

PENGARUH SUHU DAN WAKTU PELAPISAN TEMBAGA-NIKEL PADA BAJA KARBON RENDAH SECARA ELEKTROPLATING TERHADAP NILAI KETEBALAN DAN KEKASARAN

¹⁾Basmal*, ²⁾Bayuseno dan ²⁾Sri Nugroho

¹⁾Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Universitas diponegoro

²⁾Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Universitas diponegoro

*E-mail : basmal67@yahoo.co.id

ABSTRAK

Proses elektroplating bertujuan membentuk permukaan logam dasar dengan sifat atau dimensi yang berbeda. Penelitian untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu elektroplating terhadap nilai ketebalan dan kekasaran permukaan, menggunakan spesimen berupa plat baja karbon rendah berjumlah 27 buah dengan panjang 40 mm, lebar 28 mm dan tebal 1.8 mm sebagai logam dasarnya sedangkan tembaga dan nikel sebagai pelapisnya. Kondisi pelapisan tembaga dengan variasi suhu 30°C, 40°C dan 50°C, waktu pencelupan 5, 10 dan 15 menit dan voltase 6 Volt. Sedangkan pelapisan nikel dengan variasi suhu 45°C, 55°C dan 65°C menit, waktu pencelupan 10, 20 dan 30 menit dan voltase 9 Volt. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa suhu dan waktu pelapisan berpengaruh signifikan terhadap nilai ketebalan dan kekasaran permukaan namun demikian pengaruh suhu lebih besar dari pada waktu. Untuk ketebalan tembaga dengan suhu 30^o - 50^oC, waktu 5 -15 menit naik dari 9.4 µm sampai 42.8 µm, sementara itu ketebalan nikel dengan suhu 45^o- 65^oC, waktu 10 -30 menit naik dari 24 µm sampai 65.4 µm demikian pula dengan nilai kekasaran, naik dari 0.24 µm sampai 0.63 µm.

Kata kunci: Elektroplating, tembaga, nikel, waktu, suhu, ketebalan, kekasaran

PENDAHULUAN

Korosi berakibat penurunan mutu dan daya guna serta menimbulkan kerugian dari segi biaya perawatan. Korosi tidak dapat dicegah namun dapat dikendalikan. Salah satu cara pencegahan yaitu dengan memberi lapisan pelindung pada permukaan logam dasar, diantaranya secara elektroplating dengan tembaga dan nikel. Selain tujuan tersebut, elektroplating juga mampu meningkatkan mutu dan nilai estetika produk. Sifat tembaga yang tahan korosi sementara nikel memiliki kekuatan dan kekerasan yang sedang, keuletannya, daya hantar listrik dan termal yang baik [1].

Terdapat beberapa kondisi operasi yang mempengaruhi proses elektroplating, diantaranya rapat arus, konsentrasi larutan, suhu larutan elektrolit dan lama waktu pelapisan. Karena masih perlunya informasi mengenai elektroplating ini maka penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suhu elektrolit dan waktu pelapisan terhadap nilai ketebalan lapisan dan kekasaran permukaan dalam pelapisan tembaga-nikel (Cu-Ni) melalui proses elektroplating.

Elektroplating adalah proses pengendapan ion-ion logam pelindung (anoda) yang dikehendaki di atas logam lain (katoda) secara elektrolisis. Selama proses pengendapan berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda (anoda-katoda) dan elektrolit menuju arah tertentu secara tetap. Untuk hal tersebut dibutuhkan arus listrik searah (DC) dan tegangan yang konstan.

Proses elektroplating dilakukan dalam bejana yang disebut sel elektrolisis berisi cairan elektrolit/rendaman (bath). Pada rendaman ini tercelup paling tidak dua elektroda yang masing-masing dihubungkan dengan arus listrik, terbagi menjadi kutub positif (+) dan negatif (-) dikenal sebagai anoda (+) dan katoda (-). Anoda dalam larutan elektrolit ada yang larut dan ada yang tidak larut. Anoda yang tidak larut berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja sedangkan anoda yang larut berfungsi selain penghantar arus listrik juga sebagai bahan baku pelapis. Katoda diartikan sebagai benda kerja yang dilapisi, dihubungkan kutub negatif sumber arus listrik. Elektrolit berupa larutan yang molekulnya dapat larut dalam air dan terurai menjadi partikel-partikel bermuatan positif atau negatif [2].

Bila arus listrik dialirkan di antara kedua elektroda (anoda dan katoda) di dalam larutan elektrolit, maka muatan ion positif akan ditarik oleh katoda, sedangkan ion bermuatan negatif berpindah ke arah elektroda bermuatan positif (anoda). Ion-ion tersebut dinetralkan oleh kedua elektroda dan larutan elektrolit yang hasilnya diendapkan pada katoda (benda kerja). Hukum Faraday merupakan basis utama pemahaman elektrokimia yang digunakan dalam proses elektroplating sampai saat ini, berbunyi :

- (1) Jumlah perubahan kimia oleh satuan arus listrik sebanding dengan banyaknya arus yang mengalir.
- (2) Jumlah aneka bahan berbeda yang dibebaskan oleh sejumlah tertentu listrik sebanding dengan

berat ekuivalen kimianya.

Dari hukum Faraday di atas dapat diringkas bahwa pada elektrolit zat yang diendapkan berbanding lurus dengan waktu dan arus listrik. Berat logam yang diendapkan, dapat ditulis sebagai berikut :

$$W = \frac{Ma \cdot I \cdot t}{nF}$$

dimana :

- W = Berat logam yang diendapkan (gr)
- Ma = Massa atom (gr/mol)
- I = Arus listrik (Amp)
- t = Waktu (detik)
- n = Elektron valensi
- F = Bilangan Faraday (96.500 Coulomb) [1].

Sementara ketebalan lapisan yang terbentuk, menurut Lowenheim dirumuskan :

$$\delta = \frac{W}{\rho \cdot A}$$

dimana :

- δ = Tebal lapisan terbentuk (cm)
- W = Berat lapisan yang terbentuk (gr)
- ρ = Massa jeni pelapis (gr/cm³)
- A = Luas permukaan setelah dilapis (cm²) [3].

Dari kedua rumus di atas dapat disubstitusikan menjadi :

$$\delta = \frac{Ma \cdot I \cdot t}{\rho \cdot A \cdot n \cdot F}$$

Beberapa jenis logam banyak digunakan di bidang pelapisan namun tembaga, nikel dan khrom lebih terkenal. Walaupun sifat fisik dan kimianya berbeda, ketiganya merupakan finishing elektroplating standar. Di masyarakat umum sering dikenal istilah vernikel dan verkrom. Logam pelapis (anoda) pada proses elektroplating sangat penting berkaitan dengan kualitas hasil pelapisan. Pengaruh kebersihan anoda terhadap elektrolit dan penentuan dimensi ukuran dan bentuk anoda perlu diperhatikan. Ukuran dan peletakan anoda yang cermat dapat meningkatkan distribusi endapan, mengurangi kontaminasi, menurunkan biaya bahan, efisiensi produksi dan mengurangi timbulnya masalah pada proses elektroplating.

PELAPISAN

Pelapisan tembaga

Tembaga mempunyai sifat lunak dan ulet, tidak terlalu teroksidasi oleh udara. Karena sifatnya pula yang elektropositif (mulia), tembaga mudah diendapkan oleh logam yang deret daya gerak listriknya lebih tinggi semisal besi. Plating tembaga mudah dilakukan demikian pula dengan larutannya yang mudah dikontrol. Tembaga bagus digunakan sebagai lapisan dasar sebelum plating berikutnya.

Pada proses elektroplating terhadap baja karbon rendah yang akan dilapisi tembaga, maka elektrolit

yang digunakan adalah elektrolit tembaga (CuSO₄) dengan anoda tembaga (Cu). Saat proses elektroplating, pada anoda dan katoda terjadi perubahan potensial akibat adanya aliran arus listrik searah, sehingga anoda tembaga akan terurai ke dalam media larutan elektrolit yang mengandung ion-ion tembaga, yang akhirnya bergerak ke katoda dan menempel kuat.

Sebagai penjelasannya adalah reaksi pada katoda yaitu ion Cu²⁺ bergerak ke katoda menjadi Cu, logam ini menempel pada katoda. Sedangkan reaksi pada anoda yaitu ion SO₄²⁻ bergerak ke anoda menjadi SO₄ dan melepaskan elektronnya. Karena Cu reaktif maka bereaksi dengan SO₄ membentuk CuSO₄ kembali. Jadi berat anoda berkurang dan pengurangan beratnya sama dengan berat Cu yang mengendap pada katoda. Dapat disimpulkan, konsentrasi Cu²⁺ dan SO₄²⁻ dalam larutan tetap selama masih ada anoda. Jadi seolah-olah Cu pada anoda pindah ke katoda.

Pelapisan Nikel

Pelapisan nikel digunakan untuk tujuan mencegah korosi ataupun menambah keindahan. Nikel tahan terhadap panas dan tahan korosi, tidak rusak oleh air kali atau air laut dan alkali. Nikel bisa rusak oleh asam nitrat dan sedikit terkorosi oleh asam klor dan asam sulfat. Nikel juga memiliki kekerasan dan kekuatan yang sedang, keuletannya baik, daya hantar listrik dan termal juga baik. Senyawa nikel digunakan terutama sebagai katalis dalam elektroplating. Pada proses elektroplating, dengan pelapis nikel (anoda), perlu ditambahkan garam ke bak plating, misalnya nikel karbonat, nikel klorida, nikel fluoborat, nikel sulfamat, dan nikel sulfat. Saat anoda dan katoda terjadi perubahan potensial akibat aliran arus listrik searah maka anoda nikel terurai ke dalam elektrolit. Reaksi pada katoda yaitu plat baja mengalami pelepasan oksigen ke elektrolit nikel (NiSO₄) sehingga ion nikel (Ni) akan menempel di permukaan plat baja. Sementara itu reaksi pada anoda nikel (Ni), mengikat oksigen yang dilepaskan oleh plat baja dan terlarut pada elektrolit nikel (NiSO₄) yang telah melapisi plat sehingga larutan elektrolit nikel tetap stabil.

Logam yang dilapis

Baja merupakan salah satu bahan yang mudah disesuaikan bentuknya oleh karena itu baja banyak digunakan. Baja diproduksi dengan mutu yang terjamin sehingga untuk tuntutan dan maksud penggunaannya senantiasa tersedia jenis baja yang sesuai. Baja karbon merupakan paduan besi dan karbon dimana unsur karbonnya menentukan sifat mekanik dan fisik, unsur paduan lainnya sebagai pendukung. Karbon sebagai unsur pengeras besi yang efektif dan murah, maka sebagian besar baja komersial hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lain.

Penelitian ini menggunakan plat baja karbon rendah (AISI 1020) sebagai bahan dasar/substrate yang akan dilapis dengan tembaga dan nikel. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mempunyai kandungan

karbon < 0,3%, memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik. Data mengenai karakteristik baja karbon rendah dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik mekanis dan aplikasi pemakaian dari beberapa jenis baja [4]

AISI/SAE or ASTM Number	Tensile Strength [MPa (ksf)]	Yield Strength [MPa (ksf)]	Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]	Typical Applications
<i>Plain Low-Carbon Steels</i>				
1010	325 (47)	180 (26)	28	Automobile panels, nails, and wire
1020	380 (55)	205 (30)	25	Pipe; structural and sheet steel
A36	400 (58)	220 (32)	23	Structural (bridges and buildings)
A516 Grade 70	485 (70)	260 (38)	21	Low-temperature pressure vessels

Parameter peubah

Parameter peubah yang berpengaruh terhadap kualitas pelapisan antara lain suhu, waktu, pH, kuat arus dan tegangan. Penelitian ini mengambil parameter peubah ; suhu dan waktu pelapisan sebagai variabel terikat, dimana kedua variable peubah diberikan nilai yang bervariasi untuk mendapatkan suatu kesimpulan perubahan terhadap variable bebasnya.

Pengaturan suhu pada proses elektroplating tergantung pada jenis larutan yang digunakan. Terdapat interval suhu larutan elektrolit yang bisa digunakan. Suhu elektrolit pada proses pelapisan tembaga dan nikel perlu mempertimbangkan, data-data yang ditunjukkan pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Kondisi pelapisan tembaga [4]

Kondisi operasional	Larutan Sianida
Suhu, °C	30 – 50
Voltase, V	6
pH	12.0 - 12.6
Anoda	tembaga, baja

Tabel 3. Larutan untuk pelapisan nikel [4]

Kondisi operasional	Watt nikel	Nikel Sulfamate
Suhu, °C	44 - 66	32 - 60
pH	2 - 4.5	3.5 - 5.0
Anoda	Nikel	Nikel

Dengan rapat arus yang tinggi maka ketika suhu pelapisan rendah, hasil pelapisan kasar dan kusam, tetapi ketikasuhu tinggi, maka hasil pelapisan menjadi tidak merata.

Beberapa penelitian telah menjelaskan bahwa waktu pelapisan semakain lama sangat mempengaruhi hasil pelapisan secara umum. Pemilihan waktu pada proses elektroplating untuk menghasilkan suatu ketebalan lapisan yang diinginkan secara teoritis sangat variatif salah satunya adalah tergantung pada rapat arus yang digunakan. Meskipun demikian nilai ketebalan lapisan ada maksimum dan minimumnya. Pada proses pelapisan tembaga acuan pemilihan waktu dapat untuk

memprediksi ketebalan larutan yang terbentuk Kondisi tersebut ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Data pelapisan tembaga[5]

Ketebalan lapisan (µm)	Waktu pelapisan, menit pada rapat arus, A/dm ²							
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
2	4	3	2	2	2	1	1	1
5	11	8	6	5	4	3	3	2
10	23	15	11	9	8	6	6	5
20	45	30	23	18	15	13	11	9
30	68	45	34	27	23	19	17	14
40	90	60	45	36	30	26	23	18
50	113	75	57	45	38	32	28	23
60	136	90	68	54	45	39	34	27
70	158	106	79	63	53	45	40	32
80	181	120	90	72	60	52	45	36

Demikian pula pengaturan waktu pada proses pelapisan nikel juga didasarkan pada rapat arus yang yang digunakan ataupun ketebalan lapisan yang diinginkan. Pengaturan waktu pelapisan nikel didasarkan pada tabel 5.

Tabel 5. Data pelapisan nikel [5]

Ketebalan lapisan, (µm)	Waktu (menit) pelapisan pada rapat arus (A/dm ²)									
	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10
2	20	10	6.8	5.1	3.4	2.6	2.0	1.7	1.3	1
4	41	20	14	10	6.8	5.1	4.1	3.4	2.6	2
6	61	31	20	15	10	7.7	6.1	5.1	3.8	3.1
8	82	41	27	20	13	10	8.2	6.8	5.1	4.1
10	10	51	34	26	17	13	10	8.5	6.4	5.1
12	120	61	41	31	20	15	12	10	7.7	6.1
14	140	71	48	36	24	18	14	12	8.9	7.1
16	160	82	54	41	27	20	16	14	10	8.2
18	180	92	61	46	31	23	18	15	11	9.2
20	200	100	68	51	34	26	20	17	13	10
40	410	200	140	100	68	51	41	34	26	20

Parameter hasil

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa maksud dilakukan elektroplating ialah untuk tujuan penampilan, perlindungan korosi serta sifat teknis/mekanis tertentu. Namun demikian yang menjadi indikatornya antara lain adalah nilai ketebalan, kekerasan, kekasaran, dan nilai kecerahan. Pada penelitian ini nilai ketebalan dan kekasaran permukaan hasil dari proses elektroplating menjadi variabel dalam penelitian.

Nilai ketebalan lapisan minimal dan maksimal, hasil elektroplating dengan pelapis tembaga dan nikel ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Interval ketebalan pada rekayasa permukaan secara elektroplating [6]

Pengerjaan	Subtrat	Ketebalan
Pelapisan tembaga	Bebas	10-250 µm
Pelapisan nikel	Bebas	10 µm to 1 mm

Nilai kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kualitas suatu komponen atau produk. Pada skala kecil konfigurasi permukaan merupakan karakteristik *mikro-geometri*. Sementara itu *makro-geometri* adalah permukaan yang membuat bentuk yang spesifik misalnya poros, lubang, sisi dan lainnya yang tercakup pada elemen geometri ukuran, bentuk, dan posisi. Nilai kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kualitas dari komponen atau produk yang dihasilkan, diantaranya: umur leleh, pemantulan cahaya, pengecatan, pelapisan dan perlakuan panas. Sehingga kekasaran permukaan menjadi tuntutan yang harus terpenuhi [7].

Surface Texture Measuring Instrument, adalah alat untuk melihat kekasaran permukaan secara mikrogeometri pada arah vertikal, dengan menunjukkan nilai Ra nya.

BAHAN DAN PERALATAN

Yang termasuk dalam katagori bahan adalah ;

- (1) Spesimen uji berupa plat baja karbon rendah (AISI 1020) ; ukuran panjang 40mm, lebar 28mm dan tebal 1.8mm sebanyak 27 buah.
- (2) 2 jenis elektrolit yaitu elektrolit untuk pelapisan tembaga dan elektrolit untuk pelapisan nikel, masing-masing ± 4-5 liter.
- (3) 2 jenis anoda yaitu tembaga dan nikel dengan ukuran penampang tidak terlalu jauh dengan penampang spesimen.

Sementara itu yang termasuk katagori peralatan adalah ;

- (1) Rectifier dengan output tegangan : 6, 9, 12, 15 dan 18 volt. Amper trafo ± 75 Amper.
- (2) Pemanas air elektrik 600 watt model celup.
- (3) Unit termokopel.
- (4) Thermometer.
- (5) Stopwatch.
- (6) Mikroskop.
- (7) Surface Texture Measuring Instrument.

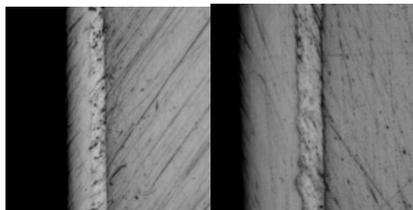
Setelah bahan dan peralatan tersedia proses elektroplating dilakukan dengan tahapan sebagai berikut ;

- (1) Spesimen dibersihkan secara mekanis dengan ampelas dan poles, kemudian pembersihan kimiawi dengan dicelupkan dalam HCl, dibilas dengan aquades kemudian dikeringkan.
- (2) Pelapisan tembaga dilakukan pada tegangan 6 volt, dengan 9 variasi suhu elektrolit dan waktu, masing-masing 3 spesimen :
 - a. Suhu 30⁰C, waktu 5, 10 dan 15 menit.
 - b. Suhu 40⁰C, waktu 5, 10 dan 15 menit.
 - c. Suhu 50⁰C, waktu 5, 10 dan 15 menit.
- (3) Dibersihkan dengan aquades, kemudian dikeringkan.
- (4) Setelah proses di atas selesai, dilanjutkan pelapisan nikel pada tegangan 9 volt, dengan variasi suhu elektrolit dan waktu :

- a. Suhu 45⁰C, waktu 10, 20 dan 30 menit.
- b. Suhu 55⁰C, waktu 10, 20 dan 30 menit.
- c. Suhu 65⁰C, waktu 10, 20 dan 30 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

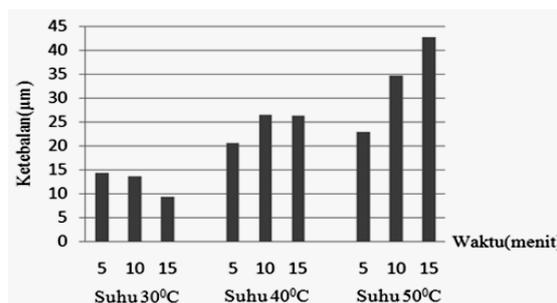
Pengukuran ketebalan lapisan tembaga-nikel dihasilkan dari fotomikro dengan mikroskop ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Lapisan tembaga-nikel pada baja karbon rendah hasil elektroplating.

Nilai ketebalan lapisan tembaga

Nilai ketebalan rata-rata tembaga dari pengukuran 3 spesimen di tiap-tiap perlakuan disajikan dalam gambar 2.

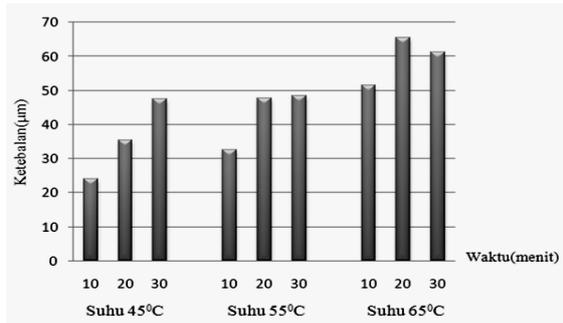


Gambar 2. Diagram ketebalan lapisan tembaga pada beberapa variasi suhu operasional

Dari diagram di atas menunjukkan bahwa peningkatan suhu operasional berpengaruh pada meningkatnya ketebalan lapisan. Seiring meningkatnya waktu pelapisan terkadang muncul ketidakaturan kenaikan nilai ketebalan. Pada suhu operasional 50⁰C nilai ketebalan lapisan meningkat teratur seiring dengan peningkatan waktu pelapisan.

Nilai ketebalan lapisan nikel

Nilai ketebalan nikel dari pengukuran 3 spesimen di tiap-tiap perlakuan, disajikan dalam gambar 3.

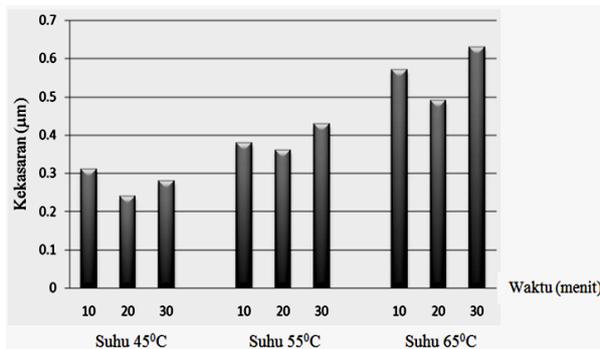


Gambar 3. Diagram ketebalan lapisan nikel pada beberapa variasi suhu operasional

Dari diagram di atas menunjukkan bahwa peningkatan suhu operasional pelapisan nikel berpengaruh pada meningkatnya ketebalan lapisan. Pada suhu operasional 45°C nilai ketebalan lapisan Ni meningkat teratur seiring dengan peningkatan waktu pelapisan, tetapi ketika suhu terus dinaikkan menjadi 55°C dan 65°C dan waktu yang terus ditambah dari 10 menjadi 30 menit, terjadi ketidakteraturan kenaikan nilai ketebalan lapisan nikel.

Nilai kekasaran permukaan

Nilai kekasaran dari 2 buah spesimen tiap perlakuan, ditunjukkan pada tabel 9 dan gambar 4.

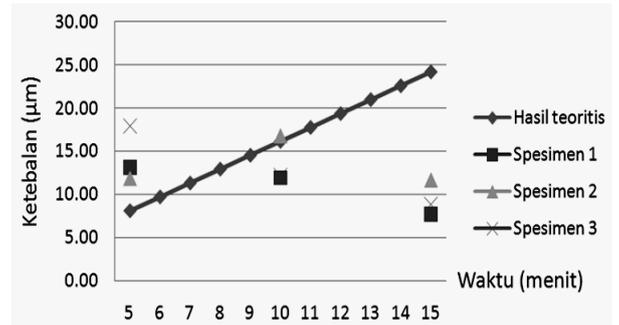


Gambar 4. Diagram nilai kekasaran permukaan tembaga-nikel pada beberapa variasi suhu operasional

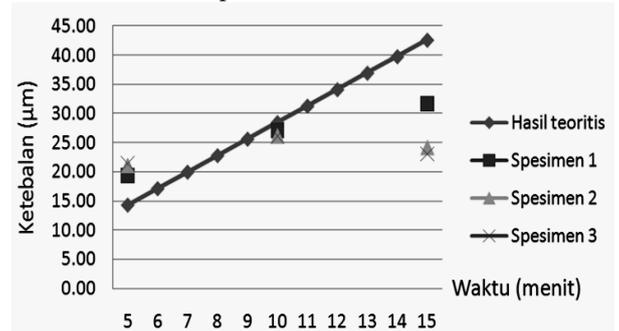
Diagram di atas menunjukkan bahwa suhu operasional semakin tinggi, maka nilai kekasaran meningkat. Tetapi dalam satu kondisi suhu operasional, peningkatan waktu pelapisan terdapat ketidakteraturan kenaikan nilai kekasaran. Dari diagram menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan lapisan tembaga-nikel lebih dominan dipengaruhi oleh suhu operasional dari pada oleh lamanya waktu pelapisan. Namun demikian nilai kekasaran terendah dari tiap-tiap kondisi suhu operasional terjadi pada waktu pelapisan 20 menit.

Pengolahan hasil

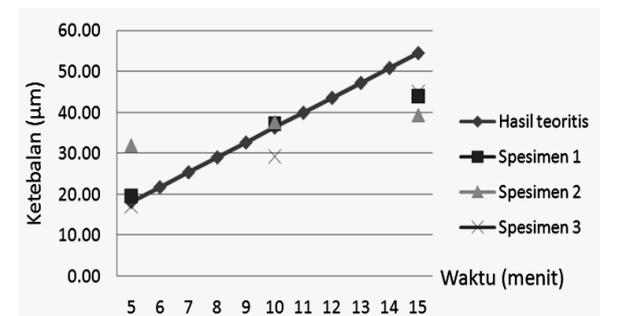
Analisa grafis nilai ketebalan lapisan tembaga hasil penelitian di atas untuk selanjutnya perlu dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Perbandingan hasil teoritis dan penelitian ditunjukkan pada gambar 5 - 7 di bawah.



Gambar 5. Grafik ketebalan-waktu pelapisan tembaga pada suhu 30°C.



Gambar 6. Grafik ketebalan-waktu pelapisan tembaga pada suhu 40°C

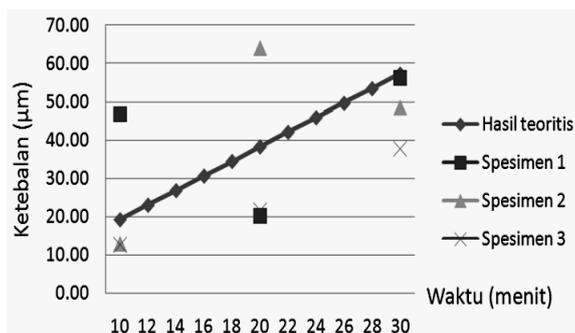


Gambar 7. Grafik ketebalan-waktu pelapisan tembaga pada suhu 50°C

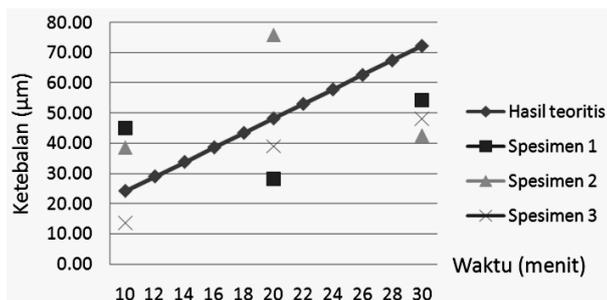
Dari gambar 5, 6 dan 7 dapat disimpulkan bahwa Suhu elektrolit 30°C, dalam beberapa variasi waktu pelapisan, nilai ketebalan aktual menyimpang dari nilai ketebalan teoritis. Suhu elektrolit 40°C, waktu pelapisan 10 menit nilai ketebalan aktual menyamai nilai ketebalan teoritis, akan tetapi ketika waktu pelapisan 5 dan 15 menit nilai ketebalan aktual menyimpang dari teoritis.

Suhu elektrolit 50°C dengan waktu pelapisan 5 dan 10 menit nilai ketebalan aktual mendekati nilai ketebalan teoritis, akan tetapi ketika waktu ditambahkan menjadi 15 menit justru nilai ketebalan aktual dibawah teoritis.

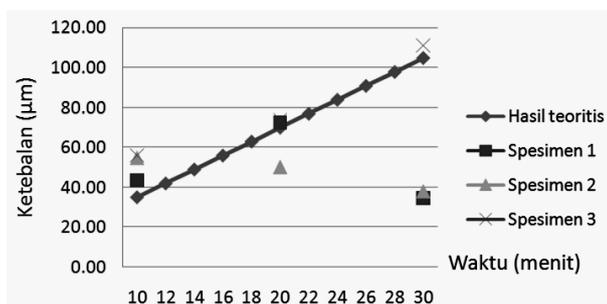
Analisa grafis nilai ketebalan lapisan nikel hasil penelitian di atas untuk selanjutnya perlu dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Perbandingan hasil teoritis dan penelitian ditunjukkan pada gambar 8 - 10 di bawah.



Gambar 8. Grafik ketebalan-waktu pelapisan nikel pada suhu 45°C



Gambar 9. Grafik ketebalan-waktu pelapisan nikel pada suhu 55°C



Gambar 10. Grafik ketebalan-waktu pelapisan nikel pada suhu 65°C

Dari gambar 8,9 dan 10 dapat disimpulkan bahwa suhu elektrolit 45°C dan 55°C, dalam beberapa variasi waktu pelapisan, nilai ketebalan aktual menyimpang dari nilai ketebalan dari teoritis. Pada

suhu elektrolit 65°C dengan waktu pelapisan 20 menit nilai ketebalan aktual mendekati nilai ketebalan teoritis. Dengan waktu pelapisan 10 dan 30 menit nilai ketebalan aktual menyimpang dari teoritis.

KESIMPULAN

- (1) Ketebalan lapisan tembaga menyamai secara teori dan aktual terjadi pada suhu 40°C dengan waktu 10 menit.
- (2) Ketebalan lapisan nikel mendekati secara teori dan aktual terjadi pada suhu 65°C dengan waktu 20 menit.
- (3) Suhu operasional semakin tinggi maka nilai kekasaran meningkat.
- (4) Nilai kekasaran permukaan dan ketebalan lapisan tembaga-nikel dalam proses elektroplating, suhu pelapisan memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan waktu pelapisan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hartomo, J. Anton, 1992, "Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)", Andi Offset, Jogjakarta.
- [2] Van Vlack, Lawerench H., 1992, "Ilmu dan Teknologi Bahan", Erlangga, Jakarta
- [3] Lowenheim, Frederick A., 1978, "Electroplating", McGRAW-HILL BOOK COMPANY, Kingsport Pres Inc.
- [4] Callister Jr, William D, 2007, "Material Science and Engineering", Department of Metallurgical Engineering The University of Utah.
- [5] ASM Metals Handbook, 1994, "Surface Engineering", volume 5
- [6] Davis, J.R., 2001, "Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance", ASM International
- [7] Rachim, Taufiq, 2001, "Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik", Institut Teknologi Bandung