

Pengembangan Sistem Monitoring Kinerja FWG untuk Optimalisasi Produksi Air Tawar di Atas Kapal

Edi Kurniawan^{1,*}, Sonhaji¹, Bayu Rahmiyanto Ar-Ridho¹

¹ Program Studi Elektro Pelayaran, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

* Correspondence: edi.kurniawan@polteknikpel-sby.ac.id

Copyright: © 2024 by the authors

Received: 6 Agustus 2024 | Revised: 10 Agustus 2024 | Accepted: 17 September 2024 | Published: 19 Desember 2024

Abstrak

Air tawar merupakan kebutuhan pokok bagi kru kapal untuk mendukung kelancaran operasional. Untuk mengurangi biaya operasional, diperlukan pesawat bantu yang dapat memproduksi air tawar sendiri di atas kapal, yaitu *Fresh Water Generator* (FWG). Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring kinerja FWG untuk mengoptimalkan produksi air tawar. Model penelitian yang digunakan adalah *prototype* dengan tahapan perancangan, pemodelan, dan pembentukan prototipe. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk memproses data dari sensor suhu, tekanan, dan TDS, yang kemudian dikirim melalui LoRa transmitter dan diterima oleh LoRa receiver. Data diproses oleh mikrokontroler ESP 32 dan ditampilkan di LCD. Alat ini memantau parameter kritis seperti suhu heater, kualitas filter, dan kualitas air tawar secara langsung, memungkinkan deteksi masalah secara cepat dan tindakan korektif yang tepat waktu. Hasil temuan menunjukkan bahwa alat monitoring kinerja FWG dapat mengoptimalkan produksi air tawar, berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini mampu beroperasi stabil pada tekanan 0,44 bar dan suhu maksimum 84°C, serta dapat bekerja andal dalam kondisi ekstrem, menjadikan FWG lebih efisien dalam memproduksi air tawar.

Kata kunci: air tawar; fwg; kapal; monitoring

Abstract

Fresh water is a basic need for ship crews to support smooth operations. An auxiliary aircraft that can produce fresh water on board is required to reduce operational costs, namely the Fresh Water Generator (FWG). This research aims to develop an FWG performance monitoring system to optimize freshwater production. The research model used is a prototype with design, modeling, and prototype formation stages. The system uses an Arduino Mega 2560 microcontroller to process data from temperature, pressure, and TDS sensors, which are then sent via the LoRa transmitter and received by the LoRa receiver. The data is processed by the ESP 32 microcontroller and displayed on the LCD. In real-time, it monitors critical parameters such as heater temperature, filter quality, and freshwater quality, enabling rapid problem detection and timely corrective action. The findings show that the FWG performance monitoring tool can optimize freshwater production; based on the test results, it can operate stably at a pressure of 0.44 bar and a maximum temperature of 84°C and can work reliably under extreme conditions, making the FWG more efficient in producing freshwater.

Keywords: freshwater; fwg; vessel; monitoring

PENDAHULUAN

Luas lautan yang begitu besar membuat transportasi yang efisien adalah menggunakan kapal. Pengertian kapal sendiri menurut Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran pasal 1 butir 33, kelaiklautan kapal adalah keadaan kapal yang memenuhi persyaratan keselamatan kapal, pencegahan pencemaran perairan dari kapal, pengawakan,



garis muat, pemuatan (Hartanto et al., 2020; Lantang, 2017). Kegiatan operasional kapal membutuhkan beberapa bahan pendukung seperti bahan bakar, air tawar, dan lain-lain. Air tawar di atas kapal digunakan untuk keseharian *crew* di atas kapal dan operasional kapal itu sendiri seperti untuk kebutuhan akomodasi, sistem pendingin mesin di atas kapal, pembersihan kapal, dan lain-lain (Sirman & Syahrinal, 2023).

Air tawar di atas kapal disimpan dalam sebuah *bunker* air tawar. Berdasarkan hal tersebut maka di atas kapal ada kegiatan *bunker*, dimana kegiatan *bunker* merupakan sebuah kegiatan pengisian suatu *cargo* berupa air dari *supplier* yang berperan sebagai pemberi *supply* ke pihak kapal lain sebagai penerimanya (Amrullah et al., 2023). Selama kegiatan *bunker* dapat mengganggu kegiatan operasional kapal serta membuat biaya operasional tinggi, sehingga sekarang di atas dilengkapi dengan pesawat bantu yang dapat menghasilkan air tawar yang didapatkan dari pengolahan air laut (Vinola & Rakhman, 2020; Yunior & Kusri, 2021; Zulkarnaen et al., 2021). Pesawat tersebut adalah *Fresh Water Generator* (FWG). Sistem kerja dari FWG adalah air laut yang diuapkan (evaporasi) menggunakan *heater* yang kemudian dikondensasi menjadi butiran air menggunakan kondensor lalu dialirkan ke *bunker* air tawar (Iswansyah et al., 2022; Saputra & Rohmah, 2022).

Pengoperasian FWG sering mengalami permasalahan pada bagian komponennya yang mengakibatkan penurunan air tawar yang diproduksi (Anantama et al., 2020). Permasalahan tersebut seperti yang terjadi pada kapal MT. Sea Champion, dimana ketika berlayar FWG mengalami penurunan produksi air tawar yang semula memproduksi sebanyak 20 Ton/hari menjadi 9 Ton/hari hingga tidak memproduksi sama sekali. FWG mengalami kekurangan air laut yang masuk, kerak pada plat evaporator, saluran pipa buntu, kurang optimalnya monitoring sensor *salinity ppm* (Rachman et al., 2023; Rohmanu & Widiyanto, 2018). Salah satu penyebab permasalahan tersebut karena *human error* yaitu kurangnya perawatan dan kelalaian dari seorang *engineer* pada FWG saat beroperasi. Selain jumlah produksi air tawar yang dihasilkan, pada kapal MT. Sea Champion mengalami penurunan kualitas air tawar yang dihasilkan hingga di bawah standar kualitas air yang baik. Kualitas air tawar yang tidak baik dapat menyebabkan gatal-gatal, penyakit, dan lain-lain (Rachman et al., 2019; Syahwil, 2013; Zamora et al., 2016).

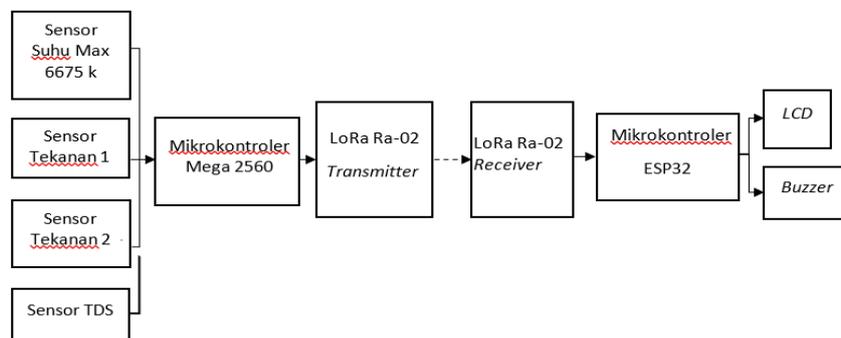
Penelitian terkait FWG di kapal telah banyak dilakukan untuk memahami penyebab penurunan produksi air tawar (Rahardjo, 2022; Ramady et al., 2020). Salah satu contohnya adalah penelitian yang meneliti tentang endapan garam sebagai penyebab penurunan produksi air tawar (Alfyansyah, et al., 2023). Endapan ini mengganggu efisiensi proses penguapan, sehingga mengurangi jumlah air tawar yang dihasilkan (Hartanto et al., 2020; Joshi et al., 2017). Penelitian lain menyoroti penurunan produksi air tawar akibat gangguan perpindahan panas, di mana kurang optimalnya perpindahan panas menjadi penyebab utama penurunan produksi (Jin & Wang, 2014; Muhammed et al., 2021). Meskipun penelitian-penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi masalah produksi air tawar dan perpindahan panas, fokus mereka lebih pada analisis tanpa menawarkan solusi pemantauan yang proaktif dan otomatis. Mereka menekankan pentingnya perawatan manual dan keterlibatan aktif *engineer*, namun belum menyediakan mekanisme otomatis untuk mendeteksi masalah atau menawarkan solusi berbasis teknologi modern.

Penelitian-penelitian sebelumnya lebih fokus pada identifikasi masalah endapan garam dan gangguan perpindahan panas, yang menjadi penyebab utama penurunan produksi air tawar. Namun, belum ada penelitian yang secara khusus mengembangkan solusi teknologi *modern* untuk memantau kondisi FWG secara otomatis dan *real-times*. Selain itu, meskipun masalah tersebut telah diidentifikasi, solusi yang ditawarkan masih bergantung pada perawatan manual dan inspeksi berkala, tanpa adanya pendekatan komprehensif yang otomatis dalam memonitor kinerja FWG untuk mencegah terjadinya masalah sebelum mencapai kondisi kritis. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan merancang sistem berbasis Arduino yang mampu memantau parameter-parameter penting secara *real-time*, sehingga memungkinkan *engineer* melakukan

tindakan korektif sebelum produksi air tawar terganggu, sekaligus menghadirkan peluang implementasi teknologi IoT untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem FWG. Tujuan utama dari penelitian ini adalah membuat *prototype* untuk produksi air tawar di atas kapal tetap optimal, efisien, dan sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan, sekaligus mengurangi frekuensi perawatan dan potensi kegagalan sistem FWG.

METODE

Penelitian ini menggunakan model *prototype* yang tahapannya terdiri dari: perancangan, pemodelan, pembentukan *prototype* lalu pada tahap analisis dilakukan pengujian statis dan dinamis. Rancangan sistem yang dibangun ini adalah menggunakan 4 jenis sensor yaitu sensor suhu max 6675 K, sensor *Pressure transmitter* 1, sensor *Pressure transmitter* 2 dan sensor TDS yang berfungsi untuk mendeteksi suhu, mendeteksi tekanan, serta mendeteksi kualitas TDS air dapat dilihat pada gambar 1. Data dari keempat sensor tersebut diolah oleh mikrokontroler Arduino Mega sebelum dikirim melalui LoRA *transmitter*. Data yang dikirim oleh LoRa *transmitter* diterima LoRA *receiver*. Kemudian data tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP 32 untuk ditampilkan di LCD dan tanda keadaan normal/abnormal pada *buzzer*.



Gambar 1. Blok diagram rancangan sistem

Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan yang menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk memproses data dari berbagai sensor, termasuk sensor suhu, sensor tekanan, dan sensor TDS. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini dikirim secara wireless ke layar monitor LCD menggunakan modul LoRa Ra-02. Tahapan penelitian ini meliputi model pengembangan *prototype*, perancangan, pemodelan, pembentukan *prototype* lalu pengujian statis dan dinamis. Rancangan alat terdiri dari dua bagian utama, yaitu transmitter untuk mengirim data dan *receiver* untuk menerimanya dan menampilkannya pada LCD serta memberikan tanda normal/abnormal menggunakan *buzzer*. Studi literatur dilakukan untuk memahami teori dan penggunaan sensor-sensor yang digunakan, serta cara pemrograman Arduino Mega 2560,

Perancangan sistem melibatkan pembuatan model sistem yang dapat mendeteksi suhu, tekanan, dan kualitas TDS air, di mana data dari sensor diolah oleh mikrokontroler Arduino Mega sebelum dikirim melalui LoRa *transmitter*. Setelah diterima oleh LoRa *receiver*, data tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP 32 dan ditampilkan di LCD. Pengujian statis dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen bekerja dengan baik, sedangkan pengujian dinamis dilakukan dengan menggunakan *prototype* perpipaan FWG yang dirancang menyerupai sistem sebenarnya untuk menguji tekanan, suhu, dan konduktivitas air secara lebih realistis.

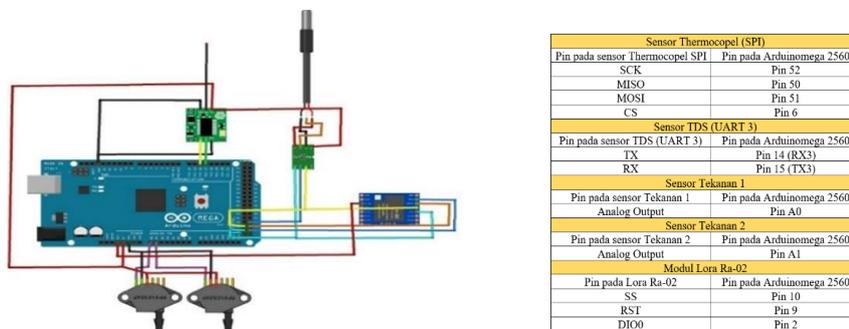
Pada rancangan perpipaan *prototype* pengujian untuk pengujian dinamis. Setelah semua komponen alat terkoneksi dan terpasang dengan baik pada sistem *prototype* perpipaan FWG. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut. Pertama, membuat tempat penempatan sistem kontrol menggunakan box mika akrilik atau kotak box lainnya sebagai pengaman sistem

kontrol dari kerusakan luar seperti air, debu, dan kotoran. Kedua, pembuatan *prototype* pipa FWG dilakukan dengan bahan pipa paralon yang dibentuk menyerupai sistem FWG. Di dalam pipa paralon tersebut terdapat lubang-lubang untuk menempatkan sensor-sensor serta komponen lain seperti elbow pipa dan kran. Sistem kontrol monitoring dibuat terpisah dari peralatan sistem perpipaannya. Selanjutnya, pengujian terhadap nilai tekanan air dilakukan menggunakan alat bantu pompa air dan kran pembantu sebagai pembuka dan penutup saluran air untuk mendapatkan perbedaan nilai tekanan masuk dan keluar air akibat penyumbatan saluran. Pengujian terhadap nilai temperatur air dilakukan dengan memasukkan air yang telah dipanaskan ke dalam lubang yang disediakan sehingga dapat terbaca oleh sensor suhu. Pengujian terhadap nilai konduktivitas air menggunakan sampel air bersih layak konsumsi untuk mendeteksi jumlah ppm-nya, serta untuk perbandingan kualitas air kotor digunakan air yang telah dicampuri zat lain seperti garam.

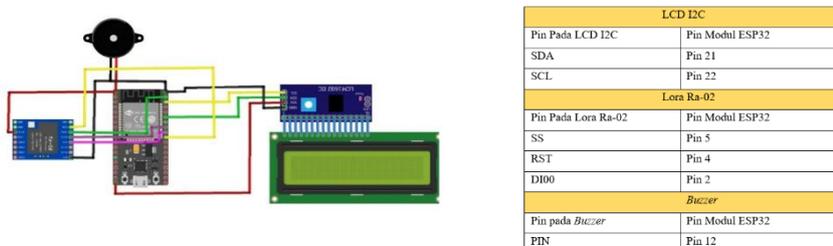
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini memerlukan berbagai komponen teknis untuk mencapai pemantauan *real-time*. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 digunakan untuk memproses data dari sensor-sensor seperti sensor suhu Max 6675 K, sensor tekanan (*Pressure Transmitter* 1 dan 2), serta sensor TDS yang mengukur suhu, tekanan, dan kualitas air, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Data dari sensor-sensor tersebut dikirim secara *wireless* menggunakan modul LoRa Ra-02, dari transmitter ke *receiver*, kemudian diproses oleh ESP32 dan ditampilkan di layar LCD, sebagaimana digambarkan pada gambar 3. Sistem ini dirancang dengan koneksi yang tepat agar setiap sensor dapat berfungsi optimal. Pengujian dilakukan dalam dua tahap: pengujian statis untuk memverifikasi fungsi setiap sensor secara individual, dan pengujian dinamis untuk menguji keseluruhan sistem saat dioperasikan dengan *prototype* perpipaan FWG yang terbuat dari pipa paralon. *Prototype* ini dirancang menyerupai sistem FWG asli untuk simulasi kinerja.



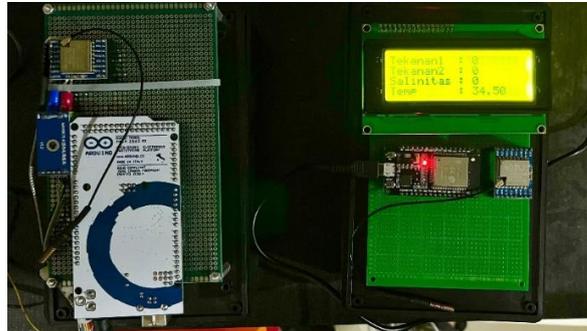
Gambar 2. Perancangan alat transmitter dan pin perancangan alat transmitter



Gambar 3. Perancangan alat receiver dan pin perancangan alat receiver

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kualitas kinerja dari seluruh komponen yang terpasang terutama untuk mengetahui kualitas data dari semua sensor dan komunikasi LoRa

Ra-02. Pengujian *persentase* kebuntuan pada *Filter* FWG. Pengujian ini dilakukan dengan untuk mengetahui tingkat kebuntuan antara aliran air pada *input* dan *output* FWG dengan secara bertahap yaitu dimulai dari *persentase* 25% - 75%. Tampilan alat sebagaimana pada gambar 5, yang telah dibuat sesuai dengan rancangan.



Gambar 5. Alat *receiver* dan *transmitter* menggunakan lora

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian persentase kebuntuan filter pada kondisi kebuntuan 25%. Pengujian ini dilakukan 30 kali dengan memantau tekanan, kondisi filter, dan status buzzer. Tekanan (BAR) yang diukur pada sistem berkisar antara 0,10 hingga 0,19 bar. Sepanjang pengujian, kondisi filter dinyatakan "Baik" pada semua pengukuran, menunjukkan bahwa meskipun ada kebuntuan 25%, filter masih berfungsi dengan baik. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pada kondisi kebuntuan 25%, tekanan dalam sistem tetap berada dalam rentang yang aman, filter berfungsi dengan baik, dan tidak ada indikasi masalah serius yang memerlukan perhatian segera, seperti yang ditunjukkan oleh *buzzer* yang tetap off.

Tabel 1. Hasil pengujian persentase kebuntuan 25%

Tekanan (Bar)	Kondisi Filter	Buzzer
0,10	Baik	Off
0,11	Baik	Off
0,13	Baik	Off
0,14	Baik	Off
0,16	Baik	Off
0,17	Baik	Off
0,18	Baik	Off
0,19	Baik	Off

Tabel 2. Hasil pengujian persentase kebuntuan 50%

Tekanan (Bar)	Kondrasi Filter	Buzzer
0,31	Sedang	On
0,33	Sedang	On
0,36	Sedang	On
0,38	Sedang	On
0,39	Sedang	On
0,43	Sedang	On
0,47	Sedang	On
0,48	Sedang	On

Tabel 2 adalah hasil pengujian yang dilakukan 30 kali pada kondisi kebuntuan filter sebesar 50%. Dalam pengujian ini, diukur tekanan (dalam satuan bar), kondisi filter, dan status buzzer. Tekanan yang tercatat dalam sistem berkisar antara 0,31 hingga 0,48 bar, menunjukkan adanya peningkatan tekanan dibandingkan dengan kondisi kebuntuan 25%. Pada semua pengukuran, kondisi filter dikategorikan sebagai "Sedang". Ini menunjukkan bahwa filter mulai mengalami penurunan kinerja karena kebuntuan yang lebih parah, tetapi masih mampu berfungsi meskipun dengan penurunan efisiensi. Buzzer dalam setiap pengukuran menunjukkan status "ON". Hal ini menunjukkan bahwa sistem mendeteksi kondisi yang memerlukan perhatian segera. *Buzzer* yang menyala mengindikasikan bahwa tekanan dan kondisi filter sudah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan dan membutuhkan intervensi, seperti pembersihan atau penggantian filter. Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan bahwa pada kondisi kebuntuan filter sebesar 50%, tekanan dalam sistem meningkat, kondisi filter menurun, dan sistem secara otomatis mengaktifkan *buzzer* untuk memberi tahu operator bahwa ada masalah yang perlu segera ditangani.

Hasil pada tabel 3 menunjukkan hasil pengujian 30 kali pada kondisi kebuntuan filter yang sangat tinggi, dengan tekanan yang diukur, kondisi filter, dan status *buzzer* sebagai indikator. Tekanan dalam sistem berkisar antara 0,61 hingga 0,96 bar. Tekanan ini menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, yang mengindikasikan bahwa kebuntuan filter semakin parah. Peningkatan tekanan ini terjadi karena aliran air yang terhambat, sehingga tekanan dalam sistem meningkat. Kondisi filter pada semua pengukuran dikategorikan sebagai "Jelek". Ini menunjukkan bahwa filter mengalami kebuntuan yang serius, yang berdampak negatif pada kemampuan sistem untuk beroperasi secara normal. Filter dalam kondisi ini tidak lagi berfungsi dengan baik dan sangat memerlukan pembersihan atau penggantian. *Buzzer* selalu dalam kondisi "ON" pada semua pengukuran. Ini menandakan bahwa sistem mendeteksi adanya kondisi kritis yang membutuhkan perhatian segera. *Buzzer* yang menyala menunjukkan bahwa tekanan dan kondisi filter telah mencapai tingkat berbahaya, yang jika tidak segera ditangani, dapat menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada sistem atau bahkan kegagalan total. Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan bahwa pada kondisi kebuntuan yang sangat tinggi, filter dalam keadaan buruk dengan tekanan sistem yang meningkat drastis, dan sistem peringatan (*buzzer*) terus menyala untuk menunjukkan perlunya intervensi segera. Filter harus segera diperbaiki atau diganti untuk mengembalikan sistem ke kondisi operasi yang aman dan efisien.

Tabel 3. Pengujian persentase kebuntuan 75%

Tekanan (Bar)	Kondisi Filter	Buzzer
0,61	Jelek	ON
0,66	Jelek	ON
0,72	Jelek	ON
0,77	Jelek	ON
0,81	Jelek	ON
0,86	Jelek	ON
0,91	Jelek	ON
0,96	Jelek	ON

Tabel 4 adalah hasil pengujian LoRa RA-02 ini dilakukan dengan beberapa tahap jarak pengujian melewati penghalang dan juga tanpa penghalang ini menunjukkan pengukuran beberapa parameter pada berbagai jarak antara dua titik, yaitu *Transmitter* (Trv) dan *Receiver* (Rcv). Parameter yang diukur meliputi suhu (dalam derajat *Celcius*), *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam ppm, Tekanan 1 (bar), Tekanan 2 (bar), dan kevalidan data (V/T) pada setiap jarak. Jarak mulai dari 0 hingga 207 meter, dengan suhu konstan di 30°C pada titik *transmitter*

dan *receiver* juga tetap konstan pada 194 ppm. Tekanan dengan nilai berkisar antara 0,03 hingga 0,04 bar di awal, kemudian naik menjadi 0,07 hingga 0,09 bar saat jarak semakin jauh. Pada data diatas dapat dijelaskan bahwa jarak 0 hingga 200 meter, semua parameter yang diukur pada *transmitter* dan *receiver* menunjukkan nilai yang konsisten dan data dianggap valid. Ini menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan mampu mengirim serta menerima data secara akurat dalam rentang jarak ini. Pada jarak 207 meter, *receiver* mulai mengalami masalah, karena data untuk suhu, TDS, dan tekanan tidak tersedia, dan kevalidan data ditandai sebagai tidak valid (T). Ini menunjukkan batas kemampuan sistem untuk menjaga keakuratan komunikasi atau pengukuran pada jarak yang lebih jauh.

Tabel 4. Hasil pengujian Jarak LoRa Ra-02 tanpa penghalang

Jarak (Meter)	Suhu (°C)		TDS (ppm)		Tekanan 1 (bar)		Tekanan 2 (bar)		Kevalidan Data V/T	
	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>
0	30	30	194	194	0,03	0,03	0,06	0,06	V	V
50	30	30	194	194	0,03	0,03	0,04	0,04	V	V
100	30	30	194	194	0,04	0,04	0,07	0,07	V	V
150	30	30	194	194	0,03	0,03	0,07	0,07	V	V
200	30	30	194	194	0,03	0,03	0,07	0,07	V	V
207	30	-	194	-	0,03	-	0,09	-	V	T

Tabel 5. Pengujian Jarak LoRa Ra-02 melewati penghalang

Jarak (Meter)	Suhu (°C)		TDS (ppm)		Tekanan 1 (bar)		Tekanan 2 (bar)		Kevalidan Data V/T	
	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>	<i>Trv</i>	<i>Rcv</i>
0	28	28	252	252	0,04	0,04	0,03	0,03	V	V
25	28	28	253	253	0,03	0,03	0,07	0,07	V	V
50	28	28	253	253	0,04	0,04	0,06	0,06	V	V
75	28	28	253	253	0,03	0,03	0,07	0,07	V	V
97	28	28	253	253	0,03	0,03	0,06	0,06	V	V
100	28	-	253	-	0,04	-	0,03	-	V	T

Tabel 5 adalah hasil pengujian Jarak LoRa Ra-02 melewati penghalang, menampilkan pengukuran beberapa parameter pada berbagai jarak antara dua titik, yaitu *Transmitter* (*Trv*) dan *Receiver* (*Rcv*). Parameter yang diukur mencakup suhu (dalam derajat *celsius*), Total Dissolved Solids (TDS) dalam ppm, Tekanan 1 (dalam bar), Tekanan 2 (dalam bar), dan kevalidan data (V/T) pada setiap jarak. Jarak mulai dari 0 hingga 100 meter dengan suhu konstan pada 28°C dengan nilai TDS juga tetap konstan di 252-253 ppm untuk *transmitter* dan *receiver* hingga jarak 97 meter. Tekanan 1 diukur di kedua titik dengan nilai yang relatif stabil di sekitar 0,03 hingga 0,04 bar dan tekanan 2 menunjukkan variasi kecil, dengan nilai 0,03 hingga 0,07 bar di semua jarak, namun pada jarak 100 meter. Pada jarak 0 hingga 97 meter, semua parameter yang diukur pada *transmitter* dan *receiver* menunjukkan nilai yang konsisten, dan data dianggap valid. Ini menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik dalam rentang jarak ini. Pada jarak 100 meter, terdapat masalah di sisi *receiver*, dengan tidak adanya data untuk suhu, TDS, Tekanan 1, dan Tekanan 2. Kevalidan data pada jarak ini ditandai sebagai tidak valid (T), menunjukkan bahwa *receiver* mungkin telah mencapai batas operasional atau mengalami gangguan, sehingga tidak mampu menerima atau mengukur data dengan akurat pada jarak tersebut. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik dalam jarak hingga 97 meter, tetapi mulai menunjukkan kegagalan pada jarak 100 meter.

Selanjutnya pada tabel 6 adalah hasil pengujian keseluruhan alat, mencantumkan data mengenai kualitas dan kondisi air dalam kaitannya dengan kebuntuan filter, tekanan, suhu, *Total Dissolved Solids* (TDS), kondisi filter, jenis air, serta status *buzzer*. Disaat kebuntuan 0%, kondisi filter dalam keadaan "Baik Sekali", dengan tekanan rendah dan *buzzer* sering menyala jika air tidak bersih atau ada masalah dengan air minum. Kebuntuan 25%, kondisi filter mulai menurun ke "Baik", tekanan meningkat sedikit, tetapi *buzzer* sebagian besar masih mati kecuali saat kualitas air turun. Kebuntuan 50%, kondisi filter menjadi "Sedang", dengan tekanan yang lebih tinggi dan *buzzer* sering menyala, terutama ketika air yang diuji adalah air keran atau air kotor. Kebuntuan 75%, kondisi filter memburuk ke "Jelek", tekanan dan TDS meningkat, dan *buzzer* menyala untuk memberikan peringatan tentang kualitas air dan kondisi filter yang buruk. Kebuntuan 100%, kondisi filter sangat buruk ("Jelek Sekali"), tekanan tinggi, TDS cenderung tinggi, dan *buzzer* selalu menyala, menandakan perlu adanya intervensi segera.

Tabel 6. Pengujian keseluruhan alat

Persentase Kebuntuan (%)	Tekanan (bar)	Suhu (°C)	TDS (ppm)	Kondisi Filter	Jenis Air	Buzzer
0	0,04	50,64	198,15	Baik Sekali	Air Minum	On
0	0,07	80,15	212,19	Baik Sekali	Air Keran	Off
0	0,07	88,21	195,05	Baik Sekali	Air Minum	Off
0	0,07	80,05	317,01	Baik Sekali	Air Kotor	On
0	0,06	78,91	195,13	Baik Sekali	Air Minum	Off
25	0,16	80,03	198,52	Baik	Air Minum	Off
25	0,18	87,91	210,81	Baik	Air Keran	Off
25	0,16	78,42	317,10	Baik	Air Kotor	On
50	0,39	80,03	318,82	Sedang	Air Kotor	On
50	0,47	85,90	197,22	Sedang	Air Minum	On
50	0,45	89,13	210,70	Sedang	Air Keran	On
50	0,47	97,32	316,82	Sedang	Air Kotor	On
75	0,68	75,22	210,41	Jelek	Air Keran	On
75	0,70	80,42	196,70	Jelek	Air Minum	On
75	0,92	88,15	207,52	Jelek	Air Keran	On
75	0,89	84,12	316,22	Jelek	Air Kotor	On
75	0,90	78,17	197,23	Jelek	Air Minum	On
100	1,16	76,15	210,47	Jelek Sekali	Air Keran	On
100	1,15	80,54	318,05	Jelek Sekali	Air Kotor	On
100	1,16	88,15	197,55	Jelek Sekali	Air Minum	On

Pembahasan

Hasil analisis kebutuhan dalam penelitian ini mengungkapkannya sejumlah temuan penting terkait kinerja sistem monitoring dan filter pada FWG. Berdasarkan pengujian tingkat kebuntuan filter, filter dengan tingkat kebuntuan 25% dikategorikan dalam kondisi baik, sementara tingkat kebuntuan 50% menunjukkan kondisi sedang. Filter dengan kebuntuan 75% dinilai dalam kondisi buruk, sedangkan pada kebuntuan 100%, filter berada dalam kondisi sangat buruk. Analisis ini menegaskan bahwa peningkatan progresif pada tingkat kebuntuan filter secara signifikan memengaruhi performa sistem keseluruhan.

Pengujian komunikasi jaringan menggunakan modul LoRa Ra-02 menunjukkan bahwa modul ini mampu mengirimkan data tanpa halangan hingga jarak maksimum 207 meter. Namun, efektivitas transmisi menurun hingga jarak optimal 200 meter dalam kondisi tanpa rintangan. Kehadiran rintangan lebih lanjut memperpendek jarak transmisi efektif menjadi 97

meter akibat interferensi sinyal, yang menjadi tantangan utama dalam implementasi sistem berbasis jaringan ini.

Temuan terkait kebuntuan filter menunjukkan bahwa pada tingkat kebuntuan 75% hingga 100%, aliran air terhambat secara signifikan, mengakibatkan peningkatan tekanan dalam sistem. Filter dengan tingkat kebuntuan berat memerlukan tindakan segera berupa pembersihan atau penggantian, karena fungsinya tidak lagi optimal. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa *buzzer* aktif ("ON") pada semua tingkat kebuntuan, memberikan sinyal peringatan dini atas potensi masalah yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, temuan ini menunjukkan keunggulan sistem monitoring *real-time* yang dikembangkan. Sistem ini mampu memantau parameter kritis seperti suhu pemanas (*heater*), kualitas filter, dan kualitas air tawar secara langsung, memungkinkan deteksi masalah secara cepat dan penanganan yang tepat waktu. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang cenderung hanya berfokus pada gangguan perpindahan panas tanpa pemantauan proaktif, hasil penelitian ini menunjukkan kemampuan alat untuk menangani tingkat kebuntuan hingga 50% tanpa penurunan performa signifikan (Iswansyah et al., 2022).

Alat yang dikembangkan juga menunjukkan kemampuan beroperasi pada tekanan stabil sebesar 0,44 bar dan suhu maksimum 84°C, mencerminkan ketahanan dan keandalan dalam kondisi operasi yang ekstrem. Aspek ini tidak diuraikan secara rinci dalam penelitian sebelumnya (Kralj et al., 2017; Yuksel et al., 2019). Oleh karena itu, sistem yang diusulkan tidak hanya menunjukkan toleransi tinggi terhadap kebuntuan filter dan keandalan operasional dalam kondisi ekstrem, tetapi juga memaksimalkan produksi air tawar melalui pemantauan dan mitigasi masalah yang lebih efektif dibandingkan dengan pendekatan yang terbatas dalam penelitian sebelumnya (Shimizu, 2021).

SIMPULAN

Penelitian ini menemukan bahwa filter FWG dengan kebuntuan 25% masih berfungsi baik, namun pada kebuntuan 50% mulai mempengaruhi kinerja, dan kebuntuan di atas 75% menyebabkan penurunan performa signifikan, memerlukan pembersihan atau penggantian. Peningkatan kebuntuan filter meningkatkan tekanan dan mengurangi efisiensi. Uji komunikasi dengan modul LoRa Ra-02 efektif hingga 200 meter tanpa hambatan, tetapi turun menjadi 97 meter dengan penghalang. Hasil temuan menunjukkan bahwa alat monitoring kinerja FWG dapat mengoptimalkan produksi air tawar. Berdasarkan hasil pengujian, alat ini mampu beroperasi stabil pada tekanan 0,44 bar dan suhu maksimum 84°C, serta dapat bekerja andal dalam kondisi ekstrem, menjadikan FWG lebih efisien dalam memproduksi air tawar. Sistem ini memungkinkan pemantauan suhu, kualitas filter, dan air secara *real-time*, memudahkan deteksi masalah dan tindakan cepat, sehingga lebih efisien dibandingkan metode konvensional.

REFERENSI

- Amrullah, R.A. & Utami, P.E. (2023). Pencegahan Terjadinya Selisih Jumlah Muatan Bahan Bakar Pada Saat Bunker Kapal Republik Indonesia (KRI) Di PT Pertamina Trans Kontinental Surabaya. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Pendidikan Maritim 2022*, 199-213.
- Anantama, A., Apriyantina, A., Samsugi, S., & Rossi, F. (2020). Alat Pantau Jumlah Pemakaian Daya Listrik Pada Alat Elektronik Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 1(1), 29-34. <https://doi.org/10.33365/jtst.v1i1.712>
- Hartanto, H., Tjahjono, A., Wahyuni, O., & Wibowo, E. (2020). Factors affecting the performance of fresh water generator in merchant vessel. *TEM Journal*, 9(1), 19-24. <https://doi.org/10.18421/TEM91-03>

- Iswansyah, I., Sirman, M., & Ma'arif, S. (2022). Analisis Menurunnya Produksi Air Tawar Pada Fresh Water Generator Di Kapal MT. *Bull Kalimantan. Jurnal Venus*, 9(2), 110-116. <https://doi.org/10.48192/vns.v9i02.442>
- Jin, J. G., & Wang, Z. T. (2014). Design of simulating control system on fresh water generator. *Advanced Materials Research*, 1008–1009, 1154-1159. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1008-1009.1154>
- Joshi, V. P., Joshi, V. S., Kothari, H. A., Mahajan, M. D., Chaudhari, M. B., & Sant, K. D. (2017). Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler. *Energy Procedia*, 109, 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.085>
- Kralj, P., Martinović, D., & Tudor, M. (2017). Analysis of thermodynamic and technological basics of the marine fresh water generator model. *Desalination and Water Treatment*, 95, 180-185. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21522>
- Lantang, M. (2017). Analisis Ketidak Optimalnya Kerja Evaporator Terhadap Menurunnya Kinerja Fresh Water Generator Di Kapal Kmp Shalem. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 12(02), 1815-1820. <https://doi.org/10.47398/iltek.v12i02.392>
- Muhammed, H. Q., Khalifa, M. Z., & Owaid, A. J. (2021). Fresh Water Generator: A Review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1973(1), 1-16. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012029>
- Rachman, N. F., Darmawan, A., & Imami, F. D. (2019). Desain Penguncian Pintu Perlindungan Sebidang Jenis Manual Operation PLN-Power Menggunakan Elektromagnet. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, 3(23), 30-39. <https://doi.org/10.37367/jpi.v3i1.71>
- Rachman, N. F., Sunardi, Aghastya, A., Wirawan, W. A., & Putri, N. D. O. (2023). Simulation of early warning system in landslides and flooding with IoT. *AIP Conference Proceedings*, 2592, 6008-6018. <https://doi.org/10.1063/5.0114918>
- Rohmanu, ajar, & Widiyanto, D. (2018). Sistem Sensor Jarak Aman Pada Mobil Berbasis Mikrokontroler Arduino Atmega328. *Jurnal Informatika SIMANTIK*, 3(1), 7-14.
- Shimizu, K. (2021). Energy-saving Fresh Water Generator That Uses Exhaust Heat from Low Emission Diesel Engine. *Marine Engineering*, 56(2), 176-179. <https://doi.org/10.5988/jime.56.176>
- Sirman, M. & Syahrinal. (2023). Analisis Menurunnya Produksi Air Tawar Pada Fresh Water Generator Di Kapal MT. Gloria Sentosa. *JURNAL VENUS*, 11(1), 37-48. <https://doi.org/10.48192/vns.v11i1.690>
- Syahwil, M. (2013). *Panduan Mudah Simulasi & Praktek Mikrokontroler Arduino*. Yogyakarta: Andi.
- Vinola, F., & Rakhman, A. (2020). Sistem Monitoring dan Controlling Suhu Ruang Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 9(2), 117-126.
- Yuksel, O., Gulmez, Y., Konur, O., Korkmaz, S. A., Erdogan, A., & Colpan, C. O. (2019). Performance assessment of a marine freshwater generator through exergetic optimization. *Journal of Cleaner Production*, 219, 326-335. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.083>
- Yunior, Y. T. K., & Kusriani, K. (2021). Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Budidaya Perikanan Berbasis IoT dan Manajemen Data. *Creative Information Technology Journal*, 6(2), 153-164. <https://doi.org/10.24076/citec.2019v6i2.251>
- Zamora, R., Harmadi, H., & Wildian, W. (2016). Perancangan Alat Ukur TDS (Total Dissolved Solid) Air Dengan Sensor Konduktivitas Secara Real Time. *Sainstek: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 7(1), 11-15. <https://doi.org/10.31958/js.v7i1.120>
- Zulkarnaen, D., Budiman, F., & Prihatiningrum, N. (2021). Sistem Monitoring Keadaan Air Berbasis Internet of Things (Iot). *E-Proceeding of Engineering*, 8(2), 1-10,