

TEKSTUR DEFORMASI DAN REKRISTALISASI BAJA LEMBARAN CANAI DINGIN BEBAS INTERSTISI

Akhmad A. Korda¹, Iskandar Muda² dan Syoni Soepriyanto¹

¹Program Studi Teknik Metalurgi, FTMM - Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

²PT. Krakatau Steel Tbk.

Jl. Industri No. 5 P.O. Box 14. Cilegon - Banten 42435

e-mail: akhmad@mining.itb.ac.id

Diterima: 4 Juni 2013

Diperbaiki: 17 September 2013

Disetujui: 21 November 2013

ABSTRAK

TEKSTUR DEFORMASI DAN REKRISTALISASI BAJA LEMBARAN CANAI DINGIN BEBAS INTERSTISI.

Perkembangan tekstur kristalografi dipelajari pada baja lembaran bebas interstisi canai dingin. Tekstur yang diamati adalah tekstur deformasi setelah pencanaian dingin dan tekstur rekristalisasi atau tekstur *annealing* setelah proses *annealing*. Tekstur deformasi baja lembaran bebas interstisi dipelajari melalui variasi persen reduksi ketebalan dengan selang reduksi antara 50,5 % hingga 90 %. Sementara tekstur rekristalisasi dipelajari melalui variasi laju pemanasan *annealing* antara 32 °C/jam hingga 128 °C/jam, variasi waktu penahanan *annealing* antara 5 jam hingga 20 jam dan variasi suhu *annealing* dari 700 °C hingga 900 °C. Perkembangan tekstur deformasi dan rekristalisasi dipelajari melalui pengujian difraksi sinar-X. Tekstur kristalografi diukur untuk tekstur yang mempengaruhi sifat mampu bentuk, yaitu tekstur [111]<110> dan tekstur [100]<110>. Pengujian tarik terhadap spesimen pada orientasi yang berbeda terhadap arah pencanaian kemudian dilakukan untuk memperoleh nilai \bar{r} yang merupakan parameter sifat mampu bentuk baja lembaran.

Kata kunci: Tekstur deformasi, Tekstur rekristalisasi, Baja lembaran canai dingin, Sifat mampu bentuk

ABSTRACT

DEFORMATION AND RECRYSTALLIZATION TEXTURE OF INTERSTITIAL FREE COLD ROLLED SHEET STEELS.

Crystallography texture development in cold-rolled interstitial free steel sheet was studied. The texture observed were deformation texture after cold rolling and recrystallization texture after annealing. Deformation texture was investigated by cold rolling with thickness reduction range between 50.5 % to 90 %. Recrystallization texture was studied by heating rate range between 32 °C/hour to 128 °C/hour, soaking time range between 5 hour to 20 hour, and annealing temperature range, from 700 to 900 °C. X-ray diffraction was used to observe and evaluate the development of deformation and recrystallization texture. The [111]<110> and [100]<110> textures affecting the steel sheet formability were measured. Tension test was carried out in different orientation relative to rolling direction to obtain \bar{r} -value as steel sheet formability parameter.

Keywords: Deformation texture, Recrystallization texture, Cold-rolled steel sheet, Formability

PENDAHULUAN

Sifat mampu bentuk baja lembaran canai dingin salah satunya ditentukan oleh tingginya rasio regangan plastis atau koefisien anisotropi normal (\bar{r}). Nilai ini telah diketahui menentukan sifat mampu bentuk baja lembaran canai dingin terutama dalam proses penarikan dalam atau *deep drawing* [1-4]. Baja bebas interstisi atau *Interstitial-free Steel* (IF Steel) telah menggantikan baja karbon rendah konvensional seperti *rimmed steel* dan *aluminium killed steel* sebagai bahan baja lembaran canai dingin untuk aplikasi yang menuntut persyaratan sifat mampu bentuk yang baik. Baja bebas interstisi adalah jenis baja yang tidak memiliki atom-atom pada posisi

interstisi atau memilikinya namun dalam jumlah yang sangat rendah, karena atom-atom tersebut telah terikat membentuk partikel-partikel presipitat melalui penambahan unsur paduan seperti Ti dan Nb [2]. Penggunaan baja lembaran canai dingin yang melibatkan persyaratan sifat mampu bentuk yang baik antara lain adalah dalam aplikasi otomotif dan enamel [1, 2].

Kunci peningkatan sifat mampu bentuk baja lembaran adalah pembentukan tekstur rekristalisasi [111]<110> dengan intensitas yang tinggi serta rendahnya tekstur [100]<110>. Struktur mikro dengan tekstur ini akan memberikan nilai rasio regangan plastis yang tinggi. Pembentukan tekstur rekristalisasi [111]<110> ini dipengaruhi oleh proses pembuatan

baja lembaran antara lain parameter proses pencanaian dingin dan *annealing* [4-8].

Persen reduksi merupakan parameter utama dalam proses pencanaian dingin yang mempengaruhi pembentukan tekstur. Sementara itu, laju pemanasan, suhu penahanan, dan waktu penahanan *annealing* merupakan parameter yang mempengaruhi pembentukan tekstur pada proses *annealing*. Pengaruh persen reduksi canai dingin dan *annealing* telah dipelajari pada beberapa literatur [9-12], namun variasi persen reduksi dan kondisi *annealing* yang dilakukan oleh para peneliti tersebut masih sangat terbatas sehingga perlu dilakukan penelitian dengan parameter yang lebih lengkap, baik parameter pencanaian dingin maupun parameter *annealing*.

Pada penelitian ini, perkembangan tekstur kristalografi dipelajari pada baja lembaran bebas interstisi setelah baja bebas interstisi mengalami proses pencanaian panas, kemudian dilanjutkan dengan variasi reduksi canai dingin dan berbagai kondisi *annealing*, yaitu laju pemanasan *annealing*, waktu penahanan *annealing* dan suhu *annealing*.

METODE PERCOBAAN

Bahan yang digunakan untuk mempelajari perkembangan tekstur deformasi dan rekristalisasi adalah baja lembaran bebas interstisi. Baja lembaran bebas interstisi yang digunakan adalah baja karbon sangat rendah (*ultra low carbon steel*) yang dipadu dengan unsur Ti. Dua sampel baja IF yang berbeda yang kemudian diberi nama Baja A dan Baja B digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1 memperlihatkan komposisi kimia baja lembaran bebas interstisi yang digunakan. Kedua baja tersebut pada dasarnya memiliki komposisi kimia serta mengalami kondisi proses pembuatan baja dan pencanaian panas yang sama.

Tabel 1. Komposisi kimia baja (% berat)

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Fe
Baja A	0,003	0,004	0,12	0,01	0,01	0,05	0,094	balance
Baja B	0,006	0,004	0,17	0,01	0,01	0,06	0,053	balance

Baja lembaran canai panas diberikan variasi reduksi canai dingin untuk mempelajari tekstur deformasi. Sementara itu, berbagai parameter kondisi *annealing* diberikan kepada baja canai dingin untuk mempelajari perkembangan tekstur rekristalisasi. Baja A dipilih dalam mempelajari perkembangan tekstur deformasi paska penerapan variasi persen reduksi. Variasi reduksi canai dingin yang dilakukan kepada baja lembaran canai panas adalah sebanyak 12 (dua belas) variasi yaitu 50,5; 60; 67,5; 70; 72,5; 75; 77,5; 80; 82,5; 85; 87,5; dan 90% reduksi ketebalan. Reduksi canai dingin tersebut dilakukan dengan

menggunakan mesin canai skala laboratorium. Setelah diberikan variasi persen reduksi, baja tersebut kemudian di*annealing* dengan kondisi *annealing* yang sama yaitu laju pemanasan 128 °C/jam, suhu penahanan 700 °C dan waktu penahanan 20 jam.

Perkembangan tekstur untuk variasi proses *annealing* dilakukan terhadap Baja A dan Baja B. Agar diperoleh kondisi canai dingin yang sama maka sampel baja diambil dari pabrik pencanaian dingin PT. Krakatau Steel. Reduksi canai dingin yang diterapkan pada pabrik tersebut adalah sebesar 72%. Pemanasan *annealing* dilakukan pada variasi laju pemanasan 32 °C/jam, 64 °C/jam, 96 °C/jam, dan 128 °C/jam. Sedangkan variasi waktu penahanan *annealing* dilakukan pada 5 jam, 10 jam, 15 jam dan 20 jam dengan suhu penahanan yang sama yaitu 700 °C. Baja A digunakan untuk mempelajari pengaruh laju pemanasan dan waktu penahanan *annealing*. Sementara itu, pengaruh suhu penahanan *annealing* dipelajari pada suhu 700 °C, 750 °C, 800 °C, 850 °C, dan 900 °C. Baja B digunakan pada studi tersebut.

Tekstur deformasi dan rekristalisasi dipelajari menggunakan *pole figure* hasil pengujian difraksi sinar-X pada bidang difraksi (110). Pengujian tersebut dilakukan terhadap sampel baja lembaran yang telah dipoles dan dietsa dengan ukuran sekitar (2×2) cm. Tekstur kristalografi diukur untuk tekstur utama yang mempengaruhi sifat mampu bentuk, yaitu tekstur [111]<110> dan tekstur [100]<110>. Proyeksi stereografis standar digunakan untuk membantu menentukan intensitas tekstur-tekstur tersebut.

Rasio regangan plastis (r) diuji menggunakan spesimen menurut JIS Z2241 melalui pengujian tarik pada regangan 15% menurut standar ASTM E517. Rasio regangan plastis (r) dinyatakan melalui Persamaan (1) [3]:

$$r = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_h} = \frac{\ln\left(\frac{w_o}{w}\right)}{\ln\left(\frac{h_o}{h}\right)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- ϵ_w = Tegangan arah lebar
- ϵ_h = Regangan arah tebal
- w_o = Lebar awal spesimen
- w = Lebar akhir spesimen
- h_o = Tebal awal spesimen
- h = Tebal akhir spesimen

Nilai r rata-rata atau diperoleh melalui pengujian tarik terhadap spesimen pada orientasi yang berbeda (0°, 45° dan 90°) terhadap arah pencanaian dan dihitung menggunakan Persamaan (2) [3]:

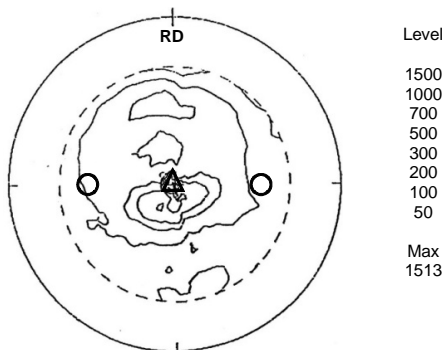
$$\bar{r} = \frac{r_o + 2r_{45} + r_{90}}{4} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

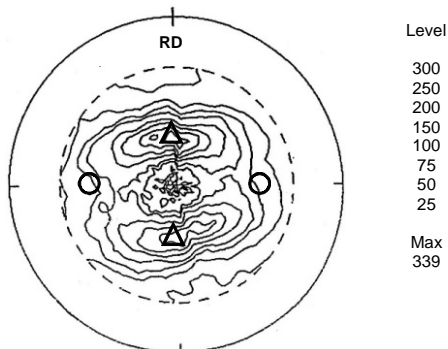
- r_o = Rasio regangan plastis searah pencanaian
- r_{45} = Rasio regangan plastis 45° arah pencanaian
- r_{90} = Rasio regangan plastis 90° arah pencanaian

HASIL DAN PEMBAHASAN

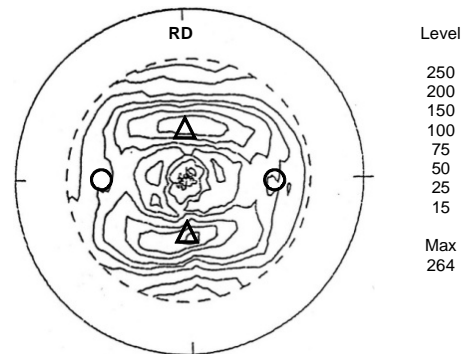
Gambar 1 memperlihatkan *pole figure* (110) dari baja lembaran canai panas sebelum dilakukan pencanaian dingin dan *annealing*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tekstur kristalografi baja lembaran canai panas secara umum didominasi oleh tekstur [110]. Pencanaian dingin yang diberikan kepada baja lembaran canai panas kemudian mengubah orientasi kristalnya. Perubahan tersebut diperlihatkan pada Gambar 2a-1, terlihat *pole figure* baja lembaran canai panas setelah mengalami pencanaian dingin dengan rentang variasi antara 50,5 % hingga 90% reduksi ketebalan. Orientasi kristal yang semula didominasi oleh tekstur [110] telah berubah menjadi tekstur yang didominasi oleh tekstur [111]. Tekstur deformasi yang terbentuk setelah canai dingin adalah [111]<110>. Peningkatan tekstur [111]<110> ini bersesuaian dengan hasil yang diperoleh pada hasil penelitian sebelumnya [12-14]. Menurut hasil yang diperoleh *Inagaki* [13], selama proses pencanaian dingin, tekstur baja canai panas akan mengubah orientasi tekstur kristalografinya menurut tahap berikut ini: [110]<001> → [554] <225> → [111]<112> → [111]<110> → [223]<110>.



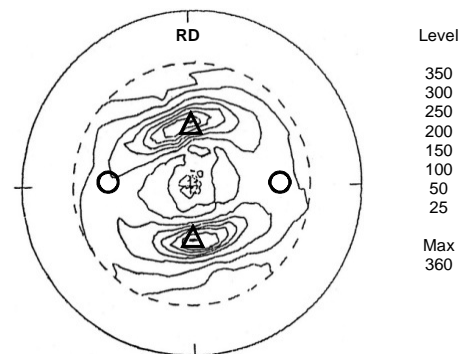
Gambar 1. Pole figure baja lembaran canai panas sebelum dicanai dingin. $\Delta = [110]<110>$; $O = [100]<110>$.



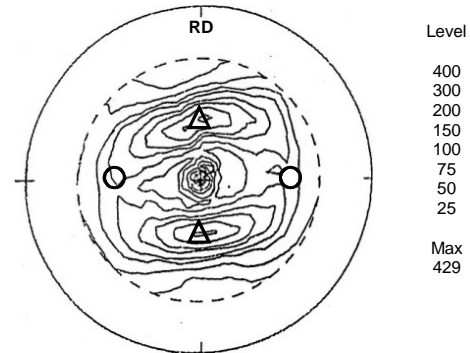
Gambar 2a. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaian dingin dengan reduksi ketebalan 50,5%. $\Delta = [111]<110>$; $O = [100]<110>$.



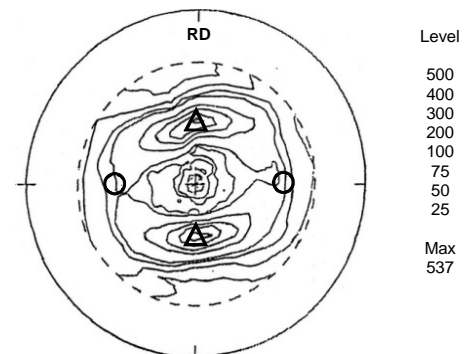
Gambar 2b. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaian dingin dengan reduksi ketebalan 60%. $\Delta = [111]<110>$; $O = [100]<110>$.



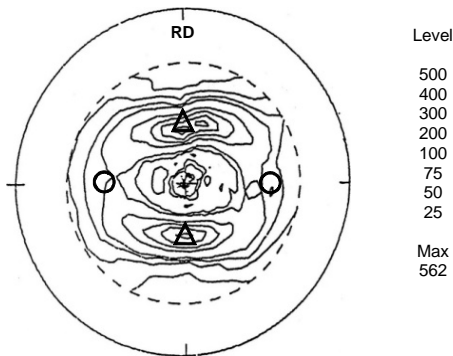
Gambar 2c. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaian dingin dengan reduksi ketebalan 67,5%. $\Delta = [111]<110>$; $O = [100]<110>$.



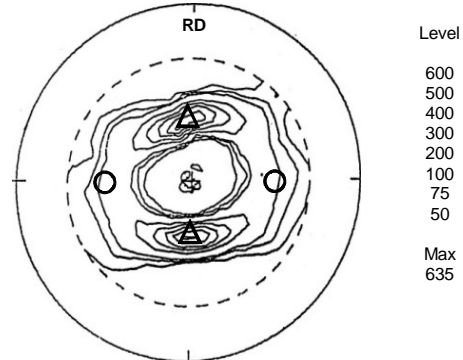
Gambar 2d. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaian dingin dengan reduksi ketebalan 70%. $\Delta = [111]<110>$; $O = [100]<110>$.



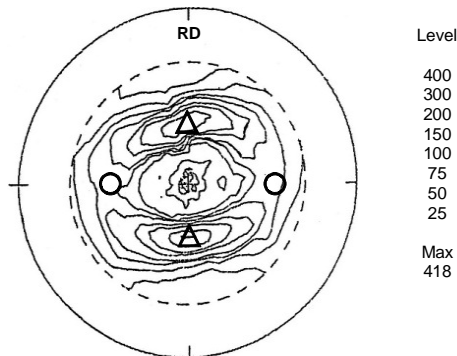
Gambar 2e. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaian dingin dengan reduksi ketebalan 72,5%. $\Delta = [111]<110>$; $O = [100]<110>$.



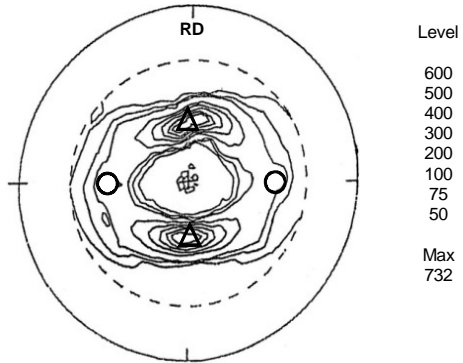
Gambar 2f. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dengan reduksi ketebalan 75%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



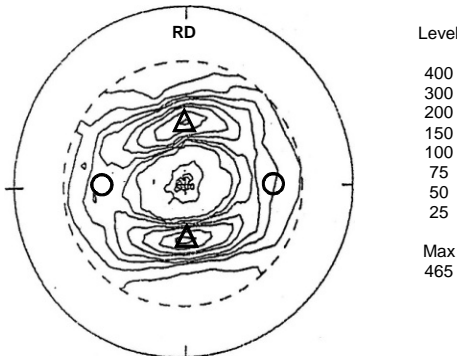
Gambar 2j. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dengan reduksi ketebalan 85%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



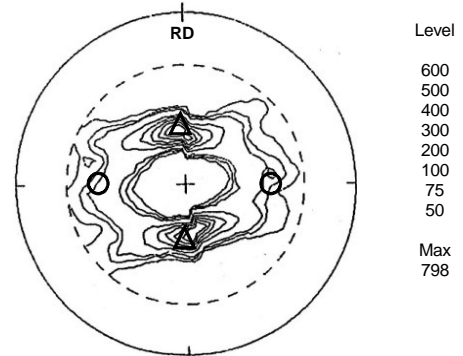
Gambar 2g. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dengan reduksi ketebalan 77,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



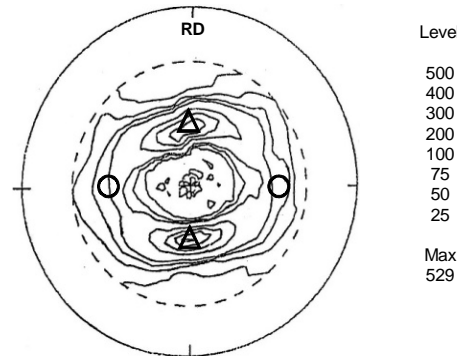
Gambar 2k. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dengan reduksi ketebalan 87,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



Gambar 2h. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dengan reduksi ketebalan 80%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.

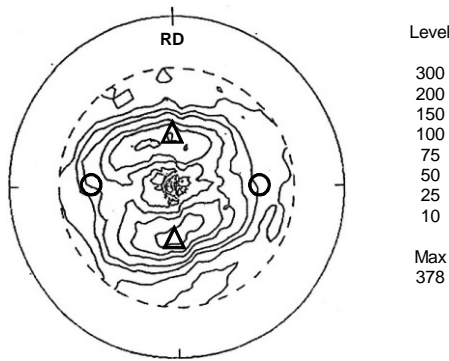


Gambar 2l. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dengan reduksi ketebalan 90%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.

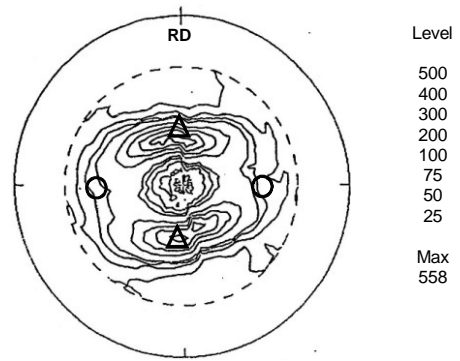


Gambar 2i. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dengan reduksi ketebalan 82,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.

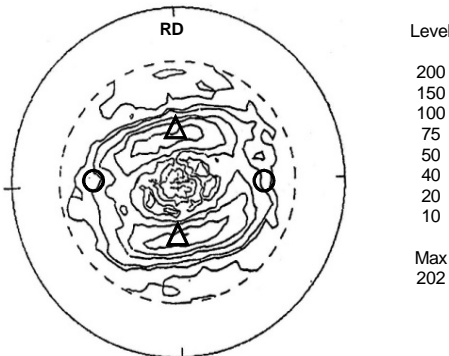
Dari Gambar 3(a) hingga Gambar 3(l) memperlihatkan pole figure baja lembaran canai dingin yang telah diannealing untuk variasi reduksi ketebalan 50,5% hingga 90%. Pada Gambar 3(a) - (3l) tersebut terlihat bahwa tekstur $[111]\langle 110 \rangle$ yang diperoleh dari hasil pencanaan dingin dengan variasi persen reduksi ketebalan tersebut tetap bertahan dan tetap mendominasi tekstur hasil annealing. Gambar 4(a) hingga Gambar 4(g) memperlihatkan pole figure baja lembaran canai dingin yang telah mengalami variasi kondisi annealing yang berbeda-beda. Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa intensitas tekstur rekristalisasi $[111]\langle 110 \rangle$ tetap bertahan dengan pemaparan panas selama proses annealing.



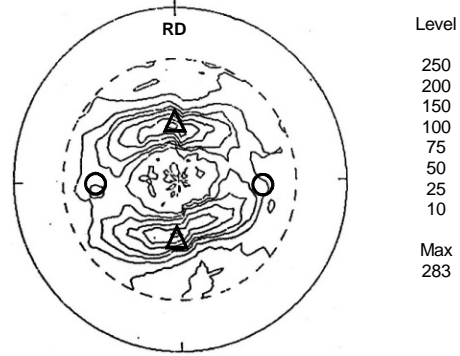
Gambar 3a. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 50,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



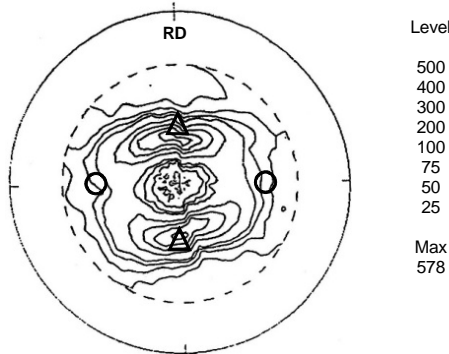
Gambar 3e. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 72,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



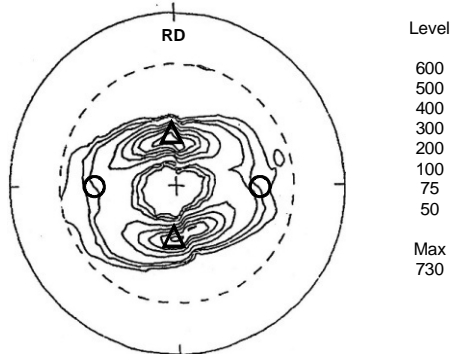
Gambar 3b. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 60%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



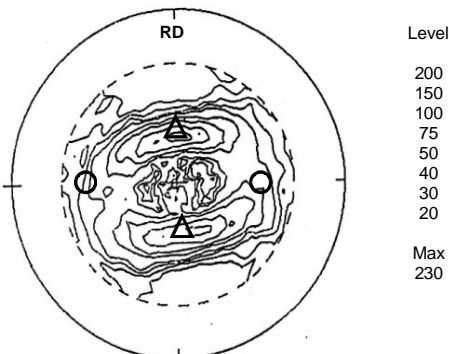
Gambar 3f. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 75%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



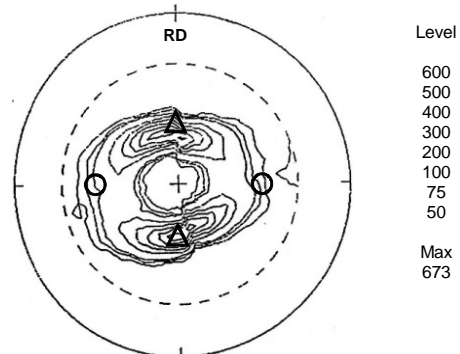
Gambar 3c. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 67,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



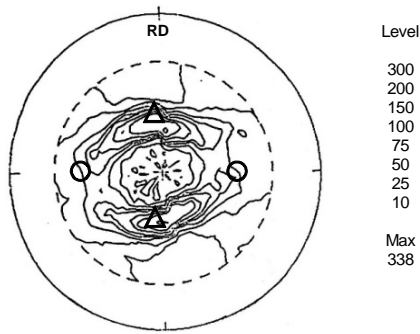
Gambar 3g. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 77,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



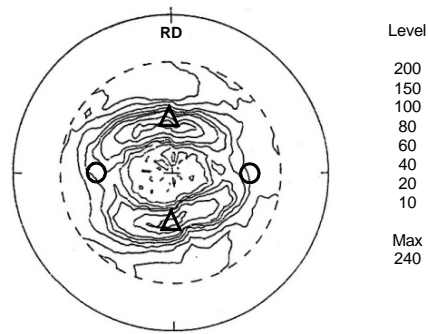
Gambar 3d. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 70%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



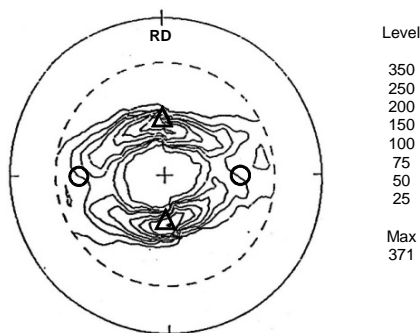
Gambar 3h. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 80%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



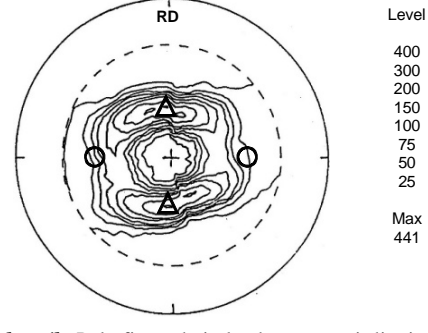
Gambar 3i. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 82,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



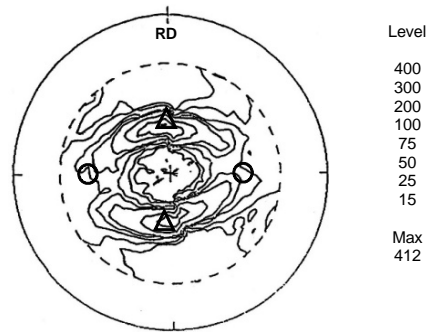
Gambar 4a. Pole figure baja lembaran canai dingin yang diannealing dengan laju pemanasan 32 °C/jam dan waktu penahanan 5 jam. Reduksi canai dingin 72%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



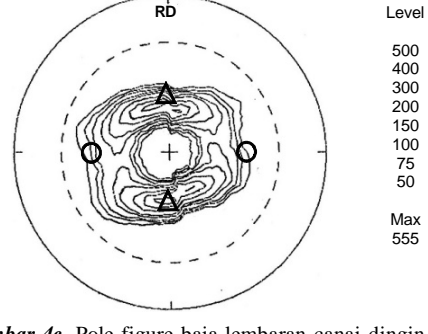
Gambar 3j. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 85%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



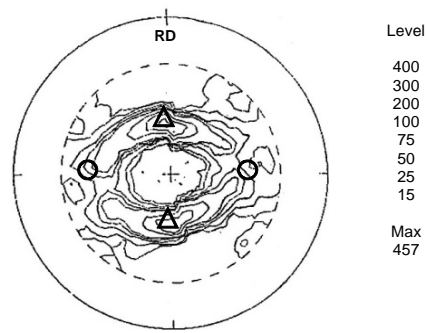
Gambar 4b. Pole figure baja lembaran canai dingin yang diannealing dengan laju pemanasan 32 °C/jam dan waktu penahanan 10 jam. Reduksi canai dingin 72%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



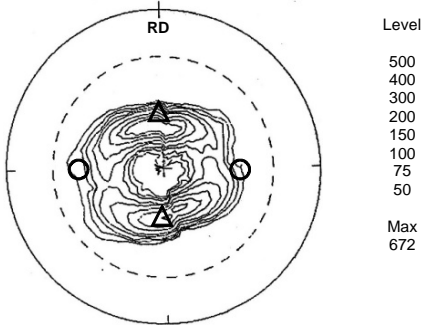
Gambar 3k. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 87,5%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



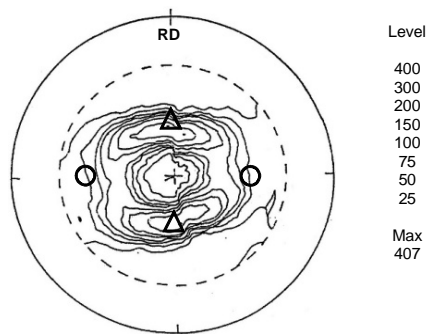
Gambar 4c. Pole figure baja lembaran canai dingin yang diannealing dengan laju pemanasan 32 °C/jam dan waktu penahanan 15 jam. Reduksi canai dingin 72%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



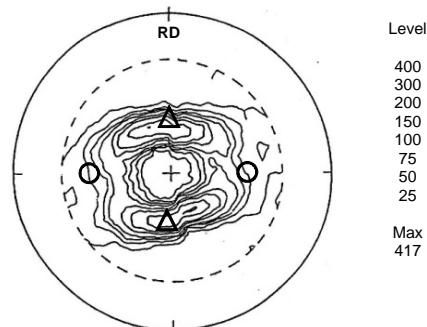
Gambar 3l. Pole figure baja lembaran setelah mengalami pencanaan dingin dan *annealing* dengan reduksi ketebalan 90%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



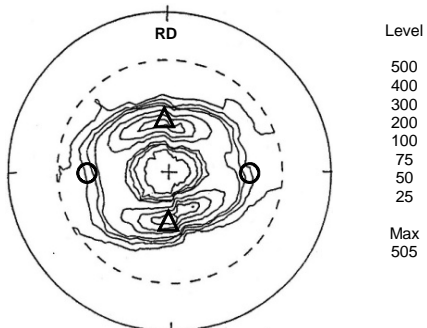
Gambar 4d. Pole figure baja lembaran canai dingin yang diannealing dengan laju pemanasan 32 °C/jam dan waktu penahanan 20 jam. Reduksi canai dingin 72%. $\Delta = [111]\langle 110 \rangle$; $O = [100]\langle 110 \rangle$.



Gambar 4e. Pole figure baja lembaran canai dingin yang diannealing dengan laju pemanasan 64 °C/jam dan waktu penahanan 20 jam. Reduksi canai dingin 72%. Δ = [111]<110>; O = [100]<110>.



Gambar 4f. Pole figure baja lembaran canai dingin yang diannealing dengan laju pemanasan 96 °C/jam dan waktu penahanan 20 jam. Reduksi canai dingin 72%. Δ = [111]<110>; O = [100]<110>.

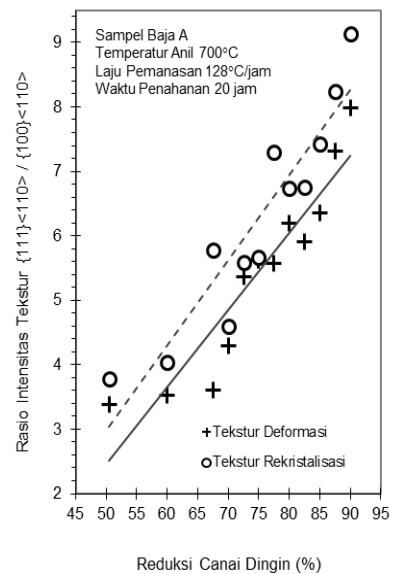


Gambar 4g. Pole figure baja lembaran canai dingin yang diannealing dengan laju pemanasan 128 °C/jam dan waktu penahanan 20 jam. Reduksi canai dingin 72%. Δ = [111]<110>; O = [100]<110>.

Pengaruh proses pencanaian dingin terhadap perkembangan tekstur deformasi dan rekristalisasi kemudian dipelajari bukan hanya melalui perubahan tekstur melainkan juga melalui perubahan intensitas tekstur tersebut. Gambar 5 memperlihatkan grafik yang menunjukkan hubungan rasio intensitas antara tekstur [111]<110> dan tekstur [100]<110> dengan persen reduksi canai dingin yang diterapkan untuk tekstur canai dingin (deformasi) dan tekstur hasil *annealing* (rekristalisasi). Kehadiran tekstur [111]<110> yang dominan pada baja lembaran telah diketahui memperbaiki sifat mampu bentuk, sementara kehadiran tekstur [100]<110> menurunkan

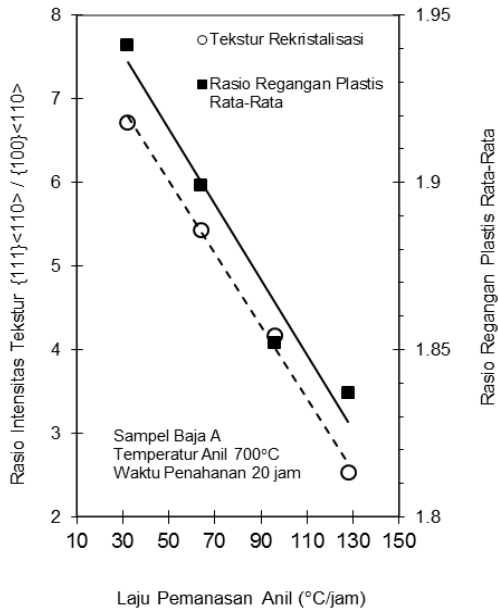
sifat mampu bentuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan persen reduksi canai dingin dari 50,5% hingga 90% akan menyebabkan semakin meningkatnya tekstur deformasi [111]<110> dibandingkan dengan tekstur deformasi [100]<110>.

Pada Gambar 5 juga ditunjukkan bahwa peningkatan rasio intensitas tekstur deformasi [111]<110> terhadap [100]<110> tetap dipertahankan pada baja lembaran canai dingin hasil *annealing*. Hal ini diperlihatkan dengan rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110>/[100]<110> yang tetap meningkat. Hasil ini bersesuaian dengan hasil yang diperoleh oleh peneliti sebelumnya dimana pembentukan tekstur rekristalisasi dipengaruhi oleh tekstur deformasi sebelumnya [15]. *Inagaki* [13] yang melakukan variasi reduksi canai dingin 70, 75, dan 80% menemukan bahwa tekstur rekristalisasi [111]<110> meningkat saat dilakukan peningkatan persen reduksi canai dingin dari 70% menuju 75%, namun yang berbeda adalah saat reduksi canai dingin ditingkatkan menjadi 80%, tekstur rekristalisasi [111]<110> tersebut justru menurun.

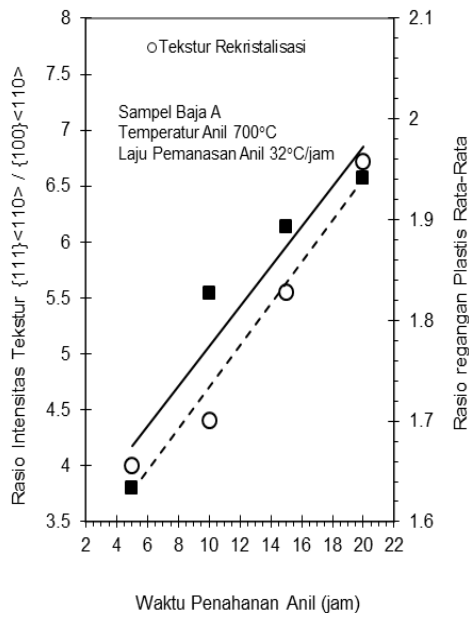


Gambar 5. Rasio intensitas tekstur [111]<110> / [100]<110> baja lembaran canai dingin, sebelum dan setelah diberikan perlakuan *annealing*.

Gambar 6 hingga Gambar 8 memperlihatkan hubungan antara rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> dan [100]<110> baja lembaran canai dingin yang diannealing dengan berbagai variasi laju pemanasan, waktu penahanan, dan suhu penahanan. Pada Gambar 6 terlihat bahwa laju pemanasan yang semakin lambat akan meningkatkan rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> terhadap [100]<110>. Rasio intensitas tekstur [111]<110> terhadap [100]<110> juga akan meningkat dengan meningkatnya waktu penahanan *annealing* (Gambar 7) dan suhu *annealing* (Gambar 8).



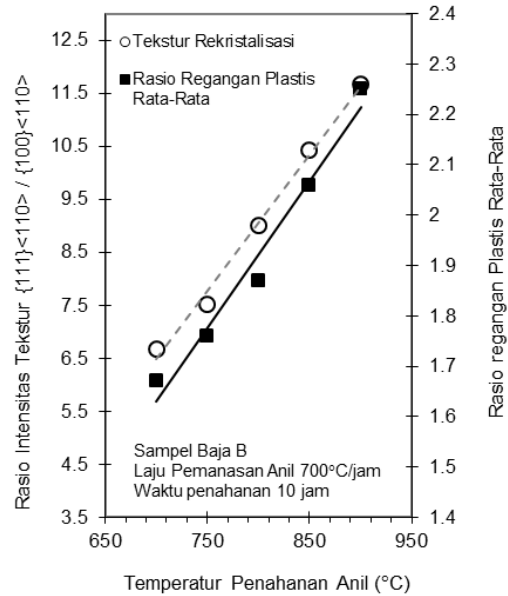
Gambar 6. Hubungan antara rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> / [100]<110> dan rasio regangan plastis rata-rata ($\bar{\epsilon}$) baja lembaran canai dingin dengan variasi laju pemanasan *annealing*.



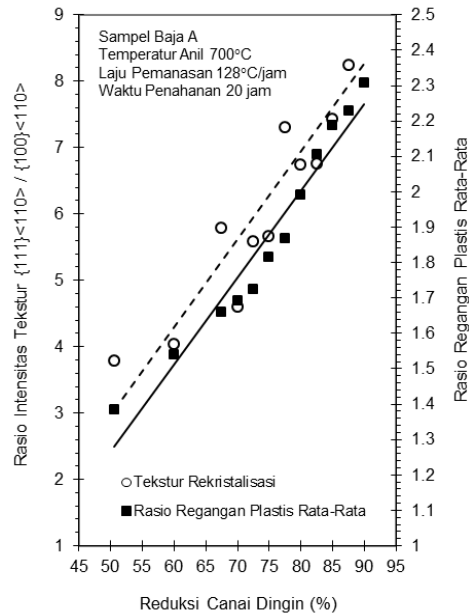
Gambar 7. Hubungan antara rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> / [100]<110> dan rasio regangan plastis rata-rata ($\bar{\epsilon}$) pada baja lembaran canai dingin dengan variasi waktu penahanan *annealing*.

Mengamati perkembangan tekstur deformasi dan tekstur rekristalisasi dari hasil diatas, maka intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> yang tinggi dapat diperoleh melalui intensitas tekstur deformasi [111]<110> yang tinggi pula. Rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110>/[100]<110> juga lebih tinggi dibandingkan rasio intensitas tekstur deformasi [111]<110>/[100]<110>. Hal ini menunjukkan bahwa *annealing* dapat meningkatkan perkembangan tekstur [111]<110> dan menekan perkembangan tekstur

[100]<110>. Menguatnya tekstur rekristalisasi [111]<110> tersebut menurut *Fonstein, dkk.* [16] disebabkan oleh melemahnya tekstur deformasi [100]<110> dan [112]<110> selama proses rekristalisasi. Tekstur [100]<110> dan [112]<110> dalam perkembangannya selama proses *annealing* digantikan oleh tekstur [111]<110>.



Gambar 8. Hubungan antara rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> / [100]<110> dan rasio regangan plastis rata-rata ($\bar{\epsilon}$) baja lembaran canai dingin dengan variasi suhu penahanan *annealing*.



Gambar 9. Hubungan antara rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> / [100]<110> dan rasio regangan plastis rata-rata ($\bar{\epsilon}$) pada baja lembaran canai hasil *annealing* dengan variasi persen reduksi dingin.

Butiran yang mengalami deformasi akan menyimpan energi dalam yang diberikan oleh energi proses pencanaian melalui perubahan struktur mikro.

Peningkatan persen reduksi canai dingin dari 50,5% hingga 90% berarti juga meningkatkan energi dalam yang tersimpan tersebut. Hasil pemeriksaan melalui difraksi elektron terhadap butiran-butiran yang mengalami deformasi menunjukkan bahwa butiran dengan orientasi [111] akan menyimpan energi yang lebih besar dibandingkan butiran dengan orientasi lain. Keadaan ini menyebabkan butiran dengan orientasi [111] akan mengalami pengintian dan rekristalisasi yang lebih cepat dibandingkan butiran dengan orientasi lain seperti [211] dan [100] [6,9,15,17], sehingga pada akhir proses annealing butiran dengan orientasi [111] akan mendominasi tekstur rekristalisasi. Dominasi tekstur [111] saat pengintian dan rekristalisasi diyakini menjadi kunci penguatan tekstur tersebut selama proses annealing, yaitu dengan melihat total masa pemaparan panas saat laju pemanasan yang lambat, waktu penahanan yang lama, dan suhu penahanan yang tinggi.

Atom-atom karbon interstisi diketahui menyebabkan penurunan tekstur rekristalisasi [111] dan meningkatkan tekstur [110] dan [100] [2-4,10,16]. Rendahnya kandungan karbon pada kedua ultra low carbon steel tersebut menyebabkan tekstur rekristalisasi [111] menjadi lebih dominan [12, 18]. Kecepatan pengintian dan pertumbuhan butiran-butiran rekristalisasi selama proses rekristalisasi melalui migrasi atom pada batas butiran tertahan oleh partikel karbida dari Ti yang terdistribusi pada batas butiran. Namun dengan kandungan karbon yang sangat amat rendah, maka butiran-butiran dengan orientasi [111] tetap akan mengintian dan tumbuh meski dengan laju yang lambat, namun demikian butiran dengan orientasi yang berbeda akan mengintian dan tumbuh lebih lambat.

Sifat mampu bentuk baja lembaran canai dingin yang tinggi ditentukan oleh nilai \bar{r} . Nilai \bar{r} diketahui mempengaruhi sifat mampu bentuk baja lembaran terutama dalam proses penarikan dalam (*deep drawing*). Kunci peningkatan nilai \bar{r} adalah hadirnya tekstur kristalografi [111]<110> dengan intensitas yang tinggi serta rendahnya tekstur [100]<110> [3]. Pada Gambar 6 hingga Gambar 9 ditunjukkan bahwa rasio regangan plastis rata-rata (\bar{r}) meningkat dengan meningkatnya peningkatan rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> dan [100]<110>. Pada gambar-gambar tersebut, peningkatan waktu penahanan *annealing* (Gambar 6), penurunan laju pemanasan *annealing* (Gambar 7), dan peningkatan suhu *annealing* (Gambar 8) akan meningkatkan sifat mampu bentuk baja lembaran canai dingin. Sementara itu peningkatan persen reduksi ketebalan juga akan meningkatkan sifat mampu bentuk baja lembaran canai dingin (Gambar 9).

KESIMPULAN

Tekstur [110]<110> pada baja lembaran canai panas bebas interstisi akan melemah dan digantikan

oleh tekstur [111]<110> setelah mengalami pencanaan dingin. Tekstur [111]<110> tersebut akan menguat dengan meningkatnya dengan meningkatnya persen reduksi canai dingin. Tekstur [111]<110> juga akan tetap dipertahankan bahkan menguat setelah proses *annealing*. Peningkatan waktu penahanan *annealing*, peningkatan suhu *annealing*, dan melambatnya laju pemanasan akan meningkatkan tekstur rekristalisasi [111]<110> dan melemahkan tekstur [100]<110>. Rasio regangan plastis rata-rata (\bar{r}) pada kedua baja meningkat dengan meningkatnya rasio intensitas tekstur rekristalisasi [111]<110> terhadap tekstur [100]<110>. Peningkatan sifat mampu bentuk baja lembaran bebas interstisi dapat dilakukan melalui peningkatan persen reduksi canai dingin, peningkatan waktu dan suhu *annealing* serta penerapan laju pemanasan *annealing* yang rendah.

DAFTAR ACUAN

- [1]. H. Hasyim et.al. "Rekayasa Metalurgi Produk Baja Interstitial Free (IF) Kualitas Deep Drawing" Prosiding Simposium Nasional Besi Baja, pp. 2-8. 1996.
- [2]. H. Takechi. "IF Steel - A Steel Sheet to Play A Leading Role in The 21st Century", *News of Japanese Steel, Steel Today and Tomorrow*, pp. 5-8. 1994.
- [3]. I.S. Grammar, T.R. Thompson, and R.M. Hobbs. "Sheet Steels for Forming Applications", *J. Aust. Int. Met.*, vol. 17, pp. 147-157. 1972.
- [4]. S. Mishra and C. Darmann, "Role and Control of Texture in Deep Drawing Steel", *International Metals Reviews*, vol. 27, no. 6, pp. 307-319, Jan. 1982.
- [5]. M. Hua, C. I. Garcia, and A. J. DeArdo "Precipitation Behavior in UltraLow Carbon Steels Containing Titanium and Niobium", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 28A, Issue 9, pp. 1769-1780, Sept. 1997.
- [6]. D.J. Blickwede. "The New Look of Sheet Steels". *Transaction ISIJ*, Vol. 24, pp. 687-701. 1984.
- [7]. Y. Yazawa, M. Muraki, Y. Kato, and O. Furukimi. "Effect of Chromium Content on Relationship Between r-Value and [111] Recrystallization Texture in Ferritic Steel." *ISIJ International*, vol. 43, no. 10, pp. 1647-1651. 2003.
- [8]. Y. Yazawa, Y. Ozaki, Y. Kato, and O. Furukimi. "Development of Ferritic Stainless Steel Sheets With Excellent Formability by [111] Recrystallization Texture Control." *JSAE Review*, 24(4), pp. 483-488, Oct. 2003.
- [9]. W. Bleck, R. Bode and F.J. Hahn. "Production and Properties of IF Steel." *Thyssen Technische berichte, Heft 1/90*, pp. 69-85.
- [10]. H. Takechi. "Metallurgical Aspects on Interstitial Free Sheet Steel from Industrial Viewpoints",

- International Forum for Physical Metallurgy of IF Steels, vol.34, no. 1, pp. 1-8. 1994.
- [11]. D. Wei, L. Z. Jiang, Q. S. Sun, Z. Y. Liu, and X Zhang. "Microstructure, Texture, and Formability of Nb+Ti Stabilized High Purity Ferritic Stainless Steel." *ISIJ International*, vol. 17(6), pp. 47-52, Jun. 2010.
- [12]. Y. L. Chen, L. Su, A. M. Zhao, Z. Kuai, B. H. Li, and G. M. Liu. "Effects of Rolling Parameters on Texture and Formability of High Strength Ultra-Low Carbon BH Steel." *Journal of Iron and Steel Research, International*, vol.20 (6), pp. 75-81, Jun. 2013.
- [13]. H. Inagaki. "Fundamental Aspect of Texture Formation in Low Carbon Steel." *ISIJ International*, Vol. 34, pp. 313-321. 1994.
- [14]. Y.B. Park and D.N. Lee. "Evolution of Recrystallization Textures From Cold Rolling Textures in Interstitial Free Steel." *Materials Science and Technology*, vol. 13(4), pp. 289-298. 1997.
- [15]. D.L. Cui and X.J. Wang. "Obtaining Very Strong [111] Recrystallization Texture in Interstitial-Free Steel." *International Forum for Physical Metallurgy of IF Steels*, pp.67-70. 1994.
- [16]. N.M. Fonstein and O.A. Girina. "Evolution of Structure, Texture, Ferrite-Solid Solution and Mechanical Properties During Recrystallization of Cold-Rolled IF-Steels." *International Forum for Physical Metallurgy of IF Steels*, pp. 33-36. 1994.
- [17]. M. Takahashi, N. Sugiura, Y. Ushigami, and T. Hara. "Metallurgical Approaches for Product Development and Process Optimization." *Nippon Steel Technical Report* No. 101, pp. 128-137, Nov. 2012.
- [18] Yang Ping. "Formation of the [111]<112> Annealing Texture in Steels." *Transactions of Materials and Heat Treatment*, vol. 30 (3), pp. 46-52. 2009