

DAFTAR ISI

Potensi Bijih Besi dan Dampak Eksploitasinya terhadap Akuifer Pantai di Kawasan Pesisir Nusawungu Bagian Barat Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Resistivitas-2D (Sehah, Zaroh Irayani, dan Sibghatur Rahman).....	1
Analisis Usia Tanaman Padi Berdasarkan Nilai NDVI Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Desa Rambigundam Kecamatan Rambipuji Jember) (Bowo Eko Cahyono, Agung Tjahjo Nugroho dan Alvin Arifilla)	9
Sintesis dan Karakterisasi Membran Kitosan/LiOH sebagai Elektrolit Padat Baterai Sekunder (Sunardi, Aris Haryadi, Wihantoro, Evi Yulianti)	14
Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Komposisi, Sifat Magnetik dan Absorpsi Gelombang Mikro Komposit Nano Zinc-Ferit (L. Rifiana Dewi, W. Widanarto, M. Effendi).....	18
Otomatisasi Tracking Panel Surya Berbasis Arduino Uno dalam Penggunaan Energi Alternatif (Mohammad Fachrurrozy, Abdullah Nur Aziz, dan Hartono).....	22

Potensi Bijih Besi dan Dampak Eksploitasinya terhadap Akuifer Pantai di Kawasan Pesisir Nusawungu Bagian Barat Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Resistivitas-2D

Sehah, Zaroh Irayani, dan Sibghatur Rahman

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah

*e-mail corresponding author: sehah.geophysics@gmail.com

Abstrak - Investigasi potensi bijih besi dan dampak eksploitasinya terhadap akuifer pantai berdasarkan data resistivitas 2D di kawasan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap telah dilakukan. Penelitian ini dilatarbelakangi adanya potensi pasir besi yang melimpah yang belum dieksploitasi di kawasan ini. Akuisisi data resistivitas 2D telah dilaksanakan pada bulan Maret hingga April 2018 di empat lokasi yang ditentukan berdasarkan peta anomali magnetik yang diperoleh pada tahun sebelumnya. Berdasarkan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas, diketahui potensi bijih besi di daerah penelitian relatif besar, dimana di setiap lintasan ditemukan endapan pasir yang mengandung bijih besi dengan nilai resistivitas berkisar 22,0 – 80,7 m. Berdasarkan hasil interpretasi, lapisan pasir yang mengandung bijih besi merupakan media utama akuifer pantai. Dengan demikian eksploitasi pasir besi dalam skala besar dapat mengakibatkan berkurangnya material pasir, sehingga berpotensi merusak akuifer pantai. Akibatnya fungsi akuifer dalam menyimpan air tanah dan mengalirkannya di kawasan Pesisir Nusawungu menjadi menurun..

Kata kunci: bijih besi, resistivitas-2D, dampak eksploitasi, akuifer pantai, Pesisir Nusawungu

Abstract – *Investigation of the potency of iron ore and its exploitation impact on the coastal aquifers based on the 2D-resistivity data in the Nusawungu Coastal of Cilacap Regency has been conducted. The background of this research is the presence of abundant iron sand potential in this area that has not been exploited. Acquisition of 2D-resistivity data has been carried out in March – April 2018 in four locations which determined based on the magnetic anomaly map that acquired in the previous year. Based on the modeling and interpretation results of resistivity data, the potency of iron ore in the research area is quite large, where in each line is found the deposit of sand interpreted contains iron ore with resistivity value of 22.0 – 80.7 m. Based on the interpretation results, the deposit of sand containing iron ore are the main media of coastal aquifer. Therefore, the exploitation of iron sand on the large scale can result in loss of sand materials, so that it can damage the coastal aquifer. As a result the aquifer function in storing and flowing of groundwater in the Nusawungu Coastal area is decreasing.*

Key words: *iron ore, 2D-resistivity, exploitation impact, coastal aquifer, Nusawungu Coastal*

PENDAHULUAN

Pesisir Kabupaten Cilacap memiliki potensi bahan galian pasir besi yang sangat ekonomis. Kegiatan eksploitasi pasir besi yang pernah dilakukan di kawasan pesisir Cilacap ini telah menghasilkan lebih dari 300.000 ton konsentrat bijih besi setiap tahun [1]. Namun tanpa disadari bahwa kegiatan eksploitasi atau penambangan pasir besi selama bertahun-tahun telah meninggalkan beberapa dampak negatif terhadap lingkungan hidup, khususnya di kawasan pesisir. Beberapa dampak negatif ini adalah penurunan permukaan pantai atau pesisir akibat berkurangnya batuan dan material

alluvium yang mengandung bijih besi, yang berfungsi sebagai lapisan penyangga (buffer) di kawasan pesisir [2]. Proses hilangnya endapan alluvium (abrasi) seperti terlihat pada Gambar 1 dapat memicu kerusakan lapisan akuifer air tanah di lokasi penambangan, sehingga kemampuan lapisan akuifer dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah di kawasan pesisir menjadi menurun.

Selain abrasi, dampak negatif yang lain akibat kegiatan eksploitasi pasir besi adalah intrusi air laut ke dalam akuifer air tanah. Pada saat batuan dan material pasir dieksploitasi, air laut yang memiliki massa jenis (density) besar menjadi lebih mudah mendesak air tanah.

Secara alami, air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan sebab air tanah dilengkapi sifat piezometric untuk bertahan terhadap gaya tekan dari air laut, sehingga terbentuk zona interface sebagai pembatas antara air tanah (tawar) terhadap air laut. Keadaan tersebut sebagai kondisi seimbang antara air laut dan air tanah dalam akuifer. Apabila keseimbangan terganggu akibat aktivitas eksploitasi pasir besi, maka berpotensi terjadi intrusi air laut. Akibatnya akuifer pantai yang menjadi sumber air tawar (freshwater) di kawasan pesisir menjadi tidak bisa berfungsi sebagaimana mestinya [3].



Gambar 1. Peristiwa abrasi endapan alluvium di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat (sumber: dokumentasi pribadi)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sehad dan Raharjo (2017) diperoleh peta potensi bijih besi berbasis data anomali magnetik dan log resistivitas batuan bawah permukaan di kawasan Pesisir Nusawungu barat Kabupaten Cilacap [4]. Pada tahun 2018, penelitian dilanjutkan untuk memperoleh profil dua dimensi (2D) resistivitas batuan bawah permukaan di beberapa titik. Posisi titik-titik survei ditentukan berdasarkan closure anomali magnetik lokal hasil penelitian Sehad dan Raharjo (2017) [4]. Berdasarkan profil resistivitas batuan bawah permukaan ini, selanjutnya dapat diinterpretasi model lapisan batuan penyangga di kawasan pesisir [2]; model lapisan akuifer air tanah [5]; serta model interface antara air tanah dan air laut di kawasan prospek bijih besi [6]. Pada penelitian ini interpretasi difokuskan pada potensi bijih besi dan karakteristik akuifer pantai di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat.

LANDASAN TEORI

Metode Geolistrik Resistivitas 2D

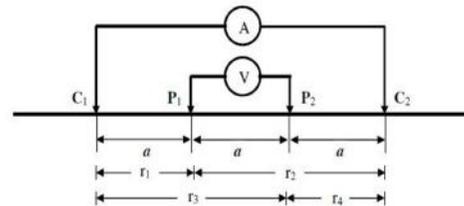
Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika untuk mempelajari karakteristik aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di atas permukaan bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi

pengukuran medan potensial, tegangan listrik, dan medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alami maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Metode resistivitas merupakan salah satu metode geolistrik yang dilakukan melalui penginjeksian arus ke dalam bumi.

Metode resistivitas (resistivity) adalah salah satu metode geolistrik yang bertujuan mempelajari sifat fisis batuan atau objek bawah permukaan berdasarkan sifat tahanan jenisnya. Metode ini bertujuan menggambarkan distribusi variasi nilai resistivitas di bawah permukaan berdasarkan hasil akuisisi data yang dilakukan di atas permukaan bumi [7]. Umumnya metode resistivitas dapat diterapkan untuk eksplorasi bawah permukaan yang bersifat dangkal. Nilai resistivitas tersebut berhubungan dengan parameter-parameter geologi seperti mineral, kandungan fluida, dan porositas [8].

Pada penelitian ini konfigurasi elektroda yang digunakan adalah konfigurasi Wenner untuk melihat distribusi batuan bawah permukaan secara lateral (2D). Susunan elektroda di dalam konfigurasi Wenner ditunjukkan pada Gambar 2. Faktor geometri (K) susunan elektroda di permukaan bumi sesuai **Gambar 2** dapat dinyatakan dengan [9]:

$$K_w = 2f a \tag{1}$$



Gambar 2. Susunan elektroda dalam survei geolistrik resistivitas menggunakan konfigurasi Wenner

Sedangkan nilai resistivitas semu (ρ_a) yang terbaca di dalam konfigurasi Wenner dapat dinyatakan [9]:

$$\rho_a = 2f a \frac{\Delta V}{I} \tag{2}$$

Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

Secara geologis kawasan pesisir Kabupaten Cilacap Jawa Tengah tersusun atas beberapa formasi batuan vulkanik dan endapan alluvium yang menutupi sebagian besar kawasan barat hingga selatan. Daratan Kabupaten Cilacap tersusun atas formasi Halang, formasi Rambatan, formasi Kumbang, dan formasi Tapak yang tertutup endapan alluvium. Adapun

daerah penelitian tersusun atas batuan dasar formasi Halang yang semuanya tertutup oleh alluvium dan endapan pantai. Endapan alluvium yang terletak di kawasan utara terdiri atas lanau, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal; serta material hasil erosi dari Pegunungan Karangbolong yang diendapkan melalui aliran beberapa sungai ke kawasan tersebut. Adapun endapan pantai yang terletak di selatan daerah penelitian tersusun atas pasir lepas yang terpilah baik hingga sedang, yang menunjukkan kesan perlapisan, yang ditemukan pasir besi [10,11].

Pasir besi berasal dari batuan yang bersifat intermedier hingga basa yang bersifat andesitik hingga basaltik. Batuan tersebut diperkirakan berasal dari gunung berapi, mengalir melewati sungai dan berkumpul di sepanjang sungai (seperti di lekukan sungai), atau mengendap di hilir sungai, muara, dan pantai. Ombak laut yang menyapu di sepanjang pantai mengakibatkan pasir besi itu terpilahkan, sehingga menjadi butiran bebas yang terkayakan hingga menjadi mineral besi. Mineral besi yang memiliki nilai specific gravity tinggi akan mengendap, sedangkan yang memiliki nilai specific gravity rendah akan tercuci dan terbuang. Proses ini terjadi secara berulang-ulang selama ratusan atau ribuan tahun, sehingga terbentuk menjadi endapan pasir besi yang banyak ditemui di sungai, muara, dan pantai seperti saat ini.

METODE

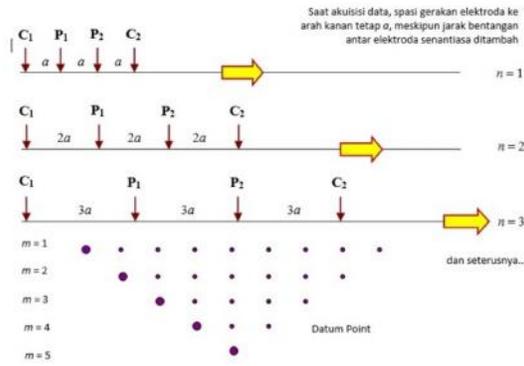
Penelitian ini telah dimulai dengan tahap persiapan yaitu menyiapkan peralatan, menentukan lintasan untuk akuisisi data resistivitas, dan sebagainya. Berikutnya adalah tahap pelaksanaan yang terdiri atas akuisisi data, pengolahan data, pemodelan, dan interpretasi. Tahap akhir penelitian adalah pembuatan output penelitian seperti produk, artikel ilmiah, dan sebagainya. Akuisisi data resistivitas telah dilakukan di kawasan pesisir Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap seperti terlihat pada **Gambar 3**, menggunakan konfigurasi Wenner.



Gambar 3. Lokasi survei di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat Kabupaten Cilacap

Pengolahan data resistivitas, pemodelan, dan interpretasi dilakukan di Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Jenderal Soedirman. Penelitian telah dilaksanakan selama delapan bulan; yaitu bulan Maret hingga Oktober 2018. Peralatan yang digunakan antara lain Resistivitymeter merk NANIURA model NRD 300 lengkap dengan komponen pendukungnya seperti elektroda, kabel, dan aki; Global Positioning System (GPS), peta geologi, aplikasi google earth, laptop, lembar pengamatan, alat tulis, beberapa perangkat lunak pendukung, dan sebagainya.

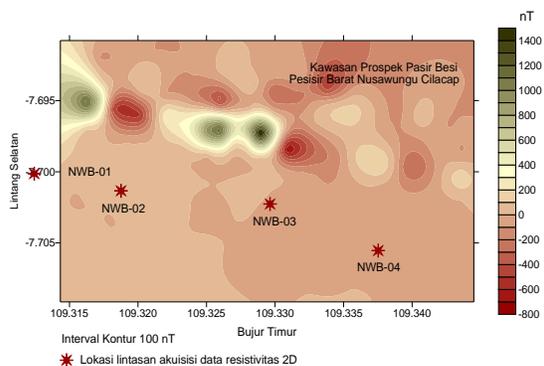
Teknik akuisisi data geolistrik menggunakan konfigurasi Wenner untuk mendapatkan profil 2D resistivitas batuan bawah permukaan. Proses akuisisi data dimulai dengan menancapkan seluruh elektroda di dalam tanah di sebelah kiri lintasan dengan jarak yang sama yaitu a . Kemudian dilakukan pengukuran kuat arus (I), beda potensial (ΔV), dan jarak antar elektroda (a). Setelah itu seluruh elektroda digerakkan serentak ke arah kanan sejauh a , dimana C_1 dipindah ke P_1 , P_1 dipindahkan ke P_2 , dan P_2 dipindah ke C_2 , kemudian dilakukan pengukuran lagi. Demikian seterusnya, hingga mencapai seluruh area penelitian. Untuk memperoleh profil resistivitas 2D pada lintasan tertentu, maka akuisisi data resistivitas pada lintasan tersebut diulangi hingga n kali pengukuran; dimana setiap kali pengulangan, jarak antar elektroda selalu diperlebar menjadi $2a$, $3a$, $4a$, $5a$, $6a$, dan seterusnya seperti terlihat pada **Gambar 4**. Namun jarak pergerakan elektroda ke arah kanan dibuat tetap a .



Gambar 4. Teknik akuisisi data untuk membentuk profil resistivitas 2D dengan konfigurasi Wenner

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data resistivitas 2D telah dilakukan di atas empat lintasan yang diletakkan di sebelah selatan closure anomali berdasarkan peta anomali magnetik lokal hasil penelitian Sehad dan Raharjo (2017) [4]. Posisi tersebut dipilih karena berdekatan dengan pantai dan merupakan kawasan prospek bijih besi, sehingga mudah untuk mengevaluasi karakteristik akuifer pantai, intrusi, dan abrasi. Posisi geografis masing-masing lintasan ditunjukkan pada **Gambar 5**. Data yang diperoleh pada setiap lintasan ini terdiri atas arus (I), beda potensial (ΔV) dan jarak antar elektroda (a) dalam satu sheet data. Jumlah lintasan akuisisi data resistivitas adalah empat, dimana setiap lintasan akuisisi terdiri atas 63 sheet data. Faktor geometri (KWen) dan nilai resistivitas semu (ρ_a) untuk setiap sheet dapat dihitung berdasarkan data yang diperoleh. Adapun datum point untuk setiap n pengukuran ditentukan dari jarak antar elektroda dalam konfigurasi Wenner [12].



Gambar 5. Lokasi lintasan akuisisi data resistivitas 2D pada peta anomali magnetik lokal kawasan Pesisir Barat Nusawungu Kabupaten Cilacap [2].

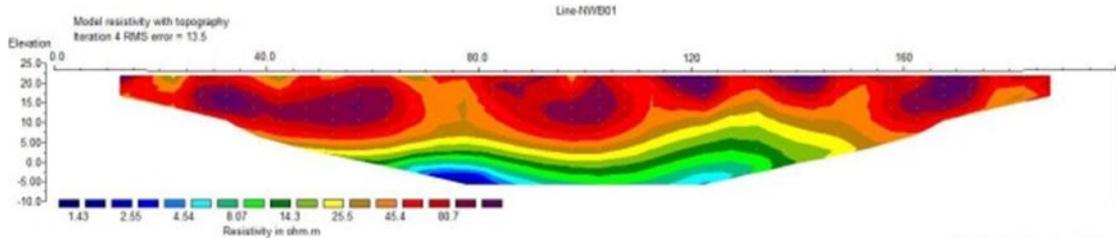
Nilai resistivitas semu untuk setiap sheet data dalam satu lintasan dimodelkan secara inversi sehingga diperoleh profil 2D resistivitas bawah permukaan. Pemodelan menggunakan software Res2Dinv 3.54 dengan parameter yang melibatkan terdiri atas resistivitas semu, datum point, dan jarak antar elektroda secara lengkap. Profil resistivitas batuan bawah permukaan yang diperoleh ini menunjukkan nilai resistivitas batuan bawah permukaan yang sebenarnya (true resistivity). Hasil pemodelan data resistivitas semu untuk lintasan NWB-01 hingga lintasan NWB-04 ditunjukkan pada **Gambar 6** hingga **Gambar 9**. Panjang lintasan akuisisi data adalah 200 meter dengan kedalaman maksimum sekitar 30 meter dari permukaan tanah. Profil resistivitas yang diperoleh tersebut, diinterpretasi secara litologi dan hidrogeologi berdasarkan informasi geologi daerah penelitian. Hasil interpretasinya secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 1** hingga **Tabel 4**.

Hasil interpretasi terhadap profil resistivitas batuan bawah permukaan kemudian didesain ulang menggunakan software Surfer 7 sehingga diperoleh profil 2D litologi batuan bawah permukaan seperti ditunjukkan pada **Gambar 10** hingga **Gambar 13**. Berdasarkan profil litologi tersebut, diketahui bahwa daerah penelitian didominasi pasir yang mengandung butiran bijih besi yang berselingan dengan lanau, dengan nilai resistivitas berkisar 22,0–80,7 m. Daerah penelitian ini merupakan kawasan prospek bijih besi yang berpotensi untuk dieksploitasi. Lapisan pasir juga merupakan lapisan akuifer yang menjadi sumber air tanah dangkal bagi sumur-sumur di Pesisir Nusawungu. Menurut penjelasan beberapa warga, keberadaan pasir besi ini teramati sangat jelas pada saat mereka menggali sumur, dengan kedalaman rata-rata sekitar 5 meter. Berdasarkan profil litologi yang diperoleh kedalaman pasir yang mengandung bijih besi berkisar 15–20 meter dari permukaan. Berdasarkan nilai resistivitasnya, lintasan yang diperkirakan dominan mengandung bijih besi adalah Lintasan NWB-03 dan Lintasan NWB-04. Hal ini diperkuat berdasarkan peta anomali magnetik lokal daerah penelitian [4].

Pemodelan terhadap data anomali magnetik lokal daerah penelitian yang pernah dilakukan Sehad dan Raharjo (2017) menghasilkan beberapa jenis batuan bawah permukaan yang diinterpretasi sebagai endapan

pasir besi yang berselingan dengan pasir, lanau, dan lempung dari formasi alluvium [4]. Endapan alluvium ini menempati bagian utara tersusun atas lanau, lempung, pasir, kerikil, kerakal; serta material hasil erosi pegunungan Karangbolong yang diendapkan melalui aliran sungai. Adapun endapan pantai terdiri atas pasir lepas yang menunjukkan ada kesan perlapisan,

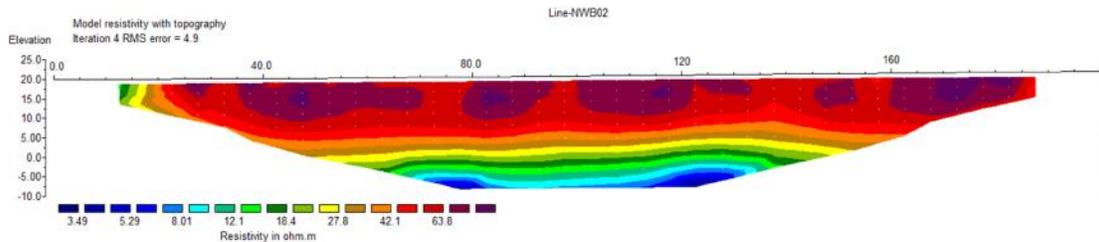
dimana ditemukan sumberdaya alam bijih besi [11].



Gambar 6. Profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D hasil pemodelan pada lintasan NWB-01

Tabel 1. Hasil interpretasi profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D pada lintasan NWB-01

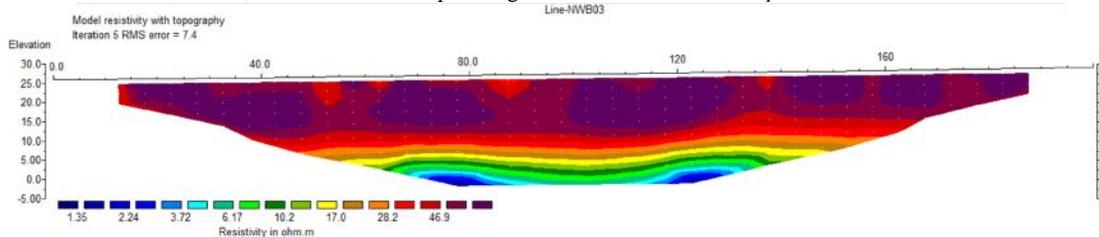
No.	Resistivitas (m)	Interpretasi	
		Litologi	Hidrogeologi
1	< 4,54	Pasir halus	Akuifer dalam (terintrusi air asin)
2	4,54 – 14,3	Lempung pasir	Lapisan semi kedap
3	14,3 – 25,5	Pasir lempungan	Lapisan semi akuifer
4	25,5 – 80,7	Pasir mengandung butiran bijih besi berselingan dengan lanau	Top soil dan akuifer dangkal
5	> 80,7	Pasir bersisipan dengan lanau dan kerikil	Top soil



Gambar 7. Profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D hasil pemodelan pada lintasan NWB-02

Tabel 2. Hasil interpretasi profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D pada lintasan NWB-02

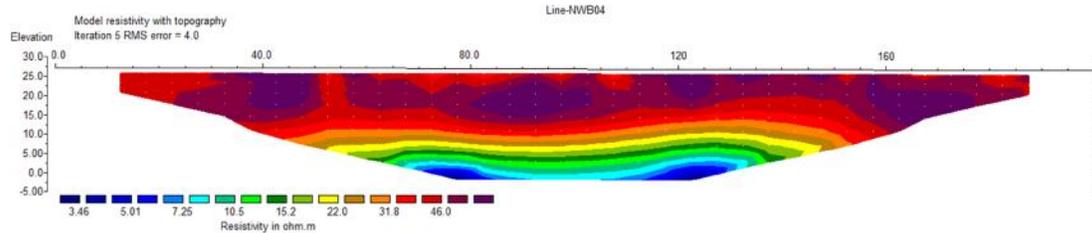
No.	Resistivitas (m)	Interpretasi	
		Litologi	Hidrogeologi
1	< 5,25	Pasir halus	Akuifer dalam (terintrusi air asin)
2	5,25 – 12,1	Lempung pasir	Lapisan semi kedap
3	12,1 – 27,8	Pasir lempungan	Lapisan semi akuifer
4	27,8 – 63,8	Pasir mengandung butiran bijih besi berselingan dengan lanau	Top soil dan akuifer dangkal
5	> 63,8	Pasir bersisipan dengan lanau dan kerikil	Top soil



Gambar 8. Profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D hasil pemodelan pada lintasan NWB-03.

Tabel 3. Hasil interpretasi profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D pada lintasan NWB-03

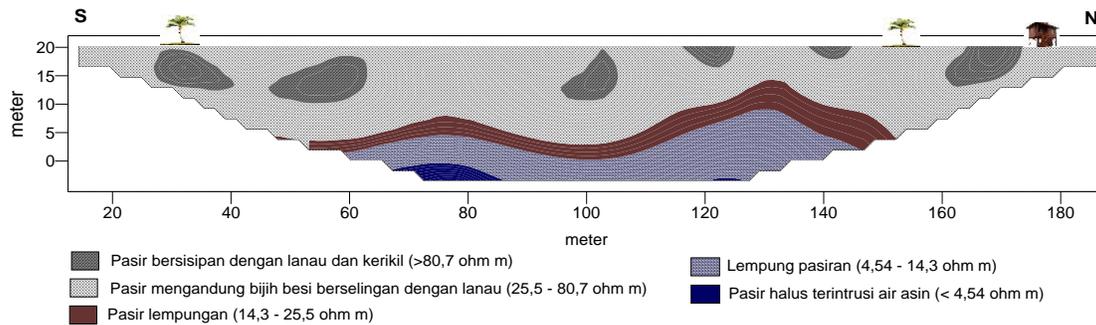
No.	Resistivitas (m)	Interpretasi	
		Litologi	Hidrogeologi
1	< 3,72	Pasir	Akuifer dalam (terintrusi air asin)
2	3,72 – 10,2	Lempung pasiran	Lapisan semi kedap
3	10,2 – 28,2	Pasir lempungan	Lapisan semi akuifer
4	> 28,2	Pasir mengandung butiran bijih besi berselingan dengan lanau	Top soil dan akuifer dangkal



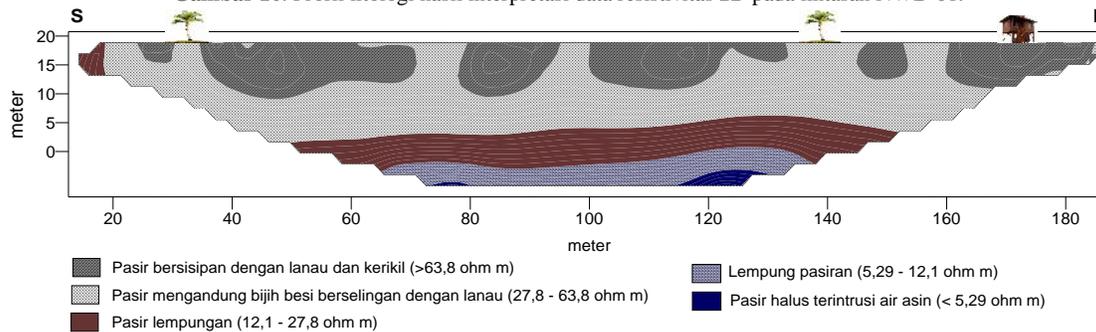
Gambar 9. Profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D hasil pemodelan pada lintasan NWB-04.

Tabel 4. Hasil interpretasi profil resistivitas batuan bawah permukaan 2D pada lintasan NWB-04

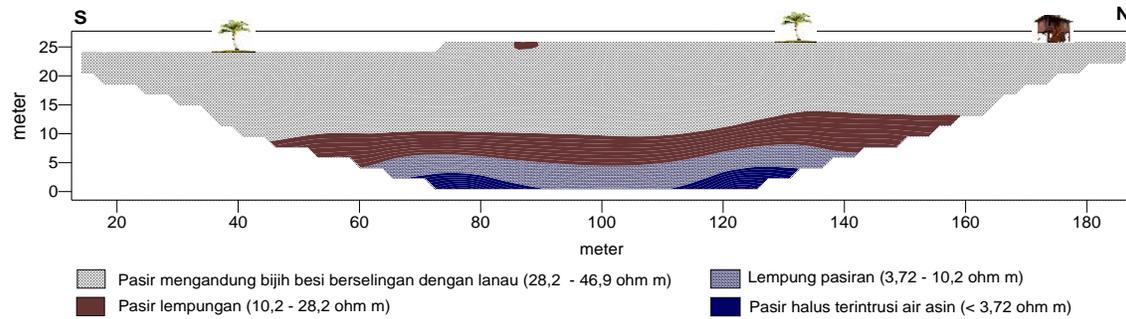
No.	Resistivitas (m)	Interpretasi	
		Litologi	Hidrogeologi
1	< 5,01	Pasir	Akuifer dalam (terintrusi air laut)
2	5,01 – 10,5	Lempung pasiran	Lapisan semi kedap
3	10,5 – 22,0	Pasir lempungan	Lapisan semi akuifer
4	> 22,0	Pasir mengandung butiran bijih besi berselingan dengan lanau	Top soil dan akuifer dangkal



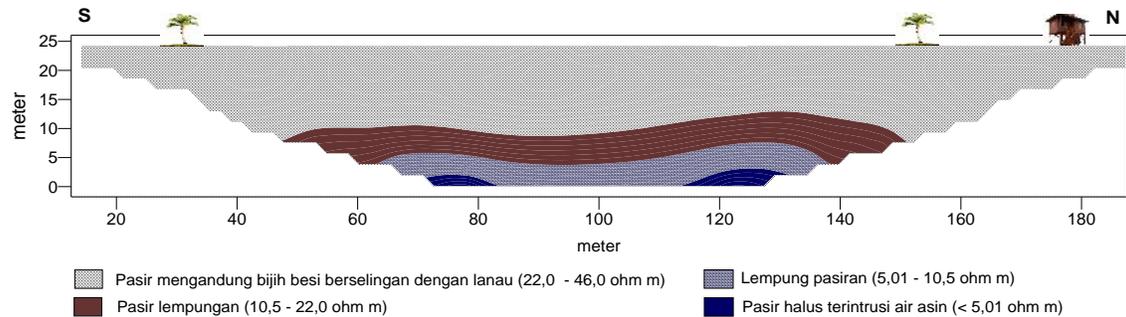
Gambar 10. Profil litologi hasil interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-01.



Gambar 11. Profil litologi hasil interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-02.



Gambar 12. Profil litologi hasil interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-03.



Gambar 13. Profil litologi hasil interpretasi data resistivitas 2D pada lintasan NWB-04.

Kegiatan eksploitasi pasir besi yang dilakukan secara masif tanpa mempertimbangkan faktor konservasi akuifer pantai, dikhawatirkan akan merusak akuifer pantai. Material pasir yang menjadi media utama akuifer menjadi hilang atau berkurang, sehingga fungsi utama akuifer dalam menyimpan air tanah di kawasan pesisir menjadi turun. Padahal menurut penjelasan warga, di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat ini belum pernah mengalami kekeringan meskipun saat musim kemarau panjang. Namun kasus kekeringan pernah dialami warga dari pesisir lain, yaitu Pesisir Widarapayang Kulon Kabupaten Cilacap akibat penambangan pasir besi di sepanjang pesisir tersebut, yaitu debit air sumur berkurang. Kendati telah memasuki musim hujan, tetapi debit air sumur ternyata masih tetap kecil [13]. Dengan demikian eksploitasi pasir besi yang kemungkinan akan dilakukan di kawasan ini dapat mengakibatkan penurunan permukaan tanah, sehingga berpotensi besar menurunkan fungsi lapisan akuifer dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah.

Hasil-hasil penelitian menghasilkan rekomendasi kepada berbagai pihak khususnya pemegang usaha pertambangan pasir besi. Eksploitasi pasir besi di Pesisir Nusawungu perlu dibatasi terutama kedalamannya. Pasir besi yang merupakan bagian dari akuifer

dangkal tidak dieksploitasi habis, namun tetap dijaga agar fungsinya dalam menyimpan air tanah dan mengalirkannya di kawasan pesisir tidak terganggu. Selain mengganggu fungsi akuifer air tanah, eksploitasi pasir besi hingga puluhan meter berpotensi memicu abrasi dan intrusi air laut, seperti telah dijelaskan di bagian Pendahuluan. Eksploitasi pasir besi yang terlalu dalam juga berdampak membuka atau menerobos lapisan akuifer air tanah dalam (deep aquifer) yang diperkirakan bersifat asin [14]. Apalagi umumnya akuifer dalam di kawasan pesisir letaknya tidak terlalu dalam, relatif dekat dengan akuifer dangkal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang potensi bijih besi dan dampak eksploitasinya terhadap akuifer pantai berdasarkan data resistivitas 2D di kawasan Pesisir Nusawungu bagian barat Kabupaten Cilacap dapat disimpulkan:

1. Litologi batuan bawah permukaan daerah penelitian diinterpretasi terdiri atas pasir bersisipan dengan lanau dan kerikil (>63,8 m), pasir yang mengandung bijih besi yang berselingan dengan lanau (22,0 – 80,7 m), pasir lempungan (10,2 – 28,2 m), lempung pasir (4,54 – 14,3 m), serta pasir yang terintrusi oleh air laut (< 5,25 m).

2. Potensi bijih besi di daerah penelitian cukup besar, dimana di setiap lintasan akuisisi ditemukan pasir yang diinterpretasi mengandung bijih besi yang bersisipan dengan lanau dengan nilai resistivitas berkisar 22,0 – 80,7 m dan ketebalan sekitar 15 – 20 meter.
3. Eksploitasi pasir besi secara masif di daerah penelitian berpotensi mengakibatkan berkurangnya material pasir atau batuan lain yang menjadi media utama akuifer, sehingga berpotensi menurunkan fungsi akuifer dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah ke sumur-sumur warga di kawasan pesisir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Rektor Universitas Jenderal Soedirman, dan Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) UNSOED atas diterimanya proyek penelitian dan dana yang disediakan. Terimakasih juga disampaikan untuk tim peneliti dan mahasiswa Program Studi Fisika UNSOED yang ikut membantu proses akuisisi data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sugandi, Pasir Besi di Cilacap. (2014). <http://denisugandi.com> (diakses pada tanggal 07 Juni 2018).
- [2] Sehad, S.A. Raharjo, and M.A. Kuniawan, Interpretasi Model Struktur Batuan Bawah Permukaan di Kawasan Prospek Pasir Besi Pantai Widarapayung Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Anomali Magnetik, in: Prosiding Seminar Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan VI, 2016
- [3] H. Hendrayana, Intrusi Air Asin ke dalam Akuifer di Daratan. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2002.
- [4] Sehad and S.A. Raharjo, Application of Magnetic Survey to Explore The Iron Ore Deposits in The Nusawungu Coastal Regency of Cilacap Central Java, *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya* 7 (2017) 79 – 88
- [5] S.K. Agodzo, P.Y. Okyere and K. Kussi-Apiah, The Use of Wenner Configuration to Monitor Soil Water Content, School of Engineering, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi (KNUST), Ghana, 2003.
- [6] P. Astutik, S.C. Wahyono, dan S.S. Siregar, Identifikasi Intrusi Air Laut Menggunakan Metode Geolistrik, Desa Kampung Baru Tanah Bumbu, *Jurnal Fisika FLUX*, 13 (2016), 155 – 160.
- [7] J.M. Thabit and M.M. Al-Hameedawie, Delineation of Groundwater Aquifers Using VES and 2D Imaging Techniques in North Badra Area Eastern Iraq. *Iraqi Journals of Science* 55 (2014), 174 – 183.
- [8] T. Santoso, N. Priyantari, dan P. Hiskiawan, Pendugaan Intrusi Air Laut dengan Metode Geolistrik Resistivitas 1D di Pantai Payangan Desa Sumberejo Jember, *Berkala SAINSTEK* 1 (2013), 17 – 19.
- [9] W.M. Telford, L.P. Gedaart, and R.E. Sheriff, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, 1990.
- [10] Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B., Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Bandung, 1992.
- [11] D.Z. Herman, Kegiatan Pemantauan dan Evaluasi Konservasi Sumberdaya Mineral Daerah Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah, Kolokium Hasil Lapangan, 2005: p. 48-1 – 48-16.
- [12] D. Parwatiningtyas, Dasmo and Sjamsuri, Application of Resistivity Method Wenner Configuration for Determining Aquifer Position at Pasir Impun Area Bandung West Java, in: *Proceeding of Ocean, Mechanical and Aerospace, Science and Engineering*, 2015: p2
- [13] Rakyat Merdeka Online, Pasir Besi Ditambang, Krisis Air Tawar Mengancam, Edisi Kamis 17 November 2011.
- [14] Anonim, Peta Potensi Indikasi Air Tanah dan Daerah Irigasi Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah. Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2003.

Analisis Usia Tanaman Padi Berdasarkan Nilai NDVI Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Desa Rambigundam Kecamatan Rambipuji Jember)

Bowo Eko Cahyono, Agung Tjahjo Nugroho dan Alvin Arifilla

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Jl. Kalimantan No 37, Jember 68121

**e-mail corresponding author: bowo_ec.fmipa@unej.ac.id*

Abstrak – Padi merupakan tanaman yang dapat dipanen 3-4 kali dalam satu tahun. Pendugaan usia tanaman padi dapat dilakukan dengan teknologi penginderaan jauh yang salah satunya menggunakan metode penghitungan nilai NDVI. Penelitian ini menghubungkan usia padi dengan nilai NDVI menggunakan citra Landsat wilayah desa Rambigundam. Tahap awal adalah melakukan koreksi radiometrik pada data citra Landsat. Selanjutnya data dipotong (crop) sesuai bentuk area penelitian. Hasil cropping data tersebut dihitung nilai NDVInya dan dibuat grafik hubungan usia tanaman padi dengan nilai NDVI. Data hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan nilai NDVI dari usia padi 10 hari saat usia padi 35 hari. Selanjutnya data pada usia 62 hari sampai usia panen menunjukkan nilai NDVI turun. Grafik hubungan usia padi dan nilai NDVI membentuk kurva parabolik. Berdasarkan perhitungan fungsi pendekatan grafik parabolic tersebut diperoleh nilai tertinggi NDVI berada pada usia 58 hari dengan akurasi 97%.

Kata kunci: Padi, remote sensing, citra Landsat, NDVI, parabolik

Abstract – Paddy is the plant which can be harvested 3-4 times a year. Estimating the age of paddy is possible to do by remote sensing technology through the NDVI method. This research correlates the age of paddy and the NDVI values using Landsat imagery in the area of Rambigundam village. The beginning stage is doing radiometric correction on Landsat data. Then the data is cropped within the research area of interest. The cropped data are then calculated their NDVI values. The results are presented into the graph of relationship of the paddy's age and the value of NDVI. Furthermore, this research data show the increasing NDVI values along with the paddy's age from 10 day to 35 day. The NDVI values go down from 62 day upto the harvesting time. The graph of paddy's age and the NDVI values relationship present the parabolic pattern. Based on the fitting curve of parabolic function, it can be calculated that the maximum NDVI value is got at 58 day with an accuracy of 97%.

Key words: Paddy, remote sensing, Landsat Imagery, NDVI, parabolic

PENDAHULUAN

Kabupaten Jember merupakan kabupaten yang memiliki potensi pada sektor pertanian. Lahan persawahan banyak tersebar di beberapa daerah yang salah satunya yakni di daerah kecamatan Rambipuji. Rambipuji dikenal memiliki lahan pertanian yang sangat luas khususnya desa Rambigundam. Hasil terbesar pertanian di Rambigundam adalah padi [1].

Padi (*Oryza sativa* sp) merupakan kebutuhan mendasar bagi penduduk Indonesia [2]. Seiring dengan perkembangan teknologi, pendugaan usia padi mulai dilakukan agar mempermudah dalam estimasi usia panen dalam skala besar yang mungkin lokasinya tersebar di berbagai daerah. Persebaran wilayah produksi tanaman padi yang terpisah tersebut memerlukan sistem pemantauan yang mudah, berbiaya rendah dan efisien. Salah satu cara

yang dapat dilakukan adalah dengan teknik penginderaan jauh atau remote sensing [3].

Penginderaan jauh dapat diartikan sebagai teknologi untuk mengidentifikasi suatu obyek di permukaan bumi tanpa melalui kontak langsung dengan obyek tersebut [4]. Pengkajian atas informasi mengenai daratan dan permukaan bumi dapat diidentifikasi dengan menggunakan radiasi elektromagnetik dalam satu atau beberapa bagian dari spektrum elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi menjadi sebuah gambaran dari sudut pandang atas (overhead perspective), dimana gambaran itu merupakan sebuah citra [5]

Citra didefinisikan sebagai gambaran rekaman suatu objek (biasanya berupa gambaran foto) yang dihasilkan dengan cara optik, elektro optik, optik mekanik, atau elektronik [6]. Citra tersebut dimanfaatkan

untuk melakukan penelitian penginderaan jarak jauh.

Banyak penelitian yang sudah dilakukan oleh para peneliti berkaitan dengan penginderaan jauh. Menurut Mengel dan Kirkby [7] terdapat hubungan antara tingkat kehijauan tanaman dengan produktivitas tanaman padi sawah. Pemanfaatan data penginderaan jauh sebelumnya telah digunakan dalam penelitian mengenai warna daun tanaman padi untuk mengukur kebutuhan pupuk N [8]. Kemudian metode indentifikasi usia padi berdasarkan indeks warna pernah dilakukan di desa Meraxa kecamatan Blang Mangat, dimana digunakan nilai NDVI terhadap acuan 1-10 MST (Minggu setelah tanam). Data yang diperoleh menunjukkan bahwa masa 10 MST merupakan puncak fase vegetatif optimum dimana setelah itu nilai NDVI akan menurun [9].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muhammad et al. [9], Cahyono et. al. [10,11] menggunakan citra foto sebagai data penelitian untuk mengidentifikasi usia tanaman padi berdasarkan nilai reflektansinya pada spectrum Red, Green, Blue atau RGB. Kekurangan pada penelitian tersebut adalah bahwa citra foto tidak memiliki cakupan yang luas. Sehingga dalam penelitian ini digunakan citra Landsat yang memiliki cakupan yang luas dan resolusi spasial tinggi. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melihat hubungan usia tanaman padi terhadap nilai NDVI yang belum pernah dilakukan dengan wilayah desa Rambigundam kecamatan Rambipuji kabupaten Jember.

METODE

Penelitian ini menggunakan data Landsat 8 yang diunduh dari United States Geological Survey (USGS). Terdapat lima data citra Landsat yang digunakan pada penelitian yakni data dari rentang waktu Juni sampai September 2017.

A. Observasi

Observasi lapang dilakukan untuk mengetahui tanggal panen padi pada musim tanam tertentu. Observasi dilakukan di wilayah penelitian persawahan di desa Rambigundam kecamatan Rambipuji. Varietas padi yang digunakan adalah Ciherang dimana usia tanamnya adalah 110-125 hari dan tergolong dalam kategori tanaman usia genjah [12]. Data usia panen tanaman padi diperoleh berdasarkan Informasi petani yang menanam padi tersebut. Kemudian

informasi hasil survei ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan usia tanaman padi yang bersesuaian dengan tanggal dari data citra Landsat 8.

Observasi dilakukan pada tanggal 6 September 2017 dan pada saat itu usia tanaman padi adalah 106 hari, panen padi dilakukan pada tanggal 10 September 2017 saat usia tanaman 110 hari. Sementara data Landsat yang direkam dan mencakup daerah sawah yang diteliti adalah data pada tanggal 02 September 2017 sedangkan tanggal panen padi yaitu 10 September 2017, jadi selisih usia panen dengan tanggal perekaman citra adalah 8 hari, sehingga usia tanaman dengan tanggal perekaman data landsat tersebut adalah $110-8 = 102$ hari. Cara penentuan usia tanaman dari data Landsat berikutnya dilakukan dengan cara yang sama.

B. Koreksi Radiometrik (ToA)

Metode koreksi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode koreksi radiometrik (ToA = Top of Atmosphere). Koreksi Radiometrik dilakukan untuk memperbaiki penyimpangan sensor yang tidak diinginkan serta pengaruh di atmosfer. Software yang digunakan untuk mengkoreksi radiometrik ToA, adalah Quantum GIS (QGIS) 2.18.3.

C. Cropping Data

Langkah Cropping yang pertama adalah menentukan SHP (Shapefile) dari desa Rambigundam, dengan cara membuat polygon tertutup sesuai dengan bentuk sawah yang diamati. Hasil SHP crop tersebut digunakan sebagai template Cropping sawah yang koordinatnya telah sesuai dengan data Landsat. Fitur yang digunakan dalam proses cropping pada ArcGIS adalah By Mask, dimana SHP yang berbentuk sawah yang diteliti akan memotong data Landsat yang sudah melalui tahap koreksi citra.

D. Analisis

Parameter nilai indeks vegetasi (NDVI) digunakan untuk menentukan adanya perubahan tingkat kehijauan sehingga dapat mengidentifikasi usia tanaman padi. Hasil nilai NDVI yang didapat selanjutnya dituliskan pada tabel pengamatan. Dari data pada tabel pengamatan selanjutnya dibuat grafik pola dan trend hubungan antara usia padi dengan nilai NDVI nya. Berdasarkan grafik tersebut puncak tertinggi nilai NDVI dapat didekati

menggunakan persamaan kurva dengan menggunakan fitur trendline pada Ms Excel.

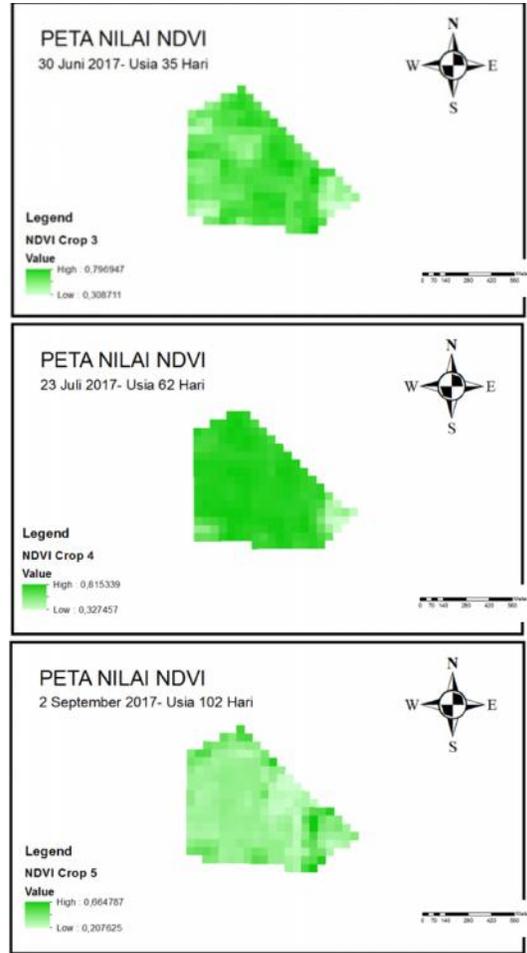
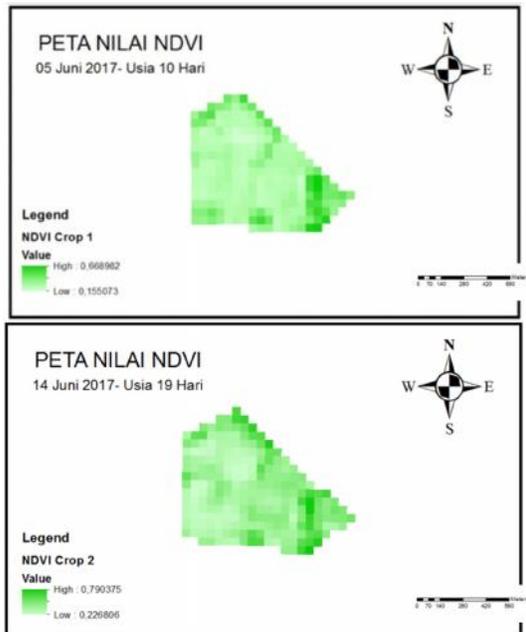
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan maka dapat dihitung usia tanaman padi yang mengacu pada tanggal data Landsat di akuisisi. Hasil selengkapnya ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Usia tanaman padi berdasarkan data Landsat yang diambil.

Tanggal data Landsat	Usia padi
05-Jun-17	10 hari
14-Jun-17	19 hari
30-Jun-17	35 hari
23-Jul-17	62 hari
02-Sep-17	102 hari

Dari setiap data Landsat tersebut selanjutnya dilakukan cropping dan penghitungan nilai NDVI. Peta nilai NDVI untuk wilayah penelitian ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. a) Peta NDVI Cropping tanggal 5 Juni 2017 saat usia padi 10 hari. b) Peta NDVI Cropping tanggal 14 Juni 2017 saat usia padi 19 hari. c) Peta NDVI Cropping tanggal 30 Juni 2017 saat usia padi 35 hari. d) Peta NDVI Cropping tanggal 23 Juli 2017 saat usia padi 62 hari. e) Peta NDVI Cropping tanggal 2 September 2017 saat usia padi 102 hari

Berdasarkan data hasil cropping yang ditunjukkan pada **Gambar 1**, wilayah penelitian terlihat berbentuk kotak-kotak. Hal itu dikarenakan zoom yang digunakan semakin tinggi. Dapat dilihat pada peta bahwa indikator warna putih adalah daerah dengan nilai NDVI yang rendah dan warna hijau dengan nilai NDVI yang tinggi. Data pertama dan kedua masih didominasi oleh warna putih, karena pada saat itu padi masih ada dalam fase awal tanam sehingga sawah masih belum sepenuhnya tertutup oleh padi. Kemudian data ketiga warna putih mulai berkurang pada saat itu padi berada dalam fase vegetatif namun pertumbuhannya belum menutupi seluruh area sawah. Selanjutnya data ke empat perubahan pola warna mulai didominasi oleh warna hijau. Pada

saat usia 62 hari padi berada pada fase generatif dan seluruh bagian sawah sudah tertutupi oleh padi dan tampak berwarna hijau jika dilihat dari atas. Namun saat mendekati panen pada data kelima nilai NDVI mengalami penurunan. Hal itu disebabkan karena saat mendekati panen padi berubah warna menjadi kuning. Klorofil pada tanaman juga mulai berkurang sehingga menurut penghitungan NDVI dianggap sebagai warna putih. Nilai NDVI ditunjukkan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Data hasil penghitungan nilai NDVI yang berkaitan dengan usia tanaman padi

Tanggal	NDVI		Nilai tengah	Usia padi
	Low	High		
05-Jun-17	0,155	0,669	0,412	10 hari
14-Jun-17	0,227	0,790	0,509	19 hari
30-Jun-17	0,309	0,797	0,553	35 hari
23-Jul-17	0,327	0,815	0,571	62 hari
02-Sep-17	0,208	0,665	0,436	102 hari

Pada **Tabel 2** terlihat bahwa tanggal perekaman data Landsat tidak memiliki rentang waktu yang konstan seperti resolusi temporal yang dimiliki oleh Landsat yakni 16 hari. Hal itu disebabkan karena area sawah yang diteliti terdapat pada 2 scene yang berbeda patch (lintasan orbit bujur) namun berada pada row (pembagian lintang) yang sama. Dimana scene pada patch 1 ke scene pada patch 2 (coincident patch), memiliki rentang 9 hari. Sebaliknya rentang waktu antara data scene pada patch 2 kembali ke scene pada patch 1 lagi adalah 7 hari. Jadi rentang waktu antar scene pada patch dan row yang sama tetap 16 hari sesuai dengan resolusi temporal Landsat. Saat usia tanaman 10 hari nilai low NDVI yaitu 0,155 sedangkan nilai high nya sebesar 0,669 sehingga nilai tengah yang diperoleh yaitu 0,412. Nilai tengah diasumsikan sebagai wakil nilai NDVI dari semua pixel pada data yang dicrop. Selanjutnya saat usia bertambah hingga data ke 4 nilai minimum dan maksimum NDVI terus bertambah, begitu pula dengan nilai tengahnya. Dan nilai NDVI nya turun saat data terakhir. Sehingga dapat dibuat grafik seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2**.



Gambar 2. Hubungan nilai NDVI dengan usia tanaman padi

Pada grafik tersebut dapat diketahui perubahan pola peningkatan nilai NDVI terjadi sampai dengan data ke 3 atau padi dari usia 10 hari sampai 35 hari dan mengalami penurunan pada data keempat dan saat padi berusia 102 hari [13], yang menunjukkan bahwa grafik NDVI selama pertumbuhan tanaman padi mulai awal tanam sampai siap dipanen berbentuk parabolik. Pada awal tanam/ pertumbuhannya nilai indeks vegetasi tanaman padi akan rendah (karena didominasi oleh kenampakan air) dan nilai NDVI akan semakin tinggi seiring dengan bertambahnya umur, kemudian mencapai maksimum pada umur tertentu. Selanjutnya nilai NDVI semakin menurun selama fase pengisian-pematangan bulir hingga menjelang panen.

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat dibuat pendekatan kurva parabolik dengan persamaan

$$y = -5.10^{-5}x^2 + 0,0058x + 0,347 \quad (1)$$

yang mempunyai koefisien korelasi $R^2=97\%$. Puncak tertinggi nilai NDVI dapat ditentukan dengan mencari turunan y terhadap x (dinotasikan dy/dx). Secara matematis, turunan pertama sebuah fungsi (dy/dx) menyatakan gradien garis singgung kurva pada titik tertentu. Nilai gradien garis singgung di titik puncak adalah nol atau dinyatakan dengan $dy/dx = 0$. Dari persamaan (1) diperoleh:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d(-5.10^{-5}x^2 + 0,0058x + 0,347)}{dx} = -10^{-4}x + 0,0058 \quad (2)$$

Dengan demikian di titik puncak kita dapat menuliskan $10^{-4}x = 0,0058$, sehingga diperoleh nilai $x = 58$. Berdasarkan **Gambar 2** nilai x menyatakan usia tanaman padi sehingga kita dapat mengatakan bahwa nilai NDVI tertinggi dicapai pada saat tanaman padi berusia 58 HST (hari setelah tanam).

KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan hubungan bahwa usia tanaman padi varietas Ciherang proporsional terhadap nilai NDVI nya sampai usia 58 HST. Dimana pada usia 1-58 HST nilai NDVI nya meningkat dan selanjutnya nilai NDVI menurun sampai usia panen. Pola grafik yang diperoleh berdasarkan data hasil penelitian ini adalah parabolik dengan pendekatan fungsi parabolik $y = -5.10 - 5x^2 + 0,0058x + 0,347$. dengan koefisien korelasi sebesar $R^2 = 97\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bappeda Kabupaten Jember Jember, Bappeda. (2013). [http://bappeda.jatimprov.go.id/bappeda/wp-content/uploads/potensi-kab-kota-2013/\(Diakses\)](http://bappeda.jatimprov.go.id/bappeda/wp-content/uploads/potensi-kab-kota-2013/(Diakses)).
- [2] Dirgahayu, D., dan H. Noviar, Model Pertumbuhan Tanaman Padi Di Pulau Sumatera Menggunakan Data Evi Modis Multitemporal, 2014
- [3] Barrett, dan Curtis, Introduction to Environmental Remote Sensing, Chapman and Hall, London, 1983.
- [4] Suwargana, N, Kajian Konsentrasi Klorofil-a di Perairan Danau Matano, Mahalano, dan Towuti Menggunakan Data Landsat-7 ETM , Pusat Penginderaan Jauh, Edisi ke-3, 2013.
- [5] Maspiyanti, F., F. M. I, dan A. A. M., Klasifikasi Fase Pertumbuhan Padi Berdasarkan Citra Hiperspektral Dengan Modifikasi Logika Fuzzy (Paddy Growth Stages Classification Based On Hyperspectral Image Using Modified Fuzzy Logic), Jurnal Lapan (2013)
- [6] Estes, dan D. S. Simonett, Fundamentals of Image Interpretation, in: Manual of Remote Sensing, The American Society of Photogrametry, Falls Church. Virginia, 2007.
- [7] Mengel, K., dan E. A. Kirkby, Principles of plant nutrition, 4th ed., International Potash Institute, Bern/Switzerland, 1987.
- [8] Furuya, S., Growth Diagnosis of Rice Plants by Means of Leaf Colour 20 (2007) 147-153.
- [9] Muhammad, Nazaruddin, Salahuddin, dan Yusman, Deteksi Usia Tanaman Padi Berdasarkan Indeks Warna. Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi (SNASTIKOM), 2013.
- [10] Cahyono, B. E., A. T. Nugroho, dan M. Rizkiyani, Detection of Paddies Reflectance Values to classify their Ages using RGB Photograph Images. International Journal of Advanced Engineering Research and Science 4 (10) . (2017) 046-050.
- [11] Cahyono, B. E., A. T. Nugroho, dan J. Husen, Karakteristik Time Series Reflektansi Tanaman Padi Varietas Ciherang dengan Analisis RGB Citra Fotografi. Jurnal Fisika FLUX 15 (1) (2018) 59-65.
- [12] BPPT,. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi Subang, BBPT. (2015). <http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id/index.php/varietas/inbrida-padi-sawah-irigasi-inpari/content/item/1-ciherang>. [Diakses 2018].
- [13] Wahyunto, Widagdo, dan B. Heryanto, Pendugaan Produktivitas Tanaman Padi Sawah Melalui Analisis Citra Satelit Jurnal Remote Sensing, 2006.

Sintesis dan Karakterisasi Membran Kitosan/LiOH sebagai Elektrolit Padat Baterai Sekunder

Sunardi^{1*}, Aris Haryadi¹, Wihantoro¹, Evi Yulianti²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jenderal Soedirman

²PSTBM Batan Tenaga Atom Nasional Serpong Indonesia

*e-mail corresponding author: sunardi.unsoed@gmail.com

Abstrak – Sintesis dan karakterisasi membran Kitosan/LiOH dilakukan bertujuan untuk menentukan pengaruh PVA/LiOH terhadap mikrostruktur membran elektrolit padat baterai sekunder. Sintesis membran Kitosan/LiOH dilakukan dengan metode casting dengan variasi konsentrasi w/w LiOH. Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR (Fourier Transform Infra Red) dan SEM (Scanning Electron Microscopy). Hasil FTIR membran kitosan/LiOH menunjukkan adanya interaksi antara kitosan/LiOH. Pada panjang gelombang 3500 nm terbentuk gugus fungsi –OH baru dan pada 1500 – 945 nm terbentuk ikatan bending antara gugus fungsi –OH dengan –NH₃. Hasil SEM menunjukkan terbentuk agglomerasi dengan bertambahnya konsentrasi LiOH pada larutan. Terjadi distribusi partikel homogen di permukaan membran. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh penambahan LiOH pada pembentukan membran yang menghasilkan ikatan antar atom yang semakin renggang/tidak stabil dan bahan yang semakin konduktif..

Kata kunci: Gugus fungsi, ukuran butiran, kitosan, LiOH, elektrolit

Abstract – The synthesis and characterization of chitosan/LiOH membranes was carried out aimed to determine the effect of chitosan/LiOH on the electrolyte membrane microstructure of secondary batteries. Synthesis of chitosan/LiOH membranes was carried out by casting method with concentration variations w/w LiOH. The characterization was carried out using FTIR (Fourier Transform Infra Red) and SEM (Scanning Electron Microscopy). The results FTIR of chitosan/LiOH membrane showed an interaction between chitosan/LiOH. At a wavelength of 3500 nm a new -OH functional group is formed and at 1500-945 nm a bending bond is formed between the -OH group and -NH₃. The SEM results show that agglomeration is formed by increasing the concentration of LiOH in the solution. A distribution of homogeneous particles occurs on the surface of the membrane. This shows that there is the effect of adding LiOH to the formation of membranes which results in increasingly tenuous / unstable atomic bonds and increasingly conductive materials.

Key words: Functional group, grain size, chitosan, LiOH, electrolyte

PENDAHULUAN

Kitosan [C₆H₁₁NO₄]_n adalah biopolimer organik, yang memiliki sifat-sifat non-toksik, biokompatibel, biodegradable, dan hidrofilik. Kitosan berasal dari cangkang hewan seperti kepiting, udang dan lobster. Kitosan terdiri dari amina dan hidroksil [1,2]

Membran adalah daerah tipis antara dua fase yang memberikan lintasan tertentu [3-6], sehingga memungkinkan fase atau komponen tertentu menembus lebih cepat dibandingkan dengan fase atau komponen lainnya di bawah pengaruh gaya penggerak (driving force) [7,8]. Membran polimer elektrolit padat (solid electrolyte polimer membrane) (SPE) dalam penelitian ini dihasilkan oleh kitosan/LiOH.

Membran elektrolit padat memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan

dalam berbagai bentuk peralatan elektronik dengan berbagai kelebihan yaitu tahan terhadap kebocoran, panas dan memiliki kestabilan terhadap getaran dan benturan. Sintesis membran kitosan/LiOH dilakukan untuk menghasilkan elektrolit padat dalam sebagai filler baterai sekunder. Sedangkan, pengujian morfologi sampel menggunakan SEM dan gugus fungsi menggunakan FTIR.

METODE

A. Bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kitosan, asam asetat (Merck), PVA dan LiOH (Sigma-Aldrich). Sedangkan alat yang digunakan adalah neraca Ohaus Galaxy TM 160, mikrometer skrup, desikator, cawan petri dan gelas ukur.

B. Prosedur

Sintesis membran kitosan dilakukan dengan cara 3 gram kitosan dilarutkan ke dalam 100 mL asam asetat sambil diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer sehingga membentuk larutan homogen. Selanjutnya 3 gram PVA dicampur ke dalam larutan kitosan dan diaduk selama 3 jam. Setelah homogen dimasukkan LiOH dengan konsentrasi 3% dan 5%. Kemudian dicetak ke dalam cawan petri dan dikeringkan pada suhu 60 °C selama 2 hari. Membran yang sudah kering, siap dilakukan pengujian.

C. Karakterisasi membran kitosan/LiOH

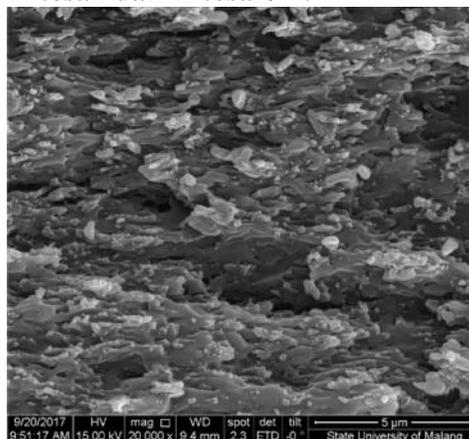
Spektra FTIR membran kitosan/LiOH diperoleh dengan menggunakan Shimadzu 8201 PC FTIR spektrofotometer dan direkam dengan resolusi 1 cm⁻¹ dengan rentang bilangan gelombang dari 400 hingga 4000 cm⁻¹ untuk menentukan gugus fungsi. Struktur mikro dan distribusi grain size menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) tipe JEOL, JSM-6510LA dengan pembesaran 1000x pada suhu kamar. Sampel dilapisi dengan emas selama 100 detik, dengan arus listrik $I = 60$ mA. Prosedur ini dilakukan untuk mendapatkan kualitas gambar yang lebih baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

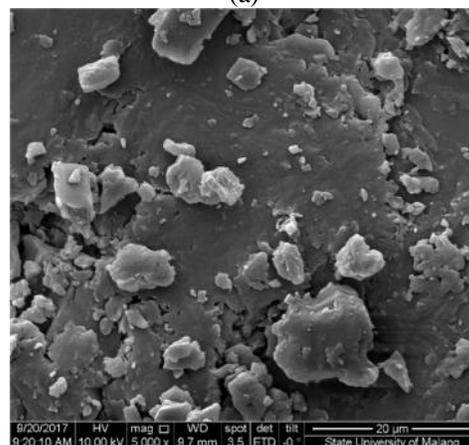
A. Uji SEM

Hasil SEM pada membran kitosan, kitosan/PVA dan kitosan/PVA/LiOH dapat dilihat pada **Gambar 1** (a), (b) dan **Gambar 2**. Dari struktur morfologi permukaan membran yang dihasilkan tampak mulus dan terdiri dari butiran yang homogen yang menyebar merata di seluruh permukaan. Tidak terjadi agglomerasi serta cenderung berpori. Setelah dilakukan pengujian dengan SEM maka hasil SEM menggambarkan bahwa terjadi agglomerasi antara molekul-molekul penyusun kitosan, PVA dan LiOH. Semakin tinggi konsentrasi LiOH digunakan semakin banyak ion-ion pembawa muatan bebas bisa bergerak bebas.

1. Kitosan dan Kitosan/PVA



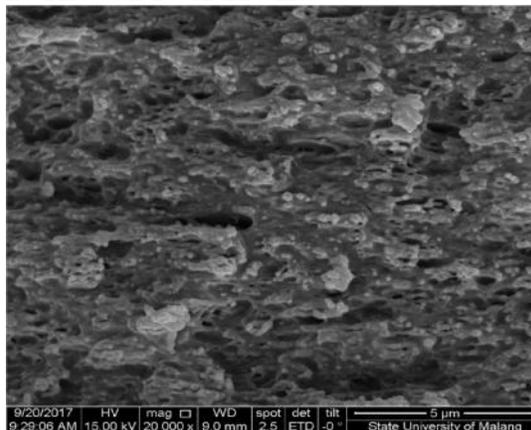
(a)



(b)

Gambar 1. Hasil SEM (a) Kitosan, (b) Kitosan/PVA

2. Kitosan/PVA/LiOH



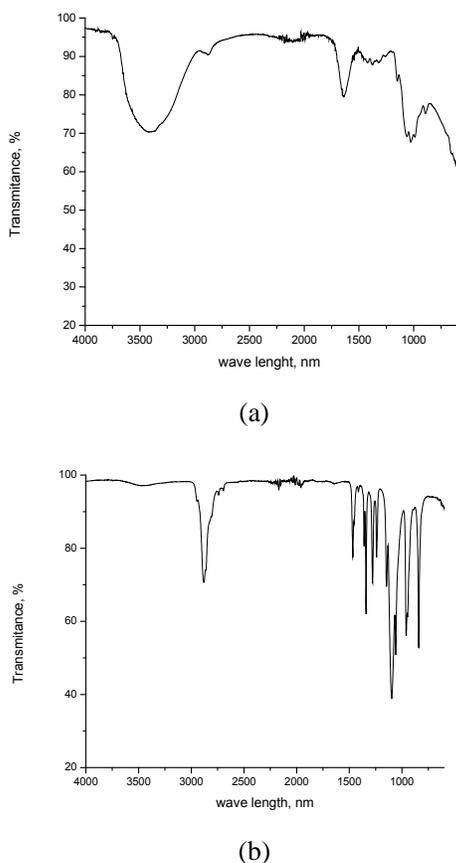
Gambar 2. SEM Kitosan/PVA/LiOH

Hasil SEM menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi yang ditambahkan pada membran akan menghasilkan ikatan antar atom yang semakin renggang/ tidak stabil dan menghasilkan bahan yang semakin konduktif.

B. Uji FTIR

1. Kitosan dan PVA

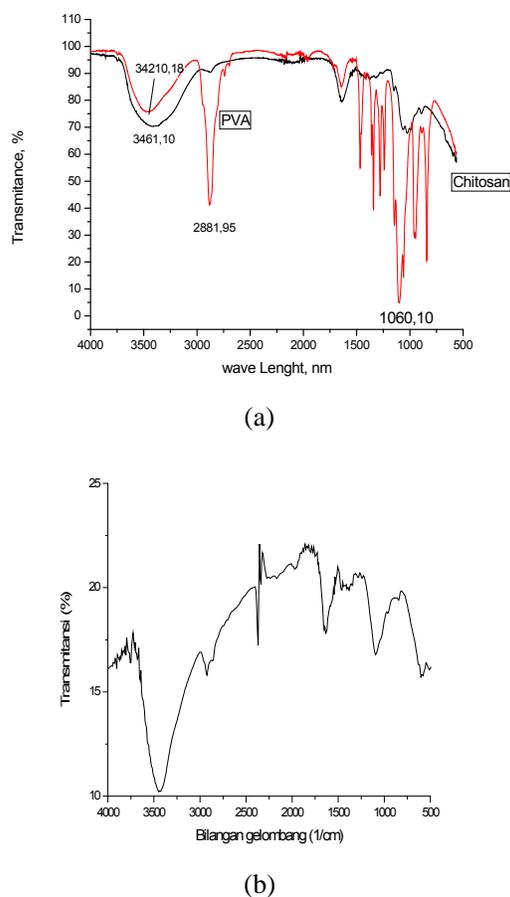
Hasil FTIR dari kitosan murni dan PVA dapat dilihat pada **Gambar 3** (a) dan (b). Pada **Gambar 1** (a) dan (b), daerah serapan terjadi pada bilangan gelombang 2000 – 1000 cm^{-1} . Daerah serapan juga terjadi pada bilangan gelombang 1700,89 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi C=O asimetri dan pada 1429,65 cm^{-1} terjadi gugus fungsi C=O simetri dari kitosan. Daerah bilangan gelombang 2300,76 cm^{-1} gugus fungsi C-OH bending. Daerah bilangan gelombang 1650,78 – 600 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi C=O, sedangkan daerah bilangan gelombang 3000 - 2500 cm^{-1} terbentuk gugus C-H bending. Pada puncak 3500 cm^{-1} terbentuk gugus fungsi O-H bending.



Gambar 3. (a) Spektrum FTIR Kitosan, (b) FTIR Kitosan/PVA

2. Kitosan/PVA dan Kitosan/PVA/LiOH

Gambar 4.(a) dan (b). menunjukkan adanya interaksi antara kitosan dengan PVA dan LiOH yang kuat sehingga terbentuknya gugus fungsi yang baru. Pada bilangan gelombang 3000 – 2750 cm^{-1} terbentuk puncak baru yang menunjukkan gugus fungsi C-H bending dengan $-\text{CH}_2$ dan $-\text{CH}_3$. Pita serapan terjadi pada bilangan gelombang 1750,87 – 1475,45 cm^{-1} terbentuk gugus NH_2 bending. Dari hasil ketiga spektra IR tersebut menunjukkan adanya pergeseran, kenaikan, penurunan intensitas, dan terbentuknya gugus baru pada membran kitosan/PVA/LiOH.



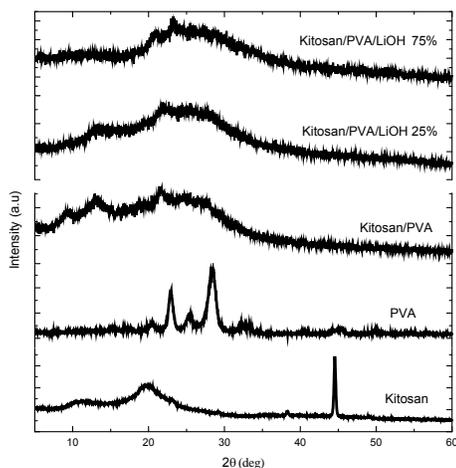
Gambar 4. (a) FTIR Kitosan-PVA, (b) FTIR Kitosan/PVA/LiOH

Terlihat bahwa pada spektrum FTIR kitosan/PVA/LiOH pada panjang gelombang 1550 – 544 nm terjadi *bending* antara $-\text{OH}$ dan $-\text{NH}_3$. *Bending* dan *stretching* terjadi akibat adanya pola teratur

dan dominan antara molekul pembentuk kitosan dan PVA .

C. Uji XRD

Hasil XRD pada membran kitosan, kitosan/PVA dan kitosan/PVA/LiOH dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Hasil XRD membran kitosan, kitosan/PVA dan kitosan/PVA/LiOH

Hasil XRD membran kitosan, kitosan/PVA dan kitosan/PVA/LiOH menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi LiOH yang digunakan, menghasilkan intensitas membran menurun dan bahan akan semakin bersifat amorf. Hal ini menunjukkan bahwa partikel-partikel pada kisi kristal akan berpindah posisi sehingga membuat kekosongan pada kisi kristal.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pembentukan gugus fungsi baru $-OH$ pada kitosan/LiOH pada panjang gelombang 3500 nm dan terjadi interaksi ikatan bending antara $-OH$ dan NH_3 pada panjang gelombang 1500 – 945 nm. Kitosan/LiOH menghasilkan membran lebih fleksibel dan tidak bersifat higroskopis. Kitosan/LiOH dapat digunakan sebagai bahan alternatif elektrolit padat baterai sekunder

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Ristek dan Dikti melalui Universitas Jenderal Soedirman

melalui Riset Peningkatan Kompetensi Tahun 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. G. Abdullah, R. R. Hanna, and Y. A. K. Salman, "Structural, optical, and electrical characterization of chitosan: methylcellulose polymer blends based film," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 14, pp. 10283–10294, 2017.
- [2] A. Badawi, E. M. Ahmed, N. Y. Mostafa, F. Abdel-Wahab, and S. E. Alomairy, "Enhancement of the optical and mechanical properties of chitosan using Fe_2O_3 nanoparticles," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 15, pp. 10877–10884, 2017.
- [3] M. Barchuk et al., "Structure and surface properties of chitosan/PEO/gelatin nanofibrous membrane," *J. Polym. Res.*, vol. 23, no. 2, pp. 1–7, 2016.
- [4] W. Zhang, J. Zhang, and W. Xia, "Effect of ball-milling treatment on physicochemical and structural properties of chitosan," *Int. J. Food Prop.*, vol. 17, no. 1, pp. 26–37, 2014.
- [5] Rochima, E., Azhary, S.Y., Prata, R.I., Panatarani, C., and Joni, I.M. Preparation and characterization of nano chitosan from crab shell waste by beads milling method. *International conference on Food Science and Engineering.* (2016) 193. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/193/1/012043>.
- [6] Liu, T.Y., Ma, Y., Yu, S.F., Shi, J., and Xue, S. The effect of ball milling treatment on structure and porosity of maize starch granule. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (2011) 586-593. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.06.009>.
- [7] Zhan, W., Zhang, J., and Xia, W. Effect of ball milling treatment on physicochemical and structural properties of chitosan. *International Journal of Food Properties*, (2014) 26-37. <http://doi.org/10.1080/10942912.2011.608175>.
- [8] Ker, W.L., Ward, SDW., McWatters, KH., and Resurreccion, AVA. Effect of milling and particle size on functionality and physicochemical properties of cowpea flour. *American Association of Cereal Chemists Inc. Publication no. C-2000-0212-02R.* (2000).

Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Komposisi, Sifat Magnetik dan Absorpsi Gelombang Mikro Komposit Nano Zinc-Ferit

L. Rifiana Dewi, W. Widanarto*, M. Effendi

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto
Jl. Dr. Soeparman No 16 Karangwangkal Purwokerto
*e-mail: wahyu.widanarto@unsoed.ac.id

Abstrak- Material penyerap gelombang mikro mempunyai peran penting dalam perkembangan teknologi anti-radar, anti-electromagnetic interference dan komunikasi tanpa kabel. Pembuatan komposit nano zn-ferit dilakukan menggunakan metode reaksi padatan dengan komposisi 80 Fe_3O_4 : 20 ZnO dalam persen mol dan pengaruh medan magnet luar. Zn-Ferit disintering pada temperatur 500, 800 dan 1100 °C. Karakterisasi struktur, sifat magnetik dan absorpsi gelombang mikro pada ferit dilakukan masing-masing menggunakan XRD, VSM dan VNA. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa intensitas fasa nano kristal ZnFe_2O_4 yang terbentuk meningkat dengan peningkatan temperatur sintering. Sifat magnetik yang meliputi magnetisasi remanen (M_r) dan magnetisasi saturasi (M_s) mengalami penurunan, sedangkan medan koersivitas (H_c) mengalami peningkatan dengan meningkatnya temperatur sintering. Ferit yang disintering pada 800 °C menunjukkan performa yang baik dengan ditandai nilai reflection loss (R_L) sebesar -69 dB pada frekuensi 16,9 GHz.

Kata Kunci: Ferit alam, Zinc, komposit, sifat magnetik, reflection loss

Abstract – Microwave absorbent material has an important role in the development of anti-radar technology, anti-electromagnetic interference and wireless communication. Zn-ferrite nano composites was synthesized using the solid-state reaction method with a composition of 80 Fe_3O_4 : 20 ZnO in mol percent and the influence of the external magnetic field. Zn-ferrites were sintered at temperatures of 500, 800 and 1100°C. Characterizations of the structure, magnetic properties and absorption of microwaves on ferrite were carried out using XRD, VSM and VNA respectively. The characterization results showed that the intensity of the nano phase crystals ZnFe_2O_4 formed increased with increasing sintering temperature. Magnetic properties which include remanent magnetization (M_r) and saturation magnetization (M_s) decreased, while the coercivity field (H_c) increased with increasing sintering temperature. Synthesized ferrite at 800 °C showed good performance with a reflection loss (R_L) value of -69 dB at a frequency of 16.9 GHz.

Key words: Natural ferrite, zinc, composite, magnetic properties, reflection loss

PENDAHULUAN

Magnetit (Fe_3O_4) menjadi bahan kajian yang menarik perhatian para ahli dalam bidang teknologi nano karena memiliki peluang aplikasi yang luas pada bidang industri seperti keramik, katalis, energy storage, magnetic data storage, ferrofluida, diagnosis medis, bahan penyerap radar (radar absorbing material) maupun bahan pelindung interferensi gelombang elektromagnetik [1]. Magnetit (Fe_3O_4) memiliki sifat *soft magnetic*, dan untuk RAM membutuhkan material yang memiliki sifat *soft magnetic*. Kriteria untuk suatu material menjadi bahan penyerap gelombang mikro yaitu memiliki sifat magnetik dan sifat listrik. Untuk sifat magnetik dibutuhkan material yang bersifat

soft magnetic, sedangkan untuk sifat listrik dibutuhkan material yang memiliki nilai konduktifitas listrik yang tinggi. Untuk mendapatkan sifat dari keduanya maka dilakukan pendopingan dari dua unsur yang berbeda. Unsur yang pertama diharapkan dapat memenuhi kriteria dari sifat kemagnetannya, sedangkan unsur yang kedua diharapkan dapat memenuhi kriteria dari sifat kelistrikan, sehingga nantinya material baru tersebut dapat diaplikasikan sebagai bahan penyerap radar. Unsur yang biasanya digunakan untuk memenuhi kriteria sifat kelistrikan adalah Ti, Zn, Mn, Ni, Co, dan lain-lain. Efek yang dapat ditimbulkan dari penambahan unsur tersebut misalnya, variasi kapasitas panas dan konduktifitas yang telah ditujukan untuk aplikasi magnetik [2].

Berdasarkan data yang diperoleh diketahui bahwa tidak terdapat hubungan linier antara peningkatan temperatur sintering terhadap nilai reflection loss.

Berdasarkan penjelasan di atas, material penyerap gelombang mikro dibuat dengan memanfaatkan oksida ferit (Fe_3O_4) yang dimodifikasi dengan ZnO melalui metode reaksi padatan pada temperatur *sintering* yang berbeda. Material Fe_3O_4 diperoleh dari ekstraksi ferit alam yang berasal dari Desa Widara payung Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap, karena pasir di daerah tersebut mengandung 70% mineral berupa magnetit (Fe_3O_4) [3]. Zinc Oxide memiliki sifat konduktivitas panas yang tinggi sehingga membuat material tersebut tepat diaplikasikan sebagai bahan penyerap radar (*radar absorbing material*). Temperatur sintering yang sangat tinggi harus dihindari karena untuk menjaga fasa dari Fe_3O_4 agar tidak berubah.

METODE

Proses pembuatan material zinc ferite dimulai dengan menggerus 24 g Fe_3O_4 dan 6 g ZnO menggunakan HEM (High Energy Milling). Penggerusan dilakukan secara basah (wet milling) dengan menggunakan aquades. Kemudian sampel dipanaskan menggunakan *hot-plate* dan diaduk *magnetic stirrer* sampai berbentuk serbuk kembali. Sampel dikalsinasi dengan temperatur 500 °C dengan *holding time* 1 (satu) jam. Setelah itu, PVA ditambahkan sampel sebagai bahan perekat dan dipanaskan lagi sampai sampel berbetuk serbuk kembali. Sampel dimampatkan dan dicetak pada tekanan 1 satu ton dalam pengaruh medan magnet luar. Sampel yang sudah dikompasi selanjutnya disintering dengan tiga variasi temperatur yaitu 500, 800 dan 1100 °C Setiap temperatur diberi *holding time* selama 3 jam dan pada proses pendinginan menggunakan proses *cooling furnace*. Sampel yang telah dipanaskan ditandai dengan kode ZF1, ZF2 dan ZF3 masing-masing untuk temperatur 500, 800 dan 1100 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

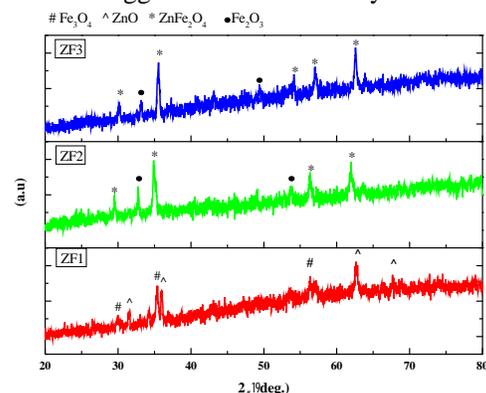
A. Struktur Kristal

Gambar 1 menunjukkan hasil karakterisasi XRD dari Fe_3O_4 yang didoping dengan ZnO dengan variasi temperatur sintering yang berbeda-beda. Sampel pertama yaitu sampel

ZF1, fasa yang terbentuk masih berupa zinc oxide (ZnO) dan magnetite (Fe_3O_4), hal ini menunjukkan bahwa dengan temperatur 500 °C ZnO belum bereaksi dengan Fe_3O_4 . Menurut penelitian Mastuki dkk pada 2012, transformasi fasa dari magnetite menjadi hematite terjadi pada temperatur <500 °C. Fasa hematite mulai terbentuk pada temperatur >320 °C sampai temperatur tinggi. Transformasi fasa menjadi hematite berjalan lambat sampai temperatur <450 °C. Pada suhu 500 °C akan tercipta inti hematite dan akan tumbuh menjadi fasa hematite dengan cepat. Pembentukan fasa ini sangat cepat pada temperatur >520 °C yaitu sekitar 70-90% sampel akan menjadi fasa hematite dalam waktu 60 menit.

Sampel kedua yaitu sampel ZF2 terbentuk fasa hematite (Fe_2O_3) dan zinc iron oxide (ZnFe_2O_4), hal ini menunjukkan pada temperatur 800 °C ZnO sudah bereaksi dengan Fe_3O_4 walaupun belum bereaksi secara sempurna Pada temperatur ini terlihat fasa magnetite telah berubah menjadi fasa hematite, ini dikarenakan pengaruh temperatur sintering yang digunakan >520 °C. Sampel yang terakhir yaitu sampel ZF3 fasa yang terbentuk adalah hematite (Fe_2O_3) dan zinc iron oxide (ZnFe_2O_4). Terlihat bahwa fasa zinc iron oxide (ZnFe_2O_4) lebih banyak terbentuk dibanding dengan fasa hematite (Fe_2O_3), artinya pada temperatur sintering 1100 °C sebagian besar ZnO dan Fe_3O_4 sudah bereaksi walaupun belum sempurna.

Transformasi fasa yang terjadi pada setiap temperatur sintering dipengaruhi oleh ukuran partikel kristalit. Ukuran partikel ini yang nantinya memperlihatkan tingkat homogenitas saat proses pencampuran. Perhitungan ukuran kristal menggunakan metode Debye-Scherrer.



Gambar 1. Pola difraksi komposit nano Zn-ferit alam yang disintering pada temperatur 500, 800 dan 1100 °C

Tabel 1. Ukuran partikel kristalit

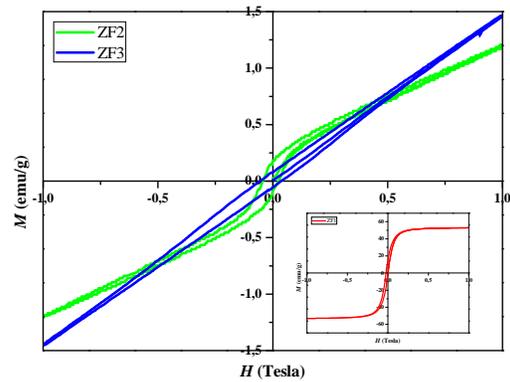
Sampel	θ (deg)	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
ZF1	35,34	0,35	25,1
	35,93	0,23	38,7
	56,26	1,01	9,3
	62,67	0,29	33,9
ZF2	29,51	0,13	66,7
	32,78	0,13	67,8
	34,86	0,42	20,6
	61,79	0,46	20,9
ZF3	35,48	0,33	26,8
	57,01	0,33	28,7
	62,57	0,28	35,1

terlihat bahwa sampel ZF3 memiliki ukuran partikel kristalin terkecil yaitu sekitar 26,8-35,1 nm. Sampel nanopartikel dengan ukuran butir yang lebih kecil memiliki respon magnetik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel nanopartikel dengan ukuran butir yang lebih besar. Hal tersebut disebabkan semakin kecil ukuran butir partikel maka momen magnetik pada nanopartikel cenderung lebih tidak stabil. Ketidakstabilan momen magnetik pada partikel dengan ukuran butir yang lebih kecil disebabkan oleh energi anisotropi yang dimiliki oleh partikel tersebut jauh lebih kecil, akibatnya bila terdapat medan magnet eksternal yang mempengaruhi maka momen magnetik pada nanopartikel dengan ukuran butir yang lebih kecil akan memberikan respon yang lebih cepat [4].

B. Sifat Magnetik

Sifat magnetik komposit Zn-Ferit digambarkan dengan kurva hysteresis seperti terlihat dalam **Gambar 2**. Sifat magnetik komposit berubah seiring dengan peningkatan temperatur *sintering*. Pada Tabel 2 menunjukkan nilai M_r dan M_s mengalami penurunan, sedangkan nilai H_c mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan pada temperatur sintering 1100 °C ukuran partikel kristal lebih kecil dibanding pada temperatur 500 dan 800 °C. Faktor ukuran partikel kristal memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap sifat-sifat magnet. Nilai H_c dipengaruhi oleh kemurnian bahan baku, dan ukuran kristal yang berperan dalam menghambat pergerakan dinding domain. Semakin kecil ukuran kristal berarti semakin banyak batas antar kristal dan semakin banyak penghalang pergerakan dinding domain sehingga ketahanan terhadap medan demagnetisasi semakin besar yang berarti

harga H_c semakin tinggi [5]. Penurunan nilai M_r dan M_s dipengaruhi oleh fasa yang terbentuk. Saat temperatur sintering 500 °C fasa yang terbentuk masih Fe_3O_4 (magnetit), fasa ini yang menyebabkan nilai M_r dan M_s tinggi karena mendekati sifat *super paramagnetic*. Saat temperatur sintering 800 dan 1100 °C fasa Fe_3O_4 (magnetit) sudah bertransformasi menjadi $\alpha-Fe_2O_3$ (hematit), hal ini yang menyebabkan penurunan nilai M_r . M_s tidak terjadi disebabkan karena $\alpha-Fe_2O_3$ (hematit) bersifat *diamagnetic* [6].



Gambar 2. Kurva histeresis magnetik komposit nano Zn-Ferit yang disintering pada temperatur 500, 800 dan 1100 °C

Tabel 2 Tabel perbandingan nilai M_r , H_c , M_s , dan H_{maks}

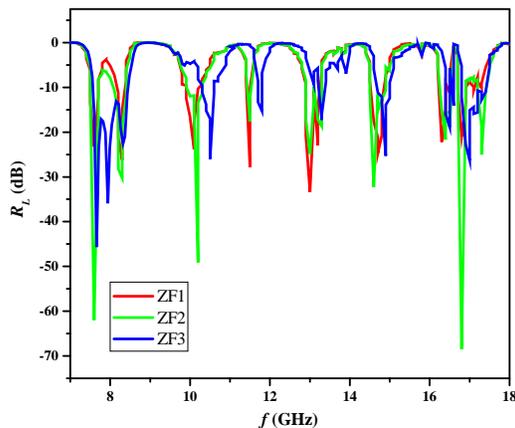
Sampel	M_r (emu/g)	H_c (Tesla)	M_s (emu/g)	H_{maks} (Tesla)
ZF1	10,02	0,015	50,00	0,388
ZF2	0,05	0,045	0,42	1,000
ZF3	0,047	0,067	0,23	1,000

C. Absorpsi Gelombang Mikro

Pengujian absorpsi atau penyerapan gelombang mikro dilakukan untuk mengetahui nilai reflection loss (R_L) sebagai fungsi frekuensi gelombang mikro seperti terlihat dalam **Gambar 3**. Sampel ZF2 merupakan sampel yang memiliki daya serap paling tinggi yaitu -69 dB yang terjadi pada frekuensi 16,9 GHz. Berdasarkan nilai R_L menunjukkan bahwa material komposit nano Zn-Ferit dengan temperatur sintering 800 °C merupakan material yang paling optimum menyerap gelombang mikro dibandingkan dua sampel lainnya. Semakin rendah nilai R_L maka semakin besar daya serap bahan terhadap gelombang mikro [7]. Dilihat dari sifat magnetik bahan, syarat suatu material untuk dapat diaplikasikan sebagai penyerap gelombang mikro yaitu nilai permeabilitas yang tinggi, koersifitas rendah dan saturasi

tinggi. Bila ketiga sampel dibandingkan maka seharusnya sampel ZF1 yang memiliki nilai R_L tertinggi diantara sampel lainnya. Namun demikian tidak terdapat hubungan linier antara peningkatan temperatur sintering terhadap nilai R_L .

Berdasarkan nilai R_L , secara umum ketiga sampel dapat digunakan sebagai material penyerap gelombang mikro dengan pengaplikasiannya yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena masing-masing sampel memiliki absorpsi maksimum pada frekuensi tertentu dalam rentang frekuensi gelombang mikro [8].



Gambar 3. Reflection loss (R_L) sebagai fungsi frekuensi komposit nano Zn-Ferit yang disintering pada temperatur 500, 800 dan 1100 °C

KESIMPULAN

Modifikasi material oksida ferit telah dilakukan dengan memasukkan ion-ion Zn^{2+} dalam strukturnya melalui proses solid-state reaction pada temperatur yang bervariasi. Spektrum difraksi didominasi oleh puncak - puncak difraksi kristal $ZnFe_2O_4$ seiring dengan meningkatnya temperatur sintering. Sifat magnetik yang meliputi magnetisasi remanen (M_r) dan magnetisasi saturasi (M_s) mengalami penurunan, sedangkan medan koersivitas (H_c) mengalami peningkatan dengan meningkatnya temperatur sintering. Sampel ZF2 mempunyai kemampuan yang baik dalam menyerap gelombang mikro pada frekuensi 7 sampai 18 GHz dengan nilai R_L tertinggi sebesar -69 dB pada frekuensi 16,9 GHz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Jenderal Soedirman yang telah

memberikan dukungan finansial dan fasilitas laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H.W. Wang, S.C. Kung, Crystallization of nano-sized Ni-Zn ferrite powders prepared by hydrothermal method, *Joural Magn. Magn. Mater.* 270 (2004).
- [2] R. Agustianto, Widyastuti, Pengaruh dopan Co-Zn dengan variasi fraksi mol dan variasi ph terhadap sifat magnetik dan struktur mikro barium heksaferit dengan metode sol-gel auto combustion, *J. Tek. Pomits.* 3 (2014).
- [3] W. Widanarto, M.R. Sahar, S.K. Ghoshal, R. Arifin, M.S. Rohani, K. Hamzah, Effect of natural Fe_3O_4 nanoparticles on structural and optical properties of Er^{3+} doped tellurite glass, *J. Magn. Magn. Mater.* 326 (2013) 123–128. doi:10.1016/j.jmmm.2012.08.042.
- [4] P.A. Guimaraes, *Principles of Nanomagnetism*, Springer, German, 2009.
- [5] I.N. Saidah, M. Zainuri, Pengaruh variasi pH pelarut HCl pada sintesis Barium M-Heksaferit dengan doping Zn ($BaFe_{11,4}Zn_{0,6}O_{19}$) menggunakan metode kopresipitasi, *J. Sains Dan Seni ITS.* 1 (2012).
- [6] W. Widanarto, M. Jandra, S.K. Ghoshal, M. Effendi, W.T. Cahyanto, $BaCO_3$ mediated modifications in structural and magnetic properties of natural nanoferrites, *J. Phys. Chem. Solids.* 79 (2015) 78–81. doi:10.1016/j.jpics.2014.12.011.
- [7] S.. Phang, M. Tadakoro, J. Watanabe, N. Kuramoto, synthesis characterization and microwave absorption property of doped polyaniline nanocomposites containing TiO_2 nanoparticles and carbon nanotubes, *Synt. Met.* 158 (2008).
- [8] S.H. Hosseini, S.H. Mohseni, A. Asadnia, H. Kerdari, Synthesis and microwave absorbing properties of polyaniline/ $MnFe_2O_4$ nanocomposite, *J. Alloys Compd.* 509 (2011) 4682–4687. doi:10.1016/j.jallcom.2010.11.198.

Otomatisasi Tracking Panel Surya Berbasis Arduino Uno dalam Penggunaan Energi Alternatif

Mohammad Fachrurrozy, Abdullah Nur Aziz*, dan Hartono

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto, 53123, Jawa Tengah Indonesia
e-mail : abd.nuraziz@gmail.com

Abstrak- Otomatisasi tracking panel surya telah dibuat dengan menggunakan sensor LDR, fotodiode dan fotodiode array. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sistem dengan sensor mana yang akurat digunakan dalam sistem tracking panel surya. Sistem tracking terdiri dari empat buah sensor yang diletakkan sejajar dengan panel dan penggerak sistem menggunakan motor servo. Sistem pengendalian sensor dan motor servo dilakukan menggunakan mikrokontroler arduino. Berdasarkan hasil penelitian, sistem tracking menggunakan sensor LDR memiliki akurasi sebesar 95,18%, sistem tracking menggunakan sensor fotodiode memiliki akurasi sebesar 90,72%, dan sistem tracking menggunakan sensor fotodiode array memiliki akurasi sebesar 94,51%. Hasil tersebut menunjukkan sistem yang akurat adalah sistem dengan menggunakan sensor LDR. Akan tetapi konsumsi daya pemakaian sistem dengan LDR cukup besar yaitu sebesar 0,7 watt dibandingkan dengan konsumsi daya sistem dengan fotodiode sebesar 0,63 watt dan sistem dengan fotodiode array sebesar 0,59 watt. Sistem yang baik digunakan adalah sistem tracking menggunakan sensor fotodiode array karena memiliki akurasi sedikit lebih rendah dari LDR tetapi memiliki konsumsi daya yang lebih efisien. Penelitian ini juga membandingkan daya keluaran sistem tanpa tracking dan sistem tracking. Penggunaan sistem tracking membuat peningkatan daya keluaran panel sebesar 0,22 watt dibandingkan dengan sistem statis.

Kata Kunci: Sistem tracking, sistem tanpa tracking, akurasi, sensor LDR, sensor fotodiode, sensor fotodiode array

Abstract – Automation of tracking solar panels has been made using LDR sensors, photodiodes and photodiode arrays. This research was conducted to find out which system with sensors used in solar panel tracking systems. The tracking system consists of four sensors that are placed parallel to the panel and drive system using a servo motor. The sensor and servo motor control system is performed using an Arduino microcontroller. Based on the results of the study, tracking systems using LDR sensors have an accuracy of 95.18%, tracking systems using photodiode sensors have an accuracy of 90.72%, and tracking systems using photodiode array sensors have an accuracy of 94.51%. These results indicate an accurate system is a system using the LDR sensor. However, the power consumption of the system with a LDR is quite large, which is 0.7 watts compared to the system power consumption with a photodiode of 0.63 watts and a system with a photodiode array of 0.59 watts. A good system is a tracking system using a photodiode array sensor because it has a slightly lower accuracy than the LDR but has more efficient power consumption. This study also compares the system output power without tracking and tracking systems. The use of tracking systems makes the panel output power increase by 0.22 watts compared to static systems.

Key words: Tracking system, system without tracking, accuracy, LDR sensor, photodiode sensor, photodiode array sensor.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan komponen penting dalam menunjang produktivitas manusia. Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, konsumsi tenaga listrik dari tahun 2011-2015 terjadi kenaikan sebesar 13,17% dan konsumsi tenaga listrik per kapita terjadi kenaikan sebesar 0,17 [1]. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya penduduk setiap tahunnya menyebabkan naiknya konsumsi energi listrik.

Kebutuhan akan energi untuk menopang pertumbuhan ekonomi membuat pasokan energi harus bertambah. Energi matahari adalah salah satu sumber energi alternatif yang bisa digunakan sebagai energi listrik [2]. Diperlukan alat untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik yaitu panel surya. Panel surya digunakan untuk membangkitkan energi listrik dari energi matahari. Panel surya yang biasa terpasang bersifat statis, berarah pada satu orientasi. Kondisi ini membuat panel surya tidak dapat menangkap pancaran sinar matahari

secara optimal [3]. Tracking panel surya merupakan solusi untuk mengikuti pergerakan matahari.

Tracking panel surya akan menempatkan posisi panel surya agar tegak lurus dengan matahari. Tracking panel surya menggunakan sistem sumbu putar yang mengontrol posisi pergerakan matahari dari timur ke barat. Umumnya penelitian yang sudah dilakukan adalah pengukuran efisiensi panel surya dalam keadaan statis dan dinamis. Pada penelitian [2] efisiensi dari penggunaan sistem tracking sebesar 36%, daya meningkat 0.67 watt dan error maks 9°. Adanya error yang besar dapat menyebabkan penyerapan energi matahari kurang maksimal, sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang penggunaan sensor yang tepat.

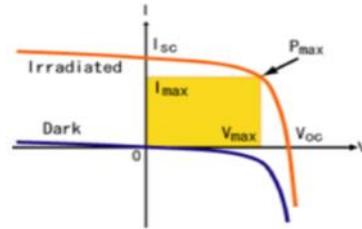
Pada penelitian ini, sistem tracking dibuat menggunakan sensor intensitas cahaya yaitu, LDR, fotodiode, dan fotodiode array. Variasi sensor ini dilakukan untuk mendapatkan sistem tracking yang akurat sehingga error yang dihasilkan kecil. Sistem yang memiliki akurasi paling baik dibandingkan dengan sistem tanpa tracking. Hasil yang didapatkan sistem tracking mampu meningkatkan daya keluaran panel secara maksimal.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengaruh Iradiasi Matahari terhadap Sel Surya

Istilah iradiasi didefinisikan sebagai ukuran kerapatan energi sinar matahari yang diterima di bumi dan diukur dalam watt per meter persegi. Iradiasi berhubungan dengan komponen sel surya. Karakteristik *I-V* dan *P-V* akan berubah diikuti dengan perubahan iradiasi matahari. Meningkatnya radiasi matahari akan meningkatkan tegangan rangkaian terbuka dan arus hubung singkat, maka daya maksimumnya akan bervariasi [4].

Karakteristik *I-V* adalah kurva antara arus dan tegangan. Kurva menunjukkan hubungan terbalik. Daerah di dalam kurva *I-V* adalah daya maksimum yang akan diproduksi panel pada arus maksimum dan tegangan maksimum. Daerah ini memiliki nilai I_{sc} rendah pada saat V_{oc} maksimum dan memiliki V_{oc} rendah pada saat I_{sc} maksimum. Karena fluktuasi kondisi lingkungan, perubahan suhu dan tingkat iradiasi kurva *I-V* akan berubah sehingga daya maksimum juga akan berubah.

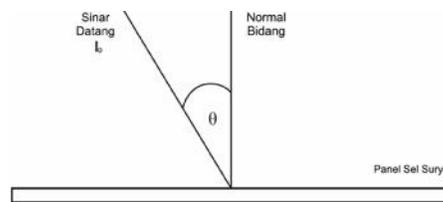


Gambar 1. Kurva I-V pada kondisi teriradiasi dan gelap serta operasi daya maksimum

Gambar 2. 1 menunjukkan dua karakteristik yaitu karakteristik gelap dan teriradiasi. Ketika sel surya diberi cahaya, karakteristik berubah bentuk karena terjadi short circuit current (I_{sc}) dan open circuit voltage (V_{oc}). Daya maksimum didapatkan dengan mendefinisikan tegangan dikalikan dengan arus. Tegangan dan arus yang sesuai adalah tegangan puncak dan arus puncak. Terdapat satu titik kurva yang menghasilkan daya maksimum setiap tingkat iradiasi [4].

B. Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi yang Diterima Panel Surya

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel [5]. Panel surya dapat optimal ketika berhadapan langsung dengan pancaran sinar matahari, dalam artian posisi panel surya harus tegak lurus dengan cahaya yang datang. Posisi panel dalam keadaan optimal dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Posisi Panel Dalam Menerima Arah Sinar Datang

Panel mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus pada bidang panel. Pada saat arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut seperti Gambar 2, maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor \cos . Dari Gambar 2, dapat dirumuskan

$$I = I_0 \cos \theta \tag{1}$$

dimana I adalah radiasi yang diserap panel, I_0 adalah radiasi yang mengenai panel dan

adalah sudut antara sinar datang dengan normal bidang panel.

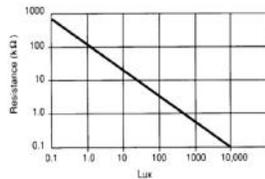
C. Sensor LDR (Light Dependent Resistor)

LDR atau Light Dependent Resistor adalah salah satu jenis resistor yang nilai hambatannya dipengaruhi oleh cahaya yang diterima olehnya. LDR memanfaatkan bahan semikonduktor yang karakteristik listriknya berubah-ubah sesuai dengan cahaya yang diterima.



Gambar 3. Light Dependent Resistor

Besarnya nilai hambatan pada LDR tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh LDR itu sendiri. Ketika LDR menerima intensitas cahaya yang tinggi, maka elektron dalam bahan semakin banyak dan resistansi bahan menjadi rendah. Sebaliknya, ketika LDR menerima intensitas yang rendah, maka elektron dalam bahan sedikit dan resistansi bahan menjadi besar. Hal tersebut ditunjukkan dalam **Gambar 4**.



Gambar 4. Iluminasi cahaya terhadap resistansi sensor LDR

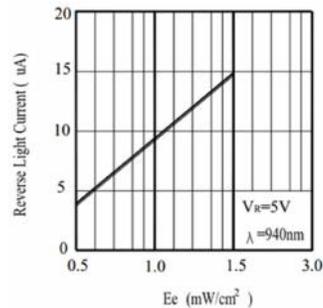
D. Sensor Fotodioda

Sensor fotodioda adalah dioda yang sensitif terhadap cahaya. Fotodioda akan mengubah cahaya menjadi arus listrik [6]. Komponen elektronika ini mampu mendeteksi bermacam-macam jenis cahaya yaitu mulai dari cahaya infra merah, cahaya tampak, ultra violet sampai dengan Sinar- X.



Gambar 5. Sensor fotodioda

Ketika energi cahaya yg memiliki panjang gelombang jatuh pada sambungan fotodioda, arus mengalir dalam sirkuit eksternal. Lalu komponen ini akan bekerja sebagai generator arus, arusnya sebanding dengan intensitas cahaya [7] Cahaya diserap di daerah penyambungan atau daerah intrinsik menimbulkan pasangan elektron-lubang yang mengalami perubahan karakteristik elektris ketika energi cahaya melepaskan pembawa muatan dalam bahan itu, sehingga menyebabkan berubahnya konduktivitas. Hal ini menyebabkan fotodioda dapat menghasilkan tegangan/ arus listrik jika terkena cahaya.



Gambar 6. Iluminasi cahaya terhadap arus balik cahaya sensor fotodioda

Terjadi perbedaan nilai hambatan dan arus pada sensor fotodioda. Menurut hukum ohm beda potensial V sebanding dengan arus dan hambatan. Semakin tinggi hambatan, semakin kecil arus yang mengalir untuk suatu beda potensial V , sehingga dapat didefinisikan hambatan berbanding terbalik dengan arus [8].

E. Sensor Fotodioda Array

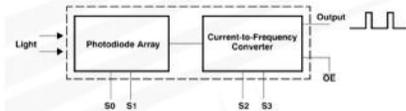
Sensor fotodioda array adalah salah satu sensor fotodioda yang tersusun dalam chip IC. Sensor cahaya berupa IC yang mengkonversi intensitas cahaya ke frekuensi. Outputnya bisa berupa deretan pulsa atau gelombang persegi (50% duty cycle) dengan frekuensi berbanding lurus dengan intensitas cahaya [9].



Gambar 7. Sensor Fotodioda array

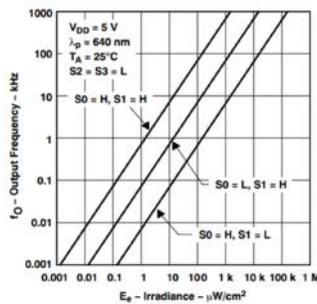
Sensitivitas perangkat dapat dipilih dalam tiga rentang, memberikan penyesuaian selama dua

dekade. Frekuensi output skala penuh dapat diskala oleh satu dari empat nilai preset. Semua input dan outputnya kompatibel dengan TTL, memungkinkan komunikasi dua arah langsung dengan mikrokontroler untuk antarmuka pemrograman dan keluaran.



Gambar 8. Diagram Blok Sensor Fotodiode

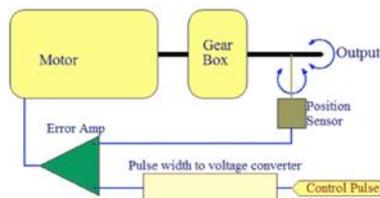
Gambar 8. cahaya datang akan diterima oleh fotodiode array kemudian fotodiode mengeluarkan hasil respon berupa arus. Arus dari fotodiode akan diolah dalam konverter dan diubah menjadi frekuensi. Semakin besar radiasi cahaya yang diterima, maka frekuensi yang dikeluarkan semakin besar. Sebaliknya, semakin kecil radiasi cahaya yang diterima, maka frekuensi yang dikeluarkan semakin kecil. Hal tersebut ditunjukkan dalam grafik dibawah ini



Gambar 9. Grafik Radiasi Cahaya Terhadap Output Frekuensi Sensor Fotodiode Array

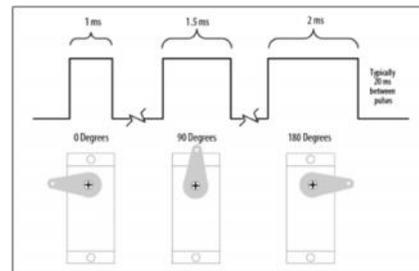
Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup. Loop tertutup digunakan untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor



Gambar 10. Diagram Blok Motor Servo

Prinsip kerja servo diawali dengan adanya dua input sinyal yaitu sinyal eksternal (kontrol sinyal) dan sinyal potensiometer. Pada keadaan awal, potensiometer dalam keadaan tidak ada sinyal. Disaat terdapat sinyal eksternal, sinyal diproses menuju Op Amp. Op Amp hanya menerima sinyal eksternal sehingga menghasilkan sinyal error. Sinyal error ini yang akan bertindak menggerakkan motor. Ketika motor berputar, potensiometer akan bergeser dan menghasilkan sinyal. Perubahan posisi potensiometer membuat sinyal keluaran potensiometer berubah. Perubahan sinyal ini akan memberikan efek umpan balik ke dalam Op Amp. Sistem umpan balik dalam motor servo digunakan untuk mengendalikan gerak dan posisi akhir poros. Motor dikontrol oleh sinyal umpan balik yang dihasilkan dengan membandingkan sinyal output (potensiometer) dan sinyal eksternal (kontrol sinyal). Sinyal input dibandingkan dengan sinyal output dan sinyal ketiga dihasilkan dari sinyal umpan balik. Sinyal umpan balik ini berfungsi untuk mengendalikan poros motor. Jadi, tugas utama sistem motor servo adalah mempertahankan keluaran sistem pada nilai yang diinginkan [10].



Gambar 11. Pulsa kontrol motor servo dan sudut yang dihasilkan

Motor servo memiliki tiga pin masukan yaitu Vcc, ground dan kontrol. Servo bekerja pada tegangan +5V. Pin kontrol digunakan untuk menerima sinyal PWM (Pulse-Width Modulation) yang diberikan dari mikrokontroler. Motor servo bisa memutar 90 derajat dari kedua arah membentuk posisi yang netral. Motor servo memeriksa pengulangan sinyal setiap 20 milidetik (ms) dan panjang pulsa akan menentukan seberapa jauh motor berubah. Misalnya, sinyal pulsa 1,5 ms akan membuat poros motor bergerak ke posisi 90°, pulsa minimum 1 ms posisi poros menjadi 0° dan pada pulsa maksimum 2 ms posisi

poros menjadi 180°. Pernyataan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 11**.

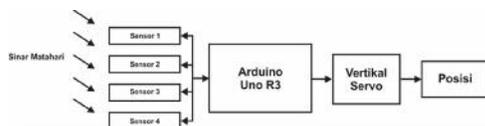
METODE

A. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensor dan fungsi keluaran sensor. Sensor yang digunakan dalam sistem yaitu sensor LDR, sensor fotodiode, dan sensor fotodiode array. Pengujian sensor menggunakan langkah yang sama untuk mengetahui perbandingan keluaran dari ketiga sensor. Pengujian ketiga sensor dilakukan di luar ruangan pada pukul 09.00 hingga pukul 15.00. Pengukuran dilakukan dengan interval waktu satu jam dari pukul 09.00 sampai 15.00. Pengukuran ini dilakukan untuk menentukan intensitas cahaya matahari dan keluaran dari ketiga sensor tersebut pada saat terbit hingga terbenamnya matahari.

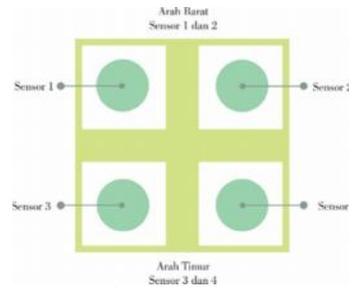
B. Perancangan dan Perangkaian Sistem

Perancangan sistem diawali dengan pembuatan diagram blok sistem. Diagram blok ini bertujuan untuk memudahkan membuat program perintah dalam perangkat lunak, memahami alur kerja sistem, dan memudahkan dalam merancang sistem. Diagram blok sistem dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Diagram Blok Sistem

Pada bagian sensor, digunakan sebanyak empat buah sensor yang digunakan untuk mendapatkan arah posisi mata angin timur ke barat. Keempat sensor diletakkan berdekatan akan dibatasi dengan sekat. Prinsip kerja sensor dilakukan secara berpasangan dimana hasil pembacaan sensor 1 dan 2 digunakan untuk mengubah posisi ke arah barat, sensor 3 dan 4 digunakan untuk mengubah posisi ke arah timur.



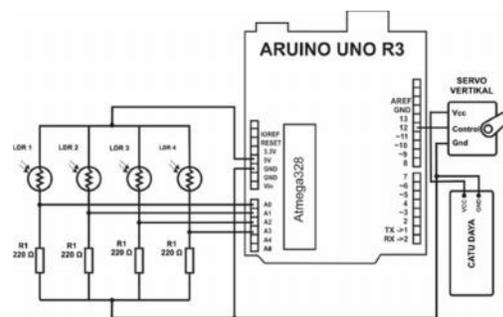
Gambar 13. Rancangan Posisi Sensor

Bagian penggerak sistem menggunakan motor servo. Lengan servo menunjukkan perubahan posisi arah pergerakan matahari dari timur ke barat. Sedangkan sistem penggerak perubahan posisi selatan atau utara dilakukan dengan memiringkan panel sesuai dengan posisi sudut deklinasi matahari dan garis lintang tempat pengujian.

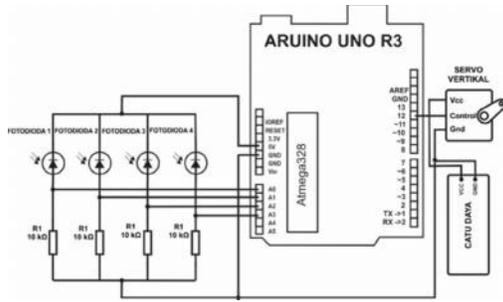


Gambar 14. Rancangan Pergerakan Motor Servo

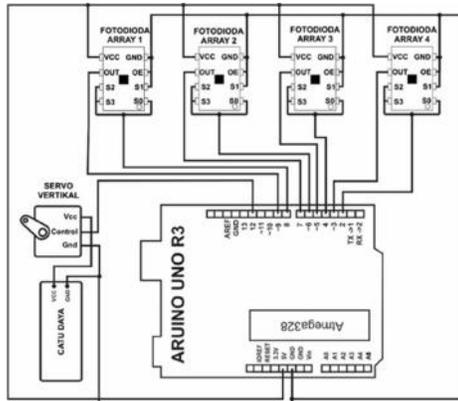
Bagian terakhir adalah perangkaian sistem tracking panel surya dimana arduino menjadi pengendali dari sistem ini. Berikut ini adalah skema rangkaian dari tiga sensor yang berbeda.



Gambar 15. Skema Rangkaian dengan Sensor LDR



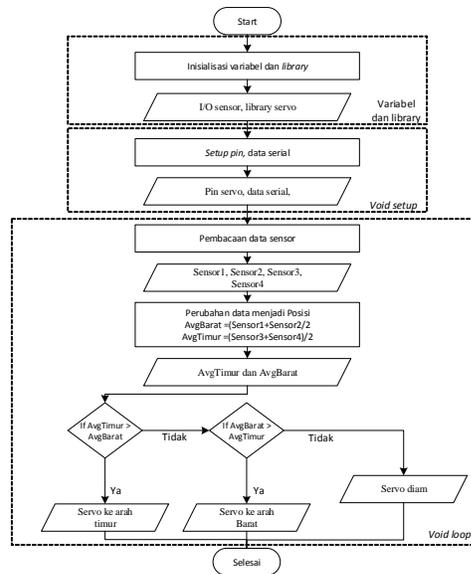
Gambar 16. Skema Rangkaian dengan Sensor fotodioda



Gambar 17. Skema Rangkaian dengan Sensor Fotodioda array

C. Pembuatan Program Arduino

Program Arduino dibuat menggunakan Arduino IDE. Arduino IDE adalah sebuah editor yang digunakan untuk menulis program, compile, dan mengunggah ke mikrokontroler arduino uno. Program yang dibuat di dalam arduino memiliki tiga fungsi utama sebagai pengendali sistem yaitu, pembacaan hasil pengukuran masing- masing sensor terhadap intensitas cahaya, mengolah data sensor menjadi posisi terhadap arah mata angin timur ke barat, dan mengendalikan aktuator sesuai dengan hasil pengolahan data sensor. Adapun diagram alir program dapat dilihat pada **Gambar 18**.



Gambar 18. Diagram Alir Program

D. Pengujian Sistem

1. Pengujian Akurasi Sistem Tracking

Tahap ini akurasi sistem tracking diuji menggunakan sensor LDR, fotodioda, dan fotodioda array. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan sistem tracking dengan sensor mana yang memiliki akurasi paling baik. Pengujian sistem tracking dilakukan secara langsung terhadap matahari.

Sistem tracking diuji dalam ruangan terbuka yang cukup terkena sinar matahari dari pukul 09.00-15.00 WIB. Dalam pengujian, pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran sudut yang dihasilkan pergerakan panel, pengukuran bayangan benda tegak lurus, dan pengukuran intensitas cahaya matahari. Pengukuran dilakukan dengan interval waktu satu jam. Sebelum melakukan pengukuran, tahap awal yang dilakukan adalah mengetahui deklinasi matahari dan posisi garis lintang tempat pengujian. Hal ini dilakukan untuk menentukan kemiringan sistem tracking dan kemiringan benda tegak lurus. Hasil pengukuran sudut panel dan sudut matahari akan diolah untuk mencari nilai akurasi dan error. Nilai akurasi suatu sistem didapatkan dari perhitungan nilai bias dan standar deviasi. Bias dan standar deviasi dapat dilihat dalam persamaan berikut.

$$Bias = |x_{benar} - \bar{x}| \tag{1}$$

$$\dagger = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (2)$$

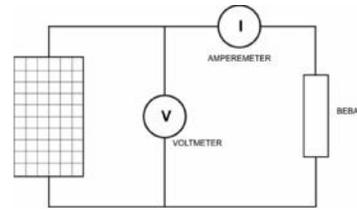
dimana x_{benar} merupakan nilai sudut matahari dan \bar{x} merupakan rata-rata data pengukuran. Nilai x_i merupakan data ke- i dan N adalah jumlah pengambilan data. Menentukan besarnya akurasi dan error dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$Akurasi = \left(1 - \frac{bias + 3\dagger}{x_{benar}}\right) \times 100\% \quad (3)$$

$$error = \left(\frac{bias + 3\dagger}{x_{benar}}\right) \times 100\% \quad (4)$$

2. Pengujian Perubahan Daya Panel Tanpa Tracking dan Tracking Panel

Pada tahap kedua, pengujian perubahan daya dilakukan dalam dua keadaan yaitu keadaan panel tanpa *tracking* dan panel dengan *tracking*. Sebelum dilakukan pengujian, masing-masing sistem *tracking* diukur konsumsi daya pemakaiannya. Sistem *tracking* yang digunakan merupakan sistem yang memiliki akurasi dan konsumsi daya yang efisien. Sistem yang memiliki akurasi baik dan konsumsi daya efisien digunakan dalam pengujian perubahan daya panel. Skema pengujian perubahan daya panel surya dapat dilihat pada **Gambar 19**. Beban yang digunakan adalah variasi resistor. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sistem panel tanpa *tracking* dan sistem *tracking* secara sejajar. Panel tanpa *tracking* diletakkan tegak lurus ke arah jam optimal penyinaran yaitu jam 12.00. Sistem *tracking* panel diletakkan menghadap timur dan barat untuk mengikuti arah matahari. Sistem *tracking* dimiringkan pada sudut tertentu sesuai dengan sudut deklinasi matahari dan sudut lintang tempat pengujian. Pengujian dilakukan dari jam 09.00-15.00 WIB dengan variasi pengukuran satu jam. Setiap satu jam nilai tegangan, arus dan intensitas matahari dicatat. Hasil dari pengukuran nantinya membandingkan hasil keluaran panel tanpa *tracking* dan keluaran panel dengan *tracking* yang sudah dikurangi konsumsi daya pemakaiannya.



Gambar 19. Skema Pengujian Efisiensi Panel Surya

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor LDR, Fotodiode, dan Fotodiode Array

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon keluaran dari ketiga sensor. Respon keluaran sensor LDR dan fotodiode berupa hambatan dan fotodiode array berupa sinyal digital frekuensi. Sebelum dilakukan pengukuran, sensor LDR dan fotodiode dihubungkan dengan rangkaian pembagi tegangan sehingga keluaran sensor menjadi tegangan. Sedangkan sensor fotodiode array diatur sensitivitas sebesar 1x dan skala keluaran 100x. Kaki sensitivitas S0 dan kaki skala frekuensi S2 dan S3 dihubungkan secara paralel, sedangkan sensitivitas S1 dihubungkan ke ground. Rangkaian pengujian yang dibuat dapat dilihat pada **Gambar 20**.

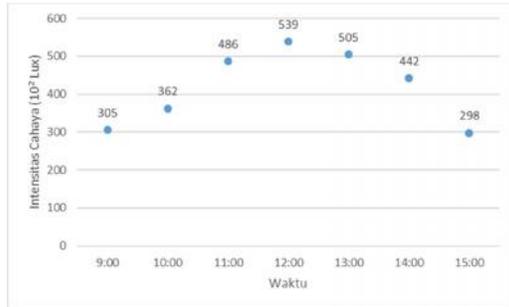


Gambar 20. Hasil Rangkaian Pengujian Sensor

Berikut ini adalah tabel dan grafik hasil pengujian sensor LDR, fotodiode, dan fotodiode array.

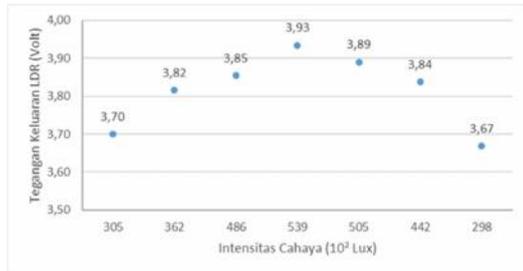
Tabel 2. Hasil Pengujian Respon Sensor

NO	JAM	Keluaran LDR (Volt)	Keluaran Fotodiode (Volt)	Keluaran Fotodiode Array (KHz)	Intensitas Cahaya (10 ² Lux)
1	9:00	3,70	4,87	4,87	305,4
2	10:00	3,82	4,76	4,86	361,8
3	11:00	3,85	4,86	4,86	486,4
4	12:00	3,93	4,74	4,88	539,0
5	13:00	3,89	4,76	4,86	504,6
6	14:00	3,84	4,84	4,84	441,6
7	15:00	3,67	4,84	4,84	297,8



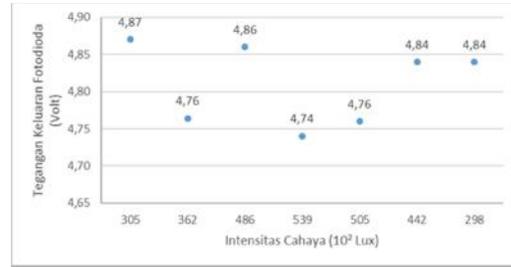
Gambar 21. Perubahan intensitas Cahaya terhadap Waktu

Hasil pengujian intensitas cahaya terhadap waktu pada **Gambar 21** menunjukkan nilai keluaran intensitas bergantung waktu dan sudut yang dihasilkan. Nilai intensitas maksimal pada jam 12.00 WIB sebesar 539×10^2 Lux karena pada jam tersebut intensitas cahaya matahari jatuh tepat tegak lurus dengan Luxmeter. Semakin mendekati arah tegak lurus luxmeter maka nilai intensitas cahaya matahari semakin besar.



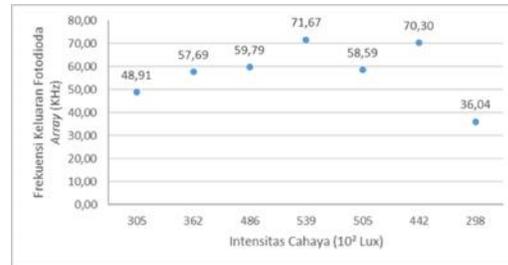
Gambar 22. Keluaran Sensor LDR

Hasil pengujian sensor LDR yang terdapat pada **Gambar 22**. menunjukkan keluaran sensor LDR bergantung pada intensitas yang diterimanya. Pengukuran pertama nilai intensitas kecil sebesar 169×10^2 Lux, keluaran LDR sebesar 3,4 V. Keluaran LDR cenderung meningkat sampai intensitas tertinggi sebesar 549×10^2 Lux, keluaran LDR sebesar 3,93 V. Hasil ini cukup linier karena nilai tegangan sangat bergantung pada intensitas yang diterimanya.



Gambar 23. Hasil Keluaran Sensor Fotodioda

Hasil pengujian sensor fotodioda menunjukkan nilai keluaran fotodioda cenderung fluktuatif. Pengukuran awal dengan intensitas 169×10^2 Lux nilai fotodioda mencapai 4,86 V. Nilai keluaran tertinggi fotodioda terdapat pada intensitas 539×10^2 Lux mencapai 4,88 V. Sedangkan nilai terendah terdapat pada intensitas $441,6 \times 10^2$ Lux dan 297×10^2 Lux yaitu sebesar 4,84 V. Nilai yang cukup tinggi ini dikarenakan fotodioda dilapisi oleh lensa fresnel. Lensa ini akan menyerap intensitas cahaya di segala arah kemudian masuk ke dalam sensor fotodioda. Hal ini menyebabkan perbedaan intensitas cahaya tidak terlalu berpengaruh, karena penyerapan fotodioda yang menggunakan lensa fresnel.



Gambar 24. Hasil Keluaran Sensor Fotodioda array

Hasil pengujian sensor fotodioda array menunjukkan meningkatnya nilai intensitas cahaya diikuti dengan meningkatnya nilai keluaran sensor fotodioda array. Nilai keluaran fotodioda array terkecil adalah 13,22 KHz pada intensitas $169,2 \times 10^2$ Lux dan cenderung naik sampai 71,67 KHz pada intensitas 539×10^2 Lux. Kemudian nilai kembali turun pada 58,59 KHz pada intensitas $504,6 \times 10^2$ Lux dan kembali naik ke 70,30 KHz pada intensitas $441,6 \times 10^2$ Lux. Nilai keluaran kembali turun sampai 12,91 KHz pada intensitas 181×10^2 Lux. Dari hasil data grafik, nilai keluaran sensor fotodioda array dominan meningkat diikuti dengan peningkatan nilai intensitas cahaya matahari.

Berdasarkan hasil pengujian sensor, sensor yang memiliki respon baik terhadap intensitas adalah LDR. Hal ini dikarenakan hasil respon LDR cukup linier antara keluaran sensor dan intensitas cahaya. Sensor kedua adalah sensor fotodiode array. Sensor ini secara dominan cukup linier dan hanya terdapat satu error respon keluaran sensor. Sensor ketiga adalah sensor fotodiode. Sensor ini tidak terlalu direkomendasikan karena memiliki respon yang fluktuatif dibandingkan sensor LDR dan sensor fotodiode *array*.

B. Perancangan dan Perangkaian Sistem

Perancangan dan perangkaian sistem terdiri dari bagian sensor, bagian penggerak sistem dan perangkaian sistem. Sistem dibuat menggunakan bahan plat besi. Berikut ini adalah sistem tracking panel surya yang telah dibuat.



Gambar 25. Sistem Tracking Panel Surya

1. Pembuatan Program Arduino

Program sistem tracking dibuat menggunakan program Arduino IDE, selanjutnya diunggah dari *personal computer* ke *board* Arduino Uno. Program yang diunggah ini terdiri dari tiga bagian perintah yaitu, bagian inisiasi variabel dan *library*, inisiasi *setup* dan inisiasi *loop*. Program yang dibuat disesuaikan dengan ketiga sensor.

```
#include <Servo.h>
Servo servoverti;
int servov = 90;
int servovLimitHigh = 150;
int servovLimitLow = 30;
int Foto1 = A3;
int Foto2 = A2;
int Foto3 = A0;
int Foto4 = A1;

#include <Servo.h>
Servo servoverti;
int servov = 90;
int servovLimitHigh = 150;
int servovLimitLow = 30;
int ldr1 = A3;
int ldr2 = A2;
int ldr3 = A0;
int ldr4 = A1;
```

(a)

(b)

```
#include <Servo.h>
Servo servoverti;
int servov = 90;
int servovLimitHigh = 150;
int servovLimitLow = 30;
int TSL230_Pin1 = 9;
int TSL230_S01 = 8;
int TSL230_Pin2 = 7;
int TSL230_S02 = 6;
int TSL230_Pin3 = 5;
int TSL230_S03 = 4;
int TSL230_Pin4 = 3;
int TSL230_S04 = 2;
int TSL230_samples = 10;
```

(c)

Gambar 26. (a) inisiasi variabel dan library Fotodiode, (b) inisiasi variabel dan library LDR, (c) inisiasi variabel dan library Fotodiode Array

Bagian inisiasi variabel dan library ini adalah pendefinisian motor servo dan pembacaan input output sensor.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  setupTSL2301();
  setupTSL2302();
  setupTSL2303();
  setupTSL2304();
  servoverti.attach(12);
}

void setupTSL2301() {
  pinMode(TSL230_Pin1, INPUT);
  pinMode(TSL230_S01, OUTPUT);
  digitalWrite(TSL230_S01, HIGH);
}

void setup() {
  servoverti.attach(12);
  delay(500);
}

void setupTSL2301() {
  pinMode(TSL230_Pin1, INPUT);
  pinMode(TSL230_S01, OUTPUT);
  digitalWrite(TSL230_S01, HIGH);
}
```

(a)

(b)

Gambar 27. (a) Bagian Setup LDR dan Fotodiode, (b) Bagian Setup Fotodiode Array

Bagian setup merupakan bagian yang di eksekusi sekali pada awal program berjalan.

```
void loop() {
  servov = servoverti.read();
  int LDR1 = analogRead(ldr1);
  int LDR2 = analogRead(ldr2);
  int LDR3 = analogRead(ldr3);
  int LDR4 = analogRead(ldr4);
  int avgtop = (LDR1 + LDR2) / 2;
  int avgbot = (LDR3 + LDR4) / 2;
  if (avgtop > avgbot) {
    servoverti.write(servov + 1);
    if (servov > servovLimitHigh) {
      servov = servovLimitHigh;
    }
    delay(500);
  }
  else if (avgbot > avgtop) {
    servoverti.write(servov - 1);
    if (servov < servovLimitLow) {
      servov = servovLimitLow;
    }
    delay(500);
  }
  else {
    servoverti.write(servov);
  }
}

void loop() {
  servov = servoverti.read();
  int Foto1 = analogRead(Foto1);
  int Foto2 = analogRead(Foto2);
  int Foto3 = analogRead(Foto3);
  int Foto4 = analogRead(Foto4);
  int avgtop = (Foto1 + Foto2) / 2;
  int avgbot = (Foto3 + Foto4) / 2;
  if (avgtop > avgbot) {
    servoverti.write(servov + 1);
    if (servov > servovLimitHigh) {
      servov = servovLimitHigh;
    }
    delay(500);
  }
  else if (avgbot > avgtop) {
    servoverti.write(servov - 1);
    if (servov < servovLimitLow) {
      servov = servovLimitLow;
    }
    delay(500);
  }
  else {
    servoverti.write(servov);
  }
}

void loop() {
  servov = servoverti.read();
  int TSL1 = readTSL2301(samples)/100;
  int TSL2 = readTSL2302(samples)/100;
  int TSL3 = readTSL2303(samples)/100;
  int TSL4 = readTSL2304(samples)/100;
  int avgtop = (TSL1 + TSL2) / 2;
  int avgbot = (TSL3 + TSL4) / 2;
  if (avgtop > avgbot) {
    servoverti.write(servov + 1);
    if (servov > servovLimitHigh) {
      servov = servovLimitHigh;
    }
    delay(500);
  }
  else if (avgbot > avgtop) {
    servoverti.write(servov - 1);
    if (servov < servovLimitLow) {
      servov = servovLimitLow;
    }
    delay(500);
  }
  else {
    servoverti.write(servov);
  }
  float readTSL(int ampIn);
  float start = millis();
  int readtop = 0;
  while (readtop < samples) {
    pinMode(TSL1Pin, INPUT);
    readtop++;
  }
  float length = millis() - start;
  float avg = (readtop / (length / samples)) * 100;
  return avg;
}
```

(a)

(b)

(c)

Gambar 28. (a) inisiasi loop LDR, (b) inisiasi loop Fotodiode, (c) inisiasi loop Fotodiode array

Bagian inisiasi *loop* merupakan bagian yang akan diulang terus menerus selama program bekerja. Fungsi utama sistem tracking berada pada inisiasi *loop*. Fungsi utama sistem *tracking* adalah membaca hasil pengukuran masing-masing sensor terhadap intensitas cahaya, mengolah data sensor menjadi posisi terhadap arah mata angin timur ke barat, dan

mengendalikan aktuator sesuai dengan hasil pengolahan data sensor.

2. Pengujian Sistem

Pengujian Sistem Tracking Menggunakan Sensor LDR

Pengujian dilakukan pada tanggal 7 Juli 2018 pada sudut deklinasi matahari sebesar 22,59° dan sudut garis lintang selatan sebesar 7,4° sehingga kemiringan total 29,99°. Sistem tracking dan benda dimiringkan pada sudut 29,99° menghadap utara. Setiap jam nilai sudut pada sistem tracking, intensitas cahaya dan panjang bayangan benda dicatat. Hasil dari pengukuran yang dilakukan digunakan untuk memperoleh sudut matahari, bias, error dan akurasi. Berikut hasil pengujian sistem tracking panel menggunakan sensor LDR.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem Tracking Panel Menggunakan Sensor LDR

Jam	Intensitas Cahaya Matahari (10 ² Lux)	Sudut Panel (°)	Sudut Elevasi Matahari (°)	Bias (°)	Error (%)	Akurasi (%)
9:00	429	50,00	51,41	1,41	8,57	91,43
10:00	546	64,00	65,22	1,22	5,12	94,88
11:00	708	76,80	78,18	1,38	4,97	95,03
12:00	724	92,40	91,82	0,58	4,36	95,64
14:00	640	120,40	119,44	0,96	3,05	96,95
15:00	370	133,60	131,48	2,12	2,86	97,14
Rata-rata				1,28	4,82	95,18

Berdasarkan hasil pengujian, sistem tracking menggunakan sensor LDR bekerja dengan baik. Sistem tracking dapat mengikuti pergerakan matahari dari jam 09.00-15.00 WIB. Sistem tracking dapat bekerja dengan baik sehingga menghasilkan nilai bias sebesar 1,28°. Nilai bias merupakan nilai perbandingan nilai sudut panel dengan sudut elevasi matahari. Sistem tracking dengan sensor LDR ini memiliki akurasi yang cukup baik yaitu 95,18% dan nilai error sebesar 4,82%.

Pengujian Sistem Tracking Menggunakan Sensor Fotodiode

Pengujian sistem tracking sensor fotodiode diawali dengan memberikan penutup pada

kepala fotodiode hingga hanya puncak kepala fotodiode yang dapat menerima sinar. Hal ini dilakukan untuk mengurangi terjadinya bias pada sensor.

Pengujian dilakukan pada tanggal 6 Juli 2018 pada sudut deklinasi 22,7° dan sudut garis lintang selatan 7,4° sehingga kemiringan total 30,1°. Sistem tracking dan benda dibuat miring pada sudut 30,1° menghadap utara. Setiap jam nilai sudut pada sistem tracking, intensitas cahaya dan panjang bayangan benda dicatat. Hasil dari pengukuran yang dilakukan digunakan untuk memperoleh sudut matahari, bias, error dan akurasi. Berikut hasil pengujian sistem tracking panel menggunakan sensor fotodiode.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Tracking Panel Menggunakan Sensor Fotodiode

Jam	Intensitas Cahaya Matahari (10 ² Lux)	Sudut Panel (°)	Sudut Elevasi Matahari (°)	Bias (°)	Error (%)	Akurasi (%)
9:00	525	42,20	51,54	9,34	22,99	77,01
10:00	591	65,00	62,80	2,20	8,29	91,71
11:00	676	76,80	75,54	1,26	6,85	93,15
12:00	718	96,00	89,89	6,11	6,79	93,21
14:00	183	121,80	117,88	3,92	6,12	93,88
15:00	401	127,60	132,08	4,48	4,63	95,37
Rata-rata				4,55	9,28	90,72

Berdasarkan hasil pengujian, sistem tracking menggunakan sensor fotodiode bekerja dengan cukup baik. Terdapat nilai error yang cukup besar yaitu 22,99% pada pengukuran jam 09.00 dimana sudut panel yang terukur sebesar 42,20° sedangkan sudut matahari sebesar 51,54°. Sistem masih dapat membaca pergerakan matahari dengan baik pada intensitas 183x10² Lux dengan akurasi sensor sebesar 93,88%. Sistem memiliki akurasi sebesar 90,72% dan error sebesar 9,28%. Nilai akurasi ini lebih kecil dari sistem tracking menggunakan sensor LDR.

Pengujian Sistem Tracking Menggunakan Sensor Fotodiode Array Merk TSL230R

Pengujian sistem tracking menggunakan sensor fotodiode array dilakukan pada tanggal 22 Juli 2018 dengan sudut deklinasi matahari sebesar 20,24° dan sudut garis lintang selatan sebesar 7,4° sehingga sudut total menjadi 27,64°. Sistem

tracking dibuat miring pada sudut 27,64° menghadap utara. Setiap jam nilai sudut pada sistem tracking, intensitas cahaya dan panjang bayangan benda dicatat. Hasil dari pengukuran yang dilakukan digunakan untuk memperoleh sudut matahari, bias, error dan akurasi. Berikut hasil pengujian sistem tracking panel menggunakan sensor fotodiode *array*.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Tracking Panel Menggunakan Sensor Fotodiode *Array*

Jam	Intensitas Cahaya Matahari (10 ² Lux)	Sudut Panel (°)	Sudut Elevasi Matahari (°)	Bias (°)	Error (%)	Akurasi (%)
9:00	436,2	50,40	49,74	0,66	9,41	90,59
10:00	588,2	64,00	64,69	0,69	8,40	91,60
11:00	672,8	76,20	75,84	0,36	3,79	96,21
12:00	724,2	89,20	90,00	0,80	5,23	94,77
14:00	416,6	117,40	117,88	0,48	3,31	96,69
15:00	479	128,60	129,56	0,96	2,81	97,19
Rata-rata				0,66	5,49	94,51

Berdasarkan hasil pengujian, sistem *tracking* menggunakan sensor fotodiode *array* bekerja dengan baik. Terlihat pada **Tabel 5.** nilai sudut panel sangat mendekati nilai sudut matahari sehingga nilai bias nya hanya sebesar 0,66°. Nilai rata-rata akurasi sistem tracking dengan sensor fotodiode array sebesar 94,51% dan error sebesar 5,49%.

Pengujian Perubahan Daya Sistem Panel Tanpa Tracking dan Sistem Panel dengan Tracking

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan keluaran daya pada panel keadaan tanpa tracking dan panel keadaan tracking. Sistem tracking yang digunakan dalam pengujian ini adalah sistem tracking yang memiliki akurasi yang baik dan konsumsi daya yang efisien. Masing-masing sistem tracking diukur nilai pemakaian konsumsi dayanya. Berikut hasil pengukuran konsumsi daya masing-masing sistem

Tabel 6. Hasil Pengujian Konsumsi Daya Masing-masing Sistem Tracking

	V (volt)	I (mA)	Konsumsi Servo		Konsumsi Total		Daya Total (watt)
			V (volt)	I (mA)	V (volt)	I (mA)	
Konsumsi Arduino LDR	4,82	60,8	4,97	81,43	4,90	142,23	0,70
Konsumsi Arduino Fotodiode	4,88	46,36	4,97	81,43	4,93	127,79	0,63
Konsumsi Arduino Fotodiode Array	4,92	38,2	4,97	81,43	4,95	119,63	0,59

Berdasarkan **Tabel 6.** konsumsi daya masing-masing sistem yaitu, daya sistem tracking menggunakan sensor LDR sebesar 0.7 watt, daya sistem tracking menggunakan sensor fotodiode sebesar 0.63 watt dan daya sistem tracking menggunakan sensor fotodiode array sebesar 0.59 watt. Dari hasil ini nilai sistem tracking menggunakan sensor fotodiode array memiliki nilai yang lebih efisien dibandingkan sistem tracking dengan sensor LDR dan fotodiode. Dalam pengujian akurasi, sistem tracking dengan sensor LDR memiliki akurasi sebesar 95,18%, sistem tracking dengan sensor fotodiode memiliki akurasi sebesar 90,72%, dan sistem tracking dengan sensor fotodiode array memiliki akurasi sebesar 94,51%. Berdasarkan hasil data, sistem tracking dengan sensor fotodiode array memiliki akurasi yang cukup baik dan konsumsi daya yang efisien sehingga sistem ini digunakan dalam pengujian efisiensi sistem panel statis dan sistem tracking panel.

Pengujian dilakukan dengan meletakkan sistem panel tanpa tracking dan sistem tracking secara sejajar. Panel tanpa tracking diletakkan tegak lurus ke arah jam optimal penyinaran yaitu jam 12.00. Sedangkan sistem tracking panel diletakkan menghadap timur dan barat untuk mengikuti arah matahari. Sistem tracking dimiringkan pada sudut tertentu sesuai dengan sudut deklinasi matahari dan sudut lintang tempat pengujian. Pengujian dilakukan dari jam 09.00-15.00 dengan variasi pengukuran satu jam. Setiap satu jam nilai tegangan, arus dan intensitas matahari dicatat. Pengujian yang dilakukan menggunakan variasi beban resistor dari 47, 56, 68, 82, dan 103 . Hasil dari pengukuran nantinya membandingkan hasil keluaran panel tanpa tracking dan keluaran sistem *tracking* yang sudah dikurangi konsumsi daya pemakaiannya. Berikut ini adalah hasil

pengukuran sistem panel surya tanpa *tracking* dan sistem *tracking* panel.

Tabel 7. Hasil pengukuran keluaran sistem panel tanpa *tracking* dan sistem *tracking* panel

Jam	Intensitas Cahaya Matahari	Beban 47					
		Sistem <i>Tracking</i>			Sistem Statis		
		V (volt)	I (A)	Daya (watt)	V (volt)	I (A)	Daya (watt)
9:00	455	17,58	0,37	6,51	15,56	0,33	5,13
10:00	581	17,62	0,37	6,52	16,83	0,35	5,92
11:00	651	17,70	0,37	6,55	17,08	0,36	6,15
12:00	768	17,47	0,38	6,64	17,36	0,36	6,25
13:00	750	17,74	0,38	6,74	17,48	0,36	6,26
14:00	651	17,34	0,38	6,52	16,64	0,34	5,72
15:00	451	17,73	0,38	6,77	15,57	0,33	5,14
Rata-rata		17,60	0,38	6,61	16,64	0,35	5,80

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, nilai keluaran panel surya optimal pada beban 47 . Dapat dilihat dari tabel, daya keluaran panel sistem *tracking* pada pagi dan sore hari memiliki selisih yang cukup besar dibandingkan dengan keluaran sistem statis panel. Hal ini dikarenakan perbedaan sudut datang yang diterima sistem *tracking* panel dan sistem statis panel. Daya keluaran rata-rata sistem *tracking* panel sebesar 6,61 watt dan daya keluaran rata-rata sistem tanpa *tracking* panel sebesar 5,8 watt. Daya keluaran rata-rata sistem *tracking* panel perlu dikurangi dengan konsumsi daya pemakaian yaitu 0,59 watt sehingga daya keluaran sistem *tracking* panel menjadi 6,02 watt. Selisih dari daya keluaran sistem *tracking* dengan sistem tanpa *tracking* adalah 0,22 watt. Hasil ini menunjukkan penggunaan panel sistem *tracking* lebih baik karena terjadi peningkatan daya sebesar 0,22 watt.

KESIMPULAN

Sistem *tracking* telah dibuat menggunakan sensor LDR, fotodiode, dan fotodiode array. Sistem *tracking* dengan sensor LDR memiliki nilai akurasi sebesar 95,18%, sistem dengan sensor fotodiode memiliki nilai akurasi sebesar 90,72%, Sistem *tracking* dengan sensor fotodiode array memiliki nilai akurasi sebesar 94,51%. Sistem dengan menggunakan sensor LDR memiliki akurasi yang paling bagus daripada sistem dengan sensor fotodiode dan fotodiode array. Penggunaan

sistem *tracking* panel surya membuat peningkatan daya keluaran panel sebesar 0,22 watt dibandingkan dengan sistem tanpa *tracking*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] ESDM, Statistik Ketenagalistrikan 2014 Edisi No. 28 Tahun Anggaran 2015. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2015).

[2] Hardianto, H. E., & Rinaldi, R. S., Perancangan Prototype Penjejak Cahaya Matahari Pada Aplikasi Pembangkit Listrik, 2(2), 208–215 (2012).

[3] Tamimi, S., Indrasari, W., & Iswanto, B. H., Optimasi Sudut Kemiringan Panel Surya Pada Prototipe Sistem Penjejak Matahari Aktif, E-Journal Seminar Nasional Fisika 2016, V, 53–56 (2016).

[4] Arjyadhara, P., Ali, S. M., & Chitralekha, J., Analysis of Solar PV cell Performance with Changing Irradiance and Temperature. International Journal Of Engineering And Computer Science, 2(1), 214–220 (2013).

[5] Yuwono, B., Optimalisasi Panel Sel Surya dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51. Surakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNS Surakarta, (2005).

[6] Wiranatha, Y., Kusuma, J., Soedjarwanto, N., Trisanto, A., & Despa, D., Rancang Bangun Penggerak Otomatis Panel Surya Menggunakan Sensor Photodiode Berbasis Mikrokontroler Atmega 16. Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro, Vol.9 No.1, 11–20 (2015).

[7] Pandiangan, J., Perancangan dan Penggunaan Photodiode Sebagai Sensor Penghindar Dinding pada Robot Forklift. Medan: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Univesitas Sumatera Utara (2007).

[8] Giancoli, D. C., Fisika Edisi Kelima Jilid 2. Jakarta: Erlangga. (2001).

[9] TAOS. TSL230R–LF, TSL230AR–LF, TSL230BR–LF Programmable light-to-frequency converters. Plano: TAOS Inc. (2006).

[10] Haidar, A. M. A., Benachaiba, C., & Zahir, M., Software interfacing of servo motor with microcontroller. Journal of Electrical Systems, 9(1), 84–99 (2013).

[11] Everlight. 3mm Photodiode PD204-6C/L3. Everlight. (2010).