

## Identifikasi *Undulating* pada Pembuatan *Cn-235 Leading Edge Wing*

Yohanes, BEN, \*Yurianto

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
 Jl. Prof. Sudarto, SH. Kampus Tembalang Semarang Indonesia (50255)

\*E-mail: [yurianto@undip.ac.id](mailto:yurianto@undip.ac.id)

### Abstrak

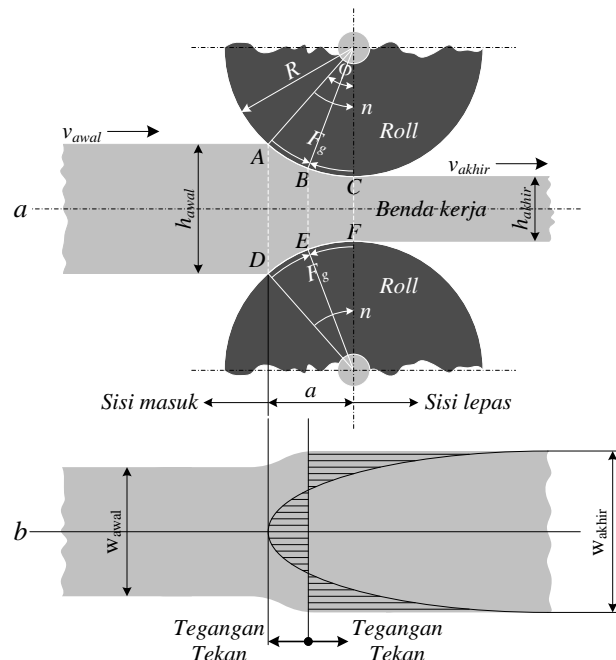
Pada proses pembuatan *leading edge*, sering terjadi cacat yang menyebabkan proses produksi menjadi terhenti. Cacat yang terjadi disebut *undulating*, dan menyebabkan lembaran tipis menjadi bergelombang, *transparent*, dan mengalami *contour* permukaan karena tegangan sisa setelah proses pengerolan. Tujuan penelitian adalah menurunkan tegangan sisa yang terkandung dalam bahan. Manfaat penelitian untuk mencegah berhentinya proses pembuatan *leading edge* akibat *undulating* dan menurunkan *scrab* akibat bahan yang *reject*. Metoda yang digunakan adalah menurunkan kandungan tegangan sisa dengan melakukan *stretching* pada bahan yang digunakan yaitu: *2024 T3 Cad*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *undulating* timbul setelah proses *chemical milling* karena adanya tegangan sisa dalam bahan setelah proses *rolling*. *Undulating* berkurang jika bahan setelah *rolling* di *temper*.

**Kata Kunci:** *residual stress, chemical milling, transparenting, undulating, leading edge*

### 1. Pendahuluan

Integrasi dari perakitan merupakan hal yang perlu diperhatikan, sehingga jangan sampai terjadi kesalahan komunikasi pada bagian perakitan yang mengakibatkan kerugian terhadap: bahan; waktu; kerja dan biaya. Apabila suatu sistim industri dapat menghindari kerugian yang terjadi pada proses manufaktur, maka menghemat biaya produksi.

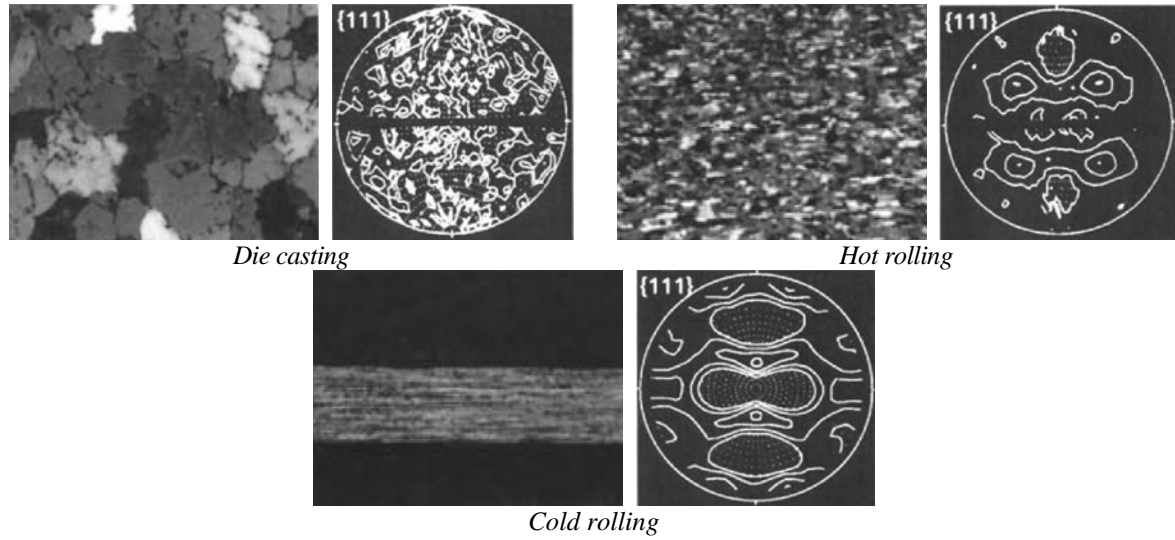
Salah satu masalah yang timbul didalam fabrikasi pesawat terbang adalah pada proses pembuatan *leading edge*, yaitu terjadinya *undulating* (penggelombangan) pada permukaan *leading edge wing CN-235*. *Undulating* pada proses pembuatan *leading edge* melibatkan 3 (tiga) macam cacat, yaitu: *contouring*; *waving* dan *transparenting*. Cacat-cacat ini terjadi karena adanya kandungan tegangan sisa yang cukup tinggi setelah *rolling processes* (proses pengerolan), yaitu proses pengurangan ketebalan benda kerja logam melalui deformasi plastis, logam tertekan dan memanjang [1]. *Leading edge* mengalami *undulating* setelah *chemical milling (CM) process* yang mengakibatkan tegangan sisa tarik yang menyebabkan permukaan *leading edge* terjadi *undulating*. Tegangan sisa adalah tegangan yang tertinggal dalam benda ketika semua gaya luar dihilangkan, dan sistim tegangan sisa adalah setimbang atas dirinya sendiri: bahwa gaya resultan dan momen yang dihasilkan adalah nol [5].



**Gambar 1.** Distribusi tegangan permukaan pengerolan

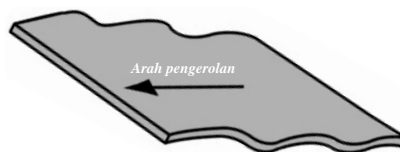
Aliran plastis dalam proses pengerolan hanya terjadi disekitar permukaan bahan lembaran, sehingga butiran dipermukaan lembaran terdeformasi dan cenderung memanjang. Sedangkan butiran dipusat lembaran tidak terpengaruh, serat pusat cenderung untuk mencegah perpanjangan serat permukaan. Sedang serat permukaan cenderung untuk merentangkan serat pusat lembaran. Sehingga pada permukaan bahan lembaran terbentuk tegangan sisa berupa tegangan tekan yang tinggi dan tegangan sisa tarik dipusat lembaran. Lihat pada Gambar 1a. Diagram pengerolan lembaran tipis b. Distribusi tegangan yang terkandung dalam benda kerja.  $R$  = Jari-jari *roll*;  $\phi$  = Sudut *slip*;  $n$  = Putaran *roll*;  $a$  = Celah *roll*;  $F_g$  = Gaya gesekan  $w_{awal}$  = lebar awal benda benda kerja  $w_{akhir}$  = lebar akhir benda kerja. Pada penampang A-D, benda kerja mulai tertekan oleh kedua *roll* dan mengalami deformasi plastis sampai penampang B-E. Dari penampang B-E sampai CF, benda kerja mengalami tarikan. Sedang distribusi tegangan ditunjukkan pada Gambar 1b.

Gambar 2 menunjukkan evolusi struktur butiran dari proses *die casting*, pengerolan panas dan pengerolan dingin.



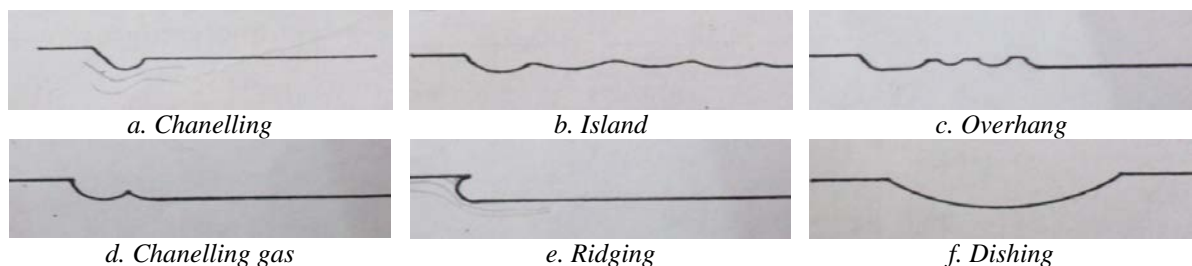
**Gambar 2.** Evolusi struktur butiran pada paduan Al-Mg-Mn lembaran [5]. Sebelah kiri struktur-mikro dan sebelah kanan adalah texture.

Salah satu cacat hasil proses pengerolan adalah gelombang dibagian tepi yang disebut *wavy edge* (Gambar 3). Penggelombangan, karena distribusi tegangan sisa yang tidak seragam.

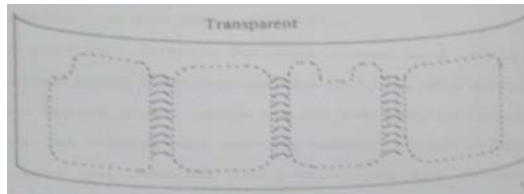


**Gambar 3.** *Wavy edges* [4]

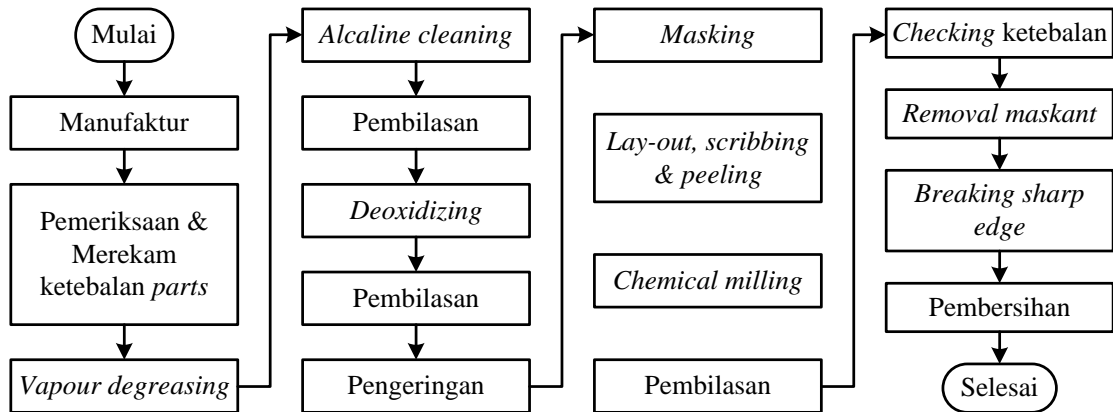
Cara logis mengendalikan tegangan sisa dan distorsi pada proses produksi terdiri dari langkah-langkah berikut [5]: memahami sumber utama pembangkitan tegangan sisa; identifikasi parameter kritis yang berkaitan dengan proses utama yang menciptakan tegangan sisa; memahami arti masing-masing parameter dan percobaan dengan parameter hingga diperoleh kombinasi yang memberikan hasil sesuai. Sumber utama tegangan sisa adalah: perbedaan deformasi plastis yang tidak seragam akibat beban atau kendala mekanis; perbedaan deformasi plastis yang tidak seragam akibat beban termal; perubahan volumetris dan transformasi plastis selama transformasi fasa keadaan padat dan mismatch pada koefisien ekspansi termal.



**Gambar 4.** Jenis-jenis *contour*.



Gambar 5. Terjadinya *transparent*



Gambar 6. Proses Kerja CE [2]

*Undulating* timbul karena bahan lembaran diganggu kesetimbangannya. Pada awalnya lembaran mempunyai tegangan sisa yang sama antara sisi atas dan bawah lembaran, tetapi karena adanya proses *CE* kesetimbangan tegangan sisa menjadi terganggu dan mendorong lembaran mencari kesetimbangan baru. Sehingga lembaran menjadi bergelombang. *Undulating* melibatkan 3 ( tiga ) kriteria cacat, yaitu: *waviness* (penggelombang), *contouring* (pelengkungan) dan *transparenting* (ini bisa disebut dengan tembus pandang, atau pola yang dibuat dengan menggunakan *CE* dan dapat terlihat dari sisi sebaliknya). Macam *contour*, ditunjukkan pada Gambar 4 [2]. *Transparent* ditunjukkan pada Gambar 5.

*CM* adalah proses pengikisan permukaan logam pada daerah tertentu, sehingga daerah tersebut menjadi lebih tipis dari daerah sekitarnya karena larutan kimia (Gambar 6). Daerah yang tidak dimilling dilindungi dengan menggunakan bahan maskant, sedangkan yang akan di *milling* dibiarkan terbuka. Larutan kimia yang sering digunakan adalah sodium hidroksida. *CM*, tetapi yang paling mudah adalah aluminium. *CM* bisa juga digunakan pada: paduan mangan; titanium; tembaga; seng; paduan baja rendah dan baja tahan karat (*super alloy* sulit di *CM*). *CE* bertujuan untuk mengeliminasi adanya diagonal tension pada skin, memberi kerangka pada skin dengan jalan membuat pocket dan skin menjadi lebih ringan dan kaku.

Reaksinya dengan aluminium atau paduan Aluminium adalah *exothermal* dan menghasilkan gas *hydrogen* dan sodium aluminat. Penggunaan unsur alkalin dianjurkan seminimal mungkin untuk paduan aluminium kekuatan tinggi khususnya untuk penggunaan yang relatif lama, karena aluminium paduan tinggi peka pada serangan intergranular. Semua jenis logam bisa diproses dengan *CM*.

Masalah dapat dirumuskan sebagai berikut: "Apakah bisa undulating dihilangkan, yang berarti menghilangkan tegangan sisa yang terkandung dalam bahan?"

Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi *undulating* yang sering terjadi dalam proses pembuatan *leading edge wing CN-235*, dan mereduksinya agar mutu produk meningkat dan terhindar dari cacat yang menghambat proses produksi.



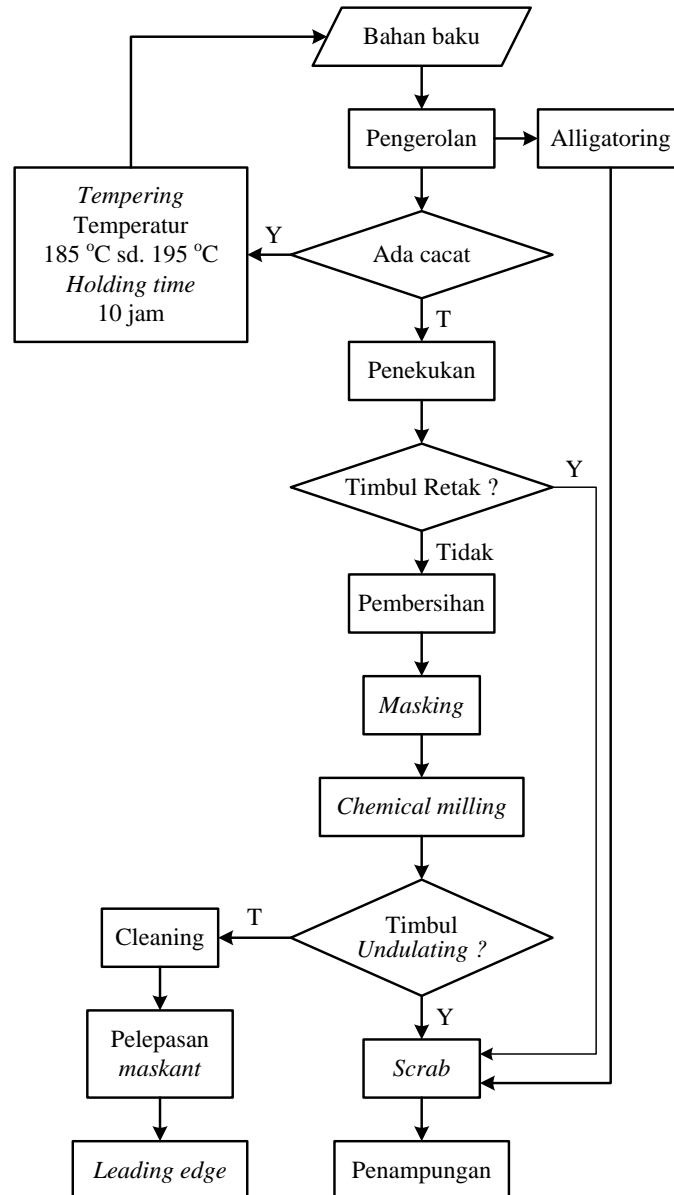
Gambar 7 Komponen pesawat CN-235 [3]



Gambar 8. *Leading edge CN 235*

## 2. Metode Penelitian

Metode mereduksi undulating yaitu HT dan stretching (penarikan) dengan elongasi 2% s.. 3% dari total panjang part.



Gambar 9. Undulating pada pembuatan leading edge

## 3. Hasil dan Pembahasan

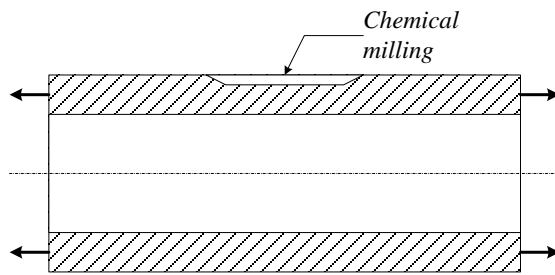
Leading edge adalah bagian tepi dari sayap pesawat terbang (dalam hal ini CN-235) yang terkena udara langsung pada saat pesawat melakukan penerbangan, letak dan penempatan dari leading edge seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Penampang dari leading edge, Gambar 8. Diagram alir proses pembuatan leading edge, ditunjukkan pada Gambar 9.

Permasalahan cacat diselesaikan setelah Quality Assurance (QA) mengajukan Rejection Tag (RT). Pada RT No. 20129 dengan REJ TAG. LOG 071.009074 dicantumkan kondisi sebenarnya skin part yang mengalami transparent. Hasil evaluasi dari Liaison Engineer adalah bahwa cacat ditimbulkan oleh adanya tegangan sisa dan bending stress pada bahan tersebut dengan melakukan stretching atau HT agar tegangan sisa minimum.

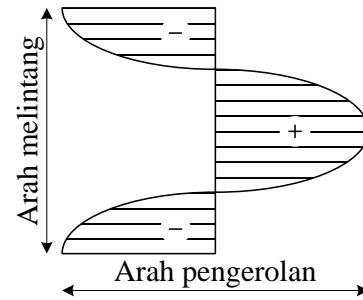
Didalam proses pengerolan, aliran plastis bahan hanya terjadi disekitar permukaan lembaran bahan. Sehingga struktur butiran pada permukaan lembaran terdeformasi memanjang, sementara butiran yang ada didalam pusat lembaran tidak terpengaruh. Serat dipusat cenderung untuk mencegah perpanjangan serat permukaan. Sedangkan serat-serat permukaan cenderung untuk merentangkan serat pusat lembaran, sehingga pada permukaan lembaran bahan terbentuk tegangan sisa yang berupa compression stress yang tinggi dan residual tension stress pada pusat lembaran.

Bending stress terjadi karena adanya perbedaan tegangan yang terjadi antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain. Perbedaan tegangan ini nampak setelah bahan mengalami proses CM, dimana salah satu bagian

permukaan lembaran akan berkurang ketebalannya sehingga dengan sendirinya tegangan tarik dikedua permukaan tersebut akan terjadi perbedaan. Semakin besar perbedaan tegangan antara dua permukaan tersebut (atau pemakanan proses CM semakin dalam), *bending stress* yang terjadi semakin besar.



Gambar 10. Permukaan *part* setelah CM



Gambar 11. Distribusi tegangan *stretching*

Seringkali bagian yang dihasilkan oleh proses *chemical milling* tidak sesuai dengan yang diharapkan, kegagalan yang terjadi dibagian tersebut diantaranya adalah cacat-cacat yang ada pada permukaan yaitu: *waviness*; *contour* dan *telegraphing effect* karena pola permukaan setelah proses CM disatu sisi permukaan bisa kelihatan jejaknya disisi yang satunya, secara umum seluruh permukaan tampak rata (ini kejadiannya pada *sheet metal*).

Bagian yang cacat ini berakibat terhadap berubahnya bentuk serta dimensi dari bagian tersebut.

Hal ini akan mengakibatkan pada saat bagian tersebut akan dirakit dengan bagian lainnya terjadi ketidak sesuaian. Sehingga mengakibatkan kerugian bahan dan tenaga, karena bagian tersebut tidak dapat digunakan (dan berupa *scrap*). Penyebab kegagalan dari proses CM ini adalah karena masih tingginya tegangan sisa yang terkandung pada bagian atau bahan setelah proses *rolling*, sehingga perlu menurunkan tegangan sisa setelah proses *rolling*.

Mengatasi terjadinya *undulating* dapat dilakukan penambahan proses yaitu *stretching* dengan proses HT. Caranya adalah sebagai berikut: *stretching* dengan memberikan gaya tarik, (Gambar 11). Tanda (+) dan (-), berturut-turut menyatakan tegangan sisa tekan dan tarik.

Selanjutnya dengan suatu *die* untuk membentuk suatu bahan yang diinginkan. *Stretching* bahan plat dilakukan untuk melepas tegangan yang diberikan dari *quenching*. Jumlah *stretch* bervariasi, umumnya dalam rentang 1 sampai dengan 5% [5]. Karena *stretch* mendeform bahan plat secara plastis, sejumlah besar dislokasi dikenakan pada bahan [5]. Penggunaan sekitar 1 sd. 3% deformasi plastis pada bahan menyebabkan redistribusi tegangan mekanis [5].

Disini *stretching* diberikan dengan panjang elongasi 2% sd. 3% dari total panjang benda uji atau bahan, sehingga diperoleh tegangan sisa yang minimum. Semakin besar *stretching*, defleksi yang terjadi akan semakin kecil. Arah *stretching* harus sejajar dengan arah butiran dari benda uji, apabila tidak sejajar akan timbul penyimpangan defleksi yang terlalu besar.

Besarnya *stretching* yang diberikan dinyatakan dengan prosentase dari panjang benda uji diproses *stretching* ini dilakukan sebelum bahan mengalami proses CM. Setelah bahan diroll, distribusi tegangan permukaan yang terjadi pada bahan ditunjukkan seperti pada Gambar 10. Bila luas dibagian permukaan mengalami pengurangan, maka akan terjadi perbedaan yang tinggi antara jumlah *tension stress* dengan *compression stress*. Perbedaan tegangan yang terlalu tinggi ini yang menyebabkan terjadinya defleksi besar, dan menyebabkan cacat permukaan yang radikal setelah proses CM. Dengan adanya penambahan proses *stretching*, perubahan distribusi tegangan permukaan pada *part* sampai bahan selesai mengalami proses *stretching* seperti Gambar 11.

Adapun proses perlakuan panas yang diberikan pada bahan untuk *leading edge* adalah dengan memanaskan lembaran bahan *leading edge* pada temperatur 185 °C sd. 195 °C dan holding 10 jam. Proses HT yang digunakan adalah *tempering* untuk mereduksi tegangan sisa, melunakkan dan meliatkan (*ductile*) bahan.

#### 4. Kesimpulan

Permasalahan terjadinya *undulating* pada *leading edge* pesawat CN - 235 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Undulating* merupakan cacat gabungan antara *contouring*, *waving*, dan *transparenting*, dan disebabkan oleh kandungan tegangan sisa bahan akibat proses *rolling*.
2. Terjadinya *undulating* adalah adanya kandungan tegangan sisa, yang bisa dikurangi dengan proses perlakuan panas *temper*. Sementara dalam proses pengerolan selalu timbul tegangan sisa, sehingga tegangan sisa hanya bisa direduksi (dan tidak bisa dihilangkan).

#### Ucapan terima kasih

Kepada PT. Dirgantara Indonesia yang telah memberi kesempatan untuk melakukan observasi dan penelitian.

#### Referensi

- [1] Dieter, George Ellwood, 1976, Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, New York.
- [2] \_\_\_\_\_, IPTN Manual Part, PS-20-0-33-3510.

- [3] \_\_\_\_\_, IPTN Manual Part, PS-20-0-36-1010.
- [4] Serope, Kalpakjian, 2001, Manufacturing Engineering & Technology, Prentice-Hall, Singapore.
- [5] Totten, George E. Totten & MacKenzie, D. Scott, 2003, Handbook of Aluminum Volume 7 Physical Metallurgy and Processes, Marcel Dekker, Inc, New York.