

Karakterisasi Sensor Kapasitif Multilayer Untuk Aplikasi Deteksi Kadar Air Pada Proses Pengeringan Rumput Laut Menggunakan Algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT)

Characterization of Multilayer Capacitive Sensor for Water Content Detection Application in Seaweed Drying Process Using Fast Fourier Transform (FFT) Algorithm

Andi Rosman N^{1*}, Isdaryanti²

¹ Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat, Majene, Indonesia 91412

² Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat, Majene, Indonesia 91412

Email: *andirosman.n@unsulbar.ac.id; isdaryanti@unsulbar.ac.id

Abstrak – Kandungan kadar air rumput laut pada saat proses pengeringan merupakan salah satu faktor penentu mutu rumput laut. Oleh karena itu, pengukuran persentase kadar air pada rumput laut pada proses pengeringan sangat penting untuk diperhatikan. Telah berhasil dibuat dan dikarakterisasi sensor kapasitif multilayer untuk aplikasi deteksi kadar air pada proses pengeringan rumput laut menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Sensor dibuat dari substrat PCB Cu berbentuk pola potensial tangga dengan dimensi 5 x 5 cm. Substrat PCB kemudian dilapisi dengan beberapa layer atau lapisan pembentuk NiFe dan pembentuk Cu menggunakan teknik elektro deposisi. Metode penelitian terdiri dari pembuatan sensor, kalibrasi sensor dengan menggunakan metode gravimetri, dan melakukan dua skema pengukuran yaitu pengukuran perubahan nilai ADC sensor sebagai representasi nilai kadar air rumput laut dan pengukuran perubahan nilai frekuensi sensor sebagai representasi nilai kadar air menggunakan FFT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik sensor berupa gradien garis sensor sebesar 18,866 nilai ADC/(%) kadar air dengan intercept sebesar 68,248 nilai ADC. Sehingga sensor akan mengalami penurunan perubahan nilai ADC sebesar 18,866 setiap kenaikan ataupun penurunan 1% kadar air. Untuk nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,91618 yang menunjukkan bahwa sensor telah mendekati pembacaan nilai kadar air dengan kepresisian yang baik. Berdasarkan hasil pengukuran nilai kadar air rumput laut juga memperlihatkan bahwa dengan menggunakan algoritma FFT pembacaan nilai kadar air rumput laut dapat direpresentasikan dengan nilai frekuensi dari sensor dengan baik. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi sensor yang inovatif dalam mengukur kadar air selama proses pengeringan rumput laut.

Kata kunci: Sensor kapasitif multilayer; kadar air; ADC sensor; frekuensi sinyal sensor; FFT.

Abstract – The moisture content of seaweed during the drying process is one of the factors determining the quality of seaweed. Therefore, measuring the percentage of water content in seaweed during the drying process is very important to note. A multilayer capacitive sensor for water content detection application in seaweed drying process using the *Fast Fourier Transform* (FFT) algorithm has been successfully built and characterized. The sensor is made from a Cu PCB substrate in the form of a potential ladder pattern with dimensions of 5 x 5 cm. The PCB substrate is then coated with several layers of NiFe and Cu forming layers using electro deposition technique. The research method consists of making the sensor, calibrating the sensor using the gravimetric method, and performing two measurement schemes, namely measuring changes in the ADC value of the sensor as a representation of the seaweed moisture content value and measuring changes in the frequency value of the sensor as a representation of the moisture content value using FFT algorithm. The results showed that the sensor characteristics in the form of sensor slope of 18.866 ADC value / (%) water content with an intercept of 68.248 ADC value. So that the sensor will experience a decrease in ADC value changes by 18.866 every 1% increase or decrease in water content. For the coefficient of determination R^2 of 0.91618 which indicates that the sensor has approached the reading of the water content value with good precision. Based on the measurement results of the seaweed

water content value also shows that by using FFT algorithm, the reading of the seaweed water content value can be represented by the frequency value of the sensor well. This research contributes to the development of innovative sensor technology in measuring moisture content during the seaweed drying process.

Keywords: Multilayer capacitive sensor; moisture content; sensor ADC; sensor signal frequency; FFT.

1. Pendahuluan

Budidaya rumput laut menjadi salah satu sektor pertanian yang semakin populer di Indonesia. Rumput laut dikenal memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri makanan dan farmasi. Namun, budidaya rumput laut juga memerlukan pengelolaan yang baik agar dapat memberikan hasil yang optimal. Salah satu faktor penting dalam budidaya rumput laut pasca panen adalah proses pengeringan rumput laut. Bahkan proses pengeringan rumput laut merupakan proses utama dari pengolahan rumput laut untuk bahan baku industri [1]. Proses pengeringan rumput laut juga sangat berpengaruh terhadap mutu dari rumput laut [2-4].

Saat proses pengeringan rumput laut, kandungan kadar air dari rumput laut menjadi sangat penting untuk diperhitungkan. Persentase kadar air terbaik dari hasil proses pengeringan rumput laut sesuai standar SNI adalah 32% [5]. Oleh karena itu, pengukuran persentase kadar air pada rumput laut pada proses pengeringan sangat penting untuk diperhatikan. Pengukuran kadar air rumput laut yang paling umum adalah dengan menggunakan metode gravimetri [6]. Dimana pada metode gravimetri merupakan metode yang paling sederhana dengan membandingkan bobot sebelum dan setelah proses pengeringan. Cara pengukuran kadar air lainnya pada rumput laut adalah dengan menggunakan uji kadar air dengan perlakuan tertentu [7]. Penggunaan metode gravimetri maupun metode uji kadar air kimia lainnya memiliki keterbatasan dari sisi waktu karena harus membandingkan hasil pengukuran sebelum dan pasca pengeringan. Sehingga dibutuhkan metode lain atau alat ukur lainnya yang mampu mengukur dengan mudah dan secara langsung kandungan kadar air pada rumput laut.

Teknologi yang dapat digunakan untuk mendeteksi kadar air rumput laut adalah dengan menggunakan teknologi sensor. Teknologi sensor yang saat ini banyak dikembangkan berbasis medan magnet [8-10], elektronik dengan basis tegangan dan arus [11] serta serat optik [12, 13]. Namun keterbatasan sensor dengan basis medan magnet dan tegangan adalah mudah terpengaruh oleh interferensi sinyal ataupun perubahan medan elektromagnetik. Untuk itu, pengembangan material untuk sensor telah banyak dikembangkan untuk berbagai kasus pengukuran tersebut.

Salah satu sensor yang dapat dikembangkan adalah sensor kapasitif. Pada sensor kapasitif memiliki keunggulan dalam mendeteksi perubahan perubahan bobot atau kadar larutan pada suatu bahan yang diukur. Seperti pada pengukuran kadar minyak pada daging [14]. Sensor kapasitif juga memiliki kemampuan untuk mengukur dalam waktu yang singkat dan dengan akurasi yang baik. Namun, sensor kapasitif juga memiliki kelemahan dalam mendeteksi kandungan nutrisi pada air laut yang memiliki kadar garam tinggi. Kadar garam yang tinggi pada air laut dapat menyebabkan gangguan pada sinyal pengukuran kapasitansi, sehingga akurasi pengukuran sensor kapasitif dapat berkurang. Hal ini dapat mengakibatkan hasil pengukuran yang tidak akurat, dan mengurangi kualitas hasil pengukuran yang diperoleh.

Cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi gangguan sinyal pengukuran kadar air pada rumput laut akibat tingginya kadar garam adalah dengan menerapkan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Algoritma FFT merupakan algoritma yang digunakan untuk mengubah sinyal domain waktu ke domain frekuensi [15]. Dalam aplikasi deteksi kadar air, FFT digunakan untuk menganalisis perubahan sinyal listrik yang berhubungan dengan kadar air rumput laut. Dengan mengubah sinyal mentah menjadi spektrum frekuensi, FFT memungkinkan identifikasi komponen frekuensi dominan yang berhubungan dengan sifat fisik bahan seperti kadar air. Pada penelitian ini, algoritma FFT digunakan sebagai langkah dalam proses analisis untuk mengidentifikasi dan memfilter gangguan sinyal akibat kadar garam yang tinggi. Perubahan kapasitansi akibat variasi kadar air menghasilkan sinyal listrik yang dapat dianalisis menggunakan FFT. Dengan mendekonvolusi sinyal ini, FFT memungkinkan ekstraksi informasi tentang kadar air secara cepat dan efisien. FFT membantu dalam mengenali pola spesifik yang terkait dengan kandungan air, sehingga memberikan metode yang lebih tepat dibandingkan dengan analisis langsung sinyal dalam domain waktu.

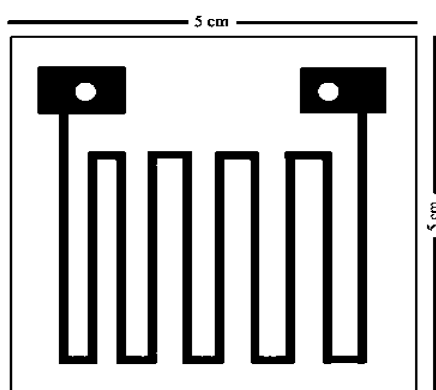
Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan metode baru dalam melakukan pengukuran kadar air rumput laut menggunakan algoritma FFT. Proses identifikasi gangguan sinyal akibat kadar garam yang

tinggi pada algoritma FFT dilakukan dengan cara memecah komponen-komponen frekuensi yang terbaca pada sensor. Komponen dipecah berdasarkan kesamaan karakteristik sinyal frekuensi yang dihasilkan. Dengan demikian karakteristik antara ada gangguan sinyal ataupun tidak ada gangguan sinyal dapat dibedakan satu sama lain. Selain itu, pada algoritma FFT dilakukan Teknik *filtering* berdasarkan analisis sinyal frekuensi. Algoritma FFT dapat diterapkan untuk mengurangi atau menghilangkan gangguan yang tidak diinginkan pada sinyal pengukuran.

2. Metode

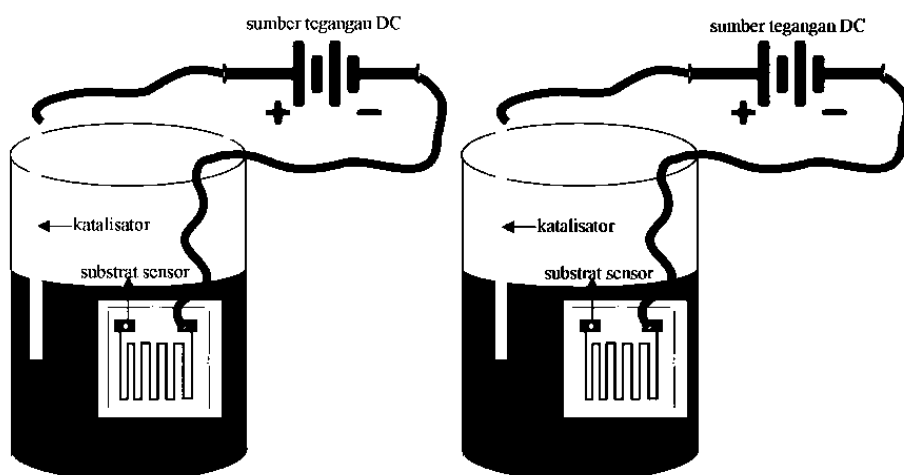
2.1. Rancangan sensor kapasitif

Desain sensor yang direncanakan berbentuk pola potensial tangga seperti pada gambar 1. Rancangan sensor terbuat dari substrat PCB Cu yang terdiri dari beberapa layer pada substrat PCB. Desain sensor dibuat dengan dimensi 5 x 5 cm. Langkah pembuatan desain sensor dimulai dengan melakukan desain menggunakan software *Circuit Wizard*. Kemudian mencetaknya di papan PCB Cu. Langkah terakhir adalah melarutkan PCB dengan larutan pelarut PCB sehingga membentuk pola sensor kapasitif.



Gambar 1. Desain sensor kapasitif.

Selanjutnya sensor kapasitif akan dilapisi dengan lapisan pembentuk NiFe dan lapisan pembentuk Cu menggunakan teknik elektro deposisi. Bahan-bahan yang digunakan untuk melakukan pelapisan pembentuk NiFe pada sensor antara lain $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_4 , dan $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3$. Sementara bahan untuk pelapisan pembentuk Cu adalah $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.



Gambar 2. Proses pembentukan lapisan sensor kapasitif.

2.2. Kalibrasi sensor kapasitif

Untuk memastikan keakuratan dan keandalan dalam melakukan pengukuran dari sensor kapasitif *multilayer* yang telah dibuat maka terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap sensor. Proses kalibrasi yang digunakan menggunakan metode gravimetri. Pertama-tama nilai kadar air dari sampel akan diukur menggunakan metode gravimetri. Pada proses ini pertama-tama sampel akan ditimbang massanya terlebih dahulu, kemudian akan dipanaskan dengan variasi temperatur. Setelah itu, kemudian akan ditimbang kembali massa sampel dan juga melakukan pembacaan nilai ADC dari sensor kapasitif *multilayer*. Proses ini dilakukan secara berulang dengan 6 kali pengulangan terhadap sampel. Penentuan nilai kadar air dari sampel akan memenuhi Persamaan (1).

$$\text{Kadar air}(\%) = \left(\frac{\text{Massa awal} - \text{Massa akhir}}{\text{Massa awal}} \right) \quad (1)$$

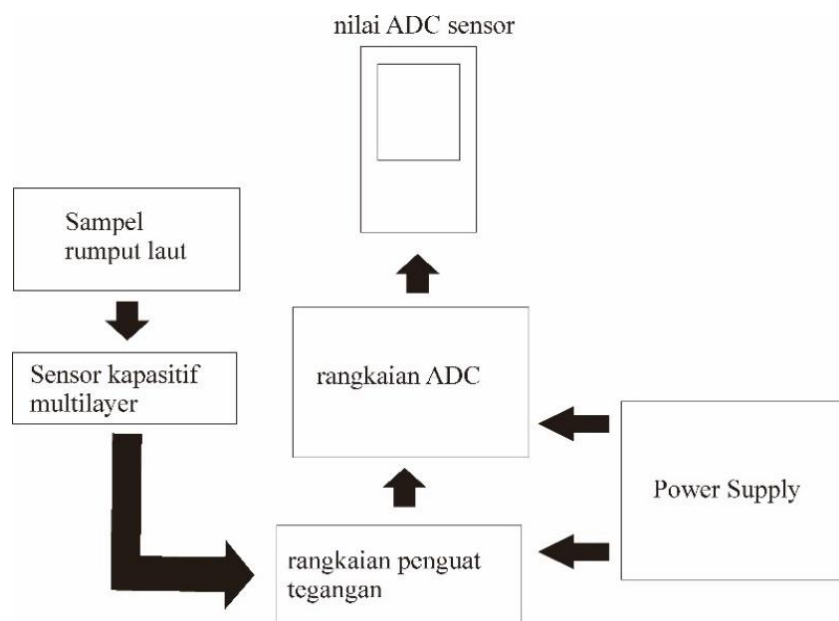
Data hasil pengukuran nilai ADC sensor dan perhitungan kadar air sampel kemudian dicatat kemudian dan dilakukan proses regresi yang memenuhi Persamaan (2).

$$Y = ax + b \quad (2)$$

Dengan Y adalah variabel *dependent*, x adalah variabel *independent*, a adalah kemiringan/*slope* atau koefisien regresi, dan b adalah konstanta. Penggunaan analisis regresi dilakukan sebagai bentuk kalibrasi sensor yang membandingkan nilai sensor sejenis yang sudah terstandar [16]. Dalam hal ini nilai ADC sensor akan dibandingkan dengan pembacaan nilai kadar air berdasarkan pengukuran metode gravimetri.

2.3. Perancangan pengukuran sensor

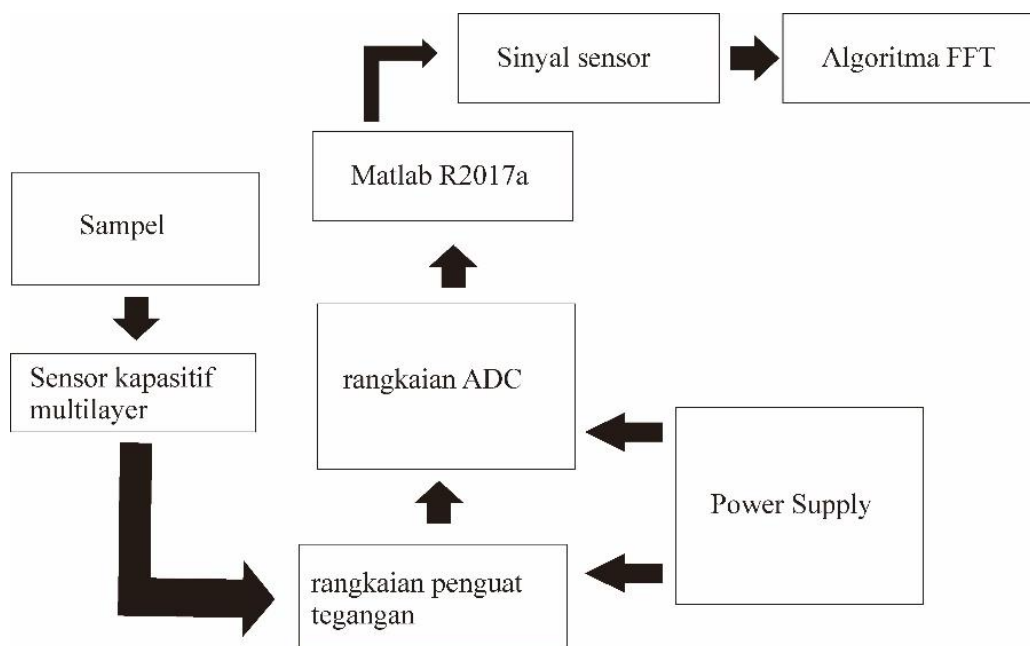
Pada perancangan pengukuran sensor kapasitif *multilayer* dilakukan dengan menggunakan dua skema pengukuran. Sampel yang digunakan adalah rumput laut jenis *Gracillaria Salicornia*. Skema pengukuran pertama adalah dengan mengukur data perubahan nilai ADC akibat dari perbedaan nilai persentase kadar air rumput laut. Skema pengukuran pertama dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengukuran perubahan nilai ADC sensor.

Sementara untuk skema pengukuran kedua adalah dengan memberikan tambahan larutan garam pada sampel rumput laut. Pada skema pengukuran kedua sampel terlebih diberikan sebanyak 5 ml larutan garam kemudian dicampur pada sampel rumput laut. Sampel direndam di larutan garam selama 5 menit kemudian ditiriskan. Selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap sampel dengan mengukur perubahan nilai ADC

sensor akibat perubahan persentase kadar air yang ditambahkan dengan larutan garam. Selanjutnya nilai ADC sensor akan diolah menggunakan Matlab R2017a untuk memperoleh data frekuensi sensor menggunakan algoritma FFT. Skema pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.

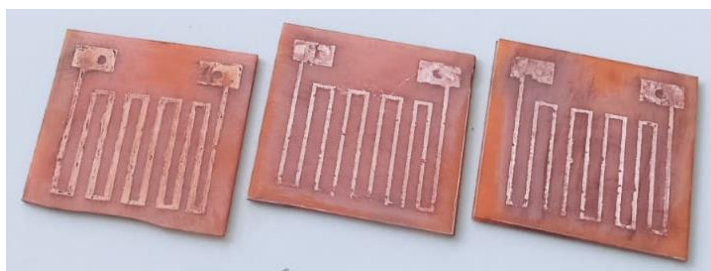


Gambar 4. Skema pengukuran perubahan nilai frekuensi sensor.

Setelah melakukan pengukuran maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data, analisis data, dan interpretasi data. *Software* yang digunakan untuk mengolah data adalah Origin versi 2024b. Langkah-langkah pemrosesan data dimulai dengan melakukan pengumpulan data nilai kadar air berdasarkan nilai gravimetri dan data nilai ADC hasil pengukuran sensor. Data tersebut kemudian dimasukkan kedalam dokumen software Origin. Pemrosesan lebih lanjut dengan melakukan *plotting* yang menggambarkan hubungan antara nilai kadar air terhadap nilai ADC sensor. Hasil *plotting* dan olahan data disajikan pada Gambar 6. Selain itu, juga dilakukan pemrosesan data lebih lanjut menggunakan *software* Matlab 2017a menggunakan fitur *fast fourier transform*. Data pengukuran dalam domain waktu kemudian diproses dan diubah menjadi data dalam domain frekuensi seperti terlihat pada Gambar 9 dan 10. Alasan pemilihan fitur ini adalah agar data yang terbaca mudah untuk diinterpretasi.

3. Hasil Dan Pembahasan

Telah dilakukan desain sensor kapasitif multilayer pada papan PCB Cu. Hasil dari sensor kapasitif yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 5. Sensor dibuat dengan pemberian lapisan pembentuk NiFe sebanyak dua layer/lapisan dan pemberian lapisan pembentuk Cu juga sebanyak dua layer.



Gambar 5. Sensor kapasitif *multilayer*.

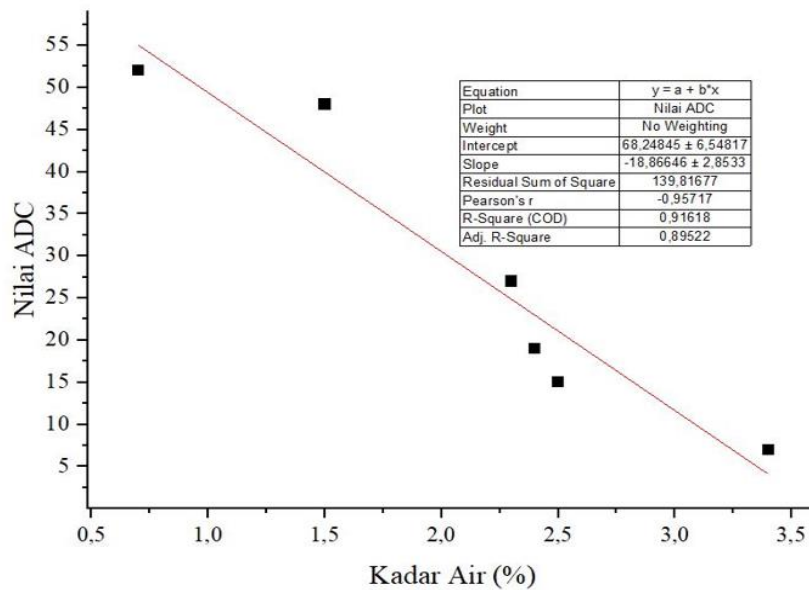
3.1. Karakteristik sensor kapasitif multilayer

Penentuan karakteristik sensor kapasitif multilayer dilakukan setelah melihat data hasil kalibrasi sensor. Data hasil kalibrasi sensor kapasitif multilayer dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 memperlihatkan hubungan antara perubahan nilai ADC dari sensor terhadap perubahan nilai kadar air (%) sampel setelah dipanaskan dengan durasi waktu tertentu.

Tabel 1. Data perubahan nilai ADC sensor terhadap perubahan nilai kadar air.

No	Waktu pemanasan (menit)	Kadar air standar (%)	Kadar air sensor (%)	Nilai ADC
1	15	0,7	0,861	52
2	21	1,5	1,073	48
3	28	2,3	2,187	27
4	32	2,4	2,611	19
5	41	2,5	2,823	15
6	51	3,4	3,246	7

Berdasarkan data perubahan nilai ADC dari sensor terhadap perubahan nilai kadar air (%) kemudian diolah lebih lanjut untuk melihat hubungan kedua variabel tersebut. Olah data disajikan dalam bentuk grafik kalibrasi seperti terlihat pada Gambar 6.

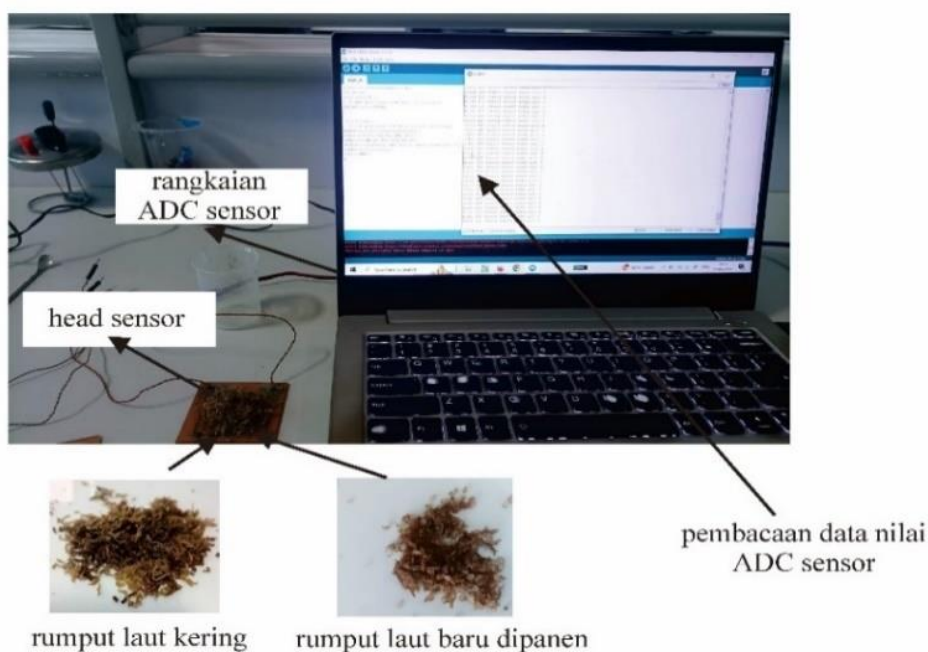


Gambar 6. Grafik kalibrasi Sensor kapasitif multilayer.

Pada grafik memperlihatkan *trend* hubungan antara perubahan nilai ADC terhadap kadar air (%). Dengan menggunakan analisis regresi $Y = ax + b$ diperoleh hasil bahwa $Y = -18,866x + 68,248$. Hasil ini memperlihatkan bahwa karakteristik sensor berupa gradien garis sebesar 18,866 nilai ADC/(%) kadar air dengan *intercept* sebesar 68,248 nilai ADC. Sehingga sensor akan mengalami penurunan perubahan nilai ADC sebesar 18,866 setiap kenaikan ataupun penurunan 1% kadar air. Pada grafik juga memperlihatkan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,91618. Nilai koefisien determinasi tersebut memperlihatkan bahwa sensor telah mendekati pembacaan nilai kadar air dengan kepresisian yang baik.

3.2. Hasil pengukuran

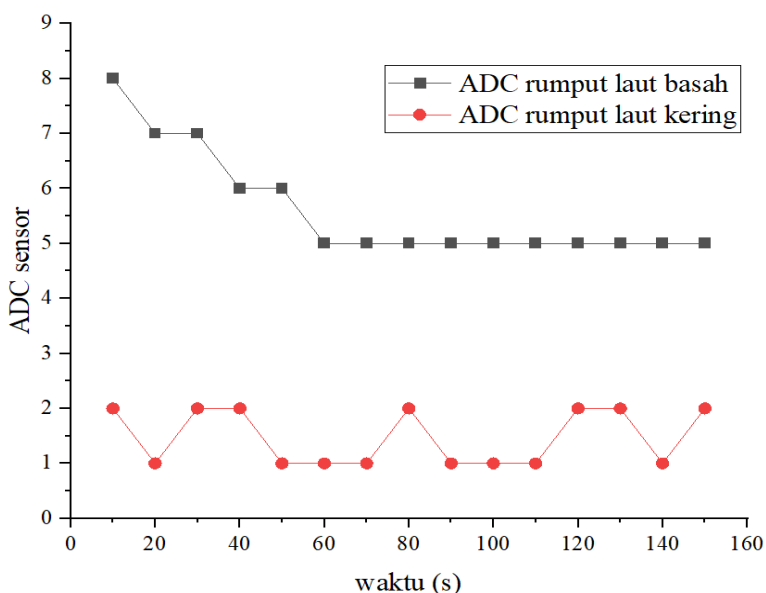
Pengukuran dilakukan terhadap dua sampel rumput laut yang dideteksi nilai kadar airnya melalui perubahan nilai ADC sensor dan nilai frekuensi sensor. Sampel rumput laut terdiri dari rumput laut yang sudah dikeringkan dengan rumput laut yang baru dipanen. Realisasi rangkaian pengukuran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengukuran sensor kapasitif multilayer.

3.2.1. Hasil pengukuran perubahan nilai ADC sensor terhadap persentase kadar air rumput laut

Hasil pengukuran perubahan nilai ADC sensor terhadap persentase kadar air rumput laut disajikan pada Gambar 8. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan sampel rumput laut di atas sensor dan dilakukan pembacaan nilai sensor melalui layar monitor. Kedua sampel rumput laut diberi perlakuan tanpa pemberian larutan garam. Kemudian perubahan nilai ADC diukur sebagai representasi nilai kadar air setiap selang 10 detik.



Gambar 8. Hasil Pengukuran perubahan nilai ADC sensor.

Pada Gambar 8 terlihat bahwa pembacaan untuk nilai ADC sensor pada rumput laut kering lebih kecil daripada pada rumput laut basah. Pada rumput laut basah, nilai ADC sensor berada pada rentang 5-8. Sedangkan nilai ADC sensor pada rumput laut kering berada pada kisaran nilai ADC 1-2. Dari grafik tersebut memperlihatkan bahwa semakin kecil persentase nilai kadar air dari rumput laut maka nilai ADC sensor juga akan semakin menurun atau mengecil. Jika dibandingkan dengan penelitian yang lain

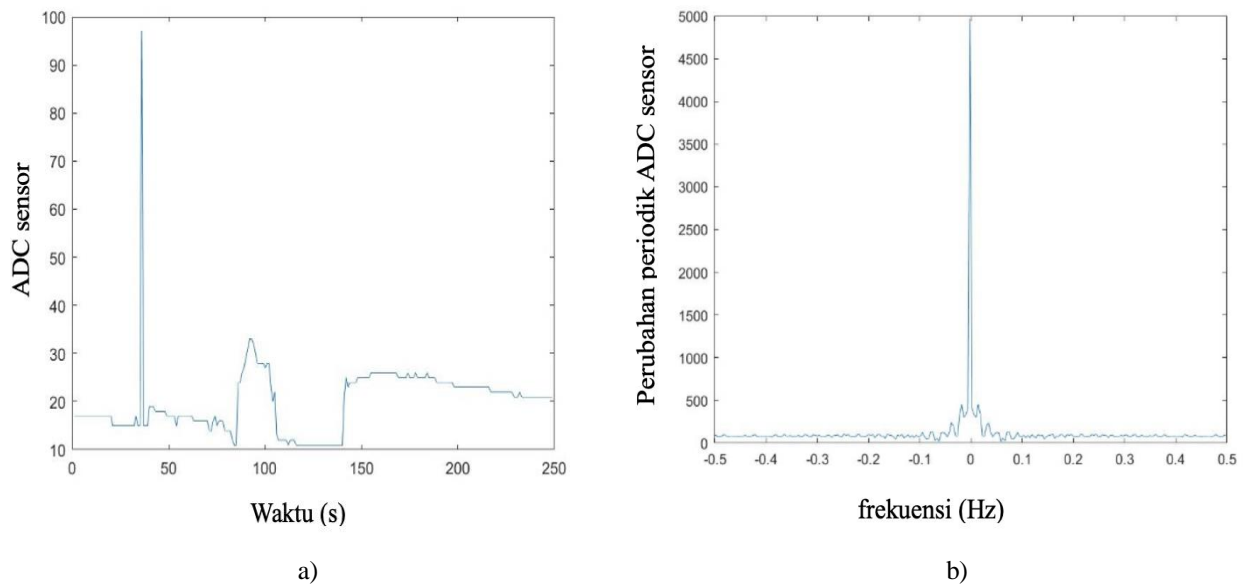
menggunakan metode pengukuran kadar air berdasarkan pembacaan sensor kelembaban memperlihatkan juga bahwa nilai kelembaban sensor pada rumput laut kering akan lebih kecil daripada pada rumput laut basah [17]. Pada grafik juga terlihat pembacaan sensor pada rumput laut kering berfluktuatif dengan kisaran nilai ADC 1 sampai ADC 2. Penyebab dari nilai ADC dari rumput laut yang masih fluktuatif adalah ketebalan dan tekstur dari rumput laut kering yang tidak seragam. Permukaan yang tidak rata atau bagian yang lebih tipis dan lebih tebal menyebabkan variasi dalam pembacaan sensor.

3.2.2. Hasil pengukuran perubahan nilai frekuensi sensor terhadap persentase kadar air rumput laut

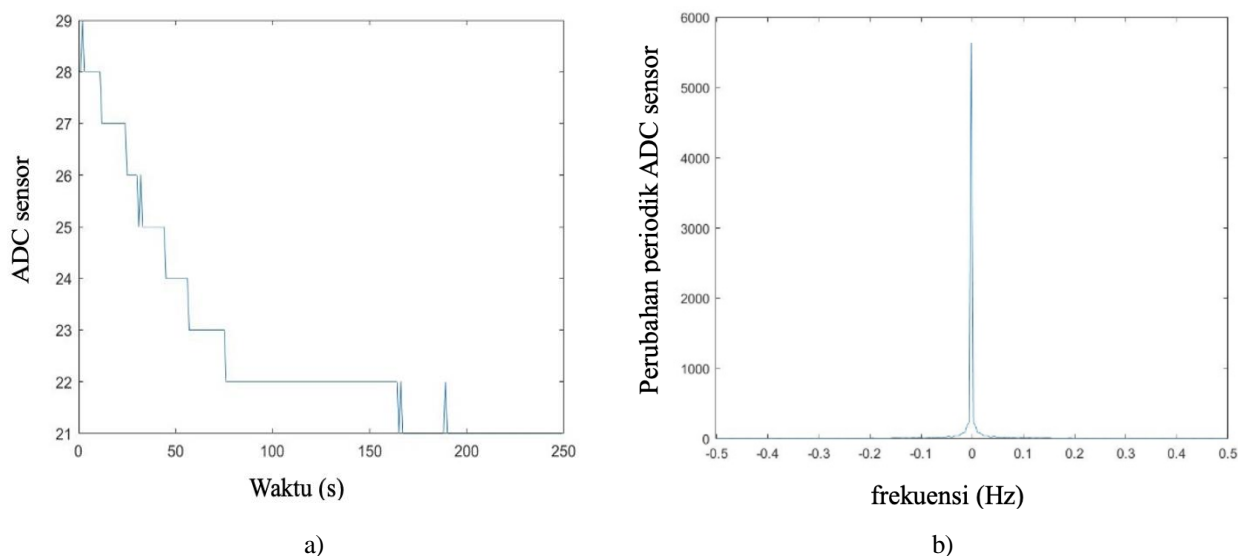
Pada skema pengukuran kedua yaitu pemberian larutan garam pada setiap sampel baik pada rumput laut kering maupun pada rumput laut basah (baru dipanen). Data pengukuran nilai ADC diambil setiap detik selama 249 detik dan disimpan dalam data teks. Data pengukuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *Software* Matlab untuk diolah menggunakan algoritma FFT. Algoritma program FFT sebagai berikut.

```
t = textread ('FFT.txt');
dt=1;
fs=1/dt;
figure
plot(t(1:249,2));
t = t(1:249,2);
t_f=fft(t);
m=length(t_f);
freq = (-m/2:(m/2-1))*fs/(m-1);
figure
plot(freq, fftshift(abs(t_f)));
```

Hasil dari pengolahan data dari domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Hasil Pengukuran perubahan nilai frekuensi sensor pada sampel rumput laut baru dipanen: (a) domain waktu dan (b) domain frekuensi.



Gambar 10. Hasil Pengukuran perubahan nilai frekuensi sensor pada sampel rumput kering: (a) domain waktu dan (b) domain frekuensi.

Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa untuk representasi data dalam domain waktu masih sulit dikarenakan pola pembacaan sensor yang dibentuk tidak teratur. Oleh karena itu dilakukan perubahan ke domain frekuensi yang memperlihatkan nilai pembacaan sensor dengan baik. Pada Gambar 9 dan 10 juga menunjukkan bahwa nilai frekuensi pada rumput laut kering lebih besar dibanding nilai frekuensi rumput laut yang baru dipanen.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dibuat dan dikarakterisasi sensor kapasitif *multilayer* untuk aplikasi deteksi kadar air pada proses pengeringan rumput laut menggunakan algoritma FFT. Karakteristik sensor adalah memiliki respon dinamis dan stabilitas pengukuran yang baik sebagai berikut. Nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,91618 yang menunjukkan bahwa sensor telah mendekati pembacaan nilai kadar air dengan kepresisian yang baik. Berdasarkan hasil pengukuran nilai kadar air rumput laut juga memperlihatkan bahwa dengan menggunakan algoritma FFT pembacaan nilai kadar air rumput laut dapat direpresentasikan dengan nilai frekuensi dari sensor dengan baik.

Ucapan Terima Kasih

Melalui kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) Kemdikbudristek yang telah memberikan dana hibah melalui program hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2024. Selain itu, terima kasih juga kepada pihak LPPM dan PM Universitas Sulawesi Barat yang telah memberikan dukungan pada penelitian ini.

Pustaka

- [1] Kumesan EC, Pandey EV, Lohoo HJ. Analisa total bakteri, kadar air dan pH pada rumput laut (*Kappaphycus alvarezii*) dengan dua metode pengeringan. *Media Teknol Has Perikan*. 2017; 5 (1): 30–5.
- [2] Riskawati S. PKM Teknologi *Kappaphycus Alvarezii* Dryer Bagi Pengusaha Rumput Laut Di Kabupaten Bantaeng. *Sewagati*. 2019; 3 (3): 45–50.
- [3] Rukisah R, Hutapea TPH, Farizah N, Awaludin A, Helman H, Nurazira N, et al. Pelatihan Pembuatan Media Pengeringan Rumput Laut Hasil Panen Dalam Upaya Menghasilkan Produk Rumput Laut Halal Pada Kelompok Masyarakat Pembudidaya Rumput Laut Pantai Amal Kota Tarakan. *J Pengabdian Masy Borneo*. 2020; 4 (1): 59–64.
- [4] Julyandini PA. Rancang Bangun Sistem Pengering Rumput Laut Dengan Pengendali Pid Berbasis Internet of Things. 2022.

- [5] Rofik R, Oktafiyanto MF, Syahiruddin S. Pengaruh Umur Panen dan Metode Pengeringan terhadap Mutu Fisik Rumput Laut (*Euchema spinosum*). *J Agroindustri Halal*. 2021; 7 (1): 109–16.
- [6] Heldiyanti R, Rasyda RZ, Putri DA. Pengaruh Konsentrasi Glukomanan Sebagai Edible Coating Terhadap Kadar Air Dodol Rumput Laut Selama Penyimpanan: Bahasa Indonesia. *Food Agro-industry J*. 2022; 3 (1): 46–54.
- [7] Nuryanti IF, Adharani N, Rachmawati NF. Pengaruh Variasi Lama Perendaman terhadap Uji Kadar Air dan Uji Hedonik Teh Rumput Laut *Padina australis*. *J Lemuru*. 2020; 2 (2): 71–80.
- [8] Hakim AR, Andi Rosman N D. *Fisika*. Padang, Sumatera Barat: PT Global Eksekutif Teknologi; 2023. p. 216.
- [9] Prastyo WE, Maulana F, Nuryani N, Purnama B. Magneto-impedance in Multilayered [Ni80Fe20/Cu] 4 with modification of the line-length pattern on Cu printed circuit board. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing; 2017. p. 12030.
- [10] Wicaksono BA. Performa Sensor Berbasis Magneto-Impedansi pada Multilapisan [Ni80Fe20/Cu] N. *J Fis dan Apl*. 2015; 11 (3): 131–4.
- [11] Alfanz, Rocky; Andi Rosman N dkk. *Elektronika Dasar 1 [Internet]*. Pertama. *Elektronika Dasar. Pada Sumatera Barat*; 2023. p.196.
- [12] Rosman A, Srirahayu A. Analisis Model Lekukan Pada Serat Optik Multimode Sebagai Sensor Pergeseran. *Indones J Fundam Sci*. 2017; 3 (2): 80–5.
- [13] Mukhtar ARN. A Study of Length Scratch Variations on Multimode Optical Fiber (Fom) For Temperature Sensor. In: *Proceeding International Conference on Natural and Social Science (Iconss) 2017*.
- [14] Nuryani N, Purnama B. Studi pendahuluan biosensor berbasis magneto-impedansi. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 2018 Jun 1; 14 (2): 24–6.
- [15] Hidayaturrohmah U, Erfiani E, Afendi FM. Implementasi Transformasi Fourier Untuk Transformasi Domain Waktu Ke Domain Frekuensi Pada Luaran Purwarupa Alat Pendeteksian Gula Darah Secara Non-Invasif. *Indones J Stat Its Appl*. 2020; 4 (2): 234–44.
- [16] Hakim F, Supardi IW, Ratini NN. Perancangan dan Pembuatan Sistem Kontrol Penyiraman Tanaman Hidroponik Otomatis Menggunakan Sensor TDS Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328. *Bul Fis*. 2024; 25 (1):1–7.
- [17] Muhammad Abu. Alat Pengukur Kadar Air Rumput Laut Menggunakan Sensor Suhu dan Kelembaban_Electronic Theses and Dissertation [Internet]. Repository Universitas Borneo Tarakan; 2015. Available from https://repository.ubt.ac.id/index.php?p=show_detail&id=5000&keywords= .