefferds, and S. Pasricha, "Diagnosing anemia:

- Challenges selecting methods, addressing underlying causes, and implementing actions at the public health level,” *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1524, no. 1, pp. 37–50, Jun. 2023, doi: 10.1111/nyas.14996.
- [15] K. J. Jeon, S.-J. Kim, K. K. Park, J.-W. Kim, and G. Yoon, “Noninvasive total hemoglobin measurement,” *J. Biomed. Opt.*, vol. 7, no. 1, p. 45, 2002, doi: 10.1117/1.1427047.
- [16] M. Parker *et al.*, “An evaluation of hemoglobin measurement tools and their accuracy and reliability when screening for child anemia in Rwanda: A randomized study,” *PLoS One*, vol. 13, no. 1, p. e0187663, Jan. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0187663.
- [17] S. D. S. Syarifuddin, A. Khurniawan, R. Munadi, and S. Sussi, “Sistem Informasi Pengukuran Kadar Hemoglobin Non-Invasif Berbasis Android Menggunakan Algoritma Extreme Gradient Boosting,” *Komputika J. Sist. Komput.*, vol. 12, no. 1, pp. 13–23, May 2023, doi: 10.34010/komputika.v12i1.5049.
- [18] U. UMAR and R. ALYAH, “Pemantauan Hemoglobin Darah Dengan Non-Invasive Menggunakan Sensor Near Infrared LED IR 940NM,” *J. INSTEK (Informatika Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, p. 93, Apr. 2020, doi: 10.24252/instek.v5i1.13690.
- [19] A. K. Putri, A. Prakasa, and M. A. Afandi, “Sistem Pemantau Densitas Debu Gudang Elektronik: Perancangan dan Analisanya,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 81–86, Dec. 2021, doi: 10.20895/jtece.v3i2.367.
- [20] M. A. Afandi, S. Nurandi, and I. K. A. Enrico, “Automated Air Conditioner Controller and Monitoring Based on Internet of Things,” *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 11, no. 1, p. 83, Apr. 2021, doi: 10.22146/ijeis.64563.
- [21] N. F. N. Azizah, H. Pujiharsono, and M. A. Afandi, “Sistem Pengendali Suhu dan Kadar pH pada Kolam Ikan Lele Berbasis IoT pada Desa Kutaringin Kabupaten Banjarnegara,” *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, p. 65, Nov. 2022, doi: 10.30595/jrst.v6i1.11693.