

BAB II

DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang dilaksanakan pada tahun (2020 oleh Pieter Jhon Joshua Daris, Haryati Bawole Sutanto, dan Guruh Prihatmo dengan judul Pengolahan Limbah Tekstil dengan Metode Hibrid Menggunakan Sistem Filtrasi *Bottom Ash* dan *Constructed Wetland*) penelitian ini membahas mengenai pengolahan limbah tekstil menggunakan metode hibrid yang bertujuan untuk mengurangi kadar pencemar yang terdapat pada limbah tekstil dengan pengaliran pertama menggunakan sistem filterisasi *bottom ash* kemudian dilanjutkan dengan sistem *conscructed wetland*. Pada penelitian melakukan pengujian dengan parameter TDS, TSS, dan COD yang dilakukan selama tiga bulan dengan waktu tinggal pengujian selama 4 hari. Penggunaan metode *hybrid* pada penelitian tersebut dinilai dapat bekerja secara baik, terlihat pada *bottom ash* yang digunakan dalam penyaringan serta peresapan dan dengan adanya *constructed wetland* yang mampu menyerap senyawa pencemar dari limbah melalui tanaman ataupun media. Hasil dari penelitian ini dengan metode hibrid dinilai dapat menurunkan kadar pencemar pada parameter uji TDS, TSS, COD, maupun kromium dengan menggunakan penyaringan *bottom ash* secara berturut yaitu sebesar 16,47%; 97,09%; 72,14%; dan 94,78%. Pada hasil akhir setelah proses *constructed wetland* memiliki persentase keahlian dalam menurunkan parameter uji secara berturut yaitu sebesar 13,12%; 57,53%; 7,52%; dan 0,35% [10].

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Dwi Adhe Ayu Novitasari, Dedi Triyanto, dan Irma Nirmalayang pada tahun 2018 dengan judul Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Pada Limbah Cair Industri Berbasis Mikrokontroler Dengan Antarmuka *Website*). Penelitian ini membahas mengenai *monitoring* limbah cair industri yang *dimonitor* atau dipantau melalui *website*. Pada penelitian ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali dalam pemrosesan data dan menggunakan parameter pH (pH Meter Kit), suhu (Dallas DS18B20), dan kekeruhan. Arduino Mega 2560 yang terhubung dengan *ethernet shield* menerima dan mengolah data dari sensor pH, suhu, dan kekeruhan yang kemudian ditransfer

dan tersimpan dalam *database* yang selanjutnya ditampilkan pada *website* berupa data angka dan grafik. Pengukuran pada tiap sensor dilakukan masing-masing sebanyak 24 kali dengan empat cairan berbeda yaitu limbah air tahu, air kran, air sungai, dan air detergen. Hasil pengujian pada sensor pH memiliki selisih nilai pembacaan sensor dengan rata-rata sebesar 2,14%. Selisih pembacaan sensor pH didapatkan dengan menggunakan selisih pengukuran sensor pH Meter Kit dengan pengukuran di Laboratorium. Hasil pengujian pada sensor suhu memiliki selisih nilai pembacaan sensor dengan rata-rata sebesar 0,37%. Selisih pembacaan parameter suhu didapatkan dengan menggunakan selisih pengukuran sensor DS18B20 dengan TDS Meter. Pengujian keseluruhan sistem *monitoring* pada penelitian ini memiliki presentase keberhasilan 100% [11].

Pada studi penelitian yang dilaksanakan pada tahun (2021 oleh Mohamad Abdul Jalil Faza, Sevia Indah Purnama, dan Fikra Titan Syifa dengan judul Sistem Monitoring Tingkat pH, Kekeruhan dan Suhu Air Limbah Batik pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Berbasis LoRa) pada penelitian tersebut membahas mengenai sistem *monitoring* air limbah batik pada instalasi pengolahan air yang *dimonitor* atau dipantau dengan *platform internet of things* yaitu ThingSpeak. Pada penelitian ini menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali dalam pemrosesan data dan menggunakan parameter pH (PH4502C), suhu (DS18B20), dan kekeruhan (SEN0189). Arduino Uno yang terhubung dengan LoRa *shield* menerima dan mengolah data dari sensor pH, suhu, dan kekeruhan yang kemudian data tersebut ditransfer oleh LoRa *shield* menggunakan protokol LoRa ke LoRa gateway dan diteruskan ke *platform thingspeak*. Data yang ditampilkan pada *platform thingspeak* berupa data grafik. Hasil pengukuran air limbah batik sebelum diolah menghasilkan nilai parameter pH sebesar 6.42, parameter *turbidity* atau kekeruhan sebesar 20,39 NTU dan parameter suhu sebesar 24,79°C. Setelah dilakukan pengolahan air limbah batik menghasilkan nilai parameter pH sebesar 7.13, *turbidity* atau kekeruhan sebesar 3.16 NTU dan parameter suhu 26.13°C. Hasil pengujian pada jaringan LoRa dengan jarak 100 meter didapatkan nilai RSSI sebesar -95.23dBm dan nilai SNR sebesar 9.94dB, pengujian dengan jarak 200 meter didapatkan nilai RSSI sebesar -96.76dBm dan nilai SNR sebesar 8.87dB, pengujian dengan jarak 400 meter didapatkan nilai RSSI sebesar -108.13dBm dan

nilai SNR sebesar -1.97dB. Pada penelitian ini jarak maksimum pengujian LoRa ialah sejauh 760m [12].

Pada studi penelitian yang dilaksanakan pada tahun (2022 oleh P. Paryanto, Resqilla Subarkah, dan Rusnaldy yang berjudul Perancangan *Prototype* dan Evaluasi Alat Pemantauan Air Limbah Industri Berbasis IoT) pada penelitian ini membahas mengenai sistem *monitoring* secara *real time* yang dapat dipantau melalui aplikasi Bylink. Pada penelitian ini melakukan pengujian pada air limbah tekstil, limbah minuman ringan, limbah minyak goreng, dan limbah pengalengan ikan menggunakan Arduino Nano sebagai sebagai pengendali dalam pemrosesan data dan menggunakan parameter suhu, pH, oksigen (DO), dan kekeruhan. Penelitian ini melaksanakan pengujian lapangan di sungai kawasan industri Sayung dengan titik pengujian terletak pada pembuangan aliran utama pembuangan limbah dari beberapa pabrik yang berbeda. Hasil pengujian pada sungai di sekitar kawasan industri Sayung, didapatkan pH sebesar 5,62 dan oksigen (DO) sebesar 4,69mg/L dimana nilai tersebut berada di bawah standar nilai baku mutu air limbah, sedangkan nilai TSS air sebesar 475,99mg/L, dimana nilai tersebut berada di atas standar nilai baku mutu air. Sehingga dapat disimpulkan kondisi sungai kawasan industri Sayung tergolong dalam sungai yang tercemar [13].

Penelitian yang dilakukan oleh (Imam Pratama Setiady, Mochammad HannatsHanafi Ichsan, dan Hurriyatul Fitriyah pada tahun 2022 dengan judul “Purwarupa Sistem *Monitoring* dan Otomatisasi Air Limbah Industri Tekstil dengan Metode *Fuzzy Logic* Mamdani) pada penelitian ini membahas mengenai *monitoring* untuk mengklasifikasikan statur air limbah dengan melakukan sebuah tindakan optimasi menggunakan *Fuzzy Logic* Mamdani dalam pengambilan keputusan status air dan tindakan optimasi untuk mengatur kecepatan motor DC dengan menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali dalam pemrosesan data dan menggunakan parameter Suhu (DS18B20), pH, dan *turbidity*. Hasil keseluruhan pada penelitian ini ditampilkan melalui LabVIEW secara *real time* dalam bentuk angka, indikator dan grafik baik dari hasil monitoring maupun hasil *fuzzy logic* Mamdani. Hasil akurasi sistem yang didapatkan dari penelitian ini didapatkan dari *input* sensor MAPE parameter suhu sebesar 7.33%, parameter pH sebesar 4.79%, dan parameter kekeruhan atau *turbidity* sebesar 7.48%. Perbandingan nilai *output* sistem dengan

output MATLAB, didapatkan MAPE status air sebesar 0.49%, pembuangan sebesar 0.49% dan penyaluran sebesar 0.50%. Dari hasil akurasi menunjukkan ketiga sensor dan *output* sistem dapat dikatakan sangat baik [14].

Tabel 2. 1 Komparasi Penelitian

Penelitian Oleh	Judul Penelitian	Parameter Penelitian	Hasil Penelitian	Penelitian Yang Akan di Kembangkan
Pieter Jhon Joshua Daris, Haryati Bawole Sutanto, Guruh Prihatmo	Pengolahan Limbah Tekstil dengan Metode Hibrid Menggunakan Sistem Filtrasi <i>Bottom Ash</i> dan <i>Constructed Wetland</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah tekstil • TDS • TSS • COD 	Hasil dari penelitian ini dengan metode hibrid dinilai dapat menurunkan kadar pencemar pada parameter uji TDS, TSS, COD, maupun kromium dengan menggunakan penyaringan <i>bottom ash</i> secara berturut yaitu sebesar 16,47%; 97,09%; 72,14%; dan 94,78%. Pada hasil akhir setelah proses <i>constructed wetland</i> memiliki persentase keahlian dalam menurunkan parameter uji secara berturut yaitu sebesar 13,12%; 57,53%; 7,52%; dan 0,35%	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah cair batik • Lynx-32 • LoRa • pH (<i>Gravity</i> pH meter V2.0) • TDS (<i>Gravity</i> TDS meter v1.0) • Warna (TCS3200) • Antares
Dwi Adhe Ayu Novitasari, Dedi	Rancang Bangun Sistem <i>Monitoring</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah cair industri 	Hasil pada pengujian sensor pH nilai pembacaan	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah cair batik • Lynx-32

Penelitian Oleh	Judul Penelitian	Parameter Penelitian	Hasil Penelitian	Penelitian Yang Akan di Kembangkan
Triyanto, Irma Nirmalayang	Pada Limbah Cair Industri Berbasis Mikrokontroler Dengan Antarmuka Website	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino Mega 2560 • <i>Ethernet shield</i> • pH (pH meter kit) • Suhu (Dallas DS18B20) • <i>Turbidity</i> • <i>Website</i> 	sensor dengan rata-rata selisih pembacaan sebesar 2,14%. Hasil pada pengujian sensor suhu nilai pembacaan sensor dengan rata-rata selisih pembacaan sebesar 0,37%. Pengujian keseluruhan sistem monitoring pada penelitian ini memiliki presentase keberhasilan 100%.	<ul style="list-style-type: none"> • LoRa • pH (<i>Gravity</i> pH meter V2.0) • TDS (<i>Gravity</i> TDS meter v1.0) • Warna (TCS3200) • Antares
Mohamad Abdul Jalil Faza, Sevia Indah Purnama, Fikra Titan Syifa	Sistem Monitoring Tingkat pH, Kekeruhan dan Suhu Air Limbah Batik pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Berbasis LoRa	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah cair batik • Arduino Uno • LoRa • pH (PH4502C) • Suhu (DS18B20) • <i>Turbidity</i> (SEN0189) • ThingSpeak 	Hasil pengukuran air limbah batik sebelum diolah menghasilkan nilai parameter pH sebesar 6.42, parameter <i>turbidity</i> atau kekeruhan sebesar 20,39 NTU dan parameter suhu sebesar 24,79°C. Setelah dilakukan pengolahan air limbah batik menghasilkan nilai parameter pH sebesar 7.13, <i>turbidity</i> atau kekeruhan	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah cair batik • Lynx-32 • LoRa • pH (<i>Gravity</i> pH meter V2.0) • TDS (<i>Gravity</i> TDS meter v1.0) • Warna (TCS3200) • Antares

Penelitian Oleh	Judul Penelitian	Parameter Penelitian	Hasil Penelitian	Penelitian Yang Akan di Kembangkan
			sebesar 3.16 NTU dan parameter suhu 26.13°C. Hasil pengujian pada jaringan LoRa dengan jarak 100 meter didapatkan nilai RSSI sebesar -95.23dBm dan nilai SNR sebesar 9.94dB. Pada penelitian ini jarak maksimum pengujian LoRa ialah sepanjang 760m.	
P. Paryanto, Resqilla Subarkah, Rusnaldy	Perancangan <i>Prototype</i> dan Evaluasi Alat Pemantauan Air Limbah Industri Berbasis IoT	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah air tekstil, • limbah minuman ringan, • limbah minyak goreng, • limbah pengalengan ikan • Arduino Nano • NodeMCU ESP8266 • Suhu (Dallas DS18B20) • pH (pH-450C) 	Hasil pengujian pada sungai di sekitar kawasan industri Sayung, didapatkan pH sebesar 5,62 dan DO sebesar 4,69mg/L dimana nilai tersebut berada di bawah standar nilai baku mutu air limbah, sedangkan nilai TSS air sebesar 475,99mg/L, dimana nilai tersebut berada di atas standar nilai baku mutu air. Sehingga dapat disimpulkan kondisi sungai kawasan industri	<ul style="list-style-type: none"> • Limbah cair batik • Lynx-32 • LoRa • pH (<i>Gravity</i> pH meter V2.0) • TDS (<i>Gravity</i> TDS meter v1.0) • Warna (TCS3200) • Antares

Penelitian Oleh	Judul Penelitian	Parameter Penelitian	Hasil Penelitian	Penelitian Yang Akan di Kembangkan
		<ul style="list-style-type: none"> Oksigen (DFRobot) <i>Turbidity</i> 	Sayung tergolong dalam sungai yang tercemar	
Imam Pratama Setiady, Mochammad HannatsHanafi Ichsan, Hurriyatul Fitriyah	Purwarupa Sistem <i>Monitoring</i> dan Otomatisasi Air Limbah Industri Tekstil dengan Metode <i>Fuzzy Logic Mamdani</i>	<ul style="list-style-type: none"> Limbah air tekstil Arduino Mega 2560 LabView <i>Fuzzy Logic Mamdani</i> pH Suhu (DS18B20) <i>Turbidity</i> 	<p>Hasil keseluruhan pada penelitian ini ditampilkan melalui LabVIEW secara <i>real time</i> dalam bentuk angka, indikator dan grafik baik dari hasil monitoring maupun hasil <i>fuzzy logic Mamdani</i>. Hasil akurasi sistem yang didapatkan dari penelitian ini didapatkan dari <i>input</i> sensor MAPE parameter suhu sebesar 7.33%, parameter pH sebesar 4.79%, dan parameter kekeruhan atau <i>turbidity</i> sebesar 7.48%.</p> <p>Perbandingan nilai <i>output</i> sistem dengan <i>output</i> MATLAB, didapatkan MAPE status air sebesar 0.49%, pembuangan sebesar 0.49% dan penyaluran sebesar 0.50%. Dari hasil</p>	<ul style="list-style-type: none"> Limbah cair batik Lynx-32 LoRa pH (<i>Gravity</i> pH meter V2.0) TDS (<i>Gravity</i> TDS meter v1.0) Warna (TCS3200) Antares

Penelitian Oleh	Judul Penelitian	Parameter Penelitian	Hasil Penelitian	Penelitian Yang Akan di Kembangkan
			akurasi menunjukkan ketiga sensor dan <i>output</i> sistem dapat dikatakan sangat baik.	

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Limbah Cair Industri Tekstil

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia menetapkan peraturan tentang baku mutu air limbah domestik pada Nomor P.68/Menlhk/Setjen/kum.1/8/2016. Pada Pasal 1 ayat (1) dijelaskan bahwa air limbah merupakan bekas atau sisa dari suatu hasil pelaku usaha ataupun aktivitas yang menghasilkan limbah [7]. Sedangkan air limbah tekstil sendiri merupakan limbah bekas atau sisa yang dihasilkan pada saat kegiatan pengkandungan, kegiatan penghilangan kanji, pengelantangan, pemasakan, merserisasi, pewarnaan, pencetakan dan penyempurnaan [15]. Pada gambar 2.1 merupakan salah satu contoh sungai di Indonesia yang tercemar akibat pembuangan air limbah tekstil.



Gambar 2. 1 Sungai Cimeta Tercemar Air Limbah Tekstil [16]

Air limbah memiliki dua karakteristik meliputi sifat fisika dan sifat kimia. Sifat fisika dapat ditinjau secara fisika meliputi warna, suhu, padatan (TSS), dan bau. Sedangkan sifat kimia dapat ditinjau dari senyawa organik dan anorganik yang terkandung dalam air limbah meliputi BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD

(*Chemical Oxygen Demand*), Fenol Total, Krom Total (Cr), Amonia Total (NH₃), Sulfida (S), dan pH (*potential Hydrogen*). Rata-rata pabrik tekstil di Indonesia menghasilkan 750mg/L padatan tersuspensi dan 50mg/L BOD (*Biological Oxygen Demand*). Air limbah hasil proses pencelupan zat pewarna biasanya memiliki pH yang tinggi (>9) lebih dari derajat keasaman 9 dan memiliki kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang cukup tinggi [17].

2.2.2 Baku Mutu Air Limbah Tekstil

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik pada Pasal 1 ayat (2), baku mutu merupakan batas skala atau kadar molekul pencemar ataupun jumlah maksimal molekul pencemar yang terkandung dalam air limbah yang akan dibuang atau dikeluarkan ke dalam sumber air dari suatu pelaku usaha ataupun aktivitas yang menghasilkan limbah. Setiap badan usaha tekstil di Indonesia diwajibkan untuk memiliki instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dan diwajibkan untuk memenuhi standar dari baku mutu air limbah tekstil sebagai penanda kualitas air limbah yang akan dibuang ke sumber air seperti sungai maupun selokan [7]. Parameter air limbah yang perlu diperhatikan oleh pelaku usaha atau kegiatan industri tekstil yaitu Debit m^3 /hari, BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), Fenol Total, Krom Total (Cr), Amonia Total (NH₃), Sulfida (S), Minyak dan Lemak, pH (*potential Hydrogen*), Warna, dan Suhu [4]. Berikut Tabel 2.2 mengenai parameter baku mutu air limbah tekstil.

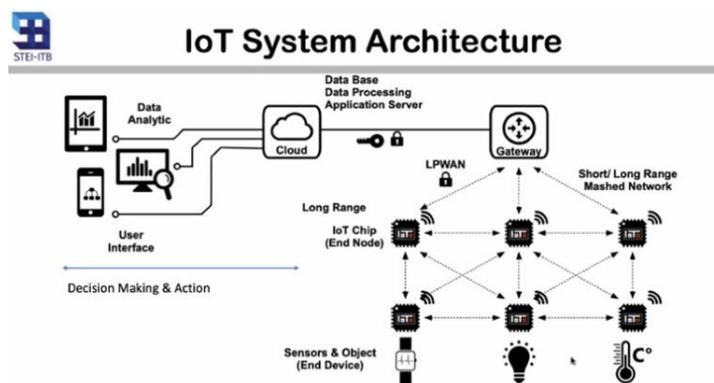
Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Tekstil [4]

Parameter	Batas Maksimum			Satuan
	≤ 100	$100 < x < 1000$	≥ 1.000	
Debit				m^3 /hari
BOD	60	45	35	mg/L
COD	150	125	115	mg/L
TSS	50	40	30	mg/L
Fenol Total	0,5	0,5	0,5	mg/L
Krom Total	1	1	1	mg/L
Amonia Total	8	8	8	mg/L
Sulfida	0,3	0,3	0,3	mg/L
Minyak & Lemak	3	3	3	mg/L
Ph	6 – 9	6 – 9	6 – 9	
Warna	200	200	200	Pt-Co

Parameter	Batas Maksimum			Satuan
Suhu	Deviasi 2*	Deviasi 2*	Deviasi 2*	°C
Debit Maksimum	100	100	100	m ³ /ton produk

2.2.3 *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah rancangan perangkat yang mendukung web maupun aplikasi untuk mengirim, menerima, dan bertindak atas data yang diperoleh dari lingkungan sekitar menggunakan sensor dan perangkat IoT lainnya yang terhubung dengan internet. *Internet of Things* dapat menghubungkan penggunaannya dengan web maupun aplikasi yang dihasilkan oleh *cloud* pada *platform internet of things* [18]. Arsitektur dari jaringan IoT terdapat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Arsitektur Internet of Things [19]

Pada gambar 2.2 dapat dilihat beberapa contoh dari implementasi perangkat IoT seperti *smartwatch*, lampu pintar, dan pemantauan suhu. Dari gambar 2.2 setiap perangkat memiliki sensornya masing-masing dimana data sensor akan dikirimkan ke *gateway* melalui jaringan ataupun modul yang digunakan kemudian akan disimpan di *cloud* IoT lalu data dianalisis untuk ditampilkan pada aplikasi ataupun web *platform* IoT.

Perkembangan teknologi internet membawa *internet of things* saat ini banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti industri, transportasi dan penyimpanan, rumah pintar atau *smart home*, pertanian dan perkebunan, pemantauan lingkungan dan manajemen bencana alam, serta masih banyak lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa teknologi *internet of things* memiliki banyak solusi serta manfaat bagi banyak sektor, karena dengan teknologi ini pengguna

dapat mengakses data secara *real time* dari jarak jauh menggunakan koneksi internet [18].

2.2.4 *Low Power Wide Area Network (LPWAN)*

Sektor yang berkembang pesat dalam teknologi *internet of things* adalah jaringan *wireless* atau nirkabel. Teknologi IoT berbasis *Low Power Wide Area Network (LPWAN)* dapat menjadi solusi dari penggunaan sistem komunikasi kartu M2M dimana teknologi LPWAN *non* seluler yang kemudian berkembang menjadi teknologi komunikasi radio [20]. Seperti yang terlihat pada gambar 2.3 merupakan beberapa teknologi dari LPWAN.



Gambar 2. 3 Teknologi LPWAN [21]

Pada gambar 2.3 merupakan contoh dari teknologi LPWAN yang terdiri dari LoRa, NB-IoT, LTE-M, dan sigfox. Teknologi LPWAN saat ini semakin banyak diminati karena dikenal sebagai teknologi dengan komunikasi jarak jauh dengan kapasitas baterai yang dapat beroperasi hingga 10 tahun dengan konsumsi daya rendah khususnya untuk pengiriman data kecil dengan cakupan area yang lebih luas dengan pita frekuensi yang digunakan dibawah 1 GHz (*sub-GHz band*). Kelebihan dari pengiriman data dengan frekuensi sub-GHz band adalah redaman propagasi yang lebih kecil. Sehingga penggunaan frekuensi sub-GHz memberikan keuntungan dalam meminimalisir interferensi.

Teknologi LPWAN memiliki cakupan area hingga menembus jarak puluhan kilometer pada daerah rural area dengan menggunakan teknik modulasi yang dirancang dengan *link budget* mencapai 150 dB. Teknologi LPWAN memiliki keunggulan dalam proses transmisi data dengan menjadikan perangkat pengguna dapat beroperasi pada pemakaian daya rendah namun dengan biaya operasional yang lebih terjangkau [20].

2.2.5 Long Range (LoRa)

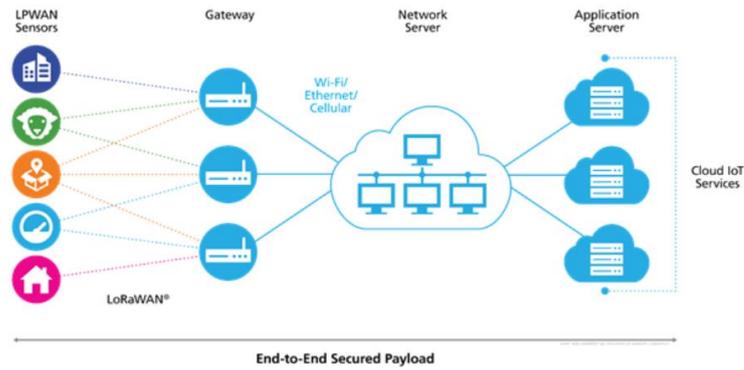
Teknologi LPWAN semakin populer dikomunitas industri dan penelitian karena kemampuannya yang mampu menyediakan komunikasi jarak jauh hingga 10–40 km di zona pedesaan dan 1–5 km di zona perkotaan dengan karakteristik komunikasi berbiaya rendah. Saat ini telah banyak teknologi LPWAN yang muncul dalam *bandwidth* frekuensi berlisensi maupun tidak berlisensi. Salah satu teknologi tersebut adalah LoRa [22]. Pada gambar 2.4 merupakan modul LoRa dengan frekuensi yang dapat digunakan di Indonesia yaitu 920MHz -923MHz.



Gambar 2. 4 Modul LoRa RF96

LoRa merupakan teknologi pada layer fisik yang memodulasi sinyal dalam pita ISM sub-GHZ menggunakan teknik *spread spectrum* yang telah dipatenkan. LoRa memiliki protokol komunikasi yang disebut dengan LoRaWAN dan telah distandarisasi oleh LoRa-Alliance versi pertama pada tahun 2015. LoRa mendukung komunikasi dua arah yang disediakan oleh modulasi *chirp spread spectrum* (CSS) yang bertugas untuk menyebarkan sinyal pita sempit melalui *bandwidth* saluran yang lebih luas.

Sinyal yang dihasilkan LoRa memiliki tingkat noise yang rendah serta memungkinkan ketahanan interferensi yang tinggi, dan sulit dideteksi atau dilumpuhkan. LoRa menggunakan enam faktor penyiaran (SF7 hingga SF12) dalam proses pertukaran kecepatan dan rentang data. Faktor penyiaran yang lebih tinggi memungkinkan jangkauan yang lebih jauh dengan mengurangi kecepatan data yang lebih rendah, dan sebaliknya [22]. Pada gambar 2.5 merupakan arsitektur dari protokol LoRaWAN.



Gambar 2. 5 Arsitektur dari LoRaWAN [22]

Seperti yang terlihat pada gambar 2.5 terdapat arsitektur dari LoRaWAN yang terdiri dari beberapa perangkat seperti sensor, LoRa *gateway*, *cloud* IoT dan server aplikasi. LoRa memanfaatkan protokol LoRaWAN dalam pengiriman data pada setiap pengiriman data yang dikirim oleh perangkat terakhir akan diterima oleh semua terminal dalam jangkauan jaringan, sehingga dapat meningkatkan rasio pesan yang berhasil terkirim dan diterima [22].

2.2.6 Lynx-32 LoRa Development Board

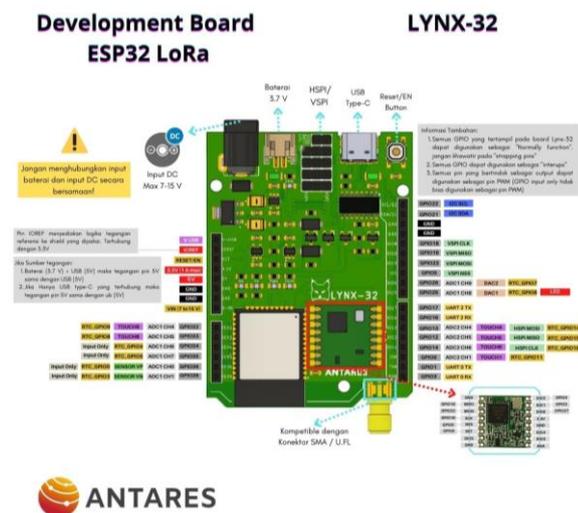
Lynx-32 merupakan papan mikrokontroler yang dibuat oleh PT. Telekomunikasi Indonesia untuk mendukung teknologi transmisi data jarak jauh khususnya untuk perangkat IoT. Lynx-32 memiliki *platform* khusus dalam pengiriman data jarak jauh yang dirancang oleh PT. Telekomunikasi Indonesia yaitu Antares. Sama halnya seperti mikrokontroler ESP32 buatan lainnya, Lynx-32 memiliki fitur lengkap untuk mendukung dalam perancangan sistem *internet of things* seperti prosesor, penyimpanan, dan akses GPIO (*General Purpose Input Output*). Lynx-32 memiliki pin *analog* dan *digital* yang dilengkapi dengan fitur *analog to digital converter* dan *digital to analog converter*. Lynx-32 dilengkapi dengan prosesor *dual core* 32 bit, PCB(*Printed Circuit Board*) 4 *layer* yang berfungsi untuk mengurangi EMI (*Electromagnetic Interference*) atau interferensi antar komponen, dan USB (*Universal Serial Bus*) *type C* yang mendukung perangkat mikrokontroler untuk terkoneksi dengan komputer [23].

Terlihat pada gambar 2.6 merupakan mikrokontroler Lynx-32 yang telah dilengkapi dengan modul LoRa pada frekuensi yang sesuai dengan regulasi penggunaan frekuensi jaringan LoRa di Indonesia.



Gambar 2. 6 Mikrokontroler Lynx-32

Spesifikasi dari mikrokontroler Lynx-32 yang telah dilengkapi dengan modul LoRa dapat dilihat pada gambar 2.7.

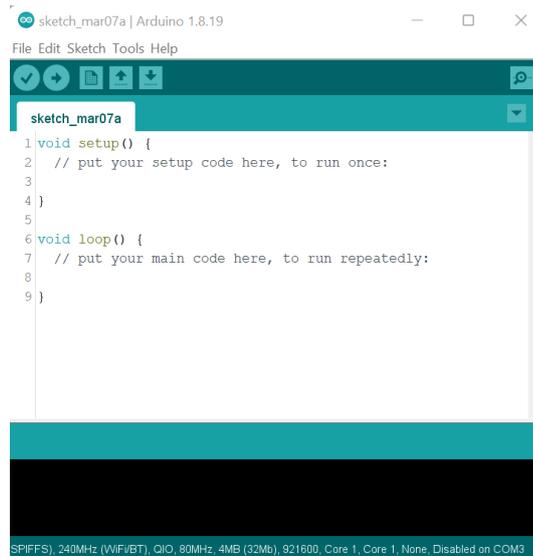


Gambar 2. 7 Datasheet Lynx-32 [23]

Pada gambar 2.7 terdapat datasheet dari mikrokontroler Lynx-32 dimana terdapat 12 pin yang dapat berfungsi sebagai ADC yang digunakan pada penelitian ini. Penulisan program mikrokontroler Lynx-32 dapat dilakukan dengan mudah dengan menggunakan *software* Arduino IDE.

2.2.7 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak atau *software* untuk memfasilitasi pengguna mikrokontroler dalam penulisan dan *compiler* program mikrokontroler. Pada gambar 2.8 merupakan tampilan awal atau *default* ketika membuka *software* Arduino IDE.

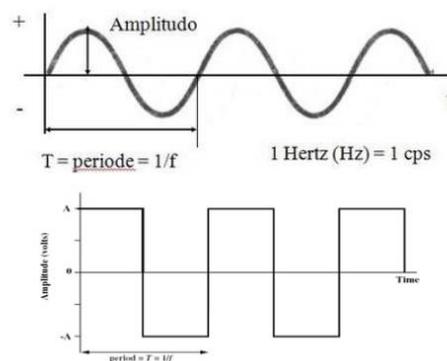


Gambar 2. 8 Tampilan Arduino IDE

Arduino IDE digunakan untuk menulis program yang akan diunggah ke papan mikrokontroler, berbeda dengan *processing* dimana program *compile* dapat langsung dijalankan di komputer, program pada mikrokontroler harus diunggah terlebih dahulu ke papan mikrokontroler sehingga program dapat dijalankan [24].

2.2.8 Analog to Digital Converter (ADC)

Analog To Digital Converter (ADC) merupakan sebuah perangkat yang dapat merubah sinyal analog yang berupa arus, tegangan listrik atau sinyal analog lainnya menjadi sinyal digital (kode-kode digital). Sinyal analog merupakan sinyal kontinyu yang bervariasi terhadap waktu dengan dua parameter amplitude dan frekuensi, sedangkan sinyal digital merupakan sinyal yang mempunyai dua keadaan yang biasa disebut dengan bit yang berupa 0 dan 1 [25]. Pada gambar 2.9 merepresentasikan sinyal analog dan sinyal digital.



Gambar 2. 9 Sinyal Analog dan Digital [25]

Perangkat ADC (*Analog to Digital Converter*) dapat berbentuk suatu modul atau rangkaian elektronik maupun suatu chip IC atau Mikrokontroler. Perubahan sinyal analog menjadi sinyal digital dalam aplikasi kontrol sangat penting, karena komputer hanya bisa membaca sinyal diskret/biner. Sinyal digital yang dihasilkan oleh ADC berupa angka 0 dan 1. ADC biasanya digunakan sebagai perantara antara sensor dengan masukkan analog seperti sensor suhu, cahaya, tekanan, aliran dan sebagainya, yang kemudian diukur dengan menggunakan sistem digital agar dapat dibaca oleh komputer [25].

2.2.9 Sensor pH

Didalam suatu zat pH (*power of hydrogen*) merupakan standar yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman dan kebasaan yang dinyatakan dalam rentang 0-14. Suatu zat dikatakan netral ketika memiliki pH 7, apabila suatu zat memiliki $\text{pH} < 7$ dapat dikatakan zat tersebut bersifat asam, sedangkan bila nilai $\text{pH} > 7$ maka dikatakan zat tersebut bersifat basa. Suatu zat bersifat asam ketika memiliki pH yang mendekati 0, pH 0 menunjukkan tingkat keasaman yang tinggi. Sedangkan zat bersifat basa ketika memiliki pH mendekati 14, pH 14 menunjukkan tingkat kebasaan tertinggi. PH air dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, faktor alam seperti meterial karbonat dan partikel seperti api bahkan petir, selain itu pH air juga dapat dipengaruhi oleh ulah manusia seperti presipitasi dengan campuran Nitrogen Oksida maupun Sulfur Oksida. Pengukuran pH pada larutan dapat dilakukan dengan menggunakan kertas lakmus atau menggunakan pH meter [26].

Sensor pH merupakan sensor yang berfungsi mendeteksi tingkat keasaman dan kebasaan pada cairan maupun larutan. Pengukuran pH dalam rentang 0-14 dengan nilai pH netral sebesar 7 pH. Sensor pH bekerja dengan cara merubah reaksi kimia pada ujung probe yang dikonversikan menjadi besaran tegangan kemudian dari tegangan tersebut diukur menjadi satuan pH [27]. Pada seperangkat sensor pH terdapat *probe* yang dimasukkan kedalam cairan untuk mengetahui tingkat keasaman dari suatu cairan seperti yang ditampilkan pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Sensor pH DFRobot *Gravity* pH meter V2

Salah satu jenis modul sensor pH adalah DFRobot *Gravity* pH Meter V2.0, spesifikasi dari sensor tersebut dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor pH DFRobot *Gravity* pH meter V2 [28]

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan <i>input</i>	3.3V – 5V
Konektor probe	BNC
Akurasi pengukuran	±0.1@25°C
Tipe probe	Grade industri
Range deteksi Ph	0-14
Range suhu	0-60°C
Waktu respon	<1 menit
Panjang kabel	500cm

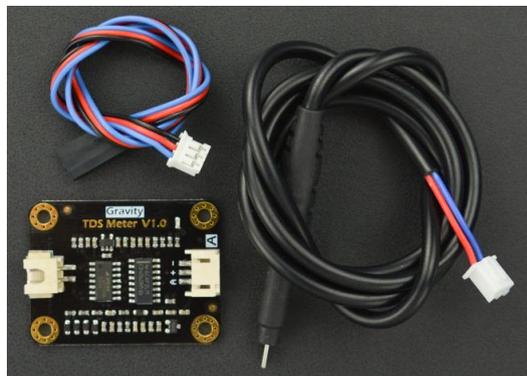
Sensor tersebut memiliki tegangan *input* sebesar 3,3V – 5,5V, dan pH yang dapat terdeteksi rentang 0-14 pada rentang suhu 0-60°C dengan waktu respon ketika pengukuran < 1 menit dan dapat dihubungkan menggunakan port BNC dengan panjang kabel 500 cm.

2.2.10 Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*)

TDS (*Total Dissolved Solids*) menandakan jumlah padatan baik bersifat organik maupun anorganik yang terdapat pada air. Kadar TDS meliputi semua padatan yang terlarut dalam air, baik yang berukuran dapat dilihat oleh kasat mata maupun yang berukuran sangat kecil yang tidak dapat dilihat secara kasat mata, sehingga ketika air terlihat jernih bukan berarti memiliki kadar TDS rendah. Di dalam larutan terdapat ion-ion yang dapat menghantarkan arus listrik. Banyaknya ion yang terkandung pada larutan dipengaruhi oleh banyaknya padatan yang terlarut. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Farly Tumimomor,

Septiany Palilingan, dan Meity Pungus (2020) dilaporkan bahwa terdapat hubungan antara TDS atau jumlah padatan yang terlarut dengan nilai konduktivitas listrik, ketika jumlah padatan yang terlarut dalam larutan semakin besar maka jumlah ion dalam larutan juga semakin besar sehingga nilai konduktivitas listrik akan semakin besar [29].

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) merupakan sensor yang berfungsi mendeteksi jumlah kandungan zat padat yang bersifat organik dan non organik dalam suatu cairan dengan menggunakan sifat konduktivitas listrik. Pada seperangkat sensor TDS terdapat *probe* yang dimasukkan kedalam cairan untuk mengetahui jumlah zat padat yang terlarut dari cairan tersebut. Pada gambar 2.11 merupakan seperangkat *Gravity TDS meter V1.0* [30].



Gambar 2. 11 Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) [31]

Hasil pengukuran sensor TDS dipengaruhi oleh kandungan zat padat seperti ion dan sifat elektrolit yang terkandung dalam air atau cairan. Spesifikasi dari sensor TDS terdapat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor TDS *Gravity TDS Meter V1.0* [31]

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan <i>input</i>	3.3V – 5V
Modul interface	PH0.2-3P
Spesifikasi	Keterangan
Modul elektroda	XH2.54-2P
Akurasi pengukuran	±10% F.S. (25°C)
Jumlah jarum probe	2
Rentang pengukuran TDS	0-1000ppm
Koneksi interface	XH2.54-3P
Panjang kabel	83cm

Sensor TDS meter memiliki tegangan *input* sebesar 3,3V – 5,5V dengan tipe tegangan adalah analog dikonversikan ke digital yang diproses oleh mikrokontroler.

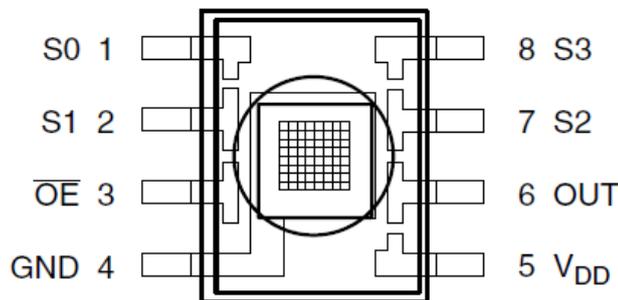
2.2.11 Sensor Warna

Sensor warna merupakan sensor yang berfungsi mendeteksi suatu warna dari objek yang dideteksi. Salah satu sensor warna yang umum digunakan pada aplikasi kendali mikrokontroler adalah sensor warna TCS3200, sensor tersebut dapat mendeteksi pergerakan suatu benda dari perubahan warna yang ditangkap oleh sensor. IC TCS3200 dilengkapi dengan 4 *photodiode* yang mencakup 16 dioda filter warna merah, 16 dioda filter warna biru, 16 dioda filter warna hijau, dan 16 dioda tanpa filter. Setiap filter pada TCS3200 dapat membaca nilai komposisi RGB (*Red Green Blue*) dengan hasil pembacaan dari filter warna tersebut berupa arus yang kemudian dikonversikan menjadi gelombang frekuensi oleh IC TCS3200 [32]. Pada gambar 2.12 merupakan gambar sensor warna TCS3200.



Gambar 2. 12 Sensor Warna TCS3200 [32]

Sensor warna TCS3200 mengukur intensitas cahaya yang dipantulkan objek warna dengan cara membaca nilai intensitas cahaya telah dipancarkan oleh LED, kemudian nilai tersebut akan dibaca menggunakan matrik 8x8 dengan 4 *photodiode* [33] Pada gambar 2.13 merupakan pin sensor warna TCS3200.



Gambar 2. 13 Pin pada Sensor Warna TCS3200 [33]

Setiap pin pada sensor warna TCS3200 memiliki fitur atau fungsi yang berbeda, pada tabel 2.5 memuat fungsi dari pin sensor TCS3200.

Tabel 2. 5 Fungsi Pin Sensor Warna TCS3200 [33]

Pin Komponen	No Pin	I/O	Fungsi Pin
GND	4	-	Sebagai <i>ground</i> pada <i>power supply</i>
OE (<i>Output Enable</i>)	3	<i>Input</i>	Sebagai <i>input</i> untuk frekuensi <i>output</i> dengan skala rendah
OUT	6	<i>Output</i>	Untuk <i>output</i> frekuensi
S0, S1	1, 2	<i>Input</i>	Sebagai saklar pemilih pada frekuensi <i>output</i> dengan skala tinggi
S2, S3	7, 8	<i>Input</i>	Sebagai saklar pemilih 4 kelompok diode
VCC	5	-	Memasok tegangan

IC TCS3200 yang memiliki tegangan *input* sebesar 2,7V – 5,5V yang dapat disesuaikan dengan mikrokontroler dalam pegoperasiannya. Pada penelitian ini tegangan *input* yang digunakan untuk mengoperasikan sensor warna sebesar 5V.

2.2.12 LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2

LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 merupakan salah satu dari rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai media penampilan data berupa karakter baik huruf dan angka dari hasil pembacaan sensor dengan karakteristik 16 karakter dalam 2 baris. LCD dilengkapi dengan modul yang menggunakan protokol I2C yang berguna untuk mengurangi penggunaan pin pada mikrokontroler, umumnya modul LCD menggunakan 6 – 7 pin yang terhubung ke mikrokontroler. Sedangkan modul I2C hanya menggunakan 2 pin *analog input* (SDA) dan (SCL) untuk terhubung ke mikrokontroler. Gambar LCD dan modul I2C terdapat pada gambar 2.14 [34].

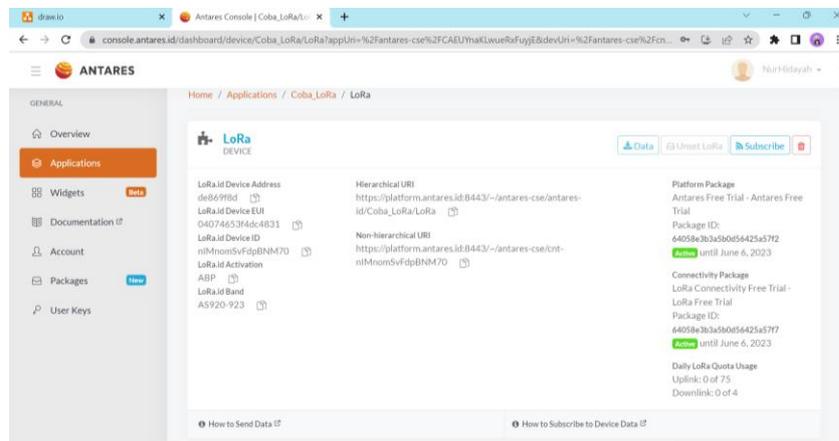


Gambar 2. 14 *Liquid Crystal Display* 16x2 dan modul I2C [35]

Pada penelitian ini LCD digunakan untuk menampilkan hasil nilai pembacaan dari sensor pH dan TDS serta pendeteksian warna oleh sensor warna. Pada penelitian ini LCD dihubungkan dengan Lynx-32 dengan pin analog *input* SDA pada GPIO21 dan pin analog *input* SCL pada GPIO 22 dengan tegangan *input* sebesar 5V.

2.2.13 Platform Antares

Antares merupakan *platform Internet of Things* (IoT) milik PT. Telekomunikasi yang berguna untuk menyimpan banyak data dan dapat diakses tanpa berbayar. Gambar 2.15 merupakan tampilan dari *platform* Antares yang saat ini sudah umum digunakan bagi perancang teknologi *internet of things*.



Gambar 2. 15 Tampilan Platform IoT ANTARES

Antares mendukung berbagai perangkat seperti mikrokontroler yang dilengkapi dengan *library* untuk mikrokontroler dan android dengan protokol yang umum digunakan pada IoT seperti *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), *Hypertext Transfer Protokol* (HTTP), *Websocet*, COAP, dan LoRaWAN [36].

2.2.14 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

Recived Signal Strength Indicator atau RSSI merupakan daya sinyal yang diterima oleh perangkat *receiver* atau penerima diukur dalam dBm. RSSI digunakan sebagai pengukur dalam penilaian kekuatan sinyal. Nilai RSSI menjadi acuan dalam penilaian seberapa baik *receiver* dapat menerima sinyal dari *transmitter*. Nilai RSSI pada komunikasi LoRa umumnya berkisar antara -30 dBm hingga -

120 dBm, dimana -30 dBm menunjukkan sinyal kuat dan -120 dBm menjadi batas minimum dan menunjukkan sinyal tersebut lemah. Pada penilaian RSSI jika nilai RSSI mendekati 0 maka sinyal yang diterima semakin baik [37]. Pada beberapa penelitian yang membahas mengenai RSSI, pengujian RSSI berdasarkan jarak semakin jauh jarak pemancar maka sinyal yang diterima akan semakin lemah dan proses pengiriman data membutuhkan waktu yang lebih lama [38].

2.2.15 Akurasi Pengukuran

Secara umum akurasi merupakan kedekatan nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan nilai yang sebenarnya. Akurasi juga dikatakan sebagai persentase perolehan kembali (*% recovery*) dari hasil nilai pengukuran terhadap nilai yang sebenarnya. Salah satu contoh dalam penelitian pengukuran suatu larutan pH dengan konsentrasi 9 yang diukur dengan pH meter. Untuk mendapatkan akurasi dari sensor pH, hasil pengukuran dari sensor pH dikatakan akurat jika nilai yang diperoleh mendekati atau tidak jauh dari nilai pH 9. Akurasi dapat diperoleh dengan menghitung nilai galat atau eror dan persen galat. Jika nilai pengukuran memiliki perbedaan dengan nilai sebenarnya, maka hal tersebut dinamakan galat. Akurasi semakin tinggi jika nilai hasil pengukuran semakin mendekati dengan nilai yang sebenarnya [39].

$$galat (\%) = \left| \frac{x-x'}{x} \right| x 100 \quad (2.1)$$

$$Akurasi (\%) = 100 - galat(error) \quad (2.2)$$

Dimana :

x = nilai sebenarnya dari alat ukur

x' = nilai pembacaan sensor

Galat = perbedaan nilai pembacaan dengan nilai sebenarnya (%)

Akurasi = nilai ketepatan pembacaan (%)

Rumus akurasi pada penelitian ini digunakan untuk menghitung akurasi dari sensor pH dan sensor TDS yang mengacu pada nilai sebenarnya yang didapatkan dari alat ukur laboratorium.