



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH PELAPISAN PROYEKTIL *FRANGIBLE*
TERHADAP PARAMETER EKSTERNAL BALISTIK**

**FADHEL MOHAMMAD YOGA FAUZI
NRP. 02511640000131**

**Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti S.Si., M.Si.
Wikan Jatimurti S.T., M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR – TL 184834

**ANALISIS PENGARUH PELAPISAN PROYEKTIL
FRANGIBLE TERHADAP PARAMETER EKSTERNAL
BALISTIK**

FADHEL MOHAMMAD YOGA FAUZI
NRP. 02511640000131

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti S.Si., M.Si.
Wikan Jatimurti S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF FRANGIBLE
PROJECTION COATING ON EXTERNAL BALISTIC
PARAMETERS**

FADHEL MOHAMMAD YOGA FAUZI
NRP. 02511640000131

Supervisor
Dr. Widyastuti S.Si., M.Si.
Wikan Jatimurti S.T., M.Sc

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**ANALISIS PENGARUH PELAPISAN PROYEKTIL
FRANGIBLE TERHADAP PARAMETER EKSTERNAL
BALISTIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekaya Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FADHEL MOHAMMAD YOGA FAUZI

NRP 02511640000131

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Widyastuti S.Si., M.Si. (Pembimbing I)
2. Wikan Jatimurti S.T., M.Sc. (Pembimbing II)



LEMBAR PENGESAHAN

SURABAYA

Juli 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH PELAPISAN PROYEKTIL
FRANGIBLE TERHADAP PARAMETER EKSTERNAL
BALISTIK**

Nama : Fadhel Mohammad Yoga Fauzi
NRP : 0251164000131
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Dr. Widyastuti S.Si., M.Si.
Pembimbing II : Wikan Jatimurti S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Proyektil frangible adalah proyektil yang hancur ketika mengenai target sehingga menjadi-fragmen kecil yang dapat menghindari terjadinya kejadian yang tidak diinginkan. Proyektil frangible biasanya terbuat dari material metalurgi serbuk dengan komposisi Cu 90% dan Sn 10% melalui proses pencampuran, proses kompaksi untuk memadatkan serbuk dengan tekanan tinggi dalam suatu cetakan agar memiliki kekuatan dan bentuk yang diinginkan, dan proses sintering sebagai pembentuk ikatan antar atom/partikel. Ketika proyektil dimasukkan kedalam selongsong, sering terjadi penggerusan pada sisi bagian luar dari proyektil sehingga bentuk dari proyektil tersebut menjadi berubah dan tidak homogen yang mempengaruhi eksternal balistik yaitu tingkat akurasi dan presisi dari proyektil tersebut. Maka pada penelitian ini dilakukan proses pelapisan menggunakan material berbahan dasar nikel, khrom, dan polisakarida berupa nitroselulosa dan poliuretan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pelapisan dengan material nitroselulosa dapat menjadi pilihan material pelapis dengan metode spray coating karena menghasilkan lapisan yang memiliki ketebalan hanya 2 μm , berat 0,009 gram, gaya drag sebesar 39.028 N, jarak 3860,207 meter.

Kata Kunci : *Proyektil Frangible, Pelapisan, Eksternal Balistik*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE EFFECT OF FRANGIBLE BULLET COATING ON EXTERNAL BALLISTIC PARAMETERS

Student Name : Fadhel Mohammad Yoga Fauzi
NRP : 02511640000131
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Dr. Widyastuti S.Si., M.Si.
Co-Supervisor : Wikan Jatimurti S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Frangible Bullets are projectiles that are destroyed when it hits a target so that it becomes a small fragment that can avoid unwanted events. The projectile are usually made of powder metallurgical materials with a composition of 90% Cu and 10% Sn through the mixing process, the compacting process for compacting high pressure powders in a mold so that has the desired strength and shape, and the sintering process as forming bonds between atoms / particles . When the projectile is inserted into the cartridge, it often occurs grinding on the outer side of the projectile so that the shape of the projectile is changed and is not homogeneous which affects the ballistic externals that is the accuracy and precision of the projectile. So in this study the coating process using materials made from nickel, chromium, and polysaccharides in the form of nitrocellulose and polyurethane. From the results of the study it was found that the coating with poliuretan material can be a choice of coating material by spray coating method because it produces a layer that has a thickness of only 2 μm , a weight of 0,009 grams has a drag force of 39.028 N and a maximum distance of 3860,207 meters.

Keywords : *Frangible Bullet, Coating, Ballistic External*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Segala puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penelitian Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan dengan lancar dan tepat pada waktunya. Berikut penulis mempersembahkan Laporan Tugas Akhir untuk meneliti masalah yang terdapat pada manufakturisasi proyektil serta memenuhi syarat akademis program studi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS Surabaya.

Terdapat banyak hambatan dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak dari akademik maupun non akademik, kesulitan tersebut dapat teratasi. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Mama, Papa serta Adek yang tiada hentinya mendukung serta mengirim doa untuk kesehatan dan kelancaran dalam menempuh perkuliahan.
2. Ibu Dr Widyastuti, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing I dan Bapak Wikan Jatimurti S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
4. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc selaku dosen wali penulis.
5. Seluruh rekan dan pihak terkait yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik saran membangun untuk penulis. Besar harapan laporan ini berguna bagi penulis, pembaca serta semua pihak terkait. Demikian harapan penulis, terimakasih.

Surabaya, 24 Juli 2020

Penulis

Fadhel Mohammad Yoga Fauzi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proyektif <i>Frangible</i>	5
2.2 Balistik	11
2.2.1 Lintasan (<i>Trajectories</i>)	16
2.2.2 Gaya Drag	18
2.2.3 <i>Center of Pressure</i>	20
2.3 Teknologi Pelapisan	22
2.3.1 Fungsi Pelapisan	23
2.3.2 Jenis-Jenis Pelapisan	24
2.4 <i>Galvanic Couple</i>	38
2.5 Nitroselulosa	40
2.6 Poliuretan	40
2.7 Nikel	42
2.8 Khrom	44
2.9 Penelitian Pendahuluan	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	52
3.1 Diagram Alir	52
3.1.1 Diagram Alir Elektroplating	53
3.1.2 Diagram Alir <i>Spray Coating</i>	54
3.1.3 Diagram Alir <i>Dip Coating</i>	55
3.2 Bahan Penelitian	56

3.3	Alat Penelitian.....	57
3.4	Metode Penelitian	58
3.5	Proses Pelapisan.....	58
3.5.1	Elektroplating	58
3.5.2	<i>Spray Coating</i>	59
3.5.3	<i>Dip Coating</i>	59
3.6	Pengujian SEM	60
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	62
4.1	Pengamatan Makrovisual Pelapisan Proyektil <i>Frangible</i>	62
4.1.1	<i>Pre-Treatment</i>	62
4.1.2	Pelapisan Nitroselulosa dan Poliuretan	63
4.1.3	Pelapisan Nikel dan Khrom.....	64
4.2	Analisis Pelapisan Pada Proyektil <i>Frangible</i>	67
4.2.1	Mikrovisual Pelapisan Nitroselulosa dan Poliuretan.....	67
4.2.2	Mikrovisual Pelapisan Nikel	69
4.2.3	Mikrovisual Pelapisan Khrom.....	72
4.2.4	Pengukuran Massa Proyektil <i>Frangible</i>	74
4.3	Pengaruh Pelapisan pada Proyektil <i>Frangible</i> terhadap Parameter Eksternal Balistik	76
4.3.1	Perhitungan Gaya Drag Pelapisan Proyektil <i>Frangible</i>	76
4.3.2	Perhitungan Lintasan Jarak Maksimum Proyektil <i>Frangible</i>	79
4.3.3	Perbandingan Pengaruh Pelapisan Pada Proyektil <i>Frangible</i>	82
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
5.1	Kesimpulan	85
5.2	Saran.....	85
	DAFTAR PUSTAKA	87
	LAMPIRAN	93
	UCAPAN TERIMA KASIH.....	95
	BIODATA PENULIS	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian-bagian Peluru	5
Gambar 2. 2 Proyektil <i>frangible</i> pistol 9mm.....	6
Gambar 2. 3 Proses manufaktur proyektil metalurgi serbuk.....	8
Gambar 2. 4 Penggerusan akibat gaya gesek proyektil.....	10
Gambar 2. 5 Perbandingan proyektil yang diberi pelumas dan polimer.....	10
Gambar 2. 6 Perbandingan hasil akurasi penembakan proyektil yang diberi pelumas dan pelapisan polimer.....	11
Gambar 2. 7 Grafik tekanan dalam senjata	12
Gambar 2. 8 Proyektil dan hambatan udara saat mengudara	13
Gambar 2. 9 Proyektil yang mengenai target.....	13
Gambar 2. 10 Perbandingan Akurasi tinggi presisi rendah (a); dan Presisi tinggi akurasi rendah (b).....	15
Gambar 2. 11 Aliran fluida pada proyektil.....	16
Gambar 2. 12 Lintasan gerakan suatu proyektil.....	17
Gambar 2. 13 Gaya drag pada suatu benda yang mengudara.....	19
Gambar 2. 14 <i>Center of Pressure, Center of Gravity</i> dan gaya normal suatu proyektil	20
Gambar 2. 15 Ikatan mekanik pelapisan	26
Gambar 2. 16 Proses pelapisan metode celup	28
Gambar 2. 17 Hasil dari proses pelapisan metode elektroplating.....	30
Gambar 2. 18 Mekanisme elektroplating	31
Gambar 2. 19 Ikatan mekanik pada substrat	36
Gambar 2. 20 Mekanisme pembentukan ikatan kimiawi pada material pelapis dan material yang ingin dilapisi	37
Gambar 2. 21 Mekanisme pembentukan ikatan metalurgi (a) secara substitusi dan (b) secara intersisi, pada material pelapis dan material yang dilapisi	37
Gambar 2. 22 Korosi pada pipa besi terhadap tembaga	38
Gambar 2. 23 Posisi logam pada rangkaian galvanik.....	39

Gambar 2. 24 Struktur kimia nitroselulosa.....	40
Gambar 2. 25 Grafik Ketebalan <i>Dip Coating</i> Polisakarida.....	42
Gambar 2. 26 Grafik perbandingan ketebalan terhadap waktu pelapisan nikel	44
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	52
Gambar 3. 2 Diagram alir <i>lectroplating</i>	53
Gambar 3. 3 Diagram alir <i>spray coating</i>	54
Gambar 3. 4 Diagram alir <i>dip coating</i>	55
Gambar 3. 5 Alat <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	60
Gambar 3. 6 Hasil pengujian SEM <i>cross section</i>	61
Gambar 4. 1 Perbandingan spesimen Tanpa Perlakuan (a) sebelum di <i>pre-treatment</i> dan (b) sesudah di <i>pre-treatment</i>	62
Gambar 4. 2 Spesimen dengan metode <i>dip coating</i> (a) nitroselulosa (b) poliuretan; dan <i>spray coating</i> (c) nitroselulosa (d) poliuretan.....	63
Gambar 4. 3 Spesimen dengan pelapisan elektroplating material (a) Nikel (b) Khrom.....	64
Gambar 4. 4 SEM <i>cross section</i> nitroselulosa (a) <i>spray coating</i> (b) <i>dip coating</i> dan poliuretan (c) <i>spray coating</i> (d) <i>dip coating</i>	68
Gambar 4. 5 SEM permukaan dan zat pengotor (a) Nitroselulosa dan (b) Poliuretan.....	69
Gambar 4. 6 SEM <i>cross section</i> Nikel elektroplating dan <i>chemical bridge</i>	70
Gambar 4. 7 Hasil SEM permukaan dan zat pengotor pada lapisan nikel	71
Gambar 4. 8 SEM <i>cross section</i> Khrom elektroplating.....	72
Gambar 4. 9 Hasil SEM permukaan dan bagian lapisan khrom.....	73
Gambar 4. 10 Grafik massa (gr) material pelapis tiap material dan metode.....	76

Gambar 4. 11 Perbandingan gaya drag pada proyektil <i>frangible</i>	78
Gambar 4. 12 Grafik jarak tempuh maksimum (m)	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik proyektil <i>frangible</i>	7
Tabel 2. 2 Perbedaan Bagian pada Balistik	14
Tabel 2. 3 Jenis-jenis pelapisan	24
Tabel 2. 4 Aplikasi metode <i>Spray Coating</i>	27
Tabel 2. 5 Aplikasi Metode <i>Dip Coating</i>	29
Tabel 2. 6 Faktor-faktor yang mempengaruhi elektroplating.....	34
Tabel 2. 7 Data Percobaan Pelapisan Nikel pada Plat.....	35
Tabel 2. 8 Data Percobaan Pelapisan khrom pada Plat	35
Tabel 2. 9 Perbandingan karakteristik nitroselulosa dan poliuretan	41
Tabel 2. 10 Perbandingan karakteristik nikel dan khrom.....	47
Tabel 2. 11 Penelitian pendahuluan pengujian balistik dan pelapisan tembaga (Cu)	48
Tabel 4. 1 Massa Tiap Pelapis	74
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan X_{max} dengan hambatan udara	80
Tabel 4. 3 Perbandingan Tiap Material	83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyektil *frangible* merupakan proyektil yang dibuat untuk hancur ketik mengenai target menjadi fragmen-fragmen kecil sehingga dapat menghindari terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan seperti yang biasa terjadi pada proyektil konvensional seperti *richochet* dan *back spatter* (Banovic, 2007). Proyektil *frangible* biasanya terbuat dari material metalurgi serbuk Cu 90% dan Sn 10% melalui proses pencampuran untuk mendapatkan distribusi serbuk yang merata, kemudian proses kompaksi untuk memadatkan serbuk dengan tekanan tinggi dalam suatu cetakan agar memiliki kekuatan dan bentuk yang diinginkan, dan proses sintering sebagai pembentuk ikatan antar atom/partikel melalui proses difusi atom sehingga menaikkan kekuatan proyektil (Safrudin, 2014). Peluru memiliki beberapa bagian, yaitu proyektil sebagai bagian yang dilontarkan dengan kecepatan pada moncong senjata; propelan sebagai bagian tempat menyimpannya bubuk mesiu sebagai energi utama proyektil yang keluar dengan kecepatan cepat; primer yaitu bagian yang dipantik sehingga membakar bubuk mesiu dalam propelan; dan *cartridge case* yaitu bagian yang berisi seluruh komponen tetap jadi satu bagian yang berfungsi juga sebagai penahan tekanan ketika bubuk mesiu dalam propelan sudah dipantik di bagian primer.

Peluru *frangible* untuk pemakaiannya akan disimpan terlebih dahulu dengan waktu yang tidak ditentukan, bahkan dapat disimpan dalam suatu tempat selama bertahun-tahun, sehingga rentan akan terjadinya korosi selama waktu penyimpanan proyektil *frangible* tersebut. Selain itu, ketika proyektil dimasukkan kedalam selongsong, sering kali terjadi penggerusan pada sisi bagian luar dari proyektil sehingga bentuk dari proyektil tersebut menjadi berubah dan tidak homogen yang mempengaruhi eksternal balistik yaitu tingkat akurasi dan presisi dari proyektil tersebut. Maka dilakukan proses pelapisan menggunakan material berbahan dasar

nikel, khrom, dan polisakarida berupa nitroselulosa dan poliuretan. Polisakarida khususnya nitroselulosa dan poliuretan dapat membuktikan sifatnya yang sering dilibatkan dalam pelapisan material logam, komposit dan polimer, sehingga polisakarida memiliki sifat yang fleksibel dan biokompetibel sebagai material pelapis sebagai material yang tahan akan korosi (Cazõn, 2016). Nikel memiliki kekuatan dan kekerasan cukup baik, ketiadaan dan keuletannya baik, daya hantar listrik dan termal juga baik, dan pada suhu biasa, nikel tidak terserang udara basah atau kering. Khrom banyak dilaksanakan untuk mendapatkan permukaan yang menarik karena sifat khas khrom yang sangat tahan karat maka pelapisan krom mempunyai kelebihan tersendiri bila dibandingkan dengan pelapisan lainnya. Maka, dengan adanya lapisan pada sisi bagian paling luar tersebut, diharapkan dapat meminimalisir terjadinya penggerusan pada proyektil ketika dimasukkan kedalam selongsong, sehingga balistik eksternal yang meliputi koefisien drag, *center of pressure*, dan *flight stability* dapat lebih terkontrol dan memaksimalkan akurasi dan presisi dari fungsi utama proyektil tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, didapat perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jenis material pelapisan proyektil *frangible* terhadap parameter balistik eksternal?
2. Bagaimana pengaruh metode pelapisan proyektil *frangible* terhadap parameter balistik eksternal?

1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang dipakai adalah material yang efektif dan efisien untuk skala besar

2. Metode yang digunakan merupakan metode yang efektif dan efisien untuk skala besar
3. Variabel yang digunakan dalam proses elektroplating, *spray coating* dan *dip coating* digunakan sama, sehingga tidak ada variasi yang membedakan antara tiap material untuk metoda elektroplating (nikel dan khrom), *spray coating* dan *dip coating* (nitroselulosa varnish dan poliuretan varnish).
4. Ketebalan maksimal material pelapis yang dapat digunakan yaitu tidak boleh lebih dari 10 μm atau 0,01mm
5. Massa maksimal yang diperbolehkan agar tidak mempengaruhi akurasi dan presisi yaitu tidak boleh lebih dari 0,15 gram

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang ada, maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Analisis pengaruh material pelapisan proyektil *frangible* terhadap parameter balistik eksternal
2. Analisis pengaruh metode pelapisan proyektil *frangible* terhadap parameter balistik eksternal

1.5 Manfaat Penelitian

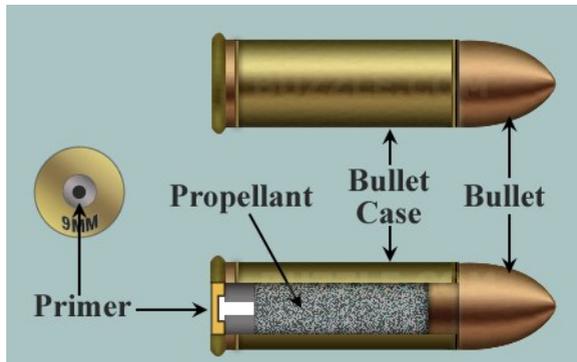
Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan solusi dari akurasi serta presisi dari parameter balistik eksternal dengan menggunakan material pelapisan pada proyektil *frangible* sehingga penggerusan yang biasa terjadi ketika manufakturisasi pemasangan proyektil kedalam selongsong bisa diminimalisir sehingga proyektil yang ditembak akan memiliki akurasi dan presisi yang baik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Proyektil Frangible*

Proyektil adalah suatu benda yang ditembakkan ke udara dengan penerapan beberapa gaya, dimana umumnya sebuah proyektil diartikan secara umum seperti sebuah peluru. Sedangkan *frangible* adalah suatu material atau bahan yang mudah patah ataupun pecah. Pada umumnya, pada peluru modern terdiri dari beberapa bagian, antara lain yaitu proyektil sebagai bagian yang ditembakkan dari senjata yang biasanya terdiri dari inti (*core*) dan jaket; propelan sebagai bagian penyimpanan mesiu yang jika dibakar akan menghasilkan tekanan untuk mendorong proyektil keluar dari laras; primer sebagai bagian yang mengandung senyawa kimia yang dirancang untuk dimantik oleh pin dimana bagian ini yang membakar mesiu dibagian propelan; dan *cartridge case* sebagai bagian dari sebuah peluru yang berisi komponen-komponen lengkap peluru yang berfungsi sebagai penghalang keluarnya gas dengan penumpukan tekanan dibagian belakang proyektil sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.1 (Jenzen, 2018).



Gambar 2. 1 Bagian-bagian Peluru (Jenzen, 2018)

Proyektil *frangible* adalah proyektil yang pada umumnya dibuat untuk pecah atau hancur ketika mengenai material dengan permukaan yang keras seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2. Sehingga, dengan berubahnya menjadi fragmen-fragmen kecil, akan menghilangkan energi kinetiknya dan akan meminimalisir terjadinya *ricochet* dan *over-penetration/splashback* (Banovic, 2007). Proyektil *frangible* biasanya diproduksi dengan menggunakan proses metalurgi serbuk (*cold molding*) dengan bahan dasar material komposit dari logam halus seperti tembaga, besi, seng, bismuth, dan tungsten, tanpa menggunakan timbal yang tidak baik secara ekologis (Komenda, 2013).



Gambar 2. 2 Proyektil *frangible* pistol 9mm (Steven, 2015)

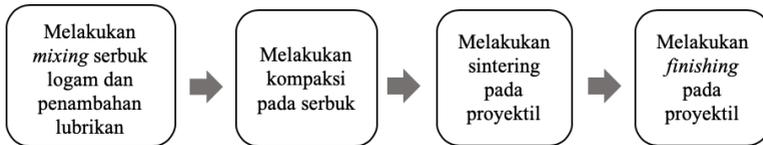
Pembuatan proyektil *frangible* tidak lepas dari peranan disiplin ilmu metalurgi serbuk. Penelitian terbaru telah menciptakan peluru komposit dengan bahan campuran antara tembaga dan serbuk timah. Serbuk ini dikompresi agar ukuran dan konfigurasi sesuai dengan yang diinginkan untuk menghasilkan densitas yang tinggi. Kemudian setelah dikompresi dan

dimasukkan kedalam pembungkus (*Catridge*) tembaga, diberikan perlakuan panas dengan tujuan untuk mengubah sifat mekanik dari materialnya. Tahap terakhir ini bertujuan agar peluru tidak langsung pecah sesaat setelah ledakan, tetapi tetap dapat terhambur setelah terjadi kontak dengan target (Banovic, 2007). Penemuan peluru ini menjadi jawaban dari beberapa titik lemah peluru konvensional. Berikut merupakan karakteristik dari proyektil *frangible* pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Karakteristik proyektil *frangible* (Rydlo, 2010)

Proyektil <i>Frangible</i>	<i>Sinter Fire</i>	SR
d : Kaliber (mm)	0,009	0,009
l_s : Panjang Proyektil (mm)	0,0161	0,01435
m_s : Massa Proyektil (Kg)	0,00648	0,0055
ρ_s : Densitas Peluru (Kg.m ⁻³)	7443	6763
K_s : Modulus Elastisitas saat Penekanan (MPa)	10597	3999
$E_{sx, \text{lim}}$: Tekanan Relatif Maksimal Proyektil (l)	0,01172	0,01255
$v_{s, \text{lim}}$: Batas Kecepatan Peluru (m.s ⁻¹)	69,4	32,9
$E_{ks, \text{lim}}$: Batas Energi Kinetik Peluru (J)	15,6	2,9
E_{k2} : Energi Kinetik Proyektil jarak 2 m dari Laras (J)	470,3	366,4
FF : Faktor <i>Frangibility</i> proyektil (l)	30,1	126,3

Peluru *frangible* ini disusun dari material Cu-Sn 10% yang lebih ramah lingkungan dibandingkan peluru konvensional yang tersusun dari material Pb (timbal). Ilustrasi proses manufaktur dengan metode metalurgi serbuk dapat dijelaskan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses manufaktur proyektil metalurgi serbuk
(Black, 2007)

Sifat dari timah (Sn) memiliki titik lebur rendah, sehingga digunakan sebagai pengikat atau binder dari tembaga. Timah cair akan masuk diantara partikel tembaga. Hal ini akan mampu meningkatkan frangibility. Untuk mengetahui sifat komposit dapat dilakukan dengan *Rule of Mixture* (ROM) yang dinyatakan dengan persamaan:

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \quad (2.1)$$

Dimana

ρ_c = Densitas material komposit

ρ_m = Densitas matriks

V_m = Fraksi mol matriks

ρ_f = Densitas filler

V_f = Fraksi mol filler

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

Dimana

ρ = Densitas

m = Massa

v = Volume

Setelah didapat densitas dari material komposit, maka akan didapat fraksi massa dengan persamaan berikut:

$$m_m = a \cdot m_c \text{ dan } m_f = b \cdot m_c \quad (2.3)$$

Dimana

m_m = Massa matriks

a = Fraksi massa matriks

m_c = Massa komposit

m_f = Massa filler

b = Fraksi massa filler

Sehingga perhitungan untuk massa serbuk yang dibutuhkan dapat dicari dengan persamaan berikut:

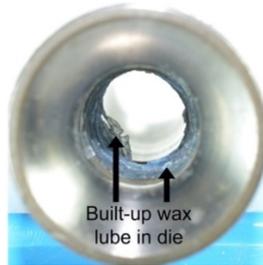
$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} V_c \quad (2.4)$$

dan

$$m_f = b \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} V_c \quad (2.5)$$

Metalurgi serbuk dapat digunakan untuk menghasilkan *metal-matrix composite* yang memiliki *properties* yang mirip dengan timbal. Sifat dari bahan non timbal dapat dikendalikan sehingga fragmen peluru menjadi partikel-partikel kecil ketika menyentuh target keras, tetapi tetap utuh ketika menyentuh target yang lunak. Selain itu, kepadatan material dapat divariasikan sehingga memungkinkan untuk pengembangan desain baru dan perbaikan kinerja balistik.

Lapisan yang menutupi proyektil, termasuk bagian bawah proyektil, mengurangi bahkan dapat menghilangkan tergerusnya proyektil pada proses manufaktur dan paparan partikel-partikel halus saat peluru berada di udara.



Gambar 2. 4 Penggerusan akibab gaya gesek proyektil (Miller, 2017)

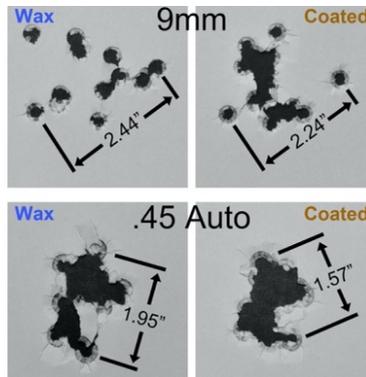
Prinsip yang digunakan dalam pelapisan proyektil ini sama seperti proyektil dengan *metal jacketed*. Dengan adanya lapisan pada proyektil ini akan mengurangi asap yang biasanya keluar setelah penembakan dan proyektil keluar dari moncong senjata. Asap yang dihasilkan biasanya terjadi karna lapisan *wax lubes* yang berada pada proyektil, sehingga dalam beberapa kali tembakan asap dari bubuk partikel proyektil akan menutupi jarak pandang penembak.

Kekurangan dari penggunaan lapisan pada proyektil ini adalah ketika setelah penembakan dan proyektil keluar dari moncong senjata, akan ada aroma yang akan tercium seperti aroma plastik yang terbakar. Tetapi, hal tersebut tidak signifikan dengan apa yang dihasilkan oleh pelapisan pada proyektil yang diberikan, karna hal tersebut bergantung dengan merk pelapis yang digunakan dan kemana arah angin berjalan.



Gambar 2. 5 Perbandingan proyektil yang diberi pelumas dan polimer (Miller, 2017)

Berdasarkan hasil percobaan pada Gambar 2.6, proyektil yang diberi pelumas dan peluru yang diberi pelapisan polimer, didapatkan hasil yang memuaskan, dimana akurasi yang didapat lebih baik menggunakan peluru yang diberi pelapisan polimer.



Gambar 2. 6 Perbandingan hasil akurasi penembakan proyektil yang diberi pelumas dan pelapisan polimer (Miller, 2017)

Penelitian tentang pelapisan menggunakan bahan dasar polisakarida telah dicoba lebih dari 10 tahun terakhir untuk membuktikan sifat antimikroba pada material logam dan polimer. Polisakarida memiliki sifat yang fleksibel dan biokompetibel sebagai material pelapis. Berdasarkan hasil penelitian, didapat hasil yang signifikan ketika anti-adesif dan *bactericidal* untuk mencegah pembentukan bio-film pada material, dimana diperlukan sedikit penambahan lapisan komposit (Cazón, 2016).

2.2 Balistik

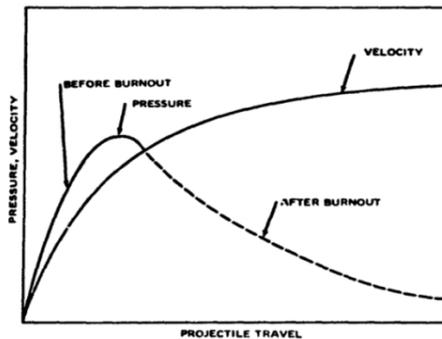
Balistik dapat didefinisikan sebagai ilmu tentang gerak proyektil dalam beberapa media, baik di ruang angkasa atau di atmosfer atau dalam cairan. Gerak proyektil pada senjata yang dipelajari termasuk dalam kategori balistik. Senjata dapat dilihat sebagai alat mekanik yang menghasilkan panas dari proses penembakan, yang diawali dengan propelan yang dinyalakan untuk

mengeluarkan percikan api untuk menghasilkan tekanan yang besar, dan diubah menjadi energi kinetik yang berfungsi sebagai pelontar proyektil dengan kecepatan tinggi (Naik, 2017).

Balistik dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Balistik Internal

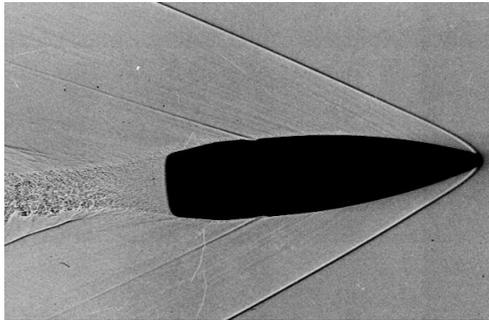
Bagian saat peluru berada didalam senjata mulai dari dipantiknya bagian primer hingga proyektil keluar diujung moncong senjata. Gambar 2.7 mengilustrasikan grafik tekanan ketika proyektil didalam senjata sebelum dipantik yang kemudian tertahannya tekanan hingga peluru melesat ke ujung moncong senjata.



Gambar 2. 7 Grafik tekanan dalam senjata (Sterne, 2019)

2. Balistik Eksternal

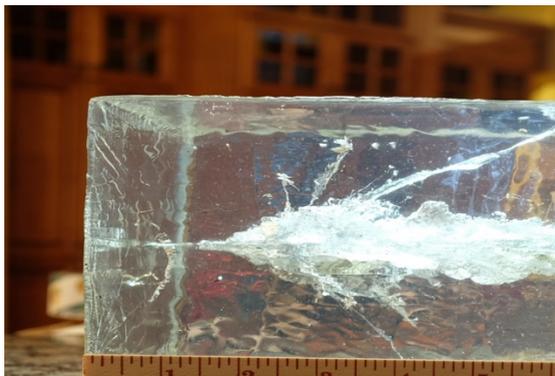
Bagian saat proyektil persis keluar meninggalkan moncong senjata yang sedang mengudara hingga sesaat sebelum proyektil menyentuh target. Berikut ilustrasi Gambar 2.8 dari peluru saat berada pada bagian balistik eksternal yang memotong hambatan udara. Bagian ini menentukan parameter akurasi dan presisinya suatu penembakan.



Gambar 2. 8 Proyektil dan hambatan udara saat mengudara
(Brian, 2008)

3. Balistik Terminal

Bagian saat peluru menyentuh target dan pecah menjadi fragment-fragmen yang lebih kecil yang berada didalam target (Pralhad, 2011). Proyektil akan pecah menjadi fragmen-fragmen kecil sesuai dengan ilustrasi pada Gambar 2.9.



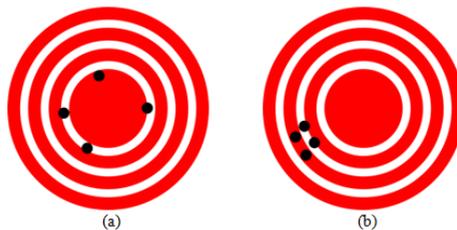
Gambar 2. 9 Proyektil yang mengenai target (Robert, 2019)

Berikut ini merupakan perbedaan setiap bagian dari balistik yang ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Perbedaan Bagian pada Balistik

Aspek	Balistik Internal	Balistik Eksternal	Balistik Terminal
Posisi Proyektil	Proyektil berada didalam senjata hingga sebelum keluar dari moncong senjata	Proyektil berada sesaat keluar dari moncong senjata hingga sebelum mengenai target	Proyektil berada persis ketika mengenai target hingga proyektil pecah menjadi fragmen yang lebih kecil
Faktor yang mempengaruhi	Pemantik primer, propelan, tekanan, tingkat putaran dalam moncong, kecepatan awal.	Kecepatan moncong, sudut penembakan, hambatan udara, berat dan bentuk proyektil, tingkat putaran di udara	Kecepatan akhir, tingkat kekerasan target, jenis ledakan proyektil, <i>fuzing system</i>
Hasil yang dipengaruhi	Kekuatan dari proyektil (bentuk proyektil dan distribusi tekanan)	Tingkat akurasi dan presisi (koefisien drag, center of pressure, flight stability)	Luka/efek yang diterima target
Rumus-rumus yang mempengaruhi	Tekanan dalam $A.P = k.m \, dv/dt$	Gaya Darg $(F_D) = \frac{C_D \rho v^2 A}{2}$	Konservatif momentum $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$

Pada suatu penembakan, akurasi dan presisi dari suatu proyektil adalah hal yang diutamakan. Akurasi adalah tingkat kedekatan pengukuran kuantitas terhadap nilai yang sebenarnya. Sedangkan presisi adalah sejauh mana pengulangan pengukuran dalam kondisi yang tidak berubah mendapatkan hasil yang sama. Gambar 2.10 menunjukkan ilustrasi dari akurasi dan juga presisi dari suatu hasil penembakan.



Gambar 2. 10 Perbandingan Akurasi tinggi presisi rendah (a); dan Presisi tinggi akurasi rendah (b) (DarKEvil, 2006)

Akurasi dan presisi dari suatu penembakan ditentukan oleh parameter balistik eksternal yang menaungi hal tersebut. Balistik eksternal adalah ilmu yang berurusan dengan gerakan proyektil dari saat ia meninggalkan moncong senjata hingga saat mengenai target. Terdapat banyak parameter yang ada di balistik eksternal, seperti bentuk proyektil, tingkat kepadatannya, tekanan atmosfer, yang menyebabkan perubahan akurasi dan presisi dari koefisien drag, *center of pressure*, dan *flight stability* (Brian, 2008). Jalur yang diikuti oleh proyektil setelah keluar dari moncong senjata disebut lintasan. Bentuknya tergantung pada:

- Muzzle Velocity* / kecepatan moncong
- Sudut penembakan
- Gravitasi
- Hambatan udara
- Berat dan bentuk proyektil
- Putaran dari proyektil
- Rotasi bumi

Gaya aerodinamis yang dihasilkan oleh proyektil disebabkan oleh aksi disekitar proyektil saat bergerak. Fluida memberikan gaya berupa efek gesekan udara dan dinamika fluida, yang mana mengalir persis diatas dari proyektil. Laju aliran tersebut bergantung pada kecepatan dari gerakan proyektil, tetapi karena proyektil tidak melambat secara cepat dan signifikan, aliran tersebut bisa diperhitungkan secara stabil (Pralhad, 2011).

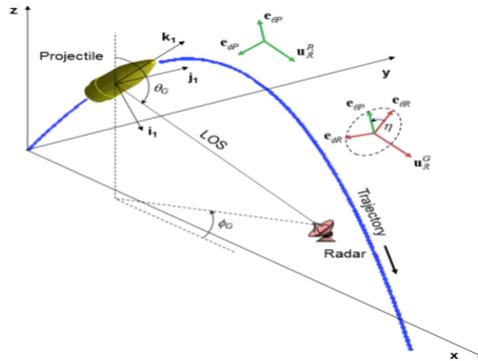


Gambar 2. 11 Aliran fluida pada proyektil (Pralhad, 2011)

Berdasarkan Gambar 2.11, aliran fluida 1 hingga 6 memiliki lintasan yang sama dan akan melalui perubahan kecepatan yang sama juga. Dengan demikian, distribusi kecepatan oleh aliran fluida akan selalu sama dan konstan.

2.2.1 Lintasan (*Trajectories*)

Gerakan proyektil dalam ruang hampa bebas dari efek hambatan udara. Dalam ruang hampa hanya mempertimbangkan proyektil yang ditembakkan pada sudut tertentu (θ) dan kecepatan moncong. Hukum pertama Newton menyatakan bahwa benda yang bergerak dalam garis lurus akan bergerak secara terus menerus dengan kecepatan konstan kecuali dihambat oleh gaya eksternal. Maka karna adanya gravitasi dan hambatan udara, proyektil akan berkurang kecepatannya dan tidak akan membentuk garis lurus, dan kemudian proyektil akan jatuh ke bumi di bawah percepatan gravitasi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Lintasan gerakan suatu proyektil (Baranowski, 2013)

Pada gerakan proyektil, jarak maksimum dapat diperhitungkan pada sudut penembakan tertentu dengan perumusan sebagai berikut:

$$V_t^2 = V_{0x}^2 \pm 2ax \quad (2.6)$$

Dimana

x = jarak x maksimum (m)

V_t = kecepatan akhir (m/s)

V_0 = kecepatan moncong (m/s)

a = percepatan (m/s^2)

Dimana

$$V_{0x} = V_0 \cos \theta \quad (2.7)$$

Sedangkan dalam perhitungan dengan adanya gaya drag, maka dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$x = V_{0x} t - C_D \rho A t^2 \div 2m \quad (2.8)$$

(Johnson, 2018)

Dimana sudut (θ) adalah sudut substitusi dari sudut tembakan dengan arah lurus horizontalnya. Persamaan tersebut tidak dapat diperhitungkan berdasarkan perhitungan sederhana, melainkan menggunakan metode numerik dan simulasi (Pralhad, 2011).

2.2.2 Gaya Drag

Benda yang bergerak melewati fluida, akan mengalami interaksi pada permukaan benda tersebut dengan fluida yang mengalir atau dilaluinya. Interaksi tersebut merupakan gaya dan momen yang bersumber dari tegangan geser yang diakibatkan oleh efek viskos, dan tegangan normal yang diakibatkan oleh distribusi tekanan. Dengan distribusi tegangan berarah tegak lurus ke arah pusat dan tangensial dengan terhadap permukaan seperti pada ilustrasi Gambar 2.13. Drag pada sebuah benda dapat dipecah menjadi dua bagian, yaitu Drag yang diakibatkan oleh gaya gesek, yaitu Drag Gesekan dan Drag yang diakibatkan oleh tekanan, yaitu Drag Tekanan. Sebagian besar drag dari suatu benda didapat dari hasil eksperimen yang dilakukan di terowongan angin yang dilakukan berkali-kali. Gaya drag dapat dituliskan dalam bilangan takberdimensi yang disebut sebagai Koefisien Drag (C_D) (Yogatama, 2018).

$$F_D = \frac{C_D \rho v^2 A}{2} \quad (2.9)$$

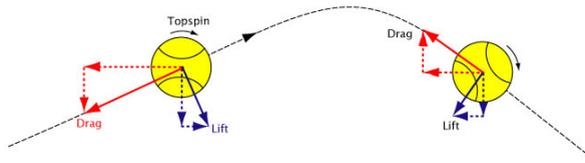
Dimana

F_D = Gaya drag (N)

ρ = Kepadatan atmosfer = 1,2 kg/m³

v = kecepatan moncong (m/s)

A = Luas penampang proyektil (m²)



Gambar 2. 13 Gaya drag pada suatu benda yang mengudara (Cross, 2013)

Koefisien drag adalah perbandingan dari drag dan *dynamic pressure freestream*. Pengurangan gaya drag, bila dilihat dari sudut pandang mekanika fluida, dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu:

1. Memodifikasi aliran secara lokal
2. Memindahkan atau menunda separasi aliran
3. Mengurangi terbentuknya zona resirkulasi di bagian belakang dari separasi aliran yang terjadi

Dari koefisien drag tersebut, maka sudut gerakan (yaw) pada suatu proyektil dapat ditentukan secara matematis dengan cara sebagai berikut:

$$C_D = C_{D_0} + C_{D_{\delta^2}} \delta^2 \quad (2.10)$$

Dimana

C_{D_0} = koefisien zero yaw drag

$C_{D_{\delta^2}}$ = koefisien yaw drag

δ^2 = $\sin^2 \alpha_t$

Dan

$$\sin \alpha_t = \sqrt{(\sin \alpha \cos \beta)^2 + \sin^2 \beta} \quad (2.11)$$

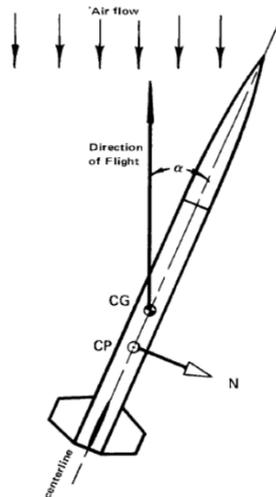
Dimana

$\alpha = \text{angle of attack (pitch)}$ $\beta = \text{angle of sideslip (yaw)}$

(McCoy, 2012)

2.2.3 Center of Pressure

Center of Pressure (CP) adalah suatu titik dari seluruh gaya aerodinamik yang bekerja pada proyektil saat berada di udara. Gaya normal pada suatu proyektil berada bukan pada bagian tengah, melainkan berada pada titik *center of pressure*, maka stabil atau tidaknya sebuah proyektil selain bergantung pada *center of gravity*, juga bergantung dengan titik *center of pressure* dari proyektil tersebut (Barrowman, 2017). Berikut ilustrasi Gambar 2.14 dari titik CP dan CG.



Gambar 2.14 *Center of Pressure, Center of Gravity dan gaya normal suatu proyektil* (Barrowman, 2017)

Hubungan antara CP dan CG adalah titik gaya dimana momennya sama dengan nol. Perbedaan salah satunya adalah *Center of Gravity* merupakan titik dimana seluruh titik massa

gravitasi sama dengan nol, sedangkan *Center of Pressure* merupakan titik dimana momen yang disebabkan oleh seluruh vector tekanan pada seluruh permukaan sama dengan nol (Vadarevu, 2017). Sehingga, untuk mencari titik CP selain dibutuhkan percobaan pada ruang hampa, juga dibutuhkan perhitungan matematis dengan cara sebagai berikut:

$$C_{m\alpha} = C_{N\alpha}(CG-CP_N) \quad (2.12)$$

Dimana

$C_{m\alpha}$ = Koefisien *Pitching moment*

$C_{N\alpha}$ = Koefisien *Normal Force*

CG = Jarak dari ujung hidung ke *Center of Gravity*

CP_N = Jarak dari ujung hidung ke *Center of Pressure*

Untuk perhitungan proyektil caliber 9mm dikarenakan memiliki ujung hidung yang berbentuk ogival, maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$(X_{cp})_N = (0,467 + C_{Cyl}) L_N \quad (2.13)$$

Dimana

$x_{cp}N$ = Lokasi *Centre-of-pressure* dihitung dari ujung *nose*

C_{Cyl} = Kontribusi dari bagian berbentuk silinder pada *center of pressure nose*

L_N = Panjang *Nose* (m)

Sehingga didapatkan lokasi dari titik *Center of Pressure* tersebut menggunakan rumus sebagai berikut:

$$x_{cp} = \frac{(x_{cp})_N (C_{N\alpha})_N + (x_{cp})_{BT} (C_{N\alpha})_{BT}}{(C_{N\alpha})} \quad (2.14)$$

Dimana

-
- $x_{cp}N$ = Lokasi *Centre-of-pressure* dihitung dari ujung hidung (m)
- $C_{N\alpha}N$ = *Normal-force-curve slope* dari ujung hidung, 1/rad
- $(x_{cp})BT$ = Koefisien *centre-of-pressure* dari boattail
- $(C_{N\alpha})BT$ = *Normal-force-curve slope* dari boattail, 1/rad (SH, 2008)

2.3 Teknologi Pelapisan

Keausan dan terkorosinya material merupakan salah satu perhatian utama dalam rantai industri, karena dapat mengurangi daya tahan yang mengakibatkan meningkatnya biaya operasi. Untuk memaksimalkan masa pakai, seringkali komponen diberi perawatan untuk meningkatkan ketahanan aus dan ketahanan korosi (Miranda, 2017).

Teknologi pelapisan atau *coating* merupakan suatu proses di mana suatu substansi diaplikasikan kepada permukaan material induk (substrat) yang akan menyebabkan perubahan sifat dari permukaan substrat, seperti warna, *wear resistance*, korosi, ketahanan serangan kimia, dan permeabilitas tanpa mengubah sifat dari substrat secara keseluruhan. (NPCS, 2019).

Pelapisan logam, polimer maupun komposit adalah suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja, dimana diharapkan benda tersebut akan mengalami perbaikan baik dalam hal struktur mikro maupun ketahanannya, dan tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya. Pelapisan merupakan bagian akhir dari proses produksi dari suatu produk. Proses tersebut dilakukan setelah benda kerja mencapai bentuk akhir atau setelah proses pengerjaan mesin serta penghalusan terhadap permukaan benda kerja yang dilakukan. Dengan demikian, proses pelapisan termasuk dalam kategori pekerjaan *finishing* atau sering juga disebut tahap penyelesaian dari suatu produksi benda kerja (Niam, 2017).

2.3.1 Fungsi Pelapisan

Fungsi dari pelapisan secara umum dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu pelapisan sebagai pelumas, tahan korosi dan kekerasan.

1. Pelapisan Pelumas

Proses pelapisan dengan fungsi pelumas adalah untuk mencegah kontak yang kurang baik antar permukaan, agar mengurangi koefisien gesekan dan mengurangi keausan. Terdapat beberapa situasi di mana pelumasan dengan material yang cair tidak dapat diterapkan, maka diperlukan pelumas dengan material padat yang diterapkan di dalam lapisan agar memberikan pelumasan pasif agar dapat melindungi permukaan.

2. Pelapisan Tahan Korosi

Korosi adalah sebuah proses alami, yang mengubah logam normal menjadi bentuk yang lebih stabil secara kimiawi, seperti oksida, hidroksida, atau sulfida. Korosi adalah berubahnya sebuah material secara bertahap oleh reaksi kimia dan / atau elektrokimia dengan lingkungannya. Dalam situasi di mana permukaan mulai terkena korosi secara kimia, diperlukan perlakuan berupa memberi pelapisan terhadap material tersebut. Transportasi dalam bahan kimia seperti rig minyak laut dalam, logam yang dipanaskan dan terpapar udara, serta industri lain yang kecenderungan menggunakan produk logam pasti akan terkorosi dan pelapisan adalah solusi untuk mengurangi dan mencegahnya.

3. Pelapisan Kekerasan

Tujuan dari pemberian dari pelapisan kekerasan adalah untuk melapisi material dengan material kekerasan tinggi dengan baik, sehingga dapat meningkatkan sifat dan ketahanan dari permukaan, sehingga material yang dilapisi dapat bertahan dengan umur yang lebih panjang. Proses utama pelapisan kekerasan adalah pengelasan, melalui metode *Flux Cored Arc Welding* (FCAW), di mana lapisan tersebut adalah fluks (Miranda, 2017).

2.3.2 Jenis-Jenis Pelapisan

Metode pelapisan dibagi menjadi 4 kategori, antara lain seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Jenis-jenis pelapisan

Aspek	Logam dengan listrik	Logam tanpa listrik	Non logam dengan listrik	Non logam tanpa listrik
Bahan pelapis	Logam	Logam	Oksida	Polimer, komposit, keramik
Bahan dasar	Logam	Logam	Logam	Polimer, komposit, keramik
Penggunaan	Dengan listrik	Tanpa listrik	Dengan listrik	Tanpa listrik
Fungsi	Meningkatkan sifat tahan korosi, kekerasan	Meningkatkan sifat tahan korosi, kekerasan	Meningkatkan sifat tahan korosi, kekerasan, pelumas	Meningkatkan sifat tahan korosi, kekerasan, pelumas
Contoh	Elektroplating, elektrodeposisi	Galvanizing, thermal spray	Anodizing	Dip dan spray coating

1. Pelapisan dengan logam secara listrik

Pelapisan ini menggunakan bahan yang dilapis maupun yang digunakan untuk melapis dari jenis logam. Misalnya pelapisan besi dengan menggunakan nikel, seng dan sebagainya.

2. Pelapisan dengan logam tanpa listrik

Jenis ini mirip dengan sebelumnya, tapi proses pelapisan tidak menggunakan listrik. Cara pelapisan dilakukan dengan proses pencelupan. Untuk ini dikenal dua cara lagi yaitu pencelupan dalam larutan kimia (*immersion plating*), pencelupan dalam logam cair panas (*hot dip galvanizing*).

3. Pelapisan dengan bahan non logam atau oksida secara listrik

Berlainan dengan kedua jenis diatas. Disini bahan pelapisannya adalah oksida. Oksida didapat dari proses anodisasi sehingga prosesnya lebih dengan proses *anodizing*. Contoh pelapisan jenis ini adalah anodizing aluminium dan anodizing magnesium.

4. Pelapisan logam dengan bahan non logam atau oksida tanpa listrik

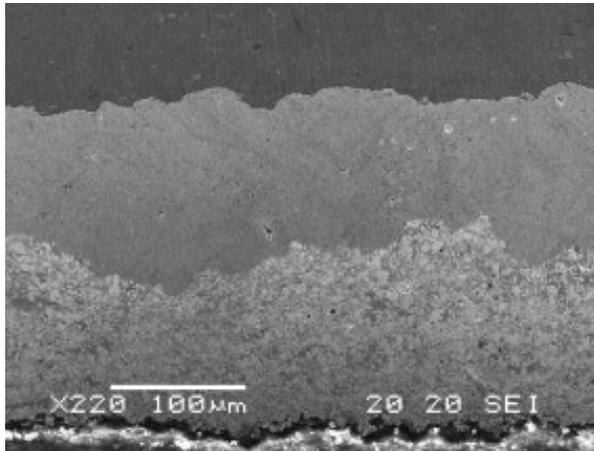
Hampir sama dengan poin 3, hanya pelapisannya tidak diperoleh secara listrik tetapi secara pencelupan dan pemanasan. Contohnya adalah pelapisan fosfat (*phosphating*), penghitaman (*blacking*), pembiruan (*blueing*), *immersion/dip coating*, *cold spray*, dan sebagainya (Adyani, 2007).

Dari 4 kategori metode pelapisan tersebut, terdapat kategori yang lebih dalam dari klasifikasi metode pelapisan, antara lain:

1. *Spray Coating*

Proses pelapisan yang menggunakan cara menyemprotkan suatu material pelapis kepada material yang ingin dilapisi sehingga material pelapis menempel dan dingin mengeras pada permukaannya (Shibe, 2013). Proses pelapisan menggunakan *spray coating* khususnya pada *cold spray* ini akan menghasilkan ikatan mekanik seperti pada Gambar 2.15 antara material pelapis dan material yang ingin dilapisi, tanpa ada ikatan kimia didalamnya. Pada metode *spray*, tidak menggunakan energi termal sehingga tidak menggunakan energi panas pada proses pelapisan,

tetapi menggunakan gas bertekanan sehingga partikel menempel pada material yang ingin dilapisi. Kecepatan penyemprotan adalah salah satu parameter penting dalam metode ini, sehingga ikatan metalurgi dan mekanik pada proses ini tergantung pada kecepatan partikel pada *spraying* ini (Shezari, 2014).



Gambar 2. 15 Ikatan mekanik pelapisan (Shezari, 2014)

Dalam metode *spray coating*, dianjurkan jarak antara penyemprotan dari spray gun dengan material yang ingin dilapisi sekitar 20-30 cm. Pada metode ini, partikel-partikel yang disemprotkan keluar dengan kecepatan 300-600 m/s dengan tekanan yang ada berkisar pada 5-10 bar (Singh, 2013). Dalam pengaplikasiannya, setiap layer jika ingin ditambahkan, dibutuhkan waktu yang tidak boleh kurang dari 5 menit agar tiap layer yang telah disemprotkan membeku terlebih dahulu, setelah itu baru disemprotkan layer selanjutnya. Dari metode *spray coating* cenderung lebih tebal dibandingkan dengan metode lainnya, tetapi penyemprotan menggunakan *cold spray* merupakan cara paling ekonomis dan efisien dalam pegaplikasian material pelapis.

Pada proses penyemprotan, ketebalan yang diinginkan dalam pelapisan proyektil ini adalah kurang dari 0,01mm, sehingga

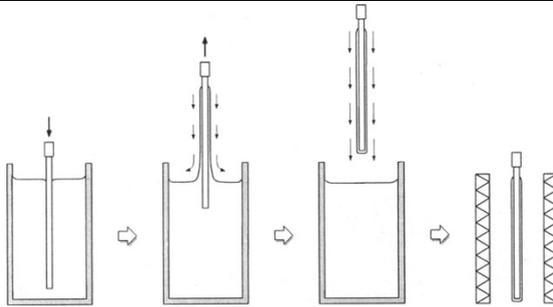
jarak dan waktu penyemprotan harus diatur sebaik mungkin. Semakin dekat jarak penyemprotan, semakin cepat tebal dan tidak terdistribusi secara merata partikelnya, dan semakin lama waktu penyemprotan akan menghasilkan ketebalan yang tinggi.

Tabel 2. 4 Aplikasi metode *Spray Coating*

Aspek	Besar
Tekanan	3 – 10 bar
Kecepatan	300 – 600 m/s
Jarak	20 – 30 cm
Waktu tunggu	>5 menit

2. *Immersion/Dip-Coating*

Pelapisan celup merupakan metode dengan cara mengendapkan material pelapis cairan dengan mencelupkan material yang ingin dilapisi dari media pelapis cair. Proses pembentukan lapisan terdiri dari beberapa tahapan , yaitu pencelupan, pengangkatan/penarikan dan pengeringan. Dimulai dengan perendaman substrat, film cair yang koheren diberikan pada penarikan substrat dari cairan pelapis, yang kemudian diangkat dan akan mengering dan menyertai reaksi kimia seperti pada Gambar 2.16. Untuk mendapatkan bahan pelapis akhir, terkadang diperlukan langkah perawatan atau sintering lebih lanjut (*post treatment*)).



Gambar 2. 16 Proses pelapisan metode celup (Nechifor, 2017)

Proses pembentukan pelapis didasarkan pada kesetimbangan mekanis fluida antara material pelapis yang terperangkap dan menyusut. Hal tersebut akan terbagi oleh garis astagnasi, dimana cairan dikontrol oleh material ingin dilapisi yang dicelupkan kedalam suatu wadah. Kesetimbangan diatur oleh beberapa gaya, salah satunya adalah gaya tarik kental (*Viscous Drag*) dan gaya gravitasi, tetapi gaya lain seperti tegangan permukaan, gaya inersia dan gaya tekan yang terpisah juga memiliki peran penting.

Secara teoritis mendasar tentang pelapisan metode celup ini, pendekatan yang menggambarkan ketebalan material pelapis (h) untuk cairan murni diberikan oleh persamaan Landau-Levich (I):

$$x_{cp} = h = c \frac{(\eta U)^{2/3}}{\gamma^{1/6}(\rho g)^{1/2}} \quad (2.15)$$

Dimana

h = Ketebalan material pelapis

c = Konstanta *Newtonian Liquid* (0,944)

η = Kekentalan Material Pelapis

U = Kecepatan Penarikan

γ = Tegangan Permukaan

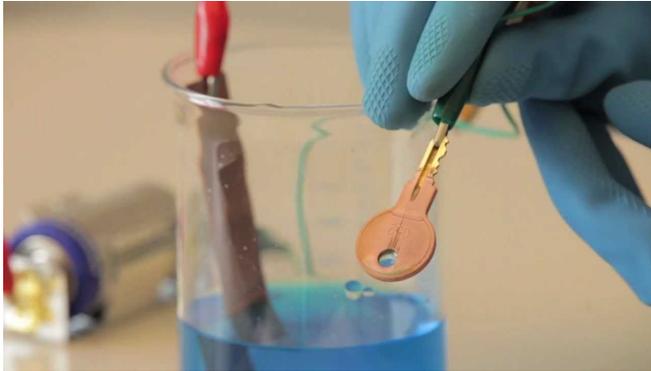
ρ = Massa Jenis Material Pelapis

Tabel 2. 5 Aplikasi Metode *Dip Coating* (Michael, 2015)

Aspek	Besar
Waktu pencelupan	5 – 60 sekon
Persen material pelapis	6%
Ethanol	24%
Ether	70%

3. Elektroplating

Pelapisan listrik (elektroplating) adalah suatu proses pengendapan zat atau ion-ion logam pada elektroda negatif (katoda) dengan cara elektrolisis. Terjadinya suatu endapan pada proses ini adalah karena adanya ion-ion bermuatan listrik berpindah dan suatu elektroda melalui elektrolit yang mana hasil dan elektrolisis tersebut akan mengendap pada katoda, sedangkan endapan yang terjadi akan bersifat adesif terhadap logam dasar (Rahmat, 2018) seperti pada Gambar 2.17. Elektroplating termasuk proses elektrolisis yang biasanya dilakukan dalam suatu wadah sel elektrolisis dan berisi cairan elektrolit. Pada cairan tersebut paling sedikit tercelup dua elektrode. Masing-masing elektrode dihubungkan dengan arus listrik yang terbagi menjadi kutub positif (anoda) dan kutub negatif (katoda). Di dalam proses elektrolisa terjadi reaksi oksidasi dan reduksi. Prinsip dasar dari pelapisan logam secara listrik ini adalah penempatan ion-ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi, yang mana ion-ion logam tersebut didapat dari anoda dan elektrolit yang digunakan. Dengan adanya arus listrik yang mengalir dari sumber maka elektron dialirkan melalui elektrode positif (anoda) menuju elektrode negatif (katoda) dan dengan adanya ion-ion logam yang didapat dari elektrolit maka menghasilkan logam yang melapisi permukaan logam yang lain yang dilapisi (Suarsana, 2018)



Gambar 2. 17 Hasil dari proses pelapisan metode elektroplating

Selama proses pengendapan berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda dan elektrolit baik reaksi reduksi maupun oksidasi dan diharapkan berlangsung terus menerus menuju arah tertentu secara tetap. Untuk itu diperlukan arus listrik searah (Saleh, 1995).

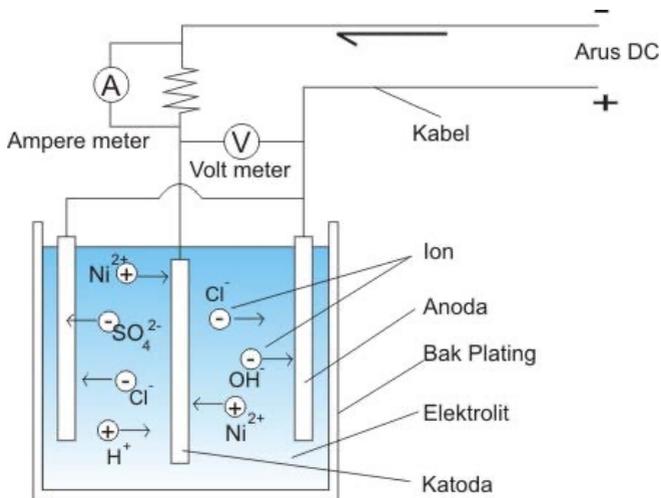
Arus listrik pada dasarnya adalah aliran elektron, yang dapat mengalir dari suatu atom ke atom lainnya. Bila arah arus selalu sama setiap saat disebut sebagai arus searah (DC: *Direct Current*) dan bila terjadi arah balik terhadap arah dasarnya disebut sebagai arus bolak-balik (AC: *Alternating Current*). Arus yang dipakai pada elektroplating adalah arus searah. Sumber arus DC dapat diperoleh dari *power supply*, batu baterai atau dengan mengubah arus AC menjadi DC dengan menggunakan adaptor atau *rectifier*.

Elektrolit merupakan suatu larutan yang mengandung ion-ion sehingga dapat menghantarkan arus listrik. Sebagai contoh elektrolit plating tembaga mengandung senyawa tembaga sulfat (CuSO_4) yang terurai dalam larutan membentuk ion positif Cu^{2+} dan ion negatif SO_4^{2-} . Untuk memperbesar arus ditambahkan asam sulfat (H_2SO_4) yang terurai menjadi ion positif H_3O^+ (berasal dari $\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ = \text{H}_3\text{O}^+$) dan ion negatif SO_4^{2-} .

Apabila dua buah benda padat disambungkan dengan arus listrik dan dicelupkan ke dalam elektrolit bagian yang tersambung

dengan kutub positif disebut dengan anoda dan yang tersambung dengan kutub negatif disebut dengan katoda. Anoda terdiri dari dua macam yaitu anoda aktif yang akan larut ke dalam larutan seperti anoda tembaga (Cu), Nikel (Ni) dan anoda inaktif yang tidak akan terionisasi seperti karbon (C).

Pada prinsipnya pelapisan logam dengan cara lapis listrik adalah merupakan rangkaian dari arus listrik, elektroda (anoda dan katoda), larutan elektrolit, dan benda kerja ditempatkan sebagai katoda seperti ilustrasi Gambar 2.18 bpada berikut :



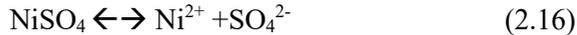
Gambar 2. 18 Mekanisme elektroplating

Bila arus listrik (potensial) searah dialirkan antara kedua elektroda anoda dan katoda dalam larutan elektrolit, maka muatan ion positif ditarik oleh elektroda katoda. Sementara ion bermuatan negatif berpindah ke arah elektroda bermuatan positif.

Sebagai contoh misalkan plat baja yang akan dilapis dengan tembaga (Ni). Larutan yang digunakan adalah garam logam nikel sulfat (NiSO_4). Oleh karena pada anoda dan katoda terjadi

perbedaan potensial setelah dialiri listrik, maka logam nikel akan terurai di dalam elektrolit yang juga mengandung ion-ion nikel.

Melalui larutan elektrolit, ion-ion tembaga (Ni^{2+}) akan terbawa kemudian mengendap pada permukaan katoda dan berubah menjadi atom-atom nikel. Di sini terjadi reaksi reduksi ion nikel menjadi logam nikel sebagai berikut :



Larutan elektrolit dapat dibuat dari larutan asam, basa dan garam logam yang dapat membentuk ion-ion positif. Tiap jenis larutan, larutan elektrolitnya berbeda-beda tergantung pada sifat-sifat elektrolit yang diinginkan. Sebagai contoh pelapisan Nikel, larutan elektrolit yang dipakai dibuat dari garam logam nikel sulfat (NiSO_4) dan H_2O maka akan terurai seperti berikut:



Oleh karena larutan elektrolit selalu mengandung garam dari logam yang akan dilapis, garam-garam tersebut sebaiknya dipilih yang mudah larut, tetapi anionnya tidak mudah tereduksi.

Prinsip atau teori dasar dari elektroplating adalah berpedoman atau berdasarkan Hukum Faraday yang menyatakan:

- I. Massa zat yang dihasilkan pada suatu elektrode selama elektrolisis (G) berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang digunakan (Q).

$$G \sim Q \quad (2.19)$$

Sebagaimana jumlah muatan listrik (Q) sama dengan hasil kali dari kuat arus listrik (I) dengan selang waktu (t)

$$Q = I \times t \quad (2.20)$$

- II. Massa zat yang dihasilkan pada suatu electrode selama elektrolisis (G) berbanding lurus dengan massa ekivalensi zat tersebut (M_{ek})

Pernyataan Faraday dapat ditulis ketentuan atau rumus seperti berikut ini:

$$G = \frac{I \cdot t \cdot e}{F} \quad (2.21)$$

Dimana

G = Berat zat yang terbentuk (gr)

I = Jumlah arus yang mengalir (A)

t = Waktu (s)

e = Berat ekivalen zat yang dibebaskan (berat atom suatu unsur dibagi valensi unsur tersebut)

F = Jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekivalen suatu zat

$1F$ = 96.500 Coulumb

Apabila proses elektroplating berjalan seimbang maka konsentrasi elektrolit akan tetap, anoda makin lama berkurang dan terjadi pengendapan (deposit) logam yang melapisi katoda sebagai benda kerja (Wibawa, 2013). Berikut merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pelapisan dengan metode elektroplating pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Faktor-faktor yang mempengaruhi elektroplating

Aspek	Pengaruh
Suhu	Menentukan kecocokan jalannya reaksi dan melindungi pelapisan, sehingga kesetimbangan suhu ditentukan oleh jarak anoda dan katoda, dan arus yang digunakan
Rapat Arus	Rapat arus mempengaruhi waktu pelapisan mencapai ketebalan yang diperlukan
Konsentrasi Ion	Mempengaruhi struktur material yang akan dilapisi, dengan naiknya konsentrasi logam dapat menaikkan seluruh kegiatan anion yang membantu mobilitas ion
Agitasi	Agitasi harus terkontrol karena jika terlalu besar akan merusak, tetapi dengan agitasi yang cukup akan menghasilkan struktur pelapis yang seragam.
<i>Throwing Power</i>	<i>Throwing power</i> adalah kemampuan larutan penyalur menghasilkan lapisan dengan ketebalan merata dan sejalan dengan teus berubahnya jarak antara anoda dan permukaan katoda selama proses pelapisan
Konduktivitas	Konduktivitas pada proses pelapisan tergantung pada konsentrasi ion yang besar atau jumlah konsentrasi molekul
Nilai pH	Derajat keasaman (pH) merupakan faktor penting dalam proses elektroplating karena dapat mengatur ketebalan dari lapisan.
Pasivitas	Gejala yang ditemui pada logam yang mengalami korosi, dimana hasil korosi menjadi lapisan pasif, sehingga ion-ion logam pelapis terus menurun, sehingga akan mengganggu proses karena berkurang reaktivitasnya.
Waktu	Waktu pelapisan sangat berpengaruh pada ketebalan lapisan yang diharapkan. Semakin lama pencelupan maka ketebalan lapisan semakin bertambah.

Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi ketebalan dari lapisan yang terbentuk pada proyektil, sehingga setiap aspek harus diperhatikan sebaik mungkin agar ketebalan yang terbentuk tidak

lebih dari 0,01mm (jarak senggang antara proyektil dengan selongsong). Berdasarkan penelitian yang ada, pada pelapisan nikel dan khrom, untuk ketebalan kurang dari 0,01mm akan digunakan data sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Data Percobaan Pelapisan Nikel pada Plat
(Rahmat, 2018)

Benda Kerja	Arus Listrik (A)	Waktu (sekon)	Penambahan Ketebalan (mm)
1	2,5	600	0,0025
2	2,5	1200	0,005
3	4	600	0,0025
4	4	1200	0,0075
5	6	600	0,0075

Tabel 2. 8 Data Percobaan Pelapisan khrom pada Plat
(Hendrato, 2012)

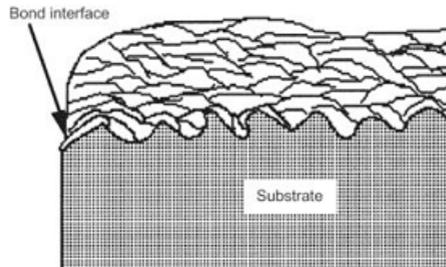
Benda Kerja	Tegangan (V)	Waktu (sekon)	Penambahan Ketebalan (mm)
1	4	900	0,0076
2	6	900	0,0093

Dalam proses pelapisan suatu material, terdapat beberapa jenis lapisan yang terbentuk antara material yang ingin dilapisi atau substrat dengan material pelapis. Jenis-jenis ikatan tersebut antara lain:

1. Ikatan Secara Mekanik

Ikatan mekanik terjadi karena adanya penguncian secara mekanik pada bagian permukaan material yang ingin dilapisi dengan material pelapis. Partikel pada material pelapis disemprotkan menggunakan termal spray dengan temperatur tinggi sehingga partikel material pelapis menjadi *molten* atau *semi molten* ketika sampai pada material yang ingin dilapisi. Ketika material

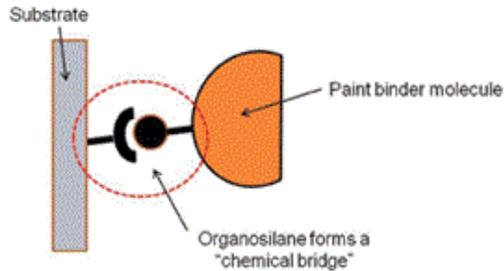
pelapis sampai pada material yang ingin dilapisi, terjadi mekanisme *quenching* dan terjadi tegangan pada daerah tersebut. Adesif antara material yang ingin dilapisi dengan material pelapis ditentukan dengan ikatan ini (Bunshah, 2000)



Gambar 2. 19 Ikatan mekanik pada substrat (Bunshas, 2000)

2. Ikatan Secara Kimiawi

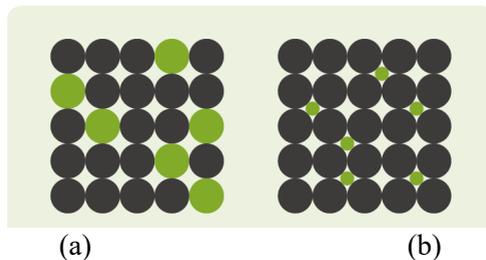
Pembentukan ikatan secara kimia dalam proses pelapisan relative lebih kuat dan tahan lama, karena terjadi ikatan adsorpsi yang merekat pada permukaan dan terjadi reaksi kimia. Ikatan secara kimiawi dapat ditandainya dengan adanya transisi perantara pada substrat dan material pelapis seperti *chemical bridge*. *Chemical bridge* dapat ditandai dengan adanya lapisan baru antara substrat dengan material pelapis, atau juga dapat ditandainya adanya perubahan bentuk atau warna dari substrat karena adanya adsorpsi yang meerkat antar material. Contoh ikatan kimia yang paling banyak digunakan dalam industri cat adalah dengan adhesi atau solven transisi. Bahan kimia multifungsi ini membuat suatu jembatan molekul antara material pelapis dan material yang ingin dilapisi. Salah satu ujung molekul adhesi memiliki fungsi yang akan bereaksi dengan cat, dan ujung lainnya memiliki fungsi yang akan bereaksi dengan media. Ikatan yang kuat dan tahan lama terbentuk sebagai perekat (Petrie, 2012).



Gambar 2. 20 Mekanisme pembentukan ikatan kimiawi pada material pelapis dan material yang ingin dilapisi (Petrie, 2012)

3. Ikatan Secara Metalurgi

Pembentukan ikatan secara metalurgi terjadi antara material pelapis dan material yang ingin dilapisi yang memiliki struktur hamper sama. Atom-atom dari pelapis berdifusi kedalam material yang ingin dilapisi, hingga masuk kedalam daerah-daerah intersisi bila jari-jari dari atom material pelapis lebih kecil daripada jari-jari atom material yang ingin dilapisi, atau menstutitisi bila jari-jari atom kedua material tersebut hamper sama (Wibisono, 2013).



Gambar 2. 21 Mekanisme pembentukan ikatan metalurgi (a) secara substitusi dan (b) secara intersisi, pada material pelapis dan material yang dilapisi (Wibisono, 2013)

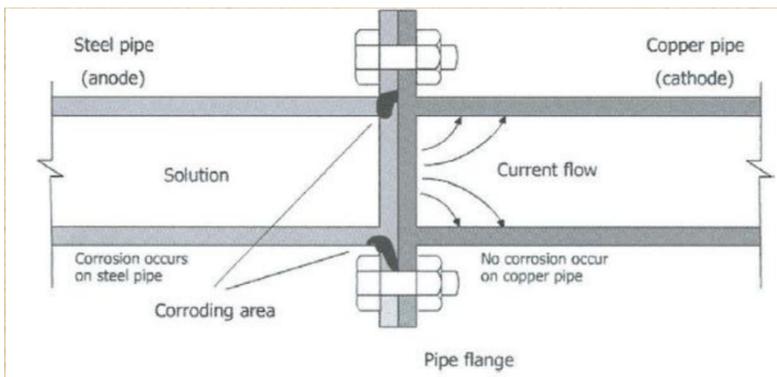
2.4 Galvanic Couple

Galvanic Corrosion adalah korosi yang terjadi ketika dua (atau lebih) logam berbeda yang berkontak satu sama lain secara langsung maupun dengan elektrolit seperti air laut. Ketika logam satu dan lainnya berkontak langsung, salah satu logam dalam menjadi anoda dan terkorosi lebih cepat daripada logam pasangannya, sementara logam pasangannya akan menjadi katoda dan berkorosi lebih lambat (Dexter, 2019)

Untuk pembentukan sel galvanik, komponen berikut diperlukan :

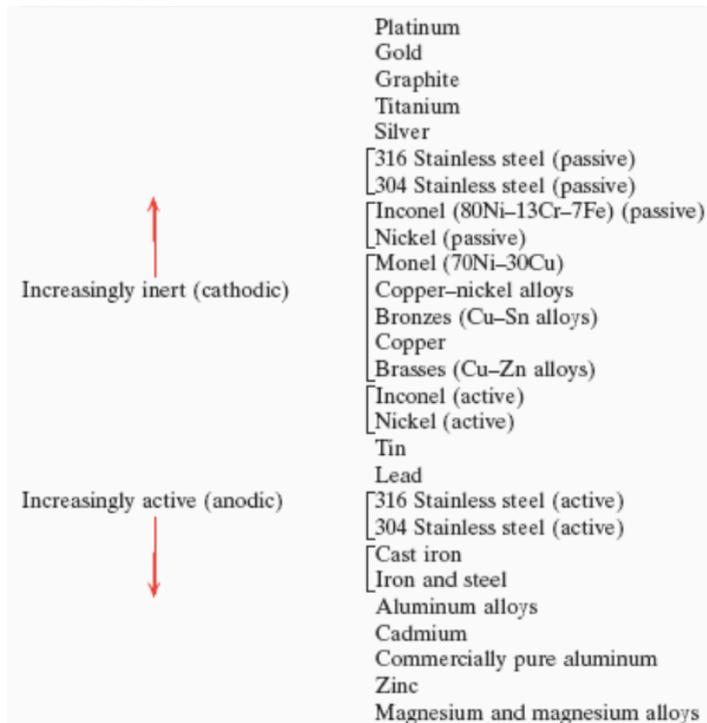
1. Katoda
2. Anoda
3. Elektrolit
4. Jalur logam untuk arus elektron.

Dalam kasus sambungan pipa tembaga dan besi, besi lebih berpotensi negatif (-0,440 V). Sehingga besi adalah anoda, uap air bertindak sebagai elektrolit dan permukaan logam menjadi jalur logam untuk arus elektron. Sedangkan tembaga adalah katoda. Sel galvanik akan terbentuk dan korosi galvanik akan terjadi, seperti pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Korosi pada pipa besi terhadap tembaga (Mahdi, 2016)

Untuk korosi galvanik, besarnya korosi galvanik bergantung pada seberapa besar perbedaan potensial antara dua logam. Untuk lingkungan tertentu, logam yang dipilih harus dekat satu sama lain dalam seri galvanik untuk meminimalkan korosi galvanik, seperti pada Gambar 2.23.

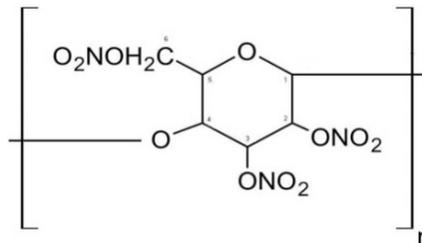


Gambar 2. 23 Posisi logam pada rangkaian galvanik (Mahdi, 2016)

Berdasarkan Gambar 2.23, semakin atas posisi logam, maka logam tersebut akan memiliki potensial besar dan katodik, sehingga akan menjadi tahan akan korosi. Begitu juga sebaliknya, semakin bawah posisi logam maka akan berpotensi menjadi yang terkorosi (Mahdi, 2016)

2.5 Nitroselulosa

Nitroselulosa adalah polimer ester selulosa nitrat dengan ikatan β (1 \rightarrow 4) antar monomer, yang dihasilkan dari nitrasi selulosa. Formula kimianya adalah $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(ONO_2)_x]_n$, dimana x menunjukkan gugus hidroksil yang ditukar oleh gugus nitro. Makromolekul ini memiliki aplikasi yang berbeda tergantung pada tingkat nitrasinya. Nitroselulosa dengan tingkat nitrasi rendah diterapkan pada cat, lak, pernis, tinta. Sementara nitroselulosa dengan tingkat nitrasi yang tinggi ($> 12,5\%$) digunakan dalam bahan peledak (Wythers, 2012). Ukuran dari partikel nitroselulosa berkisar antara 200 hingga 800 nm (Patel, 2016). Nitroselulosa dapat diaplikasikan untuk material berbahan dasar kayu maupun logam seperti besi/baja, tembaga, aluminium, dan semacampnya.



Gambar 2. 24 Struktur kimia nitroselulosa

Nitroselulosa juga memiliki kepadatan yang tinggi yang bahkan mendekati logam atau *advance* material polimer lainnya, dan kelebihan yang cepat dalam pengeringan. Tetapi, memiliki kekurangan yaitu jika material yang ingin dilapisi tidak cukup bersih, atau ketika pemberian pelapisan dilakukan tidak pada tempat yang bersih, akan menjadi pengotor didalam pelapisan tersebut.

2.6 Poliuretan

Poliuretan (PU) adalah salah satu material polimer yang memiliki sifat cocok sebagai material pelapis dibanding polimer

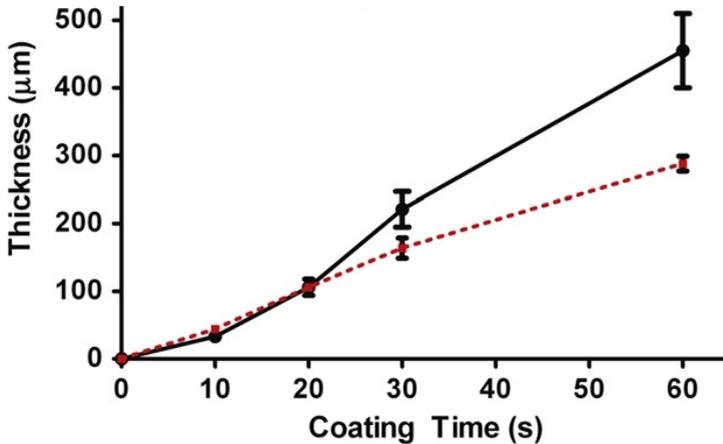
berbentuk plastik lainnya. Mereka dapat dimasukkan ke dalam banyak hal yang berbeda, seperti cat, pelapis cair, elastomer, isolator, serat elastis, busa, kulit integral. Biasanya, mereka fleksibel dan elastis dengan ketahanan yang baik terhadap benturan, abrasi dan cuaca. Keserbagunaan bahan ini juga tergantung dengan apa sifat yang ingin kita dapatkan, salah satunya tahan terhadap korosi, sehingga sangat bagus digunakan pada material berbasis logam.

Poliuretan merupakan sebuah material polimer yang mengandung *urethane group* ($-NH-CO-O-$), hasil reaksi dari polyol dengan isocyanate yang berbentuk *liquid* (cairan). Polyurethane atau yang biasa disebut PU merupakan bahan cat premium yang berkualitas tinggi, yang dihasilkan dari polimerisasi uretan yang mempunyai gugus hidroksil. Poliuretan ini memiliki lapisan yang kuat dan keras, tahan terhadap panas, bahan kimia dan goresan bahkan temperatur tinggi. Selain itu, poliuretan juga tahan gesek, tahan aus, tahan terhadap kimia ringan, dan stabil dalam suhu yang ekstrem.

Tabel 2. 9 Perbandingan karakteristik nitroselulosa dan poliuretan (Cabrera, 2018); (Prospektor, 2020)

Aspek	Poliuretan	Nitroselulosa
Massa jenis (g/cm^3)	0,87 – 1,72	0,77
Ukuran partikel (nm)	200 – 800	200 – 800
Modulus Young (Gpa)	3,4	15
Kekuatan Tekan (Mpa)	85	80

Berikut merupakan gambaran grafik hubungan waktu pencelupan terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk pada proses pelapisan dengan metode *dip coating*.



Gambar 2. 25 Grafik Ketebalan *Dip Coating* Polisakarida (Hume, 2011)

Berdasarkan Gambar 2.23, dalam pelapisan material polisakarida dengan waktu singkat (*short time dipping*) yaitu 10 s menghasilkan ketebalan berkisar pada 18,2 µm (Hume, 2011)

2.7 Nikel

Nikel adalah unsur kimia dengan simbol Ni dan nomor atom 28. Nikel merupakan logam yang berkilau putih keperakan dengan warna sedikit keemasan. Nikel merupakan salah satu logam transisi yang keras dan ulet. Sifat dari nikel memiliki kemampuan untuk tahan korosi secara pasif karena lapisan oksidanya tidak mudah untuk bereaksi dengan udara sekitar.

Nikel bersifat ferromagnetic, tetapi di atas 353°C bersifat paramagnetik. Nikel memiliki sifat tahan korosi yang baik, kekuatan dan kekerasan cukup baik, keliatan dan keuletannya baik, daya hantar listrik dan termal juga baik. Pada suhu biasa, nikel tidak terserang udara basah atau kering. Nikel diudara kota tercemar mengalami tarnish (bercak noda), maka perlu dilapisi oleh khrom.

Senyawa nikel digunakan terutama sebagai katalis dalam elektroplating. Pada proses plating, walau kebanyakan nikel dari anodanya, tetap perlu terus ditambahkan garamnya ke bak plating. Garam-garam untuk plating itu misalnya nikel karbonat, nikel khlorida, nikel fluoborat, nikel sulfamat dan nikel sulfat. Nikel amat populer dalam plating, terutama pada sistem plating tembaga-nikel-khrom (dekoratif/protaktif). Nikel merupakan logam plating yang paling peka responnya atas aditif-aditif bak platingnya. Itulah sebabnya, bisnis plating nikel juga dironai dinamika pembuatan dan pemasaran aditifnya yang tentu saling berkeunggulan khas. Berbagai formulasi bak plating nikel tersedia, tinggal memilih yang mana yang ingin digunakan. Nikel terutama dilapiskan ke barang-barang besi, baja, perunggu, seng, tembaga, plastik juga aluminium sampai magnesium (Kaneko, 1992).

Dalam proses elektroplating nikel terjadi reaksi pada katoda, yaitu proses reduksi dari ion nikel dengan bantuan elektron yang berasal dari sumber arus searah. Reaksi reduksi yang terjadi pada katoda sebagai berikut:

1. Pembentukan nikel



2. Pelepasan gas hydrogen



Sedangkan terjadi reaksi oksidasi pada anoda, reaksi oksidasi pada anoda adalah sebagai berikut:

1. Oksidasi ion nikel



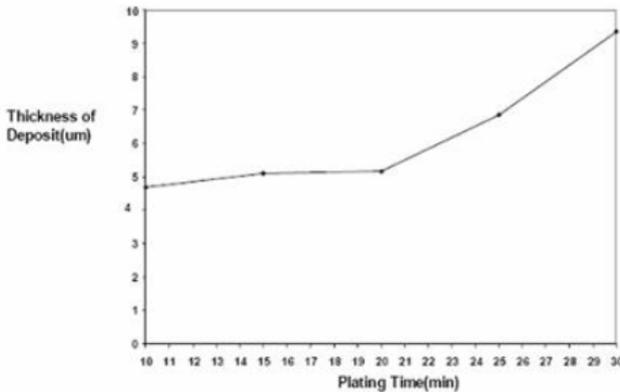
2. Oksidasi air



3. Oksidasi ion klorida



Berikut merupakan grafik hasil pelapisan nikel dengan voltase yang rendah berkisar pada 0,5 volt terhadap waktu pelapisan pada Gambar 2.24.



Gambar 2. 26 Grafik perbandingan ketebalan terhadap waktu pelapisan nikel (Oloruntoba, 2010)

Hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa semakin lama waktu pelapisan nikel maka semakin bertambah pula ketebalan yang dihasilkan. Lapisan nikel dengan voltase rendah ini memiliki warna yang tidak cerah (gelap) dan tingkat kehalusan yang rendah (Oloruntoba, 2010).

2.8 Khrom

Khrom atau chromium adalah logam non ferro yang dalam tabel periodik termasuk grup IV b. Proses pelapisan chromium mulai dikenal secara luas pada industri logam sebagai lapisan lindung atau pengerjaan permukaan (*surface treatment/ metal finishing*) pada tahun 1930 dan merupakan lapisan yang

mempunyai sifat yang keras, warna putih kebiru-biruan, dan tahan terhadap efek kekusaman yang tinggi. Selain nikel maka pelapisan khrom banyak dilaksanakan untuk mendapatkan permukaan yang menarik. Karena sifat khas khrom yang sangat tahan karat maka pelapisan krom mempunyai kelebihan tersendiri bila dibandingkan dengan pelapisan lainnya.

Selain sifat dekoratif dan atraktif dari pelapisan khrom, keuntungan lain dari pelapisan khrom adalah dapat dicapainya hasil pelapisan yang keras. Sumber logam khrom didapat dari asam khrom, tapi dalam perdagangan yang tersedia adalah khrom oksida (CrO_3) sehingga terdapatnya asam khrom adalah pada waktu khrom oksida bercampur dengan air. Khrom memiliki sifat yang lebih tahan aus dibandingkan dengan nikel (Gedvilas, 2013)



Ditinjau dari sifat dan pemakaian lapisan chromium dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu pelapisan chromium dekoratif dan proses pelapisan krom keras (*hard chromium / industrial chromium*).

1. Khrom dekoratif

Khrom dekoratif mempunyai ciri lapisan yang tipis, dengan menitikberatkan pada segi tampak rupa yang menarik dan indah, permukaannya halus tanpa noda, tidak mudah pudar, dan menambah daya tahan terhadap korosi.

2. Khrom keras

Khrom keras mempunyai ciri lapisan yang lebih tebal, dan banyak digunakan untuk benda-benda yang karena penggunaannya memerlukan sifat mekanik tertentu. Sifat yang paling penting dalam lapis krom keras adalah kekerasan, daya lekat, daya tahan korosi, dan memiliki koefisien gesek yang rendah (Kaneko, 1992).

Asam kromat dalam larutan asam pekat bak plating berada kebanyakan sebagai ion dikromat. Pada katoda setidaknya tiga reaksi berlangsung deposisi/pengendapan krom, pengeluaran hidrogen dan pembentukan Cr (III). Dalam proses elektroplating ini reaksi yang terjadi pada katoda adalah:

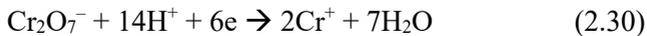
1. Pengendapan khrom



2. Pelepasan gas hydrogen



3. Pembentukan Cr (III)

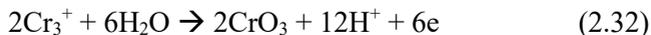


Pada anoda juga terjadi tiga reaksi serentak pengeluaran oksigen, oksidasi ion kromat dan produksi timbel dioksid. Sedangkan reaksi yang terjadi pada **anoda** adalah :

1. Pelepasan gas hydrogen



2. Oksidasi ion kromat



3. Produksi timbal oksida

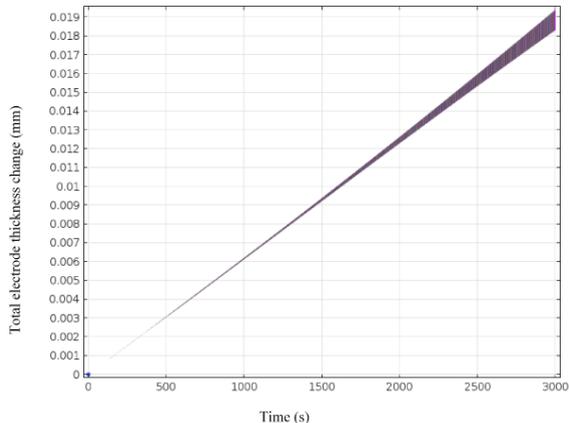


Berikut adalah perbandingan karakteristik dari material nikel dan khrom:

Tabel 2. 10 Perbandingan karakteristik nikel dan khrom (Gedvilas, 2013)

Aspek	Nikel	Khrom
Massa jenis (g/cm^3)	7,19-8,89	8.83 -8,95
Hardness rockwell c	63	68-72
Poisson's Ratio	0,30	0.305-0,315
Modulus Young (Gpa)	130	190-220
Titik leleh (K)	2180	1708-1739
Thermal Conductivity (W/m.k)	94	67-91

Berikut merupakan grafik perbandingan antara ketebalan dengan waktu pelapisan dari khrom pada substrat tembaga.



Gambar 2.25 Grafik perbandingan ketebalan terhadap waktu pelapisan khrom (Mahapatro, 2018)

Berdasarkan Gambar 2.25 dapat diketahui bahwa untuk pelapisan khrom pada tembaga semakin lama waktu pelapisan, maka semakin tebal pula lapisan khrom yang terbentuk pada material yang ingin dilapisi (Mahapatro, 2018).

2.9 Penelitian Pendahuluan

Penelitian tentang pelapisan proyektil selama ini belum pernah dilakukan secara eksperimental, tetapi terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk melakukan pelapisan pada tembaga (Cu). Berikut adalah daftar hasil penelitian tersebut yang dapat menunjang penelitian ini pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Penelitian pendahuluan pengujian balistik dan pelapisan tembaga (Cu)

No	Peneliti	Metode	Hasil
1	I Ketut Suasarna, 2008	<ul style="list-style-type: none"> • Elektroplating Nikel • Tegangan : 5 volt • Temperatur : 50°C dan 60°C • Arus : 50 Ampere • Waktu celup : 5, 10, 15, 20, 25 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Semakin lama waktu pencelupan, maka akan semakin tebal pula lapisan nikel yang terbentuk pada material yang ingin dilapisi • Semakin lama waktu pencelupa, maka tingkat kecerahan permukaannya pun makin meningkat pada material yang ingin dilapisi
2	Sutomo Senen Rahmat, 2018	<ul style="list-style-type: none"> • Elektroplating Nikel • Tegangan : 4,5, 6, 7,5 volt 	<ul style="list-style-type: none"> • Semakin tinggi arus, maka semakin tebal nikel yang terbentuk pada

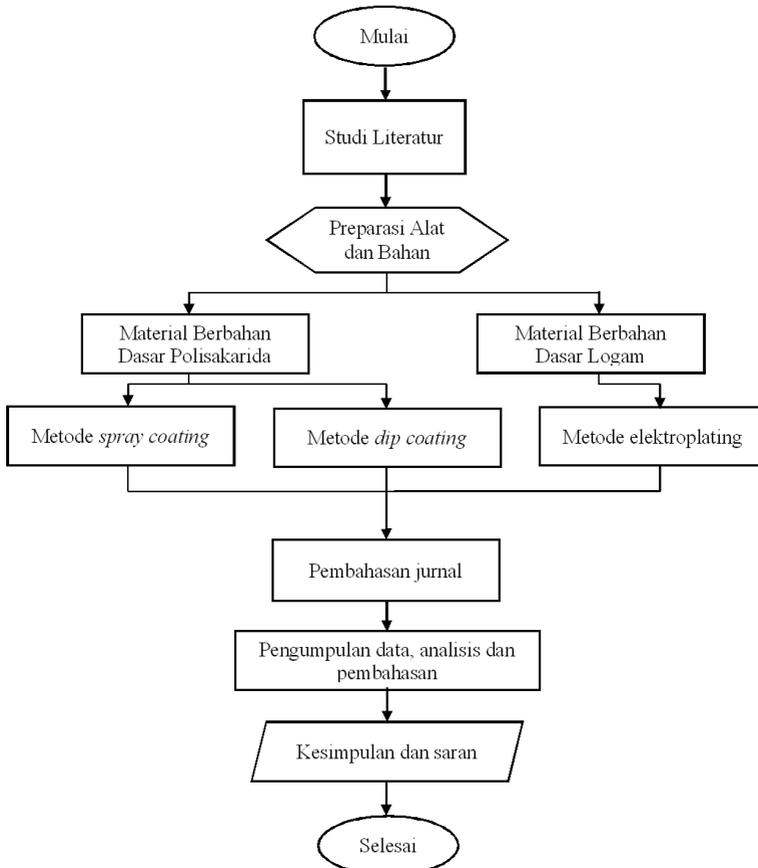
-
- | | | | |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none">• Temperatur : 50 °C• Arus : 2,5, 4, 6 Ampere• Waktu celup : 600, 1200, 1800, 2400 detik• Rapat arus : 3,55, 5,67, 8,5 A/dm² | <ul style="list-style-type: none">• material yang ingin dilapisi• Semakin lama waktu pencelupan, semakin berat nikel yang terbentuk pada material yang ingin dilapisi | |
| 3 | Hendrato, 2012 | <ul style="list-style-type: none">• Elektroplating khrom• Tegangan : 4 – 12 volt• Temperatur : 50 – 60 °C• Rapat arus : 20, 30, 40, 50 A/dm²• Waktu celup : 30, 40, 50, 60 menit | <ul style="list-style-type: none">• Semakin tinggi rapat arus, semakin tebal pula lapisan yang terbentuk pada material yang ingin dilapisi• Semakin lama waktu pencelupan, maka kekerasan lapisan khrom meningkat• Semakin lama waktu pencelupan, adhesivitas lapisan khrom menurun |
-

-
- | | | |
|---|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Kekerasan dan adhesivitas lapisan krom keras meningkat pada rapat arus 20 A/dm^2 sampai 40 A/dm^2 tetapi menurun pada rapat arus 50 A/dm^2 |
| 4 | Dzul, 2018 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Computational Fluid Dynamics</i> • Jari-jari <i>ogive</i>: 10,5, 14, 21, 28 • Jari-jari <i>boattail</i>: 0,75, 1, 1,5, 2 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Jari-jari <i>ogive</i> optimum: 18,4545mm • Jari-jari <i>boattail</i> optimum: 0,75mm • Koefisien drag: 1,1045 • Energi 50lectro: 487,40 Joule |
| 5 | Metrim, 2015 | <ul style="list-style-type: none"> • Pengujian eksperimental • <i>Frangibility factor</i> secara eksperimental • Temperatur sintering 200, 300, 400, 500, dan 600 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Koefisien balistik 0,04952 • <i>Frangibility factor</i> sesuai dengan temperatur yang ada sebesar 9.34, 6.74, 4.29, 2.28, dan 1.05 |
| 6 | Mia, 2017 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Orogonal Array</i> dari <i>Taguchi</i> • Prediksi <i>Neural Network</i> |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Tekanan kompaksi paling berpengaruh sebesar 45,49% |
-

-
- 20%wt Sn,
 - Tekanan kompaksi 450 Mpa
 - Temperatur sintering 500°C
 - Komposisi Sn sebesar 27,65%
 - Temperatur Sintering 21,65%
 - Nilai *frangibility factor* rata-rata sebesar 19,29
-

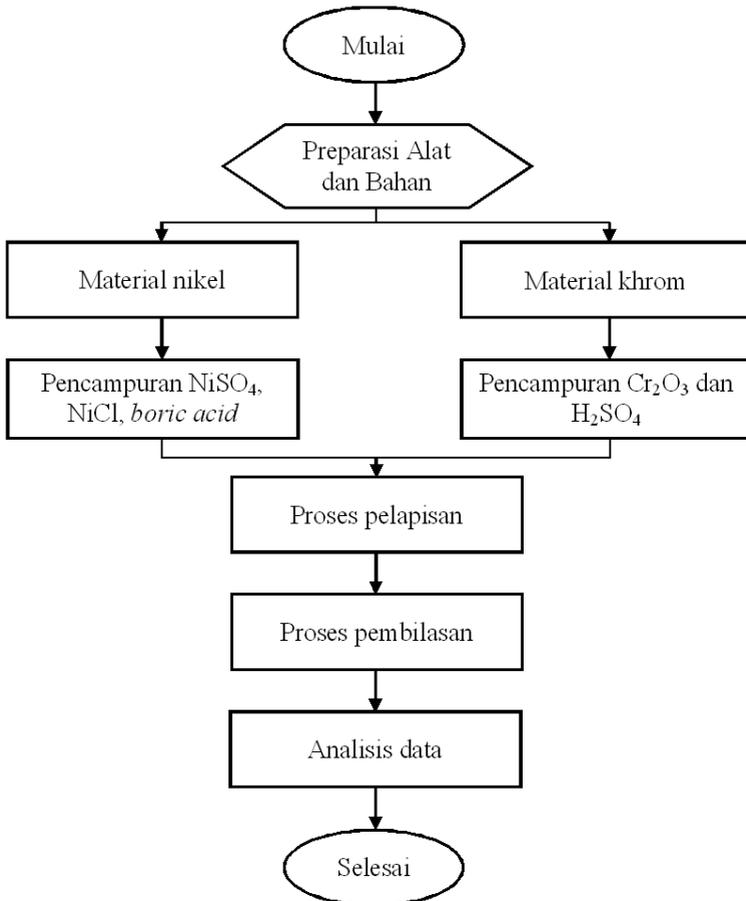
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

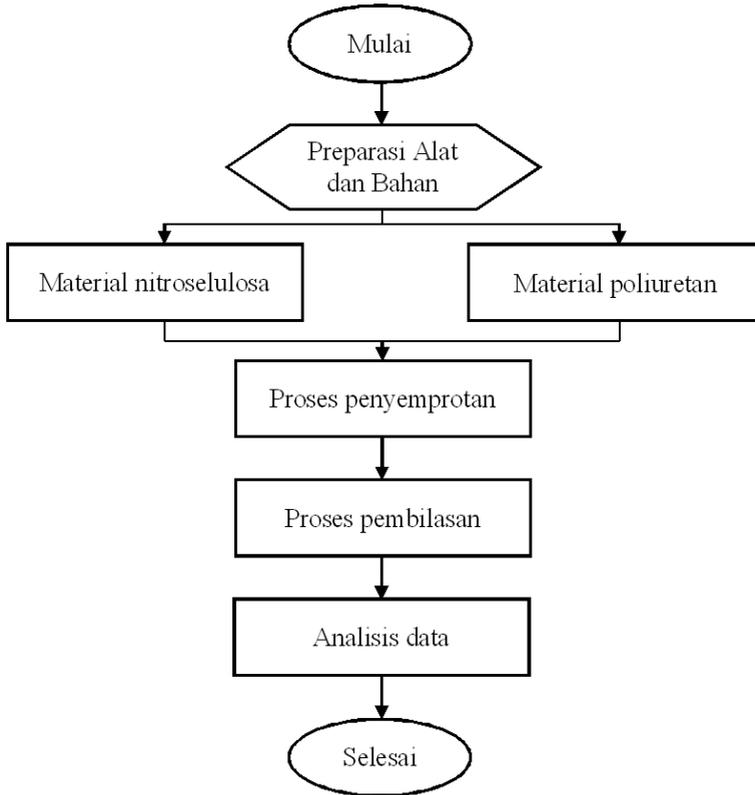


Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.1.1 Diagram Alir Elektroplating

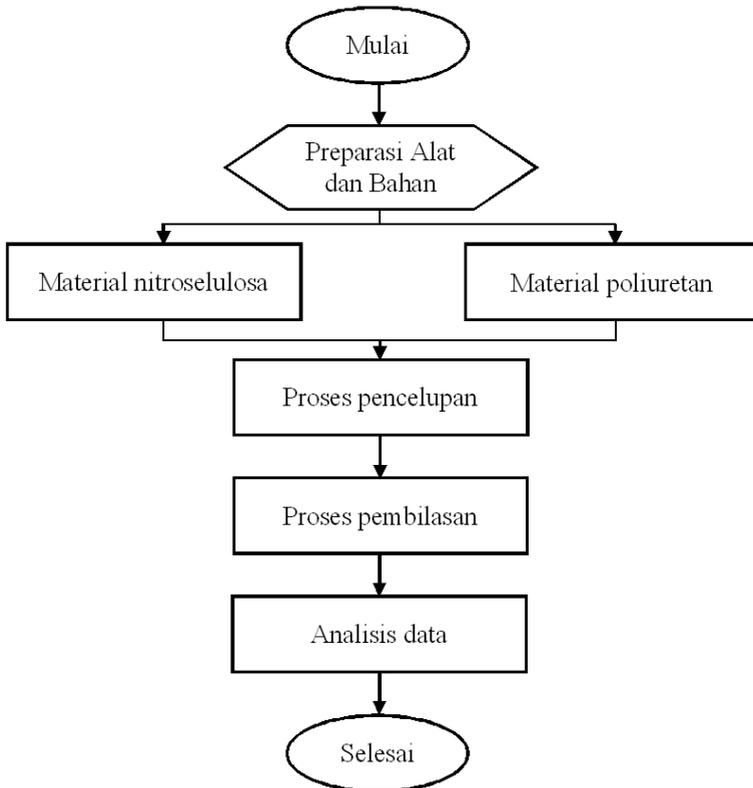


Gambar 3. 2 Diagram alir electroplating

3.1.2 Diagram Alir *Spray Coating*

Gambar 3. 3 Diagram alir *spray coating*

3.1.3 Diagram Alir *Dip Coating*



Gambar 3. 4 Diagram alir *dip coating*

3.2 Bahan Penelitian

Adapun beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Plat proyektil Frangible
Digunakan sebagai material yang ingin dilapisi atau substrat
- Larutan Etanol
Digunakan untuk membersihkan alat-alat yang telah dipakai agar kembali steril
- Aquades
Digunakan sebagai pelarut dalam proses 56lectroplating

Pada pelapisan nikel:

- Anoda plat nikel murni
- Nikel Sulfat : 330 gr/liter
- Nikel klorida : 45 gr/liter
- *Boric Acid* : 38 gr/liter
- Temperatur : 45 – 65 °C

Pada pelapisan khrom

- Anoda timbal hitam (Pb)
- *Chromic Acid* (CrO_3) : 250 gr/liter
- Asam sulfat (H_2SO_4) : 2,5 gr/liter
- Temperatur : 40 – 50 °C
- Kuat Arus : 2,5 – 6 Ampere
- Tegangan : 4,5 – 7,5 Volt

- Larutan Nitroselulosa
Digunakan sebagai material pelapis berbahan dasar polisakarida
- Larutan Poliuretan
Digunakan sebagai material pelapis berbahan dasar polisakarida
- Nitroselulosa *Clear Spray*

Digunakan sebagai material pelapis berbahan dasar polisakarida

- Poliuretan *Clear Spray*
Digunakan sebagai material pelapis berbahan dasar polisakarida

3.3 Alat Penelitian

Adapun beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Spray Gun* bertekanan
Sebagai alat pelapis poliuretan dan nitroselulosa
2. *Rectifier/power supply*
Sebagai alat sumber energi
3. Bak plating
Sebagai tempat pelapisan elektroplating
4. Bak pembersih
Sebagai tempat pembersih specimen setelah dilakukan elektroplating
5. Bak *dip coating*
Sebagai tempat pelapisan celup
6. Neraca digital
Sebagai alat yang menentukan berat dari material pelapis
7. *Shieve shaker*
Sebagai alat pengayak serbuk agar distribusi ukuran sama
8. Jangka sorong
Sebagai alat pengukur ketebalan

3.4 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada perancangan penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur
Metode ini mengacu pada buku-buku, jurnal, paten serta penelitian serupa tentang pelapisan material berbahan dasar nikel, krom dan polisakarida.
2. Diskusi
Pada tahapan ini dilakukan diskusi untuk menambah wawasan agar lebih memahami permasalahan dan solusi pada penelitian yang akan dilakukan. Diskusi ini dilakukan dengan pihak – pihak terkait dengan penelitian yang akan dilakukan.
3. Eksperimental
Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung dengan pihak terkait.

3.5 Proses Pelapisan

3.5.1 Elektroplating

1. *Pre-treatment*
Benda kerja dapat terkena debu dan kotoran dari udara dan dapat juga mengalami korosi. Kotoran yang tersisa maupun korosi perlu dihilangkan sebelum dilakukan tahapan pelapisan.
2. Pengukuran
Berat dari proyektil diukur menggunakan neraca digital
3. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan selama penelitian
4. Pencampuran tiap-tiap komponen elektrolit untuk nikel maupun khrom, didalam wadah, serta elektrodanya. Larutan tersebut dipanaskan sampai suhu 60°C untuk pelapisan nikel dan 50°C untuk pelapisan khrom (Suasarna, 2008)
5. Memasang semua alat untuk proses pelapisan

Menyambungkan komponen kelistrikan dari *power supply*, volt meter, Ammeter dan elektroda.

6. Proses pelapisan pertama proyektil yang akan dilapisi diletakkan pada kutub negatif dan plat nikel maupun timbal pada kutub positif. Spesimen dicelupkan kemudian stop kontak dihidupkan.
7. Pelapisan dilakukan dengan waktu pencelupan pada nikel dan khrom yaitu 2 dan 5 menit dan tegangan yang digunakan adalah 5 volt
8. Pembilasan spesimen
9. Pembersihan alat-alat dengan menggunakan etanol agar kembali steril

3.5.2 *Spray Coating*

1. *Pre-treatment* pada spesimen yang terkena debu dan kotoran dari udara dan dapat juga mengalami korosi. Kotoran yang tersisa maupun korosi perlu dihilangkan sebelum dilakukan tahapan pelapisan.
2. Menyiapkan *spray gun* yang akan digunakan selama penelitian
3. Proses penyemprotan dengan jarak 20-30cm dari permukaan material
4. Pelapisan berlangsung selama 4 sampai 6 detik dengan 4 garis melintang berbeda
5. Proses penyemprotan selanjutnya dengan waktu tunggu 10 menit
6. Pengeringan spesimen
7. Pembersihan alat-alat dengan menggunakan etanol agar kembali steril

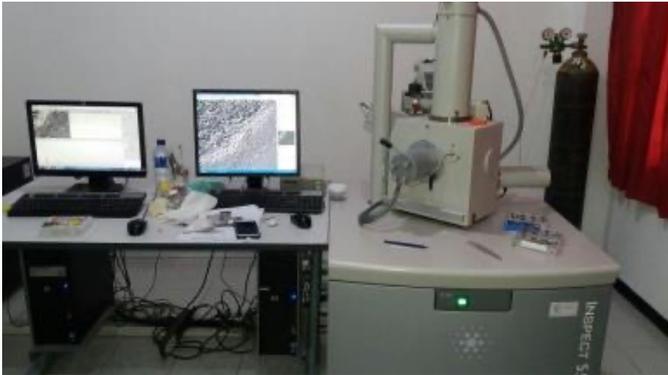
3.5.3 *Dip Coating*

1. *Pre-treatment* pada spesimen yang terkena debu dan kotoran dari udara dan dapat juga mengalami korosi. Kotoran yang tersisa maupun korosi perlu dihilangkan sebelum dilakukan tahapan pelapisan.

2. Menyiapkan bak *dip coating*
3. Memasukkan larutan nitroselulosa atau poliuretan ke bak *dip coating*
4. Mencilupkan proyektil perlahan
5. Pengangkatan proyektil
6. Pembilasan dan pengeringan selama 10 menit
8. Pembersihan alat-alat dengan menggunakan etanol agar kembali steril

3.6 Pengujian SEM

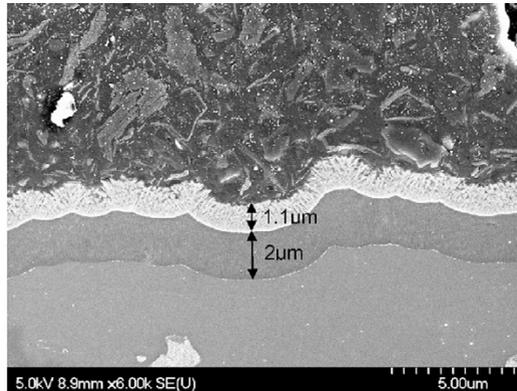
Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) bertujuan untuk mendapatkan morfologi permukaan dan penampang melintang (*cross-section*) sehingga dapat mengetahui ketebalan dan jenis ikatan dari lapisan yang dilapisi dengan menggunakan metode *electroplating*, *dip coating* dan *spray coating*.



Gambar 3. 5 Alat *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Prinsip kerja dari SEM adalah dengan menembakan elektron dengan energi tinggi ke sampel, yang kemudian akan diperkuat dan diteruskan ke lensa objektif pada bagian bawah. Pantulan dari elektron yang ditembakkan ke sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* dan akan diterjemahkan menjadi informasi

visual dari morfologi permukaan sampel. Pengujian dengan menggunakan SEM dilaksanakan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Contoh pengukuran SEM dengan cara *cross section* seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Hasil pengujian SEM *cross section* (Côté, 2014)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Makrovisual Pelapisan Proyektil *Frangible*

4.1.1 *Pre-Treatment*

Pengamatan makro pada spesimen hasil pelapisan dilakukan dengan pengamatan langsung secara visual untuk mengamati perubahan yang terjadi terhadap spesimen uji sebelum dan sesudah proses pelapisan seperti pada Gambar 4.1.



(a) (b)

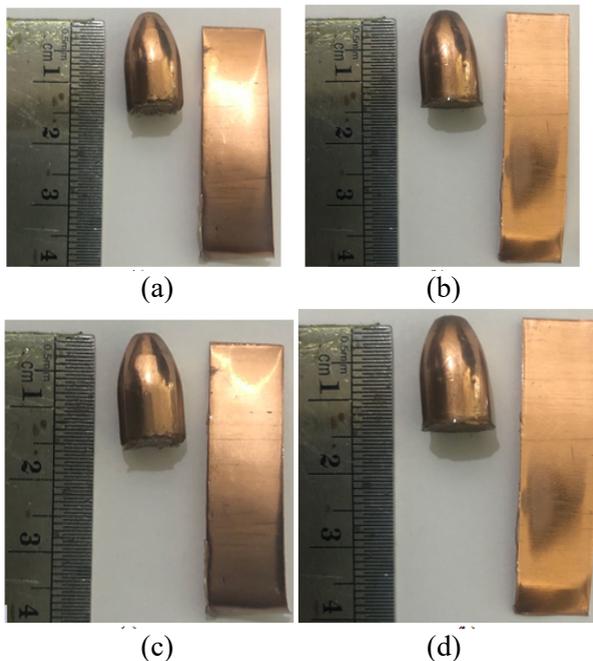
Gambar 4. 1 Perbandingan spesimen Tanpa Perlakuan (a) sebelum di *pre-treatment* dan (b) sesudah di *pre-treatment*

Untuk spesimen sebelum dilakukan perlakuan, dilakukan *pre-treatment* berupa pembersihan secara mekanik maupun pembersihan dengan pelarut (*solvent*). Pembersihan secara mekanik dilakukan dengan cara pengamplasan dengan *grade* 1500 dan juga 2000, karena spesimen uji pada dasarnya sudah cukup halus, hanya terdapat sedikit goresan yang dapat diminimalisir dengan amplas *grade* halus. Setelah dilakukan pembersihan mekanik dengan amplas halus, dilanjutkan dengan pembersihan dengan pelarut (*solvent*) berupa braso, sehingga didapat hasil permukaan yang mengkilap. Tetapi, hal ini dilakukan hanya pada penelitian ini, dikarenakan menggunakan sampel yang sudah

terdapat oksida karna penyimpanan yang terlalu lama. Sedangkan pada pembuatan skala industri, proyektil yang baru dibuat tidak memiliki lapisan oksida yang terbentuk.

4.1.2 Pelapisan Nitroselulosa dan Poliuretan

Berikut merupakan hasil pelapisan dengan material pelapis polisakarida berupa nitroselulosa dan poliuretan dengan metode *dip coating* dan *spray coating* pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Spesimen dengan metode *dip coating* (a) nitroselulosa (b) poliuretan; dan *spray coating* (c) nitroselulosa (d) poliuretan

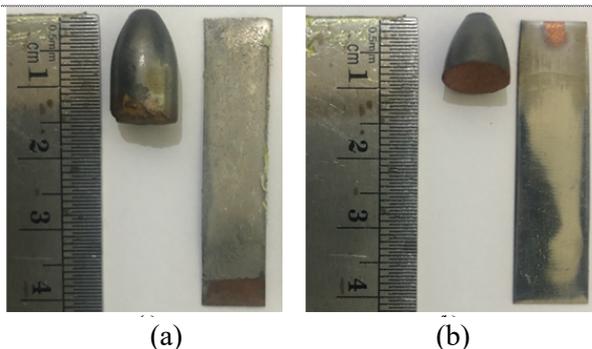
Berdasarkan pengamatan secara makrovisual, terlihat bahwa seluruh permukaan substrat telah tertutupi lapisan. Warna

yang dihasilkan dari pelapisan menggunakan metode *dip coating* maupun *spray coating* berdasarkan pada Gambar 4.2 dengan bahan dasar polimer nitroselulosa dan poliuretan menunjukkan bahwa warna dari spesimen menjadi lebih mengkilap dan halus daripada sebelumnya.

Terdapat perbedaan antara hasil dari metode *dip coating* dan *spray coating* yang terjadi, yaitu pada ketebalan yang dihasilkan. Perbedaan ketebalan yang terjadi pada metode ini yaitu pada metode *dip coating* lebih tebal dibandingkan metode *spray coating* di kedua sisinya, baik pada nitroselulosa dan juga poliuretan. Secara makrovisual juga terjadi perbedaan tingkat kecerahan antara kedua metode tersebut, dimana lapisan yang terbentuk pada metode *dip coating* lebih mengkilap dibandingkan metode *spray coating*.

4.1.3 Pelapisan Nikel dan Khrom

Berikut merupakan hasil pelapisan dengan metode pelapisan elektroplating dengan material pelapis logam nikel dan juga khrom pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Spesimen dengan pelapisan elektroplating material
(a) Nikel (b) Khrom

Untuk pelapisan menggunakan metode elektroplating dengan bahan dasar logam yaitu nikel dan khrom menunjukkan bahwa warna dari tembaga berubah menjadi abu-abu mengkilap sesuai dengan sifat dari nikel dan khrom yang memiliki karakteristik mengkilapkan. Tingkat kilap pada material pelapis khrom lebih tinggi daripada nikel, tetapi kilapan pada material pelapis khrom tidak homogen seperti yang terjadi pada material pelapis nikel. Kekurangan pada material dengan bahan pelapis nikel yaitu terdapat adanya granular-granular kecil pada permukaan lapisannya, kemudian adanya bagian yang terkelupas pada bagian ujung dari material yang dilapisi. Sedangkan pada material dengan bahan pelapis khrom memiliki kecenderungan homogen daripada nikel, dimana tidak ada bagian dari pelapisan yang terkelupas ataupun adanya granular-granular kecil pada permukaannya, tetapi pada material pelapis khrom terdapat warna yang lebih gelap pada bagian ujung terjauh dari spesimen yang digunakan.

Berikut merupakan perhitungan teoritis elektroplating nikel dan khrom berdasarkan perhitungan Hukum Faraday:

- Nikel

Arus : 1,7 A
Waktu : 2 menit = 120 sekon
Berat Ekuivalensi : $58,7 / 1 = 58,7$

$$G = \frac{I \cdot t \cdot e}{F}$$

$$G = \frac{1,7 \cdot 120 \cdot 58,7}{96500}$$

$$G = 0,124 \text{ gram}$$

$$Efisiensi Percobaan (\eta) = \frac{G_{Percobaan}}{G_{Teoritis}} \times 100\%$$

$$Efisiensi Percobaan (\eta) = \frac{0,082}{0,124} \times 100\%$$

$$Efisiensi Percobaan (\eta) = 66,31\%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat efisiensi dari eksperimen pelapisan nikel dengan peralatan dan bahan yang ada yaitu 66,31%.

- Khrom

Arus	:	4,8 A
Waktu	:	5 menit = 300 detik
Berat Ekuivalensi	:	51,99 / 6 = 8,66

$$G = \frac{I \cdot t \cdot e}{F}$$

$$G = \frac{4,8 \cdot 300 \cdot 8,66}{96500}$$

$$G = 0,129 \text{ gram}$$

$$Efisiensi Percobaan (\eta) = \frac{G_{Percobaan}}{G_{Teoritis}} \times 100\%$$

$$Efisiensi Percobaan (\eta) = \frac{0,080}{0,129} \times 100\%$$

$$Efisiensi Percobaan (\eta) = 62,01\%$$

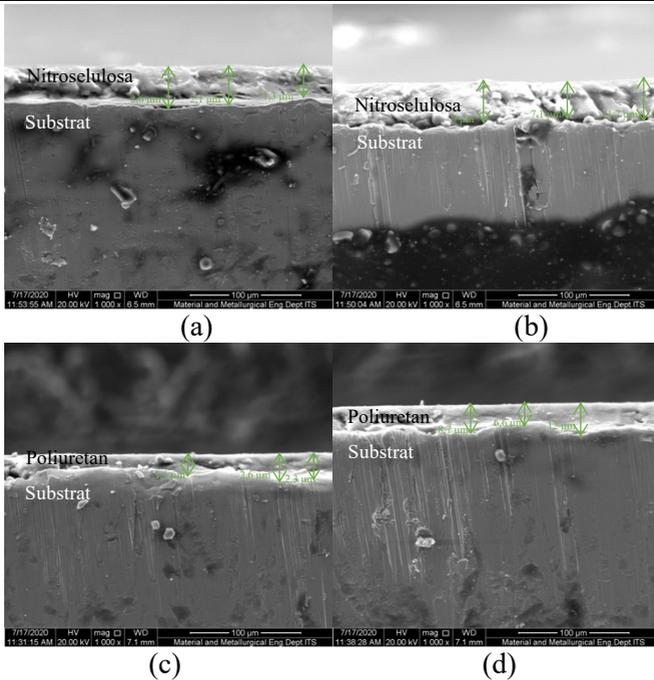
Berdasarkan perhitungan tersebut didapat efisiensi dari eksperimen pelapisan khrom dengan peralatan dan bahan yang ada yaitu 62,01 %.

4.2 Analisis Pelapisan Pada Proyektil *Frangible*

Pengamatan secara mikro ini dilakukan dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) agar dapat melihat morfologi permukaan dan juga lapisan yang terbentuk pada material yang ingin dilapisi (substrat) dan juga material pelapis.

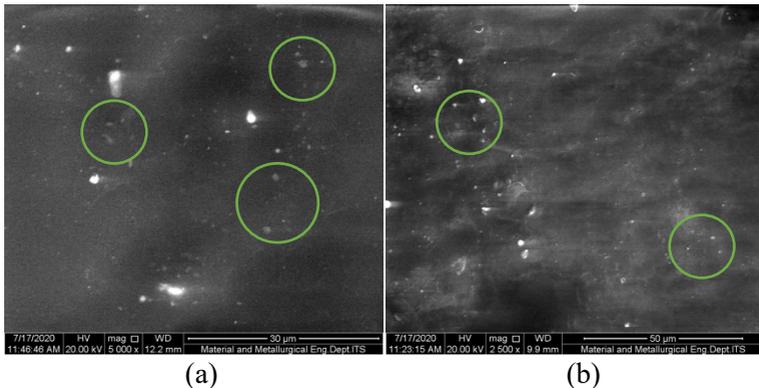
4.2.1 Mikrovisual Pelapisan Nitroselulosa dan Poliuretan

Berikut merupakan pengamatan mikrovisual dari pengujian SEM baik *cross section* maupun permukaan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 SEM *cross section* nitroselulosa (a) *spray coating* (b) *dip coating* dan poliuretan (c) *spray coating* (d) *dip coating*

Berdasarkan hasil pengujian SEM *cross section* Gambar 4.4 tersebut, dapat diketahui bahwa ikatan yang terjadi dari substrat dan juga material pelapis berupa ikatan mekanik, dimana tidak adanya *chemical bridge* diantara substrat dan material pelapis. Ketebalan lapisan yang terbentuk pada metode *spray coating* memiliki rata-rata sebesar 2 μm sedangkan untuk metode *dip coating* sebesar 9,1 μm. Terlihat juga bahwa material pelapis yang terbentuk menjadi rata dan menutupi tiap bagian kurang sempurna yang berada pada permukaan material yang ingin dilapisi (substrat). Lapisan yang terbentuk juga memiliki karakter yang homogen seperti pada Gambar 4.5

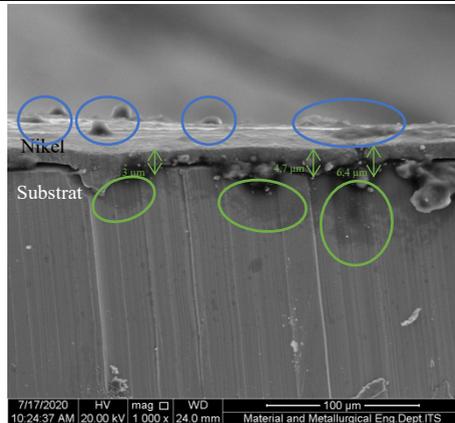


Gambar 4. 5 SEM permukaan dan zat pengotor (a) Nitroselulosa dan (b) Poliuretan

Dari hasil SEM permukaan dari kedua material tersebut, terlihat bahwa hanya terdapat sedikit zat pengotor atau *impurities* yang terdapat pada kandungan tiap material pelapisnya. Zat pengotor tersebut berasal dari kotoran ruangan penelitian yang digunakan saat melakukan penelitian, dimana zat pengotor tersebut dikarenakan jumlahnya yang cenderung sangat sedikit dan kecil sehingga tidak mempengaruhi tingkat kehalusan dari lapisan yang terbentuk.

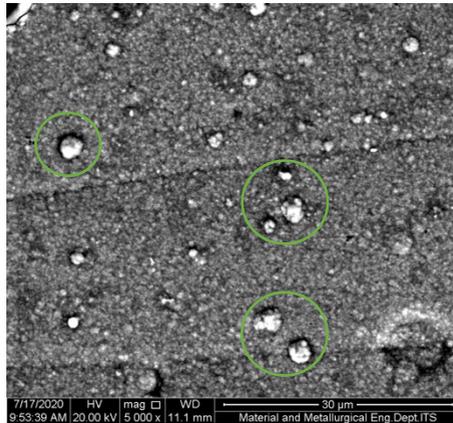
4.2.2 Mikrovisual Pelapisan Nikel

Berikut merupakan hasil pengamatan dengan pengujian SEM *cross section* maupun permukaan dari material pelapisan nikel dengan metode electroplating pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 SEM *cross section* Nikel elektroplating dan *chemical bridge*

Berdasarkan hasil SEM *cross section* dari pelapisan dengan material nikel dan metode elektroplating, terlihat bahwa adanya bagian pada substrat dimana adanya bagian yang memiliki warna lebih gelap dibandingkan bagian substrat yang jauh dari permukaan substrat. Hal tersebut menandakan adanya *chemical bridge* pada ikatan dari pelapisan nikel maupun substrat, sehingga didapat bahwa ikatan yang terbentuk pada pelapisan nikel dengan metode elektroplating ini merupakan ikatan secara kimiawi. Ketebalan pada pelapisan ini memiliki rata-rata berkisar pada 4,7 μm . Terlihat pula pada bagian permukaan atas adanya granular-granular kecil di atasnya, seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Hasil SEM permukaan dan zat pengotor pada lapisan nikel

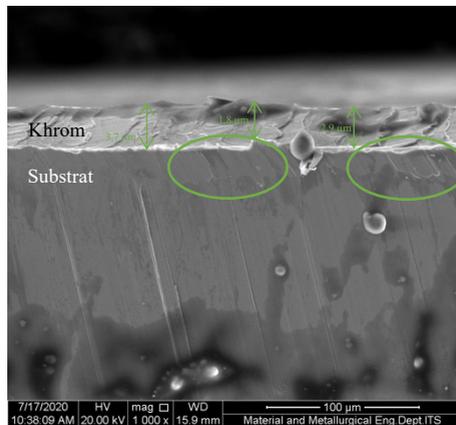
Menurut (Bari, 1994), nikel yang terbentuk jika hanya menggunakan satu lapisan (*single layer*) atau lapis tunggal dengan ketebalan maksimal sampai 20 μm , nikel akan cenderung mudah terkorosi karena adanya *impurities* atau zat pengotor aditif pada komposisi larutan untuk pelapisan, khususnya yaitu zat sulfur yang mengakibatkan adanya *mikrocracks*. Selain sulfur, adanya sedikit kandungan PTFE atau teflon pada nikel juga mempengaruhi adanya lapisan yang tidak merata bergranular.

Untuk pencegahan adanya korosi maupun *mikrocracks* pada pelapisan dengan material nikel, disarankan untuk menggunakan metode *double layer* maupun *triple layer* sehingga akan meminimalisir terjadinya *mikrocracks* pada lapisan nikel yang terbentuk. Tetapi dalam penggunaan berlapis akan mengakibatkan ketebalan lapisan nikel yang terbentuk harus diatas 20 μm , dimana ketebalan tersebut diatas dari ketebalan yang dibutuhkan dalam pelapisan proyektil *frangible* ini. Selain menggunakan metode *double layer*, telah dikembangkan juga metode elektroplating dengan menggunakan pelapisan lanjutan berupa lapisan khrom. Tetapi metode ini kurang efektif juga dalam

penelitian ini dikarenakan oleh lapisan khrom lanjutan pada lapisan nikel ini efektif dengan minimal ketebalan dasar nikel yaitu $10\ \mu\text{m}$, sehingga pelapisan khrom lanjutan ini tidak bisa dilakukan, karena ketebalan yang dibutuhkan dalam penelitian ini diharuskan untuk dibawah $10\ \mu\text{m}$ (Bari,1994).

4.2.3 Mikrovisual Pelapisan Khrom

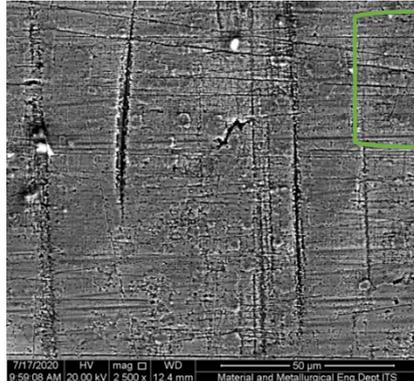
Berikut merupakan hasil pengujian SEM sebagai pengamatan secara mikrovisual dari pelapisan dengan material khrom dengan metode elektroplating berdasarkan Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 SEM *cross section* Khrom elektroplating

Dari hasil pengujian SEM *cross section* Gambar 4.8, dengan hasil ketebalan pelapisan rata-rata $2,8\ \mu\text{m}$, dapat dilihat bahwa material khrom memiliki hasil pelapisan yang sangat homogen dan hampir tidak terlihat adanya zat pengotor pada lapisan yang terbentuk. Dengan sedikitnya jumlah zat pengotor, kemungkinan adanya *microcracks* pada lapisan yang terbentuk akan sangat kecil. Menurut (HCS, 2020) tembaga pada waktu tertentu akan menghasilkan lapisan patina, yaitu sebuah lapisan oksida kehijauan pada lapisan terluar. Seperti pada Gambar 4.9, pada pelapisan khrom, bagian sisi terujung dari substrat yang telah

terlapis khrom terlihat cenderung lebih gelap atau gosong, seperti tidak terlapis.



Gambar 4. 9 Hasil SEM permukaan dan bagian lapisan khrom

Berdasarkan (Svenson, 2006) hal tersebut terjadi dikarenakan pada bagian sisi substrat terlalu jauh dari anoda, sehingga kurangnya efek *throwing power* dari khrom terhadap endapannya, sehingga pada sisi tersebut akan menghasilkan lapisan yang tidak sama dengan lapisan yang lebih dekat dengan anoda. Tetapi, sifat tersebut dapat dicegah dan dikurangi dengan cara penambahan katalis Dura ataupun dengan memperhatikan peletakan antara anoda dan sampel, sehingga setiap sisi sampel memiliki jarak yang sama terhadap anoda. Untuk pelapisan khrom, dibutuhkan pelapisan pada selongsong peluru agar tidak terjadinya *galvanic coupling* yaitu terkorosinya material yang berbeda karena bersentuhan dengan logam yang berbeda.

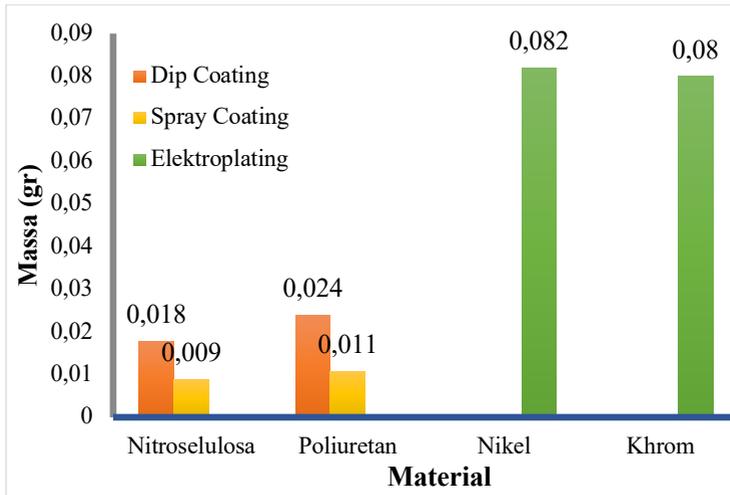
4.2.4 Pengukuran Massa Proyektil *Frangible*

Berdasarkan pengukuran massa tiap material pelapis dengan metode yang berbeda, dilakukan 3 kali percobaan pada masing-masing material dan metode seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Massa Tiap Pelapis

Material	Metode	Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Selisih Massa (gram)	Rata-rata (gram)	Keterangan
Nitroselulosa	<i>Dip Coating</i>	0,903	0,918	0,015	0,018	2:1:0,5 5 sekon
		0,866	0,885	0,019		pencelupan 15 menit
		0,889	0,910	0,021		<i>drying time</i>
	<i>Spray Coating</i>	0,923	0,931	0,007	0,009	2:1:0,5 4 bar
		0,894	0,905	0,011		10 menit
		0,902	0,911	0,009		<i>drying time</i>

		0,880	0,899	0,019		2:1;0,5
	<i>Dip Coating</i>	0,892	0,921	0,029	0,024	5 sekon pencelupan 15 menit <i>dying time</i>
Poliuretan		0,890	0,913	0,023		
	<i>Spray Coating</i>	0,796	0,808	0,012		2:1:0,5
		0,904	0,912	0,008	0,011	4 bar 10 menit <i>drying time</i>
		0,915	0,928	0,013		
		0,844	0,921	0,077		5V, 1,7 A
Nikel		0,750	0,832	0,082	0,082	Jarak elektroda 3cm
	elektroplating	0,803	0,889	0,086		70 ⁰ C, 120 s
		0,889	0,968	0,079		4,3 V, 4,8 A
Khrom		0,860	0,941	0,081	0,080	Jarak elektroda 3cm
		0,789	0,870	0,081		70 ⁰ C, 120 s



Gambar 4. 10 Grafik massa (gr) material pelapis tiap material dan metode

Dari hasil pengukuran massa pada Gambar 4.10, didapat hasil bahwa material polisakarida yaitu nitroselulosa dan poliuretan memiliki massa yang lebih kecil daripada material nikel maupun khrom. Pada metode pelapisannya juga didapat bahwa metode elektroplating memiliki hasil pelapisan yang paling berat dikarenakan material pelapis yang digunakan dalam metode pelapisan ini yaitu material logam. Untuk metode dengan materian nitroselulosa dan juga poliuretan, metode *dip coating* memiliki massa yang lebih berat daripada *spray coating*.

4.3 Pengaruh Pelapisan pada Proyektil *Frangible* terhadap Parameter Eksternal Balistik

4.3.1 Perhitungan Gaya Drag Pelapisan Proyektil *Frangible*

Berikut merupakan perhitungan gaya drag dari proyektil tanpa pelapisan dan dengan pelapisan berdasarkan perhitungan

luas permukaan dari penambahan ketebalan dari tiap pelapisan pada proyektil *frangible*.

Rumus luas permukaan peluru:

$$LP = 3,14xR (R + 2xT) + 2x3,14xR^2$$

- Tanpa pelapis
R = 4,515mm
T = 7,6mm
LP = 3,14x4,515 (4,515 + 2x7,6) + 2x3,14x4,515²
= 407,521 mm²

Rumus gaya drag:

$$F_D = \frac{C_D \rho v^2 A}{2}$$

Dimana

C_D = Koefisien drag = 1,1045 (Dzul, 2018)

ρ = Kepadatan atmosfer = 1,2 kg/m³

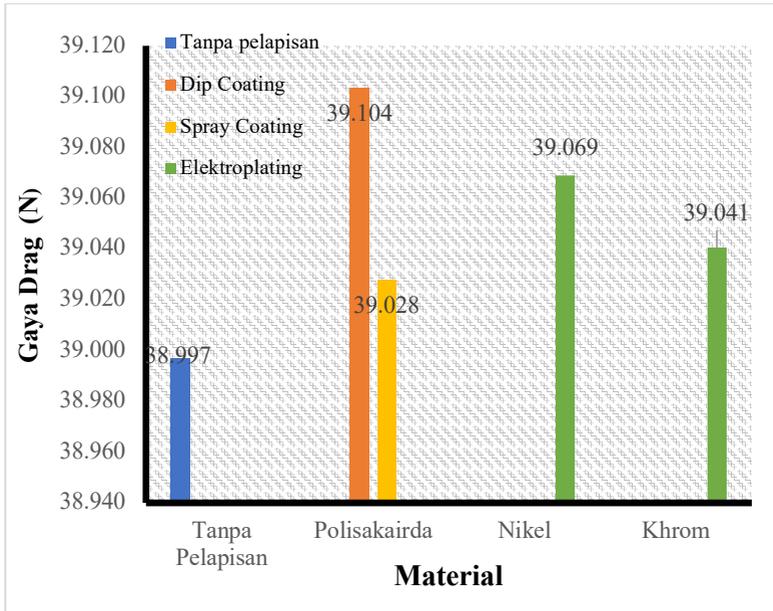
v = kecepatan moncong = 380 m/s (Dzul, 2018)

A = Luas penampang proyektil = LP

Tanpa pelapis:

$$F_D = \frac{1,1045 \cdot 1,2 \cdot 380^2 \cdot 0,000407521}{2}$$
$$F_D = 38,997 \text{ N}$$

Maka berdasarkan perhitungan tersebut, didapat hasil perhitungan dari besarnya gaya drag dari tiap material dan metode sebagai berikut pada Gambar 4.11



Gambar 4. 11 Perbandingan gaya drag pada proyektil *frangible*

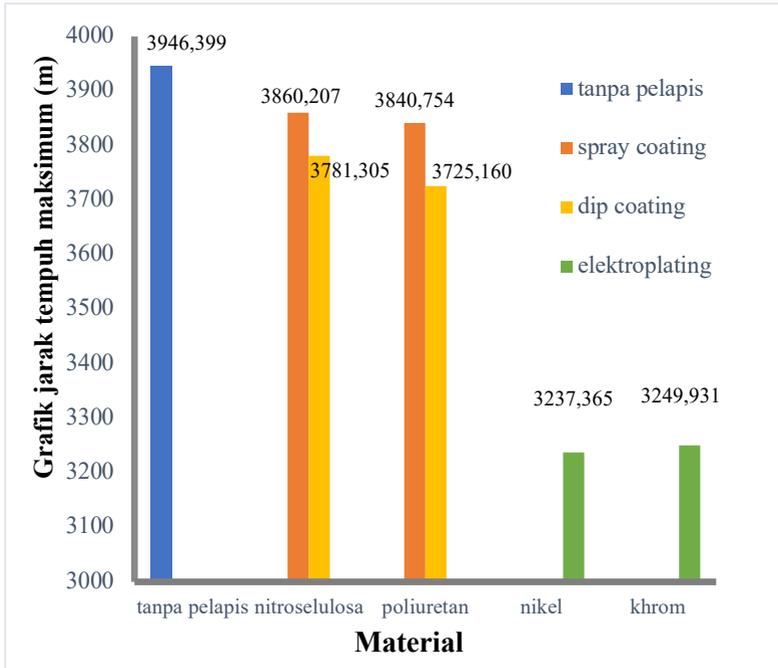
Dari hasil perhitungan gaya drag pada Gambar 4.11, dimana semakin tinggi gaya drag maka semakin besar pula hambatan yang ada pada balistik eksternalnya, maka didapat bahwa material polisakarida baik nitroselulosa maupun poliuretan dengan metode *dip coating* memiliki gaya drag yang paling tinggi. Hal tersebut dikarenakan luas penampang proyektil polisakarida dengan metode *dip coating* memiliki jumlah yang paling tinggi yaitu 9,1 μm atau 18,2 μm (0,0182 mm) jika diukur diameternya, dimana hal tersebut melewati batas dari luas penampang proyektil dengan batasan 10 μm atau 0,01 mm.

4.3.2 Perhitungan Lintasan Jarak Maksimum Proyektil *Frangible*

Berdasarkan gaya drag yang didapat, maka dapat dihitung jarak maksimum yang dapat proyektil raih menggunakan persamaan (2.8) dikarenakan adanya gaya drag yang terjadi pada proyektil di udara pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan X_{max} dengan hambatan udara

Material Metode	Tanpa pelapisan	Nitroselulosa		Poliuretan		Nikel	Khrom
		<i>Spray</i>	<i>Dip</i>	<i>Spray</i>	<i>Dip</i>	Elektroplating	
Luas permukaan (m ²)	0,00040752	0,00040784	0,00040863	0,00040784	0,00040863	0,00040828	0,00040797
Kecepatan Awal (m/s)	380	377,88	375,795	377,414	374,425	361,905	362,316
Kecepatan Awal sumbu x 45 ⁰ (m/s)	266	264,516	263,057	264,19	262,097	253,333	253,621
Massa (gr)	0,8	0,809	0,818	0,811	0,824	0,882	0,88
X_{max} (m)	3946,399	3860,207	3781,305	3840,754	3725,160	3237,365	3249,931



Gambar 4. 12 Grafik jarak tempuh maksimum (m)

Berdasarkan perhitungan jarak maksimum pada Gambar 4.12 dengan penembakan sudut 45^0 dan waktu penembakan 0,452 sekon, didapat bahwa dengan penambahan luas permukaan dan massa dari proyektil, maka jarak tempuh maksimum dari suatu proyektil juga berkurang. Dari hasil pelapisan, didapat bahwa material pelapis nitroselulosa dengan metode *spray coating* memiliki jarak tempuh yang paling jauh yaitu 3860,207 meter dan material nikel dengan metode elektroplating memiliki jarak tempuh yang paling pendek yaitu 3237,365 meter.

4.3.3 Perbandingan Pengaruh Pelapisan Pada Proyektil *Frangible*

Berikut merupakan tabel perbandingan pengaruh pelapisan terhadap parameter balistik eksternal proyektil *frangible* pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Perbandingan Tiap Material

Material	Tanpa pelapisan	Nitroselulosa		Poliuretan		Nikel	Khrom
		<i>Dip</i>	<i>Spray</i>	<i>Dip</i>	<i>Spray</i>	Elektroplating	
Massa (gr)	0,800	0,818	0,809	0,824	0,811	0,882	0,880
Ketebalan (µm)	0	9,1	2	9,1	2	4,7	2,8
Gaya Drag (N)	38,997	39,104	39,028	39,104	39,028	39,069	39,041
Kecepatan Awal (m/s)	380	375,795	377,88	374,425	377,414	361,905	362,316
Jarak maksimum (m)	3946,399	3781,305	3860,207	3725,160	3840,754	3237,365	3249,931
Zat pengotor	-	Sedikit	Sedikit	Sedikit	Sedikit	Banyak	Sedikit
Tingkat korosifitas	-	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah	Tinggi	Tinggi

Berdasarkan perhitungan penambahan massa, luas permukaan, kecepatan awal penembakan, gaya drag dan jarak maksimum proyektil tersebut, didapat bahwa gaya drag pada proyektil dengan pelapisan nitroselulosa maupun poliuretan dengan metode *spray coating* memiliki angka yang lebih kecil daripada metode *dip coating*, dimana gaya drag yang dihasilkan oleh metode pelapisan *spray coating* nitroselulosa dan poliuretan sebesar 39,028 N dan metode *dip coating* sebesar 39,104 N. Untuk jarak maksimum proyektil, jarak terjauh dihasilkan oleh nitroselulosa *spray coating* sebesar 3860,207 m dan jarak terpendek yaitu nikel elektroplating sebesar 3237,365 m. Berdasarkan pengamatan mikrovizual, terdapat zat pengotor yang akan menunjang terjadinya *microcracks* pada pelapisan nikel, berbeda dengan pelapisan polimer polisakarida maupun khrom yang hanya memiliki sedikit zat pengotor berupa *ash*. Sehingga, dari hasil penelitian ini, nitroselulosa dengan metode *spray coating* dapat menjadi pilihan pelapisan pada proyektil *frangible*.

Penggunaan pelapisan menggunakan jenis material logam harus dikesampingkan khususnya dalam proses pelapisan proyektil *frangible* dikarenakan akan terjadinya *galvanic coupling* yang akan menyebabkan korosi karena perbedaan jenis material logam yang saling bersentuhan pada bagian proyektil dan juga selongsong peluru. Sehingga dengan dilakukannya pelapisan dengan bahan dasar polimer ini akan meminimalisir terjadinya korosi pada proyektil terhadap selongsong peluru akibat *galvanic coupling* yang cenderung terjadi jika dilakukan pelapisan logam pada proyektil tanpa diikuti pelapisan logam yang sama pada selongsong peluru.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis berdasarkan jenis material yang digunakan, didapat bahwa material poliuretan adalah material yang baik untuk digunakan dalam pelapisan proyektil *frangible* dikarenakan penambahan massa yang cenderung ringan yaitu 0,009 gram dan memiliki hasil pelapisan yang cenderung tipis dibandingkan material lainnya yaitu 2 μm , sehingga memiliki gaya drag yang kecil yaitu 39,028 Newton yang menghasilkan jarak maksimum penembakan menjadi lebih jauh yaitu 3860,207 meter. Material polimer polisakarida lebih baik digunakan dalam pelapisan proyektil *frangible* dikarenakan tidak menimbulkan korosifitas pada proyektil yang berbahan dasar logam.

2. Berdasarkan metode yang digunakan, pelapisan menggunakan metode elektroplating merupakan metode pelapisan dengan jenis ikatan secara kimiawi sehingga memiliki sifat tahan aus yang lebih tinggi daripada metode pelapisan *spray coating* dan *dip coating* yang memiliki jenis ikatan secara mekanik sehingga sifat tahan ausnya tidak sebaik ikatan kimiawi. Sedangkan dalam penggunaan polimer polisakarida, metode *spray coating* lebih baik dibandingkan *dip coating* karena *spray coating* menghasilkan lapisan yang lebih tipis dibandingkan *dip coating* sebagai metode pelapisan terbaik pada proses pelapisan poliuretan di proyektil *frangible* sehingga dapat meminimalisir gaya drag dan memaksimalkan jarak tempuh proyektil.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk mengoptimalkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian *pull off test*, AFM dan *micro hardness* pada pada sampel proyektil *frangible* secara langsung agar mendapatkan hasil pelapisan yang lebih nyata dengan komposisi campuran sesuai yang digunakan.
2. Melakukan penelitian tentang pelapisan proyektil menggunakan jenis material dan metode lain.
3. Melakukan perakitan langsung pada pemasangan proyektil *frangible* pada ke selongsong peluru, dan melakukan uji tembak dengan proyektil yang sudah dilapisi.
4. Melakukan pelapisan pada proyektil *frangible* dengan jumlah massal agar dapat mempertimbangkan efektifitas dari penelitian ini jika dilakukan dengan jumlah banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Adyani, I.A.S. 2007. Optimasi Waktu Dan Jarak Elektrode Ti Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Lapisan Krom Pada Stoneware Dan Earthenware. Mataram: Universitas Mataram
- ASTM. 2012. "Silicone Coatings," in *Paint and Coating Testing Manual: 15th. Edition of the Gardner-Sward Handbook*, ed. J. Koleske.
- Banovi, S.W. 2007. Microstructural characterization and mechanical behavior of Cu–Sn frangible bullets. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology
- Baranowski, Leszek. 2013. Journal Of Theoretical And Applied Mechanics: Numerical Testing Of Flight Stability Of Spin-Stabilized Artillery Projectiles. Warsaw: Military University of Technology.
- Bari, George Di. 1994. Nickel Plating ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering. ASM International, Materials Park, OH 44073, 1994, page 201
- Barrowman, Jim. 2017. Rocket Stability: Center of Gravity (CG), Center of Pressure (CP) and Static Margin (SM). Arizona: Centuri Engineering Company
- Brian, J.H. 2008. Handbook of Firearms and Ballistics. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd
- Bunshah, R. F. 2000. Handbook of Hard Coating 1st Edition.
- Cabrera, Raul Quesada. 2018. Nanomechanical and Structural Properties of Native Cellulose Under Compressive Stress. London: University College London
- Cazôn, Patricia. 2016. Polysaccharide-Based Films And Coatings For Food Packaging: A Review. Mexico: Instituto Politécnico Nacional
- Côté, Marie-Pier. 2014. Development of Titanium-Sputtered Anodized Aluminum Substrate For Dye Sensitized Solr Cells. Canada: McGill University

-
- Courtney, E. 2015. Method for Accurate Free Flight Measurement of Drag Coefficient. Los Angeles: BTG Research
- Cross, Rod. 2013. Tennis Ball Trajectories: Aerodynamic Drag and Lift in Tennis Shots. Sydney: University of Sydney
- Dexter, C.S. 2019. Galvanic Corrosion. The University of Delaware Sea Grant College: Delaware
- Elkan, Michael. 2017. Pengujian Kekerasan Material dengan Metode Vickers. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- Gedvilas, Mindaugas. 2013. Plateau-Rayleigh Instability Triggered Transformation In Thin Chromium Film On Glass Substrate Under Nano Second Laser Irridiation. Lithuania: Center for Physical Sciences and Technology
- HCS, 2020. Plating On Copper. New York: Hard Chrome Specialist Plating
- Hume, Patrick .S, 2011. Functionalized PEG hydrogels through reactive dip-coating for the formation of immunoactive barriers. Colorado: University of Colorado
- JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- Jenzen, N.R. 2018. An Introductory Guide to the Identification of Small Arms, Light Weapons, and Associated Ammunition. Geneva: Small Arms Survey
- Johnson, Lee. 2018. How To Calculate A Bullets Trajectories. Santa Monica: Sciencing Ltd.
- Kaneko, T. 1992. Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating). Yogyakarta: Andi Offset
- Komenda, Jan. 2013. Forensic and clinical issues in the use of frangible projectile. Brno: University of Defence
- Li, Weiming. 2015. Failure analysis on bad wetting of ENIG surface finish pads. Changsha: 2015 16th International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT)
- Luthiers. 2020. Nitrocellulose Lacquer Finish Instructions. California: Luthiers Mercantile International, Inc
-

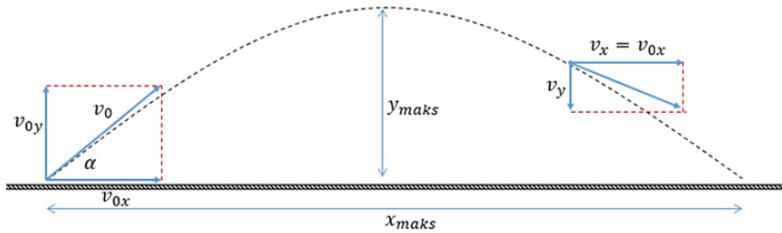
- Mahapatro, Anil. 2018. Modeling And Simulation Of Electrodeposition: Effect Of Electrolyte Current Density And Conductivity On Electroplating Thickness. Kansas: Wichita State University
- McCoy, R. L. 2012. Modern External Ballistics. Atglen: Sciffer Military History.
- McKeen, L.W. 2006. Chromium-Fatty Acid Compounds And Methods Of Making And Using Thereof. Kanada: Ocean Nutrition Canada Ltd.
- Michael, J.Q. 2015. Wildlife Toxicity Assessment for Nitrocellulose. USA: Wildlife Toxicity Assessments for Chemicals of Military Concern
- Miller, Brad. 2017. Coated Bullets: The future of lead bullets for handloaders. USA: NRA Sport Shooting
- Miranda, W. 2017. Coating Process. Italia: Mostra Technologica IPUC
- Naik, S.D. 2007. Studies on dynamical motion of a subcalibre projectie in critical phases of motion. India: Savitribai Phule Pune University
- Neto, Pedro de Lima, 2010. Morphological, Structural, Microhardness and Corrosion Characterisations of Electrodeposited Ni-Mo and Cr Coatings. Fortaléza: Universidade Federal do Ceará
- Niam, M.Y. 2017. Pengaruh Waktu Pelapisan Elektro Nikel-Khrom Dekoratif Terhadap Ketebalan, Kekerasan Dan Kekasaran Lapisan. Semarang: Universitas Wahid Hasyim
- NPCS. 2019. Surface Coating Technology Handbook. New Delhi: Asia Pacific Business Press Inc.
- Olorubtoba, Daniel. 2010. Effect of Some Process Variables on Nickel Electroplating of Low Carbon Steel. Ibadan: Federal University of Technology
- Osborne, Kevin. 2009. Guide to Bullet Coating. USA: 6mmBR.com + AccurateShooter.com

-
- Patel, B.H. Synthesis, Characterization and Application of Nano Cellulose for Enhanced Performance of Textiles. Vadodara: The Maharaja Sayajirao University of Baroda
- Petrie, Ed. 2012. Fundamentals of Paint Adhesion. Malorca: International Conference
- Pralhad, R.N. 2011. Mathematical modeling in terminal ballistics and its application in Defence and Medical Science. India: Savitribai Phule Pune University
- Rydlo, M. 2010. Theoretical Criterion for Evaluation of the Frangibility Factor. Brno: University of Defence
- Safrudin, M.Y. 2014. Pengaruh Variasi Temperatur Sintering dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Densitas dan Kekerasan pada Mmc W-Cu Melalui Proses Metalurgi Serbuk. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- SH, A. 2008. Effect of Body Shape on The Aerodynamics of Projectiles at Supersonic Speeds. *Journal of Engineering Science and Technology Vol 3*, 278-292.
- Shezari, Tauqir A. Spray Coating. Pakistan: COMSATS Institute of Information and Technology
- Shibe, Vineet. 2013. An Overview of Research Work in Surface Coating. Punjab: Punjab Tech. University
- Singh, Harminder. 2013. Development Of Cold Spray From Innovation To Emerging Future Coating Technology. Brazil: The Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering
- Spurr, R.T. 1982. The Friction Of Polymers, *Wear*: 79 (1982) 301-310. Gt. Britain: Ferodo Limited, Chapel-en-ie-Fritk, Stockport SK1 2 6JP
- Steven, J.S. 2015. Frangible Bullet – A Lead Free Alternative. USA: Ecomas Engineered
- Tang, Xiaoning. 2016. Dip-coating for fibrous materials: mechanism, methods and applications. Springer Science: New York
-

- Tous, L. 2012. Large Area Copper Plated Silicon Solar Cell exceeding 19.5% Efficiency. Leuven: 3rd Workshop on Metallization for Crystalline Silicon Solar cells
- Vadarevu, Sabarish. 2017. Difference of Center of Pressure and Center of Gravity. Southampton. University of Southampton
- Vucko, M.j. 2014. Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research. London: Taylor & Francis (James Cook University)
- Wibawa, L.A.N. 2013. Pengaruh Variasi Tegangan Dan Waktu Pelapisan Pada Proses Elektroplating Baja Karbon Rendah Dengan Pelapis Seng Terhadap Ketebalan Dan Laju Deposit. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Wibisono, Alvian Toto. 2013. Pengaruh Ketebalan Lapisan Millite Dengan Metode Flame Spray Terhadap Kekuatan Lekat Dan Ketahanan Termal Lapisan Pada Substrat S45C Untuk Aplikasi Nosel Roket. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Wythers, M.C. 2012. Nitrocellulose In Propellants: Characteristics And Thermal Properties. Madrid: Nova Science Publishers, Inc.
- Yogatama, Marga. 2018. Studi Koefisien Drag Aerodinamika pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik. Jakarta: Universitas Pancasila

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN



$$\rho_u = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_d = 1,1045$$

$$V_0 = 380 \text{ m/s}$$

$$V_{0x} = 266 \text{ m/s}$$

$$\theta = 45^0$$

$$t = 0,452 \text{ s}$$

$$m = 0,80 \text{ gram (tanpa pelapisan)}$$

$$A = 0,00040752 \text{ m}^2 \text{ (tanpa pelapisan)}$$

$$X_{\max} = V_{0x} t - C_D \rho A t^2 \div 2m$$

$$= 266 \cdot 0,452 - 1,1045 \cdot 1,2 \cdot 0,00040752 \cdot 0,452^2 / 2 \cdot 0,0008$$

$$= 3946,399385 \text{ m (tanpa pelapisan)}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai penutup, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa yang selalu menjadi sumber kekuatan dan perlindungan bagi penulis dalam penyusunan maupun penelitian Tugas Akhir.
2. Mama, Papa dan Adek yang senantiasa menjadi pendukung garda terdepan dalam motivasi maupun hal-hal lain yang berkaitan dengan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr Widyastuti, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing I atas dorongan tiada henti agar penulis dapat melewati titik nyaman dan menjadi seseorang yang jauh lebih baik.
4. Bapak Wikan Jatimurti S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing II atas bimbingannya selama pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, ST., M.Sc selaku dosen wali yang memberikan arahan selama masa perkuliahan.
6. Bapak Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
7. Seluruh Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mater dan Metalurgi yang telah membantu dan memberikan ilmu selama perkuliahan.
8. BagasMul, Bagas Kiting, Ninik, Iyando, Afrizal Anyun, Mas G, Mas Dimas, Adhy, Fakhri, serta Faizah dan Siska sebagai orang-orang yang selalu menjadi *partner* dan selalu memberi semangat serta membantu dalam pengerjaan penelitian ini.
9. Rara yang senantiasa mendoakan dan memberi *support* dalam segala keadaan, waktu, tempat maupun suasana apapun.

10. Dipo, Erlangga, Aden, Oska, Fadhil, Otnil, Akram, Ucup, Wildan, Damar, Bijey, Ebum, Panjul, Rendra, Ricat selaku teman KOST PUTRA SANH-COLLECTION yang selalu menemani dan menghibur
11. Aday, Cak Nursetya, Nizar, Daffa, Ojan, Bagus, Farhan, yang selalu menjadi penghibur disaat waku kosong dan butuh asupan
12. Alensa 61'16 cabang Surabaya yang selalu menemani disaat ada tamu yang datang.
13. Teman teman SAMPAH Goes To xxx yaitu Naoki, Rusyda, Sapta, Devoe, Arsyad, Haris yang selalu menjadi teman yang menemani sejak SMA
14. Coypupu Rizky, Ishmah dan Rakhmi yang selalu menjadi pendukung
15. Teman-Teman JKTNG; Aden, Yoga. Bagus, Bagus Dwi, Erlangga, Dipo, Ghalib, Ghilman, Nail, Oska, Rafdi. Rafli, dan Raihan yang selalu menemani pada masa perkuliahan.
16. Seluruh teman angkatan MT18 yang menghiasi lika perkuliahan penulis.
17. Teman-Teman BPH, Koordinator, dan Staff Silver Parade VI yang membantu mewarnai masa perkuliahan.
18. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dan membantu kelancaran proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fadhel Mohammad Yoga Fauzi yang biasa dipanggil Fadhel maupun Myf di lingkungan perkuliahannya. Lahir di Sleman pada tanggal 24 September 1998 dengan darah minang. Fotografer dan tukang jualan gelas ini adalah putra pertama dari dua bersaudara dari pasangan Fauzi Rusli dan Rovika Trioclarise serta memiliki adik bernama Fawwaz Mohammad Virajati Fauzi. Penulis menyelesaikan pendidikan

Sekolah Dasar dari SD Angkasa 12 Jakarta, SD 22 Banda aceh, dan lulus dari SD 02 Banda Aceh. Dilanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 194 Jakarta dan lulus dari SMPN 255 Jakarta. Dan diakhiri pada SMAN 61 Jakarta sebelum memasuki dunia kampus pada Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS Surabaya.

Selama berada di kampus, penulis melaksanakan Kerja Praktik pada PT INALUM (Persero) Sumatera Utara. Penulis juga aktif pada bidang non akademik seperti kepanitiaan GERIGI, Petrolida, ITS Expo, REM 7 dan REM 8, fotografi pada UKM Ukafo, organisasi pada BEM FTI ITS dan Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS, serta *part time job* pada berbagai bidang. Ketertarikan penulis pada penelitian material inovatif khususnya peluru *frangible*. Penulis dapat dihubungi melalui alamat *e-mail* fadhel_myf@ymail.com ataupun nomor *handphone* 081211692233

(Halaman ini sengaja dikosongkan)