



Buletin Utama Teknik

Terakreditasi No. 52/DIKTI/KEP/2002

VOLUME 9No. 3

SEPTEMBER 2005

DAFTAR ISI

	Halaman
Kata Pengantar	i
01. Studi Tentang Prilaku Retak Aluminium A 6061-T6 Pada Pembebanan Mode Campuran <i>Husaini, Zuhaimi, Samsul Rizal dan Bustami Syam</i>	133 - 142
02. Analisis Algoritma Gerakan Berdimensi : Suatu Tinjauan Metode Komputasi Dalam Fisika <i>Muhammad Zarlis</i>	143 - 148
03. Dampak Lampu Penerangan Jalan Terhadap Kejahatan <i>Usman Baafai</i>	149 - 155
04. Penggunaan Public Domain Software Untuk Melakukan Pemantauan Jaringan Dan Pengembangannya <i>Supriyanto</i>	156 - 159
05. Penerapan Mikroprosesor 80C51 Guna Memperbaiki Faktor Daya Beban Induktif Secara Otomatis <i>Nelson Sinaga</i>	160 - 164
06. The Effect Of Varying Curing Regime On The Strengths Of Polymer Modified Mortar <i>Bachrian Lubis</i>	165 - 173
07. Value Stream Management Dalam Memperbaiki Kinerja Perusahaan <i>Mahrani Arfah</i>	174 - 178
08. Analisa Parameter Pemotongan Terhadap Peningkatan Produktivitas Industri Logam Kecil Menengah <i>Abdul Haris Nasution, Armansyah Ginting, Tugiman, Alfian Hamsi, Bonar Harahap</i>	179 - 185
09. Kinetika Transformasi Fasa Endapan Senyawa Krom Karbida Pada Kasus Penggetasan Temper Baja Nirkarat Zeron-25 (SAF-2507) <i>Riski Elpari Siregar Dan Reza Fadillah</i>	186 - 191

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SUMATERA UTARA**



Buletin Utama Teknik

Terakreditasi No. 52/DIKTI/KEP/2002

VOLUME 9 No. 3

SEPTEMBER 2005

- A. Pelindung : Rektor UISU
- A. Pimpinan / Penanggung Jawab : Dekan FT. UISU
- C. Koordinator Dewan Redaksi : Ir. M. Udin, MT
- D. Dewan Redaksi :
1. Prof. Dr. Ir. Bustami Syam, MSME
2. Dr. Ir. H. Bachrian Lubis, MSc
3. Prof. Dr. Ir. A. Rahim Matondang, MSIE
4. Dr. Ir. Pintor Tua Simatupang, MT
5. Ir. Raja Harahap, MT
6. Ir. Penerangan, MT
7. Ir. Anisah Lukman
8. Ir. H. A. Jabbar M. Rambe, M.Eng
9. Ir. Tri Hernawaty, MSI
10. Ir. Suliawaty, MT
11. Ir. Batu Mahadi Siregar
12. Ir. Muslih Nasution
13. Ir. Sorinaik Batubara, MT
14. Ir. Sudaryanto
- E. Sekretaris :
1. Ir. Suhaimi Batubara
2. Ir. Hj. Muthia Bintang
3. Ir. Marwan Lubis
4. Syamsuddin Asmad
5. Khairuddin Nasution
- F. Alamat Redaksi : Fakultas Teknik UISU
Jl. S.M. Raja Teladan Barat Medan
Telp. 7868049 Fax. 7868049
e-mail : buletinteknik@uisu.ac.id
- G. Penerbit : Fakultas Teknik UISU

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SUMATERA UTARA**

KINETIKA TRANSFORMASI FASA ENDAPAN SENYAWA KROM KARBIDA PADA KASUS PENGGETASAN TEMPER BAJA NIRKARAT ZERON-25 (SAF-2507)

Riski Elpari Siregar dan Reza Fadillah *)

Abstrak

SAF-2507 yang saat ini populer di gunakan di Indonesia sebagai material pada tangki, bejana tekan, pipa dan bahkan untuk jembatan diimpor dari AB Sandvik Steel, S-81181 Sandviken, Sweden. Baja stainless ini akan dapat lebih bertahan dalam mengalami penggetasan temper pada temperatur yang lebih tinggi dibandingkan baja stainless biasa. Penggetasan temper yang terjadi adalah akibat perlakuan isothermal pada selang temperatur tertentu, sehingga berdasarkan pengujian struktur-mikro dan difraksi sinar x maka kasus ini dapat ditinjau sebagai kinetika transformasi fraksi fasa pembentukan senyawa karbida di batas. Penelitian yang dilakukan dititikberatkan dalam membangun kurva isoembrittlement SAF-2507 teoritis dengan sudut tinjauan material science sebagai pembandingan bagi bidang teknik. Observasi yang dilakukan melalui XRF, XRD dan pengujian metalografi sebagai acuan dalam menganalisa kinetika transformasi fasa endapan senyawa krom karbida pada kasus temper embrittlement tersebut. Data XRF memperlihatkan SAF-2507 dikategorikan sebagai baja stainless dual phase Fe-Cr-Ni. Hasil analisa sinar-x yang diambil untuk sampel-sampel SAF 2507 yang telah mengalami penggetasan temper memberikan data prediksi nilai konstanta orde reaksi (n) rata-rata sama dengan satu (1), nilai energi aktivasi (Q^*) sekitar 307 kJ/mol pada temperatur di atas 850°C dan 304 kJ/mol untuk temperatur di bawah 850°C. Berdasarkan nilai konstanta-konstanta inilah dicoba untuk membangun kurva iso-embrittlement SAF 2507.

Kata Kunci: kinetika transformasi fasa, penggetasan temper, kurva isoembrittlement, kecepatan reaksi

Abstract

Temper Embrittlement Kinetics Phase Transformation for precipitated of chrome carbide on SAF 2507: Sandvik duplex stainless designated as SAF 2507 is widely used in Indonesia for tanks, pressure vessels, pipe or even for structural materials. For high temperature application, the resistance of temper embrittlement of SAF-2507 is superior to other common duplex stainless steels. The temper embrittlement is basically caused by isothermal treatment in a certain range temperatures, therefore based in the metallography tests and x-ray diffraction analysis the case could considered as kinetics of transformation of volume fraction formed for carbide compound phase. The research was conducted on kinetics of phase transformation with emphasized in building the isoembrittlement curves for SAF-2507, in view of materials science consideration to be compared with that of engineering. XRF data's shown that SAF-2507 is categorized as Fe-Cr-Ni dual phase stainless steels. The X-ray analysis for tempered embrittlement of SAF-2507 samples give prediction data for average constant rate reaction (n) equals to about one, the activation energy below 850°C is 304 and for 850°C above is 307 kJ/mol. With kinetics constants above, the I T diagram for iso-embrittlement was successfully built theoretically.

Keywords: kinetics phase transformation, temper embrittlement, iso-embrittlement curves, rate of reaction

1. PENDAHULUAN

Baja, dengan alamat di S-81181 Sandviken, Sweden) saat ini banyak digunakan di bidang industri di Indonesia untuk penggunaan material pada tangki, bejana tekan, pipa dan bahkan jembatan. Keunggulan dari SAF 2507 ini adalah baja ini akan lebih dapat bertahan terhadap embrittlement pada temperatur tinggi dibandingkan baja duplex lainnya. Fakta menunjukkan bahwa baja duplex mengalami proses desensitasi di batas butir sebagai salah satu penyebab penggetasan temper [ASTM, 1967; Dieter, 1986]. Penggetasan temper selalu

dikaitkan dengan penurunan sifat mekanik (mechanical-properties) yang sering terjadi pada baja paduan yang dipanaskan ataupun didinginkan secara perlahan-lahan di selang temperatur 400-600°C. Peristiwa ini tentunya akan menjadi penting pada komponen yang tidak dapat mengalami pendinginan cepat untuk mencegah terjadinya penggetasan pada selang temperatur tersebut terjadinya penggetasan temper dapat ditinjau dari pengukuran temperatur peralihan isothermalnya pada pengujian struktur-mikro dipandang dari kinetika transformasi fraksi fasa-fasa yang terjadi.

Perpatahan pada baja yang mengalami penggetasan temper adalah patah antar butir (intergranular) dan akan merambat (terpropagasi) di sepanjang batas butir austenitik yang sebelumnya telah ada. Perpatahan mulai terjadi di sepanjang permukaan ferite-sementit akan tetapi retak akan menjalar di sepanjang batas butir austenitnya disebabkan bagian itulah yang memiliki kandungan elemen penggetas yang tinggi dan mengandung karbida yang cukup banyak. Selama proses transformasi fasa, akan terjadi banyak proses pada skala atom, misalnya pada pembentukan embrio, nuclei, difusi dan migrasi atom dari kisi ke kisi lainnya [Robert, 1998]. Sehingga pada dasarnya, kinematika transformasi pada diambil sebagai acuan untuk mempelajari proses transformasi/ pembentukan fasa baru dari fasa yang ada sebagai suatu fungsi dari waktu, dimana dalam hal ini akan ditemukan bahwa reaksi yang terjadi akan mengikuti suatu kurva berbentuk S atau yang biasa dikenal sebagai kurva SIGMOIDAL. Kurva sigmoidal ini merupakan ciri khas proses nukleasi dan pertumbuhan yang menandakan bahwa transformasi mengalami masa inkubasi, tahap percepatan dan tahap perlambatan; dimana mengikuti suatu persamaan yaitu persamaan AVRAMI. Kemajuan baik itu merupakan reaksi rekristalisasi ataupun reaksi pengendapan akan mengikuti pola yang sama pada berbagai temperatur dengan skala waktu yang berbeda. Berdasarkan kurva sigmoidal ini, nantinya untuk berbagai temperatur dapat dibuat suatu kurva transformasi isothermal yaitu suatu kurva perilaku baik merupakan reaksi rekristalisasi ataupun pengendapan untuk suatu material (kurva hubungan antara waktu dan temperatur). Kurva S akan terbentuk mengikuti persamaan:

$$Y = 1 - \exp[-Kt^n] \quad (1)$$

Embrittlement yang terjadi pada temperatur tersebut selanjutnya akan divariasikan terhadap waktu terjadinya, sehingga diharapkan dari hasil penelitian ini akan didapatkan grafik embrittlement sebagai fungsi temperatur terhadap waktu.

2. PROSEDUR EKSPERIMEN

Sampel-sampel pengujian didapat dari memotong material SAF 2507 berbentuk round bar dengan mesin potong presisi untuk mendapatkan sampel uji dengan diameter 2,54 cm dan tebal 2 cm. Sampel tersebut selanjutnya dibagi atas 4 bagian.

Selanjutnya sampel-sampel ini ditreatment di temperatur 1100°C dan ditahan sampai waktu satu jam sebelum dicelupkan ke dalam air agar tersensitasi. Setelah proses sensitasi terjadi, barulah sampel-sampel

ditemper sesuai dengan waktu temper yang dibutuhkan untuk terjadinya penggetasan. Dapur yang digunakan untuk proses anil maupun temper di atas adalah dapur tipe thermolyne 6000. Untuk tujuan observasi struktur mikro, semua sampel yang akan diamati terlebih dahulu dibuat pegangan (mounting) dari campuran resin dan katalis yang menghasilkan sampel dalam pegangan padat dan keras. Semua sampel yang telah dimounting diampelas berurutan dengan ampelas grade 250, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000 mesh dengan arah tegak lurus pada setiap pergantian grade ampelas di atas. Untuk mendapatkan permukaan yang sangat halus maka sampel-sampel yang telah diampelas dipoles dengan diamond spray ukuran 1 mikron dan diakhiri dengan polesan pasta alumina yang dimulai dari ukuran 0,3 mikron, 0,1 dan 0,05 mikron. Untuk melihat batas butir, sampel dietsa dengan menggunakan etsa reagen vellela modifikasi yaitu campuran dari 20 cc HCl, 10 cc Asam nitrat, 1 gram asam picrat dan 50 ml air. Waktu etsa antara selang 10 sampai 15 detik. Pengambilan foto struktur-mikro sampel dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Zeiss dan perangkat lunak KS 300 ver 3.0. Untuk mendukung analisa terhadap struktur mikro, dilakukan analisa dengan menggunakan Scanning Electron Microscope, SEM JEOL JSM-5310 LV yang dilengkapi dengan penganalisa energi sinar x.

Disamping pengamatan struktur mikro seperti tersebut di atas, juga dilakukan observasi dengan X-ray Diffraction (XRD) yang memberikan keluaran hubungan peak-peak intensitas dan sudut difraksi 2 theta dari material yang telah mengalami penggetasan. Penentuan fraksi volume fasa yang ada dilakukan dengan program GSAS walaupun untuk jumlah fraksi fasa kurang dari 5 % tidak dapat ditemukan. Untuk penelitian lanjutan sebaiknya dianjurkan juga menggunakan perhitungan dengan intensitas peak relatif maupun menggunakan software pada mikroskop optik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengantar

Pembahasan hasil-hasil penelitian lebih diarahkan kepada aspek kinetika transformasi, yang dalam hal ini adanya pembentukan karbida dikarenakan proses perlakuan tempering dan proses pendinginan. Pertama akan ditinjau mikrostruktur sampel sebelum dan pasca perlakuan berdasarkan hasil observasi mikroskop dan pola difraksi sinar-x. Informasi tentang mikrostruktur sampel seperti jenis fasa dan eksistensinya serta fraksi volume fasa-fasa penyusun sampel merupakan data penting untuk evaluasi kinetik transformasi. Pada bagian kinetika transformasi akan dibahas penentuan parameter-parameter kinetik transformasi berdasarkan persamaan

Avrami.

3.2 Mikrostruktur

Interpretasi terhadap hasil pengukuran komposisi kimia dari SAF 2507 dengan X-Ray Fluorescence, ditunjukkan Tabel 1.

Terlihat bahwa hampir seluruh logam penyusun dominan pada baja berhasil dideteksi, kecuali untuk logam-logam ringan seperti C, N dan Mo. Nilai fraksi kandungan masing-masing elemen tersebut pun hampir sangat bersesuaian dengan komposisi baja SAF 2507 yang diberikan oleh data sheet material yang diberikan yaitu: 62,5% Fe, 25% Cr, 1% Mn, 3,8% Mo, 7% Ni serta C 0,01%. Bila dilihat komposisi yang hampir bersesuaian dengan Tabel 2 di atas, jelaslah bahwa prediksi awal terhadap baja SAF 2507 adalah baja stainless dengan unsur penyusun dominannya adalah Fe, Cr dan Ni. Berdasarkan fakta ini dapatlah dikatakan bahwa analisa X-Ray Fluorescence untuk penentuan komposisi baja SAF 2507 dapat diandalkan sebagai salah satu metode penentuan awal komposisi kimia material. Dengan komposisi terukur tersebut, bilamana mengacu kepada diagram fasa sistem Fe-Cr-Ni. Baja SAF 2507 ini benar termasuk baja anti karat dua fasa (baja duplex) dengan fasa-fasa stabil fasa ferrit (α) dan fasa austenit (γ). Kedua fasa tersebut dapatlah terlihat jelas di hasil-hasil pengujian mikroskop optik. Pada pengujian mikroskop optik terlihat bahwa kedua fasa tersebut terdistribusi merata di dalam material dengan orientasi cukup acak. Jumlah ferrite dan austenite yang hadir dalam konstituen terlihat pula hampir sebanding. Jadi dapat dikatakan bahwa material pada kondisi ini belum mengalami penggetasan (embrittlement), karena tidak terdapatnya bukti adanya fasa lain selain fasa ferrit (α) dan fasa austenit (γ). Tidak demikian halnya pada sampel setelah mengalami perlakuan panas di temperatur 1100°C selama selang waktu 60 menit yang diikuti dengan proses pendinginan cepat. Berdasarkan hasil pengamatan akan terlihat seperti adanya pemicuan sejumlah unsur pemadu ke dalam salah satu fasa secara merata yang diduga adalah fasa austenite. Pada kondisi ini jumlah fasa ferrit (α) dan fasa austenit (γ) terlihat masih sebanding Akan tetapi

Tabel 1 Komposisi SAF 2507 Berdasarkan XRF

Elemen	Persentase Berat %
Fe	63-95
Cr	25-26
Mn	0.7-0.8
Mo	-
Ni	0.6-0.7
Si	0.5-1.7
C	-
N	-

Tabel 2: Fraksi volume fasa hasil analisa GSAS

Proses Tempering		% Fasa-fasa		
Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Ferrite	Austenite	Karbida
900	15	71,65%	22,04%	0,06%
900	30	70,89%	18,35%	0,11%
900	45	70,21%	15,51%	0,14%
900	60	69,58%	15,26%	0,15%

Proses Tempering		% Fasa-fasa		
Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Ferrite	Austenite	Karbida
850	2	74,52%	25,48%	0,00%
850	5	74,29%	16,67%	0,09%
850	15	74,01%	13,61%	0,12%
850	20	72,40%	11,38%	0,16%

Proses Tempering		% Fasa-fasa		
Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Ferrite	Austenite	Karbida
800	15	72,63%	27,37%	0,00%
800	30	70,63%	22,72%	0,07%
800	45	69,43%	20,29%	0,10%
800	60	69,17%	16,02%	0,15%

dalam fasa austenit (γ) terlihat lebih diperkaya dengan elemen pemadu. Bila dilihat lebih lanjut pada perbesaran 1000X akan terlihat seperti masih ada sebagian kecil sekali elemen yang belum tersegregasi pada butir austenite material SAF 2507 tersebut. Hal ini masih relevan dengan teori temper embrittlement dimana sebelum material mengalami pengendapan karbida di batas butir maka terlebih dahulu Akan mengalami kasus segregasi di salah satu fasa yang ada. [Courtney, 1990;

**Kinetika Transformasi Fasa Endapan Senyawa Krom Karbida Pada Kasus
Penggetasan Temper Baja Nirkarat Zeron-25 (Saf-2507)**

Djaprie, 1986; Christian, 1990]. Hasil observasi mikroskop optik dan elektron terhadap sederetan sampel yang mengalami perlakuan panas di temperatur 1100 °C selama selang waktu 60 menit diikuti pendinginan cepat serta proses temper dengan waktu yang bervariasi ditunjukkan pada gambar sampel yang mengalami tempering. Berbeda dengan dua kasus sebelumnya, maka dalam kasus ini, fasa ke tiga hadir pada batas butir antara fasa ferrit dan fasa austenitnya. Terlihat pula fraksi endapan berubah terhadap waktu dan temperatur tempernya. Akan menarik pula untuk diperhatikan di sini bahwa fasa endapan di dalam sampel memiliki tempat yang disenangi (preferential sites) dimana endapan tersebut terjadi. Dari hasil observasi, jelas terlihat bahwa fasa endapan cenderung lahir pada batas butir antara fasa ferrit (α) dan fasa austenit (γ). Tempat yang disenangi oleh fasa endapan tersebut tentu berkaitan erat dengan energi pada batas butir. Menurut Ryan and H.J. McQueen dalam jurnalnya tentang "Dynamic Softening Mechanism in 304 austenitic Stainless steel" di Concordia University, Montreal, Canada, 1994, [p.08], besarnya energi aktivasi antara austenite-austenite adalah 64-184 kJ/mol dan ferrite-ferrite 204-254 kJ/mol.

3.3 Kinetika Transformasi

Analisa GSAS telah digunakan terutama untuk penentuan fraksi volum fasa yang terdapat di dalam material. Untuk sampel-sampel hasil penemperan yang bervariasi didapat fraksi volum fasa-fasa yang dirangkai pada Tabel 2.

Bila diperhatikan seksama hasil analisa fraksi volume fasa-fasa yang terdapat dalam sampel pada Tabel 2, terlihat meskipun secara tidak tegas bahwa fraksi volume ferrit hampir tidak berubah pada nilai sekitar $\approx 70\%$. Akan tetapi tidak demikian halnya dengan fraksi fasa austenit dan karbida, dimana akan terlihat bahwa fraksi fasa austenit di dalam sampel secara sistematis berkurang jumlahnya disertai peningkatan jumlah fraksi pembentukan senyawa karbida dengan meningkatnya selang waktu temper untuk setiap temperatur tempernya. Jadi hasil ini menegaskan kembali bahwa pembentukan fasa karbida berasal dari fasa austenite dimana proses temper akan menyebabkan transformasi fasa austenite menjadi karbida yang letaknya dimulai dari batas butir.

Bila kedua fraksi fasa ini di dalam material tiga fasa tersebut dinormalisir maka akan diperoleh fraksi volume relatif austenite dan karbida seperti tercantum pada Tabel 3 selanjutnya.

Konstanta -konstanta kinetika transformasi K dan n dengan mudah dapat ditentukan dari data yang tersedia dalam Tabel 3. Hasil evaluasi kedua konstanta tersebut diberikan pada Tabel 4

Nilai n rata-rata yang mendekati nilai 1 akan menandakan bahwa proses transformasi fasa terjadi

Tabel 3: Persentase fasa antar batas butir

Proses Tempering		% Fasa-fasa	
Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Austenit e	Karbida
900	15	77,74%	22,26%
900	30	63,04%	36,96%
900	45	52,06%	47,94%
900	60	50,16%	49,84%

Proses Tempering		% Fasa-fasa	
Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Austenit e	Karbida
850	2	100,00%	0,00%
850	5	64,84%	35,16%
850	15	52,37%	47,63%
850	20	41,23%	58,77%

Proses Tempering		% Fasa-fasa	
Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Austenit e	Karbida
850	15	100,00%	0,00%
850	30	77,36%	22,64%
850	45	66,37%	33,63%
850	60	51,96%	48,04%

Tabel 4: Nilai rata-rata k dan n untuk

Temperatur dan waktu Untuk nilai n konstan	Nilai K	Nilai n
900°C [1173 K]	$6 \cdot 10^{-9}$	1,39
800°C [1073 K]	$3 \cdot 10^{-5}$	1,04
850°C [1123 K]	$4 \cdot 10^{-9}$	0,87

di daerah batas butir (grain-boundary) [Jena, 1992]. Nilai K bergantung pada waktu dan temperatur proses transformasi. Berdasarkan nilai K rata-rata pada tiap temperatur maka diketahui bahwa pada temperatur 850°C tersebut merupakan temperatur transisi kritis karena nilainya terbesar dibandingkan pada temperatur lainnya. Jika pada temperatur 850°C ini akan dicari nilai k_0 sebagai nilai dari konstanta laju reaksi untuk menghitung energi aktivasi dari persamaan

$$k = k_0 \exp\{-Q/RT\} \quad (2)$$

Dimana k adalah $K^{1/n}$ agar dapat disesuaikan dengan

pendekatan empirisnya, maka pada kasus temper embrittlement SAF 2507, nilai konstanta laju transformasi dan energi aktivasi yang terjadi Diantaranya membentuk persamaan:

$$\ln k_a + \{-Q/(8,314 \times 1123)\} \cong \ln 0,00073 \quad (3)$$

Untuk temperatur 850°C dan di temperatur 900°C membentuk persamaan:

$$\ln k_a + \{-q/(8,314 \times 1173)\} \cong \ln 0,00024 \quad (4)$$

Sedangkan pada temperatur 800°C

$$\ln k_a + \{-q/(8,314 \times 1073)\} \cong \ln 0,00016 \quad (5)$$

Pengeliminasian persamaan 3 dan 4 Akan menghasilkan persamaan

$$4,567 \cdot 10^{-6} Q \cong 1,387421339 \quad (6)$$

Sehingga dengan kata lain nilai atau besaran energi aktivasi (Q) di atas temperatur kerja 850°C adalah sekitar 303.792,717 J/mol, yang bila dibulatkan akan menjadi $\cong 304$ kJ/mol. Dengan memasukkan nilai Q tersebut ke dalam persamaan 4 untuk temperatur kerja di atas 850°C akan memberikan nilai k_0 konstanta laju transformasi sehingga nantinya didapat nilai k_0 sebagai konstanta laju transformasi adalah sekitar 8,28109. Pengeliminasian dari persamaan 4 dan persamaan 5 akan menghasilkan persamaan

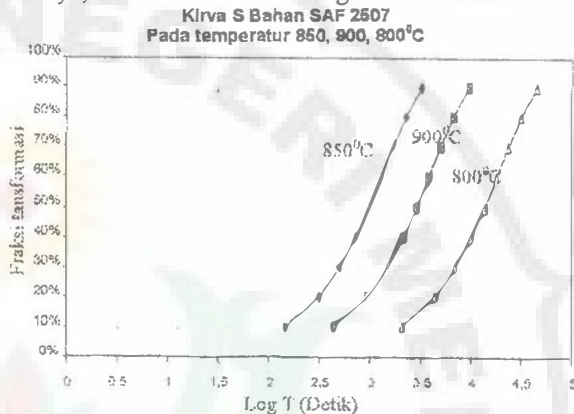
$$4,567 \cdot 10^{-6} Q \cong 1,401212001 \quad (7)$$

Sehingga dengan kata lain nilai atau besaran energi aktivasi (Q) di bawah temperatur kerja 850 °C adalah sekitar 306.812,393 J/moi yang bila dibulatkan akan menjadi $\cong 307$ kJ/mol. Dan bilamana dimasukkan nilai Q tersebut ke dalam persamaan 5 untuk temperatur kerja di bawah 850 °C akan memberikan nilai konstanta laju transformasi sebesar $\cong 8,34109$. Terlihat bahwa nilai k_0 sebagai konstanta laju transformasi dan energi aktivasi yang terjadi saat terjadinya transformasi fasa endapan senyawa krom karbida pada kasus temper embrittlement SAF 2507 baik di bawah maupun di atas temperatur kerja kritisnya yaitu 850 °C akan memberikan hasil yang mendekati satu sama lainnya, dengan kata lain energi aktivasi yang terjadi hampir boleh dikatakan konstan [Jena,1992]. Nilai-nilai pendekatan empiris akhir ini membentuk kurva S Gambar 1, dan Gambar 2 diagram iso-embrittlement SS SAF 2507.

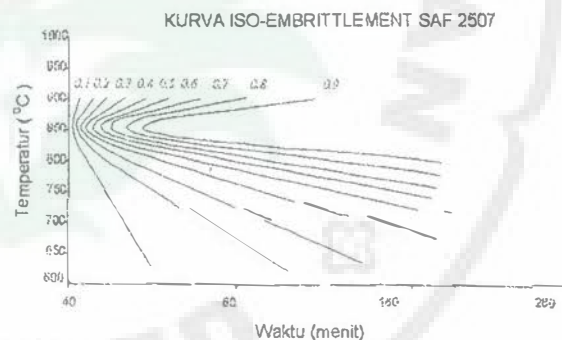
Berdasarkan kurva-kurva S di atas ini maka dapat dibentuk kurva iso embrittlement untuk bahan SAF 2507 stainless steel pada berbagai fraksi endapan.

Pada kasus ini, andaikan analisa umur pakai

material SAF 2507 hanya ditinjau dari segi kinetika transformasi endapan senyawa karbida pada batas butir maksimal sebanyak 40% dengan mengindahkan faktor lainnya, atau dengan kata lain



Gambar 1: Kurva S prediksi SAF 2507 pada temperatur 800°C, 850°C dan 900°C



Gambar 2: Reduksi Isoembrittlement curve SS SAF 2507

hanya memperhatikan pengaruh waktu dan temperatur saja untuk 40% terbentuknya endapan senyawa krom karbida tersebut. Analisa ini dapat merupakan acuan awal guna memprediksi bahwa Zeron 25 (SAF 2507) akan dapat lebih bertahan dipakai pada temperatur embrittlement yang lebih tinggi. Berdasarkan 40% transformasi yang masih diperbolehkan, (maka bila SAF 2507 digunakan pada temperatur terjadinya temper embrittlement untuk baja 3104 sebagai pembanding), dengan temperatur kritis maksimumnya sekitar 600°C (873°K), dimana digunakan ketetapan hitungan awal SAF 2507 yaitu besaran atau nilai n sekitar 1 dan nilai energi aktivasi (Q) sebesar 307 kJ/mol, serta nilai k_0 sebesar $8,3 \cdot 10^9$, akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$k = k_0 \exp\{-Q/RT\}$$

*Kinetika Transformasi Fasa Endapan Senyawa Krom Karbida Pada Kasus
Penggetasan Temper Baja Nirkarat Zeron-25 (Saf-2507)*

$$k = 8,3 \cdot 10^9 \exp\{-307000/8,314 \times 873\}$$
$$= 3,1 \cdot 10^9$$

k didapat dari hasil k^n yaitu sebesar $3,1 \cdot 10^9$ bila nilai k tersebut disubsitusikan ke dalam persamaan $n^m = 1 - \exp\{-Kt^n\}$ maka akan didapat persamaan $t^n = 17025208$ detik. Jika material digunakan sebagai n maka waktu terjadinya temper embrittlement adalah 1970,78 hari atau sekitar 5,4 tahun lebih, sehingga bila dibandingkan dengan baja 3104 yang akan mengalami temper embrittlement dalam waktu kurang dari 30 menit untuk temperatur operasi yang sama, sudah tentu SAF 2507 akan memenuhi persyaratan yang diinginkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan investigasi terhadap mikrostruktur material yang mengalami perlakuan pemanasan ini dapat disimpulkan bahwa SAF 2507 memiliki 3 fasa masing-masing fasa ferrite, austenit dan karbida $(CrFe)_7C$ setelah proses pemanasan. Fasa karbida terbentuk hasil transformasi fasa austenit dan mengendap pada batas butir antara fasa ferrite dan austenit karena energi aktivasi transformasi pada batas butir ini relatif tinggi dibanding energi aktivasi pada batas butir fasa ferrite-ferrite dan austenit-austenit. Dan studi kinetika transformasi fasa terhadap material setelah pemanasan pada 3 temperatur pemanasan berbeda telah berhasil diperoleh beberapa kinetika transformasi antara lain energi aktivasi transformasi fasa sebesar 306 kJ.mol^{-1} konstanta laju transformasi $K \sim 8,31 \times 10^9$, konstanta n rata-rata sama dengan satu. Melalui konstanta-konstanta kinetika transformasi berhasil dibangun kurva penggetasan untuk baja.

DAFTAR PUSTAKA

1. A.K.Jena, 1992, "Phase Transformation in Material Prentice Hall Inc.
2. ASTM, 1967, "Temper Embrittlement in Steel", Speech Tech Pub 407.
3. Bulletin Of Stainless Steel, www.swagelok.com
4. Courtney, Thomas H, 1990, "Mechanical Behavior of Materials", McGraw Hill Publishing Co.
5. D.Dunne, 1997, "Restoration of A HSLA Steel After Rolling In The Two-Phase Region".
6. Dieter, George E, 1986, "Mechanical Metallurgy", 3rd, McGraw-Hill Pub. Co.
7. J.W Christian, 1990, "Theory of Transformation in Metal Alloy", Paragon Press.
8. Sriati Djaprie, 1986, "Ilmu Dan Teknologi Bahan", PT.Erlangga, Jakarta.
9. W.Roberts, 1998, "Dynamic Recrystallization Kinetics" Metal Science 13, 195-199.