



Simulasi Proses *Continuous Annealing* untuk Perbaikan Sifat Mekanik Baja Lembaran Canai Dingin JIS G3141 SPCE di PT Krakatau Steel

Imam Nur Fathoni^{a,1}, Riyangga Purnawansya Ardhi^a, Ika Wulandari^c Roihaposan Nikolas Sembiring^a, Muhammad Dimaz^a, Alfirano^b

^aJurusan Toesaeknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman Km 3, Kotabumi Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, 42435, Indonesia

¹E-mail: imamnurfathoni@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada Agustus 21
Direvisi pada September 21
Disetujui pada Oktober 21

Kata kunci:

Baja canai dingin, Continuous Annealing, Annealing, Ferrit, Yield Strength.

Keywords:

Cold rolled steel, Continuous Annealing, Annealing, ferrite, yield strength.

ABSTRAK

Baja adalah material yang banyak berperan penting, jenis baja lembaran karbon rendah yang banyak digunakan karena aplikasinya yang luas seperti dalam pembuatan peralatan rumah tangga, otomotif, pipa dan sebagainya. Proses produksi baja lembaran baja canai dingin melibatkan pengerjaan dingin yang menyebabkan peningkatan sifat mekanik pada baja lembaran sehingga bersifat getas. Sifat getas material ditandai dengan nilai persen elongasi < 5%. Continuous Annealing dilakukan untuk menurunkan sifat mekanik. Sifat mekanik material dipengaruhi oleh ukuran butir, untuk mendapatkan sifat mekanik yang sesuai maka dilakukan peningkatan ukuran butir. Riset ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu dan temperatur annealing terhadap sifat mekanik baja lembaran karbon rendah. Peneliti menggunakan baja canai dingin dengan ketebalan 1 mm. Sampel dipotong sesuai standar JIS Z 2241. Sampel dilakukan karakterisasi awal sebelum dilakukan continuous annealing. Proses continuous annealing menggunakan menggunakan variasi temperatur temperatur anil 800, 850, dan 900°C, serta dilakukan proses overaging 400°C selama 1 menit. Karakterisasi akhir seperti uji tarik dan pengamatan metalografi dilakukan terhadap sampel setelah Continuous Annealing. Diperoleh hasil seperti terbentuknya ferit dan perlit, semakin tinggi temperatur annealing dan semakin lama waktu annealing menghasilkan penurunan sifat mekanik, dan temperatur anil optimal di riset ini pada 900°C dengan waktu tahan 136,5 detik dan menggunakan overaging 400°C selama 1 menit dengan menghasilkan nilai yield strength terendah yang diperoleh sebesar 216 MPa.

ABSTRACT

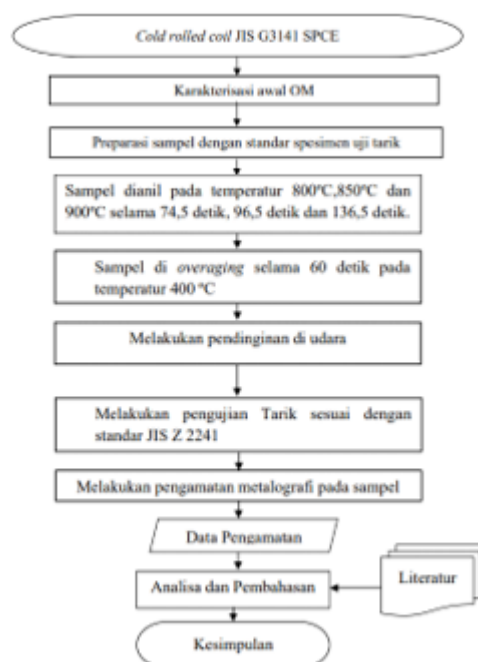
Steel is a material that plays an important role, a type of low carbon sheet steel that is widely used because of its wide applications such as in the manufacture of household appliances, automotive, pipes and so on. The production process of cold rolled steel sheet involves cold working which causes an increase in the mechanical properties of the sheet steel so that it is brittle. The brittle nature of the material is indicated by the percent elongation value < 5%. Continuous Annealing is done to reduce the mechanical properties. The mechanical properties of the material are influenced by the grain size, to obtain the appropriate mechanical properties, the grain size is increased. This study aims to determine the effect of annealing time and temperature on the mechanical properties of low carbon sheet steel. Researchers used cold rolled steel with a thickness of 1 mm. Samples were cut according to JIS Z 2241 standard. Samples were pre-characterized before continuous annealing was performed. The continuous annealing process uses various annealing temperatures of 800, 850, and 900°C, and an overaging process of 400°C for 1 minute. Final characterizations such as tensile tests and metallographic observations were carried out on the samples after Continuous Annealing. Obtained results such as the formation of ferrite and pearlite, the higher the annealing temperature and the longer the annealing time resulted in a decrease in mechanical properties, and the optimal annealing temperature in this study was at 900°C with a holding time of 136.5 seconds and using overaging 400°C for 1 minute to produce a value of The lowest yield strength obtained was 216 MPa.

1. Pendahuluan

Baja menjadi salah satu bahan baku utama dalam produk-produk yang dihasilkan oleh berbagai macam industri saat ini, penggunaan dan pemanfaatan produk baja tidak hanya terbatas sampai dengan industri otomotif (transportasi), konstruksi, maupun industri pertahanan, akan tetapi produk peralatan rumah tangga juga turut ambil bagian terhadap konsumsi bahan baku baja dalam negeri. Pada tahun 2018 impor baja Indonesia mengalami peningkatan sebesar satu persen menjadi 11,6 juta metrik ton. Dalam jangka waktu dari tahun 2009-2018 peningkatan persentase impor Indonesia sampai dengan 105 persen. Flat product menyumbang 43 persen impor baja Indonesia berdasarkan volume tahun 2017, dengan total 4,9 juta metrik ton (International Trade Administration, 2019). Flat product memenuhi kebutuhan pasar untuk bahan baku pada berbagai industri manufaktur diantaranya yaitu industri otomotif dan peralatan rumah tangga, dimana industri ini sangat membutuhkan bahan baku baja yang mempunyai sifat mampu bentuk yang baik atau bahkan setara dengan kualitas E-DDQ (Extra-Deep Drawing Quality) (US Steel, 2016). Sifat mampu bentuk merupakan sifat yang dimiliki oleh logam atau material yang menunjukkan kemampuan untuk dibentuk dengan proses pembentukan, proses pembentukan ini memanfaatkan deformasi plastis yang ada pada material tanpa menghasilkan patahan. Kriteria baja tersebut kebanyakan dipenuhi kebutuhannya dengan bahan baku baja bebas atom interstisi (ultra low carbon IF steel) yang memiliki kadar C dan N sangat rendah (<80 ppm). Interstitial Free steel telah dikenal sebagai material terbaik untuk proses extra deep drawing. Istilah baja bebas interstisi atau IF steel mengacu pada fakta, bahwa tidak ada atom interstisial terlarut yang membebani kisi besi padat, menghasilkan baja yang sangat lunak. Lembaran menunjukkan ketahanan yang tinggi terhadap penipisan selama drawing (US Steel, 2016). Pada saat ini proses pembuatan IF Steel lebih sulit untuk diproduksi karena pembuatan baja bebas interstisi harus melewati proses secondary steel making dengan menggunakan teknologi vacuum degassing yang berguna untuk menurunkan kadar karbon dalam baja hingga mencapai kriteria baja bebas interstisi, hal ini juga turut berdampak pada meningkatnya biaya produksi industri hulu baja untuk memproduksi jenis baja ini. Untuk memberikan ide pengembangan terhadap salah satu sektor vital nasional yaitu industri baja dan diiringi dengan permintaan baja dalam negeri yang kian meningkat, maka pemenuhan kebutuhan baja terutama pada bidang manufaktur sangat perlu untuk diperhatikan. Pertimbangan dari kesulitan yang berdampak pada meningkatnya biaya produksi dalam pembuatan baja bebas interstisi, untuk memenuhi kebutuhan bahan baku dalam industri manufaktur material seperti pabrik otomotif maupun pembuatan peralatan rumah tangga yang memerlukan kriteria bahan baku dengan sifat mampu bentuk yang sangat baik maka dapat diatasi dengan solusi dari penulis yaitu dengan mengganti material dengan menggunakan material baja karbon rendah. Baja karbon rendah diproduksi tanpa melewati proses secondary steel making sehingga kadar karbon yang terkandung masih diatas daripada material baja bebas interstisi yang berpengaruh pada sifat mampu bentuk yang tidak lebih baik. Inovasi ini akan diawali dengan melakukan pemilihan material yang sesuai dengan permasalahan diatas, pemilihan material juga dengan mempertimbangkan produk yang dihasilkan oleh produsen baja dalam negeri yang ada di kawasan industri Kota Cilegon yaitu PT. Krakatau Steel. Material baja yang digunakan menggunakan baja dengan standar JIS G3141, dalam standar JIS G3141 baja karbon rendah ada dalam jenis grade SPCE, material yang digunakan adalah baja JIS G3141 SPCE Full Hard dimana material ini hasil proses canai dingin yang belum di lakukan perlakuan apapun sehingga material tersebut memiliki sifat mekanik yang masih sangat tinggi dengan nilai kuat luluh dan kuat tarik sebesar lebih dari 700 Mpa , sedangkan untuk memenuhi kriteria baja Extra-Deep Drawing Quality (E-DDQ) yang mempunyai sifat mekanik material dengan nilai kuat luluh maksimal 190 MPa (Japan Industrial Standard, 2009). Pada Riset ini dilakukan proses continuous annealing dengan variasi temperatur dan waktu annealing untuk menurunkan nilai yield strength baja SPCE Full Hard, hal ini juga diperkuat menurut Obara, dkk. (1985) saat temperatur anil semakin tinggi maka nilai kuat tarik (tensile) dan kuat luluh (yield) baja akan turun serta elongasi akan meningkat. Dengan melewati proses di atas diharapkan bahan baku dari riset ini bisa menggantikan bahan baku material baja SPCG, hal ini akan dapat meningkatkan kemampuan dan daya jual baja lembaran sehingga mengurangi impor baja untuk kebutuhan dalam negeri.

2. Metode Penelitian

Secara skematik, penelitian ini digambarkan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut disajikan data hasil karakterisasi dan pengujian yang telah dilakukan berikut pembahasan mengenai sampel baja JIS G3141 SPCE *Full Hard* yang telah melalui tahapan riset dengan variabel yang berbeda.

3.1 Data Karakterisasi

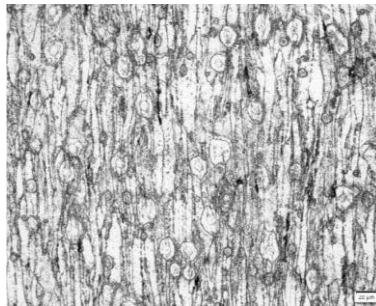
3.1.1. Data Karakterisasi Awal

Data hasil uji komposisi menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES) yang telah dilakukan terhadap sampel diperoleh data hasil uji komposisi yang menunjukkan kalau sampel termasuk dalam kategori baja karbon rendah, data lengkapnya dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi.

C	Si	Mn	P	Unsur (% Berat)					
				S	Al	Cu	Ni	Cr	N
0,0346	0,002	0,193	0,0117	0,095	0,041	0,017	0,01	0,021	0,003

Struktur mikro material JIS G3141 sebelum dilakukan proses *Continuous Annealing* ditunjukkan pada Gambar 1, pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x dan 500x. Pada gambar tersebut tampak jelas bahwa struktur baja yang terbentuk setelah proses canai dingin yaitu memanjang atau pipih (*elongated grain*).



Gambar 2. – Struktur Mikro *Non-Heat Treatment* 500 \times

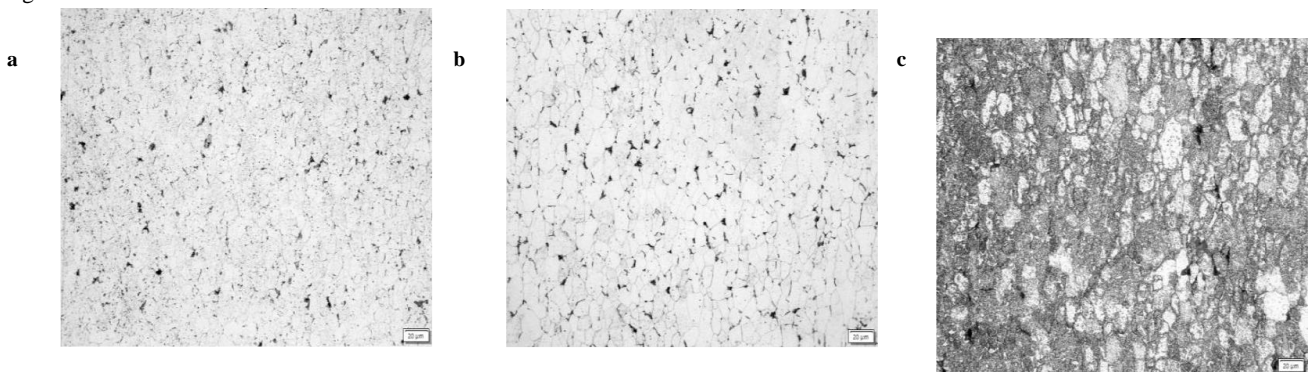
3.1.2. Data Hasil Struktur Mikro

Gambar 2 merupakan struktur mikro sampel dengan variasi temperatur 800°C dan waktu tahan 74,5 detik untuk (a); (b), 96,5 detik untuk (c); (d), dan 136,5 detik untuk gambar (e); (f). Gambar 3 merupakan struktur mikro sampel dengan variasi temperatur 850°C dan waktu tahan 74,5 detik untuk (a); (b), 96,5 detik untuk (c); (d), dan 136,5 detik untuk gambar (e); (f). Gambar 4 merupakan struktur mikro sampel dengan variasi temperatur 900°C dan waktu tahan 74,5 detik untuk (a); (b), 96,5 detik untuk (c); (d), dan 136,5 detik untuk gambar (e); (f). Struktur mikro yang terlihat dari hasil pengamatan metalografi pada sampel menunjukkan adanya fasa ferit dan perlit, fasa ferit lebih mendominasi daripada fasa perlit yang terbentuk.

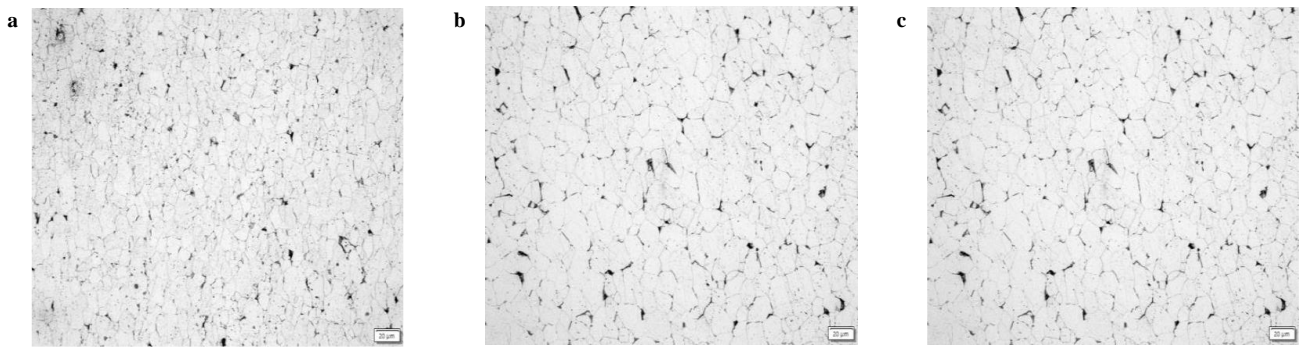
Tabel 2. Hasil Pengukuran Butir Setelah *Continuous Annealing*.

Sampel	Besar Ukuran Butir (G)	Diameter rata-rata (μm)
NHT	14,002	2,8
801	11,46	6,7
802	10,98	7,9
803	10,5	9,4
851	9,46	13,3
852	9,23	15,9
853	9,02	15,9
901	9,02	15,9
902	8,63	18,9
903	8,29	18,9

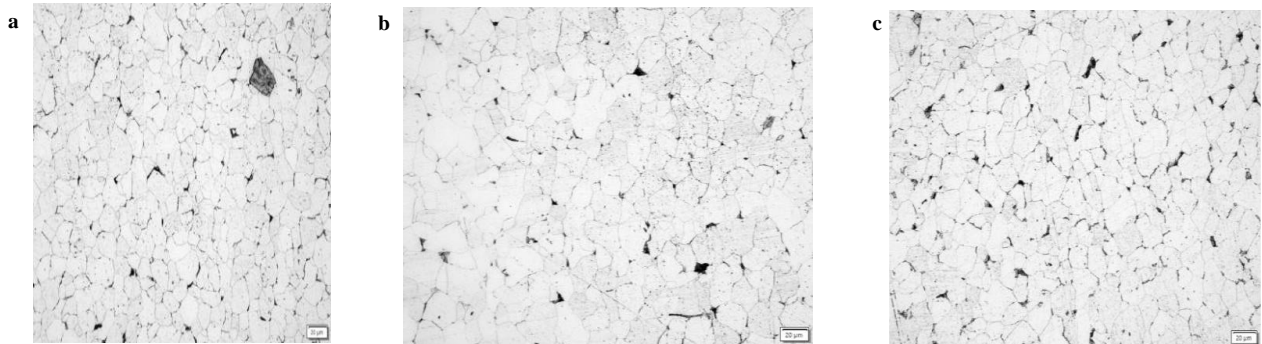
Tabel 2 diatas menunjukkan hasil perhitungan ukuran butir pada sampel yang telah melewati proses *continuous annealing*, hasil dari pengamatan struktur mikro yang diolah dengan menggunakan metode Heyn Intercept dan hasil dari perhitungan tersebut di konversikan dengan tabel ukuran butir ASTM E 112.



Gambar 3. – Struktur Mikro *Continuous Annealing* (a) Sampel 801 500 \times ; (b) Sampel 802 500 \times ; (c) Sampel 803 500 \times .



Gambar 4. – Struktur Mikro *Continuous Annealing* (a) Sampel 851 500°; (b) Sampel 852 500°; (c) Sampel 853 500°.



Gambar 5. – Struktur Mikro *Continuous Annealing* (a) Sampel 901 500°; (b) Sampel 903 500°; (c) Sampel 903 500°.

3.1.3. Data Hasil Pengujian Tarik

Data yang didapat meliputi kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan elongasi. Data pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 3.

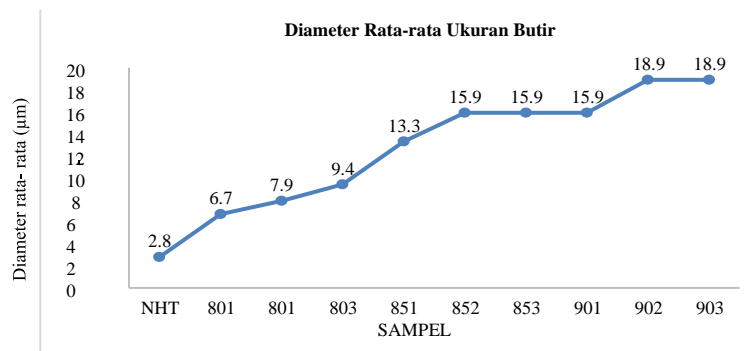
Tabel 3. Data Hasil Pengujian Kekuatan Sampel Setelah Proses Perlakuan Panas.

Sampel Kode	Kekuatan		
	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
801	253	308	43
802	265	329	39
803	256	332	44
851	235	316	44
852	201	274	47
853	229	308	43
901	228	319	41
902	216	314	41
903	194	270	49

3.2 Pembahasan

3.2.1. Data Hasil Pengujian Tarik

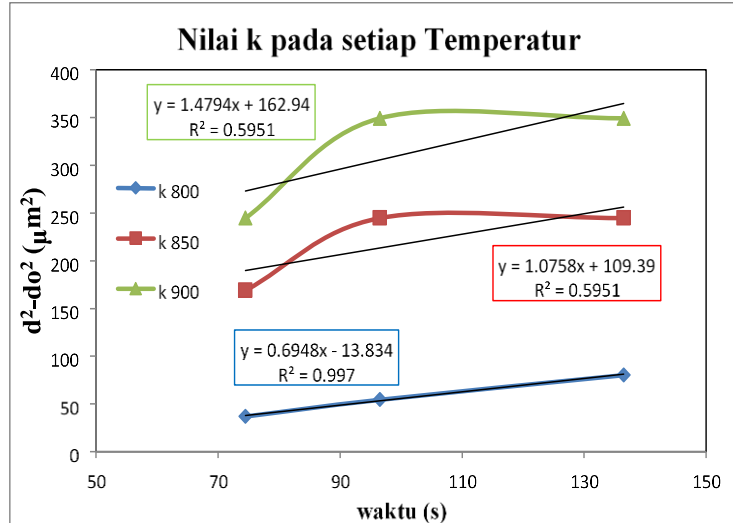
Dari gambar hasil struktur mikro menunjukkan adanya peningkatan ukuran butir ferit, hal ini disebabkan seiring dengan meningkatnya temperatur maka proses rekristalisasi butir akan lebih banyak karena didorong oleh proses nukleasi. (Kuang, dkk. 2015).



Gambar 6. – Diagram Perolehan Ukuran Besar Butir Sampel.

Dari diagram pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa adanya peningkatan ukuran butir rata-rata seiring dengan meningkatnya temperatur anil dan waktu tahan, pada sampel temperatur 800°C rata-rata ukuran butir berada di bawah 10 µm, sedangkan pada sampel temperatur 850°C ukuran butir mengalami peningkatan yang cukup signifikan, dan pada temperatur 900°C peningkatan ukuran butir mencapai dua kali lipat dari sampel temperatur 800°C dengan waktu tahannya masing-masing.

Fenomena di atas juga diperkuat oleh riset sebelumnya bahwa meningkatnya temperatur anil berdampak pada pertumbuhan butir, meskipun pertumbuhan butir atau proses rekristalisasi terjadi di semua temperatur anil yang dilakukan. Dengan adanya peningkatan temperatur anil maka proses rekristalisasi berjalan dengan maksimal dan terbentuknya fasa ferit *equiaxial* juga meningkat.



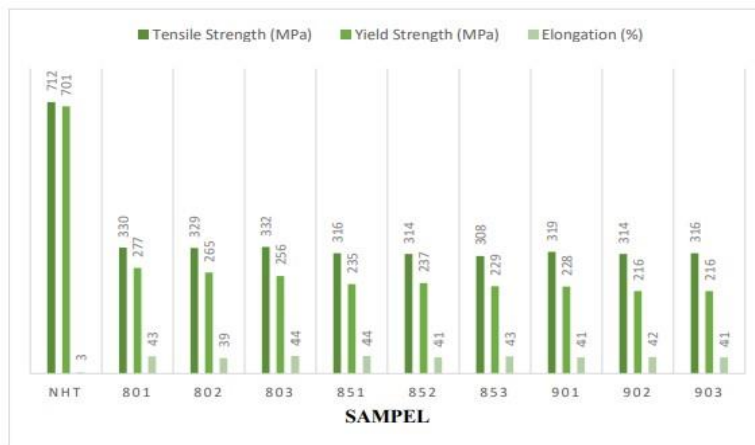
Gambar 7. – Diagram Regresi Nilai (k) Laju Grain Growth pada tiap Temperatur.

Pada Gambar 6 dapat dilihat grafik yang menunjukkan laju rata-rata konstanta (k) pertumbuhan butir pada setiap temperatur yang telah dilakukan, perhitungan laju pertumbuhan butir menggunakan metode pendekatan regresi.

$$k = A.exp(Q/(RT)) \tag{1}$$

Berdasarkan persamaan 1 bahwa nilai empiris laju pertumbuhan butir (k) yang telah dilakukan pada 800°C sebesar 1,714 µm²/s, kemudian nilai empiris laju pertumbuhan (k) pada 850°C sebesar 1.855 µm²/s dan nilai empiris laju pertumbuhan (k) pada 900°C sebesar 1.995 µm²/s. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui laju pertumbuhan butir (k) secara teoritis, dilihat dari nilai k pada pendekatan regresi dan teoritis dapat disimpulkan bahwa nilai k dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur maka semakin besar juga laju pertumbuhan butir.

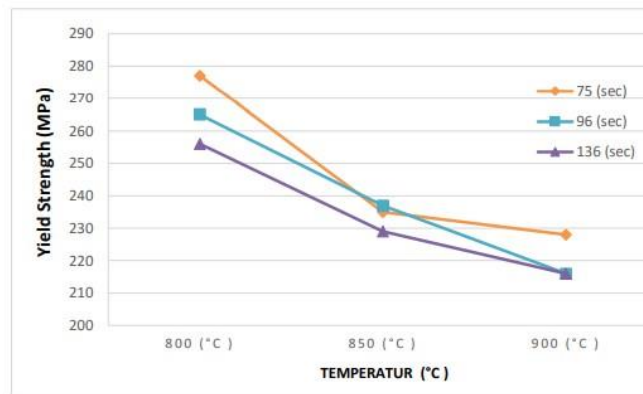
3.2.2. Data Hasil Pengujian Tarik



Gambar 8. – Sifat Mekanik Sesudah Continuous Annealing.

Dari hasil data pengujian tarik yang diperoleh pada Gambar 7, kuat luluh pada baja menurun dengan sangat drastis. Nilai rata-rata kuat luluh yang diperoleh sebesar 239 MPa dengan persentase rata-rata penurunan nilai kuat luluh pada baja sampai dengan 66% dari kekuatan baja sebelum dilakukan proses continuous annealing. Dengan turunnya nilai kuat luluh membuat material ini lebih mudah untuk dilakukan proses deep drawing karena material ini akan membutuhkan energi yang lebih sedikit. Setelah dilakukan proses perlakuan panas yang telah ditentukan metodenya, material ini belum bisa memenuhi standar SPCG karena nilai kuat luluh material belum mencapai kurang dari 190 MPa. Sifat mekanik kuat tarik pada baja ini juga mengalami penurunan yang cukup besar. Nilai rata-rata yang diperoleh yaitu 319 MPa dengan persentase penurunan rata-rata mencapai 55% dari kekuatan baja sebelum dilakukan proses perlakuan panas. Meskipun mengalami penurunan sifat mekanik kuat tarik yang cukup besar, akan tetapi material ini masih mampu menahan beban yang cukup tinggi, dan nilai kuat tarik tersebut masih memenuhi standar SPCE maupun SPCG yaitu minimal 270 MPa. Dari data di atas juga menunjukkan bahwa % elongasi pada baja berhasil mengalami peningkatan yang cukup besar setelah melalui proses continuous annealing. Peningkatan yang terjadi rata-rata dapat mencapai 42% elongasinya. Standar minimum % elongasi SPCG sebesar 42%, maka 5 dari sampel yang telah dilakukan percobaan dapat memenuhi syarat standar SPCG.

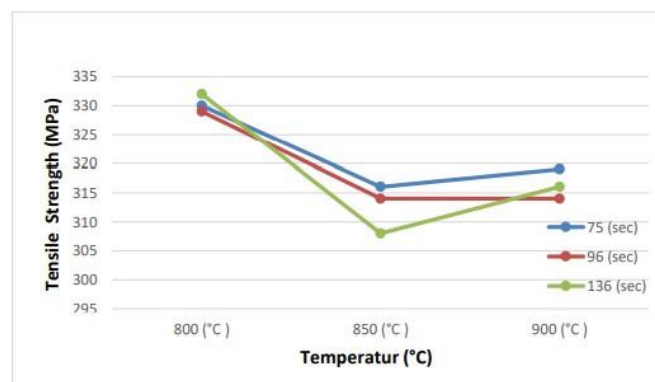
3.2.2.1. Data Hasil Pengujian Tarik



Gambar 9. – Grafik Pengaruh Temperatur *Annealing* Terhadap Kuat Luluh.

Jika dilihat pada grafik, sampel yang memiliki nilai kuat luluh paling tinggi yaitu sampel temperatur *anil* 800°C dengan waktu tahan selama 75 detik. Sampel yang memiliki nilai kuat luluh paling rendah didapatkan oleh sampel temperatur *anil* 900°C dengan waktu tahan 136 detik. Pada kondisi ini dapat dijelaskan bahwa jika temperatur *anil* semakin ditingkatkan maka nilai kuat luluh akan semakin turun, hal ini sesuai dengan literatur bahwa saat sampel dipanaskan diatas temperatur rekristalisasi maka akan membentuk fasa ferit serta memperbesar ukuran butir tersebut, peningkatan butir terjadi lebih signifikan pada temperatur yang lebih tinggi dan berdampak pada sifat mekanik dari sampel, dampaknya yaitu penurunan sifat mekanik dari sampel salah satunya nilai kuat luluh (Obara, dkk. 1985).

Nilai kuat luluh merupakan titik awal terjadinya deformasi plastis, nilai kuat luluh sangat penting didapatkan untuk aplikasi baja deep drawing sebagai indikator pemberian gaya pada proses ekstruksi yang akan dilakukan.

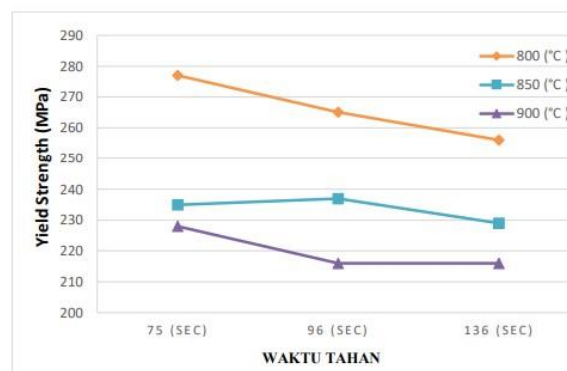


Gambar 10. – Grafik Pengaruh Temperatur *Annealing* Terhadap Kuat Tarik.

Pada Gambar 9 menjelaskan pengaruh temperatur *anil* terhadap salah satu sifat mekanik sampel yaitu kuat tarik, terlihat bahwa secara umum terjadi penurunan nilai kuat tarik pada sampel dengan temperatur *anil* 850°C, namun pada sampel dengan temperatur *anil* 900°C mengalami peningkatan nilai kuat tarik. Nilai kuat tarik harus tetap dijaga untuk tidak turun kurang dari 270 MPa (standar JIS), hal ini bertujuan menjaga kekuatan sampel untuk menahan beban maksimal pada saat proses ekstruksi. Kalau dilihat secara keseluruhan hasil perlakuan panas nilai kuat tarik rata-rata diatas 300 MPa dan hal ini menunjukkan bahwa sudah sesuai dengan kriteria JIS (Japan Industrial Standard, 2009).

3.2.2.2. Data Hasil Pengujian Tarik

Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu tahan pada temperatur *annealing* maka nilai kuat luluh akan semakin menurun.



Gambar 11. – Grafik Pengaruh Waktu *Annealing* Terhadap Kuat Luluh.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa variabel waktu tahan ikut serta dalam mempengaruhi nilai sifat mekanik pada sampel terutama nilai kuat luluh pada sampel. Semakin lama waktu tahan maka semakin turun nilai kuat luluh pada sampel. Waktu tahan yang lebih lama memberikan kesempatan butir ferit untuk memperbesar ukuran setelah proses rekristalisasi terjadi. Ukuran butir yang besar mempengaruhi sifat mekanik dari sampel terutama nilai kuat luluhnya. (Raji N A dan Oluwole O O, 2012).

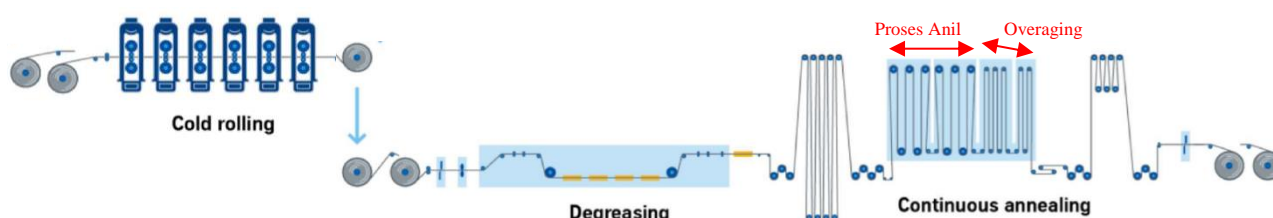
4. Kesimpulan

Berdasarkan riset yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Temperatur anil pada proses continuous annealing mempengaruhi sifat mekanik yang diperoleh, peningkatan temperatur menurunkan nilai kuat luluh, kuat tarik, dan meningkatkan nilai keuletan sampel JIS G3141 SPCE. Penurunan sifat mekanik seiring dengan meningkatnya temperatur anil dan waktu tahannya disebabkan oleh fenomena peningkatan ukuran butir. Temperatur anil dengan sifat mampu bentuk yang paling optimal yaitu pada temperatur 900°C dengan waktu tahan selama 136,5 detik yang menghasilkan nilai kuat luluh 216 MPa.
2. Proses continuous annealing yang telah dilakukan merubah bentuk butir sampel yang mulanya berbentuk pipih dan memanjang (elongated grain) menjadi equiaxial grain. Fasa yang terbentuk pada sampel yaitu ferit dan perlit, kadar karbon yang melebihi persen kelarutan ferit dan proses pendinginan menyebabkan terbentuknya fasa perlit. Ukuran butir ferit yang diperoleh meningkat seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu tahan anil, temperatur yang tinggi dan waktu tahan yang lama memberikan kesempatan butir untuk terus tumbuh. Rata-rata ukuran butir yang paling besar diperoleh pada sampel 902 dan 903 yaitu dengan nilai diameter rata-rata 18,9 μm , butir dengan rata-rata ukuran yang besar mempengaruhi sifat mekanik, terutama dalam penurunan kuat luluh dan keuletan material.

Lampiran A.

A.1. Simulasi Proses Continuous Annealing Line



Gambar A.1. – Skema Skala Pabrik.

A.2. Penentuan Skala Laboratorium

- Penentuan waktu tahan anil:
- Panjang Lintasan Strip (L) : 136,5 m.
 - Kecepatan Strip (V) : 1 - 1,84 m/detik.
 - Waktu Anil (t) : $L/V = 74,5 - 136,5$ detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2014. Jakarta.
- [2] Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. 2015. bkti-pii.or.id/presentation-roadmap-dan-pasar-baja/.
- [3] Data Sumber Daya dan Cadangan Berdasarkan data Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG), 2013.
- [4] Statistik direktori geologi dan sumber daya mineral. 2013. <http://www.dim.esdm.go.id>.
- [5] Yayat, Iman. 2012. Studi Penggunaan reduktor Pada Proses Reduksi Pelet Bijih Besi Lampung Menggunakan *Rotary Kiln* UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung.
- [6] Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Riau. 2013. riau.litbang.pertanian.go.id.
- [7] Willyandhika, Kustiarana. 2013. "Pengaruh Waktu Reduksi dan Ukuran Pelet Campuran Bijih Besi Lampung-Arang Tempurung Kelapa terhadap Persen Metalisasi Besi Spons Menggunakan *Rotary Kiln* UPT. BPML LIPI". Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [8] Ermawati, Rahyani. 2011. "Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif". Balai Besar Kimia dan Kemasan – Kementerian Perindustrian.
- [9] Billmeyer, W. F. 1994. "Textbook of Polymer Science, 3rd Edition". New York: Jhon Wiley & Son.
- [10] Rosenqvist, Terkel. 1983. "Principles of Extractive Metallurgy". New York: McGraw-Hill.
- [11] Jamali, A, dkk. "Pengolahan Bijih Besi Halus menjadi *Hot Metal*". UPT. Balai Pengolahan Mineral. Lampung: Pusat Penelitian Informatika LIPI.
- [12] Bafeman, A.M, dan Jensen. 1981. "Iron & Ferroalloy Metals in (ed) M.L.,". Economic Minerals Deposits, P. 392.
- [13] Utomo, Wahyudi. 2006. "Diktat Dapur dan Bahan Bakar". Cilegon: Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [14] Hidayat, Dadang. 2009. "Reduksi Bijih Besi Laterit dari Bayah Provinsi Banten dengan Reduktor Batubara". Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [15] Anonim. 2015. "Manfaat Arang Kayu". www.selingkaran.com.
- [16] Kurniawan, A. 2012. "Mengenal Kode Kemasan Plastik yang Aman dan Tidak". Artikel. www.selingkaran.com.
- [17] El-Geassy AHA et al. 2007. "Reduction Kinetics and Catastrophic Swelling of MnO₂-doped Fe₂O₃ Compacts with CO at 1073–1373 K". ISIJ International 47(3):377–385.
- [18] Ross, H. U. 1980. *Physical Chemistry*, Chapter 3. "Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use" The Iron and Steel Society of AIME, Warrendale, Hal 19-25 dan 26-34.