

TEGANGAN SISA PELAT LOGAM PADUAN Al-Li SETELAH PEMESINAN DITENTUKAN DENGAN DEFRAKSI SINAR-X

Zuharli Amilius

Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

TEGANGAN SISA PELAT LOGAM PADUAN Al-Li SETELAH PEMESINAN DITENTUKAN DENGAN DEFRAKSI SINAR-X. Logam paduan Al-Li diramalkan akan menggantikan logam-logam paduan aluminium lain sebagai bahan struktur pesawat terbang, karena ringan dan teguh. Bahan ini sampai kini masih menjadi objek penelitian. Sebelum pemakaiannya sebagai bahan struktur, bahan asal harus terlebih dahulu melalui berbagai proses, baik proses termal maupun mekanik. Pemesinan, seperti pengikisan frais dan canai (roll), akan menimbulkan tegangan sisa di dalam bahan. Tujuan penelitian ini adalah menentukan tegangan sisa yang timbul di dalam bahan pelat logam-paduan 8090-T3 setebal 12,5 cm baik setelah pengikisan frais sedalam 0,5 cm maupun setelah canai sampai setebal 0,8 cm, memakai defraksi sinar-X. Pengikisan menyebabkan pemisahan kurva regangan terhadap $\sin^2\Psi$ dan tensor tegangan tekan, yang unsur-unsur tensornya σ_{11} , σ_{22} , σ_{33} , σ_{12} , σ_{13} dan σ_{23} sebesar 127, 129, 127, 265, 30 dan 32 MPa. Tegangan ini sebenarnya merupakan jumlah tegangan-sisa bahan asli dan tegangan yang disebabkan oleh pengikisan. Canai terhadap pelat menghasilkan pemisahan kurva tersebut. Tampak terjadi osilasi pada kurva tersebut, yang analisisnya tak dapat dilakukan tanpa data tambahan. Jika tegangan yang terjadi dianggap tegangan biaksial, diperoleh nilai tegangan tekan sebesar 260 MPa dalam arah canai, demikian juga pada arah 45° dan 90° dari arah canai.

ABSTRACT

RESIDUAL STRESS IN MACHINED Al-Li ALLOY PLATES MEASURED BY X-RAY DIFFRACTION. Al-Li alloys are predicted to be the substitute of other aluminium based alloys as structural material for airplanes due to their stiffness and low density. These materials are still the subject of investigation. Prior to their use as structural material, the initial material should first undergo several processes, either thermal or mechanical treatments. Machining, such as frasing and rolling, will create residual stress in the material. The aim of this work is to determine the residual stress developed either by frasing 0.5 cm deep or by rolling to a thickness of 0.8 cm of 1.25 cm thick 8090-T3 alloy plates, using X-ray diffraction. Frasing the plate results in splitting of the strain versus $\sin^2\Psi$ curve compressive stress tensor, which elements σ_{11} , σ_{22} , σ_{33} , σ_{12} , σ_{13} and σ_{23} are 127, 129, 127, 265, 30 and 32 MPa respectively. These stresses are actually the sum of the stresses of the original plate and those developed by machining. Rolling the sample does not result in branching of the curve. It is found that the curve oscillates, for which analysis cannot be carried out without additional data. If biaxial stress is assumed, a compressive stress value of 260 MPa is found in the rolling direction, as well as at 45° and 90° to this direction.

PENDAHULUAN

Logam paduan berdasar Al-Li, yang mempunyai kerapatan rendah dan kekakuan tinggi, lebih ringan sekurang-kurangnya 10 -15 % dibandingkan dengan paduan aluminium konvensional. Paduan-logam aluminium pertama yang mengandung litium yang dibuat secara komersial ialah paduan-logam Al-Cu-Li dari Alcoa yang diberi tanda 2020. Di Rusia dikembangkan paduan Al-Mg-Li yang diberi tanda 01420. Belakangan dikembangkan paduan berdasar sistem Al-Li-Cu-Mg yang pertama kali dipaten di Inggris [1].

Untuk penggunaannya sebagai bahan struktur, bahan asal harus terlebih dulu melalui berbagai proses, baik proses termal maupun mekanik, seperti pemesinan: pengikisan dengan frais dan canai (rolling). Proses tersebut menimbulkan tegangan-sisa pada bahan, yang sangat mempengaruhi ketahanan retak korosi tegang dan ketahanan leleh bahan.

Dalam makalah ini dibahas pengukuran tegangan-sisa dengan defraksi sinar-X dan dilaporkan hasil penentuan tegangan-sisa dengan cara defraksi sinar-X pada pelat paduan-logam

Al-Li 8090- T3 setelah di frais dan setelah di-
canai.

Sejak enam puluh tahun telah dipakai cara konvensional penentuan tegangan-sisa dengan cara pemaparan tunggal (dengan film), cara dua-sudut dan cara $\sin^2\psi$ (dengan difraktometer). Akhir-akhir ini dijumpai penyimpangan dari kelinieran cara $\sin^2\psi$. Dalam penelitian yang dilaporkan disini kemungkinan penyimpangan itu ditinjau dan diperhitungkan, berawal dari persamaan dasar penentuan tegangan-sisa dengan defraksi sinar-X, dan memandang regangan-sisa dan tegangan-sisa secara umum sebagai tensor rank dua yang simetri.

TEORI

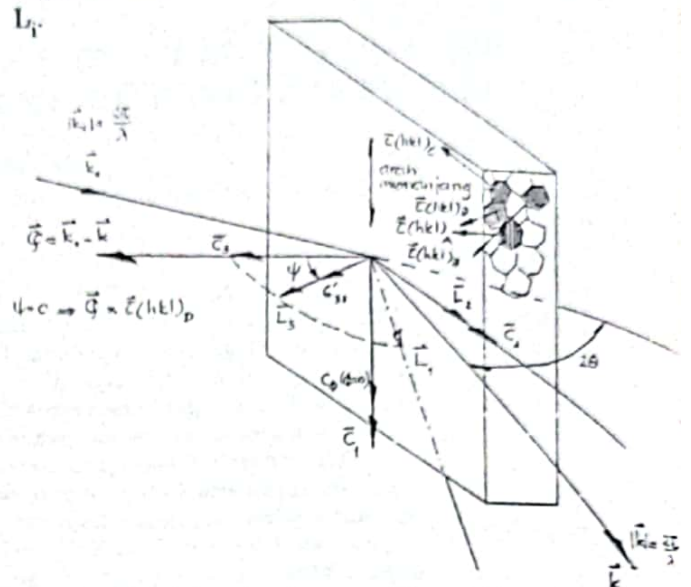
Pada hakikatnya pengukuran tegangan-sisa dengan cara defraksi sinar-X adalah pengukuran regangan kisi yang tersisa dalam bahan yang tidak mengalami gaya luar. Regangan kisi ditunjukkan oleh perubahan jarak antara bidang kisi (hkl) : $d(hkl)$ bertegangan-sisa terhadap jarak-antara bidang kisi $d(hkl)_0$ tanpa tegangan-sisa. Jadi yang diukur dengan defraksi sinar-X adalah kedua macam jarak bidang kisi tersebut, atau yang lebih langsung adalah posisi sudut puncak defraksi bidang (hkl) yang diamati dalam kedua kondisi tersebut.

Umumnya bahan yang diamati tegangan-sisanya berwujud padat berbentuk pelat atau bahan jadi berpermukaan datar atau lengkung. Dari sudut strukturnya bahan yang dapat diteliti adalah bahan polikristal, yaitu bahan yang terdiri atas bulir-bulir kristal tunggal (kristalit) yang umumnya berorientasi acak.

Agar bidang-kisi (hkl) tertentu di dalam bahan dapat mendefraksikan sinar-X, hukum Bragg mengharuskan arah normal bidang (hkl) tersebut berimpit dengan arah yang membagi dua sama besar sudut antara arah sinar datang dan sinar terdefraksi (yaitu arah vektor hamburan). Karena acaknya orientasi kristalit yang ada di dalam bahan, maka dengan mengubah-ubah orientasi cuplikan terhadap vektor hamburan, masing-masing kelompok kristalit yang berorientasi sama dapat diarahkan agar mendefraksi sinar-X.

Karena dalam eksperimen orientasi cuplikan yang akan diputar, maka perlu diketahui orientasi kristalit terhadap cuplikan. Untuk itu diperlukan dua macam sistem kordinat ortogonal (Gambar 1), yang satu melekat pada cuplikan (sistem kordinat cuplikan) C_1 , yang lain melekat pada masing-masing kristalit (sistem

kordinat kristalit atau kordinat laboratorium)



Gambar 1. Sistem kordinat cuplikan C_1 dan sistem kordinat laboratorium L_1 . Kondisi terjadinya hamburan Bragg (defraksi).

Sesuai dengan yang digunakan oleh Dölle [2], sumbu C_1 dan C_2 berada pada permukaan pelat yang mendefraksi, sumbu C_3 tegaklurus pada permukaan itu, sumbu L_2 membuat sudut sebesar Φ terhadap sumbu C_2 , sumbu L_3 tegaklurus pada bidang (hkl) dan membuat sudut Ψ terhadap sumbu C_3 . Dengan perkataan lain sudut Φ dan Ψ adalah sudut-sudut arah kordinat L_3 terhadap kordinat C_3 , dan regangan tegaklurus pada bidang (hkl) searah dengan sumbu L_3 .

Besaran-besaran yang diacu terhadap sistem kordinat kristalit akan ditulis dengan tanda aksent, yang diacu terhadap sistem kordinat cuplikan tanpa aksent. Pada umumnya regangan dan tegangan merupakan tensor rank dua yang simetrik, yang jika dinyatakan dalam kordinat kristalit masing-masing adalah ϵ'_{ij} dan σ'_{ij} . Dalam pembahasan selanjutnya ϵ'_{33} dan σ'_{33} adalah regangan dan tegangan tegaklurus pada bidang (hkl) kristalit tertentu.

Dalam eksperimen, pada prakteknya yang diukur adalah regangan untuk bidang (hkl) tertentu $d(hkl)_{\Phi,\Psi}$ [yaitu d kristalit yang berorientasi (Φ,Ψ) terhadap sistem kordinat cuplikan untuk bahan teregang] dan $d(hkl)_0$ untuk bahan tak teregang. Untuk selanjutnya $d(hkl)_{\Phi,\Psi}$ dan $d(hkl)_0$ masing-masing ditulis $d(\Phi,\Psi)$ dan d_0 . Regangan yang tegaklurus pada bidang (hkl) dalam sistem kordinat kristalit adalah

$$(\epsilon_{33})_{\Phi\Psi} = [d(\Phi\Psi) - d_0]/d_0 \quad (1)$$

Φ, Ψ menyatakan orientasi cuplikan agar mendefraksi bidang (hkl) kelompok kristalit berorientasi tertentu.

Dengan transformasi kordinat, besaran ini dapat dinyatakan dalam regangan teracu pada sistem kordinat cuplikan. Persamaan yang diperoleh pada sistem kordinat cuplikan. Persamaan yang diperoleh merupakan persamaan utama penentuan tegangan-sisa dengan cara defraksi sinar-X:

$$(\epsilon_{33})_{\Phi\Psi} = [\epsilon_{11} \cos^2\Phi + \epsilon_{12} \sin 2\Phi + \epsilon_{22} \sin^2\Phi - \epsilon_{33}] \sin^2\Psi + \epsilon_{33} + [\epsilon_{13} \cos\Phi + \epsilon_{23} \sin\Phi] \sin 2\Psi \quad (2)$$

Untuk bahan isotropik, hukum Hooke yang menghubungkan ϵ_{ij} dengan σ_{ij} dapat ditulis

$$\epsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} \delta_{ij} \sum_k \sigma_{kk} \quad (3)$$

dalam hal ini E adalah modulus Young dan ν rasio Poisson, sehingga persamaan (2) dinyatakan dalam σ_{ij} menjadi

$$(\epsilon_{33})_{\Phi\Psi} = \frac{1+\nu}{E} [\sigma_{11} \cos^2\Phi + \sigma_{12} \sin 2\Phi + \sigma_{22} \sin^2\Phi] \sin^2\Psi + \frac{1+\nu}{E} \sigma_{33} - \frac{\nu}{E} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) + [\sigma_{13} \cos\Phi + \sigma_{23} \sin\Phi] \sin 2\Psi \quad (4)$$

Dari persamaan (4) tampak bahwa berbagai kemungkinan dapat terjadi jika $[d(\Phi\Psi) - d_0]/d_0$ digambarkan sebagai fungsi $\sin^2\Psi$, bergantung pada nilai σ_{ij} dan isotropi bahan.

Jika $\sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33}$ tidak ada, plot fungsi itu merupakan garis lurus. Penentuan tegangan-sisa ini disebut cara $\sin^2\Psi$ konvensional, diterapkan sejak pertama kali ditemukan oleh Lester dan Aborn [3] sampai Dölle dan Hauk [4] mendapatkan bahan tertentu yang terdeformasi kuat hasil yang tak linier. Tegangan-sisa yang diperoleh dari kurva linier ini adalah tegangan biaksial, berdasarkan anggapan bahwa tegangan tegaklurus pada permukaan pelat (karena daya tembus sinar-X yang lemah) dianggap tidak ada, demikian juga tegangan-sisa geser.

Dengan cara $\sin^2\Psi$ ini yang diukur adalah tegangan pada arah Φ tertentu (dinyatakan dengan σ_{Φ}), yaitu salah satu arah pada bidang

permukaan pelat, perpotongan antara bidang pelat dengan bidang L_1L_2 .

Untuk memastikan tidak adanya σ_{33} , dapat dilakukan dengan mengadakan pengukuran ϵ_{33} sebagai fungsi $\sin^2\Psi$ untuk dua sudut azimuth Φ dan $\Phi + 90^\circ$ [5]. Dari jumlah kemiringan $m_{\Phi A} + m_{\Phi A+90}$ dan perpotongan P dengan sumbu ϵ_{33} pada kedua kurva yang terjadi dapat ditentukan σ_{33} dan $\sigma_{\Phi A}$ dan $\sigma_{\Phi A+90}$ sebagai berikut:

$$m_{\Phi A} + m_{\Phi A+90} = \frac{1+\nu}{E} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) \quad (5)$$

$$P = \left(\frac{1+\nu}{E}\right) \sigma_{33} - \frac{\nu}{E} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) \quad (6)$$

Jika σ_{33} cukup besar, maka tegangan-sisa dalam bahan adalah tegangan triaksial, dan pengabaian besar σ_{33} tak dapat dibenarkan.

Jika salah satu dari σ_{13} dan σ_{23} atau kedua-duanya tidak sama dengan nol, maka plot ϵ_{33} sebagai fungsi $\sin^2\Psi$ untuk $\Psi > 0^\circ$ dan $\Psi < 0^\circ$ akan berbeda, dan terdapat pencabangan $-\Psi$ pada $\Psi = 0^\circ$.

Dalam hal demikian harus dilakukan sekurang-kurangnya pengamatan ϵ_{33} dengan $\Psi > 0^\circ$ dan $\Psi < 0^\circ$ untuk tiga sudut azimuth $\Phi = 0^\circ, 45^\circ$ dan 90° [2]. Dengan mendefinisikan a_1 dan a_2 berturut-turut sebagai $[(e'_{\Phi\Psi+} + e'_{\Phi\Psi-})/2]$ dan $[(e'_{\Phi\Psi+} - e'_{\Phi\Psi-})/2]$ dan dari kemiringan serta perpotongan dengan ordinat kurva a_1 terhadap $\sin^2\Psi$ dapat dihitung $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}$ serta dari kemiringan a_2 terhadap $\sin^2\Psi/2$ dapat dihitung σ_{13} dan σ_{23} sebagai berikut:

Sudut	Kemiringan $\delta a_1/\delta \sin^2\Psi$	Kemiringan $\delta a_2/\delta \sin^2\Psi$
0°	$[(1+\nu)/E][\sigma_{11}-\sigma_{33}]$	$[(1+\nu)/E]\sigma_{13}$
45°	$[(1+\nu)/E][(1/2)\sigma_{11} + (1/2)\sigma_{22} + \sigma_{12} - \sigma_{33}]$	$[(1+\nu)/E][(1/2)\sqrt{2}][\sigma_{13} + \sigma_{23}]$
90°	$[(1+\nu)/E][\sigma_{22}-\sigma_{33}]$	$[(1+\nu)/E][\sigma_{23}]$
Perpotongan P $[(1+\nu)/E]\sigma_{33} - [\nu/E][\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}]$		

Kemungkinan lain bagi penggambaran $\epsilon'_{\Phi\Psi}$ sebagai fungsi $\sin^2\Psi$ adalah terjadinya osilasi. Osilasi semacam itu dapat terjadi oleh karena distribusi regangan elastik sisa yang tidak homogen. Distribusi homogen tersebut dapat timbul dari distribusi tak homogen deformasi

plastik dalam skala mikro dan/atau dari interaksi regangan yang timbul di dalam bahan tak homogen sebagai reaksi terhadap tegangan makro atau tegangan terapan. Dengan perkataan lain, hal ini akan terjadi pada bahan bertekstur kuat.

Dalam hal ini perhitungan tegangan-sisa tidaklah mudah. Berbagai pendekatan dan teknik eksperimental yang berbeda telah dicoba [6, 7, 8, 9]. Tetapi tak satupun dari teknik yang baru ini dapat memberikan pemecahan yang memuaskan.

BAHAN, ALAT DAN TATA KERJA

Bahan

Bahan asal untuk cuplikan adalah logam paduan Al-Li 8090-T3, yaitu pelat setebal 1,25 cm yang di pabrik telah diberi perlakuan panas pelarutan dan penggarapan dingin. Komposisi bahan dalam %-berat adalah: 2,7 % Li-1,6% Cu-1,3%Mg-0,3% Fe-0,25 Zn-0,2%Si-0,16%Zr-0,1 % masing-masing Mn, Cr dan Ti.

Sebagian bahan ini dikikis sehalus mungkin dengan alat kikis frais sampai bahan setebal 0,5 cm terkikis, kemudian tanpa dipoles dipotong menjadi cuplikan berukuran 2,5 cm x 2,5 cm. Sebagian lagi bahan itu dicanai (dirol) berulang kali diseling pemanasan dengan suhu 60° sampai tebal akhir 0,8 cm, kemudian dipoles dengan amplas ukuran 1000 dan dipotong menjadi cuplikan berukuran 2,5 cm x 2,5 cm.

Alat

Sebagai alat eksperimen dipergunakan defraktometer sinar-X merk Shimadzu XD-5A. Defraktometer ini merupakan defraktometer dengan sumbu putar lengan detektor yang vertikal. Sebagai asesori dipakai pemegang cuplikan untuk tegangan-sisa dari pabrik yang sama. Asesori ini hanya dapat mengubah orientasi cuplikan dengan putaran positif $\Psi > 0$ (penunggingan) menurut sumbu horisontal yang memotong tegaklurus sumbu defraktometer (defraktometer- Ψ). Pemutaran menurut sudut azimut dan pemutaran negatif $\Psi < 0$ (penengadahan) tak mungkin dengan asesori ini.

Karena asesori tersebut tidak memungkinkan cuplikan diutar menurut sudut azimutnya, maka telah didesain dan dibuatkan asesori (pemegang cuplikan) tambahan yang dapat memutar orientasi cuplikan menurut sumbu yang tegaklurus pada kedua sumbu yang disebut terdahulu (putaran - Φ). Asesori tambahan ini terbuat dari pleksiglas dan dipasang pada asesori yang asli. Dengan asesori ini sekaligus da-

pat juga dilakukan pemutaran yang setara dengan penengadahan, karena pada hakekatnya orientasi $[\Phi, -\Psi] = [\Phi + 180^\circ, \Psi]$.

Tata kerja

Untuk cuplikan yang dikikis, perubahan jarak bidang kisi oleh perubahan sudut Ψ ($\Psi = 0^\circ, 23^\circ, 33^\circ, 41^\circ, 47^\circ, 50^\circ, 58^\circ, 60^\circ$), diamati untuk tiap sudut - Φ ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 225^\circ$ dan 270°). Pada cuplikan yang dikikis bidang kisi yang diamati adalah bidang (422).

Untuk cuplikan yang dicanai $\Psi = 0^\circ; 18,5^\circ; 26,6^\circ; 33,2^\circ; 39,3^\circ; 45^\circ; 47,9^\circ$ dan $56,8^\circ$ dengan bidang kisi (420) dan sudut Φ yang sama seperti pada cuplikan terkikis.

Berkas sinar-X dengan dari sumber sasaran tembaga berkekuatan 1,5 kV, disaring terlebih dulu oleh penyaring nikel, sehingga hanya panjang gelombang $K_{\alpha 1}$ dan $K_{\alpha 2}$ saja yang jatuh di cuplikan. Untuk cuplikan yang dikikis, pada pengamatan bidang kisi (422) dengan orientasi $\Phi = 0^\circ$ dan 180° dipakai kolimator titik (menggantikan celah garis divergen), celah hamburan 1° , dan celah penerima 0,3 mm. Untuk kondisi lain dan untuk cuplikan yang dicanai, dipakai kolimator Soller, celah garis 0,6 mm, celah hamburan 1° dan celah penerima 0,3 mm. Perubahan ini dilakukan karena dengan memakai kolimator titik, waktu pencacahan menjadi sangat panjang.

Pada tiap orientasi 0, setelah pengamatan pada orientasi $\Psi = 0^\circ$ dilakukan pengamatan pada orientasi terbesar, agar dapat mempraktikkan kecenderungan pergeseran posisi puncak defraksinya. Dengan demikian penelusuran 2 θ untuk mencari puncak defraksi akan lebih efisien.

Untuk mencari kira-kira posisi puncak-puncak yang akan diamati, terlebih dulu dilakukan penelusuran kontinyu pada orientasi cuplikan $\Psi = 0^\circ, \Phi = 0^\circ$.

Pengamatan intensitas yang sebenarnya untuk tiap-tiap bidang kisi dilakukan secara langkah demi langkah (step count) selama waktu tertentu (preset time). Untuk susunan dengan kolimator titik diperlukan masa pencacahan 1000 detik agar mendapat ketelitian yang besar. Pada susunan dengan celah garis diperlukan waktu 100 detik.

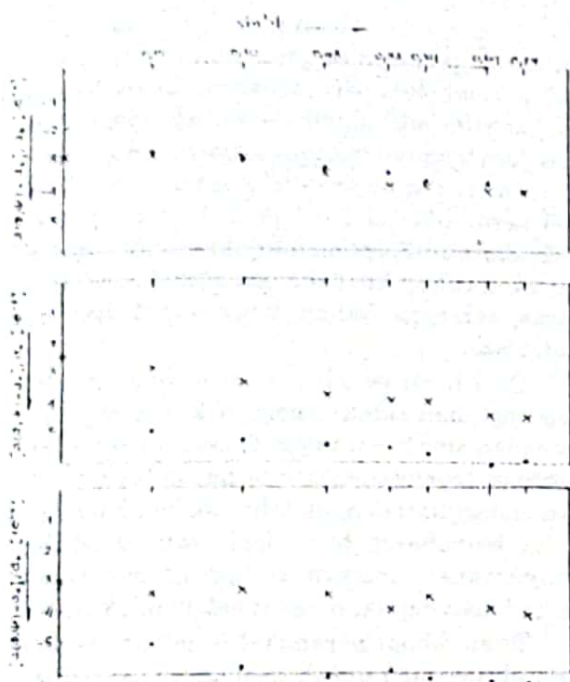
Eksperimen dilakukan secara semi-otomatik. Langkah sudut 2 θ dan masa pencacahan ditetapkan terlebih dulu, kemudian awal pencacahan, perubahan sudut 2 θ dan penulisan jumlah cacahan pada pita kertas pencetak berjalan secara otomatis. Perubahan orientasi

[Φ, Ψ] dan penghentian pencacahan dilakukan dengan tangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pengolahannya

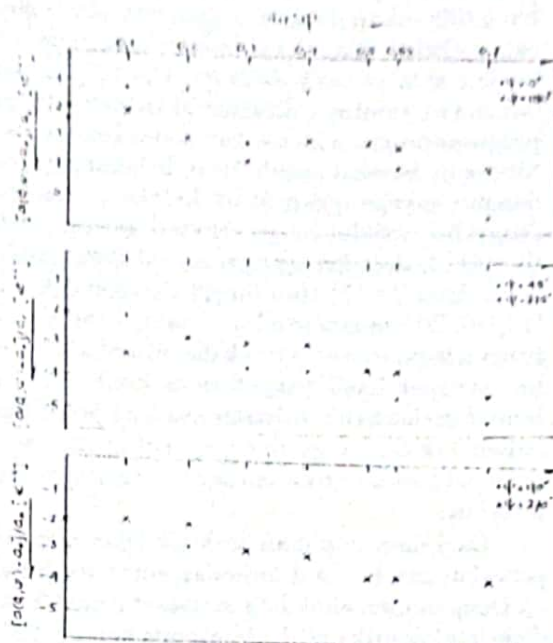
Hasil eksperimen berupa data intensitas cacahan dan sudut 2θ yang sesuai, dan catatan tangan orientasi Φ dan Ψ . Hasil plot [$d_{\Phi\Psi} - d_o$]/ d_o disajikan pada Gambar 2 dan 3 masing-masing untuk cuplikan terfrais dan cuplikan tercanai.



Gambar 2. Regangan Al-Li terfrais sebagai fungsi $\sin^2\Psi$.

Intensitas profil puncak dikoreksi terhadap polarisasi dan Lorentz [10] dan profil-profil yang disebabkan oleh $K_{\alpha 1}$ dan $K_{\alpha 2}$ dipisah dengan cara Rachinger [11]. Kemudian posisi puncak ditentukan dengan anggapan bahwa 15 % bagian atas puncak defraksi dengan jumlah data antara 5 sampai 20 (bergantung pada bentuk profil defraksi yang terlihat) berbentuk parabola [12,13]. Parabola itu ditentukan dengan melakukan pencocokan kuadrat selisih terkecil antara parabola dan data eksperimen. Posisi puncak ialah puncak parabola tersebut.

Setelah posisi puncak ini diperoleh, dilakukan perhitungan seperti yang diuraikan da-



Gambar 3. Regangan Al-Li tercanai sebagai fungsi $\sin^2\Psi$.

lam TEORI. Jika kurva fungsi [$d_{\Phi\Psi} - d_o$]/ d_o terhadap $\sin^2\Psi$ untuk $\Psi > 0^\circ$ dan $\Psi < 0^\circ$ merupakan satu garis lurus, maka dihitung apakah σ_{33} ada dan cukup besar. Selanjutnya unsur tensor tegangan yang lain dihitung. Jika fungsi itu bercabang, unsur-unsur tensor tegangan yang lengkap dihitung.

Jarak kisi untuk cuplikan bebas tegangan dianggap sama dengan jarak kisi untuk serbuk kikiran bahan asli.

Data hasil eksperimen menunjukkan sebagian besar puncak defraksi dapat ditentukan dengan jelas.

Pembahasan

Untuk perhitungan koreksi dan tegangan-sisa ini telah dibuat program dalam bahasa FORTRAN-77: program LP.FOR untuk perhitungan koreksi Lorentz-Polarisasi, program RACH4.FOR untuk koreksi Rachinger, BACA.FOR untuk penyusunan kembali keluaran dari program RACH.FOR dan program SISA.FOR untuk perhitungan tensor tegangan-sisa dengan variasinya. Program-program ini tidak da-

pat dijadikan satu program agar dapat dilakukan masukan dari data eksperimen dengan keluaran langsung sebagai tegangan-sisa. Hal ini disebabkan karena untuk perhitungan koreksi Rachinger, pengurangan cacah latar belakang dilakukan dengan tangan dan posisi puncak defraksi dilakukan dengan cara parabola bagian atas puncak defraksi. Untuk pengembangan selanjutnya, direncanakan menyatukan program-program ini dengan memasukkan perhitungan koreksi cacah latar belakang, yaitu dengan menganggap latar belakang sebagai fungsi linier sudut Bragg, dan menganggap profil puncak defraksi sebagai fungsi Lorentz-termodifikasi [14,15] atau fungsi Pearson tipe VII [14,16]. Dalam laporan ini variansi hasil perhitungan tegangan-sisa tidak dicantumkan, karena terdapat hasil yang terlalu kecil. Hal ini mungkin disebabkan karena variasi jarak kisi bahan tak teregang dianggap nol atau masih terdapat kesalahan dalam perhitungan variansi tersebut.

Dari data cuplikan terkikis jelas tampak pencabangan kurva d terhadap $\sin^2\psi$ (Gambar 2). Dengan memakai data konstanta elastik radiokristalografik untuk aluminium bidang (331) $\nu/E = -4,7 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$ dan $[(1+\nu)/E] = 18,0 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$ [17], tegangan-sisa yang diperoleh adalah tensor tegangan tekan yang unsur-unsurnya $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}, \sigma_{13}$ dan σ_{23} sebesar 127, 129, 127, 265, 30 dan 32 MPa. Jelas tampak disini sifat triaksial tegangan-sisa yang terjadi dan adanya tegangan geser, meskipun tegangan geser yang tegaklurus pada permukaan pelat tidak begitu besar. Jika σ_{ϕ} dihitung dari nilai-nilai unsur tensor ini diperoleh tegangan tekan 127, 130 dan 129 MPa masing-masing dalam arah memanjang bahan asli ($\Phi = 0^\circ$), 45° dan 90° terhadap arah itu. Tampak bahwa nilai tegangan-sisa itu sama dalam segala arah pada permukaan pelat. Jika data yang diperoleh dianggap membentuk kurva linier terhadap $\sin^2\psi$, diperoleh tegangan-sisa biaksial tekan yang berubah menurut arah, yaitu 78 MPa dalam arah memanjang, 270 MPa dalam arah 45° dan 150 MPa dalam arah 90° terhadap arah memanjang.

Dari data cuplikan tercanai pada Gambar plot (Gambar 3) tak tampak pencabangan. Dari

gambar tersebut juga tampak bahwa plot tersebut memperlihatkan osilasi, sehingga analisisnya belum dapat dilakukan. Dengan menganggap tegangan yang ada adalah biaksial, diperoleh nilai tegangan-sisa tekan sekitar 260 MPa, tetapi nilai ini tentu tidak dapat dipercaya.

Hasil-hasil untuk bahan terkikis ini memperlihatkan tingkat besar seperti yang diperoleh Prevey dari Lambda Research, Inc. untuk Inconel dari bahan 4340 [18], yaitu ratusan MPa.

KESIMPULAN

Bahan 7080-T3 yang dikikis akan menimbulkan tegangan-sisa geser maupun tegangan-sisa normal pada permukaan cuplikan. Tegangan yang terjadi adalah tegangan tekan. Pada cuplikan tercanai tak tampak pencabangan kurva regangan terhadap $\sin^2\psi$, tetapi tampak osilasi beramplitudo kecil pada kurva regangan terhadap $\sin^2\psi$. Ini menunjukkan adanya tekstur yang cukup kuat sebagai akibat canai yang keras, sehingga bahan tidak dapat dianggap isotropik.

Dari hasil penelitian ini terbukti adanya kemungkinan tidak liniernya kurva regangan terhadap $\sin^2\psi$, sehingga dalam penelitian penentuan tegangan-sisa kita harus berhati-hati dan mengamati dengan teliti apakah kurva tersebut bercabang, berosilasi atau linier, dan pengamatan dengan tunggingan maupun tengadahan cuplikan harus selalu dilakukan.

Telah dibuat perangkat lunak pengolahan data eksperimen untuk tegangan triaksial terdiri atas tiga program: program koreksi Lorentz-Polarisasi, program koreksi Rachinger dan program perhitungan unsur-unsur tensor tegangan-sisa. Program ini tidak dapat disatukan, karena penentuan puncak ditentukan dengan cara parabola. Kelak program tersebut akan dikembangkan menjadi satu program lengkap, dalam hal ini puncak defraksi ditentukan dengan menganggap profil garis puncak sebagai fungsi Lorentz termodifikasi atau fungsi Pearson tipe VII.

DAFTAR PUSTAKA

1. Flower, H. M., Gregson, P. J., Mater. Sci. and Tech 3 (1981) 81.
2. Dölle, H., J. Appl. Cryst. 12 (1979) 489.
3. Lester, H. H., Aborn, R. M., Army Ordnance 6 (1925 - 1926) 120, 200, 283, 364.

4. Dölle, H., Hauk, V., Z. Metallkde 68 (1977) 728.
5. Noyan, I. C., Met. Trans. A 14A (1983) 1907.
6. Shiraiwa, T., Sakamoto, Y., Proc. 13th Japan Congress on Mat. Res., Soc. Mat. Sci., Japan, Kyoto 25 (1970).
7. Dölle, H., Hauk, V., Z. Metallkde 69 (1978) 410.
8. Lode, W., Peiter, A., Härtereitech. Mitt. 32 (1977) 235.
9. Lode, W., Peiter, A., Meyall. 35 (1981) 578.
10. Winegar, J. E., AECL Report (Jun 2 1980), AECL=6981.
11. Rachinger, W. A., J. Sci. Instr. 25 (1984) 254.
12. Koistinen, D. P., Marburger, R. E., Trans. ASM 51 (1952) 537.
13. James, M. R., An examination of experimental techniques in x-ray residual stress analysis, PhD. Thesis Northwestern University (1977).
14. Devine, T. J., M. S. Thesis, Northwestern University (1985).
15. Mignot, J., Rondot, D., J. Appl. Cryst. 9 (1976) 460.
16. Hall, M. M., Veeraaghavan, V. G., Rubin, H., Winchell, J., J. Appl. Cryst. 2 (1977) 66.
17. Maeder, G., Lebrun, J. L., Sprauel, J. M., Mater. et Techn., (April-May 1981) 135.
18. Metals Handbook 4, Non Destructive Test, 11th edition.