



Pengaruh Perlakuan Panas Quench Temper dan Aniling Ganda Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Tahan Karat Ultra Tipis Pada Aplikasi Elektronik dan Biomedis

Abdul Aziz^{a,1}, Tri Partuti^b, Indah Uswatun Hasanah^{a,b}, Ahmad Ali Alhamidi^c, Suryana^d, Alief Maulana^e

^aTeknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman, KM 3, Kota Cilegon, 42435, Indonesia

¹E-mail: azizabdul@untirta.ac.id

^bTeknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman, KM 3, Kota Cilegon, 42435, Indonesia

^{a,b}Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman, KM 3, Kota Cilegon, 42435, Indonesia

^cTeknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman, KM 3, Kota Cilegon, 42435, Indonesia

^dTeknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman, KM 3, Kota Cilegon, 42435, Indonesia

^eTeknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman, KM 3, Kota Cilegon, 42435, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 10 Desember 2023

Direvisi pada 10 Januari 2024

Disetujui pada 20 Februari 2024

Tersedia daring pada 10 Mei 2024

Kata kunci:

Misorientasi, butir halus, struktur mikro.

Keywords:

Misorientation, fine grain, micro structure.

ABSTRAK

Sifat mekanik dan perubahan struktur mikro terjadi pada baja tahan karat (BTK) ultra tipis jenis SUS 316 di pelajari setelah diberi perlakuan panas *quench temper* 900°C, aniling ganda pada suhu 400°C pada BTK ultra tipis dan ditahan selama 1, 2 dan 3 jam. Percobaan dilaksanakan pada BTK butir halus dan berbutir kasar. Dari hasil pengamatan dengan mikroskop elektron SEM -EBSD, tidak terjadi transformasi fasa martensit pada struktur mikronya. Perubahan struktur mikro terjadi dalam bentuk perubahan sebaran *grain misorientation* (GMO) pada baja SUS 316 ultra tipis. Nilai kekerasan pun mengalami peningkatan dengan peningkatan waktu tahan dan ini pastinya berhubungan erat dengan *surface roughening* pada baja ultra tipis tersebut dan mampu bentuk pada baja ultra tipis. Selain itu ditemukan bahwa nilai *surface roughening* menurun seiring dengan meningkatnya waktu tahan pada baja ultra tipis.

Kata Kunci : Struktur mikro; *Grain Misorientation* (GMO); Butir Halus; Butir Kasar.

The mechanical properties and the change of microstructure occur in thin metal foils of SUS 316 were studied after the material subjected using quench temper at 900°C and the double annealing at 400°C then used holding times for 1, 2 and 3 hours. The experiment subjected to the fine and coarse grains. From the microstructural investigation using SEM – EBSD research tool, the martensitic phase transformation (MPT) did not occur. The change of the microstructure occur in in Grain of Misorientation (GMO). The GMO become more inhomogeneous in coarse grain than in fine grain of SUS 316 metal foil. The hardness also increase according to the increase of the holding times. The surface roughening decrease according to the decrease of the holding times.

Keywords : Microstructure; Grain Misorientation (GMO); Fine Grain; Coarse Grain

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/furnace>

1. Latar Belakang

Baja tahan karat austenitik ultra tipis telah diaplikasikan sangat luas dalam dunia industri elektronik, biomedis, laser dan *bio assays*. Aplikasi dari baja ultra tipis telah banyak mendapatkan perhatian dari masyarakat industri di dunia ini. Terdapat beberapa isu yang perlu diperhatikan dalam dunia industri, khususnya dunia *microforming*, seperti *size effect*, mahalnya proses produksi (1,2,4,5).



FURNACE METALURGI DAN MATERIAL

Homepage jurnal: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf>



Ketika baja tahan karat ultra tipis di tarik dengan mesin uji tarik, maka terjadi perubahan struktur mikro dan terjadi perubahan sifat mekanik pada baja ultra tipis tersebut (3,4). Perubahan struktur mikro akan berakibat kepada sifat mekanik dari baja ultra tipis tersebut (6). Ketika baja tahan karat ultra tipis di tarik dengan mesin uji tarik maka terjadi *twinning* dan interkasi dislokasi. *Twinning* yang lebih besar terjadi pada permukaan dibandingkan pada bagian dalam dari logam ultra tipis (7,8). Disamping *twinning* yang meningkat, setelah pengujian tarik pada logam ultra tipis juga dapat meningkatkan energi *stacking fault* (8,9). Perubahan struktur mikro dapat juga disebabkan oleh perbedaan laju regangan ketika serangkaian uji tarik berlangsung (8,10). Pengujian tarik uniaxial pada logam ultra tipis jenis baja tahan karat semisal SUS 304, tidak hanya berakibat pada perubahan struktur mikro, perubahan sifat mekanik, tetapi dapat juga terjadi perubahan fasa dari austenit menjadi fasa martensit (4,8,11). Perilaku kegagalan pada logam ultra tipis dan aliran material akan lebih mudah diamati pada logam ultra tipis dengan jumlah butir yang makin sedikit (12,13). Disamping itu, dalam logam ultra tipis jenis tembaga dan titanium, regangan patah menurun secara dramatis, seiring dengan menurunnya ketebalan dari logam ultra tipis, yaitu dari ketebalan 0,3 mm sampai 0,1 mm (10). Oleh karena itu, perlu di perjelas hubungan antara perubahan struktur mikro dan perilaku deformasi plastis pada baja tahan karat ultra tipis (4,12). Perubahan dari struktur mikro yang berefek pada *surface roughness* tergantung kepada ukuran butir dan ketebalan dari logam ultra tipis (4,8,13). Penurunan ukuran butir berakibat kepada peningkatan tegangan luluh pada logam ultra tipis setelah atau selama pengujian tarik tunggal (10,12).

Dari penelitian sebelumnya, deformasi pada butir yang lunak dan butir yang kuat dapat berakibat besar pada sifat mekanik logam ultra tipis. Keterkaitan antara perubahan struktur mikro dan perilaku deformasi plastis, seperti uji tarik tunggal, masih dilaporkan terbatas. Tujuan dari penelitian ini, yaitu ingin menjelaskan hubungan antara perubahan struktur mikro dan pengujian tarik tunggal pada baja tahan karat ultra tipis SUS 316 L.

Dalam penelitian ini, dilaksanakan pengujian tarik pada SUS 316L sampai lima tingkat. Perubahan struktur mikro diperoleh dari hasil pengamatan *scanning electron microscope* (SEM – EBSD). kemudian dilakukan analisa hasil pengujian tarik setahap demi setahap.

2.1. Bahan

Baja tahan karat ultra tipis didapat dari Komatsu Seiki Kosakusho.co.ltd Nagano Jepang. ketebalan dari logam baja tahan karat ultra tipis di roll dengan ketebalan sampai pada ukuran 0,1 mm dan kemudian diberi perlakuan panas untuk menghilangkan tegangan sisa. Komposisi kimia dari logam ultra tipis SUS 316L di tunjukan di tabel 1. Logam ultra tipis SUS 316L memiliki kromium dalam jumlah yang tinggi yang berfungsi untuk mencegah dari korosi dengan membentuk lapisan pasiv yaitu jenis Cr_2O_3 pada permukaan dari baja tahan karat ultra tipis SUS 316L (1,4).

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Tahan Karat Ultra Tipis SUS 316 (4)

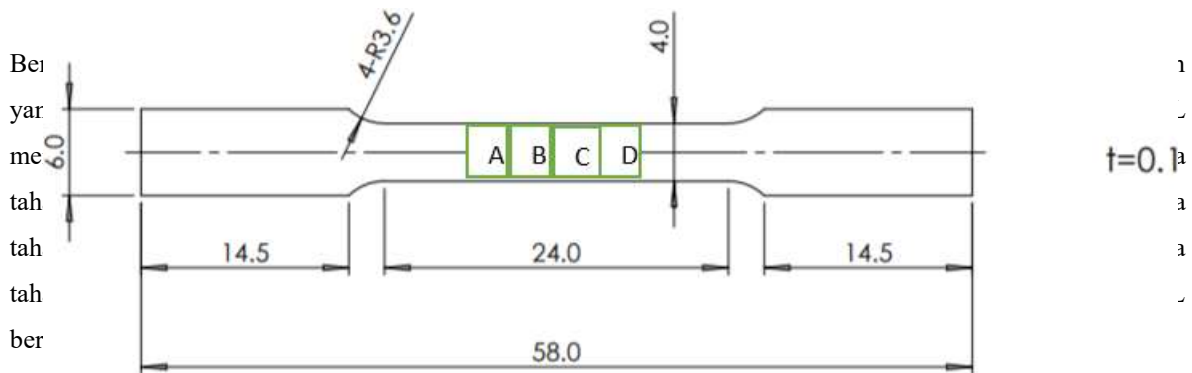


FURNACE METALURGI DAN MATERIAL

Homepage jurnal: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf>



	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Min						12.00	16.00	2.00
Max	0.030	1.00	2.00	0.045	0.030	15.00	18.00	3.00
	0.012	0.66	1.20	0.035	0.001	12.22	17.41	2.07



Gambar 1 . Sampel SUS 316L Baja Ultra Tipis

Baja tahan karat ultra tipis SUS 316L memiliki dimensi yaitu lebar 4,0 mm dan ketebalan 0,1 mm serta panjang gauge length yaitu 20 mm. Standar yang digunakan adalah DIN 50125. Spesimen dibuat dari baja tahan karat SUS 316 dalam bentuk sampel uji tarik seperti yang ditunjukkan di gambar 1.

2.2. Metodologi

Sampel baja tahan karat ultra tipis SUS 316L dengan berbagai uuran besar butir (D_g) dibersihkan dengan menggunakan etanol dan getaran ultrasonik selama 30 menit. Sampel kemudian di aniling selama 1 jam pada suhu 400°C untuk menghilangkan tegangan sisa akibat pengerolan. Kemudian, sampel baja tahan karat ultra tipis SUS 316L di *quench temper*, yaitu dengan cara dipanaskan pada suhu 900°C, di anil ganda pada suhu 400°C, kemudian ditahan selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Setelah itu didinginkan di udara terbuka. Setelah



FURNACE METALURGI DAN MATERIAL

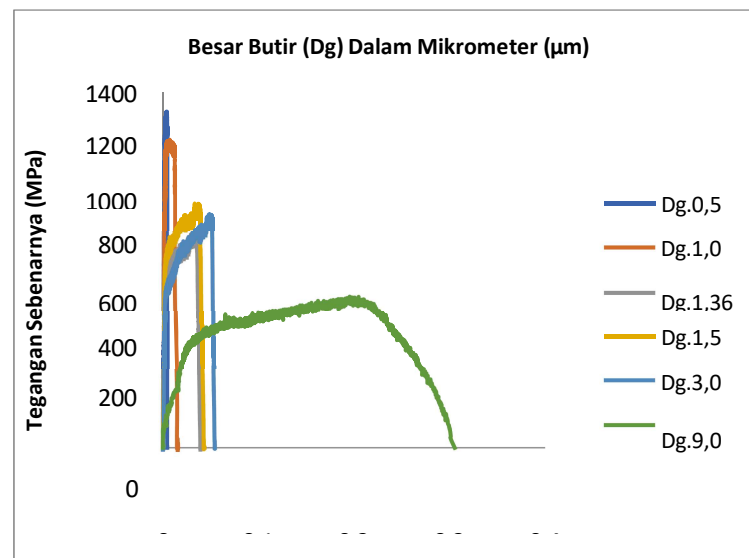
Homepage jurnal: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf>



itu, sampel ditarik dengan mesin uji tarik secara bertahap selama lima tahap dengan regangan 1,0% untuk satu kali penarikan. Setelah itu struktur mikro diamati dengan menggunakan mikroskop elektron jenis SEM – EBSD. Disamping itu, uji tarik tunggal menggunakan mesin jenis AG-IS 50 KN hasil produksi perusahaan Shimadzu di kerjakan pada sampel baja tahan karat ultra tipis sampai mengalami perpatahan. Kapasitas dari mesin uji tarik adalah 50 KN. *Surface roughness* juga diukur setiap kali pengujian tarik menggunakan alat mikroskop laser bernama *Confocal Laser Microscope VE 8800*, produksi dari perusahaan bernama Keyence. Struktur mikro diamati dengan SEM-EBSD. Mesin SEM – EBSD yang digunakan yaitu jenis SEM SU – 70 *Hitachi High Technology* dengan mode normal. Arus emisi yang digunakan adalah 16 μA dan pixel binning 8x 8.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Percobaan



Gambar 2. Perilaku Deformasi Baja Ultra Tipis SUS 316L Dengan Variasi Ukuran Butir (Dg).

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2, kurva tegangan regangan menunjukkan bahwa pada baja tahan karat ultra tipis dengan butir halus memiliki kekuatan lebih tinggi tapi keuletan lebih rendah dibandingkan dengan baja tahan karat ultra tipis berbutir besar. Berdasarkan kurva tegangan regangan, itu sulit sekali mendeformasi baja tahan karat ultra tipis berbutir halus pada SUS 316L. Untuk SUS 316L berbutir kasar memiliki keuletan yang lebih tinggi dibandingkan SUS 316 berbutir halus. Keuletan yang lebih tinggi

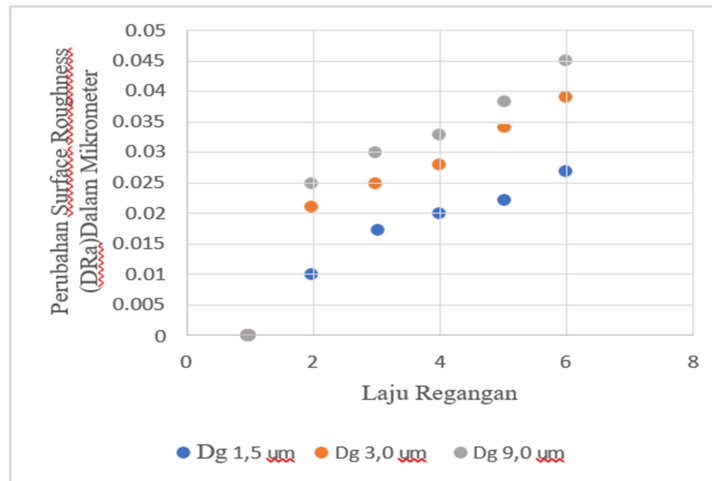


FURNACE METALURGI DAN MATERIAL

Homepage jurnal: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf>

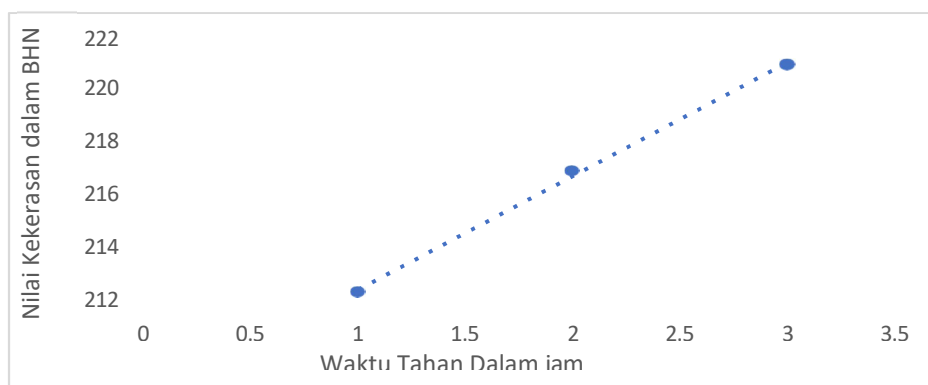


meningkat secara signifikan untuk material berbutir kasar dengan ukuran $9,0\ \mu\text{m}$ (1,2,4). Keuletan baja tahan karat ultra tipis dari mulai ukuran butir $1,5\ \mu\text{m}$ sampai $3,0\ \mu\text{m}$ relatif sama. Itu menunjukkan sifat mekanik untuk material berbutir halus relatif sama (1,3,4,5).



Gambar 3. Kurva Laju Regangan terhadap Perubahan Surface Roughness

Gambar 3 menunjukkan bahwa *surface roughening* meningkat secara proporsional seiring dengan meningkatnya tingkat regangan. *Surface roughening* meningkat lebih tinggi pada baja tahan karat ultra tipis (material) dengan butiran kasar dibandingkan dengan material berbutir halus. Itu berarti deformasi butir dan tidak homogenan kekuatan butir pada butir kasar adalah lebih tinggi dibandingkan material berbutir halus. Pada material berbutir halus adalah lebih *homogeneous* dibandingkan material dengan butiran kasar, sehingga *surface roughening* pada material berbutir halus lebih rendah dibandingkan dengan material berbutir kasar (4,6,7). Kehomogenan dan ketidak homogenan suatu butir pada material tergantung pada distribusi kekuatan atau kekerasan pada sebuah butir. Semakin homogen distribusi kekerasan pada butir akan menunjukkan bahwa butir tersebut semakin homogen, begitu juga sebaliknya (4,8,9).



Gambar 4. Nilai Kekerasan Pada Sampel Setelah Perlakuan Panas Baja Ultra Tipis SUS 316L

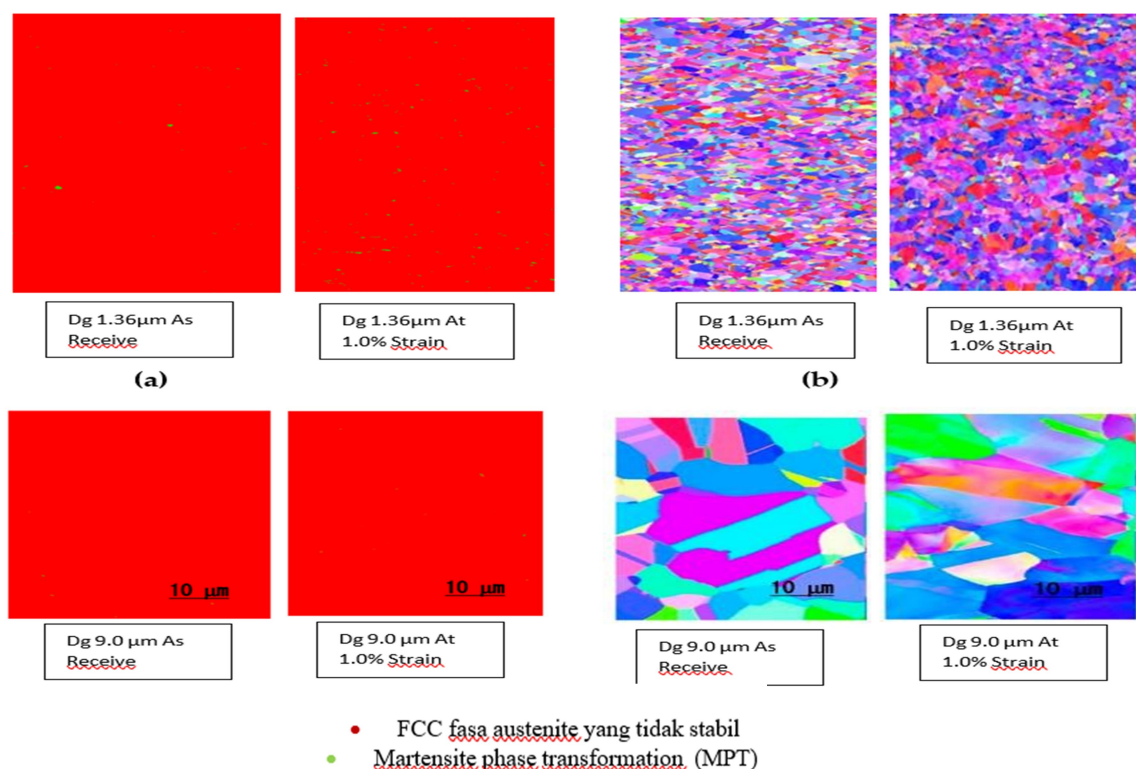


FURNACE METALURGI DAN MATERIAL

Homepage jurnal: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf>



Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4, ditunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu tahan. Nilai kekerasan pada waktu tahan 1 jam adalah 205 BHN. Nilai kekerasan meningkat menjadi 213 BHN pada waktu tahan 2 jam dan meningkat menjadi 220 BHN pada waktu tahan 3 jam. Efek dari waktu tahan terhadap nilai kekerasan mungkin disebabkan oleh terjadinya perubahan struktur mikro pada baja ultra tipis yang akan dijelaskan pada sesi selanjutnya.



Gambar 5. Hasil Pengamatan SEM – EBSD SUS 316

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5a dan 5c, gambar yang berwarna merah menunjukkan austenit. Karena tidak ada transformasi fasa, itu berarti tidak ada perubahan fasa selama deformasi plastis. Austenit sebagai fasa yang stabil tidak mengalami perubahan fasa akibat uji tarik pada logam ultra tipis SUS 316L.

Hasil dari struktur mikro menunjukkan bahwa tidak ada transformasi fasa martensit (MPT) pada struktur mikro seperti yang ditunjukkan pada hasil foto SEM-EBSD di gambar 5a,b,c dan d. Itu berarti tidak ada efek MPT pada sifat mekanik SUS 316L. Hasil dari pengujian tarik dan perilaku *surface roughening* disebabkan oleh interaksi dislokasi yang dikenal dengan efek interaksi butir. *Grain misorientation* yang dikenal dengan GMO memiliki efek terhadap sifat mekanik dan perilaku *surface roughening* (1,2,3,4,9,10).



FURNACE METALURGI DAN MATERIAL

Homepage jurnal: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf>



Deformasi plastis pada butiran halus seperti yang di tunjukan pada gambar 5b adalah jenis deformasi homogen. Deformasi pada butir halus adalah deformasi yang rendah. Berdasarkan hasil dari deformasi butir, deformasi pada butir – butir halus tergolong deformasi homogen. Deformasi yang terjadi pada butiran kasar tergolong deformasi tidak homogen, atau yang dikenal dengan deformasi *inhomogeneous*. Deformasi pada butiran kasar adalah deformasi yang tergolong deformasi yang besar (4,11,2,13). Jika mengacu pada gambar 5d, butiran kasar pada gambar tersebut telah terdeformasi tidak homogen, atau dikenal dengan deformasi *inhomogeneous*.

4. Kesimpulan

MPT tidak terjadi pada baja tahan karat ultra tipis SUS 316L baik pada butiran halus maupun pada butiran kasar pada regangan total di 5,0%. Deformasi plastis pada butiran kasar adalah lebih besar dibandingkan dengan deformasi plastis pada butiran halus. Keuletan pada baja tahan karat ultra tipis berbutir kasar adalah lebih besar dibandingkan dengan deformasi yang terjadi pada baja tahan karat ultra tipis berbutir halus, namun untuk kekuatan berlaku sebaliknya. *Surface roughening* meningkat lebih tinggi pada butiran kasar dibandingkan pada butiran halus pada tingkat regangan yang sama.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Komatsuseiki Kosakusho.co.ltd, khususnya pada Mr. Yohei Suzuki yang telah membantu menyiapkan sampel untuk percobaan.

Daftar Pustaka

- [1] XUE Zong-yu: ZHOU Sheng, WEI Xi-cheng : Journal of Iron and Steel Research, International, 2010, 17(3) : 51-55.
- [2] Engel, U., and Eckstein, R. Microforming – from basic research to its realization, *Journal of Materials Processing and Technology*, Vol. 125-126, (2002), pp.35-44
- [3] Furushima,T., and Manabe, K., Experimental and Numerical Study on Deformation Behavior in Dieless Drawing Process of Superplastic Microtubes, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.191, (2007), pp. 59-63.
- [4] Abdul Aziz, Ming Yang, Tetsuhide Shimizu, Tsuyoshi Furushima. Effect of Grain Misorientation and Martensitic Transformation on Surface Roughening Behavior in Thin Austenitic Stainless Steel Foils, *International Journal of Technology* 12(6) 1161-1167 (2021).
- [5] Jha Abhay K, Sivakumar D, Sreekumar K, et al. Role of Transformed Martensite in the Cracking of Stainless Steel Plumbing Lines [J]. *Engineering Failure Analysis*, 2008,15:1042.
- [6] Peng, F., Dong, X.H., Liu, K., Xie, H.Y., 2015. Effects of strain rate and plastic work on martensitic



FURNACE METALURGI DAN MATERIAL

Homepage jurnal: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf>



- transformation kinetics of austenitic stainless steel 304. *J. Iron Steel Res.Int.* 22 (10), 931–936.
- [7] Zandrahimi M, Bateni MR, Poladi A, Szpunar Jerzy A. The formation of martensite during wear of AISI 304 stainless steel. *Wear* 2007;263:674-8.
- [8] Zihao Qin., Yong Xia., Role of strain – induced martensitic phase transformation in mechanical response of 304L steel at different strain – rates and temperatures, *Journal of Material Processing Tech.*280 (2020) 116613.
- [9] F.Vollertsen, H.Schulze Nichoff, Z. Hu, State of the art in micro forming, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 46(11) (2006) 1172-1179.
- [10] Tsuyoshi Furushima, Hitomi Tsunozaki, Ken –Ichi Manabe, Ming Yang, Sergei Alexandrov, Influence of Free Surface Roughening on Ductile Fracture Behavior Under Uni-axial Tensile State For Metal Foils, 13 th *International Conference on Fracture* June 16-21, 201, Beijing, China.
- [11] D. Raabe, M.Scahtleber, H. Weiland, G.Scheele, Z.Zhao, *Acta Mater.* 51 (2003) 1539-1560.
- [12] Kengo Yoshida, Effect of Grain Scale Heterogeneity on Surface Roughness and Sheet Metal Necking, *International Journal of Mechanical Sciences* 83 (2014) 48-56.
- [13] P.Groche, R.Schafer, H.Justinger, M.Ludwig. On the correlation between crystallographic grain size and surface evolution in metal forming process. *International Journal of Mechanical Sciences* 52 (2010)523-530.