



**OPTIMASI KEKUATAN TARIK PROSES *ELECTROPLATING* SS400
MENGUNAKAN METODE *TAGUCHI***

SKRIPSI

Oleh:

Muhammad Sholihul Amin

151910101019

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**OPTIMASI KEKUATAN TARIK PROSES *ELECTROPLATING* SS400
MENGUNAKAN METODE *TAGUCHI***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Muhammad Sholihul Amin

151910101019

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, maka penulis persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
2. Kedua orang tua, saudara dan keluarga besar Bani Sahlan yang telah memberikan do'a, kasih sayang, dukungan dan selalu mengajarkan segalanya;
3. Guru-guru MI Islamiyah Suwawal II, MTsN Bawu Jepara, dan MAN Bawu Jepara yang telah memberikan bekal ilmu yang bermanfaat;
4. Seluruh dosen serta civitas jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan wawasan, ilmu, pengalaman baik di dalam maupun diluar perkuliahan, serta bimbingan dan arahan yang diberikan selama penulisan skripsi ini, terutama Bapak Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Andi Sanata S.T., M.T selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Ir. Ahmad Syuhri M.T selaku dosen penguji I, Bapak Ir. Mochammad Edoward Ramadhan S.T., M.T selaku dosen penguji II dan Bapak Ir. Dr. Salahuddin junus S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik;
5. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin, serta keluarga besar Teknik Mesin angkatan 2015.

MOTTO

Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya.

(terjemahan Surat Al-Baqarah ayat 286)

atau

Hidup ini seperti sepeda, agar tetap seimbang kau harus terus bergerak

(Albert Einstein)

atau

“Success is a journey, not a destination”

Sukses bukanlah tujuan, sukses adalah sebuah perjalanan, akan selalu ada koma untuk mencapai kesuksesan.

(Ben Sweetland)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Sholihul Amin

NIM : 151910101019

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Optimasi Kekuatan Tarik Proses *Electroplating* SS400 Menggunakan Metode *Taguchi*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan, dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 17 Desember 2019

Yang menyatakan,

Muhammad Sholihul Amin

151910101019

SKRIPSI

**OPTIMASI KEKUATAN TARIK PROSES *ELECTROPLATING* SS400
MENGUNAKAN METODE *TAGUCHI***

Oleh:

Muhammad Sholihul Amin

1519101019

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Andi Sanata S.T., M.T

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Optimasi Kekuatan Tarik Proses *Electroplating* SS400 Menggunakan Metode *Taguchi*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Selasa, 17 Desember 2019

Tempat : Ruang Ujian Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing

Utama,

Anggota,

Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 19700322 199501 1 001

Ir. Andi Sanata, S.T., M.T.

NIP 19750502 200112 1 001

Penguji

Utama,

Anggota,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

NIP 19670123 199702 1 001

Ir. Moch. Edoward R., S.T., M.T.

NIP 19870430 201404 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah M.UM.

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

**OPTIMASI KEKUATAN TARIK PROSES *ELECTROPLATING* SS400
MENGUNAKAN METODE *TAGUCHI***

Muhammad Sholihul Amin, 151910101019; 2019; 102 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Perkembangan dan kemajuan teknologi di dunia industri dari masa ke masa semakin meningkat, banyak produk-produk industri terbuat dari logam murni maupun logam paduan yang memiliki peranan penting sebagai material pendukung. Logam merupakan salah satu material yang biasa ditemukan dalam kehidupan manusia, salah satunya yaitu jenis logam baja karbon rendah. Baja karbon rendah sering digunakan oleh suatu industri manufaktur dalam pembuatan mur, roda gigi, baut, rangka kendaraan, dan perkapalan. Kualitas baja yang diinginkan oleh industri diukur dari tingkat kekuatan, keindahan, kekerasan, tahan lama atau tahan korosi dan lain sebagainya. Material SS400 adalah salah satu jenis baja karbon rendah yang banyak digunakan dalam industri konstruksi, industri kereta api, jembatan dan lain-lain. Penggunaan SS400 yang bersentuhan langsung dengan lingkungan sekitar akan mengakibatkan penampilan, mutu serta daya guna material atau bahan tersebut mengalami penurunan pada sifat mekanik.

Semakin berkembangnya teknologi di dunia industri, berkembang pula cara pencegahan dan perbaikan performa kerja logam agar keindahan, kekuatan dan ketahanan korosinya lebih meningkat yaitu dengan cara pelapisan logam. Salah satu teknik pelapisan logam yaitu menggunakan pelapisan secara listrik atau disebut dengan teknik *electroplating*.

Electroplating merupakan suatu proses pelapisan logam dengan media arus listrik searah (DC) dan senyawa kimia tertentu sebagai larutan elektrolit yang memiliki fungsi untuk memindahkan partikel logam pelapis menuju material yang hendak dilapisi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kuat arus, suhu, dan waktu terhadap kekuatan tarik SS400 pada proses *electroplating* dengan pelapis nikel dan menentukan kombinasi parameter yang paling optimal untuk memperoleh hasil kekuatan tarik tertinggi.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Mesin Universitas Jember pada bulan Februari hingga bulan Oktober 2019. Penelitian ini mengambil data kekuatan tarik yang di olah dengan menggunakan metode taguchi berdasarkan matriks orthogonal L9 (3^3) dengan melakukan replikasi sebanyak tiga kali tiap kombinasi.

Hasil dari penelitian ini yaitu diperolehnya nilai kontribusi pengaruh parameter suhu sebesar 62,57%, kuat arus sebesar 13,63%, dan waktu sebesar 10,89%. Sedangkan hasil kombinasi parameter yang paling optimal adalah pada kuat arus 3 ampere (level 2), suhu 45° C (level 1), dan waktu 15 menit (level 1).

SUMMARY

OPTIMIZATION of THE SS400 ELECTROPLATING TENSILE STRENGTH PROCESS USING TAGUCHI METHOD

Muhammad Sholihul Amin, 151910101019; 2019; 102 pages; Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Jember University.

The development and advancement of technologies in the industrial world from time to time are increasing, many industrial products are made of pure metal or alloy metal which have an important role as supporting materials. Metal is one of the materials commonly found in human life, one of it is a type of low carbon steel metal. Low carbon steel is often used by a manufacturing industry in the manufacture of nuts, gears, bolts, vehicle frames, and shipping. The quality of steel desired by industry is measured in terms of strength, beauty, hardness, durability or corrosive resistance and so on. SS400 material is one type of low carbon steel that is widely used in the construction industry, the railroad industry, bridges and others. The use of SS400 that is in direct contact with the environment will result of a decrease in appearance, quality and the usefulness of the material or material in mechanical properties.

The more development of technology in the industrial world, also develops ways of preventing and improving metal work performance in order to improve the beauty, strength and corrosive resistance with coating metal method. One of the coating metal techniques is to use coating electric or called electroplating techniques.

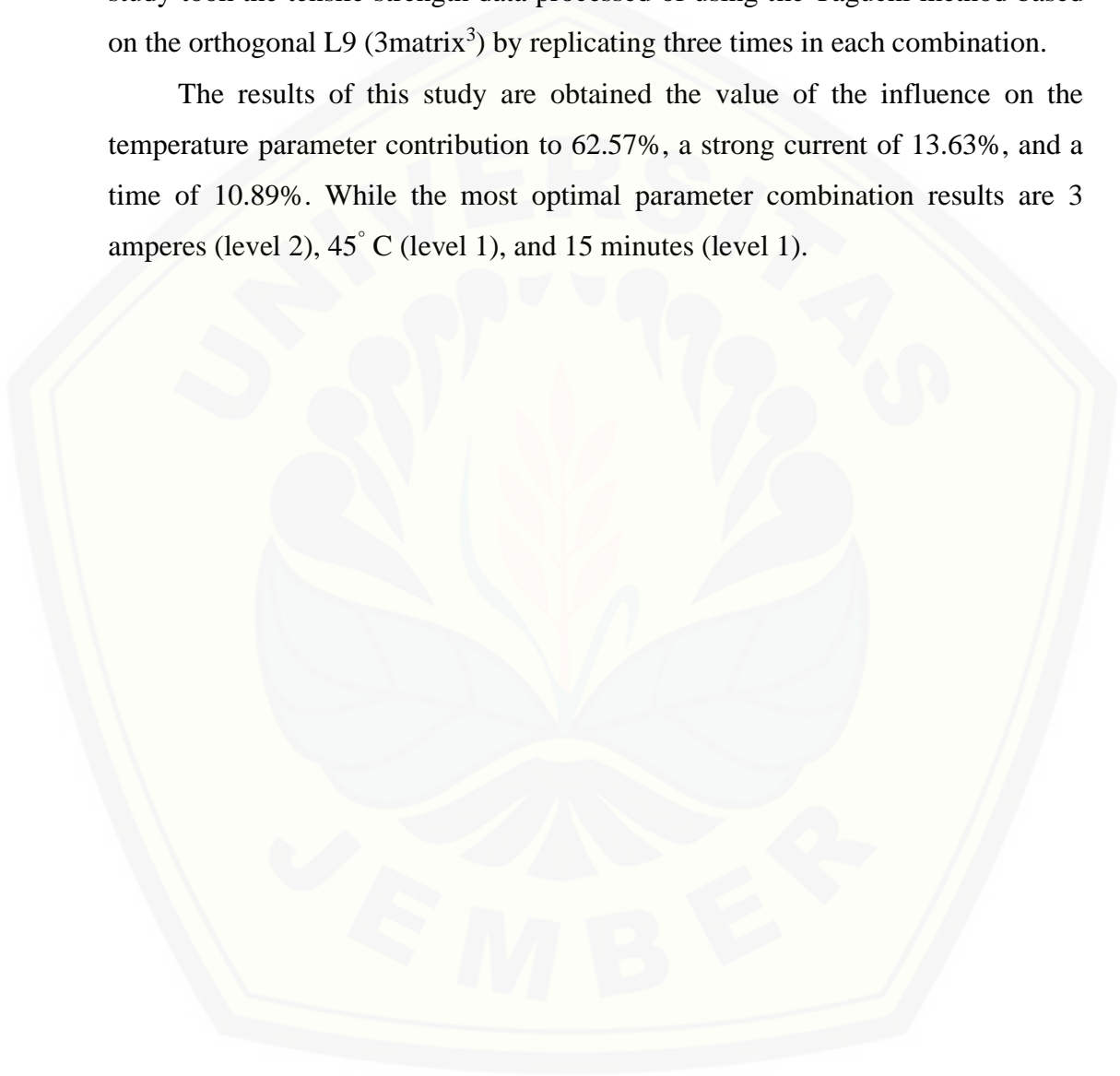
Electroplating is a coating metal process with direct current media (DC) and certain chemical compounds as an electrolyte solution that has the function to steer metal coating particles to the material that will be coated.

The purpose of this study was to determine the effect of strong currents, temperature, and time on the tensile strength of SS400 in the process

electroplating with nickel coating, also to control the most optimal parameter combination to obtain the highest tensile strength results.

This research was conducted at the Laboratory of Mechanical Engineering Test Materials at the University of Jember from February to October 2019. This study took the tensile strength data processed of using the Taguchi method based on the orthogonal L9 (3^{matrix^3}) by replicating three times in each combination.

The results of this study are obtained the value of the influence on the temperature parameter contribution to 62.57%, a strong current of 13.63%, and a time of 10.89%. While the most optimal parameter combination results are 3 amperes (level 2), 45° C (level 1), and 15 minutes (level 1).



PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Kekuatan Tarik Proses *Electroplating* SS400 Menggunakan Metode Taguchi”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penelitian dan Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

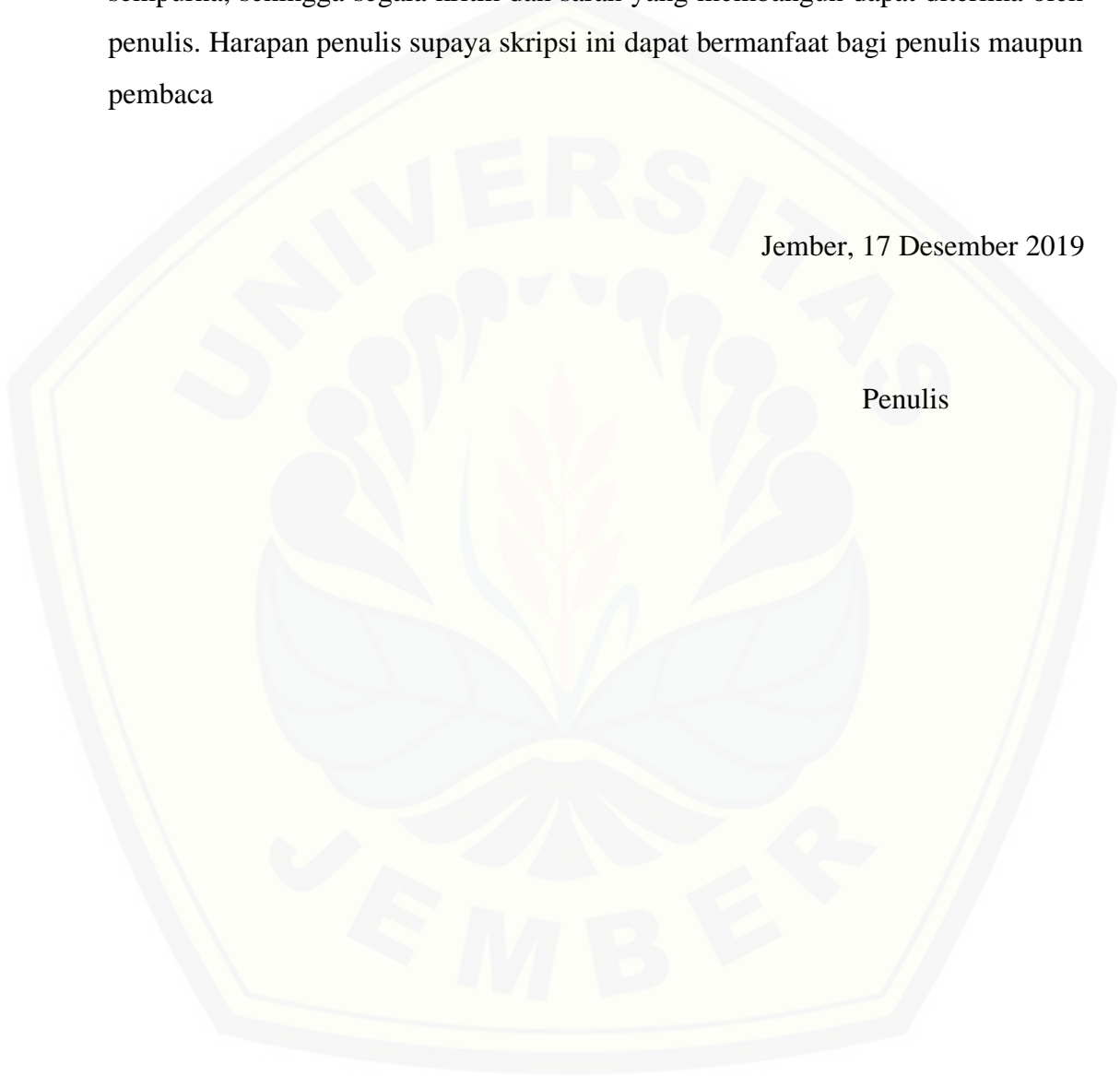
1. Dr. Ir. Entin Hidayah M. UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Ir. Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Ir. Hary Sutjahjono, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama;
5. Bapak Ir. Andi Sanata, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota;
6. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T., selaku Dosen Penguji Utama;
7. Bapak Ir. Moch. Edoward R., S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota;
8. Bapak Ir. Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik;
9. Ayah, Ibu, saudara dan keluarga besar Bani Sahlan yang telah memberikan dukungan;
10. Keluarga besar Paguyuban Mahasiswa Bidikmisi Universitas Jember;
11. Tim riset *Electroplating* yang telah bekerja keras melakukan penelitian ini.

12. Teman-teman seperjuangan S1 dan D3 angkatan 2015 Unniversitas Jember yang telah memberikan motivasi dan dukunngan dalam penulisan ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga segala kritik dan saran yang membangun dapat diterima oleh penulis. Harapan penulis supaya skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca

Jember, 17 Desember 2019

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	4
1.3.1 Tujuan.....	4
1.3.2 Manfaat.....	4
1.4 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Electroplating	6
2.1.1 Pengertian <i>Electroplating</i>	6
2.1.2 Prinsip Kerja <i>Electroplating</i>	6
2.1.3 Unsur Pokok <i>Electroplating</i>	9
2.1.4 Proses Pengerjaan Pendahuluan (<i>Pretreatment</i>)	10
2.2 Faktor yang Mempengaruhi Hasil <i>Electroplating</i>	11
2.2.1 Suhu (<i>temperatur</i>)	11
2.2.2 Kuat Arus	11

2.2.3	Waktu (<i>time</i>).....	12
2.2.4	Jarak Elektroda (anoda-katoda).....	12
2.3	Bahan Pelapis Proses <i>Electroplating</i>	12
2.4	Uji Tarik	14
2.4.1	Definisi Uji Tarik	14
2.4.2	Prinsip Kerja Uji Tarik.....	16
2.4.3	Perilaku Mekanik Material.....	18
2.5	Metode Taguchi	19
2.5.1	Definisi Metode Taguchi.....	20
2.5.2	Kelebihan serta Kekurangan Metode Taguchi	20
2.5.3	Desain Metode Taguchi	21
2.6	Baja	28
2.6.1	Baja Karbon (<i>carbon steel</i>)	28
2.6.2	<i>Structural Steel</i> (SS400).....	30
2.7	Kajian Penelitian Terdahulu	31
2.8	Hipotesis	33
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1	Metode Penelitian	34
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.3	Jadwal Penelitian	34
3.4	Alat dan Bahan	35
3.4.1	Alat yang digunakan.....	35
3.4.2	Bahan yang digunakan	36
3.5	Variabel Penelitian	37
3.5.1	Variabel Bebas	37
3.5.2	Variabel Terikat.....	38
3.5.3	Variabel Kontrol.....	38
3.6	Tahap Penelitian	39
3.6.1	Preparasi Material	39
3.6.2	Pembuatan Larutan Elektrolit.....	40
3.6.4	Pelapisan Secara <i>Electroplating</i>	41

3.6.5	Proses Pengujian	42
3.7	Pengambilan Data	42
3.8	Metode Analisis	43
3.9	Diagram Alir Penelitian	45
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1	Hasil	48
4.1.1	Hasil <i>Electroplating</i>	48
4.1.2	Hasil Eksperimen	50
4.1.3	Penentuan dan Perhitungan S/N Rasio	51
4.1.4	Kombinasi Variasi Optimal	52
4.1.5	Analysis of Variance, Persen Kontribusi dan Uji F	54
4.1.6	Prediksi Respo Optimal	57
4.1.7	Eksperimen Konfirmasi	58
4.2	Pembahasan	59
4.2.1	Reaksi Kimia pada Proses <i>Electroplating</i>	60
4.2.2	Rentang <i>Setting Point</i> Proses <i>Electroplating</i>	61
4.2.3	Pengaruh Parameter Terhadap Kekuatan Tarik <i>Electroplating</i>	62
BAB 5.	PENUTUP	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
	DAFTAR PUSTAKA	66
	LAMPIRAN-LAMPIRAN	69

DAFTAR GAMBAR

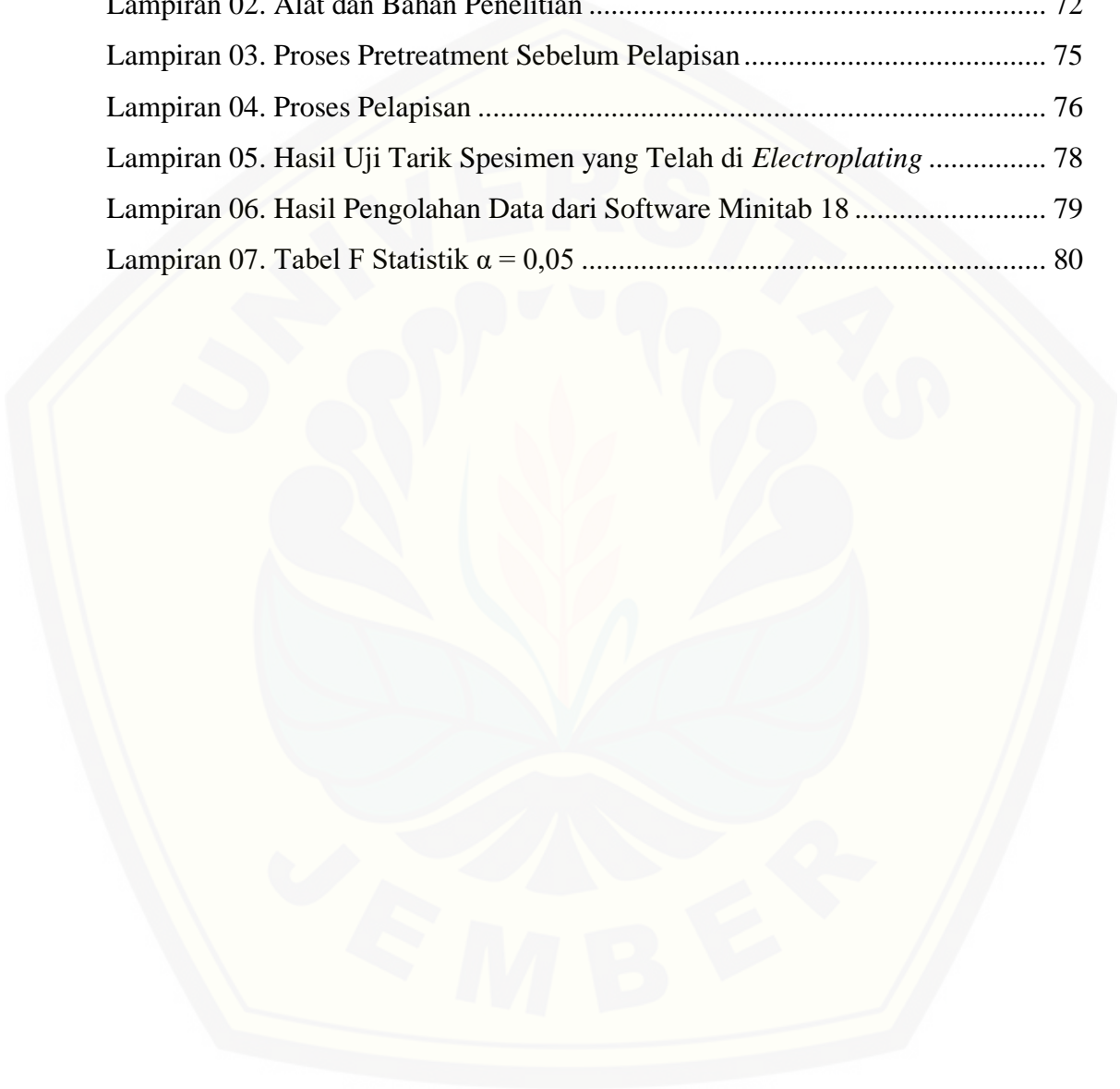
Gambar 2.1 Skema proses electroplating.....	7
Gambar 2.2 Reaksi yang terjadi pada proses pelapisan	8
Gambar 2.3 Benda kerja bertambah panjang karena beban.....	15
Gambar 2.4 Spesimen Uji Tarik.....	16
Gambar 2.5 Proses uji tarik.....	17
Gambar 2.6 Perubahan uji tarik	17
Gambar 2.7 Modulus elastisitas	18
Gambar 2.8 Tegangan tarik Maksimum.....	19
Gambar 3.1 Ukuran spesimen uji tarik	39
Gambar 3.2 Desain rancangan alat electroplating.....	40
Gambar 3.3 Penempatan spesimen dalam bak larutan.....	41
Gambar 3.4 Diagram alir pelapisan logam secara electroplating	45
Gambar 3.5 Diagram alir preparasi spesimen	46
Gambar 3.6 Diagram alir pembuatan larutan elektrolit	46
Gambar 3.7 Proses <i>Electroplating</i>	47
Gambar 4.1 Spesimen raw material	48
Gambar 4.2 spesimen hasil electroplating	48
Gambar 4.3 Grafik Kekuatan tarik spesimen raw material.....	49
Gambar 4.4 Perbedaan hasil pelapisan.....	49
Gambar 4.5 Grafik nilai kekuatan tarik tiap level variable.....	53
Gambar 4.6 Reaksi yang terjadi pada proses pelapisan SS400 dengan nikel	60
Gambar 4.7 Grafik kekuatan tarik rata-rata dengan pengaruh arus	62
Gambar 4.8 Grafik kekuatan tarik rata-rata dengan pengaruh suhu	63
Gambar 4.9 Grafik kekuatan tarik rata-rata dengan pengaruh waktu	63
Gambar 4.10 Grafik nilai optimal tiap parameter	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi dan kondisi operasi larutan nikel strike dan watt's.....	13
Tabel 2.2 Komposisi dan kondisi operasi larutan nikel mengkilap	14
Tabel 2.3 Ukuran Spesimen Uji Tarik	16
Tabel 2.4 Desain faktorial 3^3	22
Tabel 2.5 Matriks orthogonal L9(3^3)	23
Tabel 2.6 Klasifikasi baja karbon.....	30
Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu Proses Electroplating	31
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan	35
Tabel 3.2 Variabel bebas.....	38
Tabel 3.3 Variabel kontrol	38
Tabel 3.4 Data hasil pengujian tarik proses electroplating SS400 L9(3^3)	42
Tabel 3.5 Analysis of Varians (ANOVA).....	43
Tabel 4.1 Data Hasil Ekspermen.....	51
Tabel 4.2 Data Perhitungan S/N Rasio	52
Tabel 4.3 Respon rata-rata kekuatan tarik untuk setiap variable bebas	53
Tabel 4.4 Variasi kombinasi nilai optimal produk electroplating SS400	54
Tabel 4.5 Hasil Anova variable bebas produk electroplating Baja SS400	55
Tabel 4.6 Persen kontribusi tiap variabel bebas.....	57
Tabel 4.7 Hasil kekuatan tarik eksperimen konfirmasi.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 01. Dokumentasi Pembuatan Alat	69
Lampiran 02. Alat dan Bahan Penelitian	72
Lampiran 03. Proses Pretreatment Sebelum Pelapisan	75
Lampiran 04. Proses Pelapisan	76
Lampiran 05. Hasil Uji Tarik Spesimen yang Telah di <i>Electroplating</i>	78
Lampiran 06. Hasil Pengolahan Data dari Software Minitab 18	79
Lampiran 07. Tabel F Statistik $\alpha = 0,05$	80





BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan serta kemajuan teknologi di dunia industri dari masa ke masa semakin meningkat, banyak produk-produk industri terbuat dari logam murni maupun logam paduan yang memiliki peranan penting sebagai material pendukung. Logam adalah salah satu material atau bahan yang biasa ditemukan dalam kehidupan manusia, salah satunya yaitu jenis logam baja karbon rendah. Baja karbon rendah merupakan jenis bahan logam yang mempunyai unsur-unsur berupa besi (Fe) dan karbon (C), selain itu juga memiliki unsur S, P, Si, dan Mn. Baja karbon rendah sering digunakan oleh suatu industri manufaktur dalam pembuatan mur dan baut, roda gigi, perkapalan, dan rangka kendaraan (Supriadi, 2010). Kualitas material yang diinginkan oleh industri diukur dari tingkat kekuatan, keindahan, kekerasan, tahan lama atau tahan korosi dan lain sebagainya (Irwanto, 2010).

Material SS400 adalah jenis baja karbon rendah yang mempunyai beberapa sifat keuletan yang baik, kekerasan yang sedang, dan sedikit kandungan *silicon*. Aplikasi SS400 banyak digunakan dalam industri konstruksi, industri kereta api, jembatan dan lain sebagainya. Material SS400 yang bersentuhan langsung dengan lingkungan akan mengakibatkan penampilan, mutu serta daya guna material atau bahan tersebut mengalami penurunan pada sifat mekanik (Mulyuda dan Mulyanto, 2017). Semakin pesatnya perkembangan teknologi di bidang industri, cara pencegahan dan perbaikan performa kerja logam juga semakin berkembang agar keindahan, kekuatan dan ketahanan korosinya lebih meningkat yaitu dengan cara pelapisan logam menggunakan cat, powder coating, heat treatment terhadap permukaan logam, dan penambahan larutan. Pelapisan logam merupakan salah satu proses manufaktur dalam suatu industri pada tahap *finishing*. Salah satu teknik pelapisan logam yaitu menggunakan pelapisan secara listrik atau disebut dengan teknik *electroplating*.

Electroplating merupakan proses pelapisan logam yang dialiri oleh arus listrik searah (*Direct Current*) dengan media larutan kimia tertentu sebagai larutan elektrolit yang memiliki fungsi untuk memindahkan ion logam pelapis menuju benda kerja yang akan dilapisi. Prinsip pelapisan *electroplating* yaitu dialirkannya arus searah melalui penghantar elektroda yang dihubungkan dengan bahan pelapis (anoda) dan material yang akan dilapisi (katoda) kemudian dimasukkan kedalam bak yang berisi larutan kimia sebagai elektrolit. Saat proses pelapisan, ion-ion dari bahan pelapis akan terlepas sehingga akan melapisi benda kerja yang dilapisi atau disebut proses oksidasi dan reduksi (Irwanto, 2010). Kelebihan pelapisan logam dengan teknik *electroplating* yaitu komposisi larutan luas, dapat menghasilkan beberapa lapisan sesuai dengan kebutuhan dan lain sebagainya.

Pada saat operasi *electroplating* berlangsung sangat perlu diperhatikan dengan baik *setting point* agar hasil pelapisan yang diinginkan akan lebih baik dan pengendapan ion akan lebih maksimal. Faktor yang mempengaruhi pelapisan *electroplating* yaitu konsentrasi larutan, temperatur (suhu), waktu, pH larutan, tegangan listrik, rapat arus, jarak elektroda, dan lain sebagainya (Bayuseno, 2012). Bahan pelapis yang digunakan dalam *electroplating* baja dapat berupa lapis tembaga, nikel, perak, alumunium, emas, krom, dan lainnya. Pelapis yang digunakan harus menyesuaikan kebutuhan dan fungsi setiap material. Pelapisan logam secara *electroplating* mempunyai tujuan utama untuk memperbaiki sifat-sifat logam dasar, untuk melindungi material dari karat, dan untuk meningkatkan sifat *decorative* logam (Ananta dan Sakti, 2016).

Pelapisan logam dengan teknik *electroplating* memiliki beberapa faktor penting untuk memperoleh ketebalan lapisan dan kekuatan tarik yang baik, salah satunya yaitu faktor arus, suhu dan waktu yang mempunyai pengaruh cukup besar, karena ketiganya saling berhubungan dalam proses pelapisan (Budiyanto, dkk, 2016). Faktor penting lainnya dalam melakukan pelapisan logam secara *electroplating* yaitu bahan pelapis yang digunakan untuk memperoleh kebutuhan yang diinginkan seperti keindahan dan kekuatan pada logam. Pelapisan menggunakan nikel merupakan terobosan atau solusi untuk mencegah sifat korosi pada permukaan material atau logam dasar, meningkatkan kekuatan dan

memperindah penampilan logam (*decorative*). Penggunaan bahan pelapis nikel sebagai anoda dianjurkan untuk menambahkan dan mencampurkan larutan elektrolit dengan garam ke dalam bak plating, misalnya yaitu nikel klorida sebagai peningkatan konduktivitas, nikel sulfat sebagai penyedia ion nikel karbonat, nikel fluoborat dan nikel sulfamat. Elektroda akan mengalami perubahan-perubahan potensial yang diakibatkan adanya aliran arus DC, maka pelapis Ni sebagai anoda akan terlepas ke dalam larutan elektrolit (Saleh, 2014)

Kualitas pelapisan proses *electroplating* yang dihasilkan dapat dianalisa menggunakan metode statistik secara *off line quality control* yang diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Genechi Taguchi atau dikenal dengan metode *Taguchi*. Menurut Soejanto (2009) kelebihan dari metode *Taguchi* ini adalah rancangan percobaan dapat meningkatkan efisiensi lebih tinggi karena dapat melakukan penelitian dengan menggunakan banyak faktor dan level, dan mendapatkan hasil produk yang konsisten terhadap gangguan faktor yang tidak bisa dikendalikan. Tujuan utama metode taguchi tersebut yaitu untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap respon.

Menurut Ananta dan Sakti (2016) semakin lama waktu dan besar arus tidak menjadikan pengaruh besar terhadap ketebalan lapisan menggunakan nikel terhadap baja ST 41 karena terjadinya faktor agitasi dan gravitasi. Kelemahan dari penelitian ini disebutkan bahwa rentang waktu antara *polishing* dan *electroplating* terlalu lama. Menurut penelitian lain oleh Sari (2013) hasil uji tarik proses *electroplating* mengalami perbedaan kekuatan tarik raw material dengan nilai tertinggi mencapai 6,65% dimana nilai tertingginya 627,8 N/mm².

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas maka peneliti ingin mengembangkan pelapisan logam dengan teknik *electroplating* menggunakan tiga parameter yaitu kuat arus, suhu dan waktu yang berbeda level dengan menggunakan nikel sebagai pelapis baja SS400. Penentuan nilai optimum akan menggunakan metode *Taguchi* untuk mengetahui pengaruh faktor terhadap

kekuatan tarik SS400 dengan memperhatikan rentang waktu antara *polishing* dengan *electroplating* agar mendapatkan pelapisan yang lebih baik.

Secara terperinci masalah pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kuat arus, suhu, serta waktu terhadap kekuatan tarik SS400 pada proses *electroplating* dengan pelapis nikel?
2. Berapa besar arus, suhu dan waktu yang paling optimal pada proses *electroplating* SS400 dengan pelapis nikel?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh kuat arus, suhu, dan waktu terhadap kekuatan tarik SS400 pada proses *electroplating* dengan pelapis nikel;
2. Mengetahui besar arus, suhu dan waktu yang paling optimal pada proses *electroplating* SS400 dengan pelapis nikel.

1.3.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan sebagai pengembangan ilmu pelapisan logam secara *electroplating*, khususnya dengan pelapisan nikel;
2. Memberikan informasi tentang nilai optimal untuk melakukan proses elektroplating menggunakan parameter arus, suhu dan waktu dengan pelapis nikel pada SS400;
3. Dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya dengan parameter dan metode yang baru;
4. Menambah ilmu pengetahuan dan riset di bidang *electroplating* pada jurusan teknik mesin Universitas Jember.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kondisi lingkungan dalam pengambilan data dianggap ideal;
2. Jarak elektroda, tegangan, dan volume larutan elektrolit sama tiap pengujian;
3. Tidak membahas tentang cacat dan limbah hasil *electroplating*.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Electroplating*

2.1.1 Pengertian *Electroplating*

Pengertian *electroplating* dalam teknologi pengerjaan material logam termasuk dalam kategori sebagai tahap pengerjaan akhir atau disebut dengan *metal finishing*. Secara istilah *electroplating* adalah suatu proses pelapisan logam yang dialiri oleh kuat arus searah (DC) dan menggunakan bahan kimia sebagai larutan elektrolit yang bertujuan untuk melepaskan ion-ion logam pelapis menuju benda kerja yang akan dilapisi. Menurut Saleh (2014) *electroplating* merupakan proses pengendapan ion-ion logam pelapis (kutub positif) yang melapisi diatas benda kerja (kutub negatif) secara elektrolisis. Pengendapan yang terjadi pada benda kerja disebabkan adanya ion-ion yang berpindah secara kontinu menggunakan tegangan listrik yang stabil, kemudian ion tersebut menempel dan mengendap membentuk lapisan permukaan pada suatu bahan atau material (Paridawati, 2013).

Teknik *electroplating* adalah proses manufaktur tahap pengerjaan akhir (*metal finishing*) suatu logam yang bertujuan untuk menambah tampilan lebih menarik, selain itu proses *electroplating* juga bertujuan lainnya diantaranya yaitu meningkatkan hasil ketebalan lapisan, kekuatan material, kekerasan permukaan, ketahanan aus pada material, dan mencegah korosi (Supriadi, 2010). Teknik *electroplating* memiliki beberapa keunggulan yaitu teknik pelapisan logam yang sederhana, menarik, ekonomis, selanjutnya material yang bisa dilakukan *electroplating* juga sangat luas contohnya logam, logam *alloy*, dan semi konduktor dengan hasil ketebalan yang tidak memiliki batas maksimal (El-Giar, 2000).

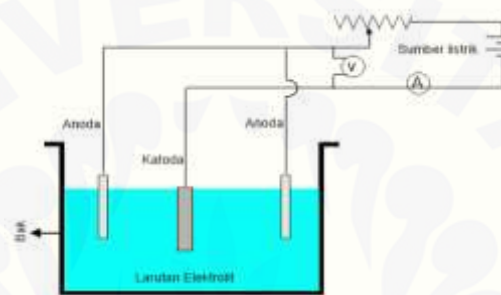
2.1.2 Prinsip Kerja *Electroplating*

Prinsip kerja pelapisan logam menggunakan teknik *electroplating* ialah gabungan dari beberapa rangkaian. Rangkaian tersebut diantaranya yaitu kuat arus

listrik, elektroda, dan larutan elektrolit. Keempat rangkain tersebut disusun dan saling dihubungkan untuk membentuk suatu sistem lapis listrik dengan beberapa cara (Saleh, 2014):

- Anoda akan dihubungkan pada kutub positif (+) dari sumber aliran listrik;
- Katoda akan dihubungkan pada kutub negatif (-) dari sumber aliran listrik;
- Anoda dan katoda dimasukkan dan direndam di dalam larutan elektrolit.

Lebih jelasnya rangkaian dan skema proses pelapisan logam secara *electroplating* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Skema proses electroplating (Sumber: Saleh, 2014)

Prinsip proses lapis listrik (*electroplating*) berpedoman pada “Hukum Faraday” yang menyatakan bahwa:

- Jumlah zat atau unsur yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisa sebanding dengan jumlah arus listrik.
- Jumlah zat atau unsur yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisa adalah sebanding dengan berat ekivalen masing-masing zat tersebut.

Pernyataan di atas dapat dinyatakan dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$B = \frac{I \cdot t \cdot e}{F} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- B = Berat zat yang terbentuk
 I = Jumlah arus yang mengalir (A)
 t = Waktu (detik)
 e = Berat ekivalen zat yang dibebaskan (berat atom dibagi valensi unsur)
 F = Jumlah arus yang diperlukan
 1 F = 96.500 Coulumb

Hukum Faraday mempunyai keterkaitan dengan tingkat efisiensi kuat arus yang terjadi saat proses pelapisan secara *electroplating*. Tingkat efisiensi arus adalah perbandingan berat endapan yang terjadi dengan berat endapan secara teoritis dan dinyatakan dalam %. Tegangan dan arus dalam proses pelapisan ini harus dalam kondisi konstan. Pernyataan tersebut menjelaskan bahwa tegangan tidak akan terpengaruh oleh besar kecilnya arus yang terpakai. Hubungan antara tegangan dan arus bisa dilihat dari persamaan (2) berikut ini (Saleh, 2014).

$$I = V/R \dots \dots \dots (2)$$

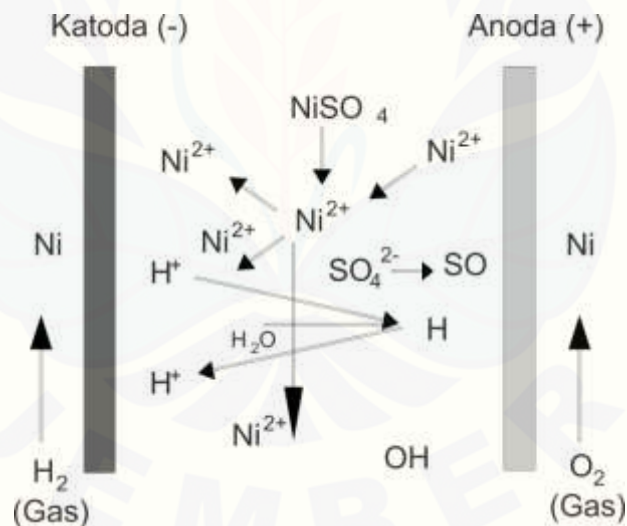
Keterangan:

I = Arus (ampere)

V = Tegangan (v)

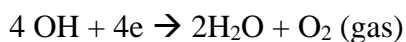
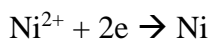
R = Tahanan (ohm)

Peristiwa terjadinya reaksi pada saat pelapisan berlangsung dapat dilihat pada gambar berikut ini (Saleh, 2014).



Gambar 2.2 Reaksi yang terjadi pada proses pelapisan (Sumber: Saleh, 2014)

Maka pada anoda terjadi reaksi:



Ion-ion H^+ sebagian akan mengendap pada benda kerja (katoda) dan sebagian lainnya menguap membentuk gas H_2 .

2.1.3 Unsur Pokok *Electroplating*

Unsur-unsur pokok proses pelapisan logam secara *electroplating* diantaranya yaitu sebagai berikut (Saleh, 2014):

a. Larutan Elektrolit

Proses lapis listrik (*electroplating*) membutuhkan suatu jenis larutan elektrolit yang digunakan sebagai media berlangsungnya pelapisan suatu material. Larutan elektrolit biasanya dapat dibuat dari beberapa larutan garam maupun asam yang bisa membentuk ion-ion positif. Jenis larutan elektrolit dapat menggunakan larutan yang beda, tergantung pada sifat elektrolit yang diinginkan oleh peneliti. Pemilihan garam sebaiknya adalah garam yang mudah untuk larut dan anionnya sulit tereduksi. Anion yang menempel pada benda kerja (katoda) akan menyebabkan gangguan dengan terbentuknya struktur mikro. Kemampuan dan aktivitas ion-ion akan ditentukan oleh konsentrasi logam, dimana apabila konsentrasi logam tersebut tidak cukup untuk diendapkan, maka endapan yg diperoleh saat pelapisan akan mudah terbakar jikalau memakai arus yang rendah. Zat kimia dicampurkan kedalam larutan elektrolit dengan tujuan untuk mendapatkan beberapa sifat lapisan logam tertentu, diantaranya yaitu tampak rupa, keuletan, kekerasan, dan getas.

b. Anoda (+)

Saat proses *electroplating* berlangsung, anoda atau bahan pelapis berperan dalam memperoleh hasil kualitas lapisan yang lebih baik. Kemurnian dari anoda akan berpengaruh terhadap larutan elektrolit. Pada proses pelapisan logam secara *electroplating*, pemilihan dan penentuan anoda yang cermat akan memberikan beberapa keuntungan yaitu meningkatkan jumlah endapan, menurunkan biaya bahan kimia yang digunakan, meningkatkan produksi, dan mengurangi masalah lainnya pada proses *electroplating*. Pada logam pelapis akan terjadi pelepasan ion-ion dan oksigen (proses reduksi) karena adanya aliran arus listrik melalui larutan elektrolit, kemudian ion logam tadi akan mengendap pada benda kerja yang akan dilapisi.

c. Air

Air merupakan salah satu bahan yang perlu disediakan dalam industri pelapisan logam (*electroplating*). Air digunakan pada proses *electroplating* berfungsi sebagai pembuatan larutan elektrolit, pembilasan, pembersihan, pendinginan, dan lain sebagainya. Air yang berfungsi sebagai pembilasan, pencucian, dan pendinginan menggunakan kualitas air kota. Sedangkan fungsi dalam pembuatan larutan menggunakan air bebas mineral (*aquades*).

2.1.4 Proses Pengerjaan Pendahuluan (*Pre Treatment*)

Persiapan yang dilakukan sebelum pelapisan suatu logam berfungsi untuk meningkatkan efisiensi daya ikat antara bahan pelapis dengan material yang akan dilapisi. Permukaan material atau bahan yang baik merupakan permukaan yang seluruhnya mengandung atom dan tidak ada bahan lainya (Hartono dan Kaneko, 1992). Tujuan dari pengerjaan pendahuluan atau preparasi material ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk menghilangkan semua pengotor pada permukaan benda kerja (organik, anorganik, dll).
- b. Untuk mendapatkan sifat-sifat fisik pada permukaan logam yang lebih aktif.

Menurut Saleh (2014) pengerjaan awal atau preparasi material ini tergantung pada pengotor pada saat melakukan pembersihan. Klasifikasi secara umum adalah:

1) Pembersihan secara mekanik

Pembersihan ini berfungsi untuk memperhalus permukaan logam dan menghilangkan goresan yang masih melekat pada benda kerja (*Polishing*). Alat untuk membersihkan goresan tersebut salah satunya yaitu gerinda atau amplas, proses *buffing* untuk memperhalus permukaan logam atau specimen (prinsipnya sama dengan gerinda bedanya pada bahan yaitu katun atau kulit).

2) Pembersihan secara alkalin (*degreasing*)

Pembersihan ini sangat perlu karena berfungsi untuk membersihkan minyak atau lemak yang mengganggu pada proses pelapisan terhadap

benda kerja. Pencucian dengan alkalin ada dua cara yaitu *alkaline degreasing* dan *electrolitic degreasing*.

3) Pencucian menggunakan asam (*pickling*)

Pencucian ini berfungsi untuk membersihkan karat secara kimiawi dengan melakukan perendaman. Larutan yang digunakan biasanya adalah sebagai berikut:

- a) (HCL), asam klorida
- b) (H₂SO₄), asam sulfat
- c) (HF), asam sulfat dan asam fluorida

2.2 Faktor yang Mempengaruhi Hasil *Electroplating*

Proses *electroplating* dipengaruhi oleh beberapa parameter yang memiliki efek besar dan perlu diperhatikan agar hasil yang diperoleh lebih baik. Parameter tersebut diantaranya yaitu suhu, kuat arus, waktu, dan jarak elektroda.

2.2.1 Suhu (*temperatur*)

Suhu adalah parameter yang biasa digunakan dalam menentukan hasil *electroplating* yang lebih baik. Suhu berfungsi untuk menyeleksi cocoknya jalan reaksi dan melindungi pelapsan. Suhu akan seimbang dengan menentukan beberapa faktor lainnya (Hartono dan Kaneko, 1992).

2.2.2 Kuat Arus

Kuat arus merupakan nilai yang menyatakan jumlah aliran listrik dipermukaan elektroda. Proses lapis listrik secara *electroplating*, kuat arus adalah parameter yang perlu diperhatikan dengan teliti karena akan mempengaruhi banyaknya ion-ion logam yang akan mengendap pada benda kerja. Proses lapis listrik dengan parameter kuat arus memiliki peranan penting karena akan berdampak pada efisiensi arus (Hartono dan Kaneko, 1992). Rapat arus yang kurang sesuai akan menyebabkan pengendapan kurang mengikat dengan kuat, sehingga endapan tidak maksimal dan ion-ion tersebut akan berguguran dan berjatuhan (Sukarjo dan Pani, 2018).

2.2.3 Waktu (*time*)

Waktu pelapisan *electroplating* akan berdampak pada kuantitas dari hasil akhir pelapisan logam atau produk yang akan dilapisi. Semakin naik waktu menyebabkan konduktivitas dan difusivitas larutan elektrolit juga naik (Hartono dan Kaneko, 1992).

2.2.4 Jarak Elektroda (anoda-katoda)

Jarak anoda katoda juga faktor yang dapat mempengaruhi hasil *electroplating* karena adanya *Throwing Power*. *Throwing Power* adalah kemampuan larutan penghasil ketebalan yang merata pada lapisan, sejalan dengan perubahan jarak elektroda selama proses elektroplating secara terus menerus. Jarak elektroda sangat berpengaruh karena anoda (Positif) dan katoda (negatif) dialiri oleh arus searah. Anoda adalah bahan pelapis sedangkan katoda adalah bahan yang dilapisi.

2.3 Bahan Pelapis Proses *Electroplating*

Beberapa bahan pelapis pada proses *electroplating* yaitu lapis tembaga, lapis nikel, dan lapis *chrom*.

a. Pelapisan tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) merupakan bahan yang bisa digunakan sebagai bahan paduan. Sifat tembaga diantaranya yaitu lunak, liat, dan ulet. Penggunaan lapisan tembaga berfungsi untuk meningkatkan keindahan logam, melindungi logam dari kekorosian, dan lain sebagainya. Proses *electroplating* pada baja karbon rendah dengan menggunakan pelapis tembaga biasanya menggunakan elektrolit tembaga (CuSO_4).

b. Pelapisan Nikel (Ni)

Pelapisan nikel (Ni) berfungsi untuk mencegah korosi ataupun untuk menambah keindahan permukaan logam, selain itu pelapisan nikel dapat menambah kekuatan suatu material. Nikel tahan terhadap panas dan korosi, selain itu nikel tidak rusak oleh air alkali atau air laut. Proses *electroplating*

menggunakan pelapis nikel (anoda) diklasifikasikan menjadi beberapa larutan, diantaranya yaitu (Saleh, 2014):

1) Larutan *Watts*

Merupakan larutan standar. Nikel sulfat dijadikan sumber utama ion nikel untuk dapat diendapkan karena garam nikel (Ni) memiliki sifat mudah larut dalam air, mudah didapat, tidak menghasilkan ion kompleks, dan murah.

2) Larutan nikel sulfat

Larutan ini dapat memperoleh hasil lapisan yang lebih halus dengan tingkat efisiensi yang lumayan baik apabila menambahkan asam borik.

3) Larutan nikel klorida tinggi

Penambahan asam klorida bertujuan untuk melapisi nikel kilap secara cepat dan melapisi dengan sistem barrel.

4) Larutan nikel sulfamat

Larutan nikel sulfamat terjadi pengendapan nikel dengan kecepatan yang tinggi. Larutan ini relatif lebih mahal.

Tabel 2.1 Komposisi larutan nikel strike dan watt's

Bahan dan Kondisi Operasi	Konnsentrasi Larutan (g/L)				
	<i>Dull Nickel</i>	<i>Watt's Bath</i>	<i>All Sulfat</i>	<i>Sulfat Chlorida</i>	<i>All Chlorida</i>
Bahan:					
<i>Nikel Sulfat (NiSO₄)</i>	150	220-380	300	195	-
<i>Ammonium Chlorid (NH₄CL)</i>	15	-	-	-	-
<i>Nickel Chlorid (NiCL)</i>	-	30-60	-	175	240
<i>Boric Acid (H₃B₃)</i>	15	30-45	40	40	30
Kondisi Operasi:					
Temperatur (°C)	20-30	45-65	45	45-50	55-70
Rapat arus	0,5-6,2	2,5-10	2,5-11	2,5-12,5	2-12
pH	5,8-6,2	2-5,2	3-5	1,5	2
Anoda:katoda	2:1	1:1	-	-	-

(Sumber: Saleh, 2014)

Tabel 2. 2 Komposisi larutan nikel mengkilap

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi Larutan (g/L)	
	pH Rendah	pH Tinggi
Bahan:		
<i>Nikel Sulfat (NiSO₄)</i>	330	250
<i>Nickel Chlorid (NiCL)</i>	45	50
<i>Boric Acid (H₃B₃)</i>	30	40
<i>Brightener Mnt</i>	2 ml/l	2-3 ml/l
<i>Brightener MU</i>	1-2 ml/l	1-2 ml/l
Kondisi Operasi:		
Temperatur (°C)	40-80	40-80
Rapat arus	2-3	2-3
pH	1,5-4,5	4,5-6

(Sumber: Saleh, 2014)

c. Pelapisan *Chromium*

Mulyuda dan Mulyanto (2017) selain pelapisan nikel, penggunaan pelapis khrom juga berfungsi untuk mendapatkan permukaan yang indah atau menarik. Prinsip dasar pelapisan krom ialah partikel pada plat anoda (+) dengan katoda (-) berpindah melalui media larutan kimia.

2.4 Uji Tarik

Pengujian tarik sering digunakan untuk memberikan beberapa informasi rancangan kekuatan suatu material sebagai data pendukung untuk spesifikasi material.

2.4.1 Definisi Uji Tarik

Uji tarik merupakan suatu pengujian dimana penarikan suatu material akan menghasilkan sebuah kurva atau grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya tarik (tegangan) dengan perubahan panjang (tegangan) (Dieter, 1993). Pada

umumnya tegangan didefinisikan sebagai beban atau gaya persatuan luas penampang dalam sebuah benda yang diuji.

$$\sigma = \frac{p}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

σ = Tegangan (Kg/mm²)

p = Beban (Kg)

A = Luas penampang (mm²)

Sedangkan regangan didefinisikan sebagai perpanjangan panjang ukur per panjang awal.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L-L_0}{L_0} \dots\dots\dots(4)$$

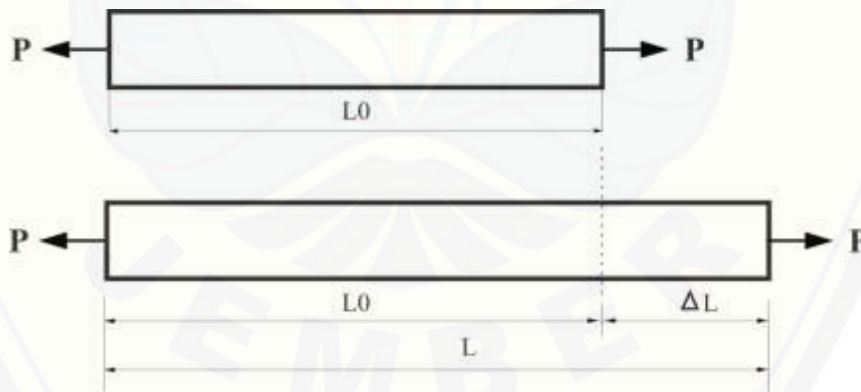
Keterangan:

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

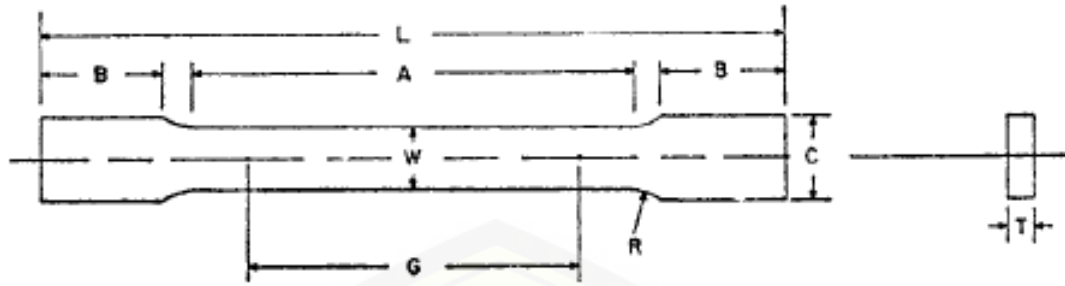
L_0 = Panjang daerah ukur (mm)

L = panjang setelah tarikan



Gambar 2. 3 Benda kerja bertambah panjang karena beban (Sumber: Davis, H.E, 1982)

Ukuran spesimen menurut ASTM E8 dijelaskan pada Gambar 2.4 dan Tabel 2.3



Gambar 2.4 Spesimen Uji Tarik (Sumber: ASTM E8, 2010)

Dari Gambar 2.4 di atas, ukuran spesimen yang akan dipakai disesuaikan dengan Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Ukuran Spesimen Uji Tarik

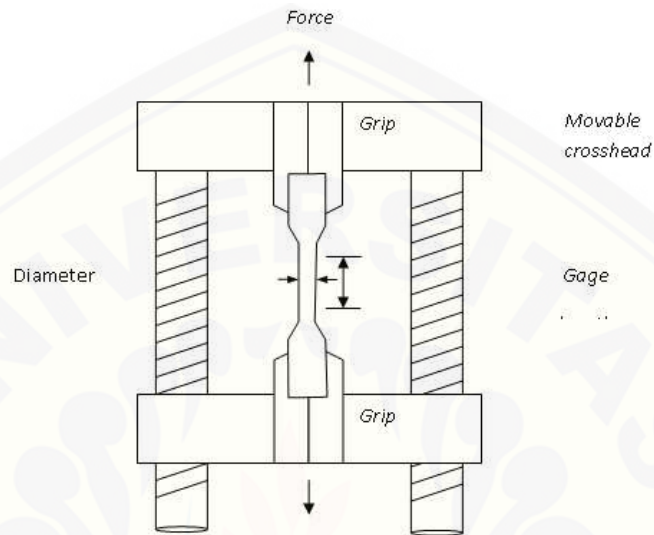
Keterangan Angka	<i>Dimensions</i>		
	<i>Plate-Type,</i> 40 mm	<i>Sheet-Type,</i> 12.5 mm	6-8 mm
Gauge length (G)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
Width (W)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
Thickness (T)	Thickness of material		
Radius (R)	25	12.5	6
Overall length (L)	450	200	100
Length of reduced section (A)	225	57	32
Length of grip section (B)	75	50	30
Width of grip section (C)	50	20	10

(Sumber: ASTM E8, 2010)

2.4.2 Prinsip Kerja Uji Tarik

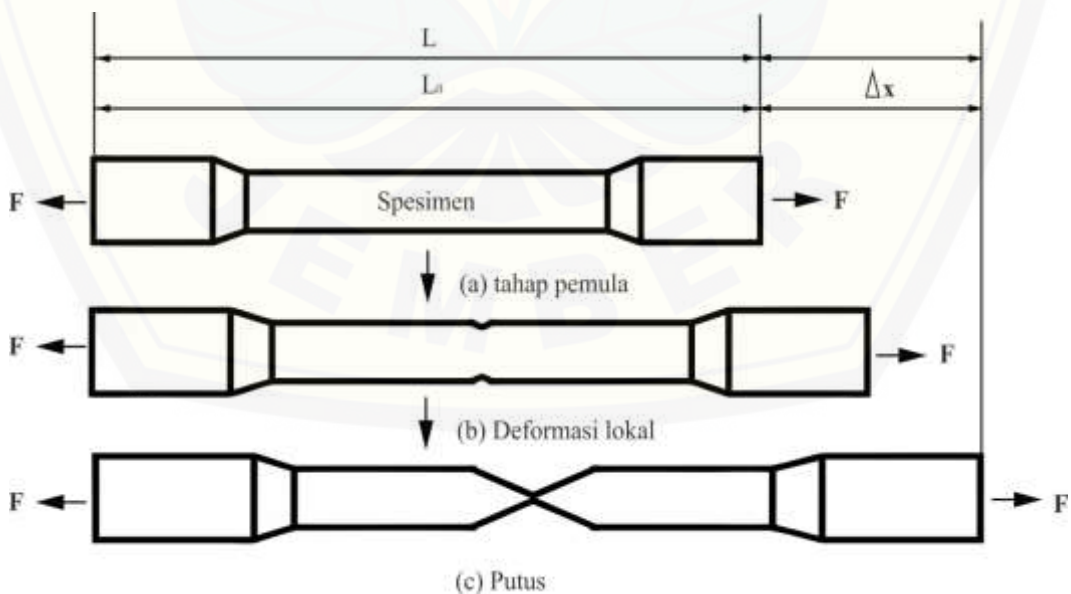
Mesin uji tarik dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu *Crosshead* (bagian yang bergerak menarik benda uji), ulir silinder yang berfungsi membawa dan menggerakkan bagian *Crosshead*. Pada bagian *Crosshead* terdapat sensor

loadcell yang berfungsi untuk mengukur besarnya gaya tarik, dan strain gages yang berfungsi untuk mengukur perubahan panjang. Proses uji tarik dapat dilihat pada Gambar 2.5, dimana terjadi gaya tarik pada spesimen ke atas dan ke bawah melalui grip.



Gambar 2.5 Proses uji tarik (Sumber: Davis, H.E, 1982)

Dengan menarik gaya suatu material atau bahan uji maka akan mengetahui sejauh mana material tersebut bertambah panjang sejauh Δx seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Perubahan uji tarik

2.4.3 Perilaku Mekanik Material

Pengujian tarik yang dilakukan pada suatu material bisa memberikan beberapa keterangan dari perilaku suatu bahan terhadap beban mekanik. Perilaku material tersebut salah satunya yaitu sebagai berikut:

a. Modulus Elastisitas

Merupakan ukuran kekakuan suatu bahan. Semakin besar nilainya maka semakin kecil regang elastis pada tingkat pembebanan tertentu atau bisa disebut dengan istilah *stiff*. Besarnya nilai modulus elastisitas benda juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan yang dapat dihitung dengan persamaan berikut (Schey, 2000)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (5)$$

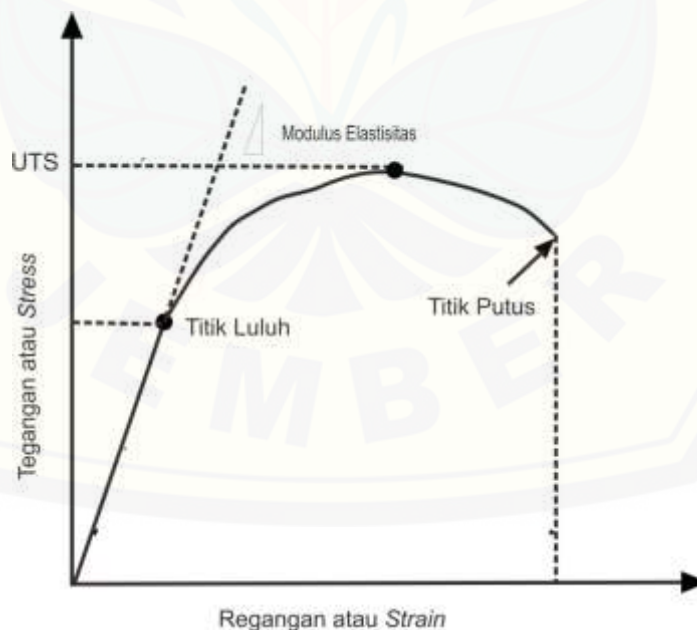
Keterangan:

E = Modulus elastisitas

ε = Regangan

σ = Tegangan

Modulus elastisitas ditunjukkan pada Gambar 2.7 di bawah berikut



Gambar 2.7 Modulus elastisitas

b. Kekuatan Tarik Maksimum

UTS atau Kekuatan tarik maksimum adalah besar tegangan maksimal yang dapat ditanggung oleh suatu material atau bahan yang diuji sebelum terjadinya perpatahan. Nilai kekuatan maksimum adalah beban maksimum per luas penampang awal, yang dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut (Schey, 2000).

$$\epsilon_{uts} = \frac{F_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

ϵ_{uts} = kekuatan tarik maksimum (kg/mm^2)

F_{maks} = beban maksimum (kg)

A_0 = luas penampang awal (mm^2)

Tegangan maksimum ditunjukkan pada Gambar 2.8 di bawah berikut.



Gambar 2.8 Tegangan tarik Maksimum

2.5 Metode Taguchi

Kualitas produk dapat dihasilkan dan diketahui dengan melakukan beberapa metode statistik yaitu metode Six Sigma, Anova, Taguchi, dan lain sebagainya. Metode Taguchi akan digunakan dalam penelitian ini.

2.5.1 Definisi Metode Taguchi

Metode Taguchi adalah sebuah metodologi baru di bidang teknik yang memiliki tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, selain itu juga dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran dari metode Taguchi ini adalah menjadikan suatu produk *robust* terhadap *noise*, atau disebut dengan *Robust Design* (Soejanto, 2009). Metode ini tidak melakukan banyak eksperimen dalam menentukan kombinasi antara parameter mesin, misalnya yaitu kecepatan, suhu, arus, tekanan dan lain sebagainya. Penggunaan metode ini dapat meminimalisir biaya yang akan dikeluarkan untuk melakukan beberapa eksperimen (Fitria dan Nana, 2009).

Metode Taguchi ini berusaha untuk menggapai sasarannya dengan menjadikan produk tersebut tidak lagi sensi terhadap beberapa faktor contohnya bahan, Sumber tenaga manusia, operasional, perlengkapan manufaktur dan lain sebagainya.

Metode ini menggunakan pendekatan desain eksperimen yang bertujuan untuk:

- a. Sebagai perancang produk agar kualitas kokoh terhadap kondisi lingkungan;
- b. Sebagai perancang produk agar kondisinya kokoh terhadap jenis komponen dan Meminimalkan jenis komponen sekitar target.

2.5.2 Kelebihan serta Kekurangan Metode Taguchi

Menurut Soejanto (2009) kelebihan Metode Taguchi ini yaitu sebagai berikut:

- a. Penggunaan Metode Taguchi lebih efisien untuk melakukan penelitian yang menggunakan banyak parameter dan level;
- b. Penggunaan Metode Taguchi dapat menghasilkan produk-produk yang konsisten terhadap parameter yang tidak bias dikendalikan;
- c. Penggunaan Metode Taguchi dapat menghasilkan kesimpulan dari pengaruh parameter dan level dari parameter kendali yang menghasilkan nilai optimum.

Sedangkan kekurangan dari Metode Taguchi dibandingkan dengan metode lainnya yaitu rancangan struktur yang sangat kompleks dengan metode taguchi. Metode Taguchi menggunakan matriks orthogonal.

2.5.3 Desain Metode Taguchi

Secara umum desain dari Metode Taguchi dibagi menjadi tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen. Menurut Soejanto (2009), diantaranya yaitu:

- a. Tahap Perencanaan;
- b. Tahap Pelaksanaan;
- c. Tahap Analisa.

Desain yang baik jikalau eksperimen yang dilakukan oleh peneliti sesuai dengan masalah yang ada dan memiliki tingkat keefektifan yang tinggi, yaitu eksperimen yang dilakukan tersebut memerlukan biaya relatif murah serta usaha yang minimal tetapi tetap dapat memperoleh informasi nilai yang paling optimal.

1) Tahap Perencanaan

Pada tahap ini meliputi perumusan masalah, tujuan eksperimen, penentuan variabel tidak bebas, identifikasi variabel bebas, pemisahan parameter kontrol dan parameter gangguan, penentuan nilai level, perhitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks orthogonal.

a) Perumusan Masalah

Mengidentifikasi masalah-masalah yang diteliti dalam eksperimen. Perumusan tersebut harus jelas dan spesifik.

b) Tujuan Eksperimen

Tujuan dari eksperimen ini harus bisa menjawab dari perumusan masalah.

c) Penentuan Variabel Tidak Bebas

Variabel tak bebas merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain.

d) Identifikasi Variabel Bebas

Pada tahap ini akan dipilih parameter yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tidak bebas.

e) Pemisahan Parameter Kontrol dan Parameter Gangguan

Parameter kontrol adalah parameter yang nilainya bisa diatur dan dikendalikan. Sedangkan parameter gangguan adalah parameter yang nilainya tidak bisa diatur dan dikendalikan.

f) Penentuan Level dan Nilai Level Parameter

Penentuan ini penting untuk ketelitian dari hasil dari eksperimen yang dilakukan dan biaya untuk pelaksanaan eksperimen oleh peneliti.

g) Perhitungan Derajat Kebebasan (DK)

Perhitungan ini dilakukan sebagai perhitungan jumlah minimum eksperimen yang dilakukan untuk meneliti parameter yang akan diamati.

$$DK = c (b - 1) \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

c = banyaknya faktor yang diteliti

b = banyaknya level yang diteliti.

DK = derajat kebebasan

h) Desain Faktorial 3³

Dalam suatu penelitian, apabila mempunyai 3 faktor dan 3 level tiap faktornya maka penelitian tersebut berada dalam desain eksperimen Faktorial (3³). Kombinasi perlakuan desain Faktorial 3³ dijelaskan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Desain faktorial 3³

Faktor A	Faktor B	Faktor C		
		X	Y	z
X	X	a _x b _x c _x	a _x b _x c _y	a _x b _x c _z
	Y	a _x b _y c _x	a _x b _y c _y	a _x b _y c _z
	Z	a _x b _z c _x	a _x b _z c _y	a _x b _z c _z
Y	X	a _y b _x c _x	a _y b _x c _y	a _y b _x c _z
	Y	a _y b _y c _x	a _y b _y c _y	a _y b _y c _z
	Z	a _y b _z c _x	a _y b _z c _y	a _y b _z c _z
Z	X	a _z b _x c _x	a _z b _x c _y	a _z b _x c _z
	Y	a _z b _y c _x	a _z b _y c _y	a _z b _y c _z
	Z	a _z b _z c _x	a _z b _z c _y	a _z b _z c _z

(Sumber: Sudjana, 1989)

i) Penentuan Matriks Orthogonal.

Penentuan ini sangat bergantung pada nilai parameter yang dipakai serta nilai level dari tiap-tiap parameter. Penentuan ini berhubungan dengan jumlah derajat kebebasan untuk menentukan matriks orthogonal yang akan dipilih.

$$L_a(b^c) \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

L = Rancangan bujur latin

a = Banyaknya kombinasi eksperimen

b = Banyaknya variasi level dari parameter

c = Banyaknya parameter

Tabel 2.5 Matriks orthogonal $L_9(3^3)$

Kombinasi Eksperimen	Faktor		
	X	Y	Z
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

2) Pelaksanaan Eksperimen

Tahap ini meliputi penentuan jumlah pengulangan dan randomisasi eksperimen.

a) Jumlah Pengulangan (Replikasi)

Merupakan pengulangan perlakuan yang sama dalam satu uji percobaan dengan kondisi yang sama

3) Tahap Analisa Data

Tahap analisa ini dilakukan terlebih dahulu pengumpulan dan pengolahan data tertentu yang sesuai dengan desain teripilih pada suatu eksperimen. Selain itu juga dilakukan beberapa perhitungan dan pengujian data dengan statistik ANOVA, Uji hipotesa dan penerapan rumus-rumus lainnya.

a) ANOVA

Merupakan teknik untuk menganalisa data yang diperoleh dalam perencanaan eksperimen dengan statistik. Anova in digunakan untuk mengidentifikasi persen kontribusi parameter.

Analisis varians dua arah merupakan data eksperimen yang memiliki dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih.

1. SS_T (Jumlah Kuadrat Total)

$$SS_T = \sum_{i=1}^N y^2 \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

N = Jumlah total eksperimen

y = Data yang diperoleh

2. SS_A (Jumlah kuadrat Faktor A)

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{K_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

A_i = Level ke i faktor A

n_{Ai} = Jumlah percobaan level ke i faktor A

K_A = Jumlah level faktor

T = Jumlah data keseluruhan

3. Rata-rata Kuadrat Faktor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A} \dots\dots\dots(11)$$

DKA adalah derajat kebebasan faktor A

4. Jumlah kuadrat karena rata-rata (SS_m)

$$SS_m = N \cdot Y'^2 \dots\dots\dots(12)$$

Y' adalah rata-rata total dari seluruh eksperimen

5. SS_e (Jumlah Kuadrat Error)

$$SS_f = SS_A + SS_B + SS_c \dots\dots\dots(13)$$

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_f \dots\dots\dots(14)$$

b) Uji Hipotesa F

Uji Hipotesa F adalah perbandingan dari variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variansi error.

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{variansi karena perlakuan} + \text{variansi karena error}}{\text{variansi karena error}} \dots\dots\dots(15)$$

Nilai F_{sumber} di atas dibandingkan dengan nilai F tabel pada harga α tertentu dengan derajat kebebasan $[(k-1).(N-k)]$.

Hipotesa pengujian dalam suatu percobaan adalah sebagai berikut:

H_0 = tidak ada pengaruh perlakuan, sehingga $\mu_1 - \mu_2 - \dots - \mu_j - \mu_k$

H_1 = ada pengaruh perlakuan, sehingga sedikit ada satu μ_1 yang tidak sama

Apabila nilai F test lebih kecil nilai F_{tabel} ($F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$), maka hipotesa (H_0) ditolak dan berarti ada perbedaan perlakuan.

c) Perhitungan Rasio S/N (*Rasio Signal To Noise*)

Perhitungan ini digunakan untuk memilih beberapa parameter yang memiliki persen kontribusi pada pengurangan suatu respon. Tujuan perhitungan rasio S/N adalah untuk mengetahui level parameter mana yang nantinya berpengaruh pada hasil dari eksperimen yang telah dilakukan. Tipe dari rasio S/N ada 3 karakteristik kualitas, diantaranya yaitu:

1. Semakin kecil, semakin baik

Karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 (nol) dan non negatif.

Nilai semakin kecil atau mendekati 0 (nol) adalah yang diinginkan.

$$S/N = -10 \text{Log} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \dots\dots\dots(16)$$

n adalah jumlah pengulangan dari suatu trial.

2. Tertuju pada nilai tertentu

Karakteristik kualitas dengan nilai tidak 0 (nol) dan terbatas. Nilai yang mendekati suatu nilai yang telah ditentukan adalah yang terbaik.

$$S/N = -10 \log V_e \dots \dots \dots (17)$$

$$S/N = -10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{n V_e} \right) \dots \dots \dots (18)$$

3. Semakin besar, semakin baik

Karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif. Nilai semakin besar adalah semakin diinginkan.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots \dots \dots (19)$$

Pada penelitian ini yang dikendali adalah lapisan yang paling kuat tariknya, sehingga karakteristik kualitas ini yang akan dipakai.

d) Interpretasi Eksperimen

Analisa hasil eksperimen ini menggunakan ANOVA.

1. Porsen kontribusi

Merupakan fungsi dari jumlah kuadrat (SS) dari masing-masing faktor yang signifikan. Untuk mengetahui besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor dan interaksi, maka tahap awal yaitu menghitung SS'.

$$SS'_A = SS_A - (V_A) \cdot (MS_e) \dots \dots \dots (20)$$

Sedangkan porsen kontribusi pada tiap parameter dan interaksi dapat diperoleh dengan perhitungan berikut:

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \dots \dots \dots (21)$$

Pada proses ini akan dihitung porsen kontribusi dari parameter yang signifikan dan error. Jika porsen kontribusi error adalah $\leq 15\%$ menandakan bahwa tidak ada parameter yang berpengaruh. Jika porsen kontribusi *error* adalah $\geq 50\%$ menandakan bahwa ada parameter yang berpengaruh dan error yang terlalu besar.

2. Interval kepercayaan

a. Interval kepercayaan untuk level faktor (CI_1)

$$CI_1 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} MS_e}{n}} \dots\dots\dots(22)$$

$$\mu Ak = \bar{A}_k \pm CI_1 \dots\dots\dots(23)$$

$$\bar{A}_k - CI_1 \leq \mu Ak \leq \bar{A}_k + CI_1 \dots\dots\dots(24)$$

Keterangan:

$F_{\alpha;1;V_e}$ = rasio F

α = resiko

V_1 = 1

V_e = derajat kebebasan error

MS_e = rata-rata kuadrat error (variansi kesalahan)

n = jumlah yang diuji pada suatu kondisi

μAk = dugaan rata-rata faktor A pada level ke k

\bar{A}_k = rata-rata faktor A pada perlakuan ke k

k = 1,2,...

b. Interval kepercayaan pada kondisi perlakuan yang diprediksi (CI_2)

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} MS_e}{n_{eff}}} \dots\dots\dots(25)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + (\text{jumlah dof yang berhubungan dengan estimasi A})} \dots\dots\dots(26)$$

N adalah jumlah data percobaan keseluruhanya

c. Interval kepercayaan untuk memprediksi eksperimen konfirmasi (CI_3)

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \dots\dots\dots(27)$$

Keterangan:

R = jumlah sampel pada percobaan konfirmasi dan $r \neq 0$

V_2 = derajat bebas varian kesalahan pooling

n_{eff} = jumlah pengulangan efektif

Pada penelitian ini yaitu memakai interval kepercayaan pada kondisi perlakuan yang diprediksi (CI_2).

e) Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan percobaan yang dilakukan untuk memeriksa hasil kesimpulan yang didapat dengan tujuan:

1. Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya;
2. Merancang faktor yang optimum hasil analisis dari hasil percobaan pada performansi yang diinginkan.

Sedangkan langkah-langkah eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

1. Merancang kondisi optimum untuk faktor dan level signifikan;
2. Membandingkan rata-rata dan variasi hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata dan variansi yang diinginkan.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil jikalau:

1. Terjadi perbaikan dari hasil proses yang ada;
2. Hasil eksperimen konfirmasi dekat dengan nilai yang diprediksi.

2.6 Baja

Baja merupakan sebuah material atau bahan yang terbentuk dari paduan unsur dasar yaitu Fe (besi) dan unsur utama yaitu C (karbon), dan unsur lainnya seperti Mn, Cr, Ni, Si, dan V. Kandungan karbon pada baja berpengaruh pada beberapa sifat seperti kekuatan, kekerasan, dan mudah dibentuk. Bertambahnya nilai kandungan karbon maka kekerasan baja akan semakin meningkat, akan tetapi hal tersebut akan membuat material baja semakin rapuh dan susah dibentuk (Davis, H.E, 1982). Klasifikasi baja dibagi menjadi 2 macam (berdasarkan komposisi) yaitu baja karbon (*carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*).

2.6.1 Baja Karbon (*carbon steel*)

Berdasarkan konsentrasi karbon yang ada, baja karbon dibagi menjadi 3 macam, yaitu:

a. Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah memiliki kadar carbon sebesar 0,3 %, dan mempunyai struktur mikro yaitu ferit dan perlit, relatif lunak, ulet dan tangguh, harga yang ekonomis, mampu las baik, dan tidak responsif dengan perlakuan panas yang akan membentuk martensit. Aplikasi baja karbon rendah biasanya digunakan untuk bodi mobil dan komponennya, struktur bangunan, pipa gedung, pagar, dan lain sebagainya (ASM Handbook, 1993).

Jenis baja karbon rendah ini sering sekali dijumpai sebagai part mesin ataupun konstruksi. Beberapa part mesin yang dibuat menggunakan baja karbon rendah yaitu roda gigi, poros, gear, dan lain sebagainya. Baja karbon rendah ini memiliki kekerasan yang rendah yang menyebabkan cepat korosi dan umur pendek apabila terkena beban yang berulang dan dinamik.

b. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon sedang memiliki kadar karbon 0,25-0,6 % dan memiliki ciri khusus yaitu kekerasan yang rendah, dapat diberi perlakuan austenizing, quenching, dan tempering untuk memperbaiki sifa mekaniknya. Aplikasi baja karbon sedang digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, baut, dan lain sebagainya (ASM Handbook, 1993).

c. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi memiliki kadar karbon 0,6 – 1,40 % dan memiliki ciri khusus yaitu kekerasan yang sangat tinggi dan paling kuat, rendah dalam kelenturan daripada baja karbon yang lain, dan memiliki tegangan tarik yang tinggi. Baja karbon tinggi ini sering diaplikasikan sebagai pembuatan gergaji, pahat, palu dan lain sebagainya (ASM Handbook, 1993).

Menurut Wiryosumarto (2000) baja karbon terdiri dari baja karbon rendah (baja lunak khusus, baja setengah lunak dan baja sangat lunak), baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi (baja keras, dan sangat keras) hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Klasifikasi baja karbon

Jenis	Kadar karbon (%)	Kek. Luluh (Kg/mm ²)	Kek. Tarik (Kg/mm ²)	Kek. Brinel (Kg/mm ²)	Penggunaan
Baja Karbon Rendah					
Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat tipis
Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang kawat
Baja lunak khusus	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja setengah lunak	0,2-0,5	24-36	44-45	112-145	Umum
Baja Karbon Sedang					
	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-alat mesin
Baja Karbon Tinggi					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas rel dan pegas
Baja sangat keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Kawat piano

(Sumber: Vlack, 1981)

2.6.2 Structural Steel (SS400)

Baja SS400 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah yang mempunyai sedikit kandungan silikon antara 0,06 hingga 0,037 %. Baja SS400 memiliki komposisi kimia sebagai berikut (Mulyuda dan Mulyanto, 2017):

- a. P = 0,01
- b. Ni = 0,03
- c. Cr = 0,03
- d. S = 0,04
- e. Si = 0,09
- f. C = 0,20
- g. Mn = 0,53
- h. Fe = *balance*

Pelat baja SS400 yang pada *Japanese Industrial Standart* disebut JIS G 3101 merupakan baja karbon rendah yang sering digunakan dalam dunia industri. Material jenis ini tersedia sebagai pelat, lembaran, bar, bagian dan lain sebagainya. Aplikasi baja SS400 sering digunakan dalam pembuatan konstruksi, kereta api, jembatan, dan lain sebagainya.

2.7 Kajian Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu tentang pelapisan logam secara *electroplating* dijelaskan pada Tabel 2.7 berikut ini. Penjelasan tentang penelitian terdahulu dapat digunakan untuk hipotesis dan menentukan variasi maupun level yang akan kita kembangkan selanjutnya pada proses *electroplating* menggunakan baja SS400 dan pelapis Nikel.

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu Proses Electroplating

Peneliti	Variasi	Katoda	Anoda	Pengujian	Hasil
Putra, T.Y.A., dan Sakti, A.M (2018)	Waktu (15,20,25) menit, dan Jarak (15, 25) cm	Ruji (<i>Spoke</i>)	Ni, Cr	Tekan	Semakin dekat jarak anoda katoda dan semakin lama waktu proses <i>electroplating</i> , maka semakin meningkat kekuatan tekan. Pada jarak 15 cm dengan waktu 25 menit mencapai 748,53 Mpa, sedangkan pada jarak 25 cm dengan waktu 25 menit mencapai 721, 57 Mpa.
Putri, A., dan Handani, S (2015)	Waktu (5, 10, 15, 20, 25) menit	Cu	Ni	Sifat mekanik	Kekuatan tarik paling optimal didapatkan pada waktu 15 menit sebesar 3, 139 N/cm ² .
Rasyad, A., dan Arto, B (2018)	Arus (4,5,6) ampere, Suhu (50, 55, 60) °C, dan Waktu (5, 10, 15) menit	Baja karbn rendah	Ni, Cr	Kekuatan tarik, tekuk, dan kekerasan	Dengan meningkatnya temperatur pada proses <i>electroplating</i> Ni-Cr, maka kekuatan tarik mengalami perubahan.
Arista, P., dan Sakti, A.M (2017)	Tegangan (4,6,8) volt, dan Waktu (10,15,25) menit	Ruji (<i>spoke</i>)	Ni	Kekuatan tarik	Pengujian pada raw material sebesar 166,90 Kgf/mm ² , dan mengalami kenaikan tertinggi pada variasi 20 menit dan 6 volt sebesar 176,59 Kgf/mm ² .

Sari, N.H., dkk (2015)	Arus (17,8, 22,7, 27,3) Ampere dan Waktu (0, 5, 10, 15) menit	Baja karbon rendah	Cr	Kekuatan tarik, kekerasan, ketebalan	Semakin besar waktu dan arus, maka semakin besar kekuatan tarik. Pada raw material sebesar 212,73 sampai 239,58 pada waktu 15 menit dan arus 27,3 ampere.
Pamungkas, AS, dkk (2018)	Suhu (60,70,80) derajat celcius, waktu 20 menit, dan 5 volt	Baja St 37	Ni	Ketebalan	Semakin tinggi suhu proses electroplating, maka semakin tinggi massa yang diendapkan. Dimana pada suhu 60 sebesar 0,02 gr dan pada suhu 80 sebesar 0,04 gr.
Mulyuda dan Mulyanto, T (2017)	Waktu (1, 2) jam, dan arus 200 A	SS400	Cr	Ketebalan terhadap sifat mekanik	Peningkatan ketebalan dialami pada waktu 2 jam sebesar 164,33 mikrometer, dan uji tensile strength SS400 yang telah di <i>electroplating</i> selama 2 jam naik 11,11%. G
Saefuloh, I., dkk (2017)	Arus (2, 4, 6) ampere	St 41	Cr	Ketebalan, kekerasan	Semakin tinggi arus yang digunakan, maka semakin meningkat nilai ketebalan dan kekerasan, yaitu sebesar 35,9059 mikrometer dan 69,333 HRB.
Rahardjo, S (2010)	Tegangan (6, 8, 10, 12) volt	Baja karbon rendah	Ni, Cr	Sifat mekanik	Semakin meningkat voltase, maka semakin meningkat ketebalan dan kekerasan, yaitu pada 12 volt mencapai 7,19 mikrometer dan 351,29 VHN.

2.8 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dijelaskan di atas, maka dapat diambil hipotesis bahwa:

- a. Semakin tinggi nilai kuat arus *electroplating*, maka semakin tinggi pula kekuatan tarik yang diperoleh. Hal tersebut dikarenakan banyak ion-ion dari anoda sebagai pelapis yang tereduksi dan menempel pada permukaan logam yang akan dilapisi. Selain itu juga menyebabkan elektron semakin reaktif, sehingga terjadi kenaikan nilai kekuatan tarik.
- b. Semakin lama waktu pelapisan, maka semakin tinggi pula kekuatan tarik yang diperoleh. Hal tersebut dikarenakan lamanya waktu akan memberikan kesempatan perpindahan ion dari anoda ke katoda agar lebih merata, sehingga dengan pengendapan ion yang merata akan menaikkan nilai kekuatan tarik.
- c. Semakin tinggi suhu larutan *electroplating*, maka semakin tinggi pula kekuatan tarik yang diperoleh. Hal tersebut dikarenakan kenaikan suhu mengakibatkan peningkatan kecepatan aliran dan pengendapan partikel dari anoda ke katoda, sehingga terjadi kenaikan nilai kekuatan tarik.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu metode dengan cara pengamatan secara langsung. Penggunaan metode ini bertujuan untuk membandingkan faktor kuat arus, suhu dan waktu pada proses *electroplating* baja SS400 menggunakan pelapis nikel (Ni) terhadap kekuatan tarik. Metode eksperimental ini juga bertujuan untuk menganalisis kekuatan tarik yang paling optimal pada proses *electroplating* menggunakan Metode Taguchi. Penelitian ini diawali dengan studi literatur, kemudian perencanaan dan perancangan alat, terakhir pengambilan data dan penyusunan hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Mesin Universitas Jember, di Jalan Slamet Riyadi, Krajan, Patrang, Kabupaten Jember, Jawa timur 68111. Tempat pengujian kekuatan tarik dilkakukan di Politeknik Negeri Banyuwangi, di Kawang, Labanasem, Kecamatan Kabat, Kabupaten Banyuwangi. Sedangkan waktu penelitian dilaksanakan sesuai dengan Tabel 3.1 di bawah.

3.3 Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu studi literatur, perencanaan alat, persiapan alat dan bahan, perancangan prototype, pengujian, penyusunan proposal, dan penyusunan hasil penelitian. Pada Tabel 3.1 merupakan rincian dan jadwal dari kegiatan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

Nama Kegiatan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul-Nov
Studi literatur	■	■				
Perencanaan alat		■	■			
Persiapan alat dan bahan		■	■			
Perancangan prototipe		■	■	■		
Pengujian Prototype			■	■	■	
Penyusunan proposal		■	■	■	■	■
Penyusunan hasil penelitian						■

3.4 Alat dan Bahan

Penelitian ini melakukan proses perancangan alat pelapisan logam dengan teknik *electroplating*. Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

3.4.1 Alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk pembuatan spesimen, alat untuk pelapisan logam (*electroplating*), dan alat yang digunakan untuk pengujian.

a. Alat untuk Pembuatan Spesimen

Alat yang digunakan untuk membuat spesimen atau material yang akan dilapisi adalah:

- 1) Gergaji potong;
- 2) Jangka sorong;
- 3) Amplas;
- 4) Gerinda;
- 5) Peralatan *safety*;
- 6) Bor duduk.

b. Alat untuk Pelapisan Logam (*Electroplating*)

Alat yang digunakan pada proses pelapisan logam secara *electroplating* adalah:

- 1) *Rectifier*;
- 2) Bak plating;

- 3) Rak;
 - 4) *Heater*;
 - 5) Pengaduk larutan;
 - 6) Termokontrol;
 - 7) Peralatan *safety*;
 - 8) Penggaris;
 - 9) *Stopwatch*;
 - 10) Bak pembersih;
- c. Alat untuk Pengujian

Alat yang digunakan untuk pengujian adalah sebagai berikut:

- 1) Mesin uji tarik (*Zwick / Roel Z100*);
- 2) Peralatan *safety*;

3.4.2 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) SS400 (katoda);
- 2) Nikel (anoda);
- 3) Bensin;
- 4) Autosol;
- 5) Air bilas;
- 6) Aquades;
- 7) Minyak oli;
- 8) Asam sulfat (H_2SO_4);
- 9) Larutan H_3BO_3 (40 g/l);
- 10) Larutan NiSO_4 (250 g/l);
- 11) Larutan NiCl (50 g/l);
- 12) Brightener Mnt (2 ml/l);
- 13) Brightener MU (1 m/l).

Gambar alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 02.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala hal yang berbentuk apapun yang telah ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan memperoleh berbagai informasi mengenai hal tersebut. Ada beberapa macam variabel dalam penelitian, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Berikut merupakan variabel yang ada pada penelitian ini.

3.5.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terjadinya perubahan dan timbulnya variabel terikat dalam penelitian. Menurut Sugiyono, (2011) variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi timbulnya variabel dependen. Variabel bebas yang dipakai dalam penelitian ini adalah kuat arus, suhu dan waktu proses *electroplating* SS400 yang digunakan dalam menganalisa nilai kekuatan tarik paling optimal. Variabel bebas ini ditentukan dari beberapa jurnal atau penelitian terdahulu. Arus dipilih dengan variasi 1A, 3A, dan 5A berdasarkan penelitian Sari, N.H., dkk (2015) dan Saefullah, I., dkk (2017) bahwa dengan kenaikan arus dapat meningkatkan kekuatan tarik. Suhu dipilih dengan variasi 45°C, 55°C, 65°C berdasarkan penelitian Rasyad, A., dan Arto, B (2018) bahwa dengan meningkatnya suhu pada proses *electroplating* Ni-Cr, kekuatan tarik akan mengalami perubahan, hasil paling baik diperoleh pada suhu 50°C dan ketika suhu dinaikkan sampai 60°C kekuatan tarik menurun. Sedangkan waktu dipilih dengan variasi 5, 15, dan 25 menit berdasarkan penelitian Putri, A., dan Handani, S (2015) bahwa kekuatan tarik paling optimal didapatkan pada waktu 15 menit sebesar 3,139 N/cm² sedangkan pada waktu yang lebih cepat yaitu 5 dan 10 menit kekuatan tarik lebih rendah.

Variabel bebas yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu dijelaskan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Variabel bebas

Kode	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Arus	1 A	3 A	5 A
B	Suhu	45°C	55°C	65°C
C	Waktu	5 menit	15 menit	25 menit

3.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dapat dihitung dan dicari hasil nilainya dari pengaruh variabel bebas, variabel terikat biasa disebut juga variabel *output*. Menurut Sugiyono, (2011) Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi karena adanya variabel bebas. Variabel terikat yang dipakai dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik.

3.5.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang digunakan selain variabel bebas dan terikat untuk menyamakan persepsi tentang penelitian ini. Variabel kontrol yang dipakai dalam penelitian ini adalah jarak elektroda, voltage, material yang digunakan, dan bahan pelapis. Jarak elektroda dipilih 5 cm berdasarkan penelitian Putra, T.Y.A, dan Sakti, A.M (2018) bahwa dengan semakin dekat jarak elektroda mengakibatkan peningkatan kekuatan tekan. Voltage dipilih 12 volt berdasarkan penelitian Rahardjo, S (2010) bahwa peningkatan kekerasan dan ketebalan tertinggi didapatkan pada voltase 12 volt.

Tabel 3.3 Variabel kontrol

Variabel Kontrol	Kondisi
Jarak elektroda	5 cm
Voltage	12 v
Material yang digunakan	SS400
Bahan pelapis	Nikel

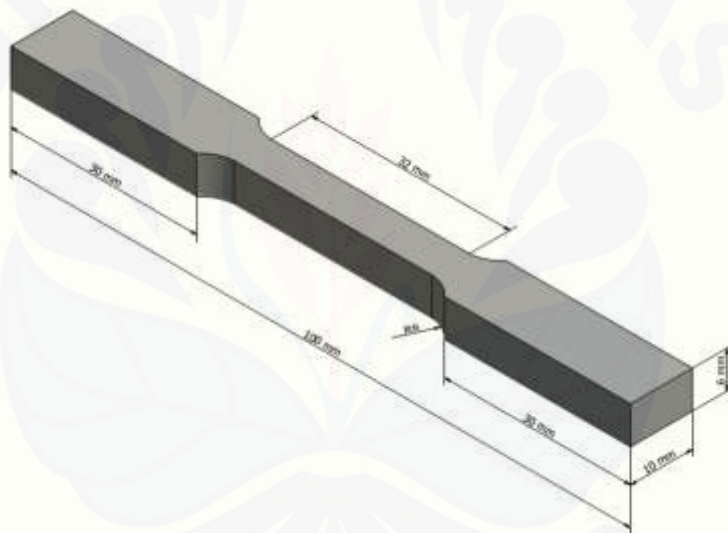
3.6 Tahap Penelitian

Prosedur penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap, yaitu preparasi material, pembuatan larutan elektrolit, pelapisan *electroplating*, dan pengujian.

3.6.1 Preparasi Material

Sebelum dilakukan proses pelapisan Baja SS400 menggunakan nikel (Ni) sebaiknya perlu dilakukan preparasi material terlebih dahulu agar diperoleh hasil lapisan yang baik. Tahap preparasi material ini meliputi beberapa langkah, diantaranya yaitu sebagai berikut (Gambar proses preparasi dapat dilihat pada Lampiran 03) :

- a. Memotong spesimen sesuai ukuran yang ditentukan (spesimen uji tarik menurut ASTM E8) menggunakan mesin pemotong;



Gambar 3.1 Ukuran spesimen uji tarik

- b. Membersihkan spesimen dan memperhaluskan spesimen dengan amplas;
- c. Pencelupan spesimen pada minyak oli, agar tidak korosi;
- d. Pencucian spesimen dari karat menggunakan H_2SO_4 secukupnya;
- e. Pencucian kotoran, minyak, dan lemak menggunakan bensin dan autosol (*degreasing*);
- f. Pembilasan spesimen dengan air bersih atau *aquades* dan kemudian dijemur di bawah terik matahari (*rinsing*);
- g. Baja siap dilapisi secara *electroplating*.

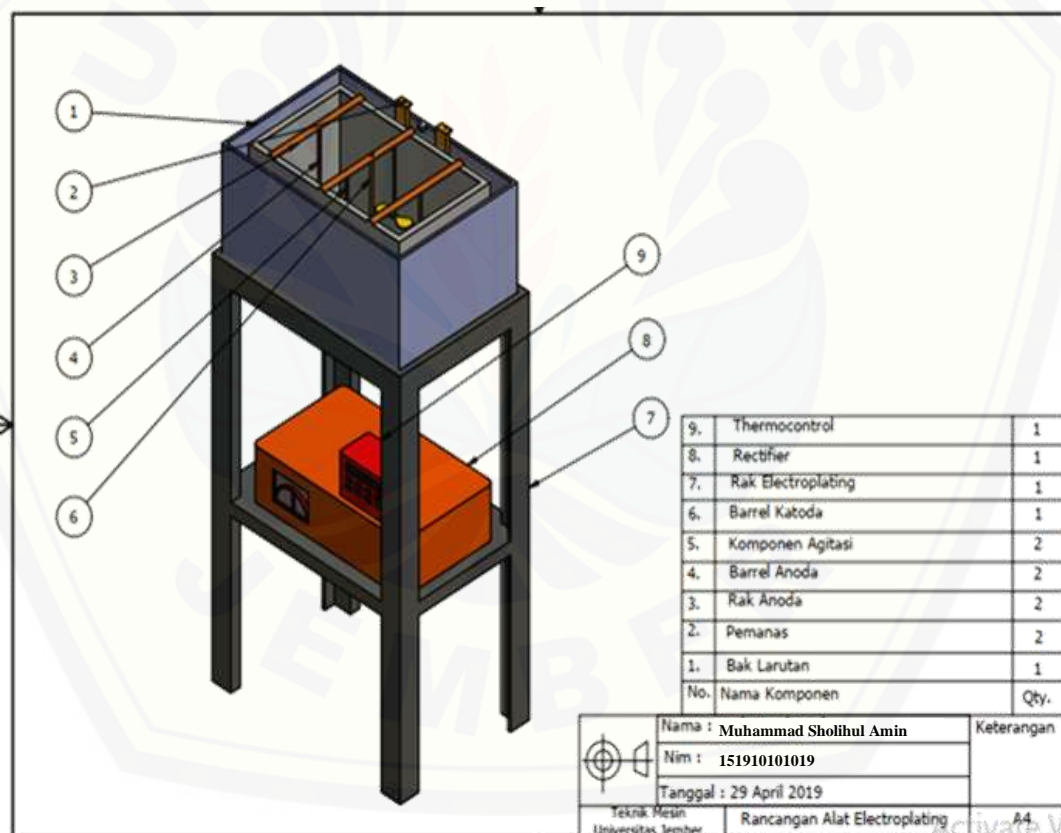
3.6.2 Pembuatan Larutan Elektrolit

Pembuatan larutan elektrolit dilakukan setelah persiapan spesimen sudah selesai dan siap untuk dilakukan pelapisan secara *electroplating*. Langkah-langkah pembuatan larutan elektrolit adalah sebagai berikut:

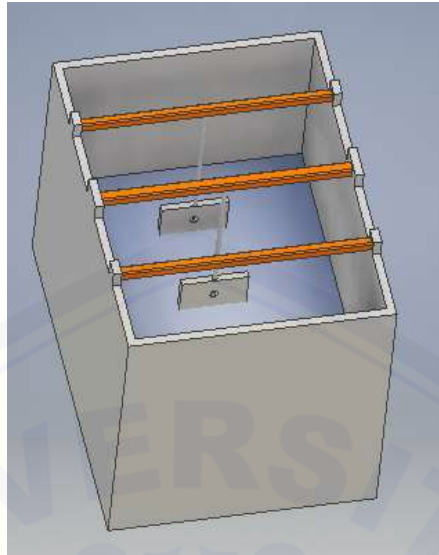
- a. Mempersiapkan bahan-bahan pembuatan larutan elektrolit;
- b. Melarutkan bahan $NiSO_4$ sebesar 250 g/l, $NiCl_2$ sebesar 50 g/l, H_3BO_3 sebesar 40 g/l, *Brightener Mnt* sebesar 2 ml/l, *Brightener MU* 1 ml/l, dan dicampurkan dengan air aquades.

3.6.3 Desain Alat *Electroplating*

Rancangan alat yang akan digunakan sebagai pelapisan logam secara *electroplating* ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Desain rancangan alat electroplating



Gambar 3.3 Penempatan spesimen dalam bak larutan

Proses pembuatan alat pada penelitian ini dapat dilihat pada dokumentasi Lampiran 01.

3.6.4 Pelapisan Secara *Electroplating*

Proses pelapisan secara *electroplating* meliputi beberapa langkah yaitu sebagai berikut (Gambar proses pelapisan dapat dilihat pada Lampiran 04) :

- a. Menyiapkan alat dan bahan *electroplating*;
- b. Merangkai spesimen pada rak dan dihubungkan pada anoda dan katoda, SS400 dihubungkan pada katoda (-), sedangkan Nikel dihubungkan pada anoda (+);
- c. Atur variabel kontrol jarak elektroda 5 cm, voltage 12 v;
- d. Setelah semuanya siap maka masukkan anoda dan katoda tadi kedalam bak elektrolit;
- e. Kemudian hidupkan stop kontak dan atur variabel bebas yang telah ditentukan sesuai dengan matriks orthogonal L9 (3)³;
- f. Pelapisan dilakukan dengan 3 kali replikasi pada setiap level variasi;
- g. Setelah semua sampel dilakukan *electroplating*, kemudian lakukan pembilasan dengan air aquades untuk menghilangkan sisa larutan;
- h. Selanjutnya keringkan spesimen setelah proses pelapisan;

3.6.5 Proses Pengujian

Setelah proses pelapisan selesai, maka spesimen yang sudah siap akan diuji kekuatan tarik. Langkah-langkah pada tahap ini yaitu sebagai berikut:

- Melakukan pengujian tarik pada material sebelum dilapisi dan sesudah dilapisi;
- Melakukan pengambilan data sesuai dengan matriks orthogonal Taguchi;
- Pengambilan data dilakukan dengan 3 kali replikasi pada setiap level variasi;

3.7 Pengambilan Data

Pengambilan data kekuatan tarik dari produk pelapisan secara *electroplating* SS400 yang berukuran sesuai dengan standart ASTM E8 menggunakan Mesin Uji Tarik. Hasil pengujian dari penelitian ini akan disajikan seperti pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Data hasil pengujian tarik proses electroplating SS400 L9(3³)

No.	Faktor			Replikasi	F _{maks} (Kg)	Rata – rata
	Arus	Suhu	Waktu			
1.	1	45	15	I		
				II		
				III		
2.	1	55	20	I		
				II		
				III		
3.	1	65	25	I		
				II		
				III		
4.	3	45	20	I		
				II		
				III		
5.	3	55	25	I		
				II		
				III		
6.	3	65	15	I		
				II		
				III		
7.	5	45	25	I		
				II		
				III		
8.	5	55	15	I		
				II		
				III		
9.	5	65	20	I		
				II		
				III		

3.8 Metode Analisis

Analisis pada penelitian ini menggunakan beberapa metode, yaitu sebagai berikut:

a. Analisa Data akan diperoleh menggunakan beberapa perhitungan berikut:

1) ANOVA

Perhitungan ANOVA (*Analysis of varians*) meliputi Df, SS, MS, dan F_{hitung} . Persamaan yang dipakai dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Analysis of Varians (ANOVA)

Sumber Variasi	Df	SS	MS	F_{hitung}
Arus	$Df_A = kA - 1$	$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{KA} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) - \frac{T^2}{N} \right]$	$MS_A = \frac{SS_A}{DK_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Suhu	$Df_B = kB - 1$	$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{KB} \left(\frac{B_i^2}{n_{Bi}} \right) - \frac{T^2}{N} \right]$	$MS_B = \frac{SS_B}{DK_B}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Waktu	$Df_C = kC - 1$	$SS_C = \left[\sum_{i=1}^{KC} \left(\frac{C_i^2}{n_{Ci}} \right) - \frac{T^2}{N} \right]$	$MS_C = \frac{SS_C}{DK_C}$	$\frac{MS_C}{MS_E}$
Residual	$Df_E = Df_T - Df_A - Df_B - Df_C$	$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C$	$MS_E = \frac{SS_E}{E}$	
Total	$Df_T = N - 1$	$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N Y_i^2 \right]$	$MS_T = \frac{SS_T}{DK_T}$	

2) Uji Hipotesa F

3) Rasio S/N

b. Interpretasi Hasil Eksperimen

1) Persen Kontribusi

2) Interval Kepercayaan

c. Eksperimen Konfirmasi

Nilai F_{hitung} yang lebih tinggi daripada F_{tabel} menunjukkan bahwa faktor yang digunakan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik dari produk pelapisan *electroplating* SS400.

Penelitian ini menggunakan taraf signiifikan sebesar ($\alpha = 5\%$). Hipotesa awal (H_0) dan hipotesa alternatif (H_1) yang digunakan sebagai uji hipotesis menggunakan distribusi F : Parameter proses pelapisan secara *electroplating* SS400.

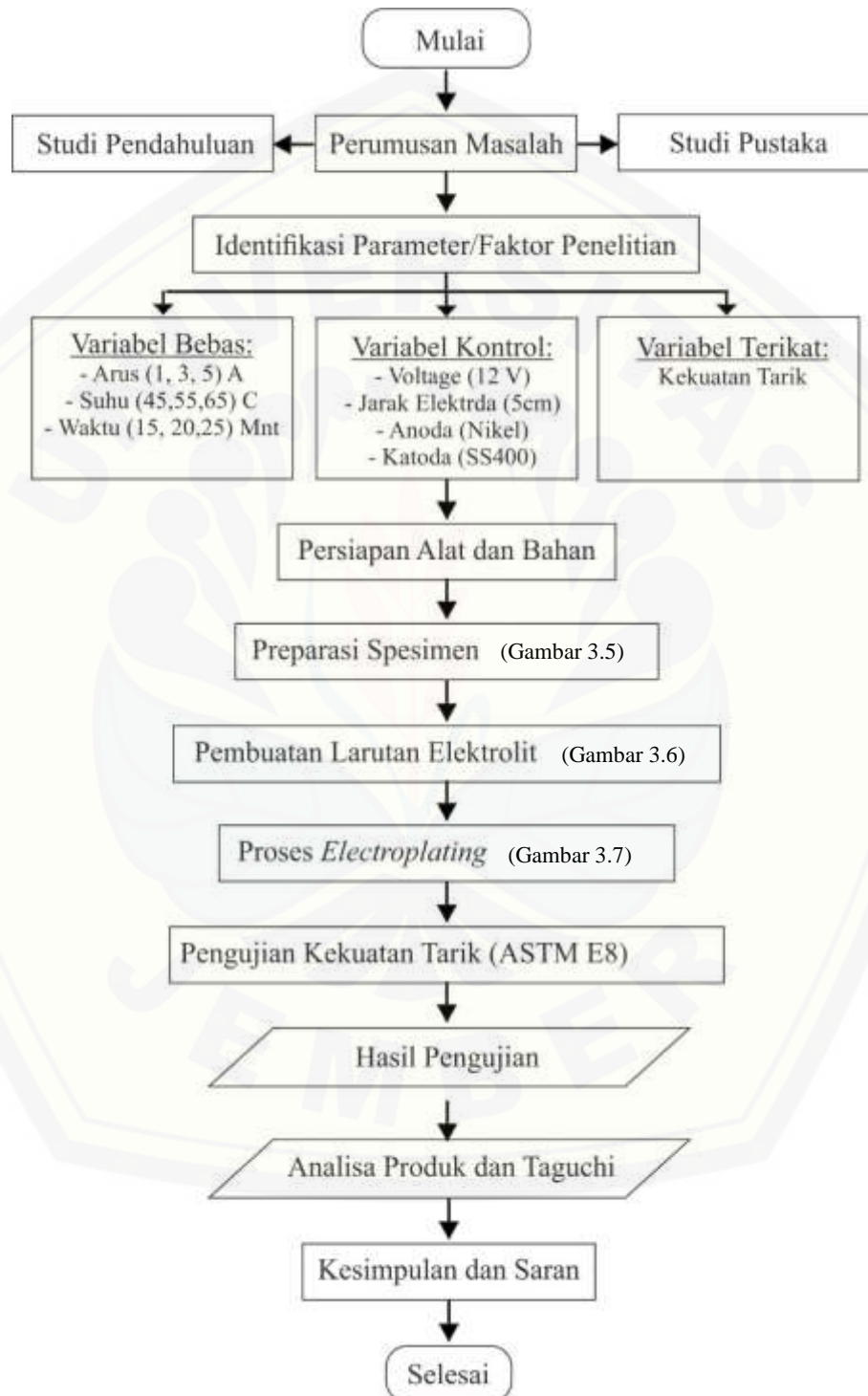
H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (tidak ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan).

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ada pengaruh dari variasi penelitian yang digunakan, setidaknya ada μ_i yang tidak sama).

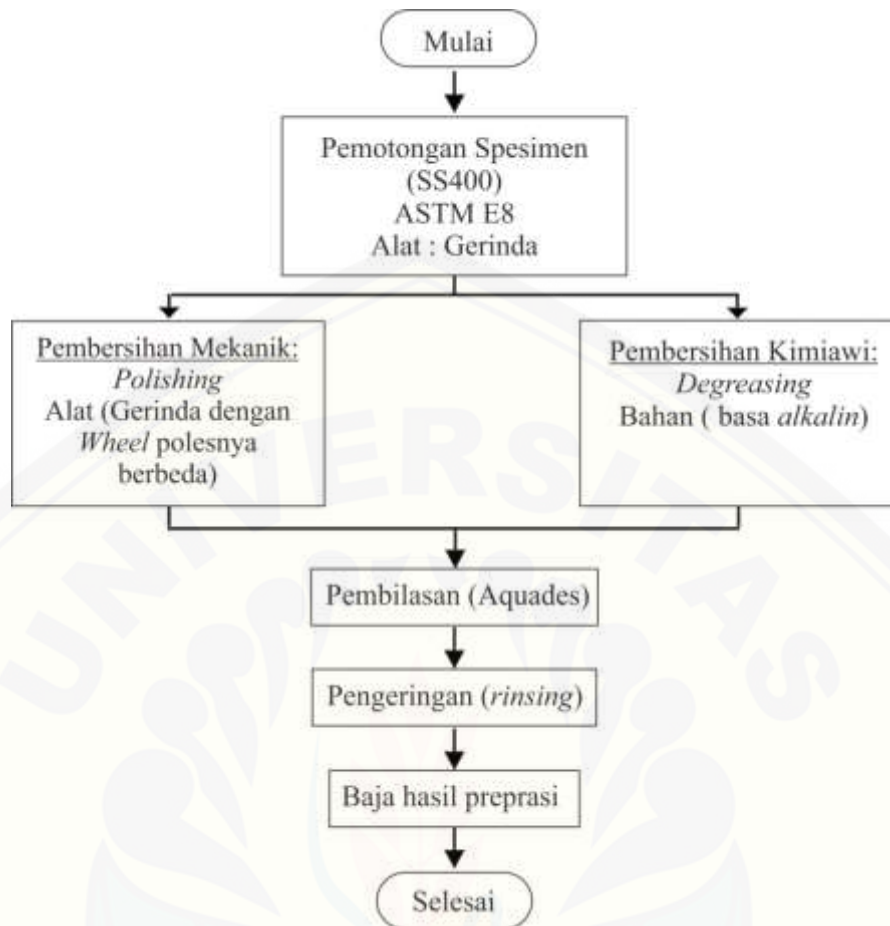


3.9 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini meliputi 4 proses yang ditunjukkan pada Gambar 3.4, Gambar 3.5, Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 di bawah ini.



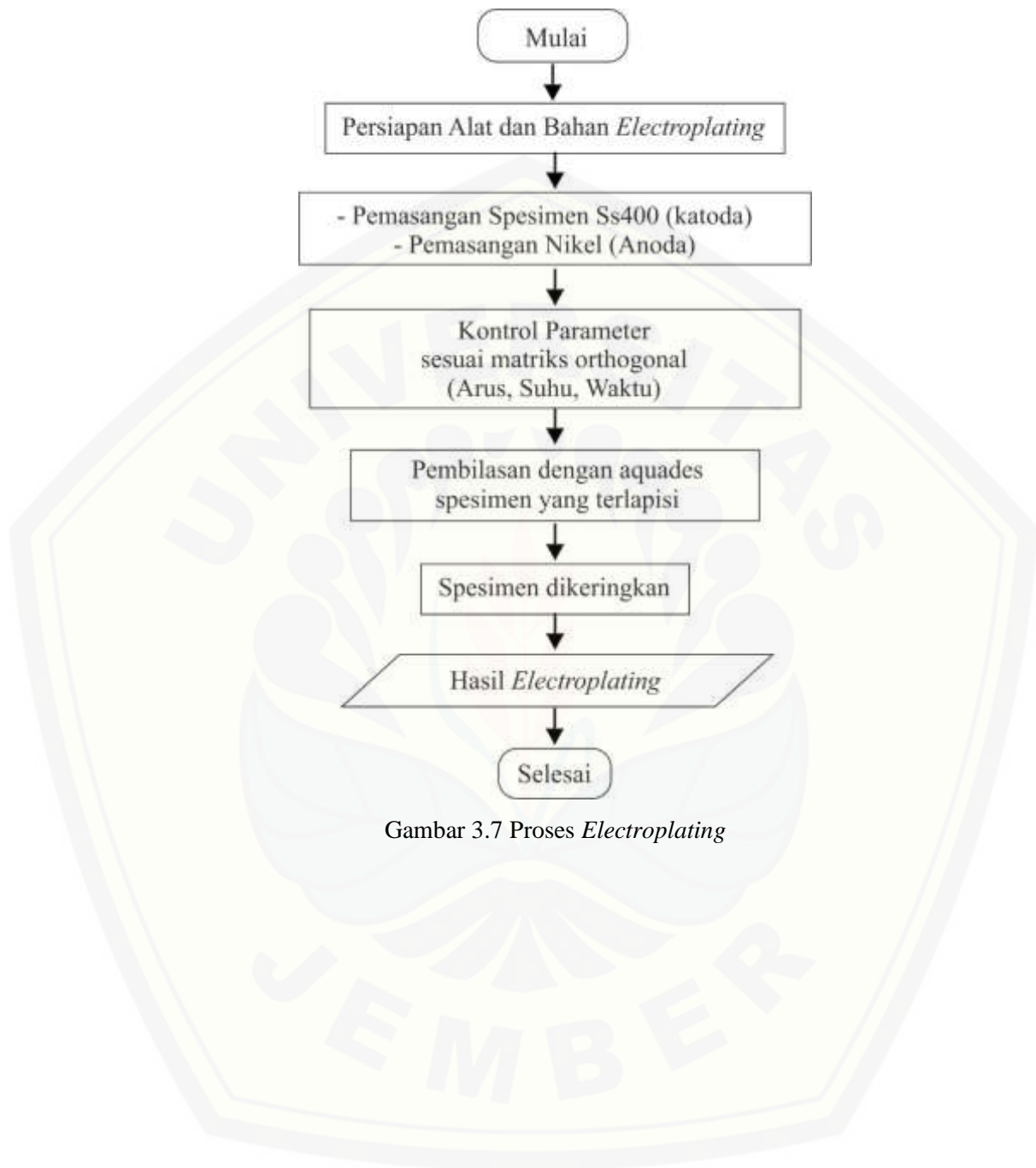
Gambar 3.4 Diagram alir pelapisan logam secara electroplating



Gambar 3.5 Diagram alir preparasi spesimen



Gambar 3.6 Diagram alir pembuatan larutan elektrolit

Gambar 3.7 Proses *Electroplating*

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil kesimpulan terkait proses *electroplating* baja SS400 dengan pelapis nikel (Ni) menggunakan metode taguchi adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan analisa dan pengolahan data menggunakan *software* minitab 18, diperoleh pengaruh parameter yang dibuktikan adanya kenaikan nilai kekuatan tarik *raw material* dengan hasil *electroplating* dan nilai persen kontribusi parameter terhadap kekuatan tarik produk *electroplating* baja SS400 menggunakan nikel (Ni) adalah pada parameter suhu sebesar 62,57 %, kuat arus sebesar 13,63 %, dan waktu sebesar 10,89 %.
- b. Kombinasi parameter paling optimal nilai kekuatan tarik yang diperoleh yaitu pada kuat arus 3 ampere (level 2) sebesar 606,38 MPa, suhu 45⁰ C (level 1) sebesar 617,88 MPa, dan waktu 15 menit (level 1) sebesar 606,15 MPa.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya dan perlu diperhatikan diantaranya yaitu sebagai berikut:

- a. Melanjutkan penelitian tentang *electroplating* dengan menggunakan parameter yang berbeda, dan melakukan pegujian laju korosi ataupun daya lekat pelapisan dengan menggunakan metode eksperimen yang berbeda, misalnya *Response Surface Methodology* (RSM).
- b. Perlu melakukan preparasi material sebelum dilapisi dengan lebih baik lagi, sehingga memperoleh hasil pelapisan logam yang lebih baik.
- c. Pada proses *electroplating* suatu bahan atau material yang akan dilapisi perlu menjaga kestabilan arus, dan suhu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananta, R.H. dan Sakti, A.M. 2016. Pengaruh variasi waktu celup dan kuat arus terhadap ketebalan permukaan dan struktur mikro baja ST 41 pada proses pelapisan nikel. *JTM*. 4(3): 479-488.
- Arista, P., dan Sakti, A.M. 2017. Analisa variasi tegangan dan waktu pelapisan logam nikel terhadap proses pengujian tarik material ruji (Spoke). *JTM*. 5(3): 13-18.
- ASM Handbook. 1993. *Properties and Selection: Iron Steel and High Performance Alloys*. Metals handbook. 1: 249-257 & 329-335.
- ASTM E8. 2010. *Standard test methods for tension testing of metallic materials*. Thu Jul 15. Edisi 2010.
- Budiyanto, E., dkk 2016. Pengaruh jarak anoda-katoda pada proses elektroplating tembaga terhadap ketebalan lapisan dan efisiensi katoda baja AISI 1020. *Jurnal Turbo*. 5(1).
- Davis, H.E, Troxell, G.E dan Hauck, GFW. 1982. *The Testing of Engineering Materials*. Edisi 4. New York: Mc Graw Hill.
- Dieter, E., 1993. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- El-Giar, E, M., Said, R.A., Bridge, G.E., Thomson, D.J. 2000. *Localized electrochemical deposition of copper microstructure*. *Journal of the Electrochemical Society*. 147(2): 586-591.
- Fitria, N. 2009. Analisis Metode Desain Karakteristik Mutu. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Hartono, A.J., dan Kaneko, T. 1992. *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*. Edisi I: Andi Offset Yogyakarta.
- Irwanto. 2010. Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Pemerata Arus Terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda pada Elektroplating Tembaga Asam untuk Baja Karbon Sedang. *Skripsi*. Lampung. Universitas Lampung.
- Kirk., Othmer. 1979. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 3rd Edition. Volume 6. Newyork: Willey.

- Mulyuda dan Mulyanto, T. 2017. Pengaruh teal pelapisan *chrom* terhadap sifat mekanik pada baja SS400 dengan metode elektroplating. *Jurnal Teknik FTUP*. 30(1).
- Pamungkas, AS, dkk. 2018. Pengaruh variasi temperatur elektroplating terhadap ketebalan lapisan nikel baja ST 37. *Jurnal MER-C*. 1(2).
- Paridawati. 2013. Analisa besar pengaruh tegangan listrik terhadap ketebalan pelapisan chrome pada plat baja dengan proses elektroplating. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 1(1): 36-44.
- Park, S.H. 1996. *Robust Design and Analysis for Quality Engeneering*. London: Chapman and Hall.
- Putra, T.Y.A, dan Sakti, A.M. 2018. Analisa variasi jarak anoda katoda dan waktu pelapisan logam nikel-khrom terhadap proses pengujian tekan material ruji (spoke). *JTM*. 6(1): 115-120.
- Putri, A., dan Handani, S. 2015. Karakterisasi sifat mekanik hasil elektroplating nikel karbonat (NiCO_3) pada tembaga (Cu). *Jurnal Fisika Unand*. 4(1).
- Rahardjo, S. 2010. Pengaruh variasi tegangan listrik dan waktu proses elektroplating terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon rendah dengan krom. *Prosding Seminar Nasional Unimus*.
- Rasyad, A., dan Arto, B. 2018. Analisis pengaruh temperatur, waktu, dan kuat arus proses elektroplating terhadap kuat tarik, kuat luluh, dan kekerasan pada baja karbon rendah. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 9(3): 173-182.
- Saleh, A.A. 2014. *Elektroplating Teknik Pelapisan Logam dengan Cara Listrik*. Bandung: Yrama Widya.
- Sari, N.H., dkk 2015. Pengaruh variasi kuat arus listrik dan waktu proses *electroplating* terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan ketebalan lapisan pada baja karon rendah dengan krom. *Dinamika Teknik Mesin*. (5)2.
- Saefuloh, I., dkk. 2017. Studi nilai kuat arus proses elektroplating dengan pelapis nikel cobalt terhadap kekerasan, ketahan korosi, dan penambahan tebal baja karbon rendah ST 41. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*.
- Schey, J. A. 2000. *Introduction to Manufacturing Processes*. Department of Mechanical Engineering. University of Waterloo: Ontario.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Sudjana. 1989. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Edisi 3. Bandung: Tarsito.
- Sukarjo, Hb. dan Pani, S. 2018. Pengaruh kuat arus listrik dan waktu *electroplating nickel-chrom* terhadap ketebalan lapisan pada permukaan baja karbon rendah. *Jurnal Engine*. 2(1).
- Supriadi, H. 2010. Studi eksperimen tentang pengaruh variasi rapat arus pada hard chrome *electroplating* terhadap karakterisasi permukaan baja karbon rendah. *Jurnal Mechanical*. 1: 1.
- Vlack, V. 1981. *Element of Materials Science and Engeineering Student*. Four Edition. Massachusetts Addison Wesley. Terjemahan oleh Sriati Djaprie. *Ilmu Teknologi Bahan*. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Wirjosumarto, H dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 01. Dokumentasi Pembuatan Alat

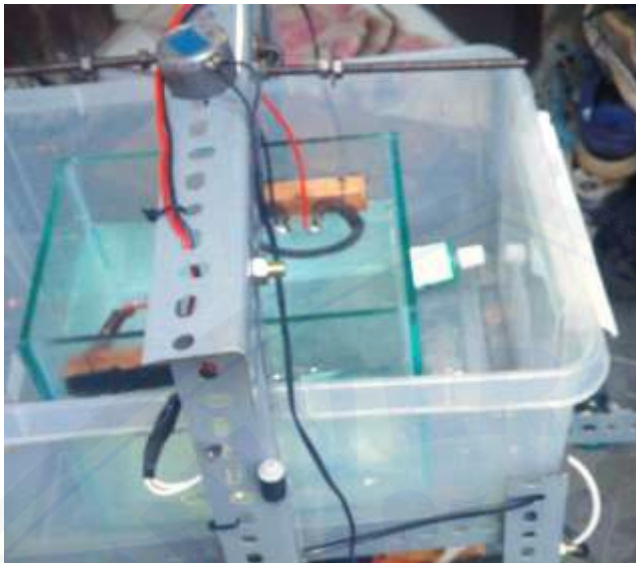
a. Pemotongan rangka alat



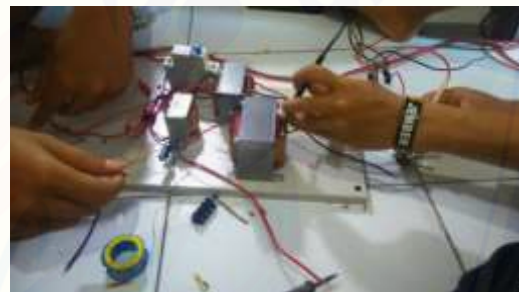
b. Pemasangan rangka alat



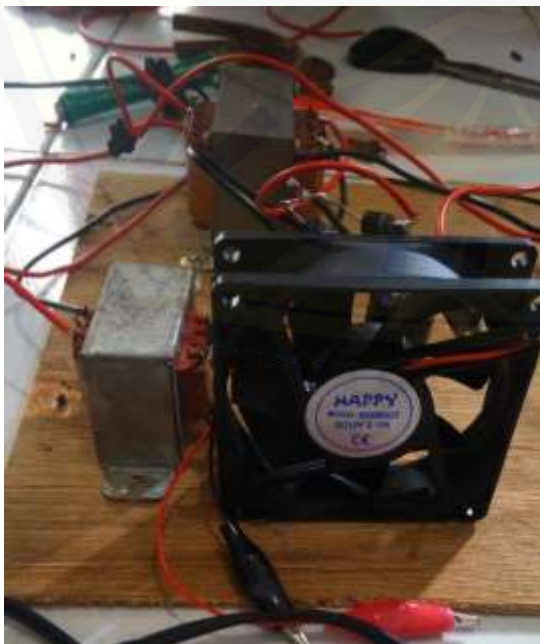
c. Pemasangan bak larutan



d. Merangkai *rectifier*



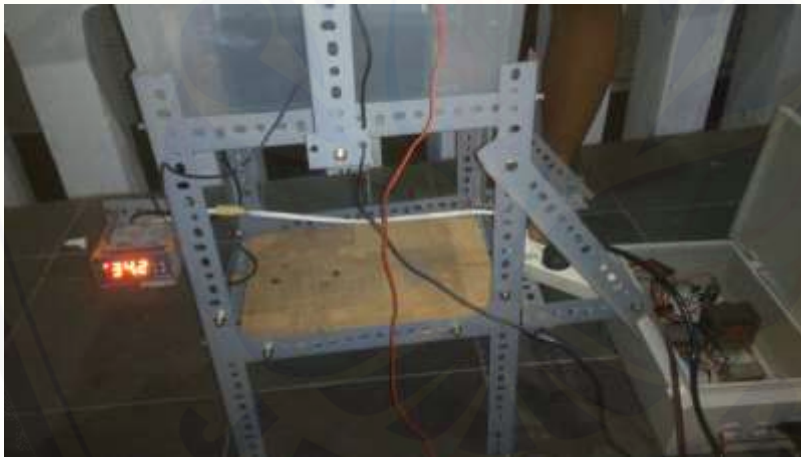
e. Merangkai kipas pendingin *rectifier*



f. Pemasangan Pemanas



g. Pemasangan Thermokontrol

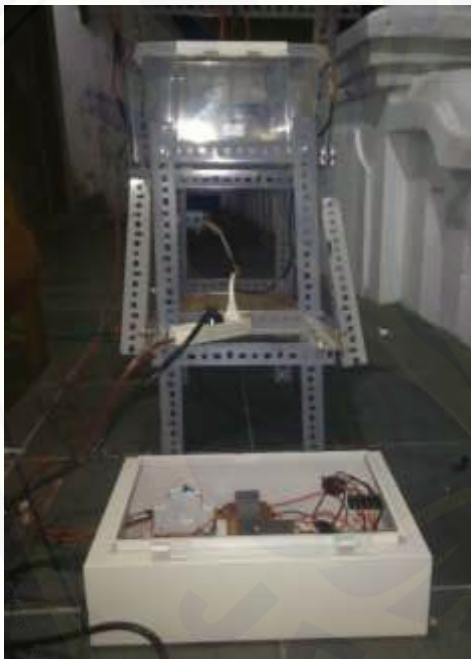


Lampiran 02. Alat dan Bahan Penelitian

a. *Rectifier*



b. Rak alat *electroplating*



c. Baja SS400



d. Nikel (Ni)



e. Kain Polishing



f. Autosol



g. Gerinda



h. Larutan elektrolit nikel



i. Jangka sorong



j. Alat pelindung diri



Lampiran 03. Proses Pretreatment Sebelum Pelapisan

a. Pembuatan spesimen sesuai ASTM E8



b. Membersihkan dan menghaluskan permukaan spesimen



c. Pencucian spesimen dari minyak dan kotoran



d. Pemolesan dengan kain *polishing*



Lampiran 04. Proses Pelapisan

a. Menyiapkan alat dan bahan



b. Merangkai spesimen pada rak elektroda



c. Pengaturan variabel bebas



d. Hasil pelapisan



Lampiran 05. Hasil Uji Tarik Spesimen yang Telah di *Electroplating*

 Kombinasi 1 Replikasi 1	 Kombinasi 1 Replikasi 2	 Kombinasi 1 Replikasi 3
 Kombinasi 2 Replikasi 1	 Kombinasi 2 Replikasi 2	 Kombinasi 2 Replikasi 3
 Kombinasi 3 Replikasi 1	 Kombinasi 3 Replikasi 2	 Kombinasi 3 Replikasi 3
 Kombinasi 4 Replikasi 1	 Kombinasi 4 Replikasi 2	 Kombinasi 4 Replikasi 3
 Kombinasi 5 Replikasi 1	 Kombinasi 5 Replikasi 2	 Kombinasi 5 Replikasi 3
 Kombinasi 6 Replikasi 1	 Kombinasi 6 Replikasi 2	 Kombinasi 6 Replikasi 3
 Kombinasi 7 Replikasi 1	 Kombinasi 7 Replikasi 2	 Kombinasi 7 Replikasi 3
 Kombinasi 8 Replikasi 1	 Kombinasi 8 Replikasi 2	 Kombinasi 8 Replikasi 3
 Kombinasi 9 Replikasi 1	 Kombinasi 9 Replikasi 2	 Kombinasi 9 Replikasi 3

Lampiran 06. Hasil Pengolahan Data dari Software Minitab 18**Design Summary**

Taguchi Array	L9(3 ³)
Factors:	3
Runs:	9

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
arus	2	6960	6960	3479,9	5,22	0,161
suhu	2	27170	27170	13585,0	20,39	0,047
waktu	2	5828	5828	2913,8	4,37	0,186
Residual Error	2	1333	1333	666,4		
Total	8	41290				

Response Table for Means

Level	arus	suhu	waktu
1	538,6	617,9	606,2
2	606,4	600,1	548,5
3	566,4	493,5	556,8
Delta	67,8	124,4	57,6
Rank	2	1	3

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	arus	suhu	waktu
1	54,53	55,82	55,65
2	55,65	55,56	54,71
3	54,98	53,78	54,79
Delta	1,12	2,03	0,93
Rank	2	1	3

Lampiran 07. Tabel F Statistik $\alpha = 0,05$

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.25	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04	2.00	1.97	1.94	1.91	1.89
47	4.05	3.20	2.80	2.57	2.41	2.30	2.21	2.14	2.09	2.04	2.00	1.96	1.93	1.91	1.88
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
49	4.04	3.19	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87
51	4.03	3.18	2.79	2.55	2.40	2.28	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.92	1.89	1.87
52	4.03	3.18	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.89	1.86
53	4.02	3.17	2.78	2.55	2.39	2.28	2.19	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
54	4.02	3.17	2.78	2.54	2.39	2.27	2.18	2.12	2.06	2.01	1.97	1.94	1.91	1.88	1.86
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.88	1.85
56	4.01	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
57	4.01	3.16	2.77	2.53	2.38	2.26	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.90	1.87	1.85
58	4.01	3.16	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.05	2.00	1.96	1.92	1.89	1.87	1.84
59	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.04	2.00	1.96	1.92	1.89	1.86	1.84
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84
61	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.16	2.09	2.04	1.99	1.95	1.91	1.88	1.86	1.83
62	4.00	3.15	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.99	1.95	1.91	1.88	1.85	1.83
63	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.25	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
64	3.99	3.14	2.75	2.52	2.36	2.24	2.16	2.09	2.03	1.98	1.94	1.91	1.88	1.85	1.83
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.85	1.82
66	3.99	3.14	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.84	1.82
67	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
68	3.98	3.13	2.74	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.87	1.84	1.82
69	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.15	2.08	2.02	1.97	1.93	1.90	1.86	1.84	1.81
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81
71	3.98	3.13	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.86	1.83	1.81
72	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
73	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.23	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.86	1.83	1.81
74	3.97	3.12	2.73	2.50	2.34	2.22	2.14	2.07	2.01	1.96	1.92	1.89	1.85	1.83	1.80
75	3.97	3.12	2.73	2.49	2.34	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.83	1.80
76	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.01	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
77	3.97	3.12	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.96	1.92	1.88	1.85	1.82	1.80
78	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.80
79	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.22	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.85	1.82	1.79
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79
81	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.82	1.79
82	3.96	3.11	2.72	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	2.00	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
83	3.96	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.87	1.84	1.81	1.79
84	3.95	3.11	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
85	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.79
86	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.21	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.84	1.81	1.78
87	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.87	1.83	1.81	1.78
88	3.95	3.10	2.71	2.48	2.32	2.20	2.12	2.05	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.81	1.78
89	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
91	3.95	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78
92	3.94	3.10	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.94	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
93	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.78
94	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.83	1.80	1.77
95	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.20	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77
96	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
97	3.94	3.09	2.70	2.47	2.31	2.19	2.11	2.04	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.80	1.77
98	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
99	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.98	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77
101	3.94	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
102	3.93	3.09	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.77
103	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
104	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.82	1.79	1.76
105	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.81	1.79	1.76
106	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
107	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.79	1.76
108	3.93	3.08	2.69	2.46	2.30	2.18	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
109	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
110	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
111	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
112	3.93	3.08	2.69	2.45	2.30	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76
113	3.93	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.92	1.87	1.84	1.81	1.78	1.76
114	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
115	3.92	3.08	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
116	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75
117	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
118	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75
119	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75
121	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
122	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
123	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
124	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
126	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75
127	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
128	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.91	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75
129	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
130	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
131	3.91	3.07	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.74
132	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
133	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
134	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.79	1.77	1.74
135	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
136	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.77	1.74
137	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
138	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
139	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
140	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
141	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.08	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
142	3.91	3.06	2.67	2.44	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
143	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
144	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.95	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
145	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.86	1.82	1.79	1.76	1.74
146	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.74
147	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
148	3.91	3.06	2.67	2.43	2.28	2.16	2.07	2.00	1.94	1.90	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
149	3.90	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
150	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
151	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
152	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73
153	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
154	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
155	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73
156	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73
157	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73
158	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
159	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
160	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
161	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
162	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
163	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
164	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
165	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
166	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.07	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
167	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
168	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
169	3.90	3.05	2.66	2.43	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
170	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.94	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
171	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.73
172	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
173	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
174	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
175	3.90	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
176	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
177	3.89	3.05	2.66	2.42	2.27	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
178	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
179	3.89	3.05	2.66	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
180	3.89	3.05	2.65	2.42	2.26	2.15	2.06	1.99	1.93	1.88	1.84	1.81	1.77	1.75	1.72