

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Parameter - Parameter Sifat Mampu Bentuk

Beberapa sifat mekanis lembaran baja yang meliputi : pengerasan regang, anisotropi dan keuletan merupakan parameter-parameter penting yang menentukan sifat mampu bentuk lembaran baja dalam proses pembentukan [2].

II.1.1. Koefisien Pengerasan Regang (n)

Pengerasan regang yang didefinisikan sebagai proses peningkatan kekerasan pada suatu proses pengubahan bentuk plastis, sehingga tegangan yang diperlukan agar deformasi dapat berjalan dengan tetap akan meningkat.

Proses pengerasan regang terjadi karena dihalanginya pergerakan dislokasi yang ada. Halangan tersebut dapat berupa batas butir, interaksi dislokasi, atom larut, impurities dan partikel fasa kedua.

Salah satu konsep dislokasi untuk menjelaskan tentang pengerasan regang adalah adanya penumpukan dislokasi yang terkunci di dalam kristal. Hal ini merupakan sumber tegangan dalam yang berfungsi melawan



pergerakan dislokasi yang lain, sehingga tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan dislokasi akan meningkat [3].

Kemampuan suatu bahan untuk mengalami pengerasan regang diukur oleh harga n . Efek pengerasan regang dapat dipresentasikan oleh kelakuan bahan pada uji tarik uniaksial. Kurva aliran sebagian besar logam pada daerah plastis dapat dinyatakan dalam persamaan berikut [4,5] :

$$\sigma = K \epsilon^n \quad (11.1)$$

dimana, σ = tegangan sebenarnya ,

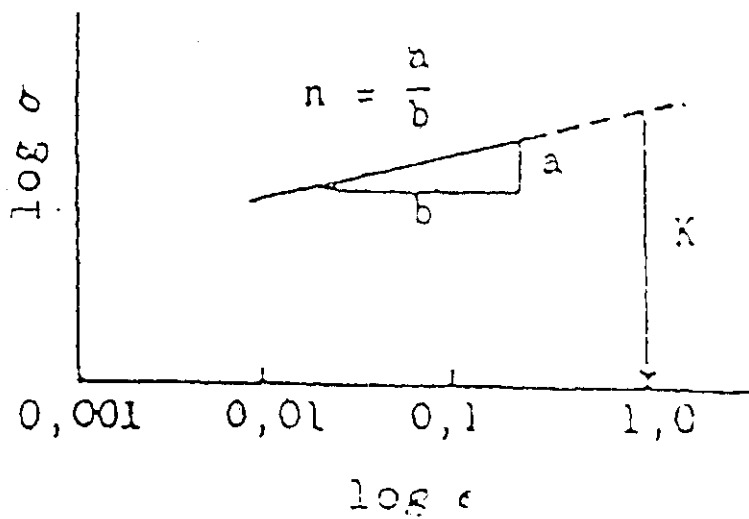
K = koefisien kekuatan ,

ϵ = regangan sebenarnya ,

n = koefisien pengerasan regang.

Jika dilakukan pemetaan log-log antara tegangan dan regangan sebenarnya hingga beban mencapai maksimum, akan menghasilkan kurva berbentuk garis lurus seperti pada Gambar 11.1. Dimana n adalah derajat kemiringan hasil pemetaan dan K adalah tegangan sesungguhnya pada $\epsilon = 1$.

Koefisien pengerasan regang (n) berkisar antara $n=0$ (material bersifat plastis) hingga $n = 1$ (material bersifat elastis). Untuk sebagian besar logam , harga n berkisar antara 0,1 hingga 0,5. Tetapi harga n akan menghasilkan nilai yang berbeda akibat arah pemotongan sample dari bahan lembaran yang berbeda, karena adanya sifat anisotropi bahan. Sehingga pengukuran harga n dari lembaran baja perlu dilakukan dari ketiga arah canai (0° , 45° , 90°), agar diperoleh nilai rata-rata dari harga n [6].



Gambar II.1. Kurva $\log \sigma$ terhadap $\log \epsilon$ [4,5]

Harga n yang tinggi menandakan kemampuan mendistribusikan regangan yang lebih baik, sehingga dapat memperkecil terbentuknya penciutan lokal yang dapat menyebabkan perpatahan pada saat pembentukan. Sedangkan harga n yang rendah akan mengalami penciutan lokal pada saat dibentuk, yang dapat mencapai regangan kritis sehingga terjadi perpatahan.

Harga n terutama berpengaruh sekali terhadap mampu bentuk stretching dari baja. Deformasi pada stretch forming dibatasi sampai mulai terjadinya penipisan setempat. Oleh karena itu deformasi maksimum yang dapat diterima lembaran baja yang mengalami stretch forming sama dengan regangan maksimum yang terjadi, ketika specimen uji tarik mengalami penciutan lokal. Sehingga lembaran baja dengan harga n yang tinggi sangat diinginkan dalam hal ini [6].

II.1.2. Keuletan

Keuletan (ductility) adalah kemampuan bahan untuk menerima tegangan tarik tanpa mengalami patah. Pengukuran keuletan bertujuan untuk memberi indikasi sampai sejauh mana kemampuan bahan untuk dapat mengalir secara plastis sebelum terjadi perpatahan. Keuletan yang tinggi menunjukkan bahwa bahan mempunyai kemungkinan yang besar untuk berdeformasi secara lokal tanpa mengalami patah.

Dalam pengujian tarik, keuletan suatu lembaran logam pada umumnya dinyatakan dengan perpanjangan total dari panjang ukur benda uji sampai mengalami patah [5]. Sesungguhnya terjadinya perpanjangan total dari benda uji terdiri dari 2 peristiwa. Pada mulanya perpanjangan terjadi merata diseluruh panjang ukur benda uji hingga terjadi penciutan, kemudian terjadi perpanjangan lokal yang terkonsentrasi pada daerah penciutan hingga akhirnya patah. Nilai perpanjangan uniform tergantung dari kapasitas pengerasan regang. Sehingga bahan yang memiliki harga n yang tinggi akan bersifat lebih ulet dibanding yang memiliki harga n rendah, karena memiliki perpanjangan uniform yang lebih besar [6].

II.1.3 Koefisien Anisotropi Plastis (r)

Pada umumnya logam bersifat anisotropi yang berarti memiliki sifat yang berbeda untuk setiap arah dan orientasi [7].

Anisotropi menyebabkan lembaran logam memiliki tegangan alir yaitu tegangan yang diperlukan untuk deformasi plastis yang tidak sama pada

arah berbeda pada bidang lembaran. Tegangan alir pada satu arah lebih kecil dibanding arah lain.

Beberapa logam berdeformasi lebih mudah pada bidang lembaran dibanding arah ketebalan. Dengan kata lain ketika dibentuk bahan akan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap penipisan dan kemampuan yang tinggi untuk berdeformasi pada bidang lembaran. Untuk menunjukkan ketahanan bahan terhadap penipisan digunakanlah harga r , yaitu perbandingan tegangan alir pada bidang lembaran terhadap tegangan alir pada arah ketebalan.

Sulit bagi kita untuk mengukur tegangan alir pada arah ketebalan, sehingga perbandingan ini dapat ditentukan dengan menggunakan perbandingan regangan sebenarnya pada arah lebar dan tebal. Perbandingan ini disebut perbandingan regangan plastis.

$$r = \epsilon_w / \epsilon_t \quad (11.2.)$$

dimana, ϵ_w = regangan dalam arah lebar ,

ϵ_t = regangan dalam arah tebal.

Bila diinginkan lembaran baja yang lebih tahan terhadap penipisan, maka regangan dalam arah lebar harus lebih besar daripada arah tebal, sehingga $r > 1$. Sedangkan untuk bahan isotrop memiliki harga $r = 1$ atau $r < 1$. Anisotropi semacam ini disebut normal anisotropi.

Lembaran baja yang sesuai untuk proses pembentukan, terutama dengan tehnik deep drawing adalah lembaran baja yang memiliki normal anisotropi dengan harga $r > 1$. Makin besar harga r dari 1 makin meningkat

kemampuan bahan untuk menahan penipisan, sehingga makin tinggi sifat mampu bentuknya. Hal ini dapat diciptakan dengan mengendalikan tekstur kristalografis.

Karena sifat pada bidang lembaran berbeda pada arah yang berbeda, maka harga r suatu lembaran baja diukur sebagai rata-rata perbandingan regangan plastis yang diukur pada arah 0° , 45° , 90° terhadap arah pencanaian [7,8].

II.2. Pengaruh Ukuran Besar Butir Terhadap Sifat Mekanis

Hall mengajukan suatu hubungan umum antara tegangan luluh dengan besar butir, yang kemudian dikembangkan oleh Petch. Hubungan ini dikenal dengan persamaan Hall - Petch, yang perumusannya [9] :

$$\sigma_0 = \sigma_1 + k D^{-1/2} \quad (11.3)$$

dimana,

σ_0 = tegangan luluh ,

σ_1 = tegangan gesekan yang merupakan ketahanan kisi kristal terhadap pergerakan dislokasi ,

k = parameter pengunci, yang menjadi ukuran kontribusi pengerasan relatif oleh batas butir.

D = diameter butir rata-rata.



Terlihat bahwa butiran yang halus akan memiliki kekuatan luluh yang tinggi. Tetapi hal ini mengakibatkan turunnya harga n , yang berarti mampu bentuknya terbatas. Hal ini didasari pada konsep bahwa batas butir menghambat pergerakan dislokasi.

D.A. Karylⁿ, R.W. Vieth telah meneliti hubungan antara besar butir terhadap harga r dan mendapatkan persamaan [10] :

$$r = r_0 - k N \quad (11.4)$$

dimana , r_0 dan k = konstanta, yang memiliki harga berbeda pada berbagai jenis baja,

N = bilangan besar butir (ASTM).

Harga r_0 bergantung pada komposisi dan langkah proses pembuatan lembaran baja sebelumnya yang akan mempengaruhi orientasi butir yang terbentuk pada tahap awal rekristalisasi pada proses anil.

D.A. Karylⁿ dkk mendapatkan hubungan yang linier antara harga r dan besar butir. Butir yang makin halus (nomor butir ASTM nya makin besar) akan menurunkan harga r . Harga r akan naik dengan meningkatnya ukuran butir.

11.3. Proses Anil Pada Lembaran Baja Hasil Canai Dingin

Sudah tentu para pemakai lembaran baja menginginkan karakteristik tertentu sekaligus diberi jaminan bahwa material tersebut dapat dibentuk dengan baik. Mampu bentuk lembaran baja tersebut sebagian besar

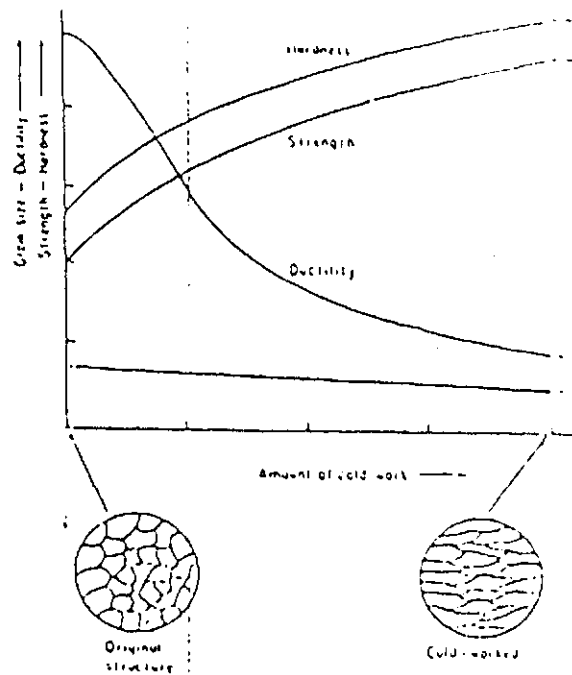
ditentukan oleh proses pembuatan bajanya yang meliputi kondisi pencanaian dan perlakuan panas yang dialaminya [11].

Proses canai dingin yang dilakukan pada lembaran baja akan menimbulkan efek pengerasan regang yang tidak hanya menaikkan kekerasan dan kekuatannya akan tetapi juga menurunkan keuletan dan sifat mampu bentuknya. Pada Gambar 11.2 terlihat terjadinya perubahan struktur mikro dari keadaan awal dimana butiran berbentuk equiaxed, menjadi pipih dan memanjang serta mengalami pengerasan regang akibat proses canai dingin [12].

Proses deformasi yang bertahap pada canai dingin juga akan mengembangkan terjadinya preferred orientation (tekstur) yang berpengaruh terhadap harga r . Deformasi pengerolan yang makin besar akan mempertajam tekstur kristalografis yang akan meningkatkan harga r . Deformasi canai dingin optimal yang dapat menaikkan harga r adalah sekitar 50 - 75%. Di atas tingkat deformasi ini akan menyebabkan penurunan harga r .

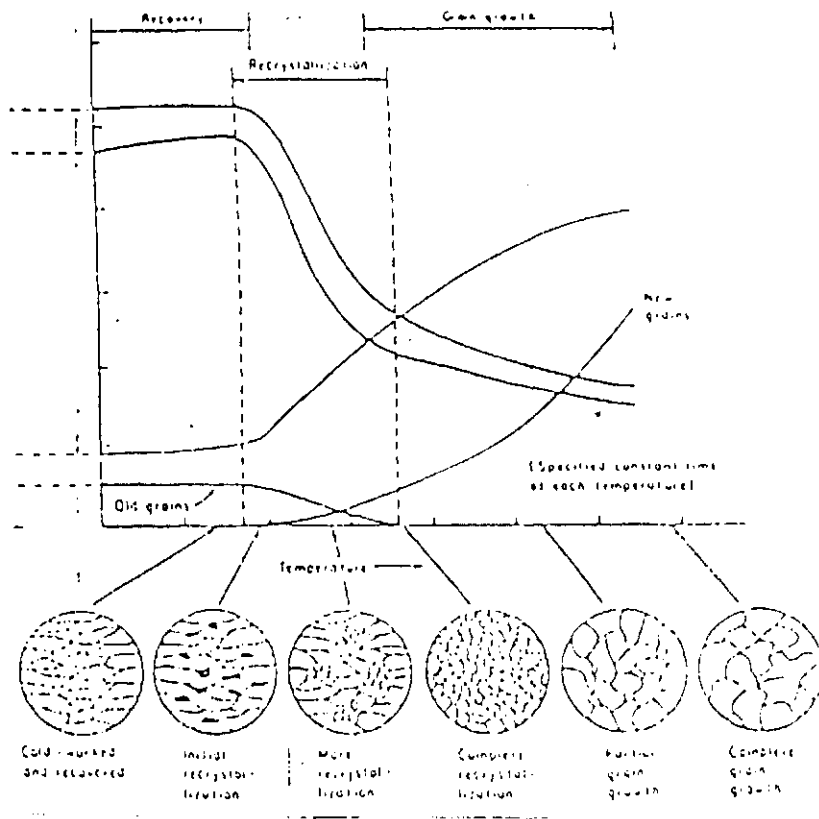
Parameter proses yang berpengaruh terhadap usaha peningkatan harga r selain deformasi pada proses canai dingin adalah kondisi anil.

Seperti halnya proses pengerjaan logam lain, proses anil inipun perlu dikendalikan dengan baik agar struktur material yang dikehendaki tercapai. Tujuan anil memang pelunakan lembaran baja, akan tetapi khusus untuk lembaran baja yang baik sifat mampu bentuknya, anil diharapkan dapat menghasilkan tekstur yang dapat meningkatkan harga r .



Gambar II.2. Perubahan struktur mikro dan sifat mekanis proses canai dingin [11]

Selain itu dihasilkan pula besar butir optimal yang merupakan kompromi antara usaha meningkatkan cacat kulit jeruk dan usaha untuk meningkatkan harga n yang relatif tinggi. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa butiran dengan ukuran yang makin besar akan meningkatkan harga n. Namun yang perlu diingat bahwa butir maksimum adalah ASTM No.6. Bila butir lebih besar dari ASTM No.6 maka pada saat dibentuk terjadi permukaan yang kasar yang dikenal dengan cacat kulit jeruk. Besar butir ASTM No.7 dan 8 termasuk ukuran butir yang baik untuk mengoptimasikan kombinasi antara mampu bentuk yang baik dan permukaan yang perlu penampilan yang baik [11].



Gambar II.3. Perubahan struktur mikro dan sifat mekanis dalam proses anil [12]

Proses anil dapat dibagi dalam tiga proses : pemulihan (recovery), rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Gambar II.3 akan membantu untuk membuat perbedaan antara ketiga proses ini.

1. Pemulihan (Recovery)

Dengan pemanasan terhadap baja yang telah mengalami pengerjaan dingin, pada awalnya akan terjadi recovery. Pada periode ini tegangan dalam yang terjadi karena pengerjaan dingin berkurang, tetapi struktur

mikro dan sifat mekanis masih belum mengalami perubahan. Perubahan baru akan terjadi setelah memasuki periode rekristalisasi.

2. Rekristalisasi

Rekristalisasi ialah penggantian struktur pengerjaan dingin oleh kumpulan butir bebas regangan yang baru. Rekristalisasi dapat dideteksi dengan mudah dengan menggunakan metode metalografi dan dapat dibuktikan dengan berkurangnya kekerasan dan kekuatan serta peningkatan keuletan. Kerapatan dislokasi berkurang sangat banyak ketika rekristalisasi dan semua pengaruh pengerasan regang dihilangkan. Energi simpanan pengerjaan dingin merupakan gaya penggerak untuk pemulihan dan rekristalisasi. Kalau butir bebas regang yang baru dipanaskan pada temperatur yang lebih tinggi daripada yang diperlukan untuk rekristalisasi, akan terdapat peningkatan progresif dalam ukuran butir. Gaya penggerak untuk pertumbuhan butir ialah berkurangnya energi bebas yang diakibatkan oleh pergerakan batas butir akibat meningkatnya ukuran butir. Gambar II.3 memperlihatkan kemajuan dari struktur mikro pengerjaan dingin ke struktur butir rekristalisasi halus dan akhirnya ke ukuran butir yang lebih besar karena pertumbuhan butir.

Beberapa faktor yang mempengaruhi rekristalisasi adalah : banyaknya deformasi terdahulu, temperatur, waktu tahan, ukuran butir intern, komposisi dan banyaknya pemulihan sebelum rekristalisasi. Makin kecil tingkat deformasi, makin tinggi temperatur yang perlu untuk menyebabkan rekristalisasi karena bahan memiliki lebih sedikit energi

dalam akibat pengerjaan dingin sebagai gaya penggerak rekristalisasi. Memperpanjang waktu anil berarti menurunkan temperatur rekristalisasi.

Temperatur yang diperlukan untuk rekristalisasi akan menurun dengan meningkatnya kemurnian logam. Paduan larutan padat akan meningkatkan temperatur rekristalisasi.

Rekristalisasi dapat mengubah tekstur deformasi canai dingin secara drastis menjadi tekstur rekristalisasi. Hal ini terutama terjadi bila perubahan orientasi inti yang baru berbeda dari orientasi butir hasil canai dingin. Perlu diingat bahwa proses canai dingin telah menghasilkan tekstur yang berpengaruh terhadap peningkatan harga r .

Oleh karena itu perlu dicari cara atau metode untuk mempertahankan tekstur yang dapat meningkatkan harga r . Metode yang paling baik adalah dengan mengusahakan agar butir-butir yang pipih (berbentuk pancake) hasil canai dingin tidak berubah bentuknya selama rekristalisasi. Bentuk butir tersebut adalah berkat peranan partikel presipitat AlN yang mencegah perpindahan batas butir [11].

3. Pertumbuhan butir

Gaya penggerak untuk pertumbuhan butir lebih rendah daripada gaya penggerak untuk rekristalisasi. Pertumbuhan butir akan terjadi dengan pelan-pelan pada temperatur dimana rekristalisasi terjadi dengan mudah. Pertumbuhan butir sangat tergantung dari rekristalisasi dan segera akan dicapai daerah pengkasaran butir dimana butir bertambah dengan sangat cepat. Pertumbuhan butir dapat dihalangi oleh adanya penyebaran partikel

fasa kedua yang terdispersi halus, yang akan membatasi gerakan batas butir. Dalam kondisi tertentu, sebagian butir dalam logam akan mulai tumbuh sangat cepat dengan mengorbankan butir lainnya, bilamana dipanaskan pada temperatur lebih tinggi. Gejala ini dikenal sebagai pertumbuhan butir berlebihan. Gaya penggerak pertumbuhan butir berlebihan ialah berkurangnya energi permukaan, bukan energi simpan. Tetapi karena gejala tersebut memperlihatkan kinetika yang serupa dengan kinetika rekristalisasi, gejala ini juga disebut rekristalisasi sekunder [12].