



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH TEMPERATUR
DAN WAKTU PEMANASAN PROSES ANIL CEPAT
TERHADAP BESAR BUTIR, MAMPU BENTUK PELAT,
DIFRAKSI SINAR X DAN KEKASARAN
PELAT KUNINGAN 70/30**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Magister Teknik Metalurgi dan Material**

MIRZA WIBISONO

0706173761

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN STUDI METALURGI DAN MATERIAL
METALURGI MANUFAKTUR
DEPOK
DESEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama: Mirza Wibisono

NPM : 0706173761

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Mirza Wibisono

NPM : 0706173761

Program Studi : Pasca Sarjana Fakultas Teknik
Departemen Metalurgi dan Material.

Judul Tesis : Studi pengaruh temperatur dan waktu pemanasan proses anil cepat terhadap besar butir, mampu bentuk pelat, difraksi Sinar X dan kekasaran pelat kuningan 70/30.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA (.....)

Penguji I : Prof. Dr. Ir. Eddy S. Siradj, M.Eng (.....)

Penguji II : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc (.....)

Penguji III : Dr. Ir. Winarto, M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi ALLAH SWT yang telah terus menerus memberikan dan mengobarkan semangat, serta memudahkan jalan dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini tiada henti-hentinya. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik, Departmen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada saat proses pengerjaan penelitian serta penulisan tesis ini, kami banyak sekali mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, untuk itu kami mengucapkan penghargaan dan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Bpk. Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing, mengarahkan dan memberikan saran-saran selama pengerjaan penelitian dan penyusunan tesis ini.
2. Pimpinan dan semua rekan-rekan kerja di Bidang Teknologi Industri Logam, Pusat Teknologi Industri Proses, Deputi Bidang Teknologi Industri Rekayasa dan Rancang Bangun serta Pusat Pembinaan, Pendidikan dan Pelatihan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) atas dukungan pendanaan : pengadaan sampel, biaya pengujian dan biaya pendidikan dan bimbingannya.
3. Direksi, Manajer Produksi dan semua personil unit produksi industri pelat kuningan (PT. X), yang telah banyak membantu dalam pembuatan bahan percobaan dan memberikan data-data yang kami perlukan.
4. Seluruh staf pengajar di Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI, atas bimbingan dan arahnya.
6. Pimpinan dan personil sekretariat Departemen Metalurgi dan Material, FTUI atas dukungan surat menyuratnya.
7. Bpk. Ir. Hens Saputra MSc.Eng, yang banyak membantu dalam melaksanakan pengujian difraksi Sinar X, kekasaran permukaan, bimbingan dan kiriman referensinya dari negara tetangga Malaysia.
8. Sdr. Aridho dan Sdr. Reski Mt' 2006 sebagai mahasiswa tugas akhir S1, yang banyak membantu dalam melaksanakan percobaan anil dan pengujian.

9. Rekan-rekan mahasiswa pasca sarjana Departemen Metalurgi dan Material terutama angkatan tahun 2007 dan 2008 atas bimbingan dan dukungan semangatnya.
10. Orang Tua, Istri dan Anak yang secara terus menerus memberikan dukungan motivasi dan kesabarannya, untuk tetap semangat dalam masa kuliah dan penyelesaian tugas akhir.
11. Semua pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan dan kemudahan dalam menyelesaikan perkuliahan dan tugas akhir ini.

Mudah-mudahan ALLAH SWT membalas semua kebaikan-kebaikan mereka, dengan pahala yang berlipat ganda amin. Kami menyadari bahwa sebagai manusia tentunya isi penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangannya, mudah-mudahan untuk penyempurnaannya, dapat digunakan sebagai bahan untuk dilanjutkan oleh peneliti lainnya, sehingga semakin didapatkan hasil penelitian yang lebih lengkap, dan dapat dimanfaatkan oleh industri terkait di dalam negeri untuk pengembangan teknologi.

Depok, 30 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mirza Wibisono
NPM : 0706173761
Program Studi : Pasca Sarjana
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non Exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : 'Studi pengaruh temperatur dan waktu pemanasan proses anil cepat terhadap besar butir, mampu bentuk pelat, difraksi Sinar X dan kekasaran pelat kuningan 70/30'.

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok.
Pada tanggal : 30 Desember 2009

Yang menyatakan

(Mirza Wibisono)

ABSTRAK

Nama : Mirza Wibisono
Program Studi : Pasca Sarjana Teknik
Judul : Studi pengaruh temperatur dan waktu pemanasan proses anil cepat terhadap besar butir, mampu bentuk pelat, difraksi Sinar X dan kekasaran pelat kuningan 70/30.

Industri pelat kuningan di Indonesia saat ini hanya menghasilkan pelat-pelat yang nilai tambahnya rendah, karena belum dikuasainya teknologi termomekanikal sebagai dasar rekayasa proses untuk pengembangan produk pelat, yang pada prinsipnya adalah rekayasa butir di dalam struktur mikro. Dalam penelitian disini akan dipelajari hubungan pengaruh kadar aluminium dibawah dan diatas 0,03% terhadap parameter proses anil cepat yaitu temperatur dan waktu tahan, terhadap Difraksi Sinar X, besar butir, struktur mikro, kekerasan, kekasaran dan mampu bentuknya, kemudian analisa dari hubungan tersebut, digunakan untuk mendapatkan kombinasi temperatur dan waktu tahan proses anil cepat, yang menghasilkan kemampuan bentuk optimal. Variabel dalam proses penelitian ini yaitu komposisi kadar aluminium memenuhi syarat ($Al \leq 0,03\%$) dan melebihi syarat ($Al > 0,03\%$), pengaruh temperatur anil cepat yaitu 500° , 600° dan $700^{\circ}C$ waktu tetap 3 menit, dan pengaruh waktu anil cepat yaitu 2,3 dan 4 menit temperatur tetap $600^{\circ}C$. Dari penelitian didapatkan kadar aluminium $0,16112\% > 0,03\%$ masih tergolong dalam kuningan 70/30 karena fasanya masih alfa, kemudian dengan semakin tingginya temperatur dan lamanya waktu anil cepat setelah pelat mengalami pengerolan dingin dengan reduksi 38%, terjadi penurunan besar butir rata-ratanya mengecil yaitu 11,742%, sedangkan penurunan kekerasan rata-ratanya membesar yaitu 51,05% berarti terjadi pertumbuhan butir, sehingga didapatkan temperatur dan waktu anil cepat optimal yaitu $600^{\circ}C$ waktu 3 menit, kemudian diaplikasikan di pelat untuk menguji kemampuan bentuk melalui sampel uji tarik, ternyata elongasi, kekuatan tarik maksimal, koefisien pengerasan regang (n) dan anisotropi normal (r) mendekati referensi standar dan industri pengguna, untuk anisotropi planar (Δr) atau pengupingan sedikit diatas nilai nol. Kekasaran permukaan menurun dari pengerolan dingin ke proses anil cepat, akan tetapi distribusi kekasarannya masih tidak homogen. Dari pengerolan dingin melalui difraksi Sinar X didapat bidang (220) dan (111), setelah dianil terjadi penambahan satu bidang lagi yaitu (200).

Kata kunci : Anil cepat, temperatur, waktu, besar butir, *hardness*, mampu bentuk, kekasaran permukaan dan difraksi Sinar X.

UNIVERSITAS INDONESIA

ABSTRACT

Name : Mirza Wibisono
Program Study : Post Graduate, Faculty of Engineering
Title : Assessment of Influence temperatur and heating time from rapid annealing process correlation to grain size, sheet formability, X Ray diffraction, hardness and surface roughness from plate 70/30 brass.

Currently brass sheet industry in Indonesia only produce low value added sheet product, because not yet understand the thermomechanical technology as the basic of process engineering for sheet product development. The basic process that is grain engineering in the sheet microstructure. In this research we will be studied the relation of aluminium content under and up specification 0,03%, to rapid annealing process parameter that is temperature and holding time, correlation to X Ray Diffraction, grain size, microstructure, hardness, and surface roughness, and then from this analysis relationship, applied to get combination of optimal temperature and rapid annealing process holding time, for getting the optimal sheet formability. Process parameter using in this research that is aluminium content below or over 0,03%, effect of anneal temperature such as 500°,600° and 700°C with fixed 3 minute holding time, and effect of anneal holding time such as 2,3 and 4 minute with fixed temperature of 600°C. Resulting from this research is got aluminium content that is 0,16112% > 0,03% still classify as brass 70/30 because only one phase in the microstructure that is alpha, then with increasing anneal temperature and holding time after the sheet experiences cold rolling with reduction 38%, exist mean grain size decreasing 11,742%, whereas mean hardness decreasing extend to 51,05%, these means happen enlarge of grain size, until got temperature and rapid anneal optimal that is 600°C with time 3 minute, then after apply to brass 70/30 sheet for testing sheet formability by tensile testing method. The results such as elongation, ultimate tensile strength, strain hardening coefficient (n), normal anisotropy (r) close to standard reference and user industry specification, for planar anisotropy (Δr) or earing tendency is little about zero. Although surface roughness declines from cold rolling to rapid annealing process, however distribution of its roughness still not homogen. From cold rolling resulting two plane such as (220) and (111), after that from rapid annealing process add one more plane that is (200) because crystal plane move to stabil condition after got cold rolling and rapis annealing.

Key words : Rapid Annealing, temperature, holding time, grain size, *hardness*, sheet formability, surface roughness, and X Ray Diffraction.

UNIVERSITAS INDONESIA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Kegunaan hasil penelitian	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kuningan 70/30	4
2.2. Difraksi Sinar X	7
2.3. Anil Rekristalisasi	19
2.4. Kemampuan Bentuk Pelat	34
2.5. Kekasaran permukaan	35
3. METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1. Diagram Alir Penelitian	41
3.2. Pembuatan Bahan Penelitian	42
3.3. Pembuatan Sampel Penelitian	44
3.4. Pengujian	45
3.4.1. Komposisi Kimia	45
3.4.2. Struktur Mikro, Besar Butir Dan Kekerasan	46
3.4.3. Pengujian Difraksi Sinar X.	49
3.4.4. Pengujian Tarik	50
3.4.5. Pengamatan SEM Permukaan Patahan Uji Tarik	52
3.4.6. Kekasaran permukaan	53
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Komposisi kimia	55
4.2. Struktur mikro dan besar butir	57
4.3. Kekerasan/hardness	86
4.4. Tarik	92
4.5. Permukaan Patahan	99
4.6. Kekasaran permukaan	104

UNIVERSITAS INDONESIA

4.7. Difraksi Sinar X	109
5. KESIMPULAN	118
DAFTAR REFERENSI	120



UNIVERSITAS INDONESIA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Keterangan titik-titik di dalam diagram fasa kuningan.....	5
Tabel 2.2.	Koefisien Ekivalen Seng Guillet Dezinfication.	6
Tabel 4.1.	Hasil pengujian komposisi kimia	55
Tabel 4.2.	Hasil Pengukuran Besar Butir.....	83
Tabel 4.3.	Hasil Pengukuran Kekerasan/Hardness	88
Tabel 4.4.	Hasil pengujian tarik.	93
Tabel 4.5.	Hubungan antara bidang kristal yang terjadi dengan sudut 2θ dari puncak intensitas difraksi X ray pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan ($Al \leq 0,03\%$) setelah pengerolan dingin.	111
Tabel 4.6.	Hubungan antara bidang kristal yang terjadi dengan sudut 2θ dari puncak intensitas difraksi X ray pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan ($Al > 0,03\%$) setelah pengerolan dingin.	111
Tabel 4.7.	Hubungan antara bidang kristal yang terjadi dengan sudut 2θ dari puncak intensitas difraksi X ray pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan ($Al \leq 0,03\%$) setelah anil temperatur $600^{\circ}C$ dan waktu tahan 3 menit.....	113
Tabel 4.8.	Hubungan antara bidang kristal yang terjadi dengan sudut 2θ dari puncak intensitas difraksi X ray pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan ($Al > 0,03\%$) setelah anil temperatur $600^{\circ}C$ dan waktu tahan 3 menit.....	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Diagram fasa paduan tembaga dan seng (kuningan).....	6
Gambar 2.2.	Komposisi seng, struktur kristal, kemampuan bentuk dan temperatur perlakuan panas.....	7
Gambar 2.3.	Berkas cahaya difraksi sinar menurut hukum Bragg.....	8
Gambar 2.4.	Difraksi Sinar X yang menumbuk bidang kristal.....	9
Gambar 2.5.	Dua gelombang yang saling menguatkan.....	10
Gambar 2.6.	Dua gelombang yang saling menghilangkan.....	10
Gambar 2.7.	(a). Material tanpa tekstur, (b). Material dengan kristalografi tekstur, (c). Material dengan morfologi tekstur. Bujur sangkar kecil menunjukkan arah kristalografi butir.....	11
Gambar 2.8.	Energi tersimpan yang dilepaskan ketika struktur mikro mengalami recovery dengan fungsi regangan.....	12
Gambar 2.9.	Perbedaan diantara puncak (311) untuk tembaga yang diekstrusi 8 kali didinginkan dari temperatur 500°K (garis putus-putus) dan sampel yang tidak dianil (garis titik-titik) memberikan puncak yang tajam (garis penuh).....	12
Gambar 2.10.	Kerapatan dislokasi dengan fungsi regangan.....	13
Gambar 2.11.	Pengaruh deformasi pada cincin difraksi ferit bidang (211) melalui pengujian tarik. (a). Deformasi 7%, (b). Deformasi 11%, (c). Deformasi 20%, (d). Gambar dari sistim kamera pemantul kembali, jarak sampel dan film 43 mm, anoda Cr.....	14
Gambar 2.12.	Pengaruh rekristalisasi anil terhadap struktur mikro (100x) dan pada segi cincin difraksi ferit (110) dan (200) dari besi tahan panas berdasarkan paduan 14% Cr, 4% Al dan 0,02% C, (a). Tanpa anil, (b). Anil selama 15 menit pada temperatur 830°C, (c). Anil selama 15 menit pada temperatur 890°C, (radiasi Co-K α , kamera Bragg-Bentano semifokus 114,6 mm, sudut timbulnya 30°).....	15
Gambar 2.13.	Pola difraksi dari lapisan terhadap kadar Erbium (Er) untuk pengendapan lapisan AlN (Er).....	16
Gambar 2.14.	Pola difraksi lapisan terhadap kadar Erbium (Er) untuk lapisan AlN (Er) yang dianil pada 873°K selama 1 jam.....	17
Gambar 2.15.	Temperatur pengembangan puncak sekitar puncak urutan nol dari kisi rata-rata ditunjukkan pada grafik yang dibawah. Spektrum XRD sudut rendah ditunjukkan gambar diatas.....	18
Gambar 2.16.	(a). Spektrum difraksi neutron pada T=295°K, tidak ada tegangan (resolusi difraktometer medium), (b). Puncak difraksi neutron pada tegangan tarik maksimum $\sigma=334$ Mpa (deteksi regangan resolusi tinggi).....	19
Gambar 2.17.	Proses anil, (a). Keadaan deformasi, (b). Pemulihan (recovery), (c). Rekristalisasi sebagian, (d). Rekristalisasi penuh, (e). Pertumbuhan butir, dan (f). Pertumbuhan butir tidak normal.....	21
Gambar 2.18.	Perubahan kekuatan tarik, keuletan dan besar butir setelah pelat logam mengalami proses perlakuan panas pelunakkan (anil).....	22

UNIVERSITAS INDONESIA

Gambar 2.19.	Perubahan kekerasan temperatur 150°C butir halus pengerolan dingin 70/30, tanda titik hitam sejajar arah pengerolan, tanda (+) tegak lurus arah pengerolan.....	23
Gambar 2.20.	Perubahan kekerasan temperatur 250°C butir halus pengerolan kuningan 70/30.....	24
Gambar 2.21.	Perubahan kekerasan pada temperatur 350°C pelat berbutir kasar, pengerolan dingin kuningan 70/30.....	25
Gambar 2.22.	Perubahan kekerasan pada temperatur 450°C pengerolan kuningan 70/30.....	26
Gambar 2.23.	Gambar kiri pengaruh reduksi pengerolan dingin dengan ukuran butir. Gambar kanan pengaruh reduksi pengerolan dingin terhadap kekerasan.....	26
Gambar 2.24.	Pengaruh temperatur anil dan kecepatan pemanasan terhadap kekerasan.....	27
Gambar 2.25.	Pengaruh reduksi pengerolan dingin dengan kekerasan.....	28
Gambar 2.26.	Kekerasan pelat yang dirol dingin dari sampel tembaga dan tembaga paduan dengan temperatur anil.....	29
Gambar 2.27.	Hubungan reduksi pengerolan dingin dengan kekerasan.....	29
Gambar 2.28.	Perubahan kekerasan sampel yang serbuk paduan tembaga yang disinter kemudian direduksi 70% melalui pengerolan dingin.....	30
Gambar 2.29.	Kekerasan terhadap persentase reduksi pengerolan dingin dan rekristalisasi.....	31
Gambar 2.30.	Pengaruh waktu anil terhadap terhadap kecepatan rekristalisasi pada temperatur 380°C.....	32
Gambar 2.31.	Pengaruh waktu anil terhadap terhadap kecepatan rekristalisasi pada temperatur 450°C.....	32
Gambar 2.32.	Pengaruh waktu anil terhadap terhadap kecepatan rekristalisasi pada deformasi 70%.....	33
Gambar 2.33.	Pengaruh waktu anil terhadap terhadap kecepatan rekristalisasi pada deformasi 90%.....	33
Gambar 2.34.	Variasi perbandingan regangan 'r' dengan arah pengerolan pada baja carbon rendah (gambar atas), pengaruh perbandingan regangan rata-rata terhadap drawability mangkok (gambar bawah), menunjukkan kedalam pembentukan mangkok.....	35
Gambar 2.35.	Pengaruh nilai anisotropi planar (Δr) terhadap tekstur, aliran material dan pengupingan.....	35
Gambar 2.36.	Ilustrasi kekasaran permukaan, gelombang dan bentuk umum permukaan.....	36
Gambar 2.37.	Hubungan regangan, besar butir dan kekasaran permukaan.....	38
Gambar 2.38.	Kekasaran permukaan lembaran logam meningkat dengan meningkatnya regangan.....	38
Gambar 2.39.	Topografi permukaan dari hubungan besar butir dengan regangan (a). Permukaan pelat berbutir kecil, (b). Permukaan berbutir besar.....	39

Gambar 2.40.	Kekasaran permukaan dalam kaitannya dengan regangan dan besar butir pelat aluminium.	40
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2.	Proses pembuatan bahan penelitian.	43
Gambar 3.3.	Bentuk jadi bahan penelitian pelat kuningan 70/30.	43
Gambar 3.4.	Tungku Nabertherm untuk simulasi anil cepat.	44
Gambar 3.5.	Diagram tahapan percobaan anil cepat.....	45
Gambar 3.6.	Bentuk sampel pengujian komposisi kimia dengan spectrometer.	46
Gambar 3.7.	Bentuk dan ukuran sampel struktur mikro, besar butir dan hardness.....	46
Gambar 3.8.	Posisi pengamatan struktur mikro, besar butir dan hardness.	46
Gambar 3.9.	Posisi pengamatan struktur mikro, besar butir dan hardness.	47
Gambar 3.10.	Metode Planimetri.	47
Gambar 3.11.	Jejak belah ketupat hasil pengujian kekerasan metode Vickers....	48
Gambar 3.12.	Bentuk dan ukuran sampel Difraksi Sinar X.....	49
Gambar 3.13.	XRD 6000 Shimadzu untuk pengujian Difraksi Sinar X.	50
Gambar 3.14.	Sampel uji tarik untuk analisa mampu bentuk pelat : elongasi, kuat tarik maksimum, 'n' : koefisien pengerasan regang, 'r' : anisotropi normal/rasio regangan plastis, dan 'Δr' : anisotropi planar/earring.	51
Gambar 3.15.	Sampel permukaan patahan.....	52
Gambar 3.16.	Bentuk dan ukuran sampel uji kekasaran permukaan.....	53
Gambar 3.17.	Peralatan pengujian kekasaran permukaan.	54
Gambar 4.1.	Posisi memanjang menunjukkan butir pipih memanjang dan di dalamnya terdapat garis-garis hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	57
Gambar 4.2.	Posisi melintang Menunjukkan potongan melintang butir pipih pada posisi memanjang dan di dalamnya terdapat garis-garis hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	58
Gambar 4.3.	Posisi permukaan menunjukkan potongan memanjang butir pipih dilihat dari atas di dalam butir terdapat garis-garis hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	58
Gambar 4.4.	Posisi memanjang menunjukkan butir pipih dan di dalamnya terdapat garis-garis hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	59
Gambar 4.5.	Posisi melintang menunjukkan potongan melintang butir pipih pada posisi memanjang di dalamnya terdapat garis2 hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	59
Gambar 4.6.	Posisi permukaan menunjukkan potongan memanjang butir pipih dilihat dari atas di dalam butir terdapat garis2 hitam, yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	60

UNIVERSITAS INDONESIA

Gambar 4.7.	Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat berarti butir pipih memanjang terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	62
Gambar 4.8.	Posisi melintang menunjukkan potongan melintang butir pipih posisi memanjang terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	62
Gambar 4.9.	Posisi permukaan menunjukkan potongan memanjang butir pipih dilihat dari atas terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	63
Gambar 4.10.	Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat berarti butir pipih memanjang terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	63
Gambar 4.11.	Posisi melintang menunjukkan potongan melintang butir pipih posisi memanjang terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	64
Gambar 4.12.	Posisi permukaan menunjukkan potongan memanjang butir pipih dilihat dari atas terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	64
Gambar 4.13.	Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat berarti butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	65
Gambar 4.14.	Posisi melintang menunjukkan potongan butir melintang, butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	66
Gambar 4.15.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas, butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	66
Gambar 4.16.	Posisi memanjang menunjukkan butir bulat ² berarti butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	67
Gambar 4.17.	Posisi melintang menunjukkan potongan butir posisi melintang terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	67
Gambar 4.18.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	68
Gambar 4.19.	Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat besar berarti butir sudah tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	69
Gambar 4.20.	Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	70
Gambar 4.21.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	70
Gambar 4.22.	Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat besar berarti butir tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	71
Gambar 4.23.	Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	71
Gambar 4.24.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	72
Gambar 4.25.	Posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi kecil-kecil/halus, masih tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	73

Gambar 4.26.	Posisi melintang menunjukkan butir terekristalisasi kecil-kecil/halus, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	73
Gambar 4.27.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	74
Gambar 4.28.	Posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	74
Gambar 4.29.	Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang terekristalisasi, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	75
Gambar 4.30.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	75
Gambar 4.31.	Posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	76
Gambar 4.32.	Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	77
Gambar 4.33.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	77
Gambar 4.34.	Posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	78
Gambar 4.35.	Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	78
Gambar 4.36.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	79
Gambar 4.37.	Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat besar berarti butir tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	80
Gambar 4.38.	Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	80
Gambar 4.39.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	81
Gambar 4.40.	Posisi memanjang menunjukkan butir bulat2 besar berarti butir tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	81
Gambar 4.41.	Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	82
Gambar 4.42.	Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl ₃	82
Gambar 4.43.	Grafik pengaruh pengerolan dingin dan anil terhadap besar butir.	84
Gambar 4.44.	Pengaruh proses pengerolan dan anil terhadap kekerasan.	89
Gambar 4.45.	Pengaruh besar butir terhadap kekerasan dari sampel kadar Al ≤ 0,03% dan Al > 0,03%.	92
Gambar 4.46.	Elongasi terhadap arah pengerolan.	94
Gambar 4.47.	Pengaruh kekuatan tarik terhadap arah pengerolan.....	96
Gambar 4.48.	Pengaruh arah pengerolan terhadap n (koefisien pengerasan regang).....	97
Gambar 4.49.	Pengaruh arah pengerolan terhadap nilai r (anisotropy normal). ...	99

UNIVERSITAS INDONESIA

- Gambar 4.50. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 0° , dari sampel yang kadar aluminium $\leq 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple*. Perbesaran 1000X.....100
- Gambar 4.51. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 45° , dari sampel yang kadar aluminium $\leq 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple* yang lebih jelas. Perbesaran 1000X.....100
- Gambar 4.52. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 90° , dari sampel yang kadar aluminium $\leq 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple*. Perbesaran 1000X.....101
- Gambar 4.53. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 0° , dari sampel yang kadar aluminium $> 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan, berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple*. Perbesaran 1000X.....102
- Gambar 4.54. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 45° , dari sampel yang kadar aluminium $> 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan, berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple*. Perbesaran 1000X.....102
- Gambar 4.55. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 90° , dari sampel yang kadar aluminium $> 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan, berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple* yang lebih jelas. Perbesaran 1000X.....103
- Gambar 4.56. Kekasaran permukaan permukaan 2 (dua) dimensi, dari sampel kadar aluminium $\leq 0,03\%$, setelah mengalami anil 600°C waktu 3 menit, dari pengerolan dingin menyebabkan kekasaran permukaan pelat menjadi turun, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,49\mu\text{m}$104
- Gambar 4.57. Topografi kekasaran permukaan dari sampel kadar aluminium $\leq 0,03\%$, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,49\mu\text{m}$, setelah mengalami anil 600°C waktu 3 menit setelah pelat mengalami pengerolan dingin.....105
- Gambar 4.58. Kekasaran permukaan permukaan 2 (dua) dimensi, dari sampel kadar aluminium $> 0,03\%$, setelah mengalami anil 600°C waktu 3 menit, dari pengerolan dingin menyebabkan kekasaran permukaan pelat menjadi turun, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,34\mu\text{m}$105

Gambar 4.59. Topografi kekasaran permukaan dari sampel kadar aluminium > 0,03%, dengan kekasaran permukaan rata-rata 0,34 μ m, setelah mengalami anil 600°C waktu 3 menit setelah pelat mengalami pengerolan dingin.....	106
Gambar 4.60. Kekasaran permukaan permukaan 2 (dua) dimensi, dari sampel kadar aluminium \leq 0,03%, deformasi dari pengerolan dingin menyebabkan permukaan pelat menjadi tinggi kekasarannya, dengan kekasaran permukaan rata-rata 0,5 μ m.....	106
Gambar 4.61. Topografi kekasaran permukaan dari sampel kadar aluminium \leq 0,03%, dengan kekasaran permukaan rata-rata 0,5 μ m.	107
Gambar 4.62. Kekasaran permukaan permukaan 2 (dua) dimensi, dari sampel kadar aluminium > 0,03%, deformasi dari pengerolan dingin menyebabkan permukaan pelat menjadi tinggi kekasarannya, dengan kekasaran permukaan rata-rata 0,42 μ m.....	107
Gambar 4.63. Topografi kekasaran permukaan dari sampel kadar aluminium > 0,03%, dengan kekasaran permukaan rata-rata 0,42 μ m.	108
Gambar 4.64. Grafik hubungan pengerolan dingin dan anil temperatur 600°C waktu 3 menit terhadap kekasaran permukaan.	109
Gambar 4.65. Intensitas difraksi X Ray pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan (Al \leq 0,03%) setelah pengerolan dingin.....	110
Gambar 4.66. Intensitas difraksi X Ray pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan (Al > 0,03%) setelah pengerolan dingin.....	110
Gambar 4.67. Intensitas difraksi X Ray pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan (Al \leq 0,03%) setelah anil temperatur 600°C dan waktu tahan 3 menit.....	112
Gambar 4.68. Intensitas difraksi X Ray pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan (Al > 0,03%) setelah anil temperatur 600°C dan waktu tahan 3 menit.....	113

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Uji Komposisi Kimia.....	124
Lampiran 2 : Perhitungan Besar Butir.....	126
Lampiran 3 : Perhitungan Kekerasan/Hardness.....	128
Lampiran 4 : Perhitungan Uji Tarik.....	130
Lampiran 5 : Kekasaran Permukaan.....	136



UNIVERSITAS INDONESIA