

Jurnal Kajian Ilmiah

Universitas Bhayangkara Jakarta Raya

**MENINGKATKAN LAYANAN TIKET
COMMUTERLINE DENGAN QR CODE
BERBASIS ANDROID**

Adi Muhajirin, Irham
Cahya Nugraha

**STUDI PENGARUH LAKUPANAS ANILING
TERHADAP RESIDUAL STRESS PADA BAJA
TAHAN KARAT 304L**

Dicky Antonius, Budi arto

**EFEKTIVITAS BERAT KATALIS DARI ABU KULIT
BUAH KELAPA PADA REAKSI TRANSESTERIFI-
KASI MINYAK SAWIT MENJADI METIL ESTER**

Ajat Marjaya, Rauf Achmad SuE, Dewi Murniati

**PENYITAAN OLEH PENYIDIK KPK TERHADAP
ASET PELAKU TINDAK PIDANA KORUPSI**

Hesti Widyaningrum

**SISTEM PAKAR UNTUK MENDIAGNOSIS
KERUSAKAN HARDWARE KOMPUTER BERBASIS
WEB PADA PT. BUKIT PUTRI HIJAU**

Dian Gustina, Achmad Sumbaryadi



**LEMBAGA PENELITIAN
UBHARA JAYA**

Jurnal Kajian Ilmiah (KJI) ini menyajikan tulisan-tulisan ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian, ulasan-ulasan ilmiah serta membahas penelitian yang menjadi obyek kajian pada umumnya.

JKI ini diterbitkan oleh Lembaga Penelitian Universitas Bhayangkara Jakarta Raya (LP-UBHARA JAYA)

Untuk menjamin berlangsungnya penerbitan JKI ini sumbangan tulisan dan atau resensi serta referensi buku-buku ilmiah sangat dihargai. Karangan ilmiah dan tinjauan buku-buku yang diterbitkan, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Penanggung Jawab :

Drs. Bambang Karsono,SH,MM

Tim Pengarah :

1. Dr.Charles Bohlen Purba,SE,MM
2. Dr.Hj.Silvia Nurlaila,S.Pd,SE,MM
3. Drs. R. Bagus Harry S
4. Ir.IB.Ardhana Putra,PhD

Dewan Redaksi :

Ketua : Ismaniah,S.Si,MM
Sekretaris : Erwan Mulyanto, ST
Bendahara : E.M.Cuk Nugroho,S.Kom,MM

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakatuhu....
Salam Sejahtera Bagi Kita Semua....
Om Swastyastu.....
Namo Buddhaya...

Atas Rahmat dan Karunia dari Tuhan YME, Lembaga Penelitian Universitas Bhayangkara Jakarta Raya dapat menerbitkan Jurnal Kajian Ilmiah Volume 15 Nomor : 1 bulan Mei 2015.

Dalam edisi kali ini Jurnal Kajian Ilmiah menyajikan enam buah artikel dari para dosen Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, diantaranya :

Adi Muhajirin dan Irham Cahya Nugraha adalah Dosen Fakultas Teknik, Teknik Informatika Universitas Bhayangkara Jakarta Raya. Pada edisi kali ini beliau menyumbangkan tulisan yang berjudul “MENINGKATKAN LAYANAN TIKET COMMUTERLINE DENGAN QR CODE BERBASIS ANDROID”.

Dicky Antonius dan Budi arto adalah Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia. Pada edisi kali ini beliau menyumbangkan tulisan tentang “STUDI PENGARUH LAKUPANAS ANILING TERHADAP RESIDUAL STRESS PADA BAJA TAHAN KARAT 304L”

Ajat Marjaya, Rauf Achmad SuE, Dewi Murniati adalah Dosen Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya. Pada edisi kali ini beliau menyumbangkan tulisan yang berjudul “EFEKTIVITAS BERAT KATALIS DARI ABU KULIT BUAH KELAPA PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENJADI METIL ESTER”.

Hesti Widyaningrum adalah Dosen Program Studi Hukum dan Sistem Peradilan Pidana Universitas Indonesia. Pada edisi kali ini beliau menyumbangkan tulisan yang berjudul “PENYITAAN OLEH PENYIDIK KPK TERHADAP ASET PELAKU TINDAK PIDANA KORUPSI”.

Dian Gustina dan Achmad Sumbarya dalah Dosen Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya. Pada edisi kali ini beliau menyumbangkan tulisan yang berjudul. “SISTEM PAKAR UNTUK MENDIAGNOSISKERUSAKAN HARDWARE KOMPUTER BERBASIS WEB PADA PT. BUKIT PUTRI HIJAU”.

Besar harapan redaksi bahwasanya seluruh artikel pada edisi kali ini dapat memberikan tambahan wawasan dan pengetahuan seputar apa yang telah terjadi di sekitar kita.

Akhirnya redaksi mohon maaf apabila masih ada kekurangan dan kesalahan dalam penerbitan Jurnal Kajian Ilmiah ini. Kami mengharapkan adanya masukan, saran, dan kritikan demi kemajuan dan peningkatan kualitas Jurnal Kajian Ilmiah Ubhara Jaya.

Redaksi

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
MENINGKATKAN LAYANAN TIKET COMMUTERLINE DENGAN QR CODE BERBASIS ANDROID Oleh : Adi Muhajirin dan Irham Cahya Nugraha.....	1 – 19
STUDI PENGARUH LAKUPANAS ANILING TERHADAP RESIDUAL STRESS PADA BAJA TAHAN KARAT 304L Oleh : Dicky Antonius dan Budi arto.....	20 – 31
EFEKTIVITAS BERAT KATALIS DARI ABU KULIT BUAH KELAPA PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENJADI METIL ESTER Oleh : Ajat Marjaya, Rauf Achmad SuE dan Dewi Murniati ³	32 – 45
PENYITAAN OLEH PENYIDIK KPK TERHADAP ASET PELAKU TINDAK PIDANA KORUPSI Oleh : Hesti Widyaningrum	
SISTEM PAKAR UNTUK MENDIAGNOSIS KERUSAKAN HARDWARE KOMPUTER BERBASIS WEB PADA PT. BUKIT PUTRI HIJAU Oleh : Dian Gustina ^{1*} , Achmad Sumbaryadi ²	
KONFLIK KERJA Oleh : Indra Lubis ^{1*} , Mufti Diar ²	

STUDI PENGARUH LAKUPANAS ANILING TERHADAP *RESIDUAL STRESS* PADA BAJA TAHAN KARAT 304L

Dicky Antonius^{1*}, Budi arto²

Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia

*Penulis Untuk Korespondensi : budidamz@yahoo.com

Abstrak – STUDI PENGARUH LAKUPANAS ANILING TERHADAP *RESIDUAL STRESS* PADA BAJA TAHAN KARAT 304L. Telah dilakukan analisa residual stress pada baja tahan karat 304L, dalam rangka melaksanakan kebutuhan bahan untuk mengetahui karakterisasi bahan yang digunakan pada operasi temperatur dan tekanan tinggi pada pembangkit daya. Adanya residual stress mengakibatkan bahan mudah terserang korosi lingkungan dan saat diberi beban terjadi retak patahan. Beberapa sampel diperlakukan proses pemanasan anil dengan variasi temperatur 375°C, 475°C, dan 575°C dengan waktu penahanan konstan selama 2 jam. Selanjutnya cuplikan kemudian dikarakterisasi terhadap struktur kristal dan residual stress dengan alat difraktometer sinar-X untuk mengetahui perbedaan pola difraksi, serta dilakukan pengolahan data dengan *software Rietan*. Hasil analisa *residual stress* memperlihatkan bahwa distribusi residual stress dalam baja tahan karat 304L akibat temperatur pemanasan mengikuti fungsi parabola. Bahan kembali ke kondisi *residual stress* (σ referensi) bahan asli pada temperatur sekitar 375°C dan 475°C. Di dalam jangkauan temperatur ini residual stress adalah tegangan tarik sisa, sedang di luar jangkauan ini residual stress adalah *compressive stresses*. *Residual stress* mencapai nilai maksimum sekitar -0,02 Gpa pada temperatur sekitar 475°C, dan minimum sekitar -1,05 GPa pada temperatur pemanasan sekitar 575°C.

Kata Kunci : Bahan pembangkit daya, baja tahan karat 304L, residual stress

Abstract – THE STUDY OF INFLUENCE RESIDUAL STRESS BY HEAT TREATMENT ANILING ON STAINLESS STEEL 304L. Residual stress analysis was carried out on 304L stainless steel samples to study the characteristics of materials used in high-pressure and high-temperature operations power plant. The presence of residual-stress is a crucial effect in materials. This effect is due to the vulnerability of materials with respect to corrosion attacks from the environment, and from fracture cracks occurring when materials studied are subjected to a certain load. Six teen samples have been investigated in this study, one sample is used as the reference sample and the other five teen samples are then heat-treated by annealing at, 375°C, 475°C, and 575°C for two hours. All samples are then characterized by X-ray diffractometer to detect changes in the diffraction patterns, followed by Rietveld analysis. Results indicate that residual-stress in 304L stainless steels due to heat-treatment seems to follow a parabolic-function pattern. The materials are recovery to residual stress of an initial sample (σ reference) at 375°C dan 475°C. In this temperature range residual-stress takes on the form of tensile stresses, and conversely it turns to compressive stresses outside of this temperature range. Residual stress reaches the maximum value of -0,02 GPa at 475°C, and a minimum value of -1.05 GPa at 575°C.

Keywords: Power plant materials, Stainless Steel 304l, X-ray diffraction, and residual stress.

1. PENDAHULUAN

Bahan baja tahan karat 304L, merupakan salah satu jenis bahan struktur feritik yang tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi. Nilai besaran residual stress/tegangan sisa dalam baja tahan karat 304L penting diketahui dalam memahami pengaruh tegangan ini pada kelakuan komponen sebelum dimanfaatkan sebagai bahan pipa pendingin pada pembangkit daya. Beberapa usaha untuk meminimumkan pengaruh *residual stress* banyak dilakukan. Proses pemanasan anil merupakan salah satu usaha penyegaran bahan agar efek *residual stress* tidak signifikan. Adapun pengaruh perlakuan *re-aging* pada bahan baja tahan karat 304L ini menyebabkan kekerasan bahan menurun dari bahan sebelum diperlakukan homogenisasi dalam proses *aging*, oleh karena pertumbuhan presipitat tidak signifikan.

Tegangan sisa ini sangat krusial keberadaannya dalam bahan. Banyak kegagalan komponen terjadi akibat sifat mekanik yang satu ini. Efek tegangan ini muncul ketika bahan mudah terserang korosi lingkungan dan saat diberi beban terjadi retak patahan (*stress corrosion cracking*). Dalam pola mekanik *residual stress* ini memperlihatkan prematur *yielding*^[6], dan menurunkan kekakuan bahan. Tegangan ini mampu menurunkan daerah proporsional, sehingga kelakuan elastik bahan tidak dapat diprediksi secara tepat dan benar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur pemanasan anil pada peregangan kristal baja tahan karat 304L dengan waktu penahanan pemanasan 2 jam. Analisis Rietveld dapat memberikan kuantitas *residual stress* dalam bahan dari perubahan kecil (peregangan) jarak interplanar bidang kristal. *Software* Rietveld^[2,3] mampu menghitung dan mengestimasi proporsi fasa kristalin. Penghalusan dengan metode kuadrat terkecil dilakukan hingga *fitting* terbaik diperoleh, antara seluruh pola difraksi yang teramati dan seluruh pola intensitas perhitungan, yang didasarkan pada model penghalusan simultan, efek difraksi optik, faktor instrumen dan karakteristik lain seperti parameter kisi sesuai pemodelan yang diinginkan. Proses umpan balik selama penghalusan, pengetahuan struktur dan pengamatan intensitas terhadap refleksi Bragg individu yang tumpang tindih sebagian, menjadi kunci penyelesaian.

Pada makalah ini studi dibatasi oleh pengaruh variasi temperatur pemanasan anil terhadap distribusi *residual stress* pada baja tahan karat 304L. Studi dilakukan dalam rangka melaksanakan kebutuhan untuk mengetahui karakter bahan pipa yang digunakan pada operasi temperatur dan tekanan tinggi pada pembangkit daya.

2. TEORI

Pengamatan tegangan internal dalam bahan dapat ditelusuri dari fenomena tegangan internal kisi dalam sebuah kristal. Tegangan ini berbanding langsung dengan regangan elastik kisi yang terjadi di dalam kristal penyusun bahan. Besaran regangan dapat diukur dengan teknik difraksi^[1-3] dari perumusan Bragg:

$$2 d_{hkl} \sin \theta_{hkl} = \lambda \dots\dots\dots(1)$$

dimana d_{hkl} adalah jarak bidang kisi kristal yang berkaitan dengan bidang refleksi Bragg (hkl) yang teramati pada suatu sudut hambur $2\theta_{hkl}$, λ adalah panjang gelombang sinar-X dan (hkl) adalah indeks Miller bidang difraksi.

Diferensiasi d_{hkl} terhadap θ_{hkl} , diperoleh persamaan:

$$\Delta d/d = - \cot \theta \Delta \theta \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan ini menggambarkan regangan kisi, $\varepsilon = (d-d_0)/d_0 = \Delta d/d_0$ yang kecil dalam kristal bahan yang dapat diidentifikasi dari sedikit pergeseran puncak difraksi. Dari pengukuran perubahan sudut hamburan $\Delta 2\theta = -2 \varepsilon \tan \theta$, regangan ε dapat diprediksi. Pada cuplikan yang berukuran besar, regangan ε merupakan harga rata-rata dari regangan yang terjadi didalam bahan untuk bidang (hkl) tertentu.

Dalam bahan ada sejumlah kristal dengan bidang hambur (hkl) tegak lurus terhadap arah pengukuran regangan yang diamati dari sudut puncak difraksi. Jarak antar bidang kristal bahan yang tidak mengalami regangan harus ditentukan dengan cermat agar regangan mutlak (*absolute strain*) dapat ditentukan dengan pasti. Perubahan yang bervariasi terhadap nilai d_0 akibat perubahan komposisi fasa dalam bahan dapat menghasilkan nilai peregang, sedemikian hingga fluktuasi selisih d_0 (Δd) yang dibandingkan dengan d_0 menghasilkan perubahan tegangan pada perbanyakan dengan besaran skalar untuk seluruh volume (*spatial*).

Regangan yang didiskusikan di atas merupakan harga rata-rata untuk seluruh volume yang diiradiasi, karena *residual stress* dalam kebanyakan bahan padat tidak homogen. Ketidak-homogenan medan regangan dapat menghasilkan pelebaran (*broadening*) pada pola difraksi. Pelebaran dari suatu puncak difraksi ini dapat diberikan sebagai ^[3]:

$$B^2 = B_0^2 + 32 (\ln 2) (e_{hkl})^2 \tan^2 \theta + V \tan \theta + W \dots\dots\dots(3)$$

dengan B adalah FWHM (*full wave half maximum*) dari pelebaran puncak, U,V,W adalah konstanta-konstanta penghalusan (*refinement*) puncak dari analisis Rietveld, e_{hkl} adalah harga rata-rata regangan *rms* bahan anisotropis dan B_0 adalah resolusi alat, yang bervariasi terhadap θ , menurut persamaan Cagliotti ^[10] :

$$B_0^2 = U_0 \tan^2 \theta + V_0 \tan \theta + W_0 \dots\dots\dots(4)$$

Dari persamaan 3) dan 4) dapat diturunkan persamaan;

$$U = U_0 + 32 (\ln 2) (e_{hkl})^2 \dots\dots\dots(5)$$

Dalam perhitungan parameter U diperoleh dari analisis data cuplikan baja tahan karat 304L yang diberi pemanasan dan parameter U_0 diperoleh dari analisis data cuplikan baja tahan karat 304L yang tidak diberi perlakuan pemanasan (SJ00).

Selanjutnya setelah regangan rata-rata dapat dikarakterisasi, *residual stress* dalam setiap bahan dapat ditentukan secara deduksi. Eksperimen difraksi sinar-X terhadap cuplikan baja tahan karat 304L dilakukan pada tekanan dan suhu ruang, sehingga diharapkan setiap fasa berada dalam keadaan hidrostatik. Tegangan hidrostatik (σ) sebanding dengan regangan hidrostatik (ϵ) dapat dirumuskan sebagai :

$$\sigma = [E/(1 - 2\nu)] \epsilon_{av} \dots\dots\dots(6)$$

dimana E adalah modulus Young dan ν adalah pembanding Poisson yang ditentukan dari pengukuran tersendiri untuk setiap fasa. Parameter terregresi untuk baja tahan karat 304L berurut-turut adalah 187 GPa dan 0,293^[1]. Untuk tegangan keadaan hidrostatik, ϵ_{av} dapat

$$\text{dihitung pada seluruh arah cuplikan, } \epsilon_{av} = (1/4\pi) \int_{\Omega} \epsilon_{hkl} d\Omega \dots(7)$$

dimana ϵ_{hkl} adalah regangan dalam butiran (*grain*) yang bidang $[hkl]$ -nya terletak pada arah yang diamati. Integrasi dilakukan untuk seluruh arah random butiran di dalam bahan. Untuk kasus fasa tunggal dimana di dalam paduan baja Assab Corax terdapat fasa dominan, yakni: ferrit (bcc), maka dapat diturunkan; $\epsilon_{av} = \epsilon_f$ dimana subskrip f menunjukkan fasa ferrit.

3. METODOLOGI

3.1. Bahan dan Alat

Bahan baja tahan karat 304L yang diperoleh dari pasaran, cuplikan asli yang tidak ada perlakuan, diukur pola difraksi dengan difraktometer sinar-X di Laboratorium LIPI. Lima belas buah cuplikan yang lain diperlakukan proses pemanasan dengan variasi temperatur 375°C, 475°C, dan 575°C dengan waktu penahanan pemanasan selama 2 jam. Proses pemanasan dilakukan dari temperatur kamar hingga temperatur dimaksud dengan laju standar 14°C/menit dan di-*hold* selama 2 jam, kemudian diturunkan ke temperatur kamar dengan laju standar 14°C/menit. Semua cuplikan kemudian dikarakterisasi dengan difraktometer sinar-X untuk mengetahui perbedaan pola difraksi, dan dilakukan pengolahan data dengan *software* Rietan. Pengamatan perubahan struktur dikerjakan dari cuplikan asli (tanpa perlakuan) hingga diberi perlakuan temperatur pemanasan yang bervariasi, dengan perangkat lunak RIETAN. Rietveld *refinements* dan analisa pelebaran garis digunakan untuk menentukan komposisi fasa kristalin dan besar regangan. Dengan variasi temperatur dan waktu penahanan tetap, dapat diperoleh beberapa grafik kecenderungan data seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2 dan selanjutnya dibandingkan. Sementara Tabel 1 menyusun parameter penghalusan struktur untuk cuplikan baja tahan karat 304L yang digunakan dalam proses RIETAN-*refinements*. Formula α -Fe sebagai identifikasi fasa ferrit dengan group ruang $Im\bar{3}m$ (vol. I-229) dengan bentuk kristal *bcc* dimana jumlah atom dalam kristal 5 buah dan parameter kisi $a=2,878\text{\AA}$.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis struktur kristal dan residual stress

Pola difraksi sinar-X cuplikan SJ00, SJ24, SJ34, SJ54 dan SJ64 ditunjukkan pada Gambar 1. *Scanning* dilakukan dari $2\theta=30^\circ$ hingga $2\theta=100^\circ$, dengan langkah pencacahan $0,05^\circ$ dalam mode *step counting*. Terlihat pada seluruh pola terjadi pelebaran puncak (*broadening*) dan sedikit pergeseran puncak Bragg (*shifting*), yang memberi hipotesa ada fenomena peregangan kisi kristal dalam bahan. Selanjutnya ini menggambarkan terjadinya dinamika tegangan internal yang menimbulkan tegangan yang tertinggal dalam bahan. Peristiwa ini ditunjukkan lebih jelas pada Gambar 2 yang merupakan pola difraksi sinar-X baja tahan karat 304L variasi temperatur pemanasan dengan waktu penahanan pemanasan konstan, dimana puncak pertama di sekitar $2\theta=44^\circ$ yang diperbesar dari $2\theta=43,5^\circ$ dan $2\theta=45,5^\circ$.

Tabel 3 menyusun parameter *fwhm* dan puncak Bragg pertama hasil pengukuran ($2\theta_m$). Pada tabel di atas ditampilkan pula penghalusan pergeseran puncak bidang (110) dengan deret polinomial orde-2 ($2\theta_c$) yang memberikan ketelitian posisi puncak bidang tersebut. Kekuatan *fitting* data ditunjukkan pada nilai R^2 yang hampir mendekati harga *unity*. Gambar 3 memperlihatkan proses *fitting* yang telah dilakukan terhadap cuplikan baja tahan karat 304L adalah SJ00, SJ24, SJ34, SJ54 dan SJ64 pada bidang (110).

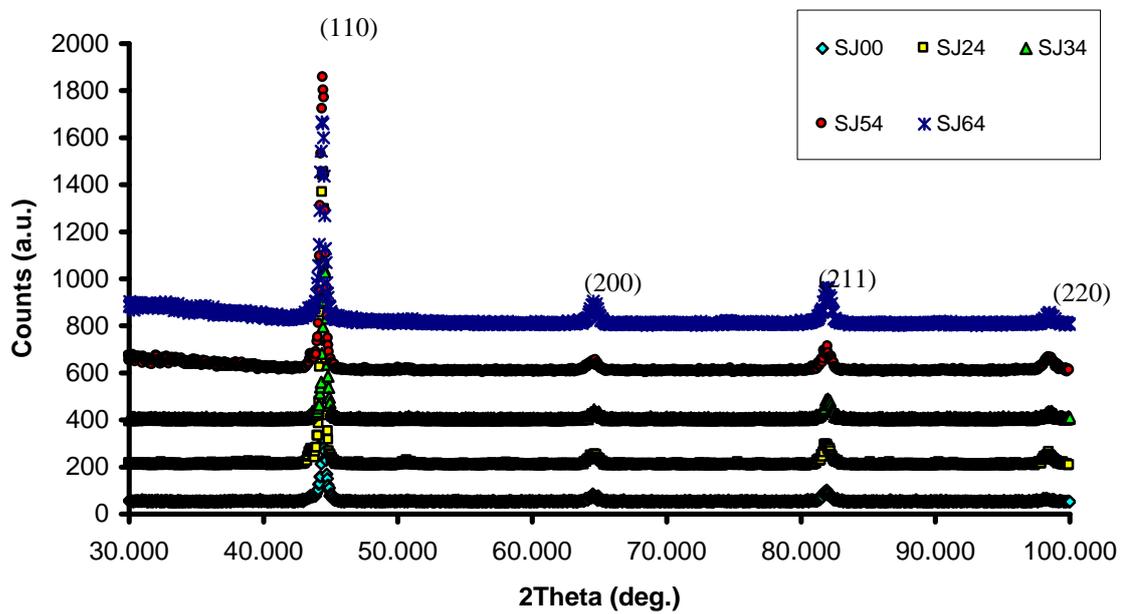
Sedang nilai *fwhm* digunakan untuk mengetahui medan peregangan kisi kristal dari besaran lebar setengah puncak; *U-full with half maximum*. Dari parameter ini sesuai hipotesa dapat diprediksi seberapa besar medan regangan matriks, untuk setiap perlakuan temperatur pemanasan terhadap bahan. Plot data hasil pengolahan *U-fwhm* ditunjukkan pada Gambar 4. Sedang dari persamaan (5) dapat ditentukan harga (e_{hkl}) yang menggambarkan kekuatan suatu titik pengamatan untuk meregang.

Tabel 1. Parameter awal penghalusan struktur untuk cuplikan baja tahan karat 304L .

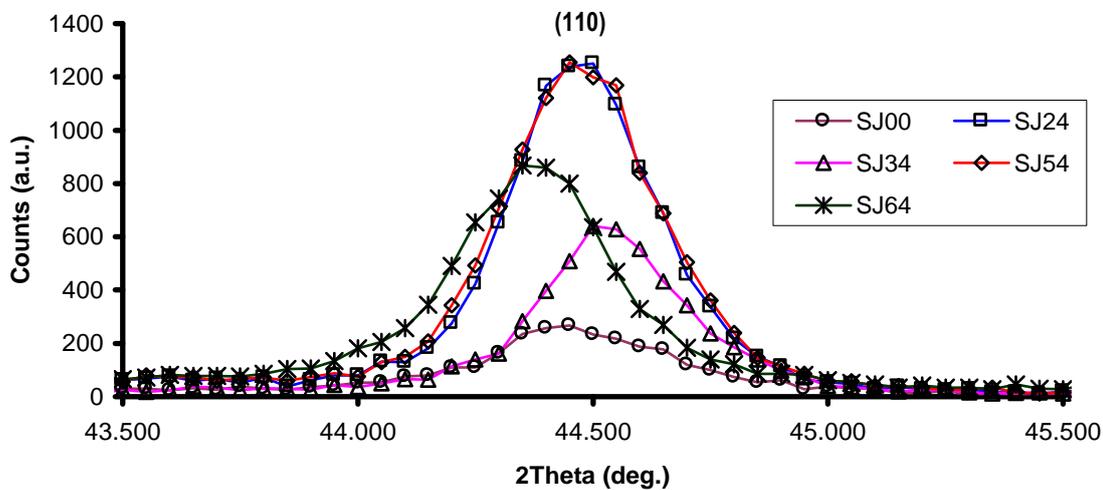
Data Kristalografi	Keterangan
Formula	α -Fe
Group Ruang	Im3m (I-229)
Parameter Kisi: $a(\text{\AA})$	2,878
$b(\text{\AA})$	2,878
$c(\text{\AA})$	2,878
Volume sel (\AA^3)	23,838
Nomor Formula, Z	2
Nomor Massa Formula, M (amu)	55,447

Tabel 3. *fwhm* dan *Bragg peaks* bidang (110) baja tahan karat 304L hasil pengukuran ($2\theta_m$) dan penghalusan ($2\theta_c$).

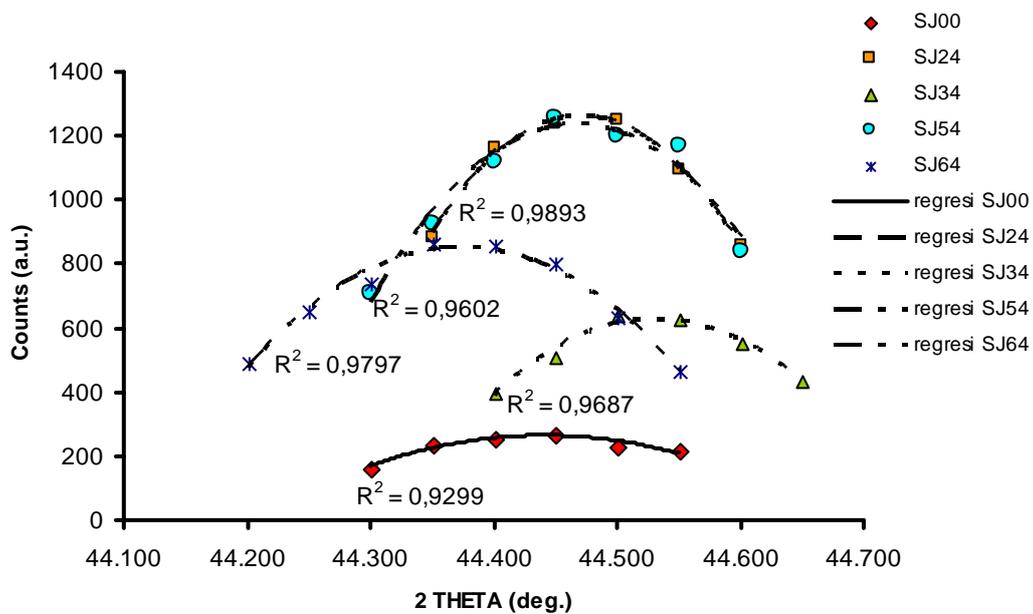
No.	Cuplikan	$U\text{-}fwhm$	$2\theta_m(^{\circ})$	$2\theta_c(^{\circ})$	R^2
1.	SJ00	$1,86 \times 10^{-4}$	44,450	44,425	0,9299
2.	SJ24	$6,89 \times 10^{-2}$	44,500	44,496	0,9893
3.	SJ34	$4,48 \times 10^{-2}$	44,500	44,532	0,9687
4.	SJ54	$1,74 \times 10^{-2}$	44,450	44,478	0,9602



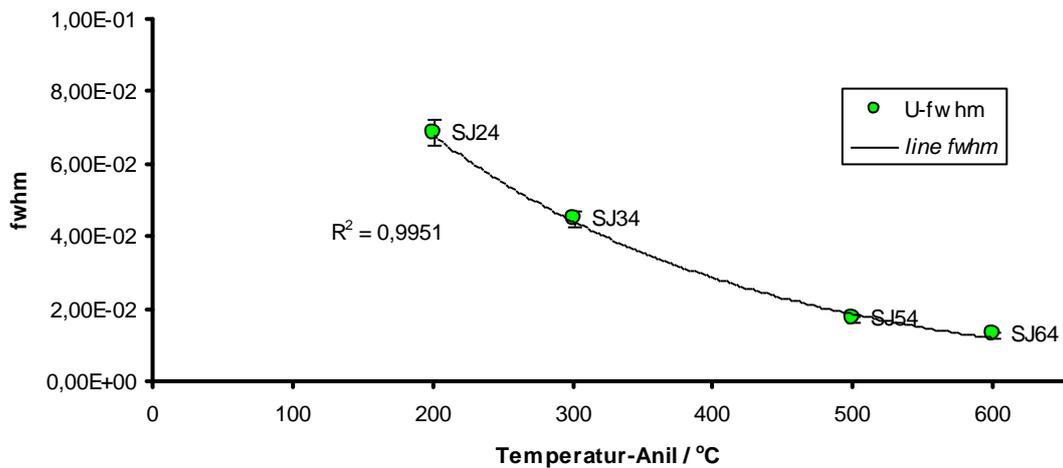
Gambar 1. Difraktogram dari baja tahan karat 304L SJ00, SJ24, SJ34, SJ54 dan SJ64.



Gambar 2. Difraktogram pelebaran dan pergeseran puncak dari baja tahan karat 304L SJ00, SJ24,SJ34,SJ54 dan SJ64 pada bidang (110).

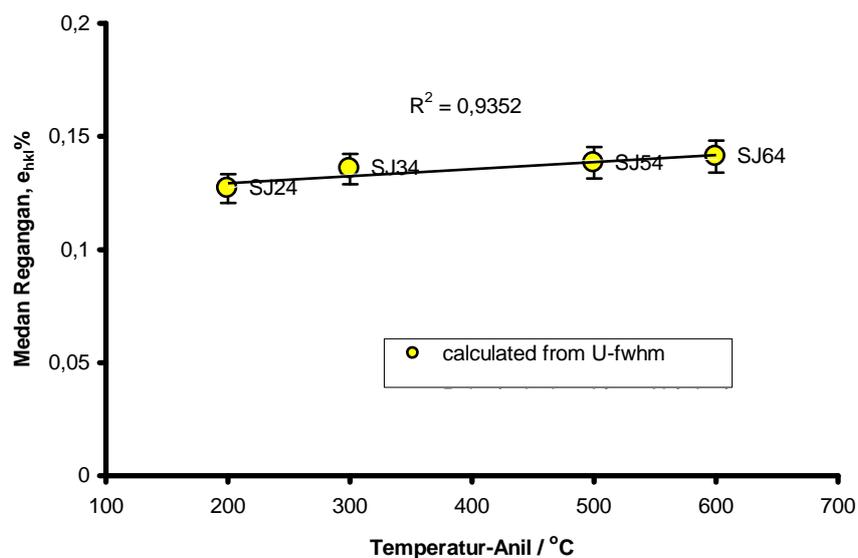


Gambar 3. Kurva regresi orde 2 bidang (110) baja tahan karat 304L.



Gambar 4. Kurva U - $fwhm$ pada baja tahan karat 304L.

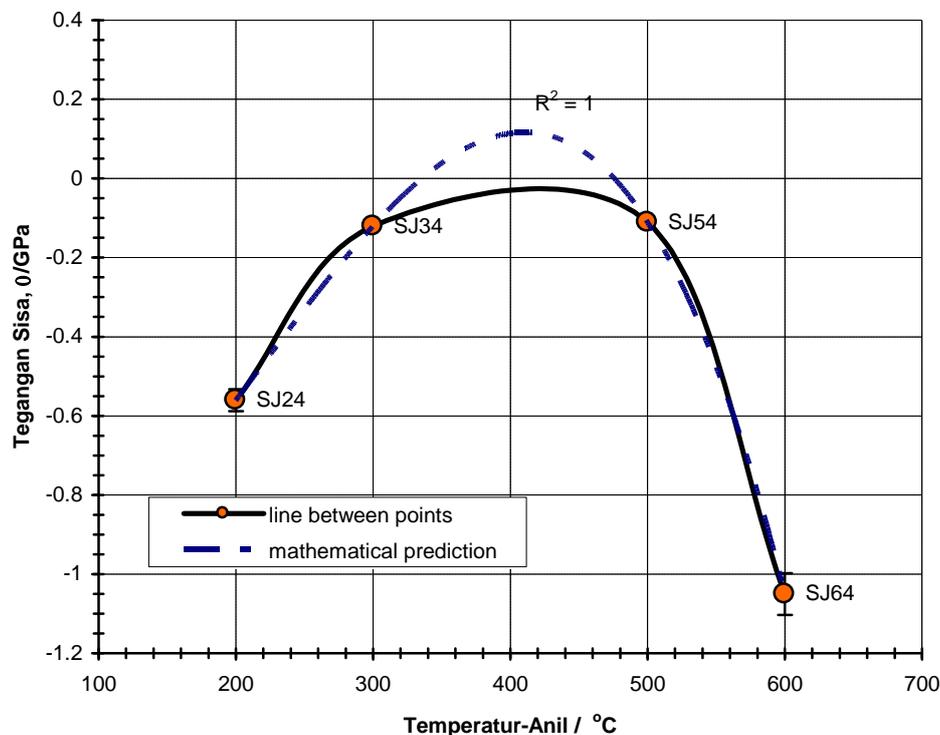
Gambar 4 merupakan plot data hasil perhitungan dengan persamaan (5). Medan regangan naik secara *linier* dari temperatur pemanasan 375°C hingga pemanasan 575°C . Medan regangan terlihat terus menguat sepanjang kenaikan temperatur pemanasan. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur pemanasan anil mampu sedikit demi sedikit mereduksi *residual stress* yang terbentuk saat fabrikasi, dan ketika temperatur anil dinaikkan kembali *residual stress* yang tereduksi semakin banyak (*recovery process*). Jika diamati dari pola $fwhm$ pada Gambar 4, penguatan medan ini menuju nilai peregangan negatif pada nilai regangan, yang berarti *residual stress* juga menuju nilai tegangan negatif (*compressive stresses*) dan ini dibuktikan pada Gambar 5 dimana *residual stress* menuju negatif.



Gambar 5. Kurva pola medan regangan pada baja tahan karat 304L.

Pengolahan data analisis struktur dilakukan dengan sistem analisa struktur umum Rietan, sebuah program penghalusan struktur Rietveld yang dikembangkan oleh F. Izumi^[3], yang mampu menangani data difraksi serbuk maupun *bulk* yang diperoleh dengan sinar-X dan neutron. Profil bentuk puncak setiap fasa dimodelkan secara terpisah menggunakan sebuah fungsi *pseudo-Voigt*^[11] (kombinasi *linier* fungsi *Gaussian* dan *Lorentzian*). Pencakupan angular data eksperimen yang cukup memadai membolehkan parameter struktur setiap fasa dihaluskan. Ini meliputi parameter kisi, parameter termal isotropis, simpangan titik nol, parameter anisotropis (*preferred orientation*), dan parameter profil.

Pengamatan awal terhadap bahan dengan difraktometer sinar-X, tidak menampakkan adanya fasa lain selain ferit. Fasa kristal ini merupakan kubus berpusat badan (bcc) dengan sistem simetri $m\bar{3}m$ dari grup ruang $Im\bar{3}m$ (vol. I-229). Penghalusan model fasa tunggal ini sangat memuaskan untuk setiap cuplikan, dengan faktor S (nilai perbandingan rasio bobot terhitung dengan rasio bobot diharapkan) bervariasi antara 1,08 hingga 1,407, seperti disusun dalam Tabel 4. Penghalusan parameter kisi dan profil puncak untuk fasa ferit bervariasi sedikit dari cuplikan ke cuplikan. Parameter termal isotropik berharga positif diperoleh dari penghalusan, seperti disusun dalam Tabel 4. Nilai ini memberikan gambaran bahwa atom bergerak melakukan perpindahan (*displacements*) dalam arah random ke segala arah (*isotropic*). Harga positif ini membuktikan dan salah satu syarat perhitungan RIETAN94 dapat diterima.



Gambar 6. Distribusi *residual stress* baja tahan karat 304L.

Perolehan data regangan sisa kisi digunakan sebagai masukan untuk menghitung tegangan yang tertinggal dalam bahan dengan persamaan (6). Gambar 6 memperlihatkan distribusi *residual stress* sebagai fungsi temperatur pemanasan. Keandalan bahan ini terlihat dari pola grafik kecenderungan garis. Pola *residual stress* memiliki kecenderungan bernilai negatif, ada di bawah garis sumbu horisontal. Dari gambar terlihat bahwa titik data mendekati sumbu horisontal pada sekitar absis 400°C. Pada posisi temperatur pemanasan anil ini bahan mengalami *residual stress* sekitar -0,02 GPa. Dari penelitian sebelumnya[1], diketahui bahwa pada temperatur pemanasan anil 475°C *residual stress* pada bahan sekitar -0,03 GPa, ini diperoleh dari perpotongan garis fungsi dengan sumbu datar (waktu anil=4 jam) yang kemudian ditarik horizontal ke arah sumbu tegak (*residual stress*= -0,03 GPa).

Akan tetapi, bila pola *residual stress* didekati dengan fungsi polinomial maka diperoleh nilai kekuatan regresi $R^2=1$. Dari penyelesaian fungsi polinomial tersebut diperoleh bahwa fungsi memotong sumbu horisontal pada sekitar absis 375°C dan 475°C. Prediksi matematis memperlihatkan bahwa dalam jangkauan temperatur pemanasan ini bahan mengalami *residual stress* tarik (*tensile stresses*) sedang diluar daerah tersebut bahan mengalami *residual stress* tekan (*compressive stresses*), dimana peregangan mengarah ke harga negatif, dan sangat baik untuk menanggulangi lingkungan beban siklik. *Residual stress* negatif cenderung membesar hingga perlakuan temperatur pemanasan 575°C (-1,05 GPa), sedang di atas temperatur kamar hingga temperatur pemanasan 475°C *residual stress* beranjak naik menuju nilai tegangan positif. *Residual stress* dalam bahan mencapai nilai maksimum pada angka sekitar 0,13 GPa pada temperatur pemanasan sekitar 475°C. Namun demikian untuk bukti kebenaran fisis perlu dilakukan penelitian lebih lanjut apakah prediksi ini valid dengan dukungan data literatur yang lengkap.

Tabel 4. *Residual stress* baja tahan karat 304L dan parameter kisi, *s-factor, thermal isotropic* hasil *refinements*.

No.	σ (GPa)	Cuplikan	A(Å)	S	Q
1.	referensi	SJ00	2,8849(29)	1,080	0,140227
2.	-0,12	SJ24	2,8814(24)	1,356	0,321270
3.	-0,11	SJ34	2,8842(21)	1,202	0,261657
4.	-1,05	SJ54	2,8842(09)	1,407	0,166920

Hubungan regangan sisa dengan *residual stress* adalah *linier*, memberikan pola distribusi yang sama dalam plot data pengolahan. Hubungan ditentukan oleh faktor konstanta modulus Young (E) dan rasio Poisson (ν) yang merupakan nilai karakteristik bahan. Dari

Gambar 6, *residual stress* menuju kearah tegangan positif dan mencapai titik tertinggi (kulminasi) pada temperatur pemanasan sekitar 475°C. Di atas temperatur ini, *residual stress* kembali menuju garis sumbu horizontal dan memotong sumbu di absis sekitar 475°C, kemudian menuju harga negatif. *Residual stress* negatif terbesar (-1,05 GPa) berada pada titik absis temperatur pemanasan 575°C, prediksi matematis ini dapat memberikan hipotesa bahwa kekuatan mekanik bahan untuk menahan beban siklik terbesar ada pada titik ini.

5.KESIMPULAN

Dari pengamatan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Analisis struktur baja tahan karat 304L menunjukkan bahan memiliki fasa tunggal ferit, berstruktur kristal *bcc* dengan kisi $a=2,8$ amstrong.
2. Distribusi *residual stress* dalam baja tahan karat 304L akibat temperatur pemanasan anil mengikuti fungsi parabola. Bahan kembali ke kondisi *residual stress* (σ referensi) dari bahan asli (*as accepted*) pada temperatur pemanasan sekitar 375°C dan 475°C. Di dalam jangkauan temperatur ini *residual stress* adalah *tensile stress* sedang di luar jangkauan temperatur ini *residual stress* adalah *compressive stresses*.
3. *Residual stress* dalam bahan mencapai nilai maksimum pada angka sekitar -0,02 GPa (prediksi matematis= 0,13 GPa) pada temperatur pemanasan sekitar 475°C, dan minimum pada angka sekitar -1,05 GPa pada temperatur pemanasan sekitar 575°C.
4. Medan regangan terlihat terus menguat sepanjang kenaikan temperatur pemanasan anil. Medan regangan menguat *linier* hingga temperatur pemanasan anil 575°C.

DAFTAR PUSTAKA

1. NOYAN, I.C, and COHEN, J.B., *Residual Stress Measurements by Diffraction and Interpretation*, Springer Verlaag, New York.1987
2. YOUNG, R.A., *The Rietveld Method, IUCr Book Series 5*, International Union of Crystallography, Oxford University Press.UK.1997.
3. IZUMI, F., *A Rietveld-Refinement Program RIETAN-94 for Angle-Dispersive X-Ray and Neutron Powder Diffraction*, NIRIM, Japan.1994.
4. ARIEF SASONGKO A., *Efek kombinasi b-quenching dan tempering terhadap kekerasan dan ketahanan korosi Zircaloy-2 dalam uap jenuh*, Prosiding P2TBDU.hal.45-50.1996.

- 5.HILL, R.J. & HOWARD, C.J., *Quantitative Phase Analysis of Neutron Powder Diffraction Data Using the Rietveld Method*, J.Appl. Crystallogr., 20, pp.467-474.1987.
- 6.MORI, T., and TANAKA, K., *Average Stress in Matrix and Average Energy of Materials with Misfitting Inclusions*, Acta Metallography, 21, pp. 571-574. 1973.