

REKAYASA PERANGKAT KERAS UNTUK ALAT PEMANTAU CUACA BERBASIS SMS PADA LINGKUNGAN TAMBAK GARAM

HARDWARE ENGINEERING FOR AN SMS (SHORT MESSAGE SERVICE)-BASED WEATHER MONITORING DEVICE IN SALT POND ENVIRONMENT

Ma'muri¹, Salasi Wasis Widyanto², Susilo Wisnugroho², Ari Kuncoro²,
Rikha Bramawanto³, & Nanda Radhitia Prasetiawan⁴

¹Pusat Riset Teknologi Tepat Guna, OR Pertanian dan Pangan, BRIN

²Pusat Riset Perikanan, OR Kebumihan dan Maritim, BRIN

³Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, OR Kebumihan dan Maritim, BRIN

⁴Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan, OR Pertanian dan Pangan, BRIN

e-mail : sripu@apps.ipb.ac.id

Diterima tanggal: 29 Mei 2023 ; diterima setelah perbaikan: 26 Juli 2023 ; Disetujui tanggal: 07 Agustus 2023

ABSTRAK

Produksi garam di Indonesia pada umumnya dilakukan secara tradisional dan sangat bergantung pada kondisi iklim-cuaca. Akan tetapi, keberadaan informasi cuaca di sekitar lahan pegaraman masih sangat minim karena peralatan pemantau cuaca yang telah ada hanya dipasang di sekitar bandara, pelabuhan, perkebunan, dan persawahan, yang jauh dari lokasi tambak garam. Oleh karena itu, pemasangan alat pemantau cuaca di lingkungan tambak garam sangat diperlukan agar diperoleh informasi cuaca yang akurat dan *real-time*. Tujuan dari penelitian ini ialah merencanakan instrumen berbiaya murah melalui integrasi beberapa perangkat sensor, mikrokontroler, dan modul-modul elektronik pendukung lainnya, sehingga dapat digunakan sebagai alat pemantau cuaca di lingkungan tambak garam dengan mekanisme pengiriman datanya melalui *Short Message Service* (SMS). Tahapan penelitiannya meliputi desain konseptual, pengumpulan data sekunder melalui studi literatur dan observasi lapangan, pembuatan desain, pembuatan prototipe, pengujian, dan analisa data. Hasilnya berupa prototipe alat pemantau cuaca yang dapat menghasilkan data cuaca berupa kecepatan angin, arah angin, curah hujan, suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, suhu air, dan tinggi muka air di dalam tambak garam. Kesimpulannya, prototipe alat pemantau cuaca hasil rekayasa instrumen terintegrasi telah berhasil dibuat dan dapat bekerja dengan baik dalam menyajikan data dan informasi cuaca secara *real-time*. Dalam jangka panjang, kumpulan data dan informasi cuaca ini dapat dimanfaatkan oleh stakeholder untuk memprediksi produksi garam.

Kata kunci: produksi garam, cuaca, perangkat berbiaya murah, mikrokontroler.

ABSTRACT

Salt processing in Indonesia is generally carried out in a traditional way and is highly dependent on climate-weather conditions. However, the existence of weather information around salt fields is still very minimal because the existing weather monitoring devices is only installed around airports, ports, plantations, and rice fields, which are far from the location of salt ponds. Therefore, the installation of weather monitoring devices in the salt pond environment is very necessary in order to obtain accurate and real-time weather information. The aim of this research is to engineer a low-cost instrument through the integration of several sensor devices, microcontrollers, and other supporting electronic modules, so that it can be used as a weather monitoring device in salt ponds with a mechanism for sending data via Short Message Service (SMS). The stages of this research include conceptual design, secondary data collection through literature studies and field observations, design making, prototyping, testing, and data analysis. The result is a prototype of weather monitoring device that can produce weather data such as wind speed, wind direction, rainfall, air temperature, air humidity, air pressure, water temperature, and water level in the salt ponds. In conclusion, the prototype of the integrated instrument engineered weather monitoring device has been successfully created and can work well in presenting real-time weather data and information. In the long term, this collection of data and weather information can be used by stakeholders to predict salt processing.

Keywords: salt processing, weather, low-cost instrument, microcontroller.

PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap iklim-cuaca serta pengelolaan lahan secara tradisional mempengaruhi produksi garam di Indonesia (Kumala, 2012; Herho *et al.*, 2017; Bramawanto & Abida, 2017). Produksi garam di lahan terbuka hanya dapat dilakukan saat musim kemarau, ketika curah hujan relatif kecil, karena sebagian besar letak lahan garam di Indonesia berada di kawasan tropis sekitar ekuator (Trikobery *et al.*, 2017; Bramawanto *et al.*, 2019; Sahara & Kristiyanto, 2020; Kuncoro *et al.*, 2021). Dalam beberapa kajian terlihat bahwa curah hujan merupakan faktor pembatas kuantitas produksi garam dengan sistem evaporasi (Kumala, 2012; Bramawanto *et al.*, 2019; Ashilah *et al.*, 2022). Dalam Buku Panduan Pengembangan Usaha Terpadu Garam dan Artemia disebutkan bahwa kondisi cuaca yang mempengaruhi produksi garam antara lain laju evaporasi/penguapan (rata-rata > 650 mm/tahun), kecepatan dan arah angin (> 5 m/detik), suhu udara (> 32°C), penyinaran matahari (100%), kelembaban udara (< 50% H), curah hujan (1.000 – 1.300 mm/tahun atau 100 mm/bulan), dan musim kemarau panjang yang kering tanpa diselingi hujan. Kondisi cuaca berupa musim kemarau kering yang berlangsung terus-menerus selama minimal 140 hari tanpa diselingi hujan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada produksi garam normal (Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non Hayati, 2006).

Informasi cuaca dari *weather station* di sekitar lahan tambak garam masih sangat minim keberadaannya. Peralatan pemantau cuaca milik Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) biasanya dipasang di sekitar bandara, pelabuhan, perkebunan dan persawahan (BMKG, 2021). Padahal kebutuhan akan data dan informasi yang cepat, akurat, dan mutakhir terkait perubahan iklim mikro di lingkungan tambak garam, seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, dan curah hujan, juga sangat penting selama proses produksi garam (Amin *et al.*, 2021). Oleh karena itu, diperlukan pemasangan alat pemantau cuaca di lingkungan tambak garam agar diperoleh informasi cuaca yang akurat dan *real-time* (Kuncoro *et al.*, 2021; Widyanto *et al.*, 2022). Keberadaan informasi cuaca yang akurat melalui alat yang dipasang di sekitar tambak garam tersebut bisa pula menjadi penjelas dari kebiasaan dan pengalaman para petani garam dalam memprediksi cuaca untuk keperluan produksi garam (Bramawanto *et al.*, 2020; Widyanto *et al.*, 2022). Bahkan jika hanya mengandalkan prediksi secara klasik, cuaca yang tidak menentu dan musim yang berubah ritmenya belakangan ini, tentunya akan

membingungkan petani garam dalam mengelola tambaknya (Trikobery *et al.*, 2017; Widyanto *et al.*, 2022). Kebiasaan dan pengalaman petani garam berbasis kearifan lokal ini nyaris menjadi kurang berguna akibat ketidakteraturan tersebut. Oleh karena itu, kehadiran teknologi informasi yang disandingkan dengan kearifan lokal akan banyak membantu menentukan waktu yang tepat untuk memulai dan memanen komoditas garam di saat seperti ini, sehingga petani tetap bisa mengoptimalkan produksinya (Widyanto *et al.*, 2022).

Salah satu bentuk penerapan teknologi informasi dalam bidang komunikasi adalah *Short Message Service* (SMS) (Ridwan, 2020). SMS adalah layanan yang dipakai dalam sistem pengiriman dan penerimaan teks antar telepon selular (Siregar & Taufik, 2017; Bahri *et al.*, 2019). Layanan pesan singkat ini merupakan salah satu fitur dari *Global System for Mobile Communication* (GSM) yang dikembangkan dan distandarisasi oleh *European Telecommunication Standard Institute* (ETSI) (Dunnewijk & Hultén, 2007; Fernando & Suherli, 2019). Teknologi ini mulai diperkenalkan pada tahun 1991 di Eropa dan kemudian menjadi standar bagi komunikasi selular berbasis GSM (Taylor *et al.*, 2005; Dunnewijk & Hultén, 2007). GSM sendiri merupakan sebuah teknologi komunikasi selular bersifat digital yang banyak diterapkan pada komunikasi bergerak, khususnya telepon genggam (Ramadhani, 2013; Apriyanti, 2016). Pilihan SMS dalam mekanisme pengiriman data dilatarbelakangi oleh temuan beberapa lokasi tambak garam, seperti di daerah pantai selatan Kebumen dan Gunung Kidul (Pantai Sepanjang, Pantai Nguyahan, Pantai Dadapayam), yang tidak didukung sinyal internet yang bagus, berada di luar jangkauan jaringan internet, bahkan sebagian diantaranya tidak terdapat sinyal GSM maupun internet sama sekali. Beberapa petambak garam juga masih menggunakan alat komunikasi (handphone) model lama yang hanya bisa menerima sinyal GSM/SMS. Selain itu, menurut Andang dan Hiron (2015), pengiriman data yang berkala menggunakan teknologi SMS memiliki kelebihan yaitu kemudahan konfigurasi *hardware* dan *software* dan juga efisiensi biaya pengiriman data dibandingkan pengiriman kontinyu. Efisiensi biaya juga bisa dilakukan dengan mengatur interval waktu pengiriman data yang renggang karena para petambak garam umumnya hanya memerlukan laporan data cuaca harian.

Tantangan dari instrumen yang dibuat sendiri adalah harus bisa lebih murah dari perangkat yang telah dijual

di pasaran dan mampu bersaing dalam hal kemudahan penggunaannya. Perangkat yang telah diproduksi secara massal memungkinkan untuk dijual lebih murah dibandingkan produksi satuan, tetapi seringkali fungsinya tidak cocok diimplementasikan di lapangan, sehingga untuk membuat suatu sistem yang utuh memerlukan integrasi beberapa produk yang berimbas pada akumulasi biaya yang tidak lagi disebut murah. Fenomena inilah yang terjadi pada alat pemantau cuaca yang dikhususkan untuk aplikasi di lingkungan tambak garam. Meski alat pemantau cuaca telah banyak dibuat dan dijual di pasaran, tetapi belum ada yang khusus diterapkan pada tambak garam. Diantara contoh alat pemantau cuaca yang banyak dijual di pasaran dengan fitur yang mendekati kebutuhan informasi cuaca di tambak garam dan berharga paling murah adalah model PCE FWS 20 yang dibandrol dengan harga 6 jutaan tanpa tiang pancang (www.indotrading.com). Model ini belum memiliki fitur untuk mengukur evaporasi yang sangat dibutuhkan bagi prediksi produksi garam, hanya memiliki catu daya yang kecil (*mini solar panel* dan baterai *rechargeable 2,5 Volt*) sehingga tidak bisa dipakai untuk pengukuran *real-time* dalam jangka waktu yang lama, dan perlindungan terhadap korosi uap air laut yang minim jika diaplikasikan di tambak garam secara permanen. Selain itu, sisi kemudahan penggunaan tidak dirasakan oleh petani/petambak garam yang umumnya tidak memahami teknologi nirkabel selain alat komunikasi berbasis GSM yang mereka pakai sehari-hari. Model ini lebih cocok digunakan oleh para peneliti yang membutuhkan data parameter cuaca secara insidental, dipasang secara portable sesuai kebutuhan di lokasi daratan yang jauh dari pesisir pantai. Model semisal inilah yang banyak beredar di pasaran. Contoh lain alat pemantau cuaca yang banyak dipasang secara permanen di Indonesia adalah *Automatic Weather Station (AWS)* milik BMKG yang secara umum terdiri dari beberapa parameter cuaca seperti suhu, tekanan udara, kelembaban udara, curah hujan, kecepatan dan arah angin. Model konstruksi dan suplai catu daya dari perangkat ini cocok untuk ditempatkan secara permanen dalam jangka waktu lama di lokasi-lokasi tertentu. Namun, biaya pengadaannya tergolong mahal. Biaya pengadaan AWS sebesar 800 juta yang tercatat ditenderkan BMKG pada bulan Maret 2022 bukanlah biaya yang sedikit untuk instalasi di 2 lokasi di Jakarta Pusat (<https://lpse.bmkg.go.id>). Selain mahal, fitur pengukuran evaporasi belum tersedia dan data informasi cuaca yang membutuhkan koneksi internet dalam transmisinya, tidak bisa diakses oleh petani/petambak garam yang hanya bermodalkan alat komunikasi berbasis GSM. Berbeda dengan alat pantau cuaca yang dibuat sendiri,

selain bisa menekan harga karena bisa memilah dan memilih komponen yang tepat, juga lebih sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Estimasi biaya perangkat secara utuh dengan fitur yang disesuaikan dengan kebutuhan informasi cuaca di lingkungan tambak garam dan kemudahan penggunaannya oleh petani/petambak garam berkisar hanya sebesar 20 jutaan. Kisaran biaya ini jelas lebih murah dibandingkan dengan perangkat yang semisal dalam fitur dan kegunaan yang sama dengan tingkat kualitas yang setara. Bahkan, satu stasiun alat pantau cuaca yang dibuat memiliki kelebihan dapat diakses datanya melalui SMS oleh beberapa petani/petambak garam dan admin/peneliti sekaligus setiap 4 jam sekali atau melalui request dengan hanya mengetikkan huruf L dan enter pada tombol handphone (HP) yang menunjukkan kemudahan penggunaannya bagi orang yang gagap teknologi sekalipun (Widyanto *et al.*, 2022).

Tujuan dari penelitian ini ialah merekayasa perangkat keras (*hardware*) melalui integrasi beberapa perangkat sensor, mikrokontroler, dan modul-modul elektronik pendukung lainnya, sehingga dapat digunakan sebagai alat pemantau cuaca di lingkungan tambak garam yang mekanisme pengiriman datanya melalui *Sort Message Service (SMS)*.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada bulan April – Desember 2020 di lingkungan kantor Unit Rintisan Riset Teknologi Kelautan, *Pangandaran Integrated Aquarium and Marine Research Institute (PIAMARI)*, Pangandaran, Jawa Barat. Kegiatan ini merupakan bagian utama dari Riset Pembuatan Model Alat Pemantauan Cuaca-Iklim untuk Prediksi Produksi Garam yang dilaksanakan oleh para peneliti, perekayasa, dan teknisi litkayasa pada Kelompok Riset Teknologi Kelautan, Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan (BRSDMKP).

Alat dan Bahan Penelitian







Alat kerja yang digunakan didalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 1, sedangkan bahan yang digunakan beserta spesifikasi teknisnya yang terdiri dari perangkat sensor, modul mikrokontroler, modul komunikasi data, dan modul regulator DC *step-down* diperlihatkan pada Tabel 2, 3, 4, dan 5.

Tabel 1. Alat-alat yang digunakan
 Table 1. The tools used in the researchs

Alat	Fungsi
Solder set	Memasang/menyambung kabel atau komponen pada jalur PCB
Tang set	Memotong dan mengupas kabel/kaki komponen
Obeng set	Memasang dan melepas baut/sekrup
Multitester/AVOmeter	Memeriksa sambungan kabel, tegangan, arus, dan hambatan listrik
Adjustable adaptor 24V	Mensuplai tegangan listrik DC sementara
Cutter	Memotong dan mengupas kabel
Kunci L	Melepas/memasang baut jenis L (kepala bautnya berlubang membentuk segi 6)
Kunci Inggris	Melepas/memasang baut hexagonal (ukuran kecil – besar)

Sumber: Samidi, 2019

Tabel 2. Perangkat sensor yang digunakan dan spesifikasi teknisnya
 Table 2. The sensor devices and their technical specifications

Perangkat sensor	Spesifikasi	Gambar
Sensor anemometer (tipe sensor: optik tipe celah)	Tegangan suplai: 5V DC Output: pulse digital TTL Diameter kincir: 17,5 cm Sensor terpasang pada pipa PVC 1/2"	
Sensor arah angin (tipe sensor: magnetik)	Untuk mengukur kecepatan angin	
Sensor curah hujan (rain gauge) support Arduino (tipe sensor: magnetik)	Tegangan suplai: 5V DC Sensor: 8 sensor magnetik Output: 8 digital output Mendeteksi 8 arah angin	
US-100 ultrasonic sensor module	Untuk mendeteksi arah angin Tegangan suplai: 5V DC Output: pulse digital TTL	
BME280 temperature, humidity, and pressure sensor	Per tip bernilai 0,053 inch of rain atau 1,346 mm of rain Untuk mengukur curah hujan Tegangan suplai: 5V DC Sudut induksi: 150	
DS18B20 programmable resolution 1-wire digital thermometer (casing: waterproof)	Jarak deteksi: 2 – 450 cm Presisi: 1 mm Untuk mengukur ketinggian muka air Kelembaban relatif: 0 – 100% with ±3% Tekanan barometrik: 300 Pa – 1100 hPa with ±1 hPa Temperatur: -40° – 85°C with ±1.0°C On-board LM6292 3.3V regulator (tegangan suplai 3.3V atau 5V DC) I2C voltage level translator Untuk mengukur suhu, kelembaban, dan tekanan udara Tegangan suplai: 3.0V – 5.5V DC Temperatur: -55° – +125°C ± 0.5°C Converts 12-bit temperature to digital word in 750 ms Unique 1-wire interface communication Untuk mengukur suhu air	

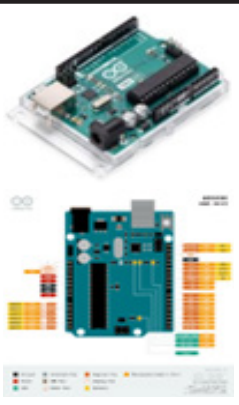
Sumber: <https://depinovasi.com>, <https://www.alldatasheet.com>, <https://lastminuteengineers.com>

Metode dan Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini merupakan metode perancangan yang mengacu pada petunjuk teknis jabatan fungsional perencana Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT, 2016).

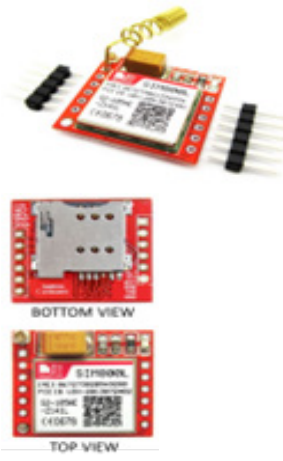
Metode tersebut terdiri dari tahapan-tahapan desain konseptual, pengumpulan data, pembuatan desain, pembuatan benda uji, pengujian, dan analisa hasil pengujian. Tahapan-tahapan tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 3. Modul Arduino UNO Rev3 yang digunakan dan spesifikasi teknisnya
 Table 3. The Arduino UNO Rev3 module and its technical specifications

Spesifikasi		Gambar
Microcontroller	ATmega328P	 <p>Diagram Pinout</p>
Operating voltage	5V DC	
Input voltage (recommended)	7 – 12V DC	
Input voltage (limit)	6 – 20V DC	
Digital I/O pins	14 (of which 6 provide PWM output)	
PWM digital I/O pins	6	
Analog input pins	6	
DC per I/O pins	20 mA	
DC for 3.3V pins	50 mA	
Flash memory	32 KB (of which 0.5 KB is used by the bootloader)	
SRAM	2 KB	
EEPROM	1 KB	
Clock speed	16 MHz	


Sumber: <https://corzotech.com>

Tabel 4. Modul SIM800L dan spesifikasi teknisnya
 Table 4. The SIM800L module and its technical specifications

Spesifikasi		Gambar
Supports quad-band	GSM850, EGSM900, DCS1800, PCS1900	
Power supply	3.4 – 4.4V DC	
Transmitting power	Class 4 (2W) at GSM 850 and EGSM 900 Class 1 (1W) at DCS 1800 and PCS 1900	
GPRS connectivity	GPRS multi-slot class 12 (default) GPRS multi-slot class 1 – 12 (option)	
Temperature range	Normal operation: -40 ~ +85 0C	
SMS	MT, MO, CB, Text, and PDU mode SMS storage: SIM card	
SIM interface	Support SIM card: 1.8V; 3V	
External antenna	Antenna pad	
SIM application toolkit	GSM 11.14 release 99	
Real-time clock	Support RTC	
Timing function	Used AT command set	

Sumber: Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, 2015

Tabel 5. Modul regulator DC step-down dan spesifikasi teknisnya
 Table 5. DC step-down regulator module and its technical specifications

Spesifikasi		Gambar
LM2596 simple switcher power converter 150 kHz 3A step-down voltage regulator	Supply voltage: 4.5 – 40V DC Output voltage range: 1,2V – 37V ±4% Output current: 3,0A Thermal shutdown and current limit protection Untuk menurunkan tegangan DC	

Sumber: Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd, 2015



Gambar 1. Diagram alir rekayasa perangkat keras untuk alat pemantau cuaca berbasis SMS pada lingkungan tambak garam. (Sumber: Dokumen Petunjuk Teknis Perekayasa, BPPT, 2016)

Figure 1. Hardware engineering flowchart for an SMS-based weather monitoring device in a salt pond environment. (Source: Engineer's Technical Guidance Document, BPPT, 2016)

Tahapan pertama dalam perancangan tersebut yaitu membuat desain konseptual yang meliputi latar belakang, tujuan yang ingin dicapai, dan identifikasi kebutuhan desain/material yang diperlukan. Tahapan kedua yaitu mengumpulkan data sekunder melalui studi literatur berupa literasi jurnal, buku, dan sumber di internet tentang data perangkat keras yang dibutuhkan seperti sensor, modul mikrokontroler, modul transmitter, dan modul regulator. Data sekunder berupa data perangkat keras untuk alat pemantau cuaca yang telah diaplikasikan di lapangan atau dijual di pasaran dan data kebutuhan perangkat teknologi yang dibutuhkan untuk membantu kearifan lokal para petani/petambak garam didapatkan melalui observasi lapangan dan koordinasi/konsultasi dengan narasumber. Narasumber ahli yang dipilih adalah orang yang kompeten di bidang teknologi elektronika dan telekomunikasi, sedangkan narasumber lainnya yaitu orang yang kompeten di bidang garam dan aplikasinya, termasuk para petani/petambak garam itu sendiri. Tahapan ketiga adalah membuat gambar desain rangkaian konektivitas antar perangkat keras menggunakan *software* fritzing. Tahapan keempat adalah membuat prototipe rangkaian perangkat keras sesuai dengan gambar desain, dilanjutkan dengan tahapan kelima yaitu melakukan pengujian untuk mengetahui kinerja prototipe tersebut. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian konektivitas sambungan kabel antar komponen, pengujian tegangan DC yang mengalir dalam rangkaian menggunakan AVOMeter, dan pengujian rangkaian terintegrasi hingga terkirim data melalui SMS. Pada pengujian terpadu, dilakukan kalibrasi terlebih dahulu pada sensor-sensor yang digunakan. Tahapan terakhir adalah menganalisa hasil pengujian. Data yang dianalisa sekurang-kurangnya merupakan data 5 kali ulangan dalam sehari selama minimal 5

hari. Analisa dilakukan dengan cara membandingkan data parameter cuaca hasil alat pantau cuaca yang telah dibuat dengan data parameter cuaca dari ventusky.com pada waktu yang sama. Selain itu, data pembanding pengukuran jarak dipilih menggunakan perangkat manual yaitu mistar. Berdasarkan perbandingan tersebut, diperoleh kesimpulan umum mengenai kinerja prototipe rangkaian perangkat keras yang telah dibuat, khususnya akurasi data parameter cuaca yang dihasilkan oleh alat.

Konfigurasi Penelitian

Rekayasa perangkat keras untuk alat pemantau cuaca pada lingkungan tambak garam berbasis SMS ini dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa komponen elektronik yaitu perangkat sensor, modul mikrokontroler, modul transmitter, dan modul regulator DC *step-down*. Perangkat sensor merupakan komponen yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur parameter lingkungan di sekitar lahan tambak garam. Ada 6 jenis perangkat sensor yang digunakan yaitu anemometer, *windvane*, *rain gauge*, sensor BME/BMP280, sensor ultrasonik US100, dan sensor DS18B20. Penempatan perangkat sensor dibagi menjadi 2 bagian, yaitu sensor bagian atas dan sensor bagian bawah. Sensor bagian atas meliputi: anemometer, *wind-vane*, dan *rain gauge*. Ketiga perangkat sensor ini harus ditempatkan di bagian atas dengan tujuan agar terhindar atau jauh dari bangunan, pohon, atau penghalang lain yang dapat menghalangi hembusan angin atau hujan karena dapat mempengaruhi keakuratan data pengukuran. Sedangkan sensor bagian bawah meliputi: sensor BME/BMP280, sensor ultrasonik US-100, dan sensor DS18B20. Bagian *probe/casing* sensor DS18B20 harus kontak langsung dengan air di dalam tambak garam.

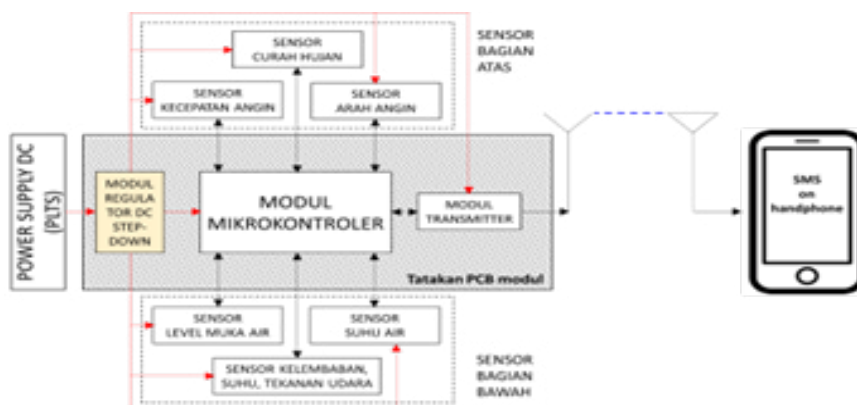
Begitu juga sensor ultrasonik US-100, posisinya harus dekat dengan permukaan air di dalam tambak garam agar data pengukurannya akurat, akan tetapi posisinya harus dijaga tetap aman saat air dalam tambak garam penuh.

Hasil pengukuran parameter lingkungan dari keenam perangkat sensor tersebut kemudian akan dikirimkan ke modul mikrokontroler dalam bentuk sinyal listrik. Sinyal ini akan diolah oleh mikrokontroler agar menghasilkan keluaran data yang dapat dimengerti oleh pengguna (user). Selain sebagai pengolah sinyal/data, mikrokontroler juga berfungsi mengontrol operasional perangkat sensor dan modul transmitter, sekaligus sebagai timer dan ADC (*analog-digital converter*). Jenis modul mikrokontroler yang digunakan adalah modul Arduino UNO Rev3. Modul Arduino dipilih karena memiliki *boardloader* sendiri, bahasa pemrogramannya mudah dipelajari, mekanisme pemrogramannya cukup melalui port USB, *hardware* dan *software*-nya bersifat *open source*; memiliki banyak library gratis, *software*-nya dapat dijalankan pada berbagai sistem operasi komputer, dan dilengkapi dengan tombol dan pin reset.

Setelah sinyal output dari perangkat sensor selesai diolah, mikrokontroler akan mengirimkan hasilnya ke modul transmitter untuk dikirimkan lagi ke pengguna melalui SMS. Jenis modul transmitter yang digunakan adalah modul SIM800L. Sebuah kartu SIM yang didalamnya sudah terisi pulsa harus dipasang pada modul SIM800L ini agar dapat mengirimkan data hasil pengukuran ke pengguna melalui SMS. Selain itu, nomor kartu SIM para pengguna juga sebelumnya harus diinput terlebih dahulu didalam program yang ditanamkan pada modul mikrokontroler. Selain dapat

mengirimkan data melalui aplikasi SMS, modul SIM800L ini juga mendukung pengiriman data melalui aplikasi internet, sehingga sistem komunikasi data pada alat ini dapat dikembangkan berbasis *Internet of Thing* (IoT) untuk daerah-daerah tambak garam yang memiliki jangkauan jaringan internet yang bagus dan stabil.

Kebutuhan energi listrik DC untuk mendukung operasional rangkaian perangkat keras ini disuplai dari baterai 12 Volt yang terhubung dengan mekanisme PLTS. Berdasarkan data-data pada Tabel 2, 3, 4 terlihat bahwa besarnya tegangan operasional masing-masing komponen berbeda-beda dan dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu tegangan $5,0 \pm 0,5$ V untuk operasional perangkat sensor, tegangan $12 \pm 0,5$ V untuk operasional modul Arduino UNO Rev3, dan tegangan $3,9 \pm 0,5$ V untuk operasional modul SIM800L. Tegangan operasional modul Arduino UNO Rev3 bisa disuplai langsung dari baterai, sedangkan tegangan operasional perangkat sensor dan modul SIM800L dapat disuplai dari baterai yang telah diturunkan tegangannya melalui modul regulator DC, sehingga diperlukan 2 unit regulator DC step-down. Satu unit untuk menurunkan tegangan DC dari 12 V menjadi 5 V dan satu unit lainnya untuk menurunkan tegangan DC dari 12 V menjadi 3,4 – 4,4 V. Regulator DC *step-down* yang dipilih adalah tipe LM2596 yang dilengkapi dengan voltmeter, sehingga memudahkan proses setting tegangan dan pemantauan kinerja regulator tersebut. Bentuk konfigurasi rangkaian perangkat keras untuk alat pemantau cuaca pada lingkungan tambak garam berbasis SMS ini secara lengkap ditunjukkan melalui blok diagram pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi rangkaian perangkat keras untuk alat pemantau cuaca berbasis SMS pada lingkungan tambak garam. (Sumber: dokumentasi riset)

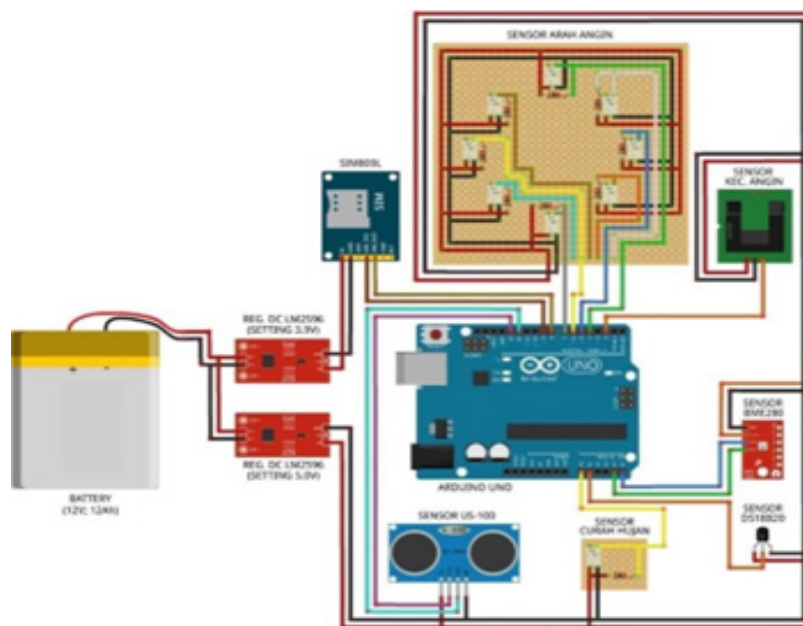
Figure 2. Configuration of the hardware circuit for an SMS-based weather monitoring device in a salt pond environment. (Source: research documentation)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dan Konstruksi Instrumen

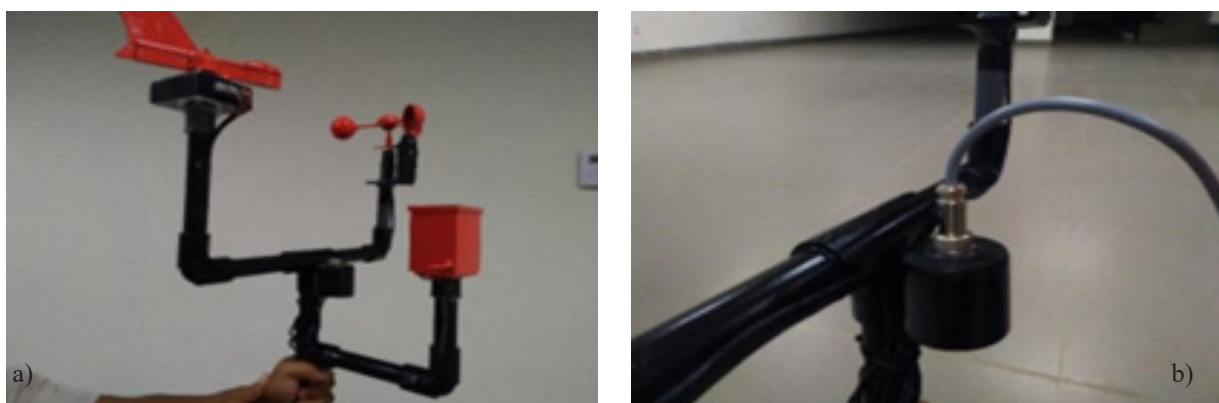
Rangkaian perangkat keras yang dibuat untuk alat pemantau cuaca pada lingkungan tambak garam berbasis SMS terdiri dari 6 unit perangkat sensor parameter lingkungan, 1 unit modul Arduino UNO Rev3, 1 unit modul SIM800L, dan 2 unit modul regulator DC *step-down*. Desain rangkaian komponen-komponen tersebut saling dihubungkan menggunakan kabel sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan desain tersebut, kemudian dilakukan

perakitan semua komponen perangkat keras yang telah tersedia. Langkah pertama adalah memasang sensor bagian atas yang terdiri dari *cup anemometer*, *windvane*, dan *tipping bucket rain gauge* pada sebuah rangka dudukan yang terbuat dari pipa PVC Ø ½ inch. Kabel keluaran dari ketiga perangkat sensor tersebut disambungkan ke sebuah konektor. Kemudian dipasang kabel konektor dengan panjang sekitar 3 meter yang akan disambungkan ke *box* kontrol. Perakitan perangkat sensor bagian atas ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Desain rangkaian perangkat keras untuk alat pemantau cuaca berbasis SMS pada lingkungan tambak garam. (Sumber: dokumentasi riset)

Figure 3. Hardware circuit design for an SMS-based weather monitoring device in a salt pond environment (Source: research documentation)

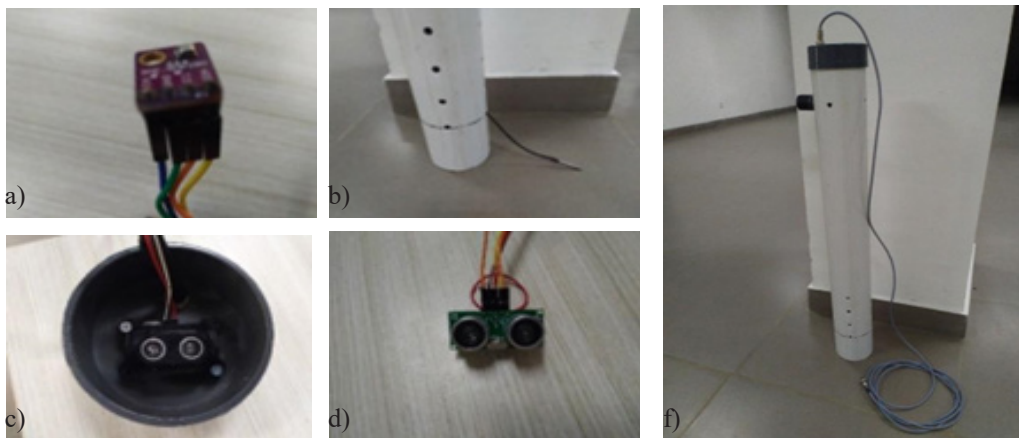


Gambar 4. Perakitan perangkat sensor bagian atas; a)Pemasangan sensor pada dudukan, b)Pemasangan kabel konektor. (Sumber: dokumentasi riset)

Figure 4. Assembly of the upper sensor device; a)Installation of the sensor on the holder; b)Installation of the connector cable. (Source: research documentation)

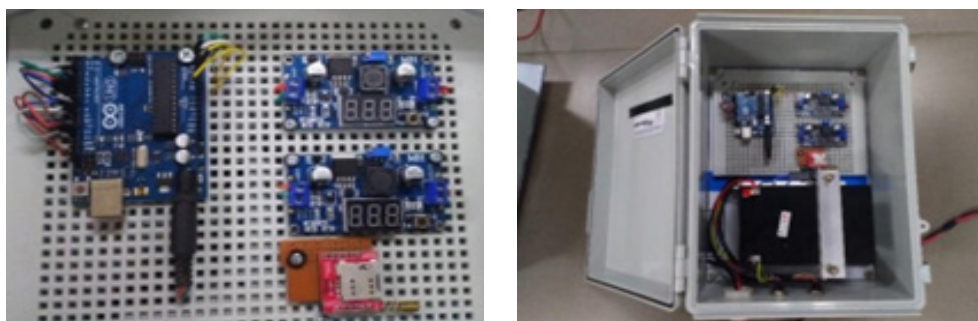
Langkah kedua adalah memasang sensor bagian bawah yang terdiri dari sensor BME/BMP280, sensor ultrasonik US-100, dan sensor DS18B20 padaudukan berupa sebuah pipa PVC Ø4 inch sepanjang 1 meter. Pipa ini akan ditempatkan berdiri di dalam air (tambak garam), sehingga keliling pipa bagian bawah dibuatkan beberapa lubang agar air dapat masuk ke dalam pipa dan sensor ultrasonik US-100 dapat mengukur tinggi muka airnya. Kabel keluaran dari ketiga perangkat sensor tersebut disambungkan ke sebuah konektor yang dipasang di bagian tutup pipa. Bagian tutup pipa yang terdapat konektor tersebut kemudian dihubungkan dengan panjang sekitar 3 meter yang akan disambungkan ke box kontrol. Perakitan perangkat sensor bagian bawah ini ditunjukkan pada Gambar 5.

Langkah ketiga adalah memasang modul Arduino UNO Rev3, modul SIM800L, dan modul regulator DC *step-down* pada papan plastik berlubang dan menguatkan posisinya dengan sekrup. Kemudian memasukkan papan plastik tersebut ke dalam sebuah box kontrol yang terbuat dari box panel plastik dan menyambungkan kabel-kabel dari 2 buah konektor yang sudah dipasang sebelumnya di box ke terminal pin pada masing-masing modul yang telah ditentukan. Sebuah baterai 12 V yang terhubung dengan mekanisme PLTS juga dimasukkan ke dalam box kontrol ini sebagai penyuplai energi listrik DC. Kabel *output* dari baterai disambungkan secara paralel ke modul Arduino UNO Rev3 dan modul regulator DC *step-down*. Instalasi modul-modul ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Perakitan perangkat sensor bagian bawah; a) Pemasangan kabel pada sensor BME280, b) Pemasangan kabel pada sensor US-100, b)Pemasangan sensor US-100 pada tutup, d) Pemasangan sensor DS18B20, e) Pemasangan kabel konektor. (Sumber: dokumentasi riset)

Figure 5. Assembly of the lower sensor device; a) Installation of the cable on the BME280 sensor, b) Installation of the cable on the US-100 sensor, b) Installation of the US-100 sensor on the lid, d) Installation of the DS18B20 sensor, e) Installation of the connector cable. (Source: research documentation)



Gambar 6. Perakitan modul elektronik dan baterai di dalam box; a) Instalasi modul Arduino, SIM800L, dan regulator DC *step-down* pada papan plastik berlubang, b)Instalasi rangkaian modul dan baterai di dalam box. (Sumber: dokumentasi riset)

Figure 6. Assembly of electronic modules and batteries in the box; a) Installation of the Arduino module, SIM800L, and *step-down* DC regulator on a perforated plastic board, b)Installation of the module circuit and battery in the box. (Source: research documentation)

Uji konektivitas ini bertujuan untuk memastikan semua kabel dan pin telah tersambung dengan baik sesuai dengan desain. Pengujian dilakukan sebelum pengujian terpadu menggunakan AVO meter. Pengujian dimulai dari sensor atas, sensor bawah, modul mikrokontroler, dan modul transmisi data. Selanjutnya dilakukan pengujian tegangan *input-output* (I/O) dari baterai dan modul regulator DC *step down* untuk menyuplai perangkat sensor dan modul SIM800L. Hal ini sangat penting karena tegangan listrik yang terlalu tinggi dari nilai yang ditentukan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen perangkat keras. Sedangkan tegangan listrik yang terlalu rendah dari nilai yang ditentukan dapat mengakibatkan kinerja komponen perangkat keras tidak optimal, seperti terlambat atau tidak terkirimnya data hasil pengukuran ke pengguna. Tahapan dan proses uji konektivitas dan tegangan I/O instrumen perangkat sensor dan modul ditunjukkan pada Gambar 7.

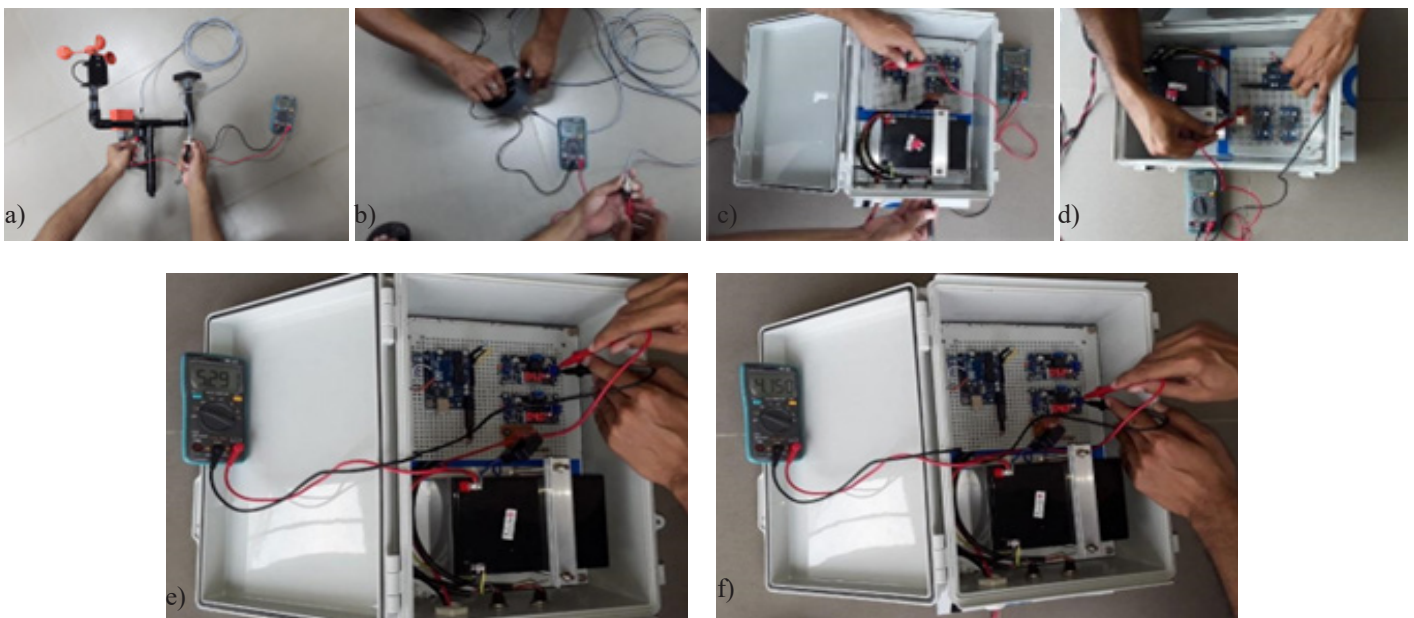
Pengujian Terpadu dan Data Keluaran

Perangkat keras yang telah dirakit, diuji konektivitas, dan dicek tegangannya kemudian dihubungkan dengan instrumen lain seperti PLTS dan tiang penyangga sehingga menjadi sebuah prototipe alat pemantau cuaca. Prototipe ini dipasang di lingkungan kantor Unit Rintisan Riset Teknologi Kelautan (PIAMARI) untuk

pengujian terpadu sebelum diaplikasikan di lahan-lahan tambak garam, Lokasi kantor Unit Rintisan Riset Teknologi Kelautan (PIAMARI) berada di dekat pantai sehingga dapat mewakili kondisi cuaca di lahan tambak garam yang umumnya terletak di daerah pesisir, tidak jauh dari pantai. Prototipe alat pemantau cuaca dan contoh tampilan data hasil pengukuran yang diterima melalui SMS ditunjukkan pada Gambar 8. Tampilan data hasil pengukuran yang diterima melalui SMS terdiri dari data jarak untuk mengukur level ketinggian air dalam panci evaporasi yang implementasinya di lahan garam adalah level ketinggian air di kolam produksi garam, data suhu baik suhu udara maupun air di panci evaporasi/kolam produksi garam, data tekanan dan kelembaban udara hasil pembacaan data dari sensor BME280, data kecepatan dan arah angin, serta data curah hujan.

Analisis data keluaran

Data-data keluaran hasil pengukuran sensor bagian bawah dari prototipe alat pemantau cuaca meliputi suhu air, suhu udara, kelembaban dan tekanan udara, serta jarak level ketinggian muka air pada panci evaporasi/kolam garam yang diambil selama 11 hari dalam rentang waktu 19 – 29 Desember 2020. Data-data tersebut diperlihatkan pada Gambar 9. Data pembandingan nilai jarak menggunakan hasil pengukuran



Gambar 7. Uji konektivitas dan tegangan input-output (I/O) instrumen perangkat sensor dan modul; a) Uji konektivitas sensor atas, b) Uji konektivitas sensor bawah, c) Uji konektivitas modul Arduino, d) Uji konektivitas modul transmitter (SIM800L), e) Pengujian tegangan I/O DC untuk suplai perangkat sensor, f) Pengujian tegangan I/O DC untuk suplai modul SIM800L. (Sumber: dokumentasi riset)

Figure 7. Connectivity and I/O voltage test of sensors and modules instrument; a) Top sensor connectivity test, b) Bottom sensor connectivity test, c) Arduino module connectivity test, d) Transmitter module (SIM800L) connectivity test, e) DC I/O voltage test for sensor device supply, f) I/O voltage test O DC for SIM800L module supply. (Source: research documentation)



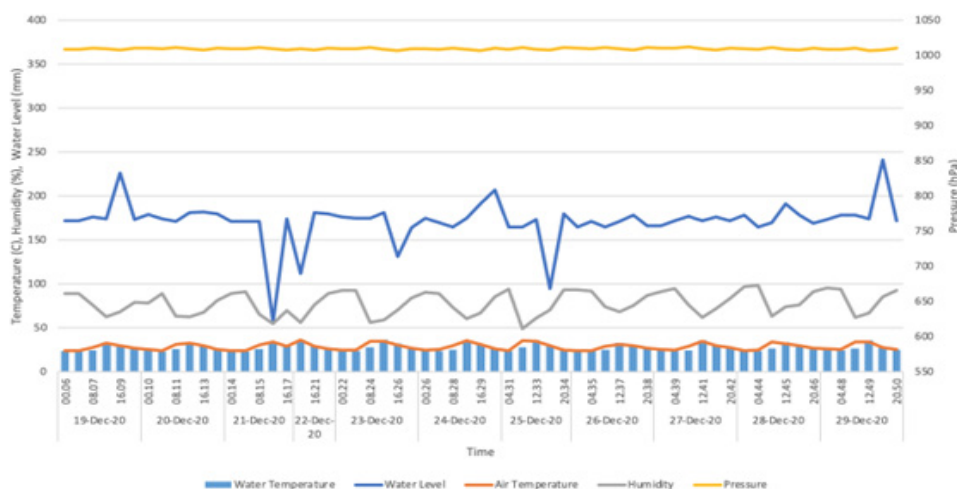
Gambar 8. Ujicoba terintegrasi rangkaian perangkat keras untuk alat pemantau cuaca; a) Pengujian terpadu di lingkungan PIAMARI, b) Tampilan data via SMS pada handphone. (Sumber: dokumentasi riset)

Figure 8. Hardware circuit integrated testing for weather monitoring device; a) Integrated testing in the PIAMARI environment, b) Data display via SMS on mobile phones. (Source: research documentation)

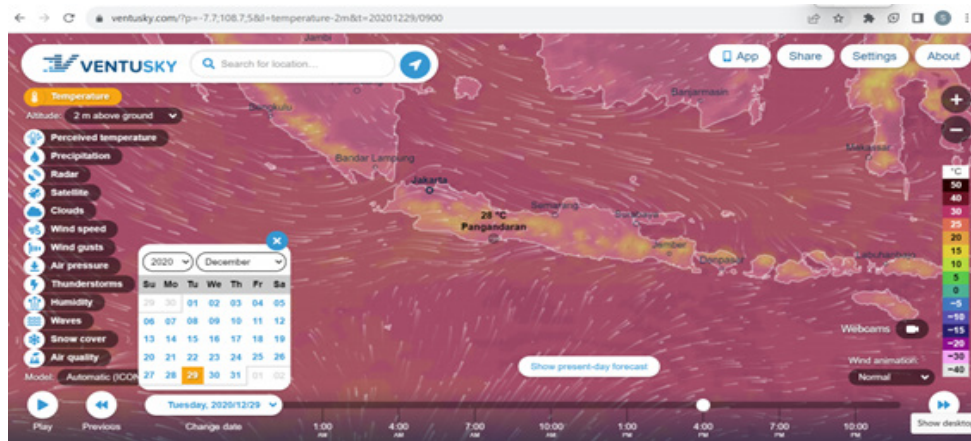
mistar dan data pembanding nilai suhu, tekanan, dan kelembaban udara diambil dari tampilan pada website www.ventusky.com sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.

Suhu air dan udara memiliki nilai pembacaan yang tidak jauh berbeda. Suhu udara yang terbaca berada pada rentang 23,7°C hingga 36°C dan rata-rata 28,9°C, sedangkan suhu air berada pada rentang 23°C hingga 36,2°C dan rata-rata 27,41°C. Adapun data suhu yang didapatkan dari www.ventusky.com selama 11 hari tersebut terbaca pada rentang 27°C hingga 29°C dengan rata-rata 27,82°C. Suhu udara lebih cepat naik daripada suhu air pada awal mulai siang (08.07 – 08.57 WIB), sedangkan mulai tengah hari (12.08 – 12.57) hingga dini hari (12.08 – 04.52 WIB), selisih

nilai suhu keduanya relatif kecil dan stabil, meski pada saat tepat tengah hari hingga satu jam setelahnya (12.08 – 12.57), suhu air sempat sedikit lebih tinggi dari suhu udara. Secara rata-rata, suhu air dominan lebih rendah daripada suhu udara. Hal ini disebabkan kapasitas panas air (4,1813 kJ/kg.K) empat kali lebih tinggi dari kapasitas panas udara (1,0035 kJ/kg.K), sehingga berdasarkan persamaan $C_p = Q / m \times dT$, air akan selalu memiliki suhu (T) yang lebih rendah daripada udara, jika jumlah panas (Q) yang diterima keduanya sama (dalam hal ini panas yang diterima dari lingkungan/matahari). Penyimpangan kecil dari rumusan ini (kejadian suhu air sempat lebih tinggi dari suhu udara pada saat tengah hari) disebabkan oleh penempatan sensor BME 280 (sensor yang digunakan untuk mengukur suhu udara) berada di ruang yang



Gambar 9. Grafik hasil pengukuran sensor bagian bawah dari prototipe alat pemantau cuaca. (Sumber: data pengukuran)
Figure 9. Graph of the measurement results of the lower sensor from the prototype weather monitoring device. (Source: measurement data)



Gambar 10. Contoh tampilan data pembandingan pada website www.ventusky.com. (Sumber: www.ventusky.com)

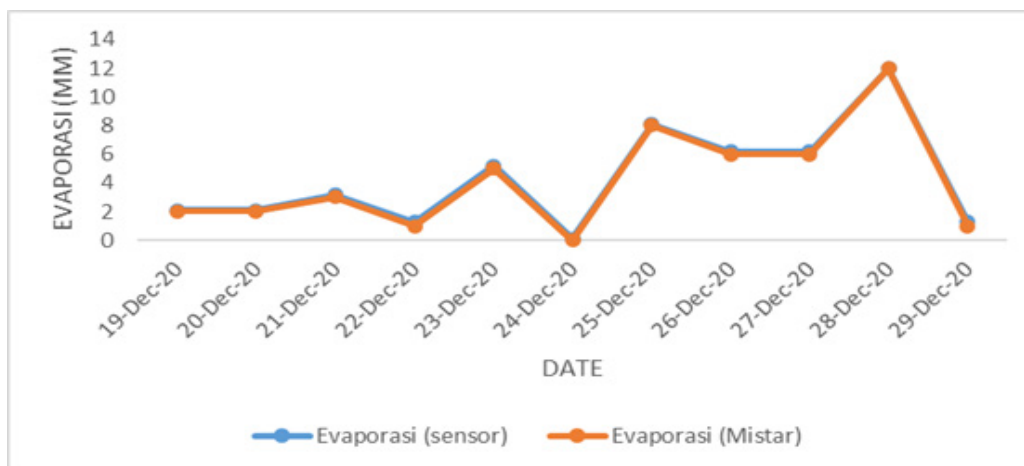
Figure 10. Example of comparison data display on www.ventusky.com website. (Source: www.ventusky.com)

kurang terbuka (berada di dalam pipa yang diberi beberapa lubang kecil), sehingga suhu yang terbaca dipengaruhi oleh kelembaban akibat sebagian uap air hasil penguapan air di panci evaporasi terjebak dalam pipa dimana sensor ditempatkan. Kenaikan nilai kelembaban pada saat tengah hari ini terlihat dengan jelas pada tanggal 23, 25, 28, dan 29 Desember 2022. Selain itu, berdasarkan persamaan di atas, perbedaan massa air dan massa udara yang cukup besar (massa air kecil dan massa udara besar), juga memungkinkan terjadinya suhu air lebih tinggi daripada suhu udara.

Kelembaban dan tekanan udara sebagai salah satu parameter cuaca memiliki hubungan yang saling berbanding terbalik dengan suhu udara. Berdasarkan grafik hasil pengukuran pada Gambar 9, nilai kelembaban yang terukur berkisar antara 48,6% hingga 100% dengan rata-rata 80,09% dimana pada saat nilai kelembaban udara meningkat, suhu udara menurun,

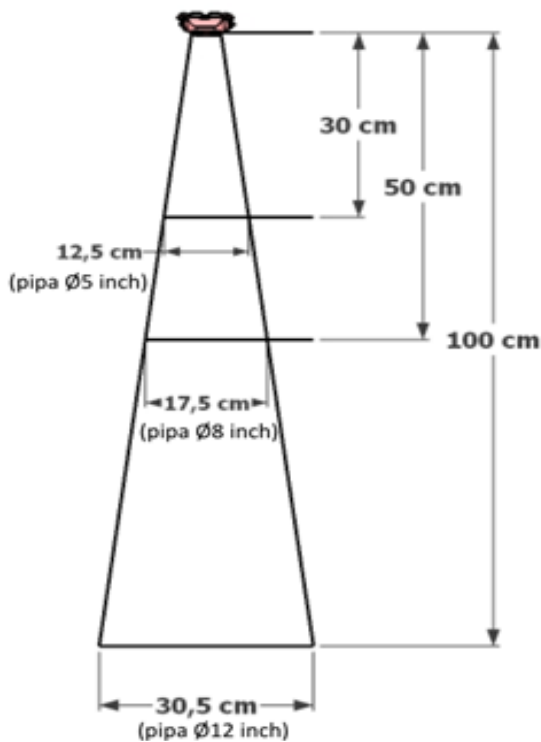
dan sebaliknya. Sedangkan nilai kelembaban yang diambil sebagai data pembandingan (www.ventusky.com) berkisar antara 70% hingga 80% dengan rata-rata 72,72%. Demikian pula dengan nilai tekanan yang terukur berkisar antara 1006,8 hPa hingga 1012,3 hPa dengan rata-rata 1009,3 hPa dimana ketika nilai tekanan bertambah, suhu udara menurun dan sebaliknya. Hal ini menunjukkan kesesuaian hubungan antara kelembaban dan tekanan udara dengan suhu udara. Adapun data pembandingan nilai tekanan udara dari www.ventusky.com berkisar antara 1006 hPa hingga 1007 hPa dengan rata-rata 1006,1 hPa.

Pembeda perangkat ini dengan *weather station* lainnya adalah adanya sensor jarak yang dimanfaatkan untuk mengukur laju evaporasi dengan cara mengukur selisih pengukuran ketinggian air dari satu waktu ke waktu berikutnya. Waktu yang dipilih untuk menghitung laju evaporasi harian adalah tengah hari dan tengah malam



Gambar 11. Grafik hasil pengukuran laju evaporasi (konversi pengukuran tinggi muka air dari sensor dan mistar). (Sumber: data pengukuran, diolah)

Figure 11. Graph of evaporation rate measurement results (Conversion of water level measurement from sensor and ruler). (Source: processed measurement data)

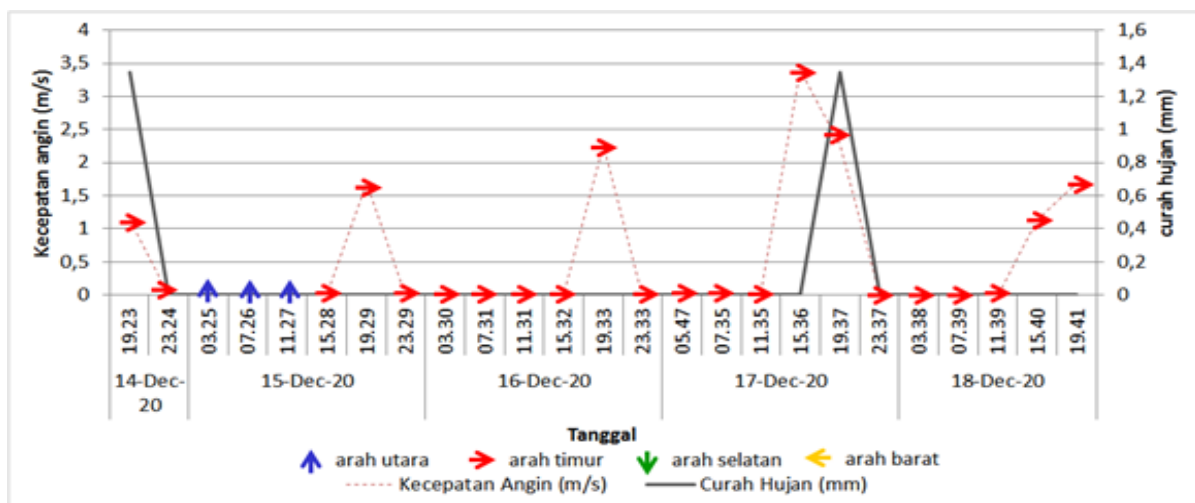


Gambar 12. Perkiraan ukuran pipa untuk housing sensor jarak dengan sudut pancar maksimal 15 derajat. (Sumber: data perhitungan)

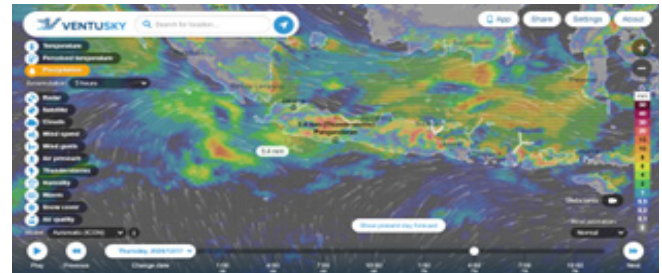
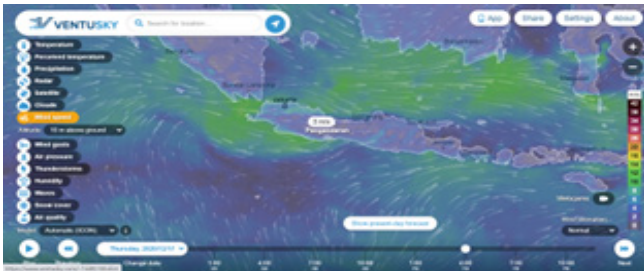
Figure 12. Approximate pipe size for proximity sensor housing with a maximum beam angle of 15 degrees. (Source: calculation data)

dengan memilih rentang waktu yang tidak turun hujan. Data perbandingan jarak yang didapatkan dari pengukuran dengan mistar dilakukan dalam rentang 11 hari tersebut. Hasil pengolahan data jarak (ketinggian air) hasil pengukuran sensor dan mistar menjadi data evaporasi ditunjukkan pada Gambar 11

Nilai laju evaporasi yang merupakan selisih hasil baca sensor jarak ultrasonik tersebut sangat bergantung dengan keakuratan data hasil baca sensor jarak ultrasonik. Hasil baca sensor jarak ultrasonik pada beberapa kondisi mengalami ketidakakuratan, namun masih bisa didukung oleh data lain pada hari yang sama, mengingat dalam satu hari terdapat enam kali pengukuran. Ketidakakuratan terjadi karena sinyal pancar atau sinar pantul sensor ultrasonik yang memiliki sudut pancar maksimal sebesar 15° terhalang oleh housing sensor yang terbuat dari pipa PVC dengan diameter 4 inch. Berdasarkan perhitungan sudut pancar maksimalnya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12, pipa yang seharusnya digunakan sekurang-kurangnya berdiameter 5 inch, jika panjang pipa yang diimplementasikan hanya 30 cm. Adapun jika aplikasinya pada ketinggian 50 cm, maka diperlukan diameter pipa minimal sebesar 8 inch. Demikian pula jika pipa yang digunakan berukuran panjang 1 meter, maka diameter minimal yang diaplikasikan menjadi 12 inch. Semakin panjang pipa yang digunakan, maka semakin besar pula diameter pipa yang diimplementasikan sesuai dengan sudut pancar yang dimiliki perangkat sensor berdasarkan spesifikasi teknisnya. Hal ini sangat penting untuk diperhatikan terutama jika perangkat akan diaplikasikan di tambak garam, karena pada umumnya ketinggian air laut yang ditampung sebelum menjadi garam tidak mungkin kurang dari 30 cm. Disamping itu, sensor yang terlalu dekat dengan permukaan air beresiko tercelup air garam atau akan lebih cepat rusak akibat faktor kelembaban yang merupakan efek dari penguapan. Oleh karena itu, panjang pipa minimal yang aman dan direkomendasikan adalah setinggi 1 meter dari dasar tambak garam.



Gambar 13. Grafik hasil pengukuran sensor bagian atas dari prototipe alat pemantau cuaca. (Sumber: data pengukuran, diolah)
 Figure 13. Graph of the measurement results of the upper sensor from the prototype weather monitoring device. (Source: processed measurement data)



Gambar 14. Data pembandingan nilai kecepatan angin, arah angin, dan curah hujan. (Sumber: www.ventusky.com)
 Figure 14. Comparative data of wind speed, wind direction, and precipitation values. (Source: www.ventusky.com)

Adapun data-data parameter lingkungan hasil pengukuran sensor atas yang meliputi kecepatan angin, curah hujan, dan arah angin selama 5 hari dalam rentang waktu 14 – 18 Desember 2020 ditunjukkan pada Gambar 13.

Sebagai pembandingan data kecepatan angin, curah hujan, dan arah angin yang didapatkan dari hasil baca sensor atas, Gambar 14 memperlihatkan data-data dari *website* www.ventusky.com pada tanggal 17 Desember 2020. Nilai yang didapatkan yaitu kecepatan angin sebesar 3 m/s, curah hujan sebesar 3,4 mm, dan arah angin ditunjukkan oleh arah panah menuju Timur. Nilai-nilai tersebut mendekati/hampir sama dengan data yang didapatkan dari hasil baca sensor anemometer, *rain gauge*, dan *vane wave*. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, dapat diketahui bahwa hasil baca sensor bagian atas dari alat pantau cuaca yang telah dibuat menunjukkan hasil yang akurat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Rekayasa perangkat keras (*hardware*) untuk alat pemantau cuaca di lingkungan tambak garam telah menghasilkan prototipe yang dapat bekerja sesuai dengan rancangan yang dibuat. Beberapa perangkat sensor yang digunakan seperti pengukur kecepatan angin, arah angin, curah hujan, suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, suhu air, dan tinggi muka air dapat melakukan proses pembacaan dengan baik dan lancar. Modul GSM yang ditanamkan pada alat ini juga mampu mengirimkan data dalam bentuk *Sort Message Service* (SMS) sesuai target. Kerja sensor-sensor dan modul GSM tersebut dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler.

Saran

Sebelum dipasang di lingkungan lahan tambak garam, sebaiknya dilakukan kalibrasi terlebih dahulu terhadap perangkat sensor yang digunakan agar data yang dihasilkan akurat. Di masa mendatang alat pemantau

cuaca ini dapat diduplikasi dan dipasang di beberapa sentra garam, sambil terus meningkatkan performa perangkat dan mencari sensor-sensor alternatif yang berkinerja lebih baik. Data yang dihasilkan dapat dikelola dalam sebuah sistem informasi yang menyediakan informasi cuaca yang akurat dan *real-time* di lingkungan tambak garam. Dalam jangka panjang, kumpulan informasi tersebut dapat dimanfaatkan oleh stakeholder untuk memprediksi produksi garam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan salah satu output dari Kegiatan Riset Pembuatan Model Alat Pemantauan Cuaca-Iklim Untuk Prediksi Produksi Garam yang didanai oleh Anggaran DIPA Tahun 2020 Pusat Riset Kelautan BRSDMKP KKP. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Riset Kelautan dan Kepala Unit Rintisan Riset Teknologi Kelautan PIAMARI. Selanjutnya, terima kasih kepada Ketua Dewan Redaksi dan Editor Jurnal Kelautan Nasional bersama jajarannya atas diterimanya artikel ini. Kepada Mitra Bestari serta Sekretariat Redaksi kami ucapkan terima kasih atas segala saran perbaikan dan arahnya hingga tulisan ini dapat diterbitkan. Seluruh penulis dalam artikel ini adalah kontributor utama.

DAFTAR PUSTAKA

- Alldatasheet.com. (2002). LM2596 Simple Switcher Power Converter 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator Literature Number: SNVS124B. Diakses 3 Agustus 2022, dari <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/529266/T11/LM2596-ADJ.html>.
- Amin, A. A., Yanuar, A. T., Salamah, L. N., & Kurniawan, A. (2021). Analysis of salt location suitability in Tuban regency, East Java by using salt suitability index (SSI). AIP Conference Proceedings 2353, 030059 (2021). AIP Publishing. *International Conference on Life Sciences and Technology*

(ICoLiST 2020). 2353, 030059 (2021). <https://doi.org/10.1063/5.0053079>

- Andang, A & Hiron, N. (2015). Teknologi SMS pada Monitoring Lingkungan dengan Wireless Sensor Network (WSN). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, 1-5*. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Apriyanti1, Y. Juhana, T., & Hamidi, E. A. Z. (2016) Sniffing Sinyal GSM dengan RTL-SDR, GNU Radio dan Wireshark. *SENER 2016: Seminar Nasional Teknik Elektro 2016*, 26-27 November 2016. Jur. Teknik Elektro UIN Gunung Djati, Bandung.
- Ashilah A. A., Wirasatriya, A., & Handoyo, G. (2022). Analisis Variabel Fisika Perairan Terhadap Kuantitas Produksi Garam di Kabupaten Rembang. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 4(2), 68-76.
- Bahri, S., Rezky, S.F., & Sinuraya, J. (2019). SMS-Based Exam Schedule Information Unit Link Using Data Protocol Method. *Jurnal Komputer*, 11(2), 66-76.
- BMKG (2021). Ini Inovasi BMKG Untuk Mendukung Keselamatan Transportasi Udara dan Laut. Berita. Diakses pada tanggal 20 Juni 2022 dari <https://www.bmkg.go.id/press-release/?p=ini-inovasi-bmkg-untuk-mendukung-keselamatan-transportasi-udara-dan-laut&tag=press-release&lang=ID>
- BMKG (n.d.). Diakses 14 Juli 2023, dari <https://lpse.bmkg.go.id/eproc4/lelang/6581524/pengumumanlelang>
- BPPT. (2016). Petunjuk Teknis Jabatan Fungsional Perekayasa dan Angka Kreditnya.
- Bramawanto, R. & Abida, R. F. (2017). Tinjauan Aspek Klimatologi (INSO dan IOD) dan Dampaknya Terhadap Produksi Garam Indonesia. *Jurnal Kelautan Nasional*, 12(2), 91-99.
- Bramawanto, R., Ratnawati H. I., & Supriyadi. (2019). Variabilitas Hidrologis Dan Dinamika Produksi Garam Pada Beragam Kondisi Enso Di Kabupaten Pati Dan Rembang. *Jurnal Segara*, 15(1), 45-54.
- Bramawanto, R. Sukoraharjo, S.S., Setiawan, A., Widyanto, S.W., Ma'muri, Kuncoro, A., Prasetiawan, N.R., Wisnugroho, S., Sufyan, A., Permana, S.M., Widodo, A.W., Sarnanda, Mulyadi U. (2020). *Pembuatan Model Alat Pemantauan Cuaca-Iklim Untuk Prediksi Produksi Garam*. Laporan Akhir Riset 2020, 60 halaman. Pusat Riset Kelautan BRSDMKP KKP.
- Depoinovasi.com. (2011). Sensor Anemometer. Diakses 2 Agustus 2022, dari <https://depoinovasi.com/produk-517-sensor-anemometer.html>.
- Depoinovasi.com. (2011). Sensor Arah Angin. Diakses 2 Agustus 2022, dari <https://depoinovasi.com/produk-776-sensor-arrah-angin.html>.
- Depoinovasi.com. (2011). Sensor Curah Hujan (Rain Gauge) Support Arduino. Diakses 2 Agustus 2022, dari <https://depoinovasi.com/produk-960-sensor-curah-hujan-rain-gauge-support-arduino.html>.
- Dunnewijk, T., & Hultén, S. (2007). A brief history of mobile communication in Europe. *Telematics and Informatics*, 24(3), 164-179. 10.1016/j.tele.2007.01.013.
- Fernando, B., & Suherli. (2019). Sistem Pemantauan Motor Induksi 3 Phase Via Android Berbasis SMS Gateway. *Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*, 2(1), 1-12.
- Herho, S. H. S., Firdaus, G. A., & Siregar, P. M. (2017). Pengaruh Aspek Meteorologi Terhadap Produksi Garam Air Payau di Desa Losarang, Kabupaten Indramayu. *Prosiding Seminar dan Rapat Tahunan MIPANet 2017*.
- Indotrading (n.d.). Diakses 26 Juli 2023, dari <https://www.indotrading.com/diwanintiperkasa/pce-fws-20-p274554.aspx>
- Kumala, A. R. (2012). Analisis Pengaruh Curah Hujan Terhadap Produktivitas Garam Studi Kasus: Pegaraman I Sumenep PT. Garam (Persero). *Prosiding Seminar Nasional Sains IV IPB 2012*.
- Kuncoro, A., Ma'muri, Widyanto, S. W., Bramawanto, R., & Prasetiawan, N. R. (2021). Rancang Bangun Support Pole Untuk Alat Pemantau Cuaca Pada Lingkungan Tambak Garam. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan*

- Pengabdian pada Masyarakat 2021*. Pangkal Pinang 29-30 September 2021. Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.
- LastMinuteEngineers.com. (2022). Interface BME280 Temperature, Humidity & Pressure Sensor with Arduino. Diakses 3 Agustus 2022, dari <https://lastminuteengineers.com/bme280-arduino-tutorial/>
- Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non Hayati (2006). Pengembangan Usaha Terpadu Garam dan Artemia. Buku Panduan, 52 hal.
- Ramadhani, N. (2013). Rancang Bangun Sistem Informasi Akademik Berbasis Web dengan SMS Gateway. *Jurnal Link*, 18(1), 8-14.
- Ridwan, M. (2020). Optimalisasi Teknologi Informasi Berbasis SMS Gateway Memanfaatkan Perintah Dasar AT Command. *Jutis (Jurnal Teknik Informatika)*, 5(1).
- Sahara, R., & Kristiyanto, S. (2020) Ethnical Barriers Tenaga Kerja Lokal Tambak Garam di Kota Surabaya dalam Perspektif Kualitatif Etnografi. *Jurnal ECONOMIE*, 1(2), 163-182.
- Samidi. (2019). Macam Jenis Tool Kit Alat Bantu Kerja Teknisi Elektrik di Pabrik Industri. Diakses 3 Agustus 2022, dari <http://www.samiinstansi.com/2019/09/macam-jenis-tool-kit-alat-bantu-kerjateknisielektrikdipabrikindustri.html>.
- Shanghai SIMCom Wireless Solutions Ltd. (2015). SIM800H&SIM800L Hardware Design. Diakses 31 Juli 2022, dari <https://datasheetspdf.com/pdf-file/989664/SIMCom/SIM800L/1>.
- Siregar, I. K., & Taufik, F. (2019). Perancangan Aplikasi SMS Alert Berbasis Web. *Jurnal Informatika Merdeka Pasuruan*, 2(2), 62-70.
- Taylor, A. S., Vincent, J., & Sanger, C. (2005). *An SMS history*. In, L Hamill and A. Lasen (eds). *Mobile World: Past, present and future*, pp 75-91. Springer London.
- Trikobery, J., Rizal, A., Kurniawati, N., & Anna, Z. (2017) Analisis Usaha Tambak Garam Di Desa Pengarengan Kecamatan Pangenan Kabupaten Cirebon. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 8(2), 168-175.
- Widyaningsih, I., Bakar, B., & Kusdian, D. (2020). The design of an artificial lake as a reservoir for potential rainwater from rainfall for daily usage: a case study of Pangandaran in West Java, Indonesia. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 437(1), 012044. DOI:10.1088/1755-1315/437/1/012044.
- Widyanto, S. W., Ma'muri, Kuncoro A., Wisnugroho, S., Bramawanto, R., & Prasetiawan, N.R. (2022). Rancang Bangun Perangkat Lunak Teknologi Informasi Cuaca Lingkungan Lahan Garam Berbasis Short Message Service. *Prosiding Seminar Nasional Elektroteknik dan Teknologi Informasi 2022*, 254-260.