Desain dan implementasi *high-current DC power supply* Berbasis Penyearah Gelombang Penuh dengan reduksi *ripple* untuk proses elektroplating timah

Ratih Mar'atus Sholihah[1], Nurhani Amin[2], Irwan Mahmudi[3], Diva Faradila[4],Teuku Multazam[5]

[1,2,3,4] Teknik Elektro, Universitas Tadulako

[5] Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh

Coprespondent Author: ratih117@gmail.com

***Abstract* —Tin electroplating process requires a direct current (DC) power supply with high current capability because the required current depends on the workpiece surface area and operating conditions. This study aims to design and implement a high-current DC power supply based on a single-phase full-wave rectifier with a capacitor filter for tin electroplating and to analyze the characteristics of its output voltage and current underload. The system uses a step-down transformer, GBPC50 bridge rectifier, 189,000 µF filter capacitor, and a 3 kΩ/1 W bleeder resistor. Experimental tests were conducted using tin electroplating loads with busbar lengths of 15–25 cm, each tested for two minutes. The measured input current was 26.7–34.0 A and input voltage was 12.6–12.9 V, while output current reached 20.6–24.5 A with output voltage of 12.0–12.2 V. The calculated output power ranged from 249.3 to 298.9 W. Oscilloscope measurements after the installation of the capacitor showed a *ripple* of 2.4 Vpp, corresponding to an 87.17% reduction in *ripple*. These results indicate that the capacitor filter effectively reduces voltage fluctuations and produces a smoother DC output, while the simple construction of the power supply is able to maintain an output voltage of approximately 12 V and deliver high current to the electroplating load.**

***Keyword* — High-Current Power Supply, Tin Electroplating, Full-Wave Rectifier, Filter Capacitor, Voltage *Ripple*.**

Abstrak —Proses elektroplating timah membutuhkan sumber daya arus searah (DC) dengan kemampuan menyuplai arus besar karena kebutuhan arus dipengaruhi oleh luas permukaan benda kerja dan kondisi operasi. Penelitian ini bertujuan merancang dan merealisasikan catu daya DC arus tinggi berbasis penyearah gelombang penuh satu fasa dengan filter kapasitor untuk proses elektroplating timah serta menganalisis karakteristik tegangan dan arus keluarannya saat berbeban. Sistem menggunakan transformator step-down, bridge rectifier GBPC50, kapasitor filter 189.000 µF, dan bleeder resistor 3 kΩ/1 W. Pengujian dilakukan menggunakan beban elektroplating timah dengan variasi panjang busbar 15–25 cm, masing-masing selama dua menit. Hasil pengukuran menunjukkan arus input sebesar 26,7–34,0 A dan tegangan input 12,6–12,9 V, sedangkan arus output mencapai 20,6–24,5 A dengan tegangan output 12,0–12,2 V. Daya output hasil perhitungan berada pada kisaran 249.3–298.9 W. Pengukuran menggunakan osiloskop setelah pemasangan kapasitor menunjukkan *ripple* sebesar 2,4 Vpp dengan perununan *ripple* sebesar 87,17%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan kapasitor filter efektif mengurangi perubahan tegangan dan menghasilkan keluaran DC yang lebih halus, sementara konstruksi catu daya yang lebih sederhana mampu mempertahankan tegangan sekitar 12 V dan menyuplai arus tinggi pada beban elektroplating.

Kata kunci — Catu Daya Arus Tinggi, Elektroplating Timah, Penyearah Gelombang Penuh, *Ripple* Tegangan.

I. PENDAHULUAN

Elektroplating menggunakan arus searah (DC) untuk mengendapkan logam pada permukaan benda kerja. Proses ini banyak digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan karakteristik permukaan material[1]. Timah merupakan salah satu material pelapis yang digunakan pada berbagai aplikasi karena karakteristiknya yang sesuai untuk perlindungan permukaan dan kebutuhan teknis tertentu [1][2]. Dalam proses tersebut, sumber daya listrik menjadi bagian penting karena pengendapan logam berlangsung melalui arus yang dialirkan antara anoda dan katoda. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa parameter listrik, terutama kuat arus, tegangan, dan waktu proses, berpengaruh terhadap massa maupun ketebalan lapisan hasil elektroplating [3], [4], [5].

Kebutuhan arus pada elektroplating berkaitan dengan luas permukaan benda kerja dan kerapatan arus yang digunakan. Semakin besar area yang dilapisi, semakin besar arus yang diperlukan untuk mempertahankan kerapatan arus pada nilai tertentu. Penggunaan sumber DC sekitar 12 V dengan kapasitas arus sebesar 30–50 A dapat digunakan pada prototype elektroplating skala kecil[3]. Penelitian lain menggunakan catu daya regulated switch-mode dan menunjukkan bahwa peningkatan arus DC dan waktu proses berhubungan dengan peningkatan massa lapisan[6]Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa aplikasi elektroplating dapat membutuhkan sumber dengan kemampuan arus jauh lebih besar dibandingkan catu daya DC umum.

Salah satu konfigurasi sederhana untuk memperoleh sumber DC adalah uncontrolled rectifier berbasis dioda. Konfigurasi ini memiliki konstruksi sederhana karena tidak memerlukan pengaturan sudut penyalaan seperti pada penyearah terkendali [7]. Namun, keluaran penyearah masih mengandung komponen *ripple* sehingga diperlukan filter untuk memperoleh tegangan DC yang lebih halus [8], [9].

Studi tentang rectifier arus besar juga menunjukkan bahwa pemilihan topologi penyearah berkaitan dengan kemampuan arus, kualitas bentuk gelombang, dan harmonisa pada sisi sumber [10]. Penelitian elektroplating dengan SCR menunjukkan bahwa pengaturan arus dapat memengaruhi proses pelapisan [2], [11], sedangkan penggunaan SMPS memberikan kemampuan pengaturan yang lebih presisi, rugi daya yang menurun tetapi dengan rangkaian yang lebih kompleks [6], [11], [12].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan catu daya DC arus tinggi berbasis penyearah gelombang penuh dengan konstruksi sederhana namun tetap memperhatikan kualitas gelombang. Fokus penelitian adalah kemampuan sumber daya dalam menyuplai arus besar serta karakteristik tegangan dan arus ketika dibebani proses elektroplating timah. Kapasitor filter digunakan untuk mengurangi *ripple* tegangan. Selain itu, distribusi potensial dan arus merupakan aspek penting pada proses elektroplating karena ketidakseragaman kondisi listrik dapat memengaruhi distribusi pelapisan [4].

Tujuan penelitian adalah merancang dan merealisasikan catu daya DC arus tinggi, menentukan kapasitas penyearah berdasarkan kebutuhan arus elektroplating, serta menguji karakteristik arus dan tegangan keluaran pada variasi panjang busbar. Pendekatan ini dipilih sebagai alternatif sederhana terhadap catu daya switching berdaya tinggi dengan konstruksinya yang kompleks.

II. METODE PENELITIAN

A. Kebutuhan Arus Elektroplating

Penentuan kemampuan arus catu daya diawali dengan menghitung luas permukaan benda kerja. Benda kerja memiliki panjang 250 mm, lebar 30 mm, dan tebal 3 mm. Luas permukaan yang akan dilapisi dapat dihitung dari total luasan seluruh sisi, dengan nilai totalnya adalah 16.680 mm² atau 1,668 dm². Dengan kerapatan arus 3 A/dm², kebutuhan arus elektroplating secara teoritis dinyatakan sebagai [3]:

$$I = J \times A \quad (1)$$

diperoleh $I = 5\ A$. Nilai tersebut merupakan arus kerja teoritis. Pada pemilihan komponen penyearah, arus desain diperbesar menjadi *15 A* dengan mempertimbangkan arus riak pada kapasitor filter yang dalam perancangan dinyatakan dapat mencapai tiga kali arus beban. Pemilihan margin kapasitas komponen juga penting pada catu daya arus tinggi untuk menjaga keandalan saat beban berubah [13].

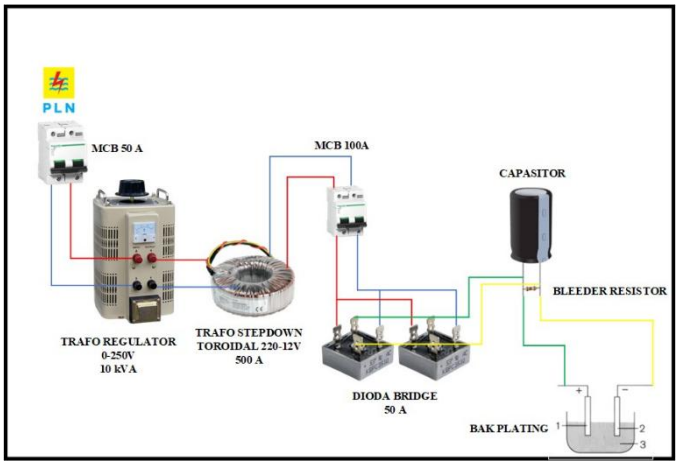
B. Penyearah dan Filter Kapasitor

Sistem menggunakan penyearah satu fasa gelombang penuh konfigurasi jembatan. Pada setiap setengah siklus AC, dua dioda menghantarkan arus sehingga seluruh siklus sumber dimanfaatkan untuk menghasilkan keluaran DC [8], [14]. Keluaran penyearah gelombang penuh masih memerlukan filter kapasitor untuk mengurangi perubahan tegangan [9], [15]. Prinsip tersebut juga menjadi dasar pada berbagai rancangan catu daya DC untuk aplikasi berarus tinggi. Kapasitansi filter ditentukan berdasarkan arus beban, frekuensi sumber, dan *ripple* tegangan yang diizinkan. Untuk penyearah gelombang penuh, frekuensi *ripple* adalah dua kali frekuensi sumber, sehingga digunakan persamaan [9], [15]:

$$V_{r(pp)} = I/(2fC) \quad (2)$$

Dengan frekuensi sumber $f = 50\ Hz$, frekuensi *ripple* menjadi $fr = 2f = 100\ Hz$. Untuk kondisi arus maksimum hasil pengujian, yaitu $I = 15\ A$, dan target *ripple* 0,8 V menghasilkan kebutuhan sekitar 187.000 µF. Dengan merangkai beberapa kapasitor secara paralel maka nilai kapasitor total yang di dapatkan adalah 189.000 µF. Kapasitor dengan nilai tersebut kemudian digunakan sebagai kapasitor filter.

C. Konfigurasi Sistem



Gambar 1. Konfigurasi catu daya DC dan beban elektroplating.

Sumber PLN *220 V*, *50 Hz* diturunkan melalui transformator step-down. Pada tahap perancangan, tegangan sekunder ditujukan untuk menghasilkan keluaran DC mendekati *12 V* setelah memperhitungkan jatuh tegangan pada dua dioda yang sedang konduksi. Tegangan tersebut kemudian disearahkan menggunakan bridge rectifier GBPC50 yang memiliki rating arus *50 A* dan tegangan balik maksimum *1000 V*. Keluaran penyearah difilter menggunakan kapasitor *189.000 µ*F. sedangkan untuk mengosongkan muatan yang tersimpan pada kapasitor setelah catu daya dimatikan, digunakan *bleeder* resistor sebesar 3 kΩ dengan rating daya 1 W yang dipasang secara paralel terhadap kapasitor. Pengujian menggunakan beban elektroplating timah dengan variasi panjang busbar *15–25 cm*. Setiap variasi diuji selama dua menit. Parameter yang diamati meliputi tegangan dan arus sisi input serta tegangan dan arus sisi output.

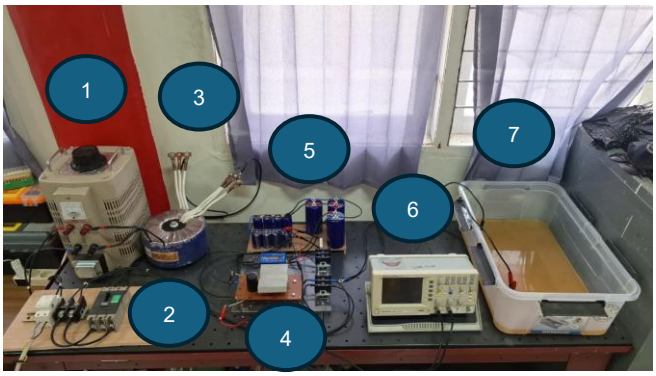
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Parameter komponen dan rangkaian pengujian

TABEL II
PARAMETER HIGH-CURRENT DC POWER SUPPLY UNTUK PROSES ELEKTROPLATING TIMAH

Parameter	Nilai
Sumber AC	220 V, 50 Hz
Tegangan sekunder trafo	13,4 V AC
Dimensi benda kerja	250 × 30 × 3 mm
Luas permukaan	1,668 dm²
Kerapatan arus	3 A/dm²
Arus teoritis	5 A
Arus perancangan	15 A
Tegangan output penyearah	12 V
Bridge rectifier	GBPC50, 50 A
Tegangan balik maksimum	1000 V
Kapasitor filter	189.000 µF
Bleeder Resistor	3.000 Ω, 1 W

Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan arus kerja 5 A, sedangkan arus perancangan sebesar 15 A. Oleh karena itu, bridge rectifier GBPC50 dengan rating 50 A dipasang agar memberikan kapasitas arus komponen yang lebih besar daripada arus desain dan mendukung pengoperasian pada beban berarus besar. Gambar pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.

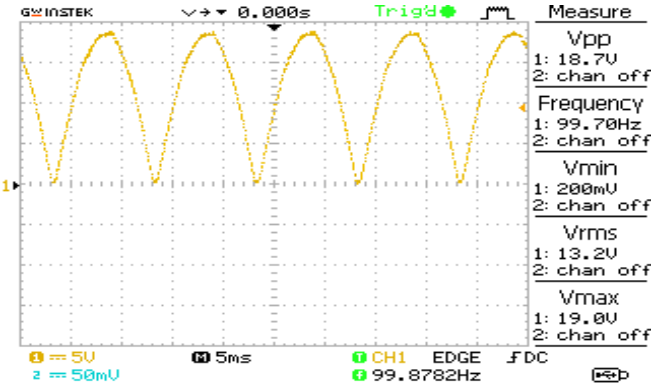


Gambar 2. Tampilan Visual Alat

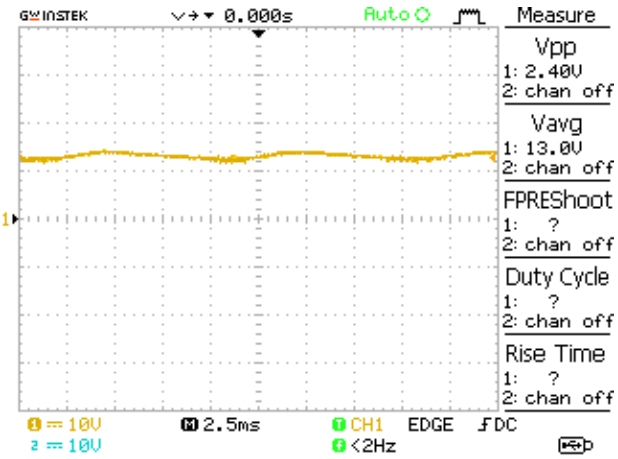
Keterangan gambar :
1. Trafo regulator 0-250 V, 10 Kva
2. MCB 50A dan MCCB 100A
3. Trafo *step-down* teroidal 220-12V, 500A
4. Penyearah 1 fasa gelombang penuh 12V 50A
5. Kapasitor Filter dan *Bleeder* Resistor
6. Osiloskop
7. Bak plating

B. Karakteristik Ripple

Bentuk gelombang seperti pada Gambar 3 dan 4, menunjukkan perbedaan antara keluaran tanpa kapasitor dan dengan kapasitor. Tanpa kapasitor, tegangan *ripple* terukur sebesar 18,7 V. Setelah kapasitor 189.000 µF dipasang, perubahan tegangan menjadi 2,4 V. Dengan demikian, perubahan tegangan *ripple* berkurang sebesar 16,3 V atau sekitar 87,17%.



Gambar 3. Gelombang Tegangan keluaran penyearah tanpa pemasangan kapasitor filter.



Gambar 4. Gelombang Tegangan keluaran penyearah setelah pemasangan kapasitor filter.

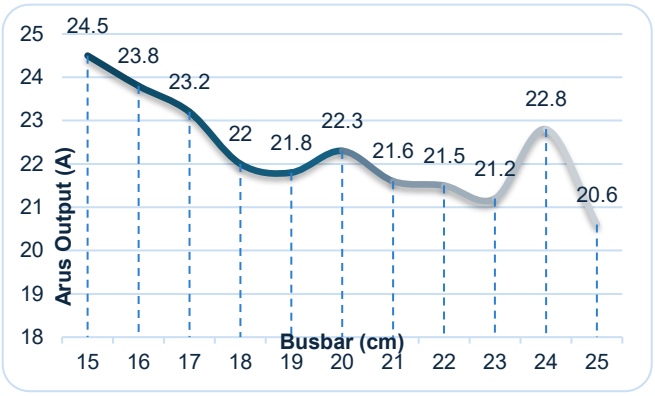
Hasil ini menunjukkan fungsi kapasitor sebagai penyimpan dan pelepas muatan pada interval gelombang penyearahan sehingga perubahan tegangan keluaran menjadi lebih kecil. Walaupun nilai *ripple* yang ditargetkan belum tercapai, namun hasil tersebut telah sesuai dengan prinsip kerja filter pada penyearah gelombang penuh.

C. Karakteristik Arus dan Tegangan pada Beban Elektroplating

Hasil pengujian beban elektroplating menunjukkan arus input sebesar 26,7 – 34,0 A dan tegangan input sebesar 12,6–12,9 V. Arus output berada pada rentang 20,6 – 24,5 A, sedangkan tegangan output hanya berada pada rentang 12,0 – 12,2 V. Daya output hasil perhitungan berada pada kisaran 249.3–298.9 W. Hasil ini menunjukkan bahwa catu daya mampu mempertahankan keluaran sekitar 12 V pada variasi beban elektroplating. Nilai arus output yang lebih besar dari perencanaan menjadi indikasi bahwa nilai kerapatan arus yang dibutuhkan selama proses elektroplating lebih dari 3 A/dm².

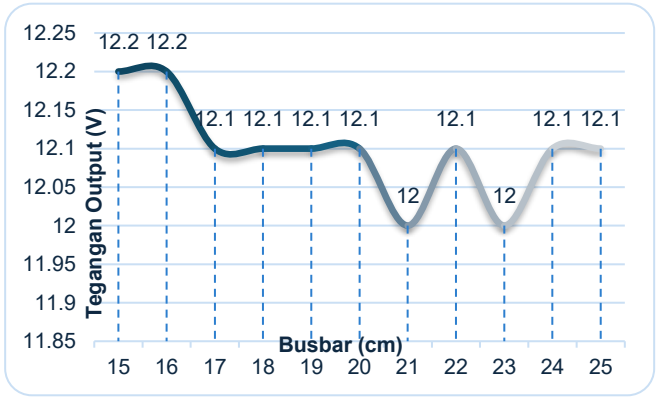
TABEL II
HASIL PENGUKURAN PADA BEBAN ELEKTROPLATING TIMAH

Panjang Chopper Busbar (cm)	Iin (A)	Vin (V)	Io (A)	Vo (V)
15	34,0	12,7	24,5	12,2
16	29,8	12,7	23,8	12,2
17	30,3	12,7	23,2	12,1
18	28,4	12,7	22,0	12,1
19	28,1	12,8	21,8	12,1
20	28,6	12,8	22,3	12,1
21	28,2	12,9	21,6	12,0
22	27,9	12,7	21,5	12,1
23	27,3	12,7	21,2	12,0
24	28,9	12,8	22,8	12,1
25	26,7	12,6	20,6	12,1



Gambar 5. Karakteristik arus output terhadap panjang busbar.

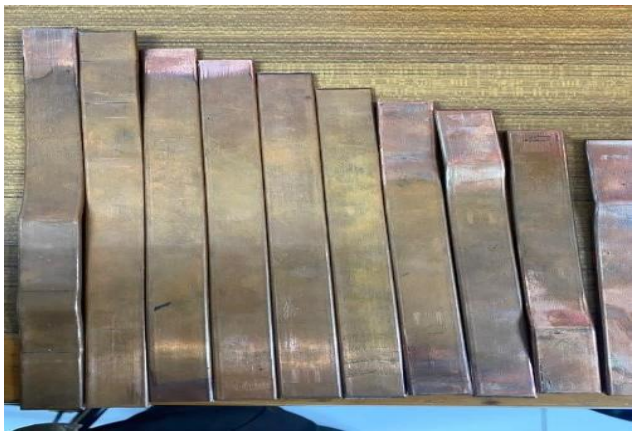
Arus output tidak menunjukkan hubungan monoton terhadap panjang busbar, tetapi mengalami fluktuasi. Nilai terendah adalah 20,6 A pada busbar 25 cm, sedangkan nilai tertinggi 24,5 A diperoleh pada busbar 15 cm. Fluktuasi tersebut dapat berkaitan dengan perubahan kondisi elektrolit, pembentukan gelembung gas pada permukaan elektroda, perubahan distribusi arus, serta perubahan kondisi kontak selama proses. Nilai arus yang relatif tinggi menunjukkan bahwa sumber mampu mempertahankan penyaluran arus besar pada beban elektroplating.

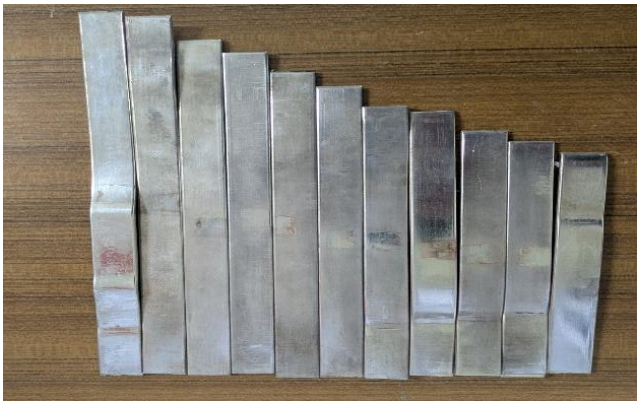


Gambar 6. Karakteristik tegangan output terhadap panjang busbar.

Tegangan output berada pada rentang 12,0–12,2 V. Nilai tertinggi 12,2 V diperoleh pada busbar 15 dan 16 cm, sedangkan nilai terendah 12,0 V terjadi pada busbar 21 dan 23 cm. Rentang tersebut menunjukkan bahwa keluaran catu daya relatif stabil di sekitar target nominal 12 V pada kondisi pengujian.

Daya keluaran hasil perhitungan berada pada kisaran 249.3–298.9 W. Nilai maksimum 298.9 W diperoleh pada busbar 15 cm, sedangkan nilai minimum 249.3 W diperoleh pada busbar 25 cm. Besarnya daya tersebut menunjukkan bahwa catu daya mampu menyalurkan daya listrik yang cukup besar ke beban karena arus output berada pada kisaran 20,6–24,5 A dengan tegangan sekitar 12 V. Hasil proses elektroplating menggunakan catu daya DC yang telah dibuat, ditunjukkan pada Gambar 7.


Gambar 7.a. Gambar Chopper Busbar Sebelum Proses Elektroplating


Gambar 7.b. Gambar Chopper Busbar Setelah Proses Elektroplating

VII. KESIMPULAN

Catu daya DC arus tinggi berbasis penyearah gelombang penuh berhasil dirancang dan direalisasikan untuk mendukung proses elektroplating timah. Berdasarkan luas permukaan benda kerja 1,668 dm² dan kerapatan arus acuan 3 A/dm², kebutuhan arus teoritis sebesar 5 A. Pada pengujian aktual, catu daya menghasilkan arus output 20,6–24,5 A

dengan tegangan output 12,0–12,2 V pada variasi panjang busbar 15–25 cm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kerapatan arus pada proses elektroplating bisa jauh lebih besar dari 3 A/dm², dan catu daya mampu mempertahankan tegangan sekitar 12 V sekaligus menyuplai arus tinggi.

Penggunaan kapasitor filter 189.000 µF menghasilkan keluaran yang lebih halus pada pengujian penyearah. Berdasarkan pengukuran osiloskop setelah kapasitor dipasang, *ripple* keluaran sebesar 2,4 Vpp dengan tegangan rata-rata sekitar 13 V. Pada beban elektroplating, daya output berada pada kisaran 249.3–298.9 W. Untuk pengembangan selanjutnya, kualitas *ripple* dapat ditingkatkan melalui optimasi kapasitas filter, serta pengaturan arus atau tegangan yang lebih sesuai dengan penyearah terkontrol.

CAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT. Denkindo Central Elektrik (Perusahaan Panel Maker) yang menginisiasi dan mendanai penelitian ini, serta Laboratorium Listrik Dasar dan Pengukuran, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako yang telah mendukung proses perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem catu daya DC untuk penelitian ini.

Daftar Acuan

[1] F. C. Walsh and C. T. J. Low, "A review of developments in the electrodeposition of tin," *Surf. Coat. Technol.*, vol. 288, pp. 79–94, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.SURFCOAT.2015.12.081.

[2] V. Prasetia and R. Aries, "ANALISA PENGGUNAAN SILICON CONTROLLED RECTIFIER PADA ELEKTROPLATING TEMBAGA/BAJA KARBON RENDAH," *Jurnal Infotekmesin*, vol. 10, no. 01, 2019.

[3] T. Setiawan and Z. Abidin, "PEMBUATAN PROTOTYPE ALAT ELECTRO PLATING UNTUK HOME INDUSTRI," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 145–149, Dec. 2021.

[4] Rhomdan Deri Subayu and Arya Mahendra Sakti, "PENGARUH VARIASI KUAT ARUS DAN TEGANGAN PADA PROSES ELEKTROPLATING NIKEL TERHADAP KETEBALAN PERMUKAAN DAN MAMPU BENDING KNALPOT SEPEDA MOTOR".

[5] W. Hang, L. Cheng, Z. Xingzhi, and Z. Yaoze, "Research on elektroplating power supply based on three- interleaved parallel LLC resonant converter," in *2023 IEEE International Conference on Control, Electronics and Computer Technology, ICCECT 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 90–94. doi: 10.1109/ICCECT57938.2023.10140195.

[6] A. H. Azhar Ramadhansah, Siswoyo, and Baisrum, "Elektroplating Menggunakan Regulated Switch Mode Power Supply," in *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung, Jul. 2022, pp. 13–14.

[7] A. Alzahrani, "Experimental Investigation of Controlled and Uncontrolled Rectifiers for Low-Power Wind Turbines," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 7, Apr. 2023, doi: 10.3390/app13074120.

[8] A. Prasetyo, F. B. D.R, and H. Matalata, "Perancangan Regulasi Tegangan AC - DC Menggunakan Filter Pasif," *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, vol. 3, no. 2, p. 35, Dec. 2020, doi: 10.33087/jepca.v3i2.37.

[9] Atmam, "PENGGUNAAN FILTER KAPASITIF PADA RECTIFIER SATU PHASA DAN TIGA PHASA MENGGUNAKAN POWER SIMULATOR (PSIM)," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 2, no. 1, pp. 18–26, Dec. 2017.

[10] Md. Abdul Malek, Md. Abu Bakar Siddik, and Md. Shoaib Akther, "A Novel 36-Pulse Star Rectifier with Passive Injection Circuits at DC Link," in *1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology 2019 (ICASERT 2019)*, IEEE, 2019.

[11] J. Meng *et al.*, "Output Voltage Response Improvement and *Ripple* Reduction Control for Input-Parallel Output-Parallel High-Power DC Supply," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 38, no. 9, pp. 11102–11112, Sep. 2023, doi: 10.1109/TPEL.2023.3290590.

[12] M. Kholil *et al.*, "Rancang Bangun Switching Mode Power Supply Dengan Variasi Lilitan Sekunder Transformator Untuk Proses Elektroplating," *J-TETA : Jurnal Teknik Terapan*, vol. 3, no. 1, pp. 28–34, 2024, [Online]. Available: https://j-teta.polije.ac.id/index.php/publikasi/

[13] Y. H. He and S. Yu, "A new method of designing high-power elektroplating power supply," in *Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, GreenCom-iThings-CPSCom 2013*, 2013, pp. 1429–1433. doi: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCom.2013.250.

[14] Raunak Kulkarni, Suyash Gangurde, Yash Pant, R.D. Kulkarni, and Madhwi Kumari, "Design and Simulation of Three Phase Six Pulse Thyristor Controlled Rectifier," in *International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE 2019)*, IEEE, 2019.

[15] M. H. . Rashid, *Power electronics handbook*, 2001st ed. Academic Press, 2001.