

**PENGARUH TEMPERATUR SUBSTRAT AL DAN DURASI DALAM
PLASMA NITRIDING PADA NILAI KEKERASAN SAMBUNGAN LAS TIG AL 6061**

TESIS

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister**



oleh :

**ADIB AFRIANSYAH
176090300111010**

**PROGRAM STUDI S2 FISIKA
MINAT FISIKA MATERIAL**

**PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
2019**

TESIS

PENGARUH TEMPERATUR SUBSTRAT AL DAN DURASI DALAM PLASMA NITRIDING PADA NILAI KEKERASAN SAMBUNGAN LAS *TIG* AL 6061

Oleh :

Adib Afriansyah

telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 26 Desember 2019
dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,
Komisi Pembimbing

Ketua

Anggota

Ir. D. J. Djoko H. S., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19660131 1990021001

Dr. Istiroyah, S.Si., M.T.
NIP. 19740815 1999032002

Mengetahui
Ketua Program Studi S2 Fisika

Mauludi A. Pamungkas, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197304122000031013

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Desember 2019

Mahasiswa,

Adib Afriansyah

176090300111010



JUDUL TESIS :

Pengaruh Temperatur Substrat Al dan Durasi dalam Plasma Nitriding pada Nilai Kekerasan Sambungan Las TIG Al 6061

Nama Mahasiswa : Adib Afriansyah

NIM : 176090300111010

Program Studi : Magister Fisika

Minat : Fisika Material

KOMISI PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : Ir. D. J. Djoko H. Santjojo, M.Phil., Ph.D.

Pembimbing 2 : Dr. Istiroyah, S.Si. M.T.

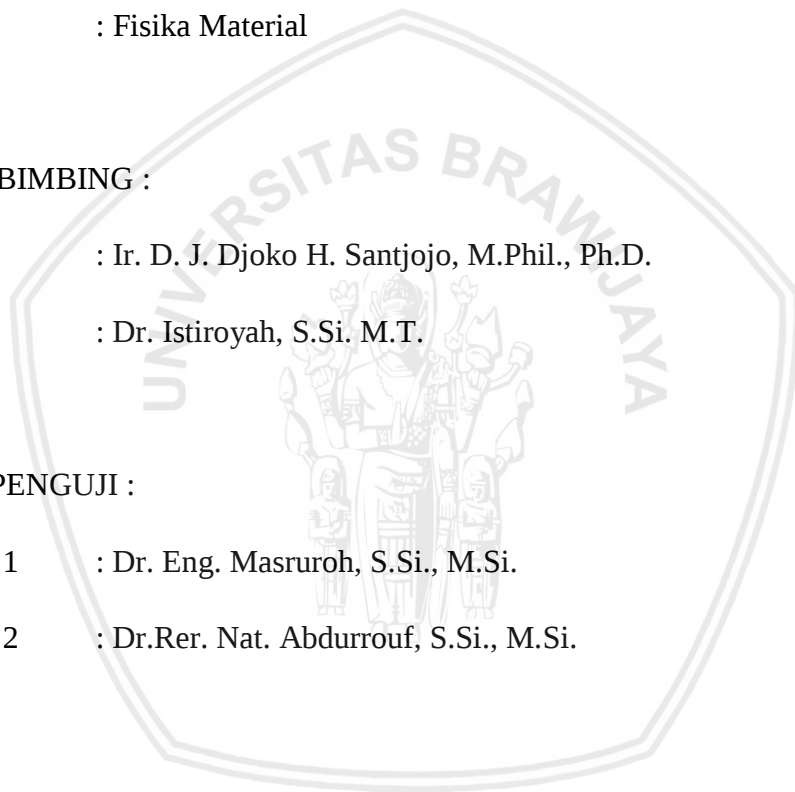
TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si.

Dosen Penguji 2 : Dr.Rer. Nat. Abdurrouf, S.Si., M.Si.

Tanggal Ujian : 26 Desember 2019

SK Penguji :

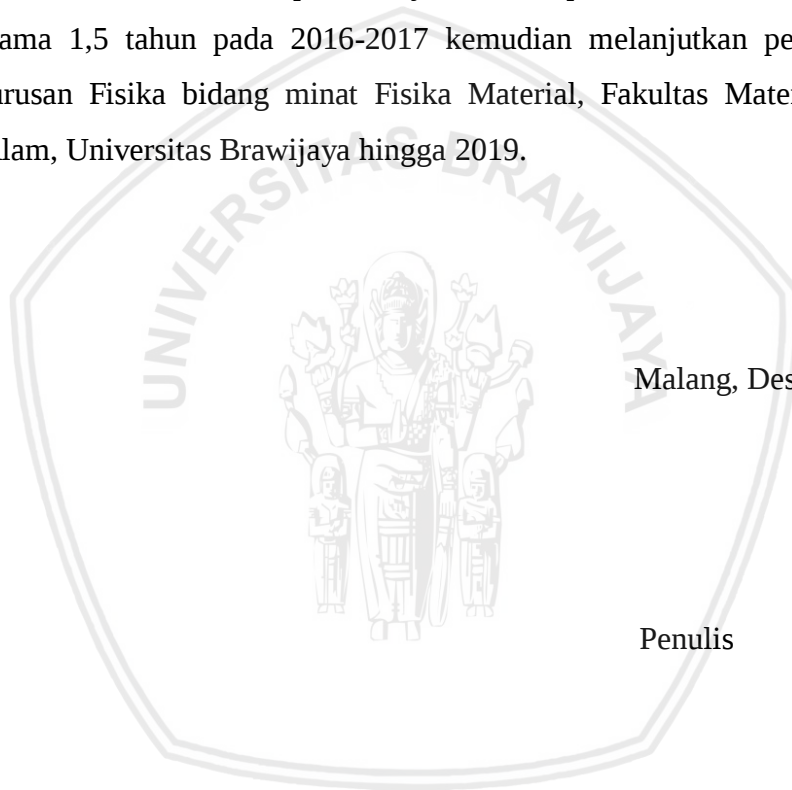


RIWAYAT HIDUP

Adib Afriansyah, lahir di Malang, 29 November 1994 anak dari Ayah Hermansyah dan Ibu Feni Setyowati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Komp. Kapota Yudha Makassar dan lulus di tahun 2005, kemudian melanjutkan sekolah menengah di SMPN 1 Makassar hingga lulus di tahun 2008, sekolah menengah atas di SMAN 1 Lawang, Malang dan lulus di tahun 2011. Penulis menempuh pendidikan jenjang sarjana di Jurusan Teknik Mesin bidang konsentrasi material, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan memperoleh gelar sarjana pada tahun 2016. Penulis sempat bekerja di PT. Supra Aluminium Industri sebagai Jr. Supervisor selama 1,5 tahun pada 2016-2017 kemudian melanjutkan pendidikan jenjang magister di Jurusan Fisika bidang minat Fisika Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya hingga 2019.

Malang, Desember 2019

Penulis



*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada :
Ayahanda, Ibunda, dan Adik Tercinta*



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, berkah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan thesis ini yang berjudul **“Pengaruh Temperatur Substrat Al dan Durasi dalam Plasma Nitriding pada Nilai Kekerasan Sambungan Las TIG Al 6061”**.

Penulis menyadari bahwa thesis ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya sebagai penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah dan Ibu penulis, Bapak Hermansyah dan Ibu Feni Setyowati karena telah memberikan dukungan berupa materi, nasihat, semangat, kasih sayang kepada penulis serta doa sehingga tesis dan perkuliahan ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bunga Shafira Syahrani, adik saya yang sangat saya sayangi.
3. Bapak Mauludi Ariesto Pamungkas, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Fisika, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. D. J. Djoko H. Santjojo, M.Phil., Ph.D., selaku dosen pembimbing thesis I yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
5. Ibu Dr. Istiroyah, S.Si., M.T., selaku dosen pembimbing thesis II yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
6. Ibu Dr. Eng. Masruroh. S.Si., M.Si., selaku dosen penguji thesis I yang banyak memberikan segala waktu, bimbingan, nasihat, dan masukan yang telah diberikan.
7. Bapak Dr.Rer.Nat Abdurrouf, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji thesis II yang banyak memberikan segala waktu, bimbingan, nasihat, dan masukan yang telah diberikan.
8. May Lia Elfina, (calon) Psikolog yang telah memberikan dukungan berupa materi, nasihat, semangat, kasih sayang kepada penulis.
9. Seluruh Rekan - rekan Magister Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya angkatan 2017 khususnya rekan fisika material yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan thesis ini.
10. Serta semua teman-teman penulis dan pihak yang telah ikut membantu terselesainya thesis ini, yang tidak mungkin penulis menyebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas segala amal kebaikan dari pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan thesis ini. Penulis sangat mengharapkan masukan, saran,

dan kritik dari berbagai pihak untuk membangun ke hal yang lebih baik lagi. Akhir kata, semoga thesis ini dapat bermanfaat bagi penulis, penelitian selanjutnya, dan juga bagi pembaca pada umumnya. Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.



Malang, Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
SUMMARY	viii
RINGKASAN.....	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Aluminium	6
2.3 Aluminium Paduan.....	7
2.3.1 Penggolongan aluminium paduan	7
2.3.2 Aluminium 6061	8
2.3.3 <i>Heat Treating</i> aluminium 6061	9
2.4 Pengelasan.....	10
2.4.1 Definisi pengelasan	10
2.4.2 Klasifikasi las	10
2.4.3 Sifat las aluminium.....	10
2.4.4 Las TIG (<i>Tungsten Inert Gas</i>)	10
2.4.5 <i>Filler metal</i> (ER 5356).....	11
2.4.6 <i>HAZ (Heat Affected Zone)</i>	11
2.5 Plasma	12
2.5.1 Sistem pembangkit plasma <i>DC Glow Discharge</i> dan <i>RF Glow Discharge</i>	12
2.5.2 <i>Plasma nitriding</i>	13
2.5.3 Pengaruh campuran gas nitrogen pada <i>plasma nitriding</i>	13
2.6 Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	14
2.6.1 Definisi kekerasan	14
2.6.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi kekerasan pada pengelasan.....	14
2.6.3 Mekanisme pengerasan	15
2.6.4 Pengujian kekerasan	16

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Konsep Berpikir.....	18
3.2 Hipotesis	18
3.3 Kerangka Konseptual	19

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	20
4.2 Eksperimen.....	20
4.2.1 Flowchart penelitian	20
4.2.2 Bahan	21

4.2.3	Proses pengelasan	21
4.2.4	<i>Plasma nitriding</i>	22
4.2.5	Pengujian kekerasan	22
4.2.6	Pengujian kekasaran	23
4.2.7	Karakterisasi XRD	23
4.2.8	Karakterisasi SEM	24
4.3	Pengambilan Data.....	25
4.3.1	Pengolahan data nilai kekerasan.....	25
4.4	Timeline Penelitian.....	26
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		
5.1	Hasil Penelitian.....	26
5.2	Pengujian Kekerasan	28
5.2.1	Data hasil pengujian kekerasan sampel <i>plasma nitriding</i>	28
5.2.2	Pengaruh temperatur Al terhadap hardness sambungan las Al 6061	28
5.2.3	Pengaruh durasi nitriding terhadap Hardness Sambungan las Al 6061	30
5.3	Komposisi dan Persebaran Unsur.....	31
5.4	Pengamatan Morfologi dan Kekasaran Permukaan	34
5.5	Pengujian Fasa.....	36
BAB VI PENUTUP		
6.1	Kesimpulan.....	40
6.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA		x

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Nilai kekerasan hasil las Aluminium 6061-T6 oleh Eltai.....	4
Gambar 2.2 Hasil SEM pada Welded Metal Aluminium 6061-T6 oleh Eltai.....	4
Gambar 2.3 <i>Hardness</i> (a) <i>Friction Stir Welding dissimilar joint</i> dan (b) <i>GTAW</i> pada Aluminium	5
Gambar 2.4 Perbandingan <i>Hardness</i> pada beberapa kondisi campuran gas N-He & N-Ar.....	6
Gambar 2.5 Diagram Fasa Al – Mg – Si	8
Gambar 2.6 Ilustrasi Pengelasan pada TIG (Tungsten Gas Inert).....	11
Gambar 2.7 Bagian-Bagian Hasil Pengelasan.....	12
Gambar 2.8 Mekanisme <i>Plasma nitriding</i> pada Cast Aluminium.....	13
Gambar 2.9 Spesies Aktif Nitrogen dengan proporsi campuran H:N	14
Gambar 2.10 Mekanisme <i>Solid-Solution Hardening</i> akibat interstisi.....	15
Gambar 2.11 Mekanisme pembentukan kesetimbangan fasa presipitasi Al – Cu.....	16
Gambar 2.12 Prinsip Pengujian Brinnel dan Vickers a) Indentor b) Indentasi vickers.....	17
Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 4.2 Rangkaian Mesin Las TIG.....	21
Gambar 4.3 Skema <i>Plasma nitriding</i>	22
Gambar 4.4 Rockwell <i>Hardness</i> Tester.....	23
Gambar 4.5 TMS	23
Gambar 4.6 XRD tipe Panalytical X'Pert ³ Powder.....	24
Gambar 4.7 SEM tipe FEI QUANTA 650 FEG.....	24
Gambar 4.8 Design area pengujian morfologi (SEM) dan cross-section (SEM-EDS)	25
Gambar 5.1 Perbandingan sampel (A) sebelum <i>plasma nitriding</i> dan (B) setelah <i>plasma nitriding</i>	27
Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Temperatur Al terhadap <i>Hardness</i> Sambungan las Al 6061 sebelum dan setelah proses <i>plasma nitriding</i>	28
Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Temperatur Al terhadap <i>Hardness</i> Sambungan las Al 6061 pada proses <i>plasma nitriding</i> dengan durasi 2 Jam.....	29
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Temperatur Al terhadap <i>Hardness</i> Sambungan las Al 6061 pada proses <i>plasma nitriding</i> dengan durasi 3 Jam.....	29
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Temperatur Al terhadap <i>Hardness</i> Sambungan las Al 6061 pada proses <i>plasma nitriding</i> dengan durasi 4 Jam.....	30
Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Durasi <i>Plasma nitriding</i> terhadap <i>Hardness</i> Sambungan las Al 6061	31
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Durasi <i>Plasma nitriding</i> terhadap <i>Hardness</i> dengan Temperatur a)150°C, b)160°C, c)170°C dan d)180°C.....	31
Gambar 5.8 Spot Area pada Pengamatan SEM-EDS dengan Variasi a) Tanpa Plasma nitriding, b) 180°C - 120 menit, c) 180°C - 180 menit, d) 180°C - 240 menit ...	33
Gambar 5.9 Hasil SEM dengan Variasi a) Tanpa <i>Plasma nitriding</i> , b) 180°C - 120 menit, c) 180°C - 180 menit, d) 180°C - 240 menit	35
Gambar 5.10 Hasil TMS dengan Variasi a) Tanpa <i>Plasma nitriding</i> , b) 180°C - 120 menit, c) 180°C - 180 menit, d) 180°C - 240 menit	36
Gambar 5.11 Grafik 2 theta terhadap Intensitas pada Sampel Aluminium	37
Gambar 5.12 Grafik Intensitas XRD pada sampel Las Tanpa Plasma	38
Gambar 5.13 Grafik Intensitas XRD pada sampel <i>plasma nitriding</i> dengan temperatur 150°C selama 120 menit	38
Gambar 5.14 Grafik Intensitas XRD pada sampel <i>plasma nitriding</i> dengan temperatur 180°C selama 240 menit	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan mechanical properties dari 3 metode pembuatan piston	1
Tabel 2.1 Sifat Fisik <i>Aluminum Alloys</i>	6
Tabel 2.2 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa	7
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Al – Mg – Si	8
Tabel 2.4 <i>Typical Solution & Precipitation Heat treatment Al – Mg – Si Alloy</i>	9
Tabel 4.2 Parameter Pengelasan TIG	21
Tabel 4.2 Parameter Plasma RF/DC	22
Tabel 4.3 Sampel Pengujian	25
Tabel 4.4 Timeline Penelitian	26
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kekerasan	28
Tabel 5.2 Hasil Komposisi Pengujian EDS	32
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kekasaran	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain spesimen untuk pengelasan dan <i>plasma nitriding</i>	xii
Lampiran 2. Data pengujian kekerasan plat aluminium	xiii
Lampiran 3. Rasio <i>atomic radius</i> pada beberapa unsur.....	xiv
Lampiran 4. <i>Report XRD</i>	xv
Lampiran 5. <i>EDS Result</i>	xxi



SUMMARY

Adib Afriansyah, Postgraduate of Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Science, University of Brawijaya, in December 2019, *The Effect of Al Substrate Temperature and Duration of Plasma Nitriding on Hardness Analysis of TIG Welding Joint Al 6061*. Supervisor: Djoko Santjojo dan Istiroyah

Automotive parts using a aluminum as a raw material for piston because they have a good tensile strength, durability, and machining. In manufacturing of piston, usually use a casting method, forging method or powder metallurgy method. Furthermore, there is an alternative such a TIG (Tungsten Inert Gas) Welding of aluminum. However, the hardness result of welding is decreasing after melting process and slow cooling so that it will be influence to the grains of aluminum.

The another methods to fix the decrease of hardness such a plasma nitriding. The process uses ion from nitrogen gas so that the ion can be spreading at surfaces of aluminum. The spreading of nitrogen involves to lattice of aluminum after interstitial of N.

This study aims to analyse the effect of Al substrat temperature and duration of plasma nitriding on hardness of TIG Welding Joint Al 6061. 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C is the various of temperature used of plasma nitriding. Meanwhile, the duration of plasma nitriding is 120-minute, 180 minute, and 240 minutes. 120 Volt and 150 Volt uses as RF-DC Voltage. The gas of plasma nitriding use mixture of Nitrogen and Argon gases. Hereafter, the Rockwell Hardness Tester use to determine the hardnes value of TIG Welding Joint Al 6061

The result of this study was obtained an increased in the value of hardness on 240-minute duration of plasma nitriding. The hardness value has increase from 49.1 HR15T to 73.23 HR15T and the lowest of hardness is 63.16 HR15T from 150°C and 120 minutes of process. The increased of hardness caused by spreading of N at lattice of aluminum thus resisting the movement of dislocation and sustain to solid solution strengthening.

Key words: Aluminium, Hardness, TIG Welding, RF-DC Plasma Nitriding, solid solution strengthening

RINGKASAN

Adib Afriansyah, Jurusan Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Desember 2019, *Pengaruh Temperatur Substrat Al dan Durasi dalam Plasma Nitriding pada Nilai Kekerasan Sambungan Las TIG Al 6061*, Dosen Pembimbing : Djoko Santjojo dan Istiroyah

Komponen otomotif sebagian besar memanfaatkan logam aluminium sebagai bahan utama piston karena memiliki kekuatan, durability, dan mampu mesin yang baik. Pada proses pembuatan piston, sering menggunakan metode *casting*, *forging*, maupun *powder*. Selain itu terdapat alternatif lain yaitu pengelasan menggunakan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dengan memanfaatkan 2 part logam yang disatukan. Metode ini juga dapat digunakan untuk memperbaiki sambungan pada piston. Namun, hasil pengelasan memiliki kelemahan diantaranya nilai kekerasan yang turun setelah akibat temperatur melting yang digunakan serta kondisi pendinginan lambat sehingga mempengaruhi kondisi butir dari aluminium hasil pengelasan tersebut.

Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi penurunan nilai kekerasan salah satunya yaitu plasma nitriding. Proses ini memanfaatkan gas nitrogen yang diionisasi sehingga ion tersebut mampu menyebar pada permukaan substrat aluminium. Persebaran terunsur tersebut berdampak pada kondisi kisi dari substrat aluminium yang terinterstisi unsur N.

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi temperatur substrat AL dan variasi durasi dalam plasma nitriding pada nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061. Variasi temperatur substrat Al hasil pengelasan yaitu 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C. Sementara itu, durasi yang digunakan yaitu 120 menit, 180 menit dan 240 menit. Tegangan RF-DC yang digunakan sesesar 120 V / 500 V pada plasma nitriding menggunakan campuran gas argon dan nitrogen. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan menggunakan Rockwell Hardness Tester

Hasil penelitian ini diperoleh peningkatan nilai kekerasan yang signifikan pada variasi durasi 240 menit yaitu dari 49.1 HR15T menjadi 73.23 HR15T. sementara itu nilai kekerasan terendah sebesar 63.16 didapatkan pada variasi temperatur substrat Al 150°C selama 120 menit. Peningkatan nilai kekerasan ini disebabkan adanya persebaran unsur N pada kisi substrat aluminium sehingga terjadi terhambatnya pergerakan dislokasi dan mengalami *solid solution strengthening*.

Kata Kunci : Aluminium, Nilai Kekerasan, Pengelasan TIG, Plasma Nitriding RF-DC, *solid solution strengthening*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material dengan kualitas yang baik diperlukan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari maupun kebutuhan dalam bidang industri. Salah satu jenis material yang paling sering digunakan hingga saat ini yaitu logam karena logam memiliki *machinability*, daya guna, serta kekuatan yang sangat baik.

Logam yang diperoleh tidak selalu akan langsung bisa digunakan karena logam akan melalui beberapa tahap sebelum menjadi produk siap pakai. Sebagai contoh, penggunaan bahan logam untuk velg kendaraan akan melalui proses pengecoran logam, gear dibuat melalui proses milling, rangka kendaraan akan melalui proses bubut dan pengelasan, perlengkapan rumah tangga seperti panci dan wajan melewati proses pengecoran dan *forging* dan lain-lain. Proses pengecoran, pembubutan, pengelasan maupun *forging* ini memiliki keunggulan dan kekurangan jika dilihat dari berbagai sudut pandang sehingga untuk mendapatkan produk tertentu akan dipilih proses yang paling efektif dan efisien.

Salah satu logam yang paling banyak ditemukan dan paling banyak digunakan yaitu aluminium. Logam ini memiliki keuntungan berat jenis yang ringan dibanding logam lain, mudah ditemukan, keuletan yang baik serta *corrosion resistance* yang sangat baik. Akan tetapi, aluminium memiliki kekurangan pada kemampuan kekerasan yang rendah sehingga kurang cocok jika akan diaplikasikan pada area yang membutuhkan kekerasan yang tinggi.

Penggunaan piston berbahan dasar aluminium memiliki kriteria tertentu diantaranya memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, tahan korosi, dan nilai kekerasan yang baik. Pada beberapa metode pembuatan piston yaitu melalui proses pengecoran, tempa, maupun proses serbuk, didapatkan hasil yang berbeda untuk nilai kekerasannya (Park *et al.*, 2001). Tabel dibawah ini menunjukkan perbandingan *Hardness* dari beberapa metode pembuatan piston :

Tabel 1.1 Perbandingan mechanical properties dari 3 metode pembuatan piston

	Tensile Strength (MPa)	Hardness (HRB)
Cast Piston	232	69-73
Forged Piston	299	70-80
Powder Forged Piston	500	77,5

Proses permesinan pada aluminium ada bermacam-macam yaitu *casting*, *milling*, *frais*, *welding*, *forging*, *forming*, *rolling* dan lain-lain. Proses ini akan berdampak pada kekuatan produk dari aluminium (Elwin L. Rooy (Aluminum Company of America), 1992) . Pada proses pengelasan, yaitu proses penyambungan dua buah logam atau lebih dengan menggunakan elektroda sebagai filler akan mempengaruhi kekuatan aluminium yang dihasilkan terutama pada area sambungan las. Nilai kekuatan pada area sambungan las ini tidak akan sama dengan kekuatan logam induk, seperti nilai kekuatan tarik maupun nilai kekerasannya. Pada umumnya, nilai kekerasan akan menurun karena adanya perubahan temperatur sehingga mempengaruhi nilai kekerasan diarea pengelasan aluminium tersebut.

Pada beberapa penelitian mengenai pengujian kekerasan untuk produk hasil las menunjukkan bahwa Aluminium 6061-T6 dengan metode GMAW memperoleh nilai kekerasan terendah pada daerah yang dilas (*welded metal*) dan nilai kekerasan tersebut semakin meningkat pada titik pengukuran yang berada pada logam induk .

Ilangovan (2015) menggunakan *Friction Stir Welding* dissimilar joint Al6061 – Al5058 mendapatkan hasil kekerasan yang menurun pada area *welding* metal dan meningkat pada area base metal. Penurunan kekerasan dapat diakibatkan karena panas yang timbul mempengaruhi batas butir yang terbentuk. Penelitian lain yang berjudul *The microstructure and mechanical strength of Al-6061-T6 GMA welds obtained with the modified indirect electric arc joint* pada tahun 2010 oleh Ambriz mendapatkan kekuatan mekanik saat kondisi PWHT mengalami peningkatan (*Single V Groove & MIEA*). MIEA mendapatkan kekuatan mekanik yang lebih baik dikarenakan faktor area HAZ yang lebih besar namun nilai kekerasan cenderung turun dibandingkan kekerasan base metal.

Metode pengelasan GTAW dengan Teknik *double pulsed* variasi polaritas pada aluminium alloy 2219 juga mendapatkan hasil kekerasan dimana nilai kekerasan pada area *welding* metal lebih rendah jika dibandingkan area base metal. Efek panas dinilai mempengaruhi kekerasan yang terbentuk pada area tersebut (Yipeng *et al.*, 2018). Sementara itu, penelitian lain yang menggunakan metode pengelasan yang berbeda dengan judul *Effect of TIG current on microstructural and mechanical properties of 6061-T6 aluminium alloy joints by TIG-CMT hybrid welding* yang dilakukan oleh Liang (2017), mendapatkan hasil adanya variasi arus akan mempengaruhi mikrostruktur dari aluminium dimana arus yang semakin besar akan membuat daerah PMZ akan melebar dan berdampak pada nilai kekerasan di area las yang menurun (Liang, Shen and Hu, 2017).

Penurunan kekerasan akan mengakibatkan adanya perbedaan bahkan penurunan kualitas dari properti mekanik yang dimiliki oleh sebuah produk sehingga perlu dilakukan *treatment* khusus untuk mengatasi masalah ini. Salah satu cara untuk memodifikasi kekerasan pada sambungan las tersebut dengan melakukan *surface treatment* yang bertujuan untuk mengubah properti mekanik dari permukaan aluminium menjadi lebih baik. Hal ini bisa dilakukan melalui case *hardening* dengan metode carburizing, boriding & Nitriding.

Nitriding dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu gas nitriding, salt-bath nitriding dan *plasma nitriding*. Penelitian terkait *plasma nitriding* telah dilakukan oleh Nova dan Aziz dengan hasil bahwa kekerasan permukaan bahan meningkat sebesar 32% menggunakan baja AISI 410 (Nova *et al.*, 2012) dan meningkat sebesar 51,5 % baja AISI 4140 (Aziz, 2018).

Sementara itu, Windajanti pada penelitian “Transformasi fasa dan mikrostruktur saat proses high density *plasma nitriding*” mendapatkan peningkatan nilai kekerasan pada bahan titanium dengan menggunakan tekanan gas rendah dan tegangan DC tinggi yaitu rata-rata 623.9 HV dengan beban 0.05 N (Windajanti, 2017). Pada logam *non-ferrous* seperti aluminium telah dilakukan *plasma nitriding* dengan plasma DC yang menggunakan temperatur tinggi hingga 823 K (550°) serta durasi yang lama dalam range 20 – 70 jam. Namun sebelum proses tersebut, terlebih dahulu dilakukan *pre-sputtering* untuk menghilangkan lapisan oksida aluminium selama 3 jam. Hasilnya terjadi peningkatan nilai kekerasan yang sangat ekstrim mencapai 1200 VHN serta ketebalan difusi yang berbeda seiring durasi nitriding yang dilakukan. Pengerasan ini terjadi karena timbulnya presipitasi AlN, presipitasi alloy dari aluminium itu sendiri, terjadi

penguatan batas butir dan pengerasan larutan padat (Visuttipitukul, Aizawa and Kuwahara, 2003).

Temperatur yang terlalu tinggi dan durasi yang panjang dihindari dalam proses *plasma nitriding* karena akan merubah fasa serta peningkatan hardness yang sulit dikontrol, selain itu juga memerlukan energi yang cukup tinggi untuk prosesnya. Pada penelitian ini akan dilakukan *plasma nitriding* dengan pembangkit RF-DC di area sambungan las dengan temperatur Aluminium yang lebih rendah dan durasi yang lebih singkat sehingga produk hasil pengelasan memiliki kualitas *hardness* yang sama dengan produk hasil pengecoran maupun kekuatan mekanik pada logam induk yang dilas.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini :

1. Bagaimana perubahan nilai kekerasan setelah proses *plasma nitriding* pada sambungan las Al 6061
2. Bagaimana pengaruh durasi *plasma nitriding* terhadap persebaran unsur nitrogen pada sambungan las aluminium
3. Bagaimana mekanisme pengerasan yang terjadi setelah *plasma nitriding* pada sambungan las Al 6061.
4. Bagaimana fasa yang terbentuk setelah proses *plasma nitriding*

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Menganalisis perubahan nilai kekerasan setelah proses *plasma nitriding* pada sambungan las Al 6061.
2. Menganalisis pengaruh durasi *plasma nitriding* terhadap persebaran unsur nitrogen pada sambungan las aluminium
3. Menganalisis mekanisme pengerasan yang terjadi setelah *plasma nitriding* pada sambungan las Al 6061.
4. Menganalisis fasa yang terbentuk setelah proses *plasma nitriding*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Metode pengelasan aluminium yang digunakan yaitu menggunakan metode las TIG.
2. Aluminium yang digunakan yaitu jenis 6061
3. Hasil penggosokan dengan menggunakan amplas untuk menghilangkan Al_2O_3 pada permukaan Aluminium sebelum proses pengelasan dan *plasma nitriding* dianggap sama.
4. *Plasma nitriding* menggunakan Plasma RF-DC

1.5 Manfaat

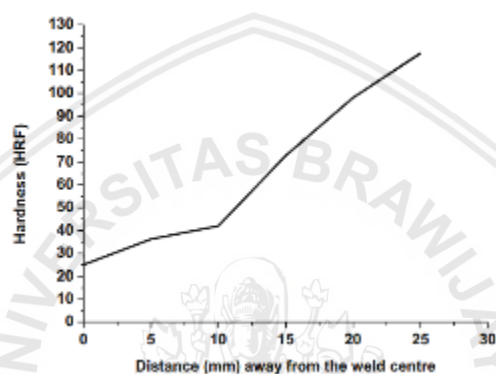
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya :

1. Memberikan alternatif baru dalam bidang industri khususnya industri otomotif untuk memperbaiki kelemahan dari hasil pengelasan
2. Menjadi literatur baru dalam bidang riset terkait *surface treatment* logam hasil pengelasan khususnya aluminium.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

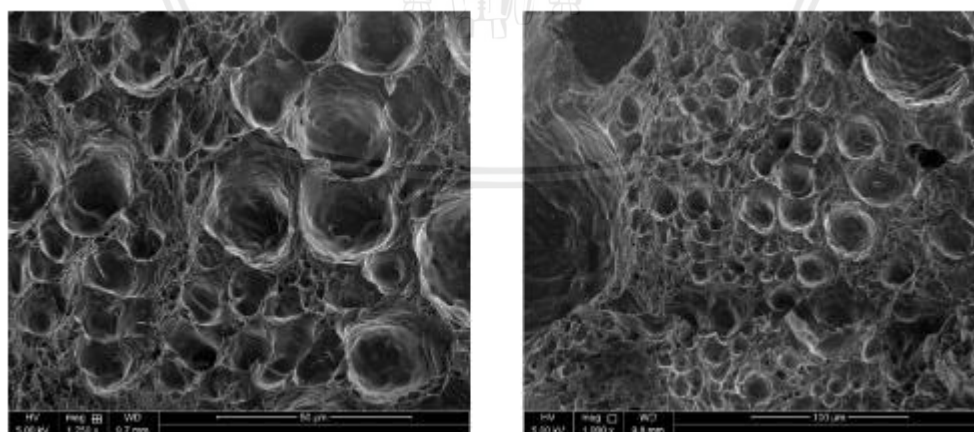
2.1 Penelitian Sebelumnya

Eltai 2014 melakukan pengujian ketahanan korosi dan pengujian mechanical properties pada hasil las aluminium 6061 dengan metode pengelasan MIG. Nilai kekerasan yang didapatkan semakin rendah ketika diukur pada titik *welding* metal yaitu sebesar 25.13 HRF dan semakin meningkat ketika pengukuran dilakukan pada area logam induk yaitu sebesar 117.6 HRF (Eltai and Mahdi, 2014). Hasil pengukuran kekerasan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Nilai kekerasan hasil las Aluminium 6061-T6 oleh Eltai

Nilai kekerasan yang meningkat seiring titik pengukuran yang menjauh dari *welding* metal kemungkinan disebabkan oleh banyaknya void dan *defect* yang ditemukan pada area *welding* metal (Eltai and Mahdi, 2014). Hasil SEM dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

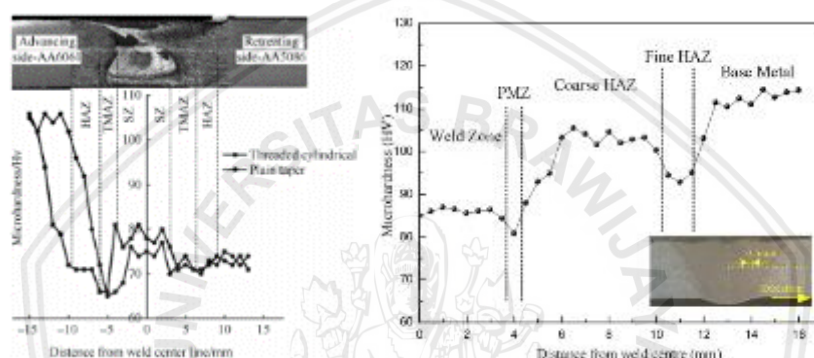


Gambar 2.2 Hasil SEM pada Welded Metal Aluminium 6061-T6 oleh Eltai

Penelitian lain yang dilakukan oleh Ilangovan (2015) dengan menggunakan material yang berbeda jenis yaitu aluminium 6061 dan aluminium 5058 (dissimilar joints) pada friction stir *welding*. Ketika plan taper digunakan sebagai geometri taper pada friction stir *welding*, didapatkan nilai kekerasan yang menurun pada area stir zone / *welding* metal dibandingkan pada area base metal. Penurunan ini juga terjadi ketika menggunakan *threaded cylindrical*

sebagai taper. Peningkatan batas butir saat rekristalisasi terjadi pada *stir zone*. Pada Aluminium 6061 terjadi perubahan nilai kekerasan yang drastic dikarenakan aluminium 6061 merupakan heat-treatable alloy dan mechanical properties akan sangat dipengaruhi oleh kondisi panas. Sementara itu pada bagian aluminium 5058 tidak terjadi perubahan nilai kekerasan secara drastic karena aluminium 5058 adalah *non-heat treatable alloy* sehingga variasi *Hardness* yang terjadi tidak terlalu signifikan ketika ada retreating saat proses friction stir welding (Ilangovan, Boopathy and Balasubramanian, 2015).

Wang Yipeng (2018) melakukan penelitian dengan metode las Double Pulsed Variable Polarity GTAW dengan hasil adanya perbedaan nilai kekerasan yang signifikan antara Base Metal dan Weld Zone. Kekerasan yang didapatkan di weld zone lebih rendah akibat adanya pengaruh panas saat pengelasan. Pengaruh panas ini akan membentuk butir yang kasar serta adanya mekanisme penguatan presipitasi pada daerah yang terpengaruh panas Al 2219 (Yipeng *et al.*, 2018). Nilai kekerasan yang diperoleh dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



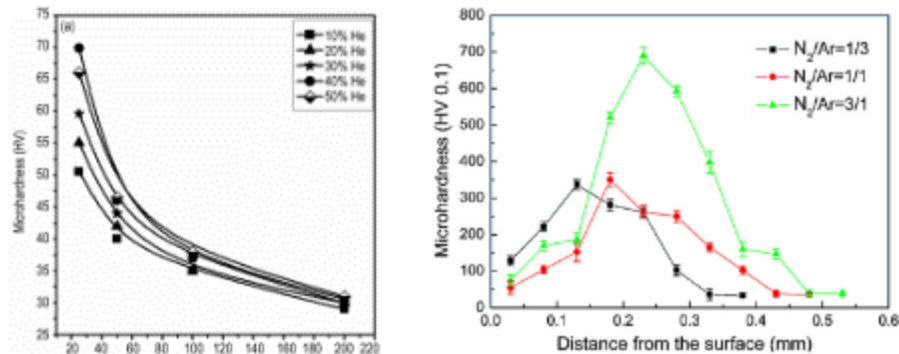
Gambar 2.3 Hardness (a) Friction Stir Welding dissimilar joint dan (b) GTAW pada Aluminium

Pada penelitian terkait *surface hardening* yaitu Nitriding akan terjadi pengerasan permukaan dikarenakan adanya ion nitrogen yang berdifusi ke spesimen dan membentuk ikatan dengan base metal. Ikatan yang terbentuk ini akan menghalangi dislokasi sehingga deformasi plastis dapat diredam akibat dari nilai kekerasan yang meningkat. Pada butir yang lebih halus yaitu sampel BMA, AlN yang terbentuk meningkat karena mikrostruktur yang lebih halus sehingga akan berpengaruh ke batas butir saat difusi nitrogen ke AlN (Visuttipitukul, Aizawa and Kuwahara, 2003).

Barocio pada tahun 2010 menggunakan Plasma Immersion Ion Implementation dengan tegangan rendah dan campuran gas Nitrogen-Argon dengan presentase tertentu. Bahan Aluminium 6061-T6 berbentuk silinder Ø 10 x 5 mm sebagai substrat. Penelitian ini mendapatkan *hardness* terbaik dari hasil campuran gas seimbang 50 N : 50 Ar yaitu sebesar 88 HV. Proses nitriding mampu mereduksi *grain size* sebesar 50 % (Barocio, Piedad and Pe, 2010).

Khan melakukan proses nitriding pada $\text{AlFe}_{1.8}\text{Zn}_{0.8}$ dengan campuran Nitrogen-Helium menggunakan 100 Hz – Pulsed DC Glow Discharge. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa campuran gas nitriding yang terbaik untuk nilai kekerasan yaitu sebesar 60 N : 40 He dan *nitriding time* selama 12 jam (Khan, Shah and Ahmad, 2010). Sementara itu, Zheng melakukan karakterisasi mikrostruktur dan pengujian mekanik pada substrat aluminium setelah proses *DC nitrogen arc discharge* (pada tekanan atmosfer) dengan hasil ketebalan yang diperoleh setelah proses nitriding sebesar 200-400 mikron yang bergantung pada konsentrasi campuran gas nitrogen dan argon selama proses berlangsung. Layer nitridisasi yang terbentuk meningkatkan

nilai kekerasan dan nilai ketahanan aus (Zheng *et al.*, 2012). Perbandingan nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.4 Perbandingan *Hardness* pada beberapa kondisi campuran gas N-He & N-Ar

2.2 Aluminium

Aluminium adalah salah satu unsur yang paling banyak ditemukan di bumi. Aluminium pertama kali ditemukan oleh ahli kimia dari Jerman bernama Friedrich Wöhler pada tahun 1827. Aluminium berasal dari bijih bauksit dengan komposisi yang terdiri dari tanah tawas, aluminium oksida, besi oksida serta asam silikat.

Bauksit ini banyak ditemukan di negara Prancis, Rusia, Italia dan beberapa negara Balkan serta dapat ditemukan di benua Amerika dan Asia. Untuk wilayah Indonesia, Bauksit banyak ditemukan di daerah Riau, Kalimantan Selatan dan Kalimantan Barat Namun dalam hal pengolahannya masih belum maksimal karena terkendala tidak adanya *smelter* untuk pengolahan bauksit tersebut.

Secara umum, aluminium yang ditemukan dalam keadaan murni memiliki kandungan antara 99-99.9 % Al, memiliki kekuatan tarik sebesar 60 N/mm² dan dapat ditingkatkan hingga 140 N/mm² melalui proses *cold working*. Sementara itu untuk *corrossion rersistance*, aluminium akan membentuk lapisan film dengan tebal 13×10^{-6} mm ketika terjadi kontak dengan udara. Lapisan ini bersifat *adhesive* sehingga akan melindungi permukaan aluminium tersebut.

Tabel 2.1 Sifat Fisik *Aluminum Alloys*

Aluminum Alloys	Density		Heat Capacity		Thermal Conductivity		Thermal Diffusity	
	g/cm ³	lb/in ³	j/kg K	cal _r /g.°C	W/m.K	cal _r /cm.s.°C	mm ² /s	cm ² /s
1100	2,71	0,098	963	0,23	222	0,53	85	0,85
2014	2,80	0,101	963	0,23	193	0,46	71	0,71
5052	2,68	0,097	963	0,23	138	0,33	54	0,54
6061	2,70	0,098	963	0,23	172	0,41	66	0,66
7075	2,80	0,101	963	0,23	121	0,29	45	0,45

Sumber : Eagar, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja karena memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki kekuatan mekanik yang baik, tahan dari korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik (Wiryosumarto and Okumura, 2000). Jika dilihat dari properti fisiknya, aluminium memiliki massa jenis yang ringan yaitu sebesar 2,7 gr/cm³

jauh lebih kecil dibandingkan dengan baja yaitu sebesar $7,8 \text{ gr/cm}^3$ sehingga aluminium cocok untuk digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri.

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat perbandingan sifat fisik antara berbagai paduan aluminium paduan seperti massa jenis terkecil dimiliki oleh aluminium paduan 5052 dengan $2,68 \text{ g/cm}^3$ sementara massa jenis terbesar dimiliki oleh aluminium paduan 7075 dan aluminium paduan 2014 sebesar $2,80 \text{ g/cm}^3$. Selain itu, konduktivitas termal yang menunjukkan seberapa besar bahan tersebut dapat menghantarkan panas tertinggi dimiliki oleh aluminium paduan 1100 sebesar 222 W/m.K dan yang terendah dimiliki oleh aluminium paduan 7075 sebesar 121 W/m.K . Sementara untuk difusivitas termal atau kemampuan sebuah bahan dalam menyerap panas tertinggi dimiliki oleh aluminium paduan 1100 sebesar $85 \text{ mm}^2/\text{s}$ dan yang terendah dimiliki oleh aluminium paduan 7075 sebesar $85 \text{ mm}^2/\text{s}$

2.3 Aluminium Paduan

2.3.1 Penggolongan aluminium paduan

Sistem empat digit yang digunakan untuk mengidentifikasi aluminium dan paduan aluminium. Penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Standart Testing Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Cara penggolongan aluminium berdasarkan paduannya ditunjukkan pada tabel 2.2 (Avner, 1974)

Tabel 2.2 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa

Unsur Paduan Utama	No. Seri
Aluminum, 99% dan lebih besar	1xxx
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium dan Silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Unsur Lain	8xxx

Cara pembacaan penggolongan aluminium berdasarkan tabel 2.2 :

xxxx : Angka pertama merupakan jenis unsur paduan utama yang terdapat pada aluminium.

Angka 1 merupakan kandungan unsur aluminium murni antara 99 – 99,9 %. Angka 2 memiliki tembaga sebagai unsur paduan utamanya. Angka 3 memiliki mangan sebagai unsur paduan utamanya. Angka 4 memiliki silikon sebagai unsur paduan utamanya. Angka 5 memiliki magnesium sebagai unsur paduan utamanya. Angka 6 memiliki magnesium-silikon sebagai unsur paduan utamanya. Angka 7 memiliki Zinc sebagai unsur paduan utamanya.

xx : Angka kedua menunjukkan paduan aluminium tersebut merupakan hasil olahan seberapa. Misalkan angka 0 merupakan hasil asli (belum diolah), angka 1 menunjukkan hasil olahan pertama dan seterusnya.

xx : angka ketiga dan keempat menunjukkan kandungan minimum aluminium yang ada pada material. Misalkan 61 memiliki arti kandungan aluminium minimum yang ada pada material tersebut sebesar 61 %.

Contoh : Aluminium 6061 memiliki arti bahwa aluminium tersebut mengandung unsur magnesium dan silikon sebagai unsur paduan utamanya, merupakan hasil asli (belum diolah), dan kandungan unsur aluminium minimal sebesar 61 %.

2.3.2 Aluminium 6061

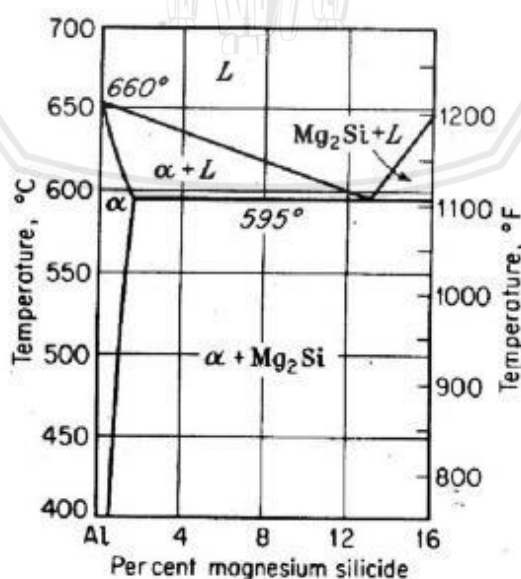
Al 6061 banyak dijumpai sebagai bahan dasar dari industri otomotif seperti pada beberapa bagian velg, torak, silinder maupun pada head piston. Standar komposisi kimia yang terdapat pada aluminium paduan Al – Mg – Si 6061 dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Al – Mg – Si

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	95,8-98,6	0,80-1,2	0,40-0,80	Max 0,70	Max 0,15	Max 0,25	0,15-0,40	0,040-0,35	Max 0,15	Max 0,15

Sumber : ASM Aerospace Specification Metals Inc. (2015)

Pada tabel 2.3 dapat dilihat bahwa kandungan yang paling dominan selain kandungan unsur aluminium itu sendiri dalam aluminium 6061 adalah unsur magnesium dan unsur silikon. Adanya kandungan Magnesium dan Silikon untuk meningkatkan daya tahan karat aluminium. Unsur Mg juga meningkatkan sifat mampu mesin dan mampu bentuk dari aluminium tanpa mengurangi sifat ductile serta membuat aluminium paduan tersebut mampu dilas dengan baik. Paduan Al – Mg – Si termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong yang baik, mampu las, dan daya tahan korosi yang baik. Apabila Magnesium dan Silikon dipadukan maka akan membentuk Magnesium Silikat (Mg_2Si). Diagram fasa Al- Mg – Si ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Diagram Fasa Al – Mg – Si

Sumber : (Heine, Loper and Rosenthal, 1976) Heine (1976:320)

Pada gambar 2.5 menunjukkan tentang diagram fasa Al – Mg – Si, diagram fasa ini bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi pada material akibat perubahan temperatur maupun perubahan kandungan unsur paduan magnesium-silikon. Al – Mg – Si memiliki titik lebur 595°C hingga memasuki fasa austenit yang merupakan daerah transisi antara fasa padat menjadi cair. Titik cair Al – Mg – Si sendiri berada pada suhu 660°. Pada pengelasan gesek, material tidak perlu mencair untuk dilakukan penyambungan. Material tersebut hanya perlu mencapai suhu rekristalisasi sehingga bisa menyatu. Suhu rekristalisasi dapat diketahui dengan persamaan :

$$T_r = 15\% \times T_c \text{ (K)} \quad (2-1)$$

Dengan :

T_r = Temperatur rekristalisasi (K)

T_c = Temperatur cair Al – Mg – Si (K)

2.3.3 Heat treating aluminium 6061

Heat treating merupakan operasi yang dilakukan berupa *heating* ataupun *cooling* yang bertujuan untuk merubah sifat mekanik, struktur metalurgi, atau mengubah keadaan tegangan sisa pada sebuah material logam. Ketika operasi ini dilakukan pada paduan aluminium maka secara spesifik tergantung tujuan yang diinginkan yaitu meningkatkan kekuatan dan kekerasan *precipitation-hardenable* paduan aluminium. Paduan ini akan digolongkan menjadi heat-treatable alloy yang sering dilakukan *hot working* dan *non-heat treatable alloy* menggunakan *cold working*. Sementara itu pada aluminium 6061 (Al – Mg – Si), range temperatur presipitasi maupun solution *heat treatment* dapat mengacu pada tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Typical Solution & Precipitation Heat treatment Al – Mg – Si Alloy

Alloy	Product from	Solution <i>Heat treatment</i>			Precipitation <i>Heat treatment</i>			
		Metal Temperatur		Temper designation	Metal Temperatur		Time	Temper designation
		°C	°F		°C	°F		
6005	Extruded rod, bar, and tube	530	985	T1	175	350	8	T5
6010	Sheet	565	1050	T4	205	400	1	T6
6053	Die <i>Forgings</i>	520	970	T4	170	340	10	T6
6061	Sheet	530	985	T4	160	320	18	T6
				T42	160	320	18	T62
	Plate	530	985	T4	160	320	18	T6
				T42	160	320	18	T62
				T451	160	320	18	T651
	Rolled or cold finished wire, rod, and bar	530	985	T4	160	320	18	T6
					160	320	18	T89
					160	320	18	T93
					160	320	18	T913
					160	320	18	T94
T42				160	320	18	T62	
			T451	160	320	18	T651	

2.4 Pengelasan

2.4.1 Definisi pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu cara untuk menyambungkan dua logam. Menurut definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam pengelasan dibutuhkan energi panas untuk melumerkan atau mencairkan logam yang akan dilas.

2.4.2 Klasifikasi las

Berdasarkan cara kerja pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Pengelasan cair adalah pengelasan dimana sambungan yang akan dilas akan mencair sehingga dapat menyatu. Contohnya : las gas, las listrik, las busur plasma.
2. Pengelasan Tekan adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan lalu ditekan tanpa harus mencair hingga menyatu. Contohnya : las gesek, las titik, las tempa, las ultrasonic.
3. Pematrian adalah cara dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. dalam proses ini logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

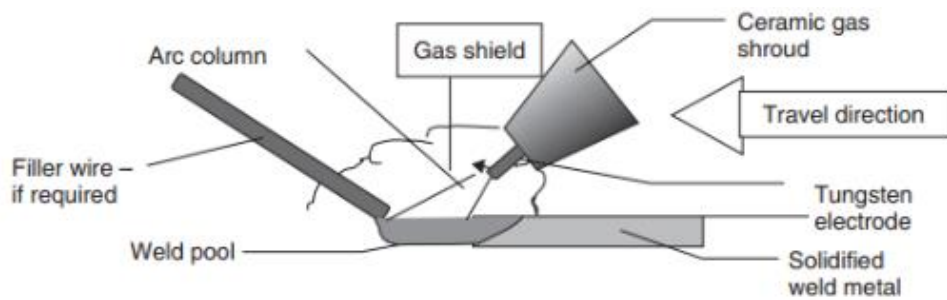
2.4.3 Sifat las aluminium

Dalam hal pengelasan, paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja. Sifat – sifat yang kurang baik atau merugikan tersebut sebagai berikut :

1. Panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi maka sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja.
2. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium Al_2O_3 yang mempunyai titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Paduan aluminium mempunyai massa jenis rendah, karena itu banyak zat – zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan terganggunya zat – zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
4. Karena titik cair dan viskositasnya rendah, maka daerah yang kena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes.

2.4.4 Las TIG (*Tungsten Inert Gas*)

Aluminium dapat dilas dengan beberapa metode diantaranya Las TIG (*Tungsten Inert Gas*) yang merupakan nama lain dari GTAW (*Gas Arc Tungsten Welding*) yaitu las yang menggunakan Tungsten / Wolfram sebagai elektroda dan inert gas yang digunakan sebagai gas pelindung adalah argon atau helium. Pada TIG, berbeda dengan pengelasan MIG dimana kawat elektroda juga berfungsi sebagai kawat las, elektroda wolfram yang memiliki titik lebur sangat tinggi tidak akan ikut mencair saat proses pengelasan dan hanya digunakan untuk penghantar panas. Pada TIG, pengelasan dapat dilakukan dengan atau tanpa filler tambahan (Mathers, 2002). Ilustrasi pengelasan TIG dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini :



Gambar 2.6 Ilustrasi Pengelasan pada TIG (Tungsten Gas Inert)

Keuntungan pada las TIG :

1. Kualitas yang baik, hasil las tidak mengalami distorsi / bengkok
2. Dapat digunakan dengan atau tanpa filler
3. Dapat digunakan untuk menyambungkan hampir semua jenis logam, termasuk penyambungan logam yang jenisnya berbeda.
4. *Heat input control* yang lebih presisi

Kelemahan pada las TIG ;

1. Membutuhkan skill pengelasan yang lebih baik
2. Jika kecepatan pengelasan dan kecepatan filler tidak stabil, area *welding* akan tidak presisi.

2.4.5 *Filler metal* (ER 5356)

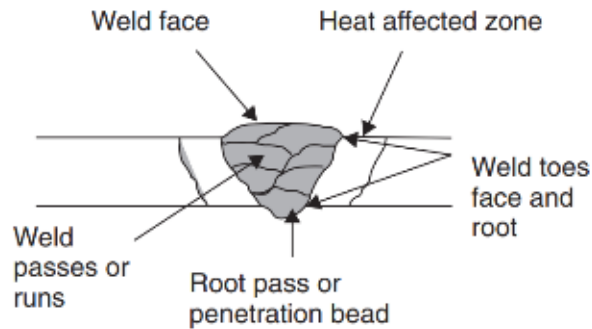
Filler (logam pengisi) digunakan pada jenis pengelasan TIG. Beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan filler untuk pengelasan yaitu :

- Kemudahan Pengelasan
- Kekuatan tarik dan geser dari hasil las
- Ketangguhan hasil las
- Temperatur yang digunakan
- Ketahanan korosi

Paduan Al 6xxx sebaiknya tidak dilas dengan menggunakan paduan itu sendiri sebagai filler atau tanpa filler sama sekali karena akan menimbulkan retakan. ER 5356 merupakan salah satu filler yang digunakan untuk pengelasan Al 6061. Ketika digunakan untuk pengelasan paduan 6061, kandungan magnesium dari 6061 akan bercampur membentuk campuran Al-Si-Mg pada logam las sehingga meningkatkan ketangguhan akibat magnesium yang tinggi namun menjadi lebih sensitif terhadap *crack*. Campuran baru dari logam las ini akan memberi kekuatan Tarik hingga 207 Mpa pada hasil pengelasan base metal 6061-T6.

2.4.6 *HAZ* (Heat Affected Zone)

Pada hasil pengelasan, terdapat beberapa area penting yang terdampak oleh panas hasil las yang kita sebut dengan *HAZ*. Pada *HAZ*, terdapat perubahan struktur mikro maupun sifat mekanis dimana semakin besar panas yang timbul saat pengelasan maka semakin besar *HAZ* sehingga makin banyak area yang terkena dampak dari panas hasil las tersebut (Mathers, 2002).



Gambar 2.7 Bagian-Bagian Hasil Pengelasan

Pada pengelasan terdapat beberapa area penting (Mathers, 2002), yaitu :

1. WZ (*welding Zone*) yaitu area yang menyatu antar spesimen pada hasil las atau samungan las.
2. HAZ (*Heat Affected Zone*) yaitu daerah yang tidak secara langsung terlibat dalam hasil las namun daerah ini hanya terkena efek panas pengelasan.
3. BM (*Base Metal*) Bahan logam utama yang dilakukan pengelasan.

2.5 Plasma

Plasma banyak digunakan dalam proses modifikasi properti dari permukaan sebuah material. Teknologi proses plasma sangat penting dalam industri manufaktur dalam bidang aerospace, otomotif, biomedis, dan lain-lain (Fridman, 2008). Plasma dapat didefinisikan sebagai gas yang terionisasi yaitu proses terlepasnya elektron suatu atom atau molekul dari ikatannya (Nur, 2011). Terdapat beberapa macam gas yang dapat digunakan untuk proses plasma, diantaranya yaitu gas Oxygen, gas Nitrogen dan gas Argon.

2.5.1 Sistem pembangkit plasma DC Glow Discharge dan RF Glow Discharge

Pada Plasma DC Glow Discharge (lucutan gas) terjadi ionisasi dari gas diantara elektroda. Prosesnya yaitu elektron yang dipancarkan elektroda akan menumbuk atom gas karena adanya percepatan oleh medan listrik. Tumbukan yang terjadi diantaranya yaitu tumbukan inelastik sehingga menghasilkan eksitasi dan ionisasi dari atom gas. Selain eksitasi, akan terjadi deeksitasi yang akan memancarkan radiasi dan menghasilkan lucutan sedangkan ionisasi menghasilkan ion dan elektron. Pada permukaan katoda, akan terjadi pelepasan elektron akibat tumbukan yang terjadi. Van der mullen 2002.

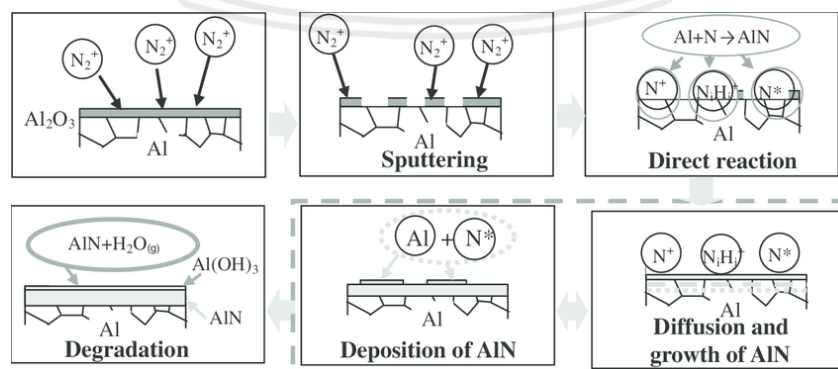
Plasma RF Glow discharge menggunakan arus bolak balik AC untuk membangkitkan plasmanya pada frekuensi gelombang radio yang sering digunakan yaitu $13,56 \times 10^6$ Hz (range $10^5 - 10^8$ Hz). Plasma RF dapat digunakan untuk proses deposisi maupun etching serta nitriding pada material non konduktor yang tidak dapat dilakukan oleh DC Plasma. Pada proses RF discharge, terjadi tumbukan elastik antara partikel bermuatan dan gas atmosfer yang digunakan sehingga diperoleh derajat ionisasi dan disosiasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan DC Glow Discharge. Lister 1994

2.5.2 Plasma nitriding

Plasma nitriding merupakan metode *surface hardening* selain gas nitriding dan salt-bath nitriding yang menggunakan *glow discharged* untuk memasukkan nitrogen pada permukaan logam fero yaitu besi dan stainless steel maupun logam non fero seperti Aluminium, tembaga, dan lain-lain yang selanjutnya berdifusi kedalam material. Pada kondisi vakum, energi listrik tegangan tinggi digunakan untuk membentuk plasma, dimana ion nitrogen dipercepat untuk menumbuk benda kerja kemudian terjadi *bombardment* pada benda kerja tersebut. Perbedaan mendasar antara gas nitriding dan *plasma nitriding* adalah mekanisme yang digunakan untuk memasukkan nitrogen pada permukaan benda kerja (Davis, 2002).

Penelitian yang dilakukan oleh Rahayu pada tahun 2017 menggunakan pahat bubut HSS sebagai bahan dari spesimen yang dilakukan proses powder nitriding serbuk urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) sebagai penghasil nitrogen yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan tebal lapisan yang terbentuk. Standar nilai kekerasan pahat bubut HSS berkisar 58-64 HRC (746 Hv) dan setelah dilakukan proses powder nitriding mendapatkan nilai kekerasan 876 HV. Lapisan nitride yang terbentuk pada permukaan akan membentuk senyawa FeN yang memiliki struktur martensit namun butirnya lebih halus sehingga nilai kekerasan lebih tinggi. (Rahayu *et al.*, 2017)

Sebelum dilakukannya proses *plasma nitriding*, terlebih dahulu dilakukan proses pre-Treatment yang disebut *Pre-sputtering* yang bertujuan untuk membersihkan permukaan substrat. Jika proses *plasma nitriding* dilakukan tanpa pre sputtering, spesies N_2^+ yang akan berdifusi akan dihalangi oleh lapisan aluminium oksida. Visuttipitukul melakukan proses *plasma nitriding* DC dengan didahului oleh proses *pre-sputtering* menggunakan spesimen cast Aluminium billet. *Pre-sputtering* selama 3 jam dan temperatur sebesar 550°C dapat menghilangkan Al_2O_3 yang ditandai dengan terbentuknya AlN pada permukaan Aluminium dan meningkatnya nilai kekerasan secara ekstrim setelah proses *plasma nitriding*. Penelitian lain yang menggunakan gas Argon untuk *cleansing* atau pembersihan lapisan oksida pada aluminium dengan perbandingan komposisi tertentu meamnfat efek *bombardment* dari Argon. Lopez menggunakan gas argon selama 30 menit sebelum proses PIII nitriding silinder Al 6061 dan Zheng mendapatkan hasil kekerasan tertinggi dengan campuran Nitrogen dan Argon 3:1 pada *DC Nitrogen Arc Plasma* menggunakan sampel aluminium seri 1050 . Mekanisme *nitriding* yang didahului oleh proses *pre-sputtering* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

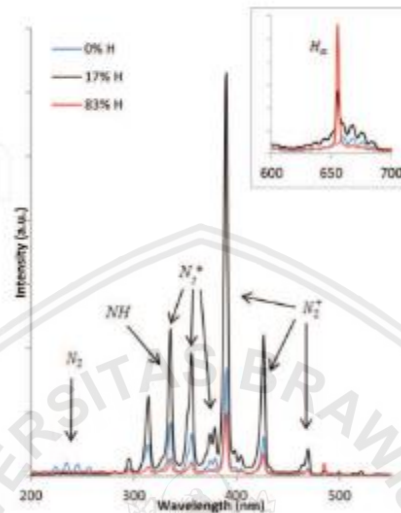


Gambar 2. 8 Mekanisme *Plasma nitriding* pada Cast Aluminium

2.5.3 Pengaruh campuran gas nitrogen pada *plasma nitriding*

Komposisi gas yang digunakan saat proses Nitriding berperan terhadap mechanical properties dari spesimen logam. Aizawa dan Farghali pada tahun 2017 menggunakan pure iron

yang memiliki dimensi $30 \times 10 \times 0.1 \text{ mm}^3$ sebagai spesimen dan plasma RF/DC dengan Hollow Cathode pada proses Nitriding, serta campuran gas 0%, 17% dan 83% Hidrogen mendapatkan hasil spesies N_2^+ paling tinggi pada 17% gas nitrogen (Aizawa, 2018). Jika sebelumnya komposisi yang digunakan adalah Hidrogen : Nitrogen maka terdapat gas lain yang bisa digunakan sebagai campuran yaitu gas Helium : Nitrogen maupun Ar : N. Peak dari nitrogen aktif yang terbentuk diamati dengan menggunakan EOS (Emmressive Light Optical Spectroscopy) dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 Spesies Aktif Nitrogen dengan proporsi campuran H:N

Penelitian lain dilakukan oleh Wasa yang menggunakan bahan AISI 316 Pipe tahun 2016 namun tanpa didahului proses pre sputtering dan AISI 420 tahun 2017 juga menggunakan perbandingan komposisi gas Nitrogen & Hidrogen sebagai campuran saat proses *plasma nitriding*. Gas hidrogen akan memberikan efek lain yang tidak dapat diperoleh jika menggunakan campuran gas helium ataupun Argon.

2.6 Kekerasan (*Hardness*)

2.6.1 Definisi kekerasan

Hardness (Kekerasan) dalam dunia Industri merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan tusukan (penetrasi) ketika terjadi kontak dengan beban dari luar. Kekerasan juga dapat dikatakan kemampuan untuk menahan deformasi (Czichos, Saito and Smith, 2006). Secara umum, nilai kekerasan dapat dinyatakan dengan melihat geometri dari jejak yang berasal dari indenter ketika dilakukan pengujian pada material.

2.6.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi kekerasan pada pengelasan

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan baik itu diakibatkan faktor internal (kondisi material) itu sendiri maupun adanya *treatment* yang dilakukan. Beberapa hal yang mempengaruhi nilai kekerasan diantaranya:

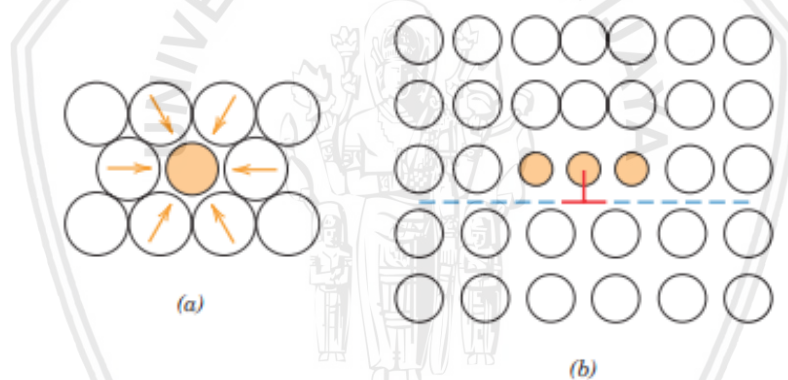
1. Unsur paduan
2. Bentuk dan dimensi butir
3. Homogenitas
4. Kecepatan pendinginan
5. Perlakuan panas (*Heat treatment*)

Pengelasan akan melibatkan temperatur tinggi sehingga terjadi *melting* yang mengakibatkan perubahan pada butir serta homogenitas spesimen yaitu terjadi pertumbuhan butir yang menyebabkan nilai kekerasan menjadi lemah (Yun, Zou and Wang, 2017). Sementara itu, proses *plasma nitriding* akan terjadi presipitasi pada temperatur tertentu dan terjadi difusi atom N dari permukaan sepanjang kedalaman tertentu akibat dari pengaruh durasi *plasma nitriding*. Difusi atom N ini yang akan mengisi celah kosong (interstisi). Hal ini menyebabkan terjadi perubahan struktur sehingga menghalangi dislokasi pada area-area difusi N (Istiroyah, Wardana and Santjojo, 2013).

2.6.3 Mekanisme pengerasan

Logam dapat menjadi lebih keras akibat adanya hambatan pada pergerakan dislokasi. Beberapa mekanisme / teknik yang dapat dilakukan diantaranya penguatan batas butir (*grain boundary strengthening*), Penguatan larutan padat (*solid solution strengthening*), pengerasan regang (*strain hardening*) dan penguatan presipitat (*precipitation strengthening*).

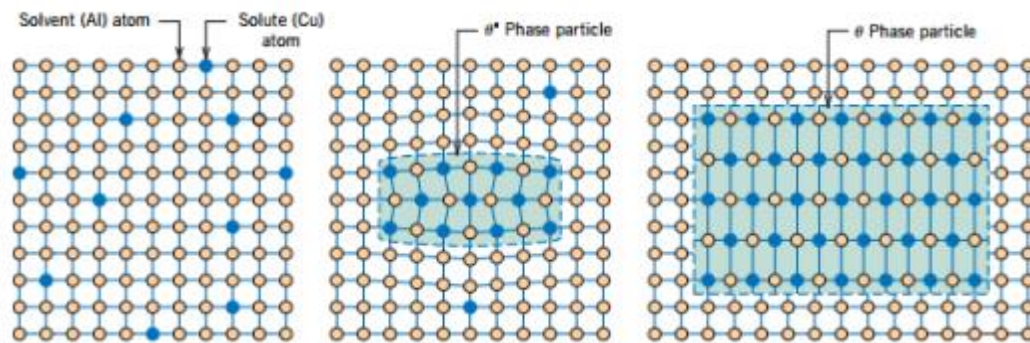
Unsur paduan akan mempengaruhi kekuatan logam karena unsur paduan tersebut akan masuk pada posisi interstisi atau substitusi dari logam induk. Atom dari unsur paduan yang berukuran lebih kecil dibanding atom logam induk akan mengakibatkan adanya regangan pada kisi akibat adanya perbedaan ukuran dari atom.



Gambar 2.10 Mekanisme Solid-Solution Hardening akibat interstisi

Pada aluminium, atom akan terjadi regangan kisi setelah adanya interstisi dari atom yang lebih kecil (nitrogen) setelah proses *plasma nitriding*. Mekanisme terjadinya regangan kisi tersebut dapat digambarkan pada ilustrasi diatas. Pada gambar 2.11 (a), unsur paduan yang berukuran lebih kecil berada diantara logam induk yang memiliki ukuran lebih besar sehingga terjadi regangan kisi. Sementara itu gambar 2.11 (b) menampilkan posisi atom pada posisi yang akan mengalami pergerakan dislokasi.

Sementara itu, *heat treatment* juga berpengaruh pada proses pengerasan yaitu penguatan presipitat (*precipitation strengthening*). Hal ini disebabkan kondisi pemanasan pada temperatur tertentu (*recovery temperatur*) pada durasi tertentu akan mendorong atom-atom yang terperangkap dalam matriks logam induk untuk keluar, lalu beraksi dengan atom lain membentuk senyawa intermetalik dan membentuk presipitat (Callister and Rethwisch, 2014).



Gambar 2.11 Mekanisme pembentukan kesetimbangan fasa presipitasi Al - Cu

2.6.4 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut :

1. Cara Brinell

Pengujian dengan cara Brinell merupakan metode yang simple untuk mengetahui nilai kekerasan dari sebuah bahan. Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban yang konstan sebesar 500-3000 kgf pada rentang waktu 10-30 detik. Indentor yang digunakan merupakan Bola berbahan Tungsten Carbide (diameter 5 atau 10 mm) dengan wilayah pengujian merupakan permukaan yang datar.

Setelah indentor diuji dengan selang waktu tertentu, jejak geometri yang terbentuk pada sampel uji akan diukur dengan skala mm (Groenendijk and van der Linde, 1986). Bekas yang ditimbulkan diukur dan kekerasannya dihitung dengan rumus :

$$BHN = \frac{2P}{\pi \times D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2-4)$$

dengan :

BHN : Angka kekerasan Brinell (kg/mm²)

P : beban yang dikenakan (kg)

D : diameter bola baja (mm)

d : diameter bekas tusukan (mm)

Pengujian kekerasan dengan cara brinell biasanya menggunakan electrical brinell Hardness tester (mesin uji kekerasan brinell). Pengujian ini harus dilakukan pada permukaan yang halus dan datar, kerak dan kotoran pada permukaan benda uji dapat mengakibatkan pengujian gagal. Kelebihan menggunakan metode Brinell yaitu mudah dilakukan, biaya relatif murah, menghasilkan jejak yang relatif kecil. Sementara itu kelemahannya tidak dapat menggunakan metode Brinell dengan ukuran permukaan tipis, tidak dapat dilakukan pada logam dengan tingkat kekerasan tinggi

2. Cara Vickers

Prinsipnya sama dengan pengujian brinell, hanya saja menggunakan indentor yang berbentuk piramid beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara 2 sisi berhadapan 136⁰ (Czichos, Saito and Smith, 2006). Skema pengujian kekerasan Vickers dapat dilihat pada gambar 2.9.

Metode ini merupakan cara pengujian kekerasan yang paling sensitif. Cara ini memiliki satu skala kontinyu untuk semua material dan angka. Kekerasan vickers tergantung dari beban yang

diberikan. Sangat memungkinkan sekali penggunaan beban ringan pada pengujian vickers. Oleh karena itu cara itu hanya digunakan untuk pengujian kekerasan pada material yang tipis sampai 0,005 in.

Kelebihan cara Vickers :

- Tingkat ketelitian tinggi
- Spesimen yang digunakan tidak mengalami kerusakan
- Memberikan hasil berupa skala yang kontinyu untuk suatu bahan tertentu.

Kekurangan cara Vickers :

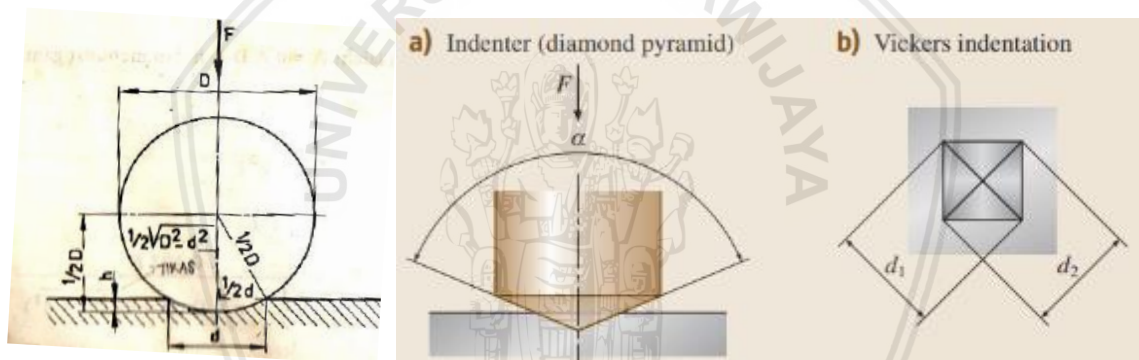
- Waktu operasi relatif lama
- Proses pengerjaan relatif rumit
- Alat yang digunakan harganya mahal

$$VHN = \frac{1,8544 P}{d^2}$$

dengan :

P : Beban yang diberikan (kg)

d : Panjang diagonal jejak (mm)



Gambar 2.12 Prinsip Pengujian Brinell dan Vickers a) Indentor b) Indentasi dari vickers

3. Cara Rockwell

Pengujian kekerasan dengan rockwell tidak berbeda jauh dengan metode Brinell maupun Vickers. Indentor yang digunakan berbentuk bola baja maupun pyramid. Terdapat 2 mode yang dapat digunakan untuk pengujian pada bahan yang relative keras seperti baja karbon tinggi dan bahan yang relative lunak seperti aluminium. Pada plat aluminium yang diuji menggunakan *rockwell*, digunakan bola baja berukuran 1/16 inch dengan menggunakan skala HR15T. Skala penggunaan dapat dilihat pada lampiran.

Kelebihan menggunakan metode rockwell

- Mudah dilakukan
- Biaya lebih murah
- Jejak yang dihasilkan relatif kecil

Kekurangan menggunakan metode rockwell

- Ketelitian yang kecil
- Tidak dapat dilakukan pada sampel dengan tingkat kekerasan sangat rendah

BAB III

Kerangka Konsep Penelitian

3.1 Konsep Berpikir

Komponen otomotif khususnya pada piston membutuhkan material yang memiliki daya guna tinggi dan fleksibilitas ketika dilakukan proses permesinan. Paduan Fe banyak digunakan karena memiliki kekuatan yang baik namun memiliki kelemahan pada massa jenis dan ketahanan korosi, sementara itu komposit polimer & serat alami serta keramik mulai dikembangkan di industri otomotif walaupun memiliki kelemahan terbesar pada kekakuan dan kekerasannya. Paduan Al banyak digunakan karena massa jenis yang ringan sehingga akan mereduksi konsumsi bahan bakar, memiliki ketahanan korosi yang baik, memiliki kekuatan mekanik (kekuatan Tarik) yang baik, namun memiliki kelemahan pada kekerasan.

Pembuatan piston umumnya menggunakan metode pengecoran (*casting*), penempaan (*forging*), dan serbuk (*powder metallurgy*). Selain itu terdapat alternatif metode lain yaitu menyambungkan dua silinder dengan pengelasan. Akan tetapi, pengelasan memiliki kelemahan akibat prosesnya menggunakan temperatur tinggi sehingga akan menurunkan nilai kekerasan dari logam yang dilas.

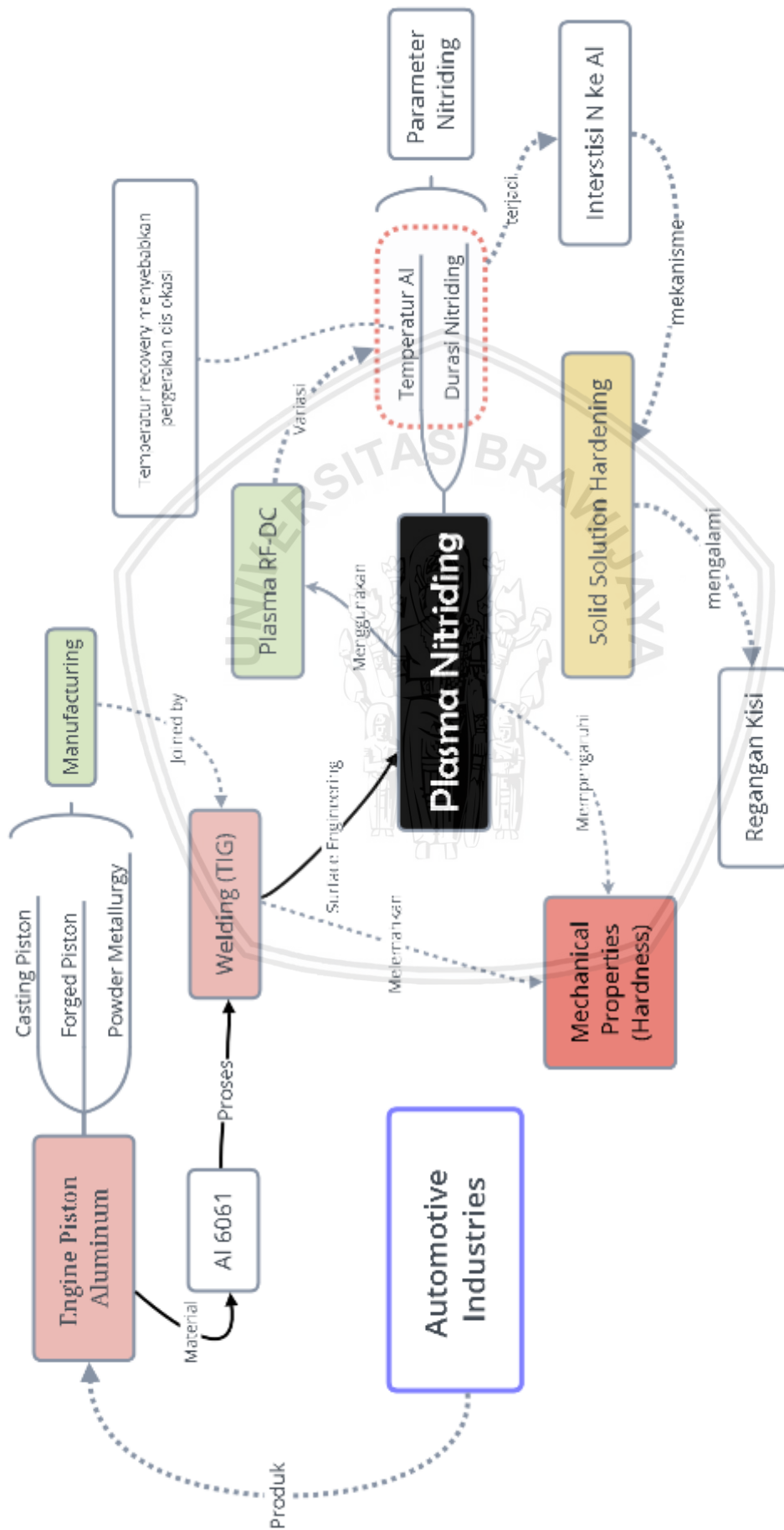
Nilai kekerasan pada area las akan menurun dikarenakan adanya perubahan temperatur sehingga terjadi perubahan mikrostruktur pada area las. Perbedaan nilai kekerasan antara *base metal*, *HAZ* dan *welding Zone* akan menyebabkan perbedaan kualitas logam yang dilakukan penyambungan. Perbedaan kualitas ini akan berdampak buruk ketika terjadi pembebebanan pada titik terlemah dari joint sehingga akan menyebabkan terjadi *crack*.

Surface engineering bertujuan untuk memperbaiki kondisi permukaan material, diantaranya adalah nitriding, carburizing, flame *hardening* dan lain-lain. *Plasma nitriding* merupakan salah satu metode nitriding yang dapat digunakan untuk memperbaiki kelemahan nilai kekerasan setelah proses pengelasan. Proses ini memanfaatkan gas nitrogen yang terionisasi, kemudian ion N tersebut tersebar ke permukaan Aluminium dan akan mengisi kisi dari aluminium. Hal ini menahan pergerakan dislokasi sehingga mengurangi deformasi yang terjadi. *Plasma nitriding* merupakan salah satu metode nitriding selain gas nitriding ataupun pack nitriding yang dapat digunakan karena proses yang mudah dan tidak memerlukan energi yang terlalu besar karena temperatur yang terlalu tinggi.

3.2 Hipotesis

Perubahan temperatur Al pada proses *plasma nitriding* meningkatkan energi pada butir spesimen yang menyebabkan pergerakan dislokasi pada sambungan las Al 6061 semakin besar dan memberikan kesempatan untuk terjadinya interstisi nitrogen. Selain itu, durasi nitriding yang lebih lama akan memberikan kesempatan diusi nitrogen lebih merata. Hal ini diduga akan meningkatkan *mechanical properties* khususnya nilai kekerasan dari sambungan las Al 6061.

3.3 Kerangka Konseptual



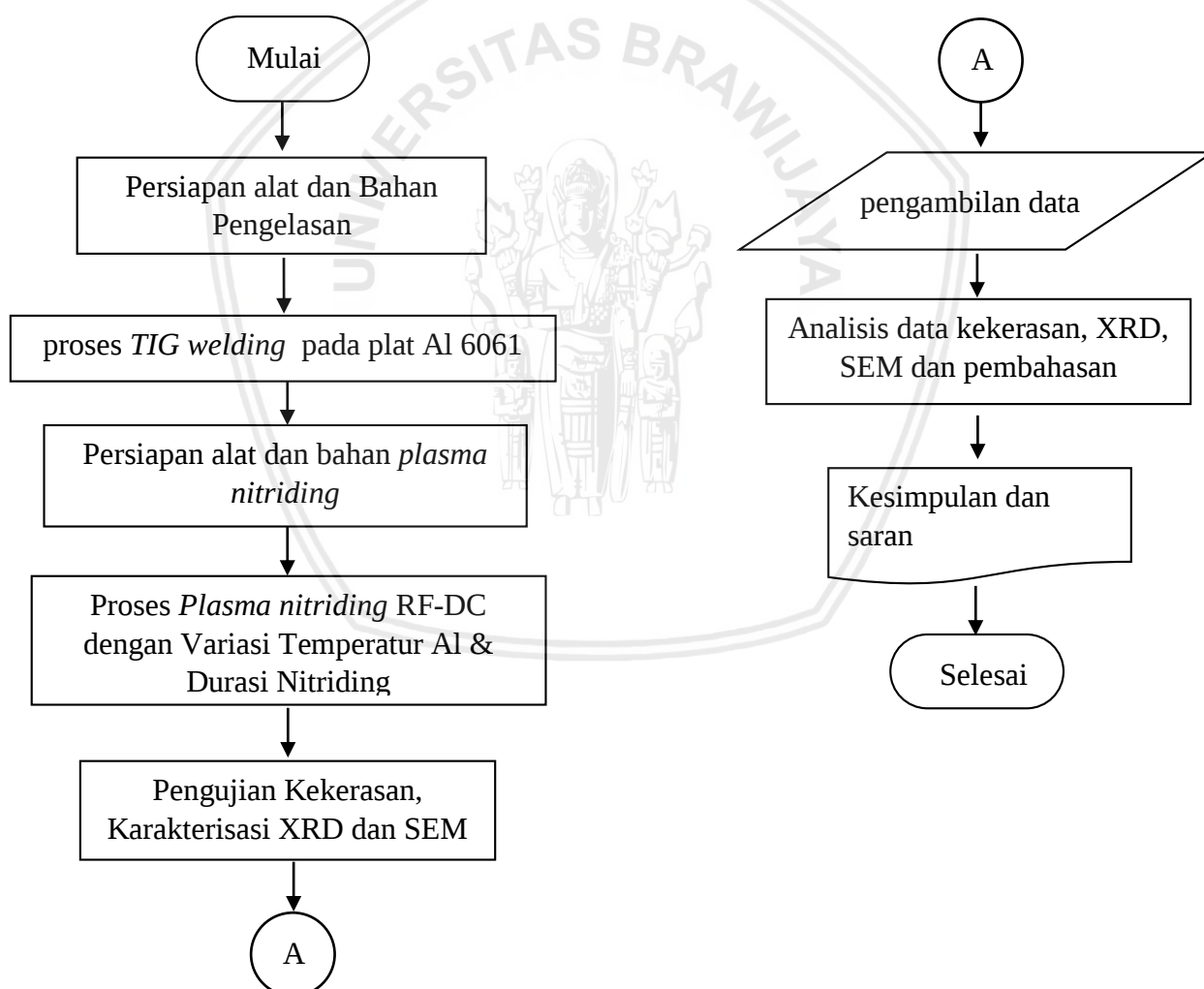
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April – Juli yang bertempat di Bengkel Las VEDC untuk proses pengelasan dan di Laboratorium Plasma Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya untuk proses *plasma nitriding*. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Sementara itu, pengujian kekasaran menggunakan TMS dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Fisika Universitas Brawijaya dan karakterisasi SEM & XRD dilakukan di LSIH Universitas Brawijaya.

4.2 Eksperimen

4.2.1 Flowchart penelitian



Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur terhadap hasil pengelasan dan *plasma nitriding*. Selanjutnya dilakukan persiapan pengelasan yaitu menyiapkan alat pengelasan TIG dan spesimen Al 6061 berbentuk plat dengan ukuran 200 x 50 x 5 mm.

Kedua sisi dari permukaan spesimen kemudian dibersihkan dengan menggunakan kertas gosok mesh 400, 800, 1200 lalu di las secara horizontal. Pada proses selanjutnya, dilakukan persiapan spesimen untuk nitriding yaitu meratakan permukaan spesimen dengan grinding dan pembersihan dengan cara penggosokan. Spesimen lalu dibersihkan menggunakan ultrasonic cleaner kemudian dilakukan *pre-sputtering* yang diikuti *plasma nitriding* dengan variasi temperatur 150, 160, 170, dan 180°C dan durasi nitriding 120, 180, dan 240 menit.

Setelah proses *plasma nitriding*, spesimen disiapkan untuk pengujian kekerasan, kekasaran serta karakterisasi menggunakan XRD dan SEM. Data yang diperoleh dari pengujian dan karakterisasi tersebut diolah dengan membuat grafik pengaruh temperatur dan durasi nitriding serta dianalisis terhadap hasil XRD & SEM. Setelah melakukan analisis, dibuat kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

4.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan merupakan Aluminium 6061 (Al – Mg – Si) berbentuk plat dengan dimensi 5 x 50 x 200 mm. (terlampir)

4.2.3 Proses pengelasan

Pengelasan menggunakan mesin TIG dengan alat seperti dibawah ini :



Gambar 4.2 Rangkaian Mesin Las TIG

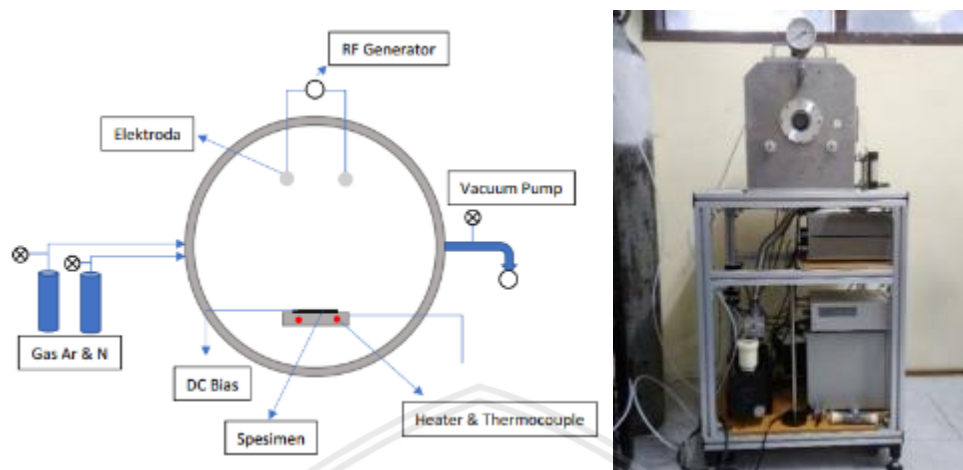
Saat proses pengelasan, dilakukan monitoring hasil las terutama timbulnya terak maupun *defect* lain. Setelah proses pengelasan, sampel didiamkan diudara terbuka sebagai proses pendinginan sebelum dilakukan proses selanjutnya. Proses pengelasan TIG akan dilakukan dengan parameter (variabel terkontrol) seperti dibawah ini :

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan TIG

Parameter	Besar
Kuat Arus	150 A
Kecepatan Pengelasan	10 mm / s
Debit Gas Pelindung (Argon)	9 liter / menit
Posisi Stang las	70°
Diameter elektroda (ER 5356)	2.4 mm
Jarak Antar Spesimen	2 mm
Jarak ujung elektroda – benda kerja	2 mm

4.2.4 Plasma nitriding

Proses nitriding dilakukan dengan metode *plasma nitriding RF-DC* menggunakan alat seperti dibawah ini :



Gambar 4.3 Skema *Plasma nitriding*

Mula-mula spesimen dengan dimensi 5 x 100 x 20 mm yang telah dibersihkan dengan penggosokan dimasukkan kedalam chamber dan divakum. Selanjutnya, dilakukan proses *pre-sputtering* dengan tujuan untuk menghilangkan laisan Al_2O_3 diikuti proses nitriding dengan parameter seperti tabel di bawah ini :

Tabel 4.2 Parameter Plasma RF/DC

Parameter	<i>Pre-sputtering</i>	<i>Plasma nitriding</i>
Pressure (Pa)	100	200
Flowrate Gas Nitrogen (ml/menit)	-	100
Flowrate Gas Argon (ml/menit)	30	30
Temperatur Spesimen	150, 160, 170, 180 °C	150, 160, 170, 180 °C
Durasi (menit)	30	120, 180, 240
Tegangan RF (V)	-	120
Tegangan DC (V)	250	500

4.2.5 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan Rockwell *Hardness Tester* dengan Spesimen berukuran 50 x 20 x 5 mm mm. Spesifikasi alat uji Rockwell *Hardness Tester* yaitu sebagai berikut ;

- Pembebanan : 15 Kgf
- Indentor : Ball 1/16 Inch
- Scale : HR15T
- XY Tabel : 100 x 100 mm
- Max Tinggi & Lebar Spesimen : 70 mm & 95 mm
- Input Voltage : 110V/220V, 60/50 Hz

Alat pengujian kekerasan Rockwell *Hardness Tester* yang digunakan dapat dilihat seperti gambar berikut ini :



Gambar 4.4 Rockwell *Hardness* Tester

4.2.6 Pengujian Kekasaran

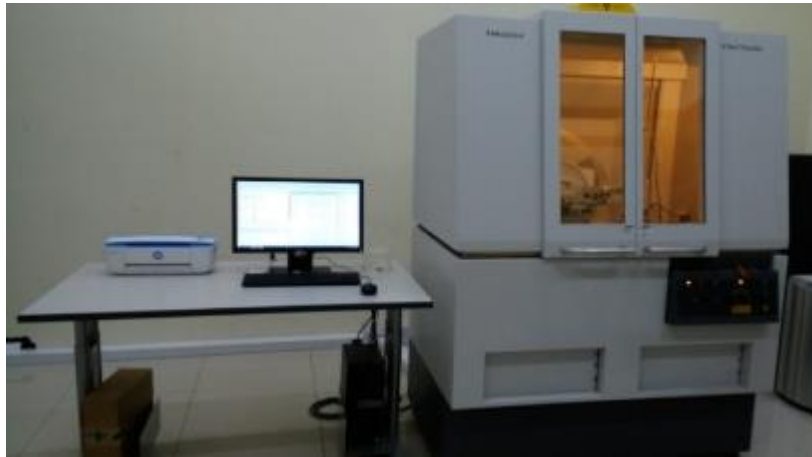
Pengamatan kekasaran menggunakan TMS (Topography Measurement System) dengan focus pada *sambungan las area*. Data yang diambil merupakan data S_a yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekasaran rata-rata area pada sampel.



Gambar 4.5 TMS

4.2.7 Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD menggunakan tipe Panalytical X'Pert³ Powder menggunakan sinar Cu-K α ($\lambda = 1,541838 \text{ \AA}$) dengan pengambilan *range* 2θ yaitu $15^\circ - 90^\circ$. Karakterisasi XRD ini dilakukan untuk mengetahui fase pada *sambungan las* Al 6061 setelah dilakukan proses *plasma nitriding*.



Gambar 4.6 XRD tipe Panalytical X'Pert³ Powder

4.2.8 Karakterisasi SEM

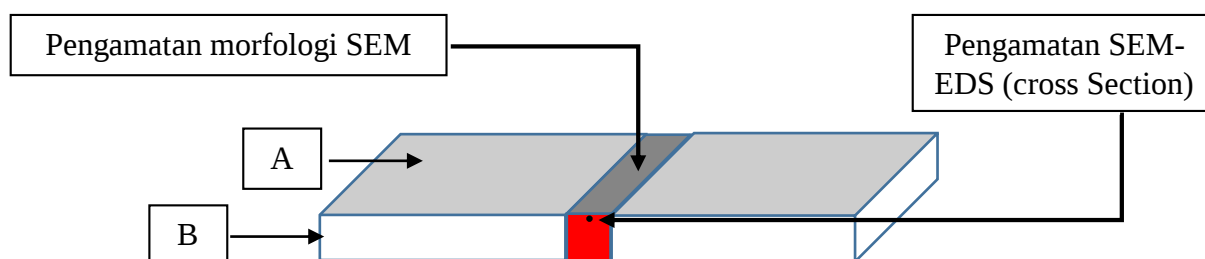
Karakterisasi SEM dilakukan pada area permukaan dan area cross-section sambungan las sampel plat Aluminium menggunakan tipe FEI QUANTA 650 FEG. Tipe ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Mode tekanan variabel (VP) : 100 Pa – 200 Pa
- Tegangan percepatan : 200 V – 30 Kv
- Resolusi *Electron Beam (low vacuum)* :
 - o 1,4 nm pada 30 kV (SE)
 - o 2,5 nm pada 30 kV (BSE)
 - o 3,0 nm pada 3 kV (SE).



Gambar 4.7 SEM tipe FEI QUANTA 650 FEG

Karakterisasi SEM ini dilakukan untuk mengetahui kondisi permukaan pada sampel yang telah dilakukan proses *plasma nitriding* melalui metode pengambilan pada *surface area* dan *cross-section*. Design pengamatan morfologi SEM dan *cross-section* untuk SEM-EDS ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4.8 Desain area pengujian morfologi (SEM) dan *cross-section* (SEM-EDS)

Pengamatan morfologi dengan menggunakan SEM dilakukan pada sisi A (bagian atas) dari sampel tepat dibagian tengah yaitu bagian sambungan las. Kemudian untuk pengamatan SEM-EDS pada area *cross-section* dilakukan pada sisi B (bagian depan) tepat dibagian penanda titik hitam di tepi atas sampel untuk mengetahui kedalaman persebaran N setelah proses plasma nitriding

4.3 Pengambilan data

Variabel bebas yang digunakan yaitu pemilihan temperatur spesimen aluminium dan durasi *plasma nitriding*. Variasi tersebut dapat dilihat pada penamaan sampel sebagai berikut :

Tabel 4.3 Sampel Pengujian

Sampel	Durasi Nitriding		
	120 menit (1)	180 menit (2)	240 menit (3)
Temperatur 150°C (A)	A 1-1	A 2-1	A 3-1
	A 1-2	A 2-2	A 3-2
	A 1-3	A 2-3	A 3-3
Temperatur 160°C (B)	B 1-1	B 2-1	B 3-1
	B 1-2	B 2-2	B 3-2
	B 1-3	B 2-3	B 3-3
Temperatur 170°C (C)	C 1-1	C 2-1	C 3-1
	C 1-2	C 2-2	C 3-2
	C 1-3	C 2-3	C 3-3
Temperatur 180°C (D)	D 1-1	D 2-1	D 3-1
	D 1-2	D 2-2	D 3-2
	D 1-3	D 2-3	D 3-3

4.3.1 Pengolahan data nilai kekerasan

Setelah proses *plasma nitriding*, dilakukan pengambilan data nilai kekerasan sampel sebagai variable terikat. Pengambilan data kekerasan menggunakan alat uji Rockwell kemudian data tersebut dilakukan analisa dari perbandingan temperatur serta durasi nitriding yang dilakukan dengan dukungan pengamatan kekasaran dan karakterisasi SEM & XRD.

4.4 Timeline penelitian

Timeline penelitian dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4 Timeline Peneltian

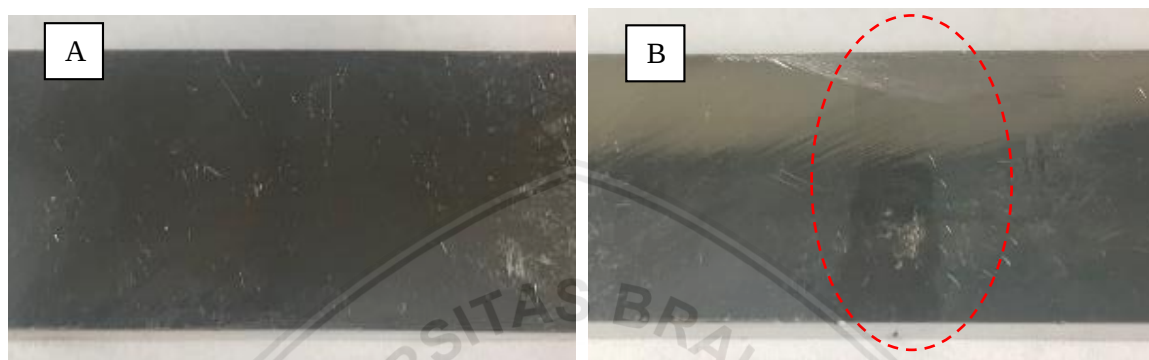
Kegiatan	Bulan (2019)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Juli	Agu	Sept	Okt	Nov	Des
Merumuskan masalah & Studi Literatur pengelasan Al dan <i>plasma nitriding</i>												
Persiapan Bahan												
Pelaksanaan Pengelasan dan <i>Plasma nitriding</i>												
Seminar Proposal												
Analisis data serta pembahasan												
Penulisan Jurnal dan Conference												
Seminar Hasil												
Ujian Thesis												

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Plasma nitriding dilakukan pada sampel yang telah dilas. Kondisi permukaan sampel sebelum *plasma nitriding* dan setelah proses *plasma nitriding* dapat dilihat pada gambar 5.1 dibawah ini :



Gambar 5.1 Perbandingan sampel (A) sebelum *plasma nitriding* dan (B) setelah *plasma nitriding*

Pada gambar 5.1 diatas menunjukkan adanya perubahan visualisasi permukaan dari sampel sebelum *plasma nitriding* (*untreatment*) dan setelah dilakukan *plasma nitriding*. Sampel *untreatment* terlihat cenderung kasar dan batas hasil pengelasan kurang jelas terlihat. Sementara itu, sampel yang telah dilakukan *plasma nitriding* terlihat lebih halus dan garis batas antara area las lebih terlihat yang ditunjukkan oleh lingkaran merah.

Plat aluminium sebagai raw material memiliki nilai kekerasan 67.4 HR15T kemudian pada sampel tanpa *plasma nitriding* dilakukan pengujian kekerasan pada daerah sambungan las dan mendapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 49.1 HR15T. Secara keseluruhan, dapat dilihat adanya penurunan nilai kekerasan setelah dilakukan proses pengelasan.

Penurunan nilai kekerasan ini sendiri dapat dipengaruhi beberapa hal diantaranya jenis filler yang digunakan, kondisi saat pengelasan dan treatment yang dilakukan setelah proses pengelasan aluminium tersebut.

Pada pengelasan yang telah dilakukan menggunakan filler dengan tipe ER5356 dan tanpa pemberian kampuh pada spesimen. Pemberian kampuh akan memberikan perbedaan hasil las dimana tanpa kampuh membutuhkan energi panas yang lebih besar untuk melelehkan bagian permukaan spesimen yang di las. Energi panas akan menimbulkan temperatur yang sangat tinggi yang akan mempengaruhi kondisi butir serta struktur dari aluminium yang dilas. Energi panas yang diperoleh dapat dihitung melalui persamaan berikut ini :

$$\text{Heat Input} = \frac{0.48 \times \text{Voltage} \times \text{Current}}{\text{Travel Speed}} = \frac{0.48 \times 22.6 \text{ V} \times 150 \text{ A}}{171.428 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}} = 9.492 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-1}$$

Travel speed (kecepatan pengelasan) yang cenderung pelan akan memperbesar masukan panas saat proses pengelasan sehingga temperatur yang terjadi juga akan semakin tinggi. Sementara itu tidak ada treatment yang dilakukan setelah pengelasan, spesimen yang telah selesai dilas didinginkan dengan temperatur lambat (temperatur ruangan 27°C). Pendinginan dengan temperatur ruangan ini akan mengakibatkan butir butir aluminium cenderung memiliki orientasi yang searah sehingga dislokasi pada

batas butir lebih mudah terjadi. Semakin mudah terjadinya dislokasi pada batas butir mengakibatkan penurunan kekuatan mekanik dalam hal ini penurunan nilai kekerasan.

5.2 Pengujian Kekerasan

5.2.1 Data hasil pengujian kekerasan sampel *plasma nitriding*

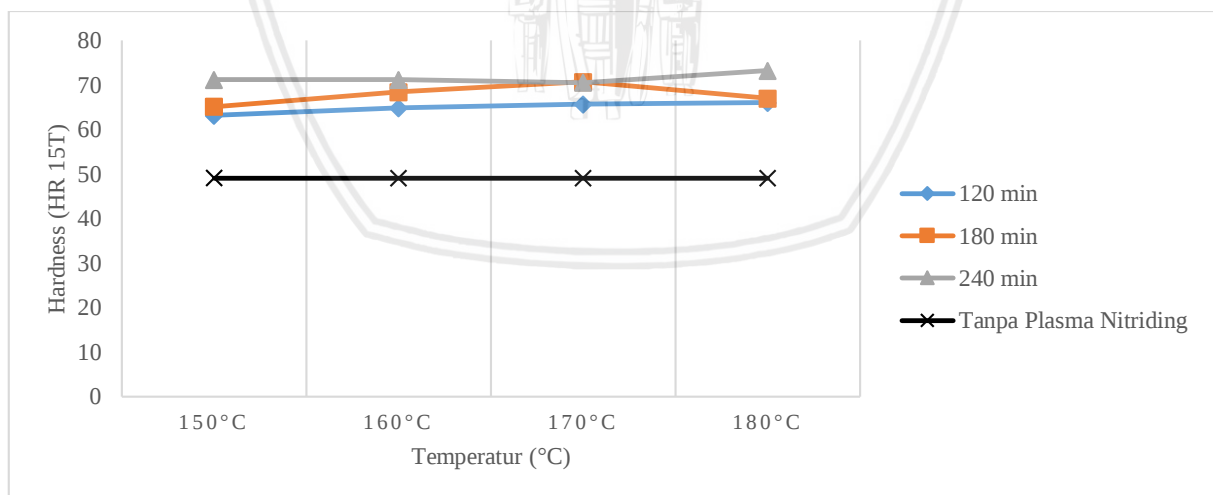
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Temperatur	Nilai kekerasan (HR15T)		
	120 menit	180 menit	240 menit
150 °C	63.16	65.13	71.20
160 °C	64.86	68.46	71.20
170 °C	65.70	70.73	70.53
180 °C	66.06	67.03	73.23

Tabel 5.1 diatas menunjukkan nilai nilai kekerasan rata-rata yang diperoleh setelah melakukan pengujian nilai kekerasan (skala HR15T) pada spesimen *plasma nitriding* dengan variasi temperatur aluminium sebesar 150°C, 160°C, 170°C dan 180°C. Variasi durasi nitriding yang dilakukan yaitu 120 menit, 180 menit dan 240 menit. Temperatur yang digunakan merupakan range temperatur *recovery* hingga range temperatur presipitasi. Temperatur *recovery* yaitu mekanisme *heating* dimana energi regangan yang tersimpan pada logam dilepaskan sehingga dislokasi mulai bergerak tanpa mengubah struktur butir logam yang berada pada kisaran 100°C – 200°C (Callister and Wiley, 2007).

5.2.2 Pengaruh Temperatur substrat Al terhadap nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061

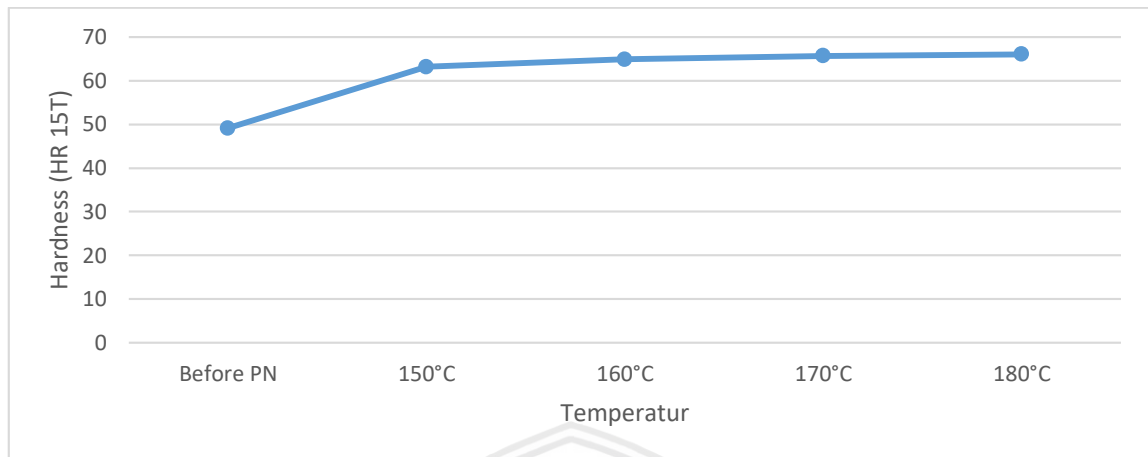
Perubahan nilai kekerasan sampel nitriding ditunjukkan seperti pada gambar grafik 5.2 dibawah ini :



Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Temperatur Substrat Al terhadap nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061 sebelum dan setelah proses *plasma nitriding*

Grafik diatas menunjukkan pengaruh temperatur aluminium dan durasi *plasma nitriding* terhadap nilai kekerasan sambungan las Al 6061 dibandingkan dengan nilai kekerasan sebelum proses *plasma nitriding*. Proses *plasma nitriding* yang dilakukan pada spesimen setelah proses pengelasan menggunakan temperatur 150°C hingga 180°C serta durasi selama 2 jam hingga 4

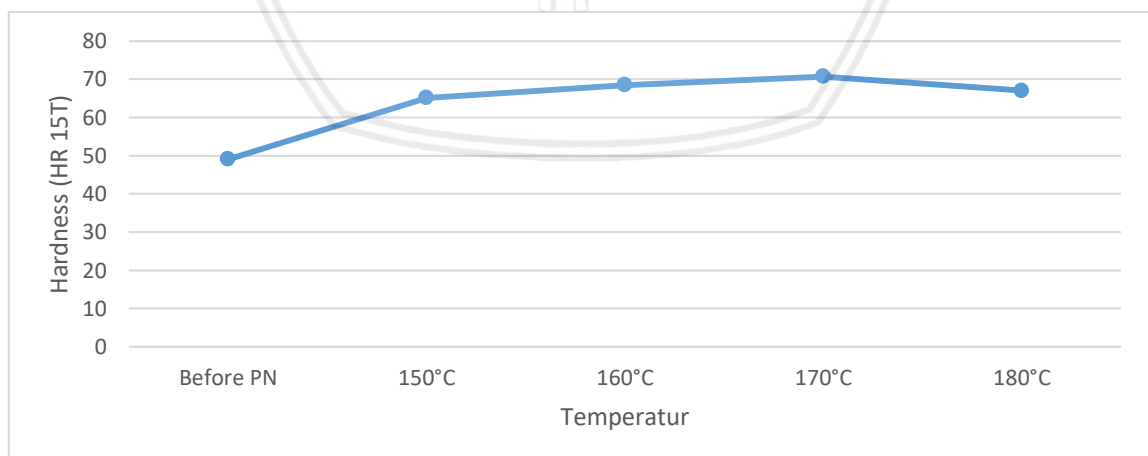
jam. Proses ini memberikan dampak pada nilai kekerasan sambungan las aluminium 6061 pada variasi durasi *plasma nitriding* 2 jam yang dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Temperatur Substrat Al terhadap nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061 pada proses *plasma nitriding* dengan durasi 2 Jam

Pada grafik diatas menunjukkan pengaruh temperatur substrat terhadap nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061 pada proses *plasma nitriding* dengan durasi 2 Jam. Seiring meningkatnya temperatur, nilai kekerasan pada area sambungan las aluminium juga meningkat. Hal ini dapat dilihat pada variasi temperatur 150°C mendapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 63.167 HR15T lalu meningkat ke 64.867 HR15T pada temperatur 160°C, meningkat ke 65.7 HR15T pada temperatur 170°C hingga 66.067 HR15T pada variasi temperatur tertinggi yaitu 180°C. Peningkatan nilai kekerasan setelah proses *plasma nitriding* cukup signifikan walaupun belum dapat mendekati standard nilai kekerasan produk piston.

Sementara itu pada variasi duarsi *plasma nitriding* selama 3 jam dengan perbedaan temperatur *plasma nitriding* antara 150°C hingga 180°C juga terjadi perubahan nilai kekerasan yang dapat kita lihat seperti pada grafik dibawah ini :

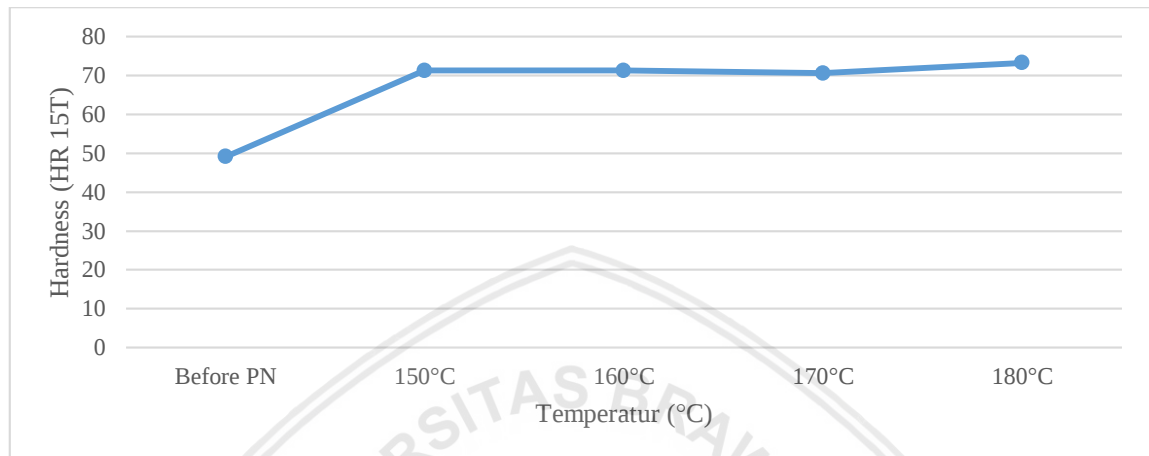


Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Temperatur Al terhadap Nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061 pada proses *plasma nitriding* dengan durasi 3 Jam

Pada grafik diatas menunjukkan pengaruh temperatur Al terhadap nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061 pada proses *plasma nitriding* dengan durasi 3 Jam. Pada durasi *plasma nitriding* selama 3 jam secara umum diperoleh peningkatan nilai kekerasan jika dibandingkan hasil *plasma nitriding* dengan variasi 2 jam. Peningkatan nilai kekerasan dari

65.133 HR15T ini juga terjadi seiring meningkatnya temperatur pada 150°C hingga temperatur 170°C dengan nilai kekerasan 70.733 HR15T. Namun pada temperatur 180°C, terjadi penurunan nilai kekerasan hingga nilai 67.033 HR15T.

Sementara itu, pada durasi *plasma nitriding* 240 menit mendapatkan perubahan nilai kekerasan yang hampir mirip dengan durasi *plasma nitriding* 180 menit seperti ditunjukkan pada grafik dibawah ini :



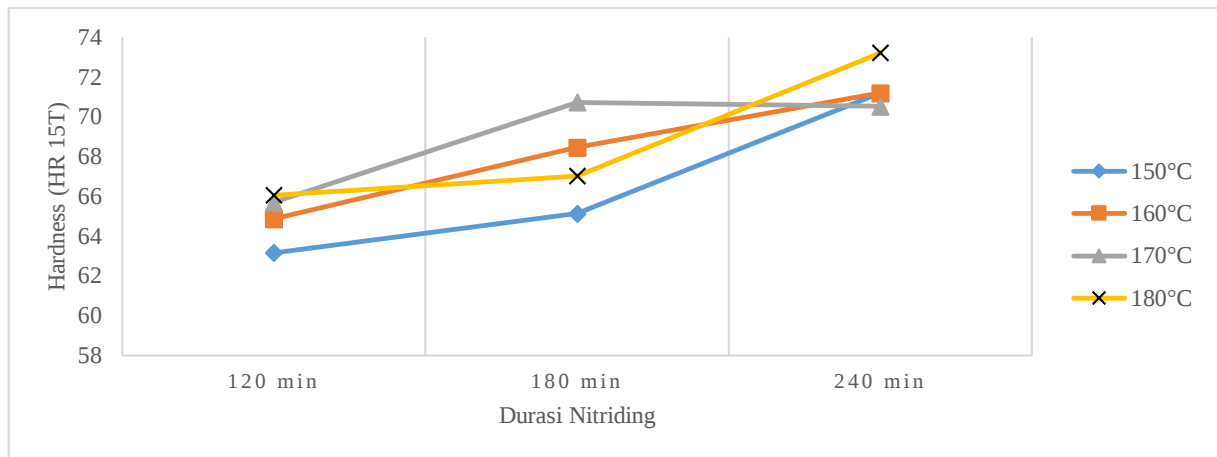
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Temperatur Al terhadap Nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061 pada proses *plasma nitriding* dengan durasi 4 Jam

Grafik diatas menunjukkan pengaruh temperatur Al terhadap nilai kekerasan sambungan las Al 6061 pada proses *plasma nitriding* dengan durasi 4 Jam. Pada grafik diatas dapat dilihat adanya kenaikan nilai kekerasan yang terjadi pada kondisi sampel tanpa *plasma nitriding* yaitu sebesar 49.1 HR15T hingga 71.2 HR15T pada variasi temperatur 150°C dan memiliki nilai kekerasan tetap pada temperatur 160°C. Selanjutnya terjadi penurunan nilai kekerasan ke 70.533 HR15T pada variasi 170°C dan kembali naik pada variasi 180°C mencapai 73.23 HR115T. Ketidakstabilan perubahan nilai kekerasan ini telah kita lihat pada grafik sebelumnya pada variasi 170°C selama 3 jam.

Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya perubahan menuju temperatur 170°C dimana secara umum temperatur 100°C hingga 200°C merupakan temperatur *recovery* logam (Callister and Rethwisch, 2014) dan pada temperatur 160°C adalah range mulai terbentuknya kondisi presipitasi. Pada gambar 5.4, penurunan nilai kekerasan yang terjadi salah satunya dipengaruhi pergerakan dislokasi yang terus terjadi pada butir selama proses pemanasan saat *plasma nitriding* berlangsung. Sementara itu, pada gambar 5.5, nilai kekerasan naik seiring kenaikan temperatur dari 170°C hingga temperatur 180°C yang kemungkinan diakibatkan oleh semakin mendekatnya batas temperatur rekristalisasi aluminium yang mulai terjadi di temperatur 200°C

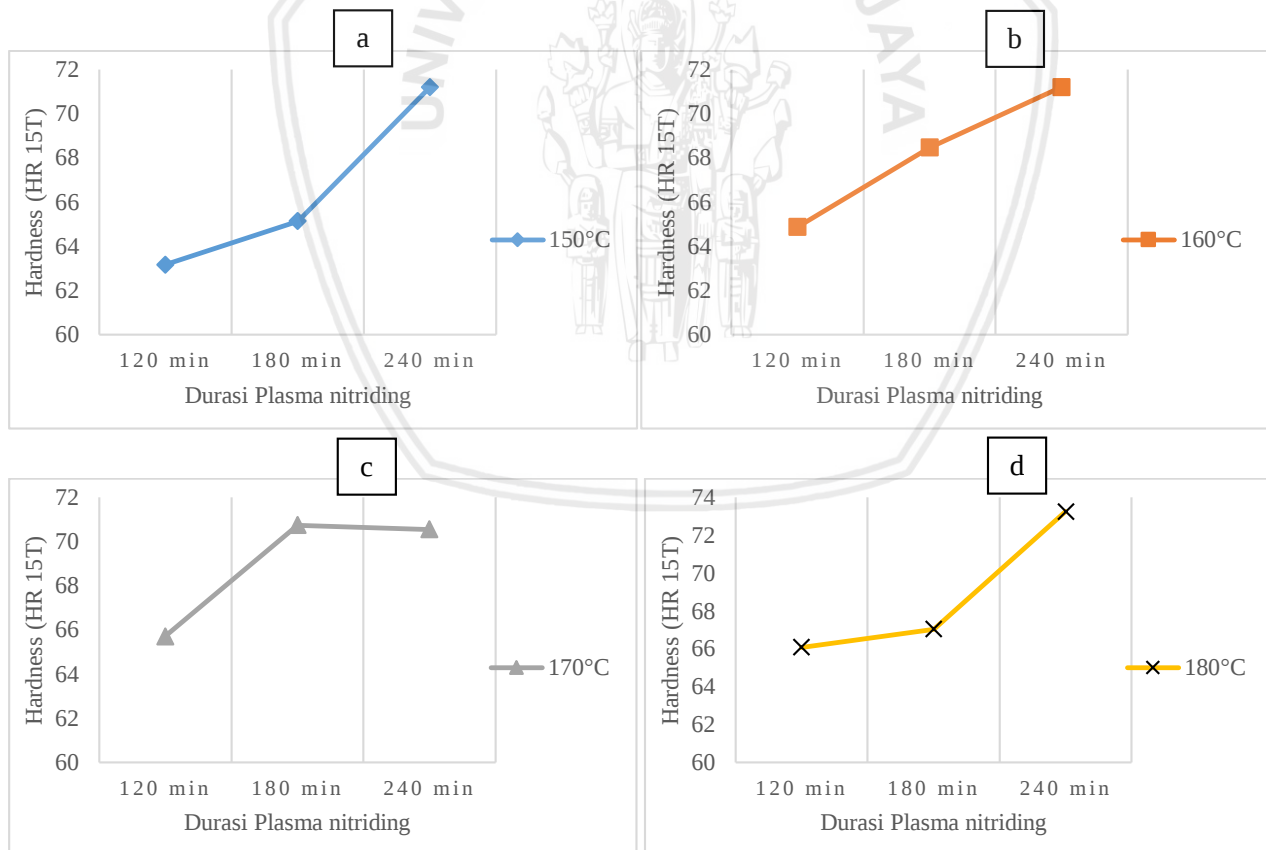
5.2.3 Pengaruh durasi nitriding terhadap Nilai kekerasan Sambungan las Al 6061

Perubahan nilai kekerasan sampel dengan variasi durasi nitriding ditunjukkan seperti pada gambar grafik 5.6 dibawah ini :



Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Durasi *Plasma nitriding* terhadap Nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061

Grafik 5.6 diatas menunjukkan pengaruh durasi *plasma nitriding* terhadap nilai kekerasan sambungan las TIG Al 6061. Secara keseluruhan, dapat dilihat adanya kenaikan nilai kekerasan seiring lamanya durasi *plasma nitriding*. Namun, terdapat penurunan nilai kekerasan ketika durasi *plasma nitriding* 180 menit ke 240 menit pada variasi temperatur 170°C.



Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Durasi *Plasma nitriding* terhadap Nilai kekerasan dengan Temperatur a)150°C, b)160°C, c)170°C dan d)180°C

Gambar diatas menunjukkan perubahan nilai kekerasan seiring bertambahnya durasi *plasma nitriding* pada berbagai variasi temperatur Al. Pada temperatur 150°C, 160°C dan

180°C terjadi kenaikan nilai kekerasan seiring dengan bertambahnya durasi. Sementara itu, pada variasi temperatur aluminium 170°C terdapat penurunan kekerasan setelah proses *plasma nitriding* dalam rentang waktu 3 jam ke 4 jam. Ada beberapa hal yang menyebabkan penurunan ini diantaranya temperatur 170°C merupakan batas temperatur presipitasi dimana pada kondisi pengerasan secara presipitasi atom-atom yang terperangkap dalam matriks logam induk untuk keluar, lalu beraksi dengan atom lain membentuk senyawa intermetalik dan membentuk presipitat. Apabila presipitat belum terbentuk karena belum optimalnya durasi *heat treatment* yang diberikan akan menyebabkan atom atom tersebut hanya berpindah saja dan tidak membentuk ikatan yang lebih kuat sehingga nilai kekerasan akan menurun. Pada gambar 5.7 (d) peningkatan kekerasan pada variasi temperatur Al 180°C selama 4 Jam disebabkan oleh kondisi durasi *plasma nitriding* yang lebih lama akan memberikan kesempatan pada N untuk menyebar lebih optimal sehingga persentase dari N akan meningkat.

Variasi durasi *plasma nitriding* menunjukkan perubahan kekerasan yang lebih besar dibandingkan variasi temperatur *plasma nitriding* dikarenakan selain terbentuknya presipitat yang memberi pengaruh terhadap peningkatan kekerasan juga akan membuka peluang untuk N menyebar lebih merata pada sampel yang akan menghambat dislokasi pada batas butir sehingga *mechanical properties* dari sampel akan meningkat. Persebaran N dan komposisi unsur dapat dilihat pada hasil analisis EDS. Sementara itu, presipitasi yang diduga berasal dari unsur paduan Al sendiri maupun interaksi antara unsur paduan Al dan kondisi saat *plasma nitriding* dengan mengamati hasil XRD.

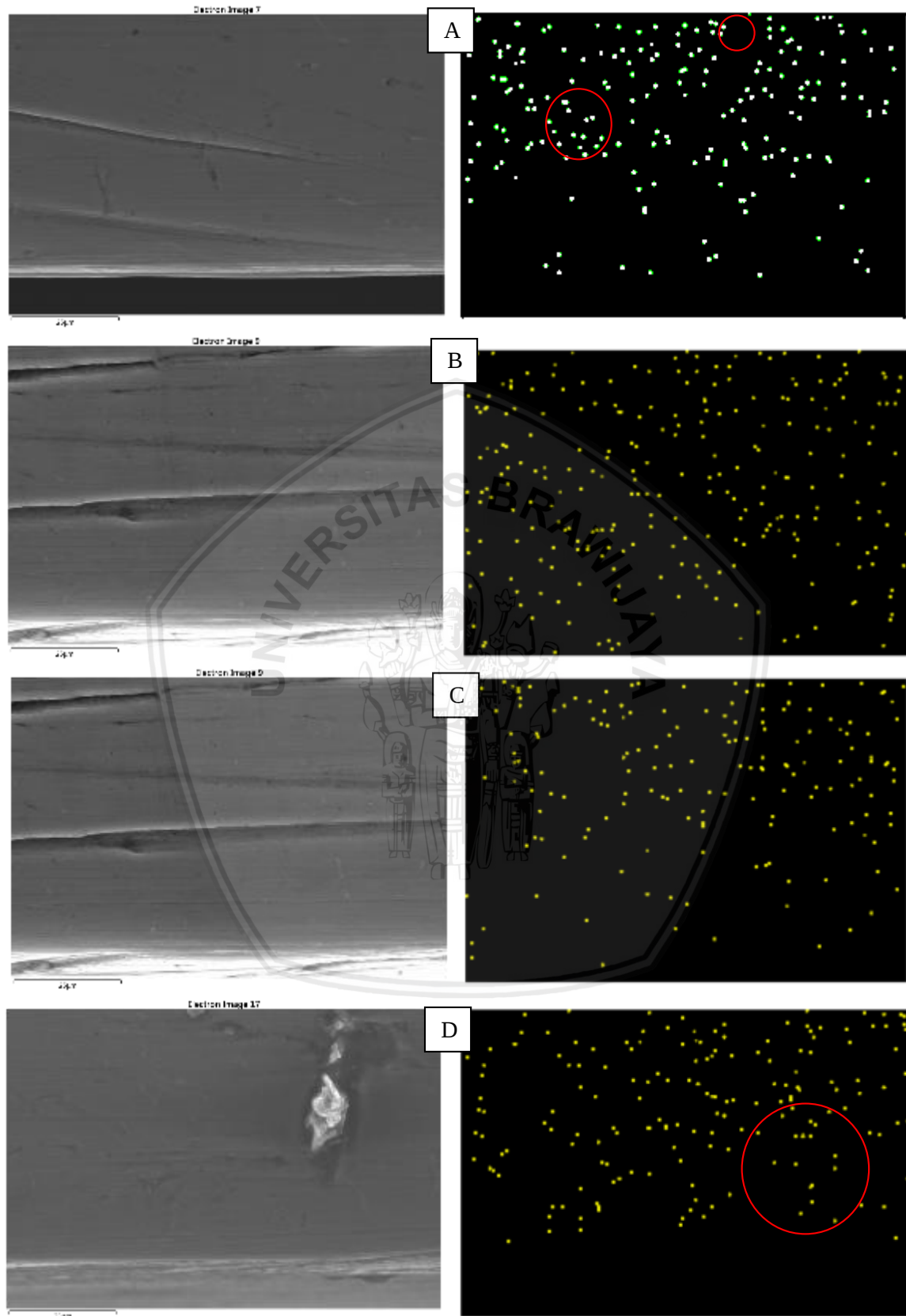
5.3 Komposisi dan Persebaran Unsur

Hasil EDS pada penampang melintang (*cross-section*) sampel tanpa *plasma nitriding* dan *plasma nitriding* pada temperatur 180°C dengan variasi durasi, diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 5.2 Hasil Komposisi Pengujian EDS

Element	Weight %			
	Tanpa Plasma	120 menit	180 menit	240 menit
Mg	1.50	3.27	3.29	-
Al	91.63	90.05	72.98	77.5
O	1.95	1.98	3.36	6.91
C	3.15	3.69	17.75	11.52
N	0.56	0.3	1.85	2.46
Si	0.17	0.18	0.13	0.32
Other	Rest	Rest	Rest	Rest

Tabel 5.2 diatas menunjukkan komposisi unsur hasil pengujian EDS sisi melintang (*cross-section*) sambungan las. Sebelum dilakukan *plasma nitriding*, sampel aluminium memiliki persentase N yang cukup kecil sebesar 0.5%. Apabila dibandingkan secara teoritis, Al 6061 memiliki komposisi unsur seperti pada table 2.3 dan bahan filler yang digunakan merupakan tipe ER 5356 dengan komposisi unsur yang terdiri dari magnesium (4.5-5.5%), iron (0.4%), Silikon (0.25%), titanium (0.06-0.20%), copper (0.1%), zinc (0.1%), chrome (0.05-0.20%), mangan (0.05-0.20%), dan sisanya unsur paduan lain. Berdasarkan hal tersebut, unsur N yang ditemukan pada sampel kemungkinan disebabkan oleh N yang berasal dari lingkungan dan masuk saat proses pengelasan yang berasal dari udara yang dapat masuk melalui celah dibawah busur las karena pada proses pengelasan diperlukan jarak antar spesimen yang memiliki ketebalan ≤ 10 mm.



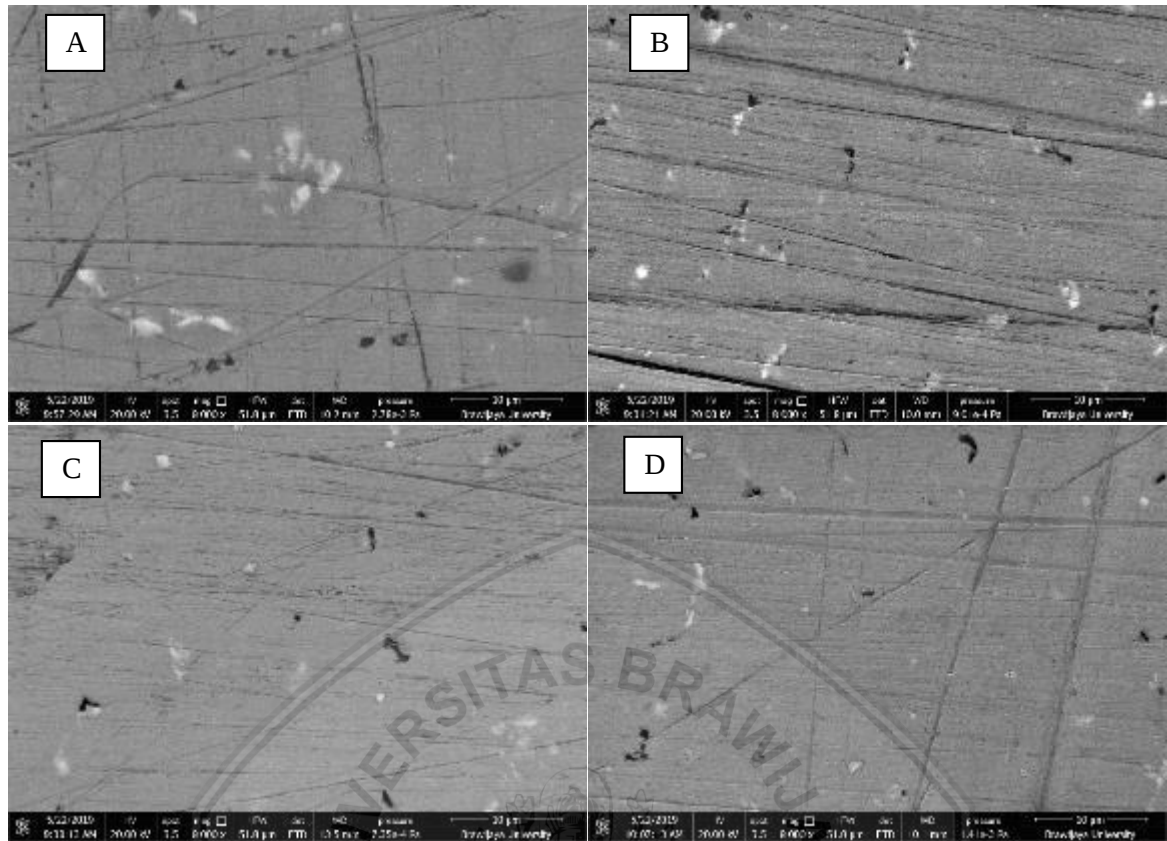
Gambar 5.8 Spot Area pada Pengamatan SEM-EDS dengan Variasi a) Tanpa *Plasma nitriding*, b) 180°C - 120 menit, c) 180°C - 180 menit, d) 180°C - 240 menit

Pada sampel yang dilakukan proses *plasma nitriding* terdapat perbedaan persentase komposisi N yang lebih besar meskipun pada sampel dengan variasi durasi *plasma nitriding* selama 120 menit terdapat penurunan namun unsur N meningkat hingga 1.85 % pada variasi durasi *plasma nitriding* 180 menit dan menjadi 2.46 % pada proses *plasma nitriding* dengan durasi 240 menit. Penurunan persentase unsur N pada variasi 120 menit kemungkinan disebabkan oleh keluarnya N dari sampel akibat adanya proses *cleansing (pre-sputtering)* menggunakan gas argon yang dilakukan selama 30 menit sebelum proses *plasma nitriding*. *Cleansing* bertujuan untuk membersihkan lapisan oksida melalui mekanisme ion bombardment. Peningkatan temperatur hingga 180°C menyebabkan ketidakstabilan atom-atom di bagian *surface* aluminium sehingga N yang ada pada *surface* akan lepas kembali keluar dari permukaan sampel.

Hasil SEM dengan perbesaran 1000x dengan skala 25 mikron pada area tepi seperti pada ilustrasi gambar 4.8. Gambar 5.8 menunjukkan pola persebaran unsur N dengan skala 25 mikron pada area cross-section sampel tanpa *plasma nitriding*, variasi 180°C – 120 menit, variasi 180°C – 180 menit, dan variasi 180°C – 240 menit. Pada gambar 5.8 dapat dilihat pola persebaran posisi N yang ditunjukkan oleh lingkaran merah setelah dilakukan proses *plasma nitriding* cenderung memiliki pola tertentu dengan N yang menempati batas batas butir dari paduan aluminium. N bergerak mengisi kisi dari aluminium pada area batas butir dan tidak berkumpul (tidak menggumpal) pada area-area tertentu. Proses ini disebut interstisi yang memiliki syarat pada struktur kristal FCC yaitu rasio κ / r sebesar 0.225 untuk tetrahedral sites dan rasio κ / r sebesar 0.414 untuk octahedral sites. Rasio atom N sebagai solvent dan Al sebagai host yaitu sebesar 0.489 dapat dilihat pada lampiran 2 yang merupakan kisaran octahedral sites (Schaffer, Saxena and Antolovich, 2005).

5.4 Pengamatan Morfologi dan Kekasaran Permukaan

Pengamatan area permukaan sampel menggunakan SEM dilakukan pada temperatur 180°C dengan variasi 120 menit, 180 menit dan 240 menit dan dibandingkan dengan kondisi sebelum dilakukan *plasma nitriding* dilakukan untuk mengamati perubahan *surface* pada kondisi temperatur tertinggi. Pada gambar sampel tanpa *plasma nitriding* terlihat unsur yang ditunjukkan indikator berwarna putih membentuk gumpalan dan berkumpul pada area tertentu, sementara setelah dilakukan proses *plasma nitriding* dengan adanya perubahan temperatur hingga 180°C selama 120 menit – 180 menit maka terjadi perubahan persebaran yang semakin berpecah / terpisah sehingga ketika dilakukan pengujian nilai kekerasan maka akan didapatkan nilai kekerasan yang cenderung meningkat karena unsur memiliki potensi untuk menahan dislokasi. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 8000x dan skala 10 mikron pada area permukaan sampel.



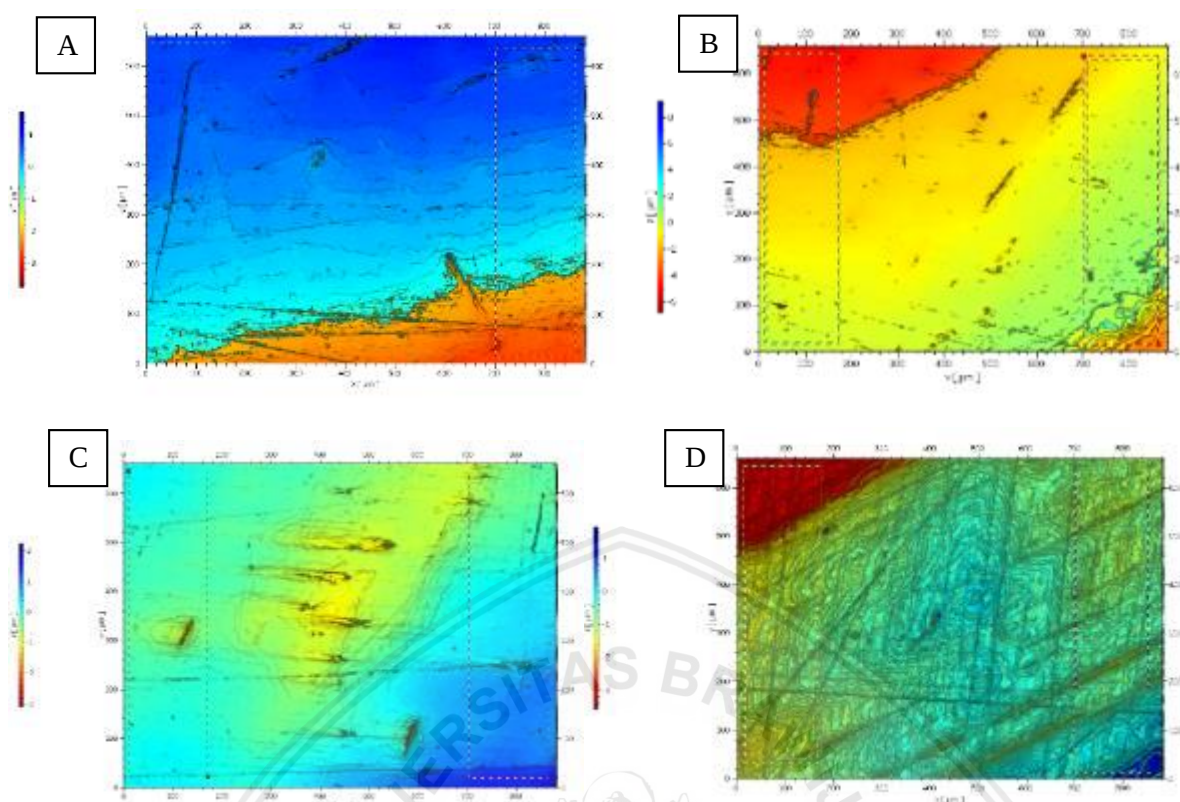
Gambar 5.9 Hasil SEM dengan Variasi a) Tanpa *Plasma nitriding*, b) 180°C - 120 menit, c) 180°C - 180 menit, d) 180°C - 240 menit

Sementara itu, dilakukan pengujian kekasaran untuk melihat perubahan *surface* pada sampel tanpa *plasma nitriding* (*untreatment*) dan dibandingkan dengan sampel setelah proses *plasma nitriding* dengan variasi temperatur 180°C selama 120 menit, 180°C selama 150 menit, dan 180°C selama 240 menit. Hasilnya terdapat perubahan nilai kekasaran seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kekasaran

Variasi	Kekasaran (nm)
Tanpa Plasma	78.41
180 °C - 2 jam	33.95
180 °C - 3 jam	40.07
180 °C - 4 jam	82.59

Perubahan morfologi lain yang terjadi dapat diamati pada hasil pengujian kekasaran seperti gambar berikut:



Gambar 5.10 Hasil TMS dengan Variasi a) Tanpa *Plasma nitriding*, b) 180°C - 120 menit, c) 180°C - 180 menit, d) 180°C - 240 menit

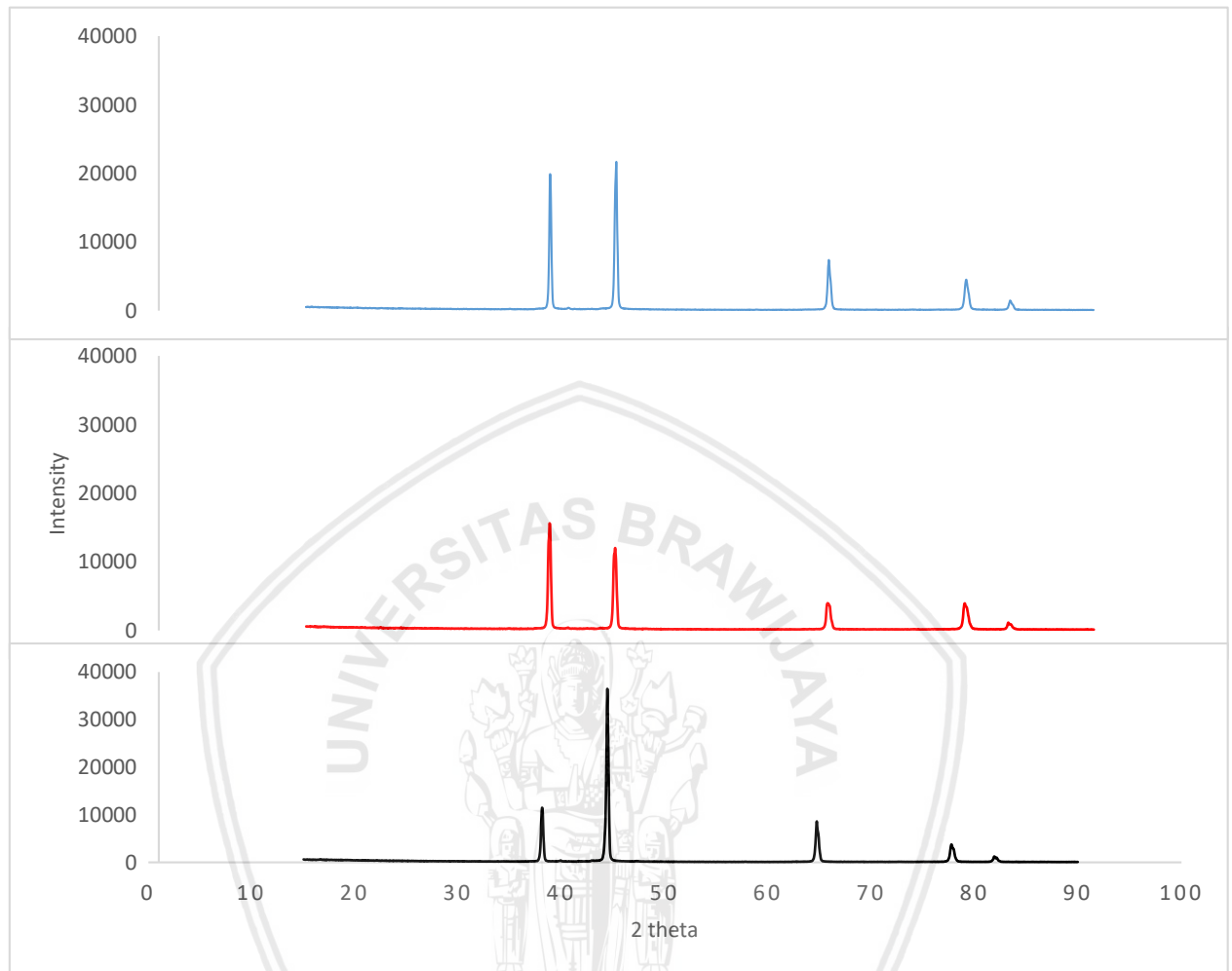
Tabel 5.3 menunjukkan hasil pengukuran kekasaran sampel (S_a) sebelum dilakukan *plasma nitriding* dan setelah dilakukan *plasma nitriding* dengan temperatur Al 180°C (variasi durasi 2 jam, 3 jam, 4 jam). Pada tabel tersebut, dapat dilihat nilai kekasaran sebelum proses *plasma nitriding* sebesar 78.41 nm kemudian setelah dilakukan *plasma nitriding* dengan variasi temperatur 180°C selama 2 jam, nilai kekasaran yang didapatkan sebesar 33.95 nm. Sementara itu, penggunaan durasi *plasma nitriding* yang lebih lama pada temperatur yang sama (180°C) selama 3 jam dan 4 jam mendapatkan nilai kekasaran yang semakin meningkat hingga 40.07 nm dan 82.59 nm. Proses pengelasan maupun *plasma nitriding* akan mendapatkan *surface* yang relative lebih kasar. Hal ini dapat dilihat pada durasi *plasma nitriding* selama 3 jam dan 4 jam menunjukkan peningkatan nilai kekasaran permukaan dibandingkan durasi *plasma nitriding* selama 2 jam. Mekanisme ion bombardment terus menerus terjadi menyebabkan layer permukaan sampel mengalami *ion etching* dan terjadi pembentukan *relief etching* akibat adanya *ion-stimulated* pada struktur dan perubahan kimia di permukaan sampel (Ahmed and Drobov, 2016). Selain itu, peningkatan nilai kekasaran ini juga diikuti bertambahnya unsur N serta meningkatnya nilai kekerasan.

Sementara itu, pada *plasma nitriding* dengan durasi 2 jam dibandingkan dengan sampel tanpa *plasma nitriding* mengalami penurunan nilai kekasaran permukaan. Penurunan ini diduga oleh sampel yang cenderung sudah kasar setelah proses pengelasan akan menjadi lebih halus ketika dilakukan *plasma nitriding*.

5.5 Pengujian Fasa

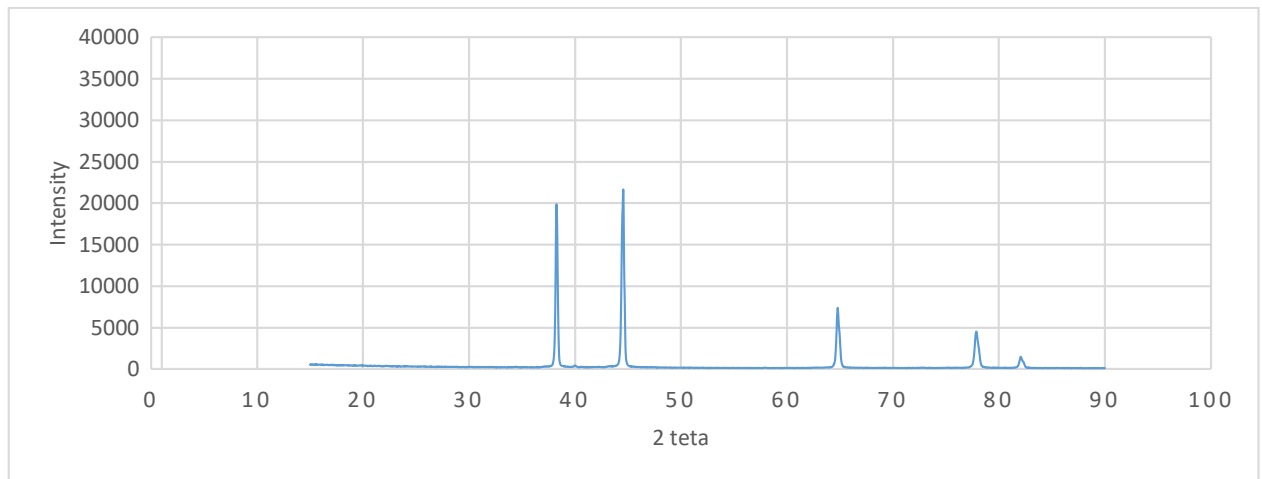
Pengujian XRD dilakukan untuk melihat fasa pada sampel yang dilakukan pada variasi sampel tanpa *plasma nitriding*, variasi temperatur 150°C - 120 menit yang mendapatkan nilai

kekerasan terendah dan variasi temperatur 180°C - 240 menit yang mendapatkan nilai kekerasan tertinggi. Hasil pengujian XRD dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



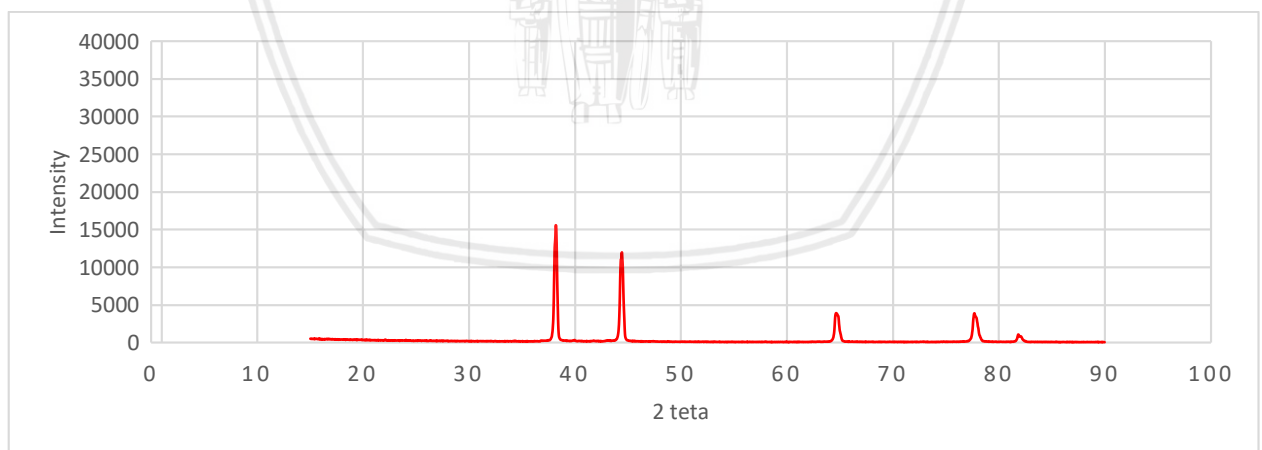
Gambar 5.11 Grafik 2 theta terhadap Intensitas pada Sampel

Hasil XRD diatas menunjukkan intensitas terhadap 2 theta pada sambungan las dengan variasi sampel tanpa proses *plasma nitriding*, variasi *plasma nitriding* dengan temperatur 150°C selama 120 menit dan 180°C dengan selama 240 menit. Dari ketiga grafik tersebut terdapat 5 puncak yang terdeteksi menunjukkan sampel merupakan polycrystalline, dari ketiga variasi terdapat perbedaan intensitas dan lebar *peak* yang diperoleh.



Gambar 5.12 Grafik Intensitas XRD pada sampel Las Tanpa Plasma

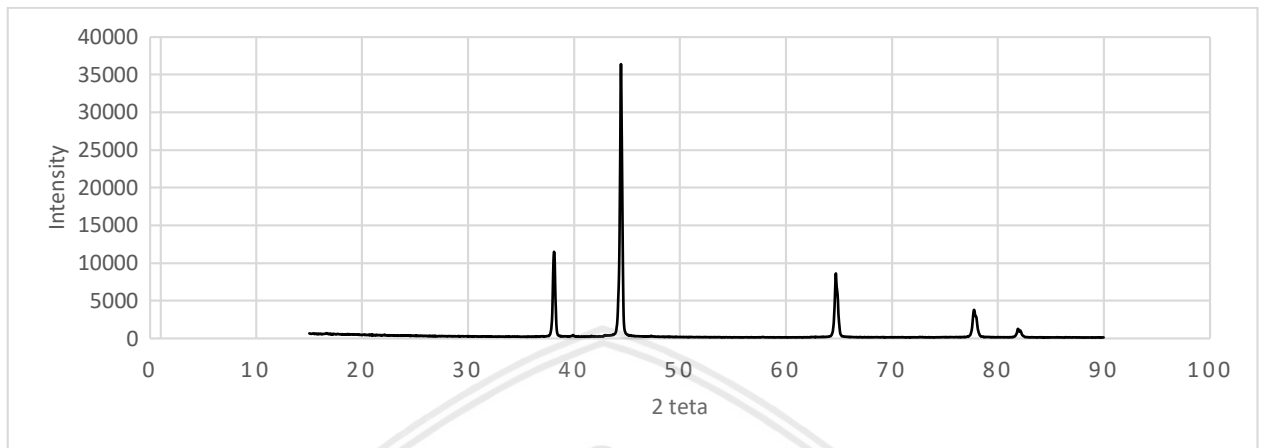
Gambar 5.12 merupakan grafik Intensitas XRD pada sampel las tanpa plasma. Analisa yang dilakukan melalui aplikasi high score pada sampel tanpa *plasma nitriding* dengan beberapa puncak yang teridentifikasi $\text{Al}_{0.95}\text{Mg}_{0.05}$ dengan fasa Al-Mg mengacu pada reference ICSD 98-010-7844. Adanya Al-Mg pada hasil pengamatan XRD menunjukkan unsur yang terdapat pada paduan dari filler yang menggunakan filler tipe ER 5356 dengan komposisi pembentuknya Aluminium paduan utama magnesium, Besi, mangan, chrome, dan titanium (sumber alcotechnic). Komposisi unsur paduannya terdiri dari magnesium (4.5-5.5%), iron (0.4%), Silikon (0.25%), titanium (0.06-0.20%), copper (0.1%), zinc (0.1%), chrome (0.05-0.20%), mangan (0.05-0.20%), dan sisanya unsur paduan lain. Element aluminium, magnesium. Sementara itu terdapat perbedaan intensitas puncak pada sampel setelah dilakukan proses *plasma nitriding* seperti di bawah ini :



Gambar 5.13 Grafik Intensitas XRD pada sampel *plasma nitriding* dengan temperatur 150°C selama 120 menit

Gambar 5.13 merupakan grafik Intensitas XRD pada sampel *plasma nitriding* dengan temperatur 150°C selama 120 menit. Analisa yang dilakukan melalui aplikasi high score pada sampel tanpa *plasma nitriding* dengan beberapa puncak yang teridentifikasi $\text{Al}_{0.95}\text{Mg}_{0.05}$ dengan fasa Al-Mg. Terjadi penurunan intensitas pada peak kedua, ketiga, dan kelima yang diduga terjadi akibat dari proses *plasma nitriding* dengan menaikkan temperatur hingga 150°C dan ditahan selama 120 menit. Penurunan intensitas ini diikuti dengan lebar puncak yang

semakin membesar. Peak yang semakin lebar menunjukkan kristallite yang kecil karena bidang pantul dari kristallite yang kecil lebih terbatas sehingga menghasilkan intensitas yang lebih rendah. Sementara itu sampel dengan variasi temperatur 180°C selama 240 menit menunjukkan perubahan intensitas seperti ditunjukkan pada grafik dibawah ini :



Gambar 5.14 Grafik Intensitas XRD pada sampel *plasma nitriding* dengan temperatur 180°C selama 240 menit

Gambar 5.14 merupakan grafik Intensitas XRD pada sampel *plasma nitriding* dengan temperatur 180°C selama 240 menit. Analisa yang dilakukan melalui aplikasi high score pada sampel tanpa *plasma nitriding* dengan beberapa puncak yang teridentifikasi Al_{0.95} Mg_{0.05} dengan fasa Al-Mg. Dari hasil tersebut, belum terlihat adanya perubahan fasa dari sampel tanpa plasma nitriding yang dapat dilihat dari belum adanya pergeseran peak. Namun, terjadi perubahan intensitas maupun lebar peak yang mempengaruhi ukuran kristal.

Meningkatnya nilai kekerasan pada sampel tanpa proses *plasma nitriding* sebesar 49.1 HR15T menjadi 63,16 HR15T pada sampel *plasma nitriding* menggunakan temperatur sebesar 150°C selama 120 menit dan menjadi 73,23 HR15T pada sampel *plasma nitriding* menggunakan temperatur sebesar 180°C selama 240 menit melalui penguatan presipitat Al-Mg yang merupakan paduan dari komposisi filler (*precipitation strengthening*)

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Penelitian mengenai bagaimana pengaruh temperatur Al dan durasi *plasma nitriding* terhadap nilai kekerasan sambungan las Al 6061 telah dilakukan. Penelitian tersebut mendapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Nilai kekerasan setelah pengelasan mengalami penurunan hingga 49.1 HR15T dibandingkan nilai kekerasan aluminium sebelum dilas sebesar 67.4 HR15T. Namun, nilai kekerasan kembali naik hingga 73.2 HR15T setelah dilakukan *plasma nitriding* dengan variasi temperatur Al 180°C selama 4 jam.
2. Durasi *plasma nitriding* menimbulkan perbedaan persebaran dan jumlah unsur N pada sampel. Seiring bertambahnya durasi *plasma nitriding*, unsur N semakin banyak dan persebarannya semakin bergerak ke arah kisi dari aluminium. Selain itu, penggumpalan N semakin tidak terlihat ketika *plasma nitriding* dengan durasi yang semakin lama.
3. Proses *plasma nitriding* menggunakan range temperatur *recovery* dan mengalami persebaran unsur N pada sampel sehingga pada aluminium tersebut mengalami pengerasan dengan mekanisme presipitasi yang berasal dari paduan filler dan *solid solution*.
4. *Plasma nitriding* pada sambungan las Aluminium membentuk Al_{0.95} Mg_{0.05} dengan fasa Al-Mg. Fasa ini berasal dari paduan komposisi filler ER 5356. Perubahan fasa tidak terjadi namun, terjadi perubahan intensitas dan lebar peak sehingga mempengaruhi ukuran kristal pada sampel.

6.2 Saran

1. Diperlukan pengamatan lebih lanjut terkait kondisi optimum temperatur Al yang dapat digunakan sehingga tidak terjadi presipitasi unsur paduan terhadap ion N ketika proses *plasma nitriding*.
2. Diperlukan *controlling* pada kestabilan pressure gas argon maupun gas nitrogen yang digunakan agar kondisi *plasma nitriding* tetap optimal.

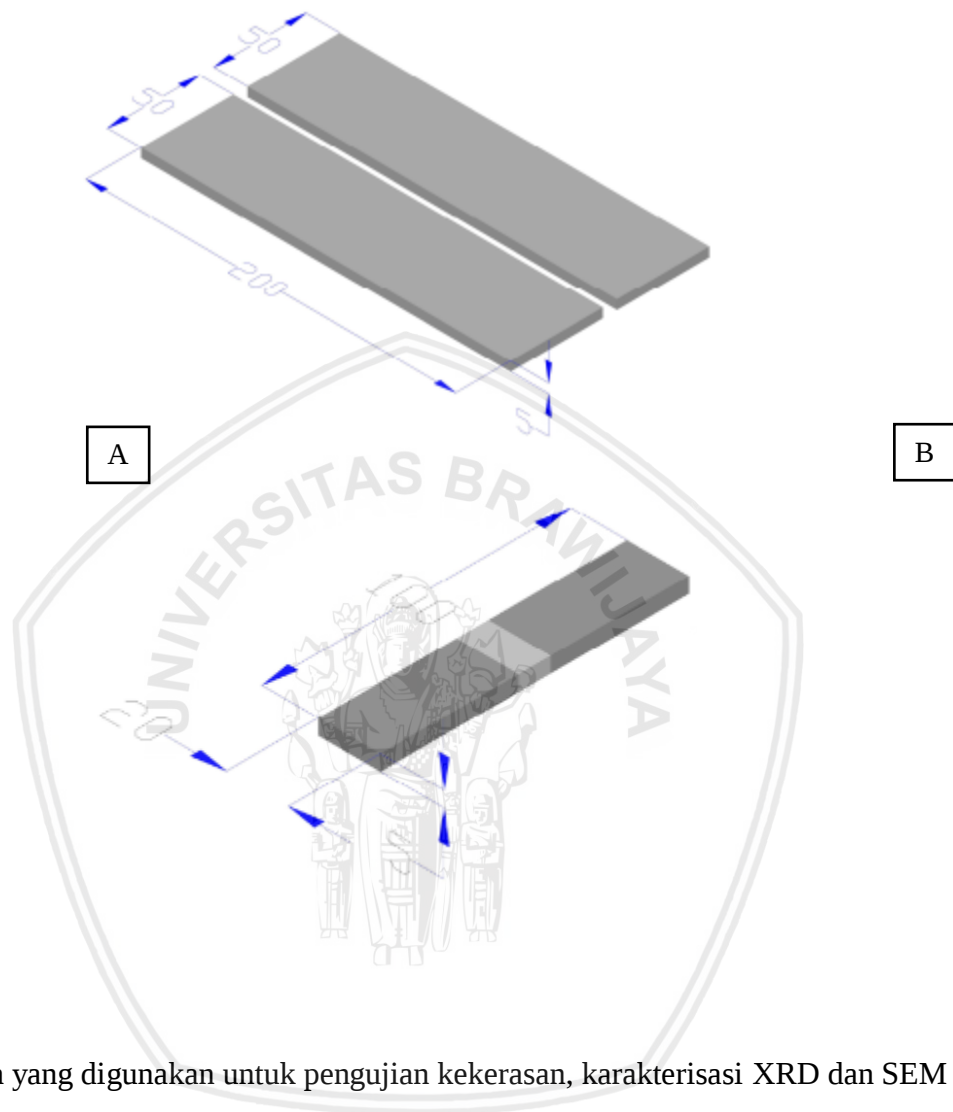
DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. S. and Drobov, A. N. (2016) 'Influence of *Plasma nitriding* On Surface Roughness of Steels', 1(95), pp. 95–99.
- Aizawa, T. (2018) 'Low Temperatur *Plasma nitriding* of Austenitic Stainless Steels', *Intechopen*. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.78365>.
- Avner, S. H. (1974) *Introduction to physical Metallurgy*. 2nd edn. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Aziz, A. (2018) *Plasma Lucutan Pijar DC terhadap Kekerasan baja AISI 4140*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Barocio, S. R., Piedad, A. De and Pe, R. (2010) 'Progress in Organic Coatings Nitriding of 6061T6 aluminium by plasma immersion ion implantation at low energy', 67, pp. 361–364. doi: 10.1016/j.porgcoat.2009.10.021.
- Callister, W. D. and Rethwisch, D. G. (2014) *Materials Science and Engineering: an Introduction*. 9ed edn. Hoboken, NJ: Wiley.
- Callister, W. D. and Wiley, J. (2007) *Materials Science*. New York.
- Czichos, H., Saito, T. and Smith, L. (2006) *Springer Handbook of Materials Measurement Methods*. Springer.
- Davis, J. R. (2002) 'Surface Hardening of Steels', (Eq 1). doi: 10.1361/shos2002p001.
- Eltai, E. O. and Mahdi, E. (2014) 'The Corrosion and Mechanical Properties of AA 6061 T6 Joined by MIG Welding Eltai & Mahdi', 2(2), pp. 33–41.
- Elwin L. Rooy (Aluminum Company of America) (1992) 'Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys', in *ASM Metal Handbook*.
- Fridman, A. (2008) *Plasma Chemistry*. London: Cambridge University.
- Groenendijk, G. and van der Linde, J. (1986) *Materiaalbeproeving: met inleiding tot materiaalonderzoek en opdrachten*. Wolters-Noordhoff.
- Heine, R. W., Loper, C. R. and Rosenthal, P. C. (1976) *Principles of metal casting*. Tata McGraw-Hill Education.
- Ilangovan, M., Boopathy, S. R. and Balasubramanian, V. (2015) 'Effect of tool pin profile on microstructure and tensile properties of friction stir welded dissimilar AA6061- AA5086 aluminium alloy joints', *Defence Technology*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.dt.2015.01.004.
- Istiroyah, T. A., Wardana, I. N. G. and Santjojo, D. J. (2013) 'High density *plasma nitriding* behavior of austenitic stainless steel type AISI 316L', in *Proc. 7th SEATUC Conference, Bandung, Indonesia*.
- Khan, N., Shah, M. S. and Ahmad, R. (2010) 'Nitriding of Aluminium Alloy in Nitrogen and Nitrogen-Helium Mixture Using 100 Hz-Pulsed DC Glow Discharge Nitriding of Aluminium Alloy in Nitrogen and Nitrogen-Helium Mixture Using 100 Hz-Pulsed DC Glow Discharge', 452.
- Liang, A. Y., Shen, J. and Hu, S. (2017) 'Effect of TIG current on microstructural and mechanical properties of 6061-T6 aluminium alloy joints by TIG–CMT hybrid welding', *Journal of Materials Processing Tech.* Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2017.12.006.

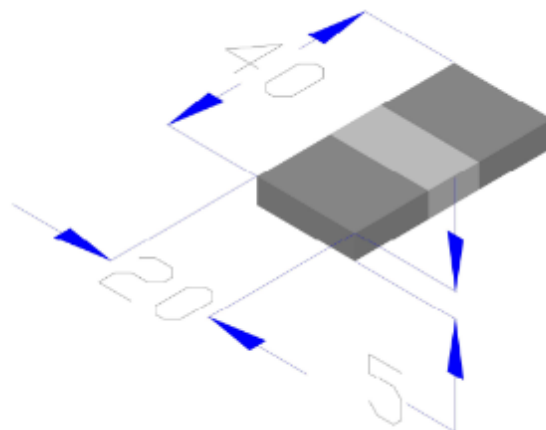
- Mathers, G. (2002) *The Welding of Aluminum and its Alloy*. London: Woodhead Publishing Limited.
- Nardin M, Lorthioir G, Barberon M M, Madar R, Fruchart E, Fruchart R, "Etude de cinq nouveaux nitrures $M Cr_3 N$ de type perovskite", *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, Serie C, Sciences Chimiques* (1966-) 274, 2168-2171 (1972)
- Nova, C. *et al.* (2012) 'Pengaruh Tekanan dan Lama *Plasma nitriding* Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi Baja Karat AISI 410', pp. 85–92.
- Nur, M. (2011) *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Universitas Diponegoro Semarang.
- Park, J. *et al.* (2001) 'An experimental study on the optimization of powder forging process parameters for an aluminum-alloy piston', 113, pp. 486–492.
- Rahayu, S. *et al.* (2017) 'Pengaruh Proses Powder Nitriding terhadap Perubahan Kekerasan dan Difusi', 39(1).
- Schaffer, J. P., Saxena, A. and Antolovich, S. (2005) *Science and Design of Engineering Materials*.
- Visuttipitukul, P., Aizawa, T. and Kuwahara, H. (2003) 'Advanced *Plasma nitriding* for Aluminum and Aluminum Alloys', 44(12), pp. 1–6.
- Windajanti, J. M. (2017) 'Microstructure and Phase Transformation of Pure Titanium During Nitriding Process by High Density Plasma', 18(3).
- Wirjosumarto, H. and Okumura, T. (2000) *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Yipeng, W. *et al.* (2018) 'Keyhole welding of AA2219 aluminum alloy with double-pulsed variable polarity gas tungsten arc welding', 34(May), pp. 179–186. doi: 10.1016/j.jmapro.2018.06.006.
- Yun, H., Zou, B. and Wang, J. (2017) 'Materials Science & Engineering A Effects of sintering temperatur and nano Ti (C , N) on the microstructure and mechanical properties of Ti (C , N) cermets cutting tool materials with', *Materials Science & Engineering A*. Elsevier B.V., 705(August), pp. 98–104. doi: 10.1016/j.msea.2017.08.033.
- Zheng, X. *et al.* (2012) 'Applied Surface Science Microstructural characterization and mechanical properties of nitrided layers on aluminum substrate prepared by nitrogen arc', *Applied Surface Science*. Elsevier B.V., 259, pp. 508–514. doi: 10.1016/j.apsusc.2012.07.075.

Lampiran 1. Desain spesimen untuk pengelasan dan *plasma nitriding*

Dimensi bahan yang digunakan untuk proses pengelasan (A) dan proses *plasma nitriding* (B)



Dimensi bahan yang digunakan untuk pengujian kekerasan, karakterisasi XRD dan SEM (C)



C

Lampiran 2. Data pengujian kekerasan plat aluminium

Temperatur	Durasi	Nilai Kekerasan (HR15T)	Nilai Kekerasan rata-rata
150°C	2 Jam	69.5	63.167
		56.1	
		63.9	
	3 Jam	66.1	65.133
		62.7	
		66.6	
	4 Jam	70.5	71.2
		71.1	
		72.1	
160°C	2 Jam	64.7	64.867
		66	
		63.9	
	3 Jam	70.3	68.467
		71.1	
		72.1	
	4 Jam	69.9	71.2
		70.6	
		73.1	
170°C	2 Jam	64.3	65.7
		65.3	
		67.5	
	3 Jam	70.5	70.733
		71.5	
		70.2	
	4 Jam	70.4	70.533
		70.4	
		70.8	
180°C	2 Jam	66	66.067
		66.1	
		66.1	
	3 Jam	65.6	67.033
		67.4	
		68.1	
	4 Jam	72.8	73.233
		71.7	
		75.2	

Lampiran 3. Rasio *atomic radius* pada beberapa unsur

Atomic number	Symbol	Atomic radius (nm)	Ion	Ionic radius (nm)
1	H	0.046	H ⁻	0.154
2	He	—	—	—
3	Li	0.152	Li ⁺	0.078
4	Be	0.114	Be ²⁺	0.054
5	B	0.097	B ³⁺	0.02
6	C	0.077	C ⁴⁺	< 0.02
7	N	0.071	N ⁵⁺	0.01–0.02
8	O	0.060	O ²⁻	0.132
9	F	—	F ⁻	0.133
10	Ne	0.160	—	—
11	Na	0.186	Na ⁺	0.098
12	Mg	0.160	Mg ²⁺	0.078
13	Al	0.143	Al ³⁺	0.057
14	Si	0.117	Si ⁴⁻	0.198
			Si ⁴⁺	0.039
15	P	0.109	P ⁵⁺	0.03–0.04
16	S	0.106	S ²⁻	0.174
			S ⁶⁺	0.034
17	Cl	0.107	Cl ⁻	0.181
18	Ar	0.192	—	—
19	K	0.231	K ⁺	0.133
20	Ca	0.197	Ca ²⁺	0.106
21	Sc	0.160	Sc ²⁺	0.083
22	Ti	0.147	Ti ²⁺	0.076
			Ti ³⁺	0.069
			Ti ⁴⁺	0.064
23	V	0.132	V ³⁺	0.065
			V ⁴⁺	0.061
			V ⁵⁺	~0.04
24	Cr	0.125	Cr ³⁺	0.064
			Cr ⁶⁺	0.03–0.04
25	Mn	0.112	Mn ²⁺	0.091
			Mn ³⁺	0.070
			Mn ⁴⁺	0.052
26	Fe	0.124	Fe ²⁺	0.087
			Fe ³⁺	0.067

Lampiran 4. Report XRD

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

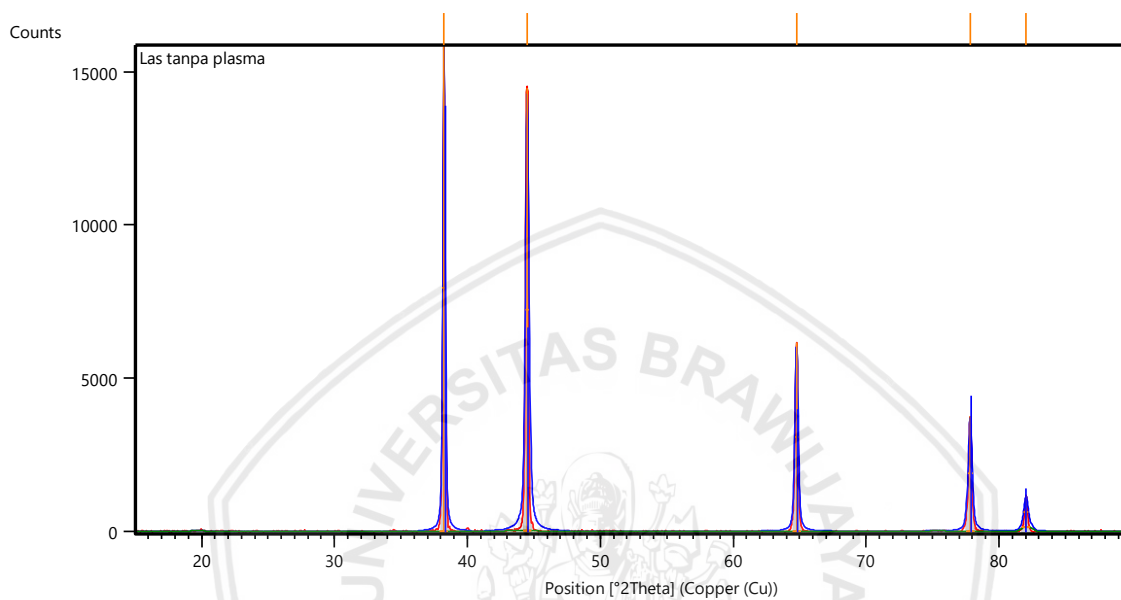
Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	Las tanpa plasma
File name	E:\drive-download-20190527T102643Z-001\Plat Al-las\Las tanpa plasma.rd
Comment	Configuration=Flat Sampel Stage, Owner=U Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	20/05/2019 13:49:00
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	15,0207
End Position [°2Th.]	89,9637
Step Size [°2Th.]	0,0330
Scan Step Time [s]	10,1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Receiving Slit Size [mm]	12,7500
Measurement Temperature [°C]	-273,15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1,54060
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractionmeter Type	XPert MPD
Diffractionmeter Number	1
Goniometer Radius [mm]	200,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91,00

Incident Beam Monochromator No

Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38,2494	15918,37	0,1980	2,35116	100,00
44,5096	14456,77	0,3168	2,03392	90,82
64,7698	6162,44	0,2772	1,43819	38,71
77,8338	3761,10	0,3564	1,22622	23,63
82,0403	1025,92	0,3960	1,17366	6,44

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	98-010-7844	89	Aluminum Magnesium (0.95/0.05)	0,000	0,873	Al0.95 Mg0.05

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

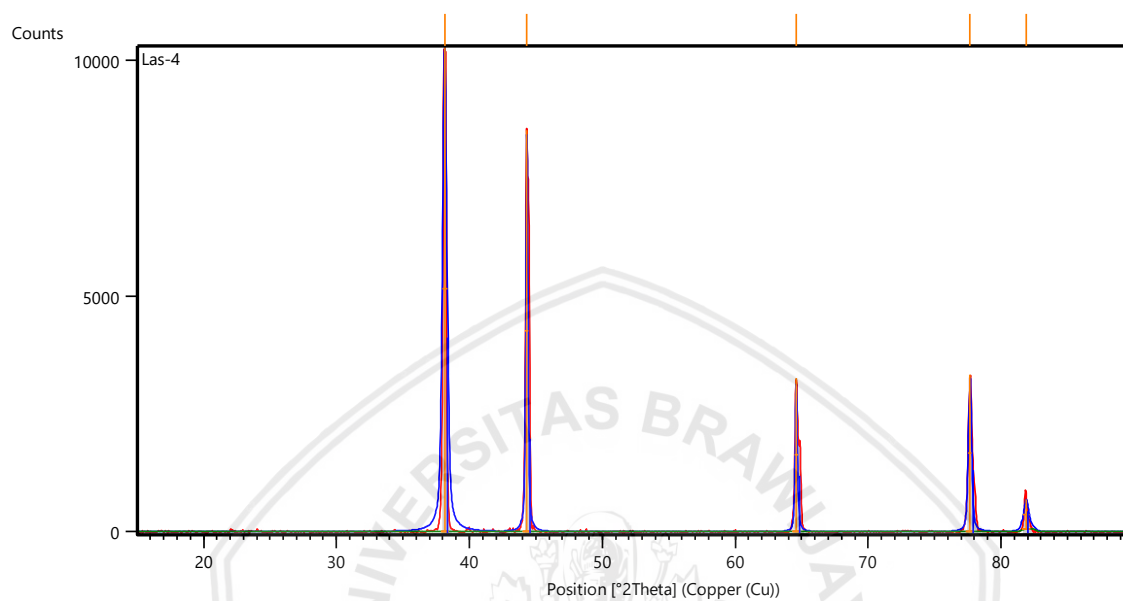
Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	Las 150 derajat – 120 menit
File name	E:\drive-download-20190527T102643Z-001\Plat Al-las\Las-4.rd
Comment	Configuration=Flat Sampel Stage, Owner=U Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	20/05/2019 13:54:00
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	15,0207
End Position [°2Th.]	89,9637
Step Size [°2Th.]	0,0330
Scan Step Time [s]	10,1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Receiving Slit Size [mm]	12,7500
Measurement Temperature [°C]	-273,15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1,54060
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91,00
Incident Beam Monochromator	No

Spinning

No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38,1496	10335,57	0,3960	2,35708	100,00
44,3287	8514,88	0,1980	2,04180	82,38
64,6064	3249,78	0,1980	1,44143	31,44
77,6703	3321,69	0,2772	1,22839	32,14
81,8993	614,48	0,4752	1,17532	5,95

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	98-010-7844	79	Aluminum Magnesium (0.95/0.05)	0,000	0,399	Al0.95 Mg0.05

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

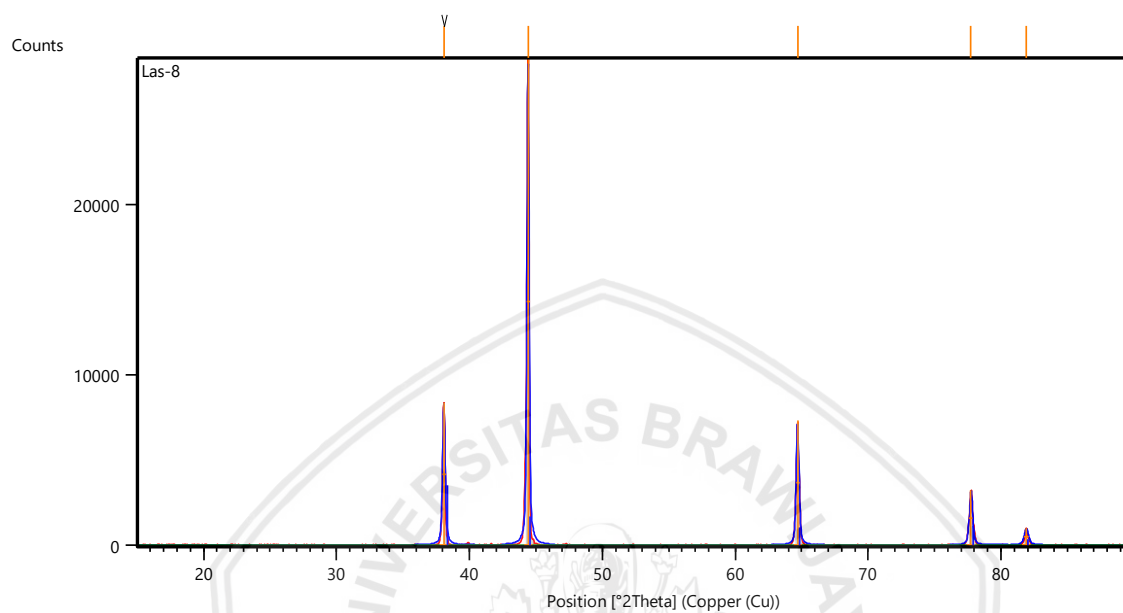
Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name	Las 180 derajat – 240 menit
File name	E:\drive-download-20190527T102643Z-001\Plat Al-las\Las-8.rd
Comment	Configuration=Flat Sampel Stage, Owner=U Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	20/05/2019 14:03:00
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	15,0207
End Position [°2Th.]	89,9637
Step Size [°2Th.]	0,0330
Scan Step Time [s]	10,1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Receiving Slit Size [mm]	12,7500
Measurement Temperature [°C]	-273,15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1,54060
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91,00
Incident Beam Monochromator	No

Spinning

No

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



Peak List: (Bookmark 3)

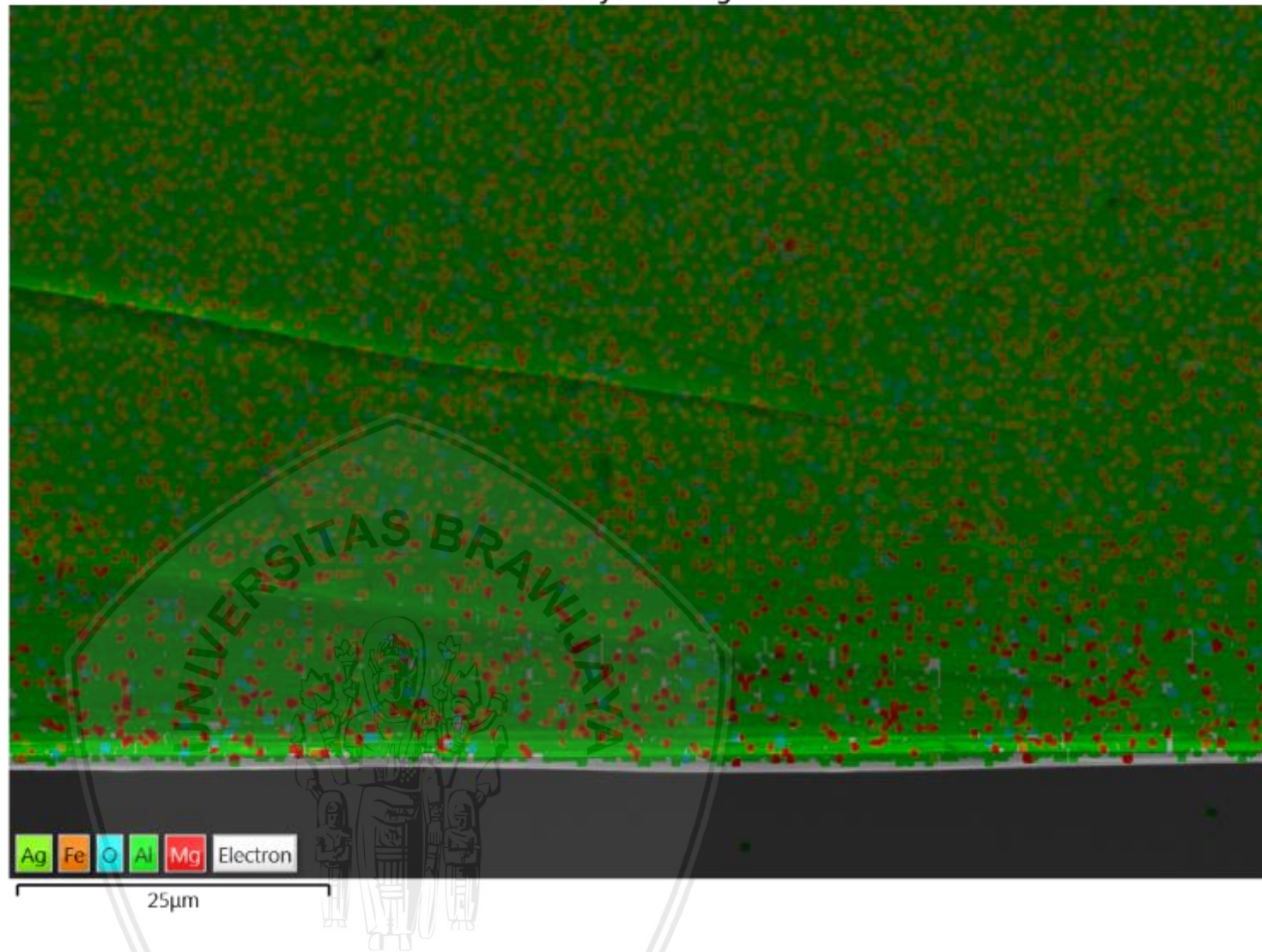
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38,0893	8345,75	0,2376	2,36067	29,11
44,4188	28673,34	0,1980	2,03787	100,00
64,7029	7301,31	0,2376	1,43951	25,46
77,7453	3202,75	0,2772	1,22739	11,17
81,9110	967,66	0,3960	1,17518	3,37

Pattern List: (Bookmark 4)

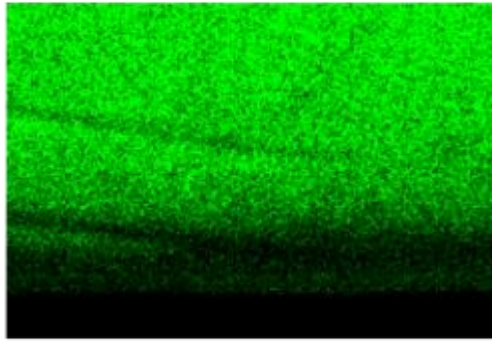
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	98-010-7844	37	Aluminum Magnesium (0.95/0.05)	0,000	0,123	Al0.95 Mg0.05



EDS Layered Image 5

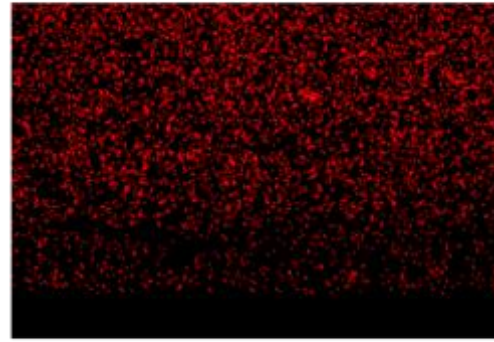


Al K α 1



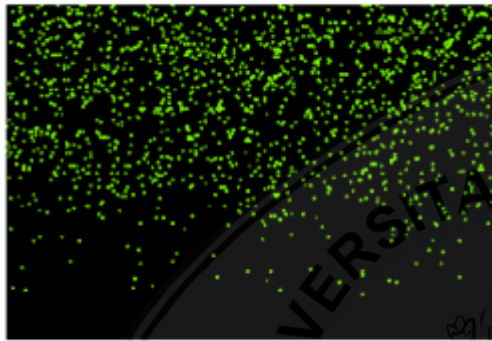
25μm

Mg K α 1_2



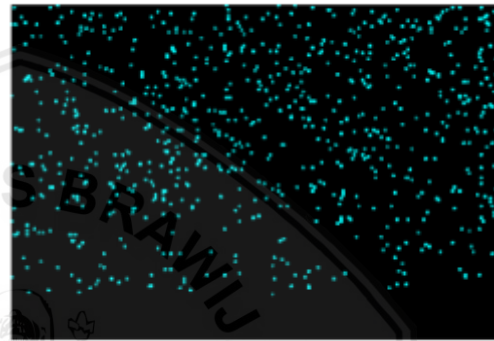
25μm

Ag L α 1



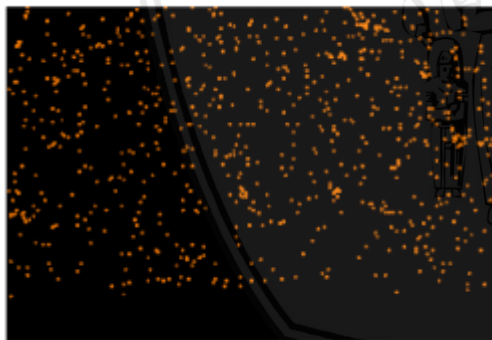
25μm

O K α 1



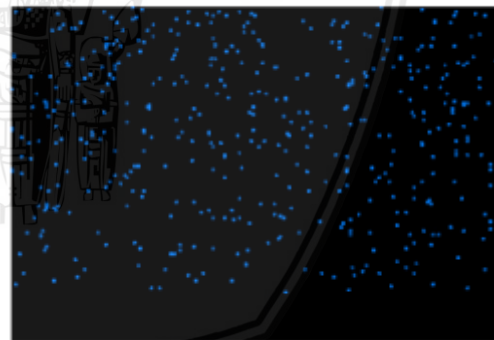
25μm

Fe K α 1

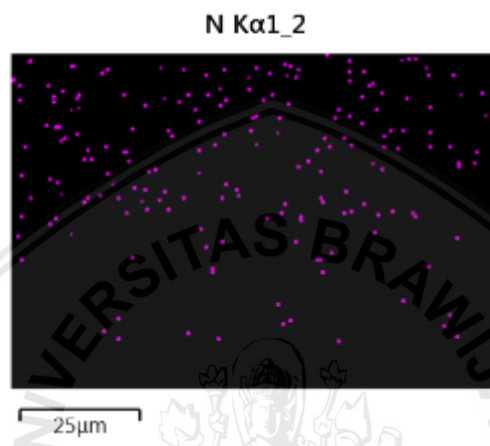
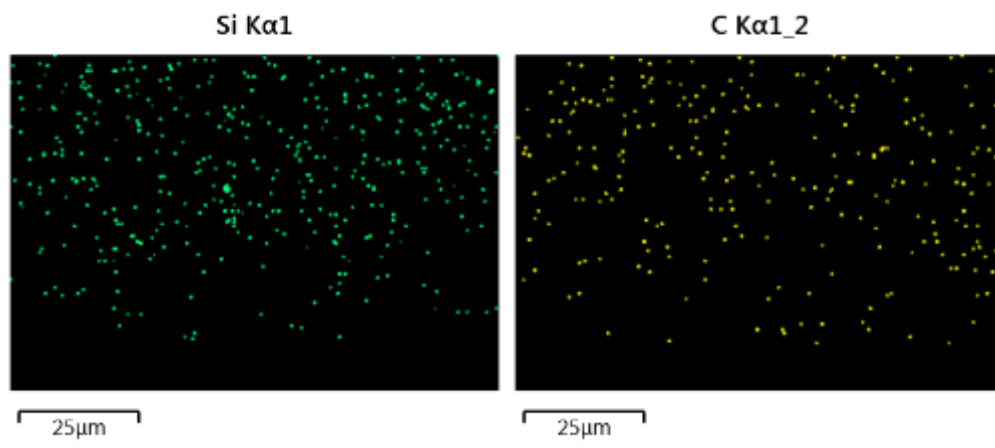


25μm

Cu K α 1



25μm

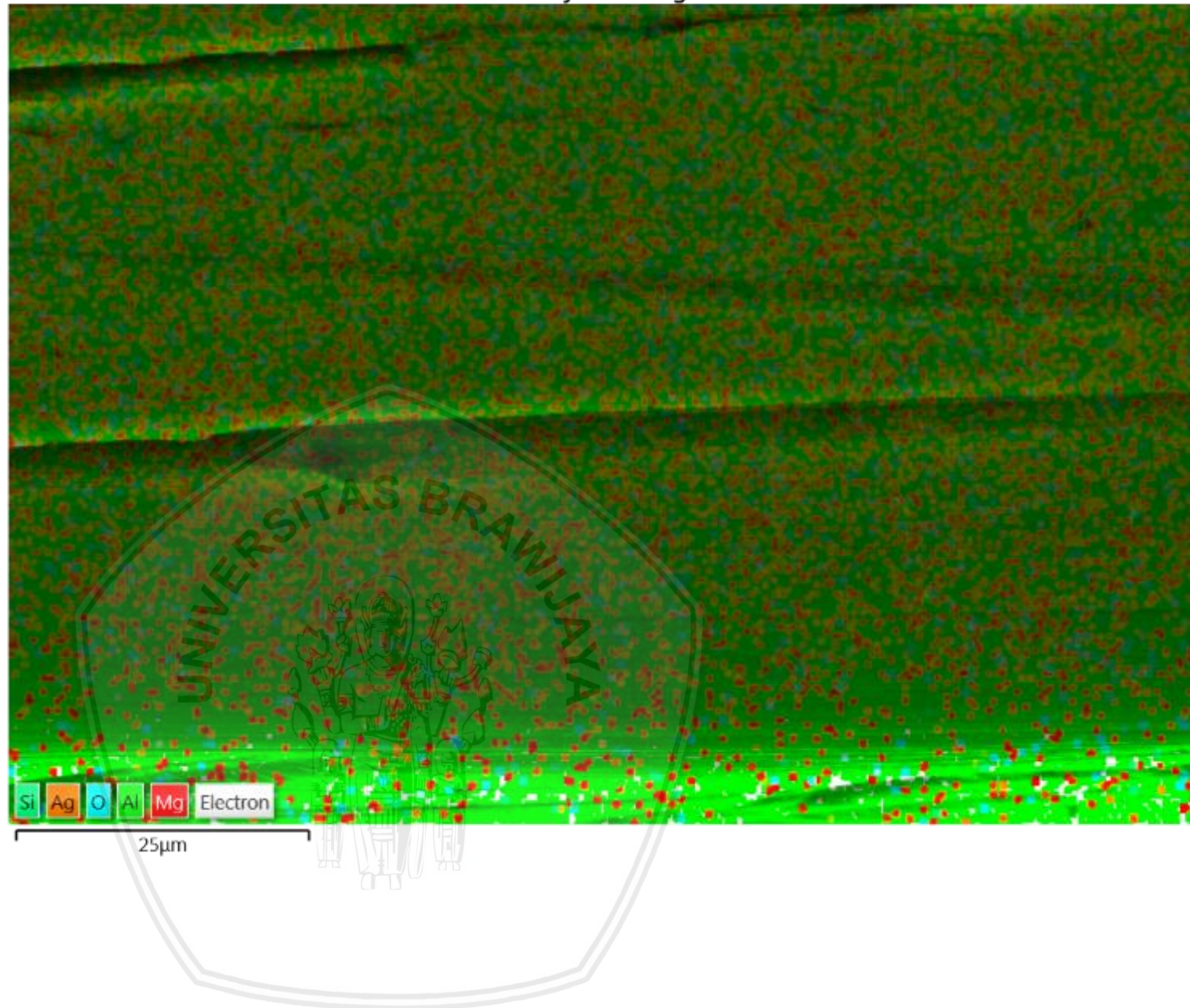


Electron Image 9

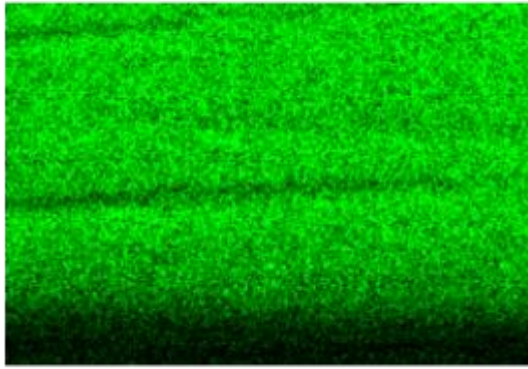


180°C – 2 jam

EDS Layered Image 7

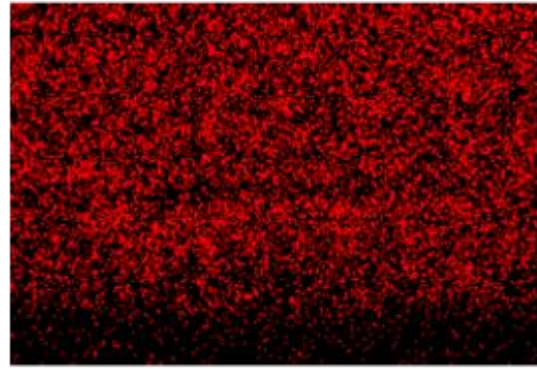


Al K α 1



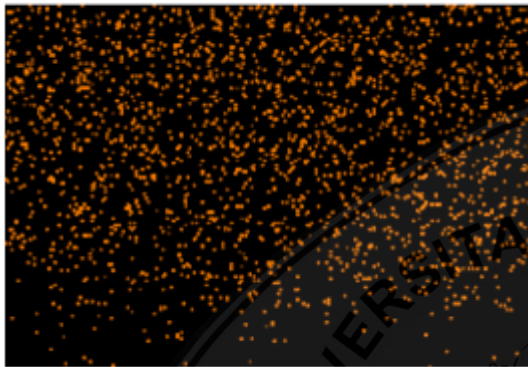
25 μ m

Mg K α 1_2



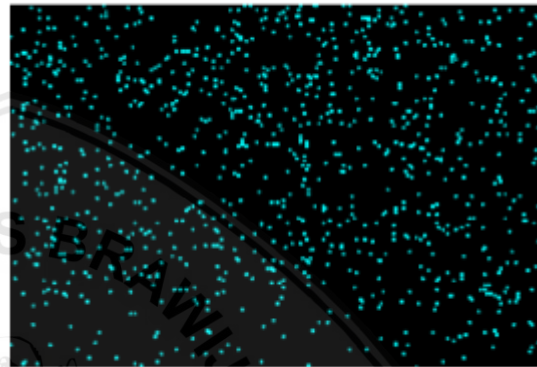
25 μ m

Ag L α 1



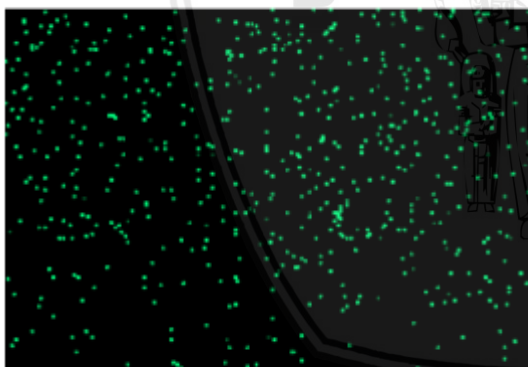
25 μ m

O K α 1



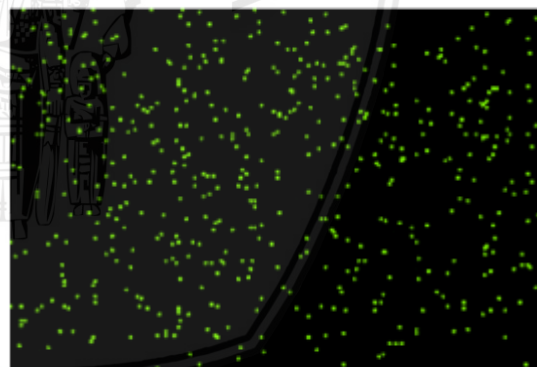
25 μ m

Si K α 1



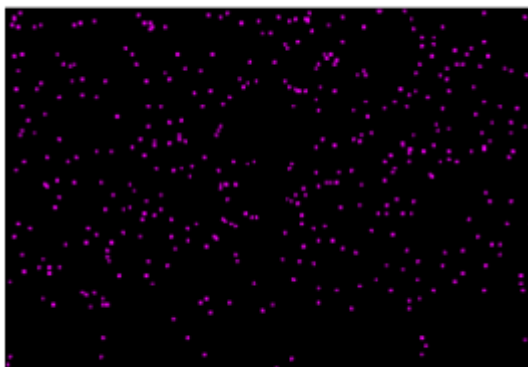
25 μ m

Cu K α 1



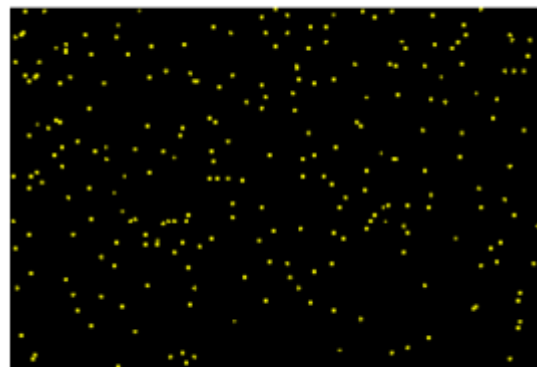
25 μ m

C K α 1_2



25 μ m

N K α 1_2



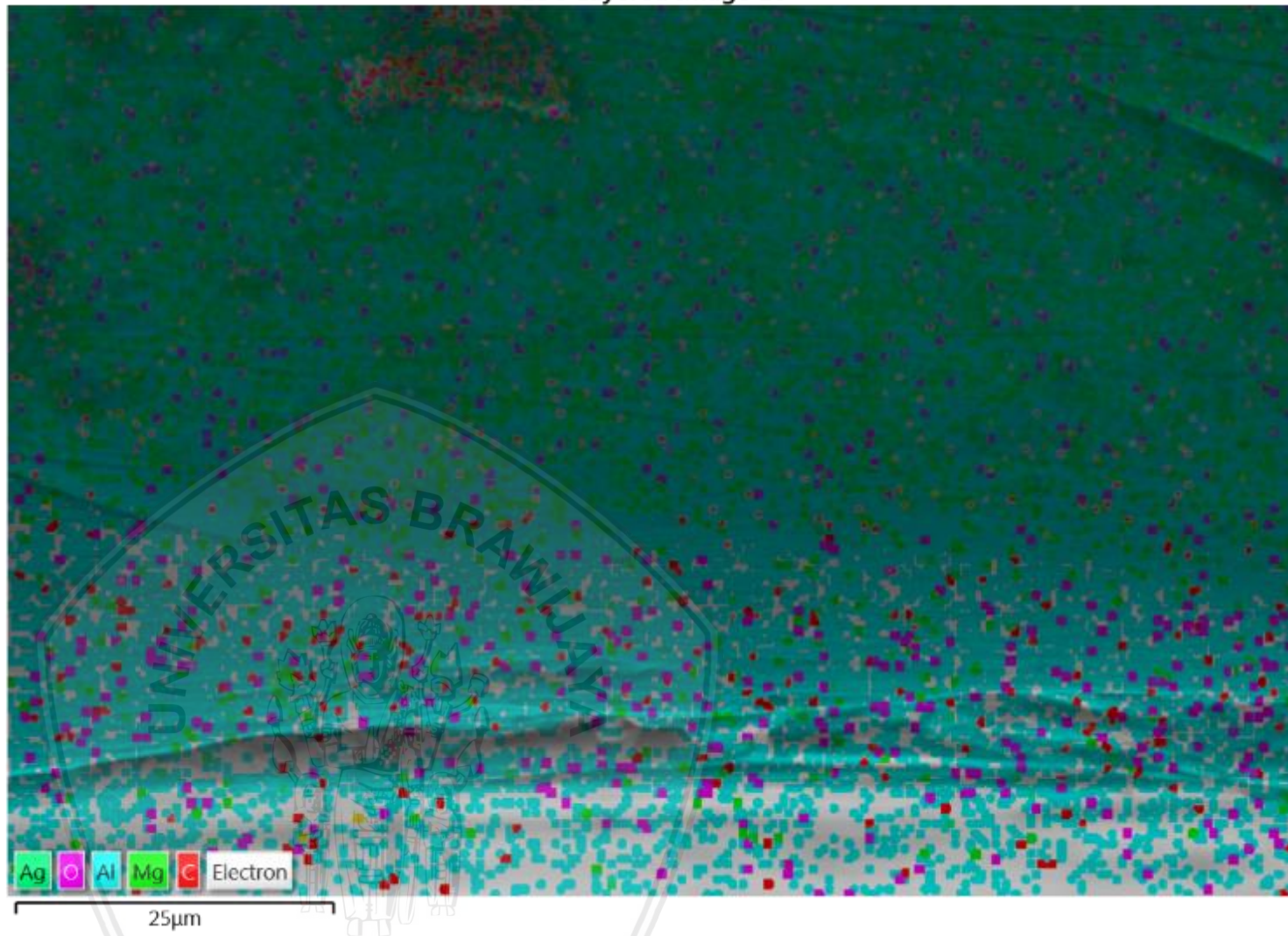
25 μ m

Electron Image 12

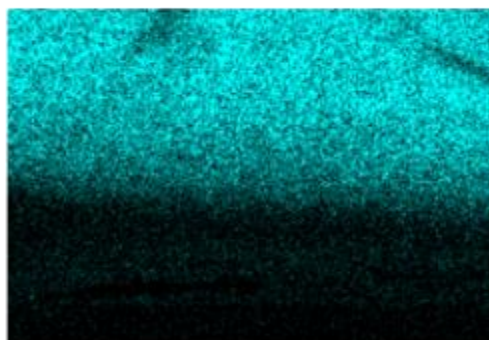


180°C – 3 jam

EDS Layered Image 10

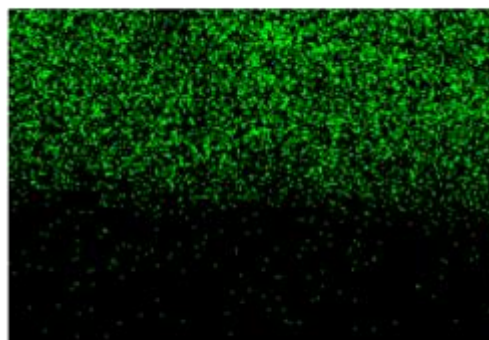


Al K α 1



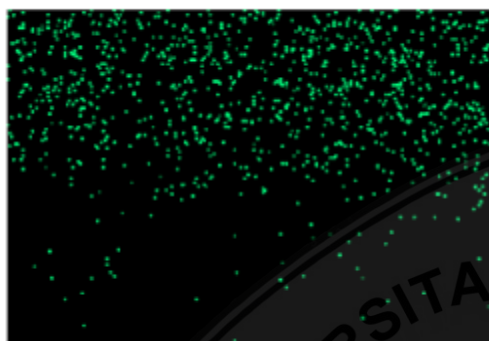
25 μ m

Mg K α 1_2



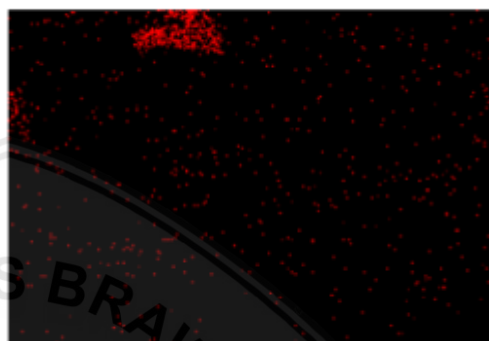
25 μ m

Ag L α 1



25 μ m

C K α 1_2



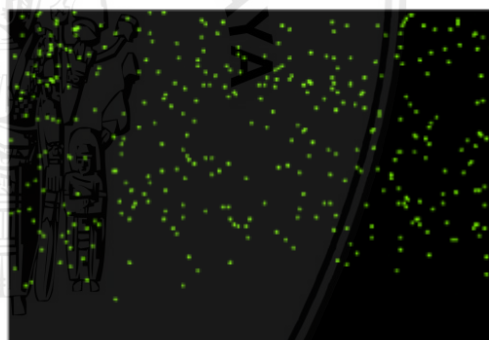
25 μ m

O K α 1



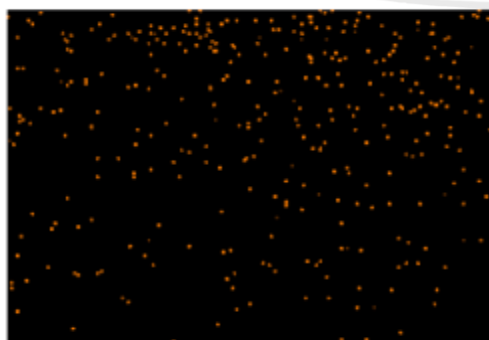
25 μ m

Cu K α 1



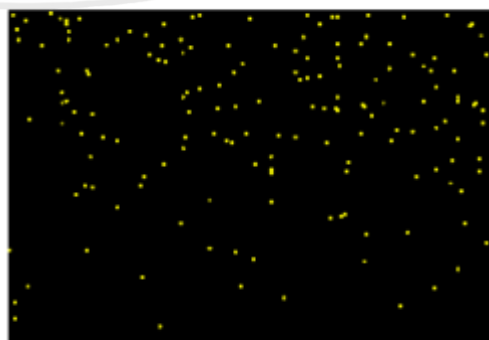
25 μ m

Si K α 1



25 μ m

N K α 1_2



25 μ m

Electron Image 17



180°C – 4 jam

EDS Layered Image 14

