

Efek kuat arus dan waktu proses elektroplating pada material baja

Karwita Mustopa^{1*}, Abdul Hadi², Egi Nuraliansyah³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang,
HS. Ronggo Waluyo Puseurjaya, Kec. Telukjambe Timur, Kabupaten Karawang, Jawa Barat 41361

*Email: 1810631150004@student.unsika.ac.id

ABSTRAK

Proses pelapisan logam banyak sekali dilakukan terutama pada bidang industri, salah satu proses pelapisan logam itu adalah elektroplating. Elektroplating atau biasa disebut dengan lapis listrik adalah suatu proses pengendapan logam pada permukaan suatu logam atau non logam (benda kerja), secara elektrolisa. Endapan yang terjadi bersifat adhesif terhadap logam dasar. Logam-logam yang dapat digunakan sebagai pelapis adalah nikel, chromium, mangan, arsen, platinum, aurum, plumpun, dan lain-lain. Pada penelitian ini proses elektroplating menggunakan mesin elektroplating buatan sendiri, menggunakan mesin itu dilakukan percobaan untuk meneliti pengaruh kuat arus dan waktu proses elektroplating dengan nikel terhadap kekerasan dan laju korosi baja. Variasi kuat arus yang digunakan adalah 2 dan 3 ampere, sedangkan untuk variasi waktu proses elektroplating digunakan 10, 15, dan 20 menit. Dari hasil penelitian, dapat diperoleh bahwa semakin besar kuat arus dan semakin lama proses elektroplating yang diterapkan pada baja SS400, maka akan semakin tinggi nilai kekerasannya. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan kuat arus 3 ampere dan waktu pencelupan selama 15 dan 20 menit yaitu 20,17 HRc. Semakin besar kuat arus dan semakin lama proses elektroplating yang diterapkan pada baja SS400, maka akan menurunkan laju korosinya. Laju korosi terendah diperoleh pada proses elektroplating dengan kuat arus 3 ampere dan waktu pencelupan selama 20 menit yaitu $4,61 \times 10^{-6}$ mmpy.

Kata Kunci: arus, elektroplating, waktu.

ABSTRACT

Metal coating process is done a lot, especially in the industrial field, one of the metal coating process is electroplating. Electroplating or commonly referred to as electricity is a process of metal deposition on the surface of a metal or non-metal (workpiece), electrolysis. The precipitate that occurs is adhesive to the base metal. The metals that can be used as coatings are nickel, chromium, manganese, arsenic, platinum, aurum, plumpun, and others. In this study the electroplating process using a homemade electroplating machine, using the machine was conducted an experiment to examine the effect of current and time of electroplating with nickel on the hardness and corrosion rate of steel. Variations in current strength used are 2 and 3 amperes, while for variations of the time the electroplating process is used 10, 15, and 20 minutes. From the results of the study, it can be obtained that the greater the current strength and the longer the electroplating process applied to SS400 steel, the higher the hardness value. The highest hardness value is found in specimens with a current of 3 amperes and a dyeing time of 15 and 20 minutes, namely 20.17 HRc. The greater the current strength and the longer the electroplating process applied to SS400 steel, the lower the corrosion rate. The lowest corrosion rate was obtained in the electroplating process with a current of 3 amperes and a dyeing time of 20 minutes ie 4.61×10^{-6} mmpy.

Keywords: electroplating, flow, time

1. PENDAHULUAN

Proses pelapisan logam sangat banyak dilakukan terutama pada bidang industri, salah satu proses pelapisan logam itu adalah elektroplating. Elektroplating atau biasa disebut dengan lapis listrik adalah suatu proses pengendapan logam pada permukaan suatu logam atau non logam (benda kerja), secara elektrolisa. Endapan yang terjadi bersifat *adhesive* terhadap logam dasar. Logam-logam yang dapat digunakan sebagai pelapis adalah nikel, chromium, mangan, arsen, platinum, aurum, plumpun, dan lain-lain [1, 2]. Salah satu logam yang digunakan sebagai pelapis pada plat baja, tembaga atau logam lain agar terlindungi dari korosi dan menghasilkan permukaan yang halus serta mempunyai bentuk yang mengkilap adalah nikel. Nikel tahan terhadap panas, tahan korosi, tidak rusak oleh air laut dan alkali. Nikel bisa rusak oleh asam nitrat dan sedikit terkorosi oleh asam khlor dan asam sulfat [3, 4].

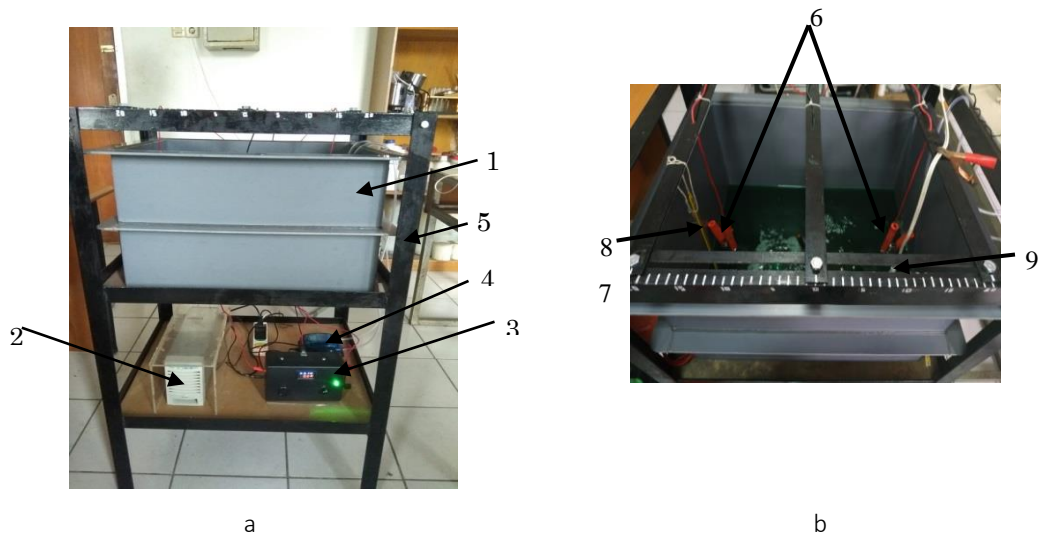
Dalam teknologi pengerjaan logam, proses elektroplating atau lapis listrik termasuk kedalam proses pengerjaan akhir (metal finishing). Fungsi utama dari pelapisan logam adalah melindungi logam dasar dari korosi baik itu melindungi dengan logam yang lebih mulia seperti pelapisan platina, emas dan baja atau melindungi dengan logam dasar yang kurang mulia seperti pelapisan seng pada baja [1]. Elektroplating juga memperbaiki kehalusan atau bentuk permukaan dan toleransi logam dasar, misalnya: pelapisan nikel, dan chromium [1]. Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh suhu dan waktu pelapisan tembaga-nikel pada baja karbon rendah secara elektroplating terhadap nilai ketebalan dan kekerasan. Dari hasil yang didapat diketahui bahwa ketebalan lapisan tembaga menyamai secara teori dan eksperimen terjadi pada suhu 40°C dengan waktu 10 menit yaitu 42.8µm, sedangkan untuk lapisan nikel terjadi pada suhu 65°C dengan waktu 20 menit 65.4 µm. Dengan semakin tingginya suhu operasional nilai kekerasan permukaan dan ketebalan lapisan semakin meningkat [5].

Penelitian mengenai pengaruh variasi kuat arus listrik dan waktu proses elektroplating terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan ketebalan lapisan pada baja karbon rendah dengan krom. Dari penelitian ini didapatkan ketebalan spesimen hasil proses elektroplating semakin meningkat seiring bertambahnya arus dan waktu yang diberikan atau dapat dikatakan berbanding lurus dengan naiknya arus dan waktu, Kekerasan yang di hasilkan berbanding lurus dengan kuat arus dan waktu dimana hasil kekerasan yg tertinggi dengan arus 27,3 A dan waktu 15 menit adalah 239,58 kg/mm² atau 12,621 % lebih keras dibandingkan raw material. Untuk hasil uji tariknya, di mana perbedaan kekuatan tarik raw material dengan nilai tertinggi adalah 6,65% dimana nilai tertinggi 627,8 N/m² [4]. Berdasarkan uraian diatas maka penulis mencoba untuk menganalisis pengaruh waktu dan kuat arus proses elektroplating terhadap kekerasan dan laju korosi baja menggunakan pelapisan nikel. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data nilai kekerasan dan nilai laju korosi dari pengaruh elektroplating dengan variasi besar arus listrik 2ampere dan 3 ampere, serta lama waktu pencelupan proses elektroplating 10, 15, dan 20 menit.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan alat yang dirancang sendiri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Alat Elektroplating dan komponennya disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. a) alat elektroplating tampak depan, b) alat elektroplating tampak atas

Keterangan :

1. Bak penampung elektrolit
2. Rectifer
3. Box Kontroler
4. Airator
5. Rangka
6. Penjepit anoda
7. Penjepit katoda
8. Termometer
9. *Heater/ pemanas*

Alat yang digunakan pada penelitian ini di antaranya adalah mesin gerinda, alat uji kekerasan (Rockwell), kertas universal, neraca digital, timer, gelas ukur, termometer, amplas, pemanas air. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: baja SS400, nikel sulfat, nikel *chloride* ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), asam borat (H_2BO_3), nikel *brightener* (Nisol 1206), nikel *brightener* (Nisol 1207), natrium hidroksida (NaOH), asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), anoda nikel, air laut.

2.2 Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian dibagi menjadi 3 tahap, yaitu tahap preparasi sampel baja, tahap pembuatan larutan elektrolit dan proses elektroplating serta tahap pengujian kekerasan dan laju korosi baja.

2.2.1 Preparasi Sampel Baja

Sampel baja yang digunakan dipreparasi dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Memotong spesimen uji menggunakan gerinda tangan.
- b. Membersihkan baja dan memperhalus permukaannya menggunakan amplas.
- c. Mencuci baja kedalam air bersih.

- d. Masukkan benda kerja kedalam larutan NaOH 10g/lit pada temperatur 60°C lalu dicuci dengan air bersih.
- e. Rendam kedalam larutan HCl 10% selama 5 menit untuk menghilangkan karatnya kemudian bilas dengan air bersih.
- f. Rendam kedalam larutan H₂SO₄ 5% kemudian bilas dengan air bersih.

2.2.2 Pembuatan Larutan Elektrolit dan Proses Elektroplating

Pembuatan larutan elektrolit

Komposisi larutan elektrolit terdiri dari:

NiSO ₄ 7H ₂ O	260gram/liter
NiCl ₆ H ₂ O	35 gram/liter
H ₂ BO ₃	35 gram/liter
Nisol 1206	30 CC
Nisol 1207	10 CC

1. Panaskan aquades sampai suhu 40°C
2. Masukkan NiSO₄ 7H₂O kedalam aquades yang sudah dipanaskan kemudian aduk sampai larut semua
3. Masukkan NiCl₆H₂O, aduk sampai larut semua
4. Masukkan H₂BO₃, aduk sampai semua bahan larut
5. Masukkan Nisol 1206 dan 1207, kemudian aduk sampai semua bahan menjadi larut

Proses elektroplating

Langkah-langkah proses elektroplating antara lain adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan Nikel (anoda) ke kutub positif dan baja SS400 (katoda) ke kutub negatif.
2. Melakukan proses elektroplating dengan variasi kuat arus (2 dan 3 Amper) dan waktu elektroplating (10, 15, dan 20) menit
3. Memutuskan arus setelah selesai elektroplating dan mengangkat benda uji.
4. Mencuci dan mengeringkan baja hasil elektroplating.
5. Menimbang sampel hasil elektroplating

2.3 Pengujian Kekerasan dan Laju Perhitungan Laju Korosi Baja

Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan mesin *Rockwell* dengan beban 150 kgf. Langkah-langkah pada pengujian kekerasan adalah:

1. Pemasangan landasan dan penekanan.
2. Putar landasan sampai mendekati spesimen
3. Atur skala pada C (pembebanan 150 kgf)
4. Tarik *handel* pembebanan ke depan, tunggu 45 detik
5. *Handel* beban ditarik ke belakang
6. Baca skala kekerasan

Pengujian laju korosi

Tahap-tahap yang dilakukan untuk menentukan laju korosi spesimen uji adalah sebagai berikut:

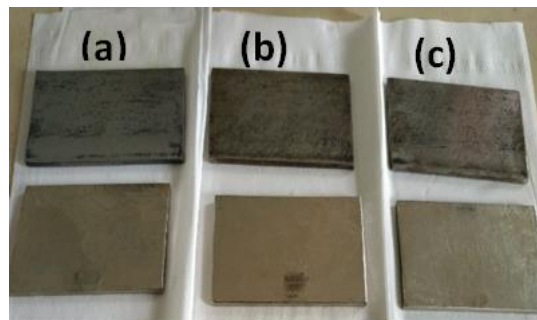
1. Menyiapkan medium korosif yaitu air laut kedalam wadah
2. Merendam baja yang belum dielektroplating dan yang sudah dielektroplating dalam medium selama 725 jam.
3. Membersihkan sampel yang telah korosif direndam dan menimbangnya setelah kering
4. Menghitung laju korosinya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan dari pengujian elektroplating adalah berupa spesimen *raw material* yang belum di-electroplating dan spesimen hasil electroplating dengan variasi arus 2 dan 3 ampere serta waktu pencelupan 10,15, dan 20 menit. Selanjutnya spesimen tersebut akan diuji kekerasan serta laju korosinya.

3.1 Foto Mikro Hasil Pelapisan Nikel

Foto makro hasil pelapisan nikel merupakan foto perbandingan antara spesimen yang belum dilapisi oleh nikel atau raw material dengan spesimen yang telah dilapisi nikel dengan variasi arus dan waktu yang telah ditentukan [6]. Hasil foto pelapisan dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



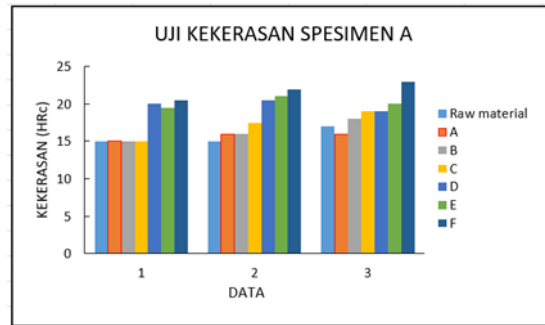
Gambar 2. Foto makro hasil pelapisan nikel

Gambar 2 (a) merupakan hasil pelapisan nikel dengan waktu 10 menit, dari hasil foto makro terlihat nikel yang menempel masih kurang rata dan terlihat masih belum sempurna dan agak kasar. Gambar 2 (b,c) pelapisan nikel dengan waktu pencelupan 15 dan 20 menit, dari hasil foto makro terlihat mirip, namun pada spesimen (b) 15 menit pencelupan terlihat nikel yang menempel masih kurang dibandingkan dengan spesimen (c), terlihat nikel yang menempel sudah merata dan permukaannya lebih halus.

Hal ini disebabkan waktu pencelupan mempengaruhi proses perpindahan ion positif ke negatif pada proses pelapisan elektroplating, proses ini membuktikan bahwa hasil pelapisan dipengaruhi oleh arus, waktu yang digunakan, sebagaimana penelitian yang Ahmad [7] menggunakan metode electroplating dengan variasi waktu pelapisan 4, 8, dan 12 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama proses pencelupan maka akan semakin tebal nikel yang menempel pada spesimen uji [1]. Waktu pencelupan yang lama akan menyebabkan waktu perpindahan ion positif ke negatif lebih lama.

3.2 Uji Kekerasan

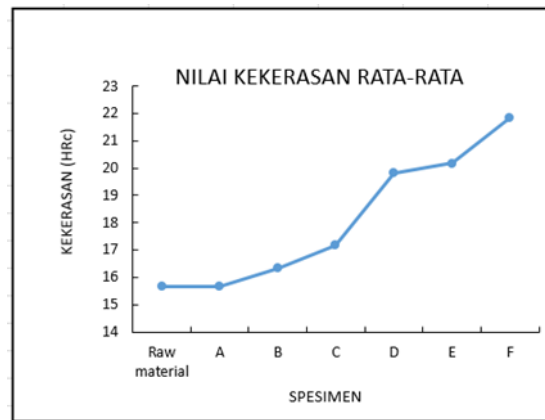
Uji kekerasan pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Akademi Teknik Mesin Industri Cikarang. Data kekerasan benda uji diperoleh melalui pengujian kekerasan dengan menggunakan alat uji Rockwell, Indentor yang digunakan adalah kerucut intan dengan sudut puncak 120° yang ditekan pada permukaan benda uji selama 45 detik dengan beban 150 kgf. Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan spesimen sebanyak 3 kali.



Gambar 3. Perbandingan nilai data uji keras

Elektroplating terhadap nilai kekerasan spesimen. Setiap spesimen dilakukan pengujian kekerasan sebanyak 3 kali. Selain itu pengaruh kuat arus dan waktu pencelupan proses elektroplating pada nilai kekerasan spesimen juga ditunjukkan seperti pada Gambar 3-4.

Dapat dilihat pada Gambar 4 menunjukkan grafik hasil uji kekerasan spesimen sebelum dan setelah di elektroplating. Pada spesimen 1 yang diproses dengan kuat arus 2 ampere



Gambar 4. Nilai kekerasan rata-rata

Waktu pencelupan selama 10 menit, nilai rata-rata kekerasannya sama dengan raw material yaitu 15,67 HRc. Nilai kekerasan tertinggi ada pada spesimen 5 dan 6 yaitu spesimen dengan kuat arus 30 ampere dengan waktu pencelupan 15 dan 20 menit, dengan rata-rata nilai kekerasan sebesar 20,17 HRc.

Tabel 1. Data hasil uji laju korosi

Spesimen	Kuat Arus (Ampere)	waktu Pencelupan (Detik)	Massa spesimen			Nilai Laju Korosi (mmpy)
			Sebelum Direnda m (gr)	Setelah Direnda m (gr)	Massa yang Hilang	
Raw Material			46.72	46.65	0.07	2424.25
1	2	600	44.12	44.07	0.05	1731.61
2	2	900	46.22	46.18	0.04	1385.28
3	2	1200	45.3	45.26	0.04	1385.28
4	3	600	46.1	46.07	0.03	1038.96
5	3	900	49.01	49	0.01	346.32
6	3	1200	47.62	47.61	0.01	346.32

Hasil pengujian tersebut sesuai dengan penelitian Darmawan D.P, et al. [8] meneliti tentang pengaruh variasi kuat arus listrik dan waktu proses elektroplating terhadap kekuatan tarik, kekerasan, ketebalan lapisan pada baja karbon rendah dengan krom. Kekerasan tertinggi yang diperoleh pada arus 27,3 ampere selama 15 menit sebesar 3,58 VHN [8].

Pada Gambar 4 terlihat grafik nilai kekerasan yang cenderung naik, tapi ada di beberapa spesimen yang nilai kekerasannya tetap. Hal ini disebabkan karena lapisan yang dihasilkan sampel kurang bagus dan lapisan tidak merata, tapi secara rata-rata nilai kekerasan spesimen hasil elektroplating kekerasannya meningkat dibandingkan dengan nilai kekerasan pada *raw material*

3.3 Uji Laju Korosi

Korosi dapat dikatakan sebagai penurunan kualitas logam. Korosi dapat terjadi akibat reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan. Salah satu kondisi lingkungan yang sering mengakibatkan korosi pada besi adalah air laut. Untuk mengetahui nilai laju korosi pada material, maka spesimen dilakukan perendaman pada air laut. Spesimen berukuran 40mm x 40mm x 4mm dan mempunyai luas permukaan 3840 mm², direndam dalam air laut selama 725 jam. Spesimen ditimbang sebelum dan setelah direndam pada air laut, untuk dapat dihitung nilai laju korosinya menggunakan persamaan berikut.

$$CR = \frac{K.W}{A.T.\rho} \quad (1)$$

dimana: CR : Laju korosi (mmpy)

K : Konstanta laju korosi

W : Selisih massa (gr)

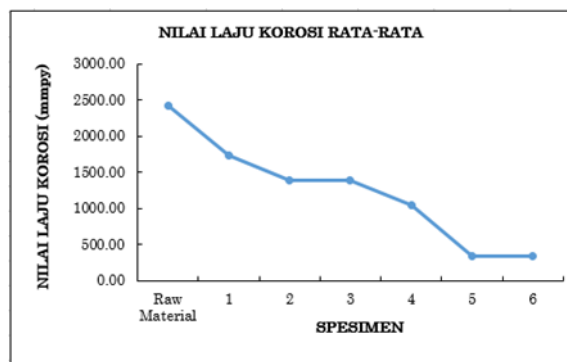
T : Waktu perendaman (jam)

A : Luas permukaan (cm²)

ρ : Massa jenis baja (gr/cm³)

Pada Tabel 1 menunjukkan data-data yang didapatkan sebelum dan setelah dilakukan uji korosi, dengan menggunakan data-data tersebut dapat dihitung juga laju korosinya dengan memasukkannya ke persamaan diatas.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa besarnya kuat arus dan lamanya waktu proses pencelupan berpengaruh pada nilai laju korosinya. Semakin lama waktu proses elektroplating semakin baik juga laju korosinya, begitu pula dengan arus yang digunakan semakin besar kuat arus yang digunakan semakin bagus juga laju korosinya. Nilai laju korosi tertinggi terdapat pada raw material yaitu 2424.25 mmpy, dan nilai laju korosi terendah terdapat pada spesimen 6 yaitu 346.32 mmpy.



Gambar 5. Hasil uji korosi

3.4 Daya dan Energi Listrik yang Digunakan

Pada proses elektroplating yang dimana pengerjaannya memerlukan kuat arus dan waktu pencelupan, maka perlu kita hitung juga berapa daya dan energi yang dibutuhkan untuk proses elektroplating tersebut. Untuk mencari daya dan energi dapat diketahui menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \quad (2)$$

$$P = \frac{W}{t} \quad (3)$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

I = Kuat arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

W = Energi listrik (Joule)

t = Waktu (Detik)

Pada proses elektroplating ini didapatkan daya dan energi yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Data hasil perhitungan daya dan energi

Spesimen	Kuat arus (ampere)	Waktu pencelupan (detik)	Tegangan (volt)	Daya (watt)	Energi (joule)
1	2	600	4	8	4800
2	2	900	4	8	7200
3	2	1200	4	8	9600
4	3	600	6	18	10800
5	3	900	6	18	16200
6	3	1200	6	18	21600

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa kuat arus dan waktu pencelupan akan mempengaruhi pada daya dan energi listrik yang digunakan, semakin besar kuat arus dan waktu pencelupan maka akan semakin besar pula daya dan energi listrik yang digunakan. Daya dan energi listrik paling besar terdapat pada proses elektroplating spesimen 6 dengan kuat arus 3 ampere dan waktu pencelupan 1200 detik dengan nilai daya 18 watt dan energi listrik 21600 joule atau 21,6 KJ.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa semakin besar kuat arus dan semakin lama proses elektroplating yang diterapkan pada baja SS400, maka akan semakin tinggi nilai kekerasannya. Dan semakin besar kuat arus dan semakin lama proses elektroplating yang diterapkan pada baja SS400, maka akan menurunkan laju korosinya. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan kuat arus 3 ampere dan waktu pencelupan selama 15 dan 20 menit yaitu 20,17 HRc. Dan laju korosi terendah diperoleh pada proses elektroplating dengan kuat arus 3 ampere dan waktu pencelupan selama 20 menit yaitu 346.32 mmpy.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Paridawati, "Analisa besar pengaruh tegangan listrik terhadap ketebalan pelapisan chrome pada pelat baja dengan proses electroplating," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unisma "45" Bekasi*, vol. 1, no. 1, pp. 36-44, 2013 2013.
- [2] Najamudin, Z. Muhamad, and Kunarto, "Analisis sifat mekanis pada logam dengan metode pelapisan vernikel-chrome yang dipengaruhi waktu pelapisan," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 19-27, 2019.

- [3] R. Ornelasar, "Analisa laju korosi pada stainless steel 304 menggunakan metode ASTM G31-72 pada media air nira aren," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 112-117, 2015.
- [4] N. Nugraha, M. Azis, O. Fauzi, and I. Ulum, "Pengujian mesin komposter komunal sampah rumah tangga tipe rotary horizontal kapasitas 40 kg," *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 8-13, 2020.
- [5] A. T. Mulyadi, "Pengaruh Variasi Waktu Elektroplating Tembaga, Nikel dan Tembaga-Nikel-Ferro Terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon Rendah," Sarjana Skripsi, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 2018.
- [6] P. Puspitasari, Wahono, R. A. Dwiyanana, and J. W. Dika, "Analysis of thickness and colour changes of medium carbon steel subjected to nickel electroplating," vol. 1887, no. 1, p. 020078, 2017, doi: 10.1063/1.5003561.
- [7] M. A. Ahmad, "Analisa pengaruh besar tegangan listrik terhadap ketebalan pelapisan chrom pada pelat baja dengan proses elektroplating," Sarjana Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2011.
- [8] A. S. Darmawan D.P, I. D. Ketut Okariawan, and N. H. Sari, "Pengaruh variasi kuat arus listrik dan waktu proses electroplating terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan ketebalan lapisan pada baja karbon rendah dengan krom," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, 2015-07-30 2015. [Online]. Available: <http://dinamika.unram.ac.id/index.php/DTM/article/view/31>.

Pengaruh air mass matahari terhadap kinerja sel surya (*photovoltaic*) tipe polycrystalline

Mustofa

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

Jl. Soekarno-Hatta Km. 9, Tondo, Mantikulore, Palu

Email: mustofauntad@gmail.com

ABSTRAK

Banyak parameter yang mempengaruhi kinerja panel *photovoltaic* (PV). Parameter seperti debu, suhu, polusi, kelembaban dan radiasi matahari adalah yang umum. Ada juga parameter lain yang masih jarang diteliti. Parameter ini merupakan pengaruh perubahan spektrum massa udara atau *air mass* (AM) sinar matahari yang mencapai permukaan bumi. Konsep AM adalah pembiasan udara yang mengacu pada panjang gelombang yang melewati pembiasan atmosfer, karena pembiasan atmosfer membelokkan jalur sinar matahari dari atmosfer ke permukaan bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh AM surya terhadap performansi PV tipe *polycrystalline*. AM yang akan dihitung besarnya adalah pada panel PV dengan sudut elevasi 30° dan 40°. Hasil penelitian menunjukkan efek AM terlihat jelas pada arus, tegangan dan penyinaran sinar matahari yang diterima oleh PV, dimana efisiensi tertinggi diperoleh pada AM sekitar 1,5 dan pada sudut 40° dengan efisiensi 10,60%, karena AM 1,5 angka dari pengamatan menunjukkan posisi matahari tepat di atas ufuk. sehingga hamburan cahaya mengenai permukaan PV dengan melihat posisi sudut *zenith* tegak lurus atmosfer. AM 1.5 ini juga digunakan sebagai standar laboratorium dan simulasi untuk penelitian PV.

Kata kunci: *air mass*, arus, PV *polycrystalline*, sudut elevasi, tegangan.

ABSTRACT

Many parameters affect the performance of photovoltaic (PV) panels. Parameters such as dust, temperature, pollution, humidity and solar radiation are common. There are also other parameters that are still rarely studied. This parameter is the effect of changes in the air mass spectrum or air mass (AM) of sunlight reaching the earth's surface. The concept of AM is air refraction which refers to the wavelength that passes through the refraction of the atmosphere, because atmospheric refraction bends the path of sunlight from the atmosphere to the earth's surface. This study aims to determine the effect of solar AM on the performance of polycrystalline PV types. AM that will be calculated is the PV panel with elevation angles of 30 °and 40°. The results showed that the effect of AM was clearly visible on the current, voltage and sunlight received by the PV, where the highest efficiency was obtained at AM around 1.5 and at an angle of 40° with an efficiency of 10.60%, because AM 1.5 is the number of observations. shows the position of the sun directly above the horizon. so that the scattering of light hits the PV surface by looking at the zenith angle position perpendicular to the atmosphere. AM 1.5 is also used as a laboratory and simulation standard for PV research.

Keywords: *air mass*, elevation angle, current, voltage, polycrystalline PV

1. PENDAHULUAN

Sel surya merupakan teknologi yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Masalah utama dari *Photovoltaic* (PV) adalah besarnya daya keluaran yang dihasilkan relatif tidak konstan karena dipengaruhi oleh besarnya penyinaran matahari. Semakin besar radiasi matahari yang diterima oleh panel maka semakin besar pula kemungkinan daya yang dapat dibangkitkan oleh PV [1]. Nilai irradians yang diterima oleh panel PV umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti letak astronomis dari lokasi pemasangan panel, pergerakan semu harian dan tahunan matahari serta cuaca [2].

Roumpakias, et al. [3] menyatakan bahwa hamburan partikel debu pada permukaan PV maupun yang beterbangan di udara dan uap air, dapat menyebabkan penurunan kinerja pada sensor, faktor tersebut berkaitan dengan *air mass* (AM). Pencemaran partikel pada permukaan PV membuat radiasi matahari yang dihamburkan oleh partikel memiliki distribusi sudut. Semakin rendah ketinggian matahari, semakin tinggi perbedaan antara efisiensi teoritis dan terukur. Perbedaan sudut dan AM harus diperhitungkan dan diukur yang diamati selama sinar matahari cerah dari pagi hingga sore hari yang terkait dengan AM tinggi.

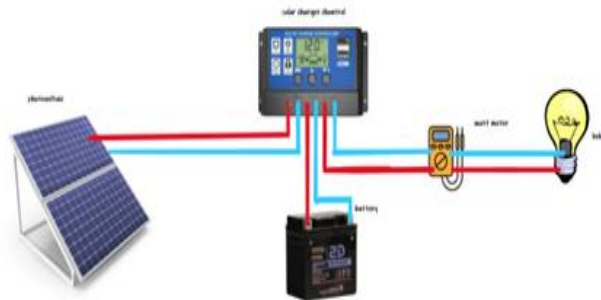
Selanjutnya pada penelitian Bora, et al. [4] pengamatan menggunakan 3 jenis modul panel PV; silikon amorf, HIT dan silikon multi kristal yang menempatkan panel pada ketinggian 28^o menghadap ke selatan, peneliti membandingkan penggunaan daya keluaran PV dengan metode AM dan penyinaran energi surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kesalahan menggunakan parameter standar AM adalah lebih kecil dibandingkan dengan penyinaran matahari ke permukaan modul PV. Studi yang sama digunakan untuk beberapa jenis panel PV komersial. Ini adalah panel kristal tunggal dan silikon multikristalin (Si) serta kristal film tipis (CIS) dan dua persimpangan tunggal perangkat Si amorf, masing-masing ditandai sebagai TJ. Pengaruh massa udara dan waktu matahari pada kinerja jenis panel sel surya di atas dievaluasi selama dua belas bulan di Baghdad [5].

Setahun kemudian, Rida, et al. [6] dalam studi topik yang sama membuktikan bahwa parameter AM berpengaruh terhadap peningkatan kinerja PV. Hal ini terlihat dari peningkatan nilai AM yang diikuti dengan peningkatan arus pada rangkaian dan kinerja modul [7]. Namun, Alboteanu, et al. [7] hanya dengan simulasi dan validasi dengan tambahan cermin kiri-kanan pada PV untuk menurunkan tingkat radiasi surya, sementara Tira, et al. [8] menggunakan emulator surya dengan cahaya bohlam.

Dari beberapa penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa AM ditentukan oleh sudut elevasi matahari atau secara empiris letak geografis lokasi pengamatan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan di lingkungan kampus Universitas Tadulako Palu yang secara astronomis terletak antara 0^o.36" sampai dengan 0^o.56" LS dan 119^o.45" sampai 121^o.1" BT. Terletak di daerah berbentuk lembah yang dikelilingi oleh pegunungan, sehingga efek AM perlu diselidiki untuk melihat kinerja PV. Parameter lingkungan merupakan faktor yang tidak kalah penting untuk diperhatikan karena dapat mempengaruhi kinerja PV [9]. Parameter lingkungan yang dimaksud adalah angin dan debu di udara, namun fokus penelitian ini adalah nilai AM.

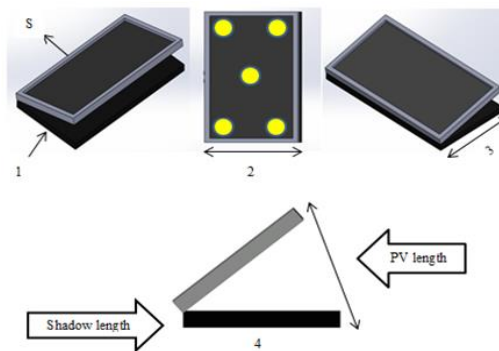
2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di ruang terbuka depan gedung jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako Palu. Letak geografis Palu adalah antara 0^o.36"-0^o.56" LS dan 119^o.45" - 121^o.1" BT. Panel PV tipe *polycrystalline* digunakan dengan daya 50 Wp dan dimensi panel adalah 700 x 510 x 30 mm. Skema pengamatan menggunakan rangkaian seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema diagram pengujian AM PV

Pada Gambar 1, panel surya terhubung ke *solar charge controller* (SCC), baterai dan beban. Daya keluaran panel PV diukur dengan multimeter digital. Penempatan panel mengikuti tata letak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Set-up panel surya pengukuran air mass

Tahap pengumpulan data dimulai dengan menghubungkan komponen alat ukur ke panel surya Polycrystalline dengan sudut elevasi PV 30 dan 40° menghadap matahari di pagi hari. Hal ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Bora, et al. [4] yang hanya menggunakan satu sudut elevasi 28°, penelitian ini membandingkan 2 sudut elevasi panel. Pengukuran suhu PV menggunakan termometer digital inframerah pada 5 titik di permukaan panel surya. Ini memberikan akurasi pengukuran karena dirata-ratakan di semua sisi. Selanjutnya mengukur penyinaran sinar matahari menggunakan *solar power meter* setiap 10 menit dari pukul 09.00 s.d. 15.00. Perhatikan pembiasan sinar matahari berdasarkan bayangan yang tegak lurus terhadap modul PV kemudian ukur panjang bayangan panel sebagai dasar perhitungan AM.

2.1 Perhitungan kinerja PV

Efisiensi photovoltaic dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\eta_{PV} = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \quad (1)$$

dengan:

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$P_{in} = GA_{PV}$$

$$P_{max} = \text{Daya keluaran maks. PV (W)}$$

$$P_{in} = \text{Daya masukan iradians surya (W)}$$

$$V_{oc} = \text{Tegangan hubung terbuka (V)}$$

$$I_{sc} = \text{Arus hubung singkat (A)}$$

$$A_{PV} = \text{Luas permukaan PV (m}^2\text{)}$$

$$G = \text{Iradiasi surya (W/m}^2\text{)}$$

Karakteristik penting lainnya untuk sel surya adalah *Fill Factor* (FF), yang diperoleh dari persamaan (2).

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} V_{oc}} = \frac{I_{mp} V_{mp}}{I_{sc} V_{oc}} \quad (2)$$

dengan:

$$(V_{mp}, I_{mp}) = \text{Titik maks. arus-tegangan [V, A]}$$

2.2 Perhitungan *air mass*

(a) Sudut jam [10]

$$\alpha = \frac{360}{24}(t - 12) \quad (3)$$

dengan:

t = waktu dengan persamaan

$$t = \text{jam} \times 60 + \frac{\text{min}}{60} \quad (4)$$

dengan:

jam = waktu pengumpulan data

min= menit

(b) Sudut Zenith (θ_z)

$$\theta_z = 90^\circ - \varepsilon \quad (5)$$

Untuk mendapatkan nilai ε digunakan persamaan (6).

$$\tan \varepsilon = \frac{\text{lenght of PV}}{\text{legth of shadow}} \quad (6)$$

(c) Persamaan *Air mass*

$$AM1 = \frac{1}{\cos(\theta_z) + 0.50572(96.07995 - \theta)^{-1.6364}} \quad (7)$$

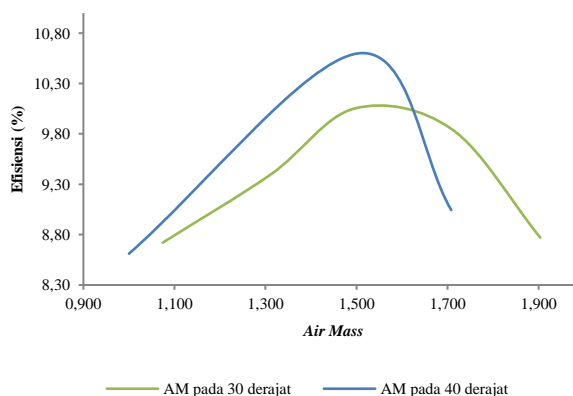
Kasten and Young [9] merevisi perhitungan AM dan menghasilkan persamaan (8).

$$AM2 = \frac{1,002432 \cos^2 z_t + 0,148386 \cos z_t + 0,0096467}{\cos^3 z_t + 0,149864 \cos^2 z_t + 0,0102963 \cos z_t + 0,000303978} \quad (8)$$

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kinerja panel surya tergantung pada banyak faktor seperti massa udara yang berpengaruh pada distribusi spektral yang mencapai Bumi atau permukaan panel surya. Dalam makalah ini kinerja panel sel surya *polycrystalline* dievaluasi dengan mempelajari pengaruh massa udara dan waktu matahari terhadap daya keluaran maksimum selama tiga bulan dari Januari hingga Maret. Dengan menggunakan persamaan (1) sampai (8) dan memasukkan data observasi maka akan diperoleh hasil sebagai berikut. Luas PV 0,3566 m², FF 0,79, P_{in} 421, 163 W, P_{max} 44,64 W, dan η_{PV}=10,60%.

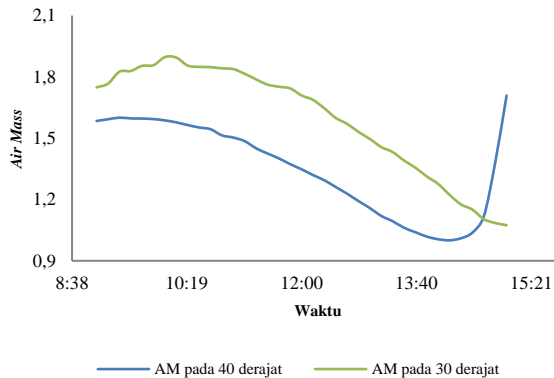
Gambar 3 menunjukkan pengaruh AM terhadap efisiensi, dimana AM 1.5 memiliki efisiensi tertinggi sebesar 10,60% pada sudut kemiringan PV 40°. Jelas bahwa arus yang dihasilkan oleh modul PV lebih besar daripada pada sudut 30°. Hal ini disebabkan perbedaan suhu permukaan PV, dimana suhu PV pada 30° lebih besar dibandingkan yang 40° akibat panjang bayangan PV dari penyinaran surya panel yang menghadap ke selatan tersebut. Perbedaan hari pengambilan data juga menjadi faktor penentu dalam menentukan pengaruh AM terhadap efisiensi karena cuaca berubah setiap hari sehingga penyinaran matahari juga tidak konstan. Hasil ini juga membuktikan perbedaan empiris dengan lokasi pengamatan yang dilakukan oleh Roumpakias, et al. [3], dimana kinerja menurun pada sudut elevasi 45°, tapi tidak dijelaskan sudut persisnya. Kemungkinan perbedaan ini juga terjadi karena tipe PV yang digunakan berbeda. Mereka menggunakan PV *multicrystalline*.



Gambar 3. Kinerja modul PV pada kemiringan 30 dan 40° dalam massa udara

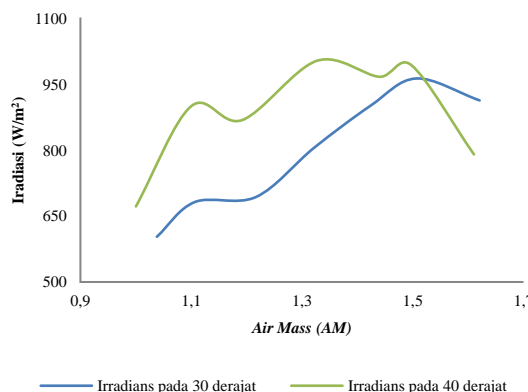
Dengan menggunakan persamaan (8) diperoleh nilai AM1 sebesar 1.503 dan AM2 1.532. Hasil nilai AM1 lebih mudah didapat daripada AM2. Selisih hasil AM1 dan AM2 untuk sudut 40° adalah sekitar 1,2%, sudut dan untuk sudut 30° memiliki perbedaan sekitar 1,28% hingga 1,3%. Namun, nilai AM2 lebih akurat. Gambar 4 menunjukkan tren penurunan kurva nilai massa udara seiring dengan menurunnya sudut zenith matahari di atas kepala. Artinya, sudut bayangan akan berkurang pada objek panel PV. Artinya nilai iradiasi meningkat, tetapi massa udara berkurang.

Nilai AM optimum diperoleh antara pukul 10:50-12:30 dan minimum pada jam 15:00 WITA. Perbedaan waktu AM optimum disebabkan oleh pembiasan cahaya matahari ke PV dan sudut PV yang digunakan. Yang menarik dari kurva ini adalah AM mendekati pukul 15:00-15:21 atau 15:21 pada elevasi PV 30°. Kenaikan nilai massa udara pada pukul sekitar pukul 15:00 disebabkan oleh bertambahnya panjang jatuhnya bayangan PV dibandingkan dengan panjang aktual PV.



Gambar 4. Kaitan antara massa udara dengan waktu matahari untuk Jan, Feb dan Maret pada kemiringan PV 30 dan 40°

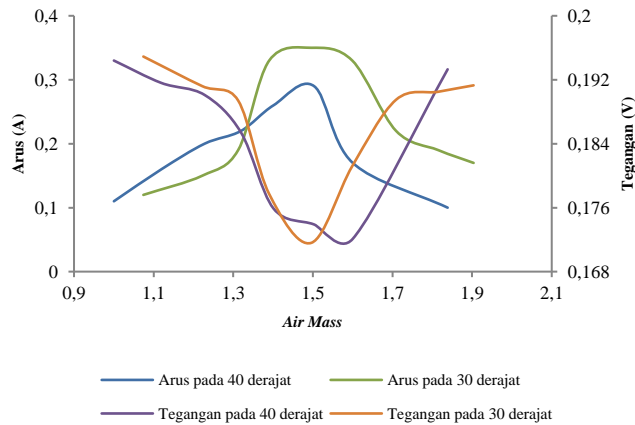
Sementara itu, Gambar 5 menunjukkan hubungan antara AM dan radiasi matahari. Secara umum, radiasi meningkat dengan meningkatnya massa udara. Hal ini terjadi karena posisi matahari mempengaruhi hamburan sinar matahari pada PV dan cuaca. Ada juga perubahan yang tidak konsisten dalam penyinaran sinar matahari yang mungkin disebabkan oleh awan yang menutupi sinar matahari ke permukaan PV. Uniknya, Iradiasi berkurang saat AM di atas 1,5. Kurva penyinaran sedikit berbeda untuk panel kemiringan PV 30 dan 40°, di mana begitu AM mencapai lift sekitar 1,5, elevasi panel 40° segera menurunkan radiasinya. Di sisi lain, panel 30° terus meningkat untuk sementara waktu hingga mulai menurun pada AM 1,55.



Gambar 5. Nilai AM terhadap Iradiasi matahari

Mengenai daya keluaran PV, Gambar 6 menunjukkan bahwa ada peningkatan arus PV dengan setiap peningkatan AM. Arus PV tertinggi diperoleh pada AM 1.5 dengan sudut 30° dengan arus

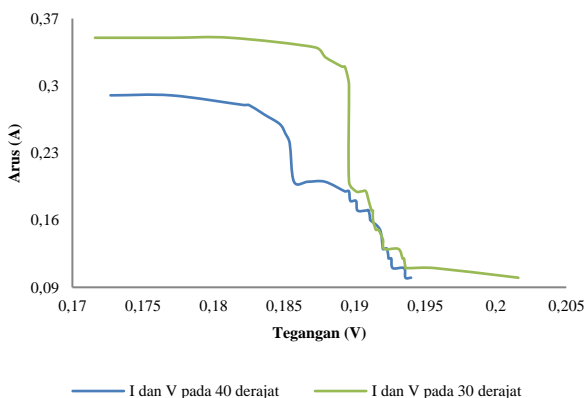
optimum sebesar 0.35 A. Yang menjadikan AM 1.5 lebih baik untuk mendapatkan arus karena pada AM kondisi cahaya matahari tepat di permukaan PV dengan melihat posisinya. dari sudut zenith yang membuat proporsi sinar matahari lebih besar dari AM lainnya.



Gambar 6. Variasi arus dan tegangan dalam massa udara selama 3 bulan

Gambar 6 juga memperlihatkan pengaruh AM terhadap arus dan tegangan yang diterima PV, dimana kenaikan AM diikuti dengan kenaikan nilai arus. Sebaliknya, nilai tegangan yang berwarna orange dan ungu menurun yang disebabkan oleh radiasi yang diterima oleh PV berdasarkan proporsi AM sinar matahari.

Sementara pada Gambar 7 menggambarkan hubungan antara arus dan tegangan pada modul PV, arus dan tegangan cenderung berubah secara konstan, uniknya terdapat perbedaan arus dan tegangan dimana arus berkurang sedangkan tegangan terus meningkat. Ini disebabkan karena adanya penambahan beban pada modul PV dan Iradiasi matahari yang diterima. Fenomena ini juga mempengaruhi arus dan tegangan keluaran PV.



Gambar 7. Besarnya tegangan-arus (voltage-current) PV pada kemiringan 30° dan 40°

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa AM memberikan efek terhadap kinerja PV yang hasilnya lebih akurat dibandingkan dengan hanya orientasi panel PV terhadap matahari. Efek AM ini tergambar dengan penempatan panel PV pada sudut elevasi 30 dan 40°. AM yang bernilai lebih kecil atau lebih besar dari 1,5 ($AM < 1,5 < AM$) memberikan kinerja panel surya yang rendah. Nilai AM diperoleh pada pukul antara sekitar 09.00 dan 10.00 dan antara 14.00 dan 15.00. Nilai massa udara ini telah memvalidasi bahwa AM 1,5 sesuai dengan kondisi standar untuk pengujian PV. Pengukuran massa udara matahari juga memberikan nilai efisiensi panel PV yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan referensi penyinaran matahari.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. H. Piarah, Z. Djafar, H. Hariyanto, and M. Mustofa, "A New Simulation of Photovoltaic and Thermoelectric Generator Hybrid System with a Beam Splitter Cold and Hot Mirror for Low Intensity," *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, Light Spectrum; Photovoltaic; Thermoelectric Generator; Output Power; Efficiency vol. 13, no. 9, pp. 559-567, 2019, doi: 10.15866/ireme.v13i9.17884.
- [2] A. T. Young, "Air mass and refraction," *Applied optics*, vol. 33, no. 6, pp. 1108-1110, 1994, doi: 10.1364/ao.33.001108.
- [3] E. Roumpakias, O. Zogou, and A. Stamatelos, "Correlation of actual efficiency of photovoltaic panels with air mass," *Renewable Energy*, vol. 74, pp. 70-77, 2015/02/01/2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.07.051>.
- [4] B. Bora, O. S. Sastry, A. Kumar, Renu, and M. Bangar, "Performance modeling of three pv module technologies based on clearness index and air-mass using contour map," in *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 14-19 June 2015 2015, pp. 1-4, doi: 10.1109/PVSC.2015.7356008.
- [5] A. H. Shnishil, S. S. Chid, M. J. Yaseen, and T. J. Alwana, "Influence of Air Mass on the Performance of Many Types of PV Modulus in Baghdad," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 153-159, 2011/01/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.018>.
- [6] K. S. Rida, A. A. Al-Waeli, and K. A. Al-Asadi, "The impact of air mass on photovoltaic panel performance," *Pisco Med Publishing*, vol. 1, no. 1, pp. 1-9, 2016, doi: 10.18282/ser.v1.i1.41.
- [7] I. L. Alboteanu, C. A. Bulucea, and S. Degeratu, "Estimating Solar Irradiation Absorbed by Photovoltaic Panels with Low Concentration Located in Craiova, Romania," vol. 7, no. 3, pp. 2644-2661, 2015. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/3/2644>.
- [8] H. S. Tira, A. Natsir, and M. S. Anwar, "Studi Eksperimental pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 Wp Tipe Polycrystalline," *ROTASI*, vol. 19, no. 4, pp. 237-242, 2017.
- [9] F. Kasten and A. T. Young, "Revised optical air mass tables and approximation formula," *Applied Optics*, vol. 28, no. 22, pp. 4735-4738, 1989/11/15 1989, doi: 10.1364/AO.28.004735.
- [10] G. N. Tiwari and S. Dubey, *Fundamentals of photovoltaic modules and their applications*. Royal Society of Chemistry, 2009.