

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR SIMBOL	xxi
DAFTAR SINGKATAN	xxi
INTISARI	xxv
ABSTRACT	xxviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Upaya perbaikan kualitas sambungan las aluminium	7
2.2 Pengendalian tegangan sisa	10
2.3 Perlakuan mekanik pada las FSW	12
2.4 Keaslian Penelitian	14
BAB III LANDASAN TEORI	21
3.1 Aluminium dan Paduannya	21
3.2 Proses <i>Friction Stir Welding</i>	27
3.3 Aliran Panas pada Las	30
3.3.1 <i>Heat Generation</i>	30
3.3.2 <i>Heat transfer</i>	32

3.4	Metalurgi Las	33
3.5	Tegangan sisa	39
3.6	Distorsi	44
3.7	Kekerasan	47
3.8	Laju Perambatan Retak Fatik	49
3.8.1	Mekanika Perpatahan	49
3.8.2	Konsentrasi Tegangan	50
3.8.3	Retak Fatik	51
3.8.4	Laju Perambatan Retak Fatik	53
3.8.5	Faktor Intensitas Tegangan (K_I)	55
3.8.6	Pengaruh Tegangan Sisa Terhadap Laju Perambatan Retak Fatik	58
3.9	Metode Pengendalian Tegangan sisa dengan <i>Thermal Tensioning</i>	60
3.9.1	<i>Static Thermal Tensioning</i> (STT)	60
3.9.2	<i>Transient Thermal Tensioning</i> (TTT)	62
3.9.3	<i>Dynamically Controlled-Low Stress No Distortion</i> (DC LSND)	66
3.10	Metode Pengendalian Tegangan sisa dengan <i>Mechanical Tensioning</i>	68
3.10.1	<i>Shot peening</i>	68
3.10.2	Getaran	69
3.10.3	Proses <i>rolling</i>	71
3.10.4	<i>Stretching / Tensioning</i>	76
BAB IV METODE PENELITIAN		78
4.1	Bahan Penelitian	78
4.2	Alat Penelitian	78
4.3	Desain Penelitian	79
4.3.1	Pengamatan Struktur mikro	87
4.3.2	Uji Kekerasan	87
4.3.3	Uji Tarik	88
4.3.4	Uji Laju Perambatan Retak Fatik	90
4.3.5	Uji Tegangan Sisa Menggunakan <i>Neutron Diffraction</i>	94
4.3.7	Pengukuran Distorsi	97
4.3.8	Uji fraktografi SEM	98

4.3.9 Uji tekstur	98
4.3.10 Uji EBSD (<i>Electron Backscattered Diffraction</i>)	98
4.3.11 Uji XRD	99
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	101
5.1 Material penelitian	101
5.2 Pengelasan FSW dengan variasi putaran	103
5.2.1 Siklus termal pengelasan	103
5.2.2 Struktur makro dan struktur mikro	105
5.2.3 Distribusi nilai kekerasan	109
5.2.4 Sifat-sifat tarik las FSW	111
5.3 Pengelasan FSW dengan perlakuan <i>transient thermal tensioning</i> (TTT)	115
5.3.1 Siklus termal pengelasan	115
5.3.2 Pengamatan struktur makro dan mikro	117
5.3.3 Distribusi nilai kekerasan	119
5.3.4 Sifat-sifat tarik las FSW dengan penambahan perlakuan TTT	121
5.3.5 Tegangan sisa	123
5.3.6 Distorsi pengelasan	127
5.3.7 Perambatan retak fatik	128
5.4 Pengelasan FSW dengan perlakuan <i>in situ rolling tensioning</i> (ISRT)	138
5.4.1 Siklus termal pengelasan	138
5.4.2 Pengamatan struktur mikro	140
5.4.3 Karakteristik tekstur	144
5.4.4 Distribusi kekerasan	145
5.4.5 Sifat tarik las FSW yang mendapatkan penambahan perlakuan <i>in situ rolling tensioning</i> (ISRT)	146
5.4.6 Tegangan sisa dan distorsi pada pengelasan	153
5.4.7 Laju perambatan retak fatik	157
5.5 Pengelasan FSW dengan perlakuan kombinasi (<i>hybrid</i>) <i>transient thermal tensioning</i> (TTT) dan <i>in situ rolling tensioning</i> (ISRT)	162
5.5.1 Pengukuran distorsi	162
5.5.2 Pengukuran siklus termal	163

5.5.3	Hasil Pengukuran kekerasan mikro	166
4.5.4	Pengamatan Struktur Mikro	168
4.5.5	Sifat tarik hasil las FSW	172
5.5.6	Pengujian tegangan sisa	175
5.5.7	Pengujian kecepatan perambatan retak fatik	180
5.5.8	Pengamatan SEM	183
BAB VI PENUTUP		185
6.1	Kesimpulan	185
6.2	Saran	187
DAFTAR PUSTAKA		188
LAMPIRAN		203
	Lampiran 1. Skema pengelasan FSW dengan penambahan perlakuan	203
	Lampiran 2. Peralatan dan alat ukur pengujian	207
	Lampiran 3. Hasil pengujian tekstur	209

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Friction stir welding</i>	8
Gambar 2.2. <i>Tool FSW</i>	9
Gambar 2.3. Proses <i>in situ rolling</i>	12
Gambar 2.4. Proses pengerolan (a) mekanisme pengerolan (b) spesimen uji tarik (c) bagian FSW	13
Gambar 2.5. Tegangan sisa (a) arah longitudinal (b) arah transversal	14
Gambar 3.1. Skema <i>solution heat treatment</i> pada (a) AA2024-T3; (b) AA2024-T6	24
Gambar 3.2. Diagram waktu – temperatur <i>precipitation hardening</i>	25
Gambar 3.3. Korelasi <i>aging time</i> dan kekerasan	26
Gambar 3.4. Diagram fasa Al – Cu	26
Gambar 3.5. Proses <i>friction stir welding</i>	27
Gambar 3.6. Skema proses FSW (a) awal proses (b) <i>tool</i> memasuki material (c) pengelasan (d) selesai pengelasan	28
Gambar 3.7. Variasi pin dari <i>tool friction stir welding</i>	28
Gambar 3.8. Variasi geometri <i>shoulder</i> dari <i>tool friction stir welding</i>	29
Gambar 3.9. Sambungan dengan proses FSW: a. <i>square butt</i> , b. <i>edge butt</i> , c. <i>T butt joint</i> , d. <i>lap joint</i> , e. <i>multiple lap joint</i> , f. <i>T lap joint</i> , and g. <i>fillet joint</i>	29
Gambar 3.10. Skema <i>tool tilt</i> (a) teori kontak <i>tool</i> dan material; (b) aktual kontak <i>tool</i> dan material	30
Gambar 3.11. Area pembangkit panas pada <i>tool</i>	30
Gambar 3.12. Profil daerah hasil lasan: a. <i>weld nugget</i> (WN), b. <i>heat affected zone</i> (HAZ), c. <i>thermomechanically affected zone</i> (TMAZ), d. <i>advancing side</i> (AS). e. <i>retreating side</i> (RS)	34
Gambar 3.13. Struktur mikro dari daerah <i>nugget</i> , TMAZ dan HAZ	35
Gambar 3.14. Struktur mikro pada sisi <i>advancing side</i>	36
Gambar 3.15. Rekristalisasi logam, $T > 0.5 T_m$	37
Gambar 3.16. Sifat dan struktur pada HAZ	38
Gambar 3.17. Urutan proses rekristalisasi	39
Gambar 3.18. Mekanisme terjadinya tegangan sisa	40
Gambar 3.19. Efek pada tegangan sisa dari pemanasan batang	42

Gambar 3.20. Perubahan suhu dan tegangan sisa saat pengelasan	43
Gambar 3.21. Distribusi tegangan sisa	44
Gambar 3.22. Jenis distorsi: a. <i>transverse shrinkage</i> , b. <i>angular change</i> , c. <i>rotational distortion</i> , d. <i>longitudinal shrinkage</i> , e. <i>longitudinal bending distortion</i> , f. <i>buckling distortion</i> .	45
Gambar 3.23. Distorsi sudut	45
Gambar 3.24. Metode pengurangan distorsi (a) <i>presetting</i> , (b) <i>prespringing</i> , dan (c) <i>preheating</i>	46
Gambar 3.25. <i>Double V preparation</i>	47
Gambar 3.26. Distribusi nilai kekerasan	47
Gambar 3.27. Distribusi nilai kekerasan pada paduan AA5083 dan AA6082 yang dilas menggunakan FSW	48
Gambar 3.28. Distribusi nilai kekerasan	48
Gambar 3.29. Area mekanika perpatahan	49
Gambar 3.30. Tahapan fase-fase dari <i>fatigue life</i>	50
Gambar 3.31. Contoh takikan (a) Geometri takik/ <i>internal crack</i> , (b) skema profil tegangan	50
Gambar 3.32. Inisiasi retak fatik	51
Gambar 3.33. Pertumbuhan retak fatik	53
Gambar 3.34. Kurva laju perambatan retak fatik terhadap faktor intensitas tegangan	54
Gambar 3.35. Pengaruh ketebalan pada <i>fracture toughness</i>	56
Gambar 3.36. <i>Critical fracture toughness versus thickness</i>	57
Gambar 3.37. Pola pembebanan	57
Gambar 3.38. Skema retak pada Mode I	58
Gambar 3.39. Profil tegangan sisa <i>M-Shape</i>	59
Gambar 3.40. Laju perambatan retak fatik	60
Gambar 3.41. Skema STT	60
Gambar 3.42. Skema proses pengelasan dengan STT	61
Gambar 3.43. Perbandingan tegangan sisa hasil pengelasan <i>conventional welding</i> (CW) dan pengelasan dengan STT	61
Gambar 3.44. Skema proses <i>transient thermal tensioning</i>	63
Gambar 3.45. Ilustrasi model tegangan sisa, (A) tanpa TTT, (B) dengan TTT	63

Gambar 3.46. Pertumbuhan retak fatik pada FSW dengan perlakuan TTT dan tanpa TTT	64
Gambar 3.47. Skema proses TTT	65
Gambar 3.48. <i>Welding distortion</i>	66
Gambar 3.49. Skema proses <i>heat sink</i>	66
Gambar 3.50. Skema DC-LSND	67
Gambar 3.51. Skema dari prinsip DC-LCND (a) gradien suhu yang tinggi (b) efek <i>tensioning</i>	67
Gambar 3.52. Skema penelitian (a) FSW, (b) <i>shot peening</i>	68
Gambar 3.53. Skema UVeFSW	69
Gambar 3.54. Sifat mekanik FSW dan UVaFSW (a) <i>ultimate tensile strength</i> , (b) <i>elongation</i>	70
Gambar 3.55. Proses <i>rolling</i>	72
Gambar 3.56. Teknik <i>rolling</i> lasan untuk menghilangkan <i>buckling</i> setelah pengelasan	73
Gambar 3.57. Pengurangan tegangan sisa (a) Pengurangan tegangan sisa (b) deformasi plastis inversi	74
Gambar 3.58. Profil hasil <i>rolling</i> (a), (b) relief tegangan sisa (c) penghilangan distorsi menggunakan proses <i>rolling</i> lasan	75
Gambar 3.59. Kurva tegangan-regangan hasil <i>rolling</i>	75
Gambar 3.60. Skema deformasi pada proses <i>rolling</i>	76
Gambar 3.61. <i>In situ tensioning</i>	77
Gambar 4.1. Ilustrasi pengambilan sampel pengujian	81
Gambar 4.2. Diagram alir penelitian	82
Gambar 4.3. Rancangan pengelasan FSW tanpa TTT dan FSW dengan TTT: (a) las konvensional; (b) TTT-25; (c) TTT-40 dan (d) TTT-55.	84
Gambar 4.4. Perlakuan <i>in situ rolling</i> ; (a) rol tunggal; (b) rol ganda	85
Gambar 4.5. Ilustrasi skema perlakuan <i>in situ rolling tensioning</i> (ISRT); (a) <i>roller</i> tunggal, dan (b), (c) <i>roller</i> ganda dengan jarak <i>roller</i> masing-masing 17 mm dan 25 mm	86
Gambar 4.6. Skema pengelasan FSW dengan penambahan perlakuan <i>hybrid</i>	87
Gambar 4.7. Skema bekas injakan piramida intan	88
Gambar 4.8. Posisi pengujian kekerasan <i>microVickers</i>	88
Gambar 4.9. Spesimen uji tarik	89

Gambar 4.10. Menentukan kekuatan luluh (σ_Y)	90
Gambar 4.11. Spesimen uji fatik <i>center-cracked tension</i> (CCT)	91
Gambar 4.12. Diagram siklus pembebanan	91
Gambar 4.13. Incremental <i>polynomial method</i>	93
Gambar 4.14. Uji tegangan sisa; (a) proses las FSW; (b) posisi pengujian <i>neutron diffraction</i>	94
Gambar 4.15. Skema <i>neutron diffraction</i> (a) ilustrasi difraktometer; (b) Pengukuran tegangan	95
Gambar 4.16. Cincin <i>Debye-Scherrer</i> dari spesimen	96
Gambar 4.17. Geometri cincin <i>Debye-Scherrer</i> dan spesimen, serta penentuan regangan kisi dalam metode cos alfa	96
Gambar 4.18. Titik Pengukuran Distorsi (satuan mm)	97
Gambar 4.19. Mekanisme pembentukan pita Kikuchi untuk bidang kristal	99
Gambar 5.1. Struktur mikro pada 3 sumbu utama (a); (b) <i>longitudinal</i> ; (c) <i>short transverse</i> ; dan (d) <i>long transverse</i>	101
Gambar 5.2. Hasil uji tarik logam induk AA2024-T3	102
Gambar 5.3. Pengukuran suhu pada variasi kecepatan putaran <i>tool</i> ; (a) 910 rpm; (b) 1500 rpm; (c) 2280 rpm	105
Gambar 5.4. Struktur makro spesimen; (a) 910 rpm; (b) 1500 rpm; (c) 2280 rpm	106
Gambar 5.5. Struktur mikro pada masing-masing variasi putaran; (a)(b) putaran 910 rpm; (c)(d) putaran 1500 rpm dan (e)(f) putaran 2280 rpm	108
Gambar 5.6. (a) Mikrograf SEM daerah NZ; (B), (C), (D) spektrum EDX diambil dari daerah bertanda A, B, C pada Gambar 4.6(a)	109
Gambar 5.7. Distribusi nilai kekerasan pada semua spesimen	110
Gambar 5.8. Hasil uji tarik spesimen logam induk; 910 rpm; 1500 rpm dan 2280 rpm	112
Gambar 5.9. Struktur makro uji tarik spesimen: (a) 910 rpm; (b) 1500 rpm; dan (c) 2280 rpm	113
Gambar 5.10. Fraktografi SEM untuk permukaan perpatahan; (a) logam induk dan (b) las FSW 1500 rpm	114
Gambar 5.11. Kurva suhu vs waktu; (a) las konvensional; (b) TTT-25; (c) TTT-40; (d) TTT-55	116
Gambar 5.12. Kurva suhu vs waktu pada pendinginan kontinyu	116
Gambar 5.13. Struktur makro sambungan FSW paduan AA2024-T3	117

Gambar 5.14. Struktur mikro NZ; (a) Las konvensional; (b) TTT-25 mm; (c) TTT-40 mm; (d) TTT-55 mm	119
Gambar 5.15. Distribusi nilai kekerasan semua spesimen	120
Gambar 5.16. Hasil uji tarik semua spesimen las FSW	122
Gambar 5.17. Posisi patahan hasil uji tarik; (a) las konvensional; (b) TTT-25; (c) TTT-40 dan (d) TTT-55	123
Gambar 5.18. Tegangan sisa las FSW arah longitudinal dengan metode <i>neutron diffraction</i>	125
Gambar 5.19. Tegangan sisa las FSW arah transversal dengan metode <i>neutron diffraction</i>	126
Gambar 5.20. Prinsip utama pengaruh perlakuan TTT	127
Gambar 5.21. Hasil pengukuran distorsi las FSW dengan variasi TTT	128
Gambar 5.22. Kurva panjang retak vs jumlah siklus dari spesimen las konvensional; TTT 25; TTT 40; TTT 55 dan logam induk AA2024-T3	129
Gambar 5.23. Kurva da/dN vs ΔK dari spesimen las konvensional; TTT 25; TTT 40; TTT 55 dan logam induk AA2024-T3	131
Gambar 5.24. Garis <i>trendline</i> dari hasil uji perambatan retak fatik dari spesimen las konvensional; TTT 25; TTT 40; TTT 55 dan logam induk AA2024-T3	132
Gambar 5.25. Skema retakan, (a) zona plastis ujung retak; (b) kondisi tegangan sisa	133
Gambar 5.26. Tegangan tekan sisa pada ujung retak akibat beban lebih. (a) zona plastis monotonik. (b) zona plastis siklik setelah beban lebih.	134
Gambar 5.27. Fraktografi SEM perpatahan fatik: (a) las konvensional; (b) TTT-25 mm dan (c), (d) area yang diperbesar masing-masing ditandai dengan kotak pada Gambar 5.27(a) dan Gambar 5.27(b)	135
Gambar 5.28. Pengukuran suhu dengan termokopel (T_c) pada jarak 10 mm, 17 mm dan 25 mm dari garis tengah las	139
Gambar 5.29. Jarak rol ganda dari pusat las; (a) rol ganda-17; (b) rol ganda-25	139
Gambar 5.30. Struktur mikro daerah NZ; (a) las konvensional, (b) rol tunggal dan (c) rol ganda-17, (d) rol ganda-25	141
Gambar 5.31. (a) Mikrograf SEM daerah NZ; (b), (c), (d) spektrum EDX diambil dari daerah bertanda A, B, C pada Gambar 4.31(a)	142

Gambar 5.32. Hasil pengujian XRD menunjukkan adanya Al_2Cu	142
Gambar 5.33. Struktur mikro permukaan atas NZ untuk: (a) las kondisi konvensional, (b) rol tunggal dan (c) rol ganda-17, (d) rol ganda-25	143
Gambar 5.34. <i>Pole figure</i> (111) dari: (a) Logam induk (BM), (b) NZ las konvensional dan (c) NZ rol tunggal dengan: (a.1), (b.1), (c.1) <i>inverse pole figure</i> yang sesuai di ND masing-masing	145
Gambar 5.35. Distribusi kekerasan <i>microVickers</i> pada semua spesimen	146
Gambar 5.36. Sifat tarik spesimen las FSW dengan variasi jenis rol	148
Gambar 5.37. Posisi perpatahan uji tarik; (a) las konvensional, (b) ISRT rol tunggal; (c) ISRT rol ganda-17mm; dan (d) ISRT rol ganda-25 mm	149
Gambar 5.38. Suhu sisi AS dan sisi RS pada pengelasan FSW AA2024-T3	149
Gambar 5.39. Struktur mikro daerah las untuk: (a) las konvensional, (b) rol tunggal, (c) rol ganda-17 mm, (d) rol ganda-25mm	150
Gambar 5.40. Peta EBSD yang menggambarkan struktur mikro dan <i>inverse pole figure</i> di daerah NZ dekat TMAZ di: (a) sisi maju (AS) dan (b) sisi mundur (RS).	152
Gambar 5.41. Fraktografi SEM untuk permukaan perpatahan; (a) Las konvensional dan (b) ISRT rol tunggal	153
Gambar 5.42. Tegangan sisa las FSW dengan menggunakan metode <i>X-Ray diffraction</i>	154
Gambar 5.43. Distorsi <i>out-of-plane</i> pada arah longitudinal	156
Gambar 5.44. Distorsi <i>out-of-plane</i> pada arah transversal	156
Gambar 5.45. Kurva panjang retakan (a) vs jumlah siklus (N) untuk spesimen las konvensional; rol tunggal; rol ganda-17; rol ganda-25 dan logam induk AA2024-T3	158
Gambar 5.46. Kurva da/dN vs. ΔK untuk spesimen las konvensional; rol tunggal; rol ganda-17; rol ganda-25 dan logam induk AA2024-T3	159
Gambar 5.47. <i>Trendline</i> dari kurva da/dN wilayah II vs ΔK pada Gambar 5.46	160
Gambar 5.48. Fraktograf uji fatik: (a) las konvensional (b) ISRT rol tunggal dan (a.1), (b.1) area yang diperbesar ditandai dengan kotak pada Gambar 5.48(a), (b)	161
Gambar 5.49. Ilustrasi <i>buckling distortion</i>	162
Gambar 5.50. Hasil pengukuran distorsi spesimen las FSW	163
Gambar 5.51. Pengukuran suhu dengan termokopel (T_c) pada jarak 10 mm,	

25 mm dan 40 mm dari garis tengah las; (a) las konvensional; (b) TTT; (c) S800; (d) <i>hybrid</i> 800TTT	166
Gambar 5.52. Distribusi nilai kekerasan (permukaan)	167
Gambar 5.53. Distribusi nilai kekerasan pada bagian tengah NZ	168
Gambar 5.54. Struktur mikro pada daerah NZ; (a) las konvensional; (b) TTT; (c) S800; (d) <i>hybrid</i> 800TTT	170
Gambar 5.55. Struktur mikro pada daerah TMAZ-HAZ-NZ; (a) las konvensional; (b) TTT; (c) S800; (d) <i>hybrid</i> 800TTT	171
Gambar 5.56. Sifat tarik spesimen hasil las FSW dari spesimen las konvensional; TTT; S800 dan <i>hybrid</i> 800TTT	173
Gambar 5.57. Lokasi perpatahan uji tarik; (a) las konvensional; (b) TTT; (c) S800; (d) <i>hybrid</i> 800TTT	175
Gambar 5.58. Tegangan sisa arah longitudinal pada semua spesimen yang diukur dengan metode <i>neutron diffraction</i>	177
Gambar 5.59. Tegangan sisa arah transversal pada semua spesimen yang diukur dengan metode <i>neutron diffraction</i>	179
Gambar 5.60. Tegangan sisa arah longitudinal pada semua spesimen yang diukur dengan metode <i>X-Ray diffraction</i>	179
Gambar 5.61. Jumlah siklus, N, vs panjang retak a dari spesimen las konvensional; TTT; S800 dan <i>hybrid</i> 800TTT	180
Gambar 5.62. Kurva da/dN vs ΔK dari spesimen las konvensional; TTT; S800 dan <i>hybrid</i> 800TTT	181
Gambar 5.63. <i>Trendline</i> dari spesimen las konvensional; TTT; S800 dan <i>hybrid</i> 800TTT	182
Gambar 5.64. Fraktografi SEM patahan uji fatik: (a) las konvensional, (b) TTT, (c) S800 (d) <i>hybrid</i> 800TTT dan (a.1), (b.1), (c.1), dan (d.1) area yang diperbesar yang ditandai dengan kotak pada Gambar 5.64(a), (b), (c) dan (d)	184

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian FSW yang telah dilakukan	14
Tabel 3. 1. Pengelompokan <i>wrought</i> aluminium dan <i>cast</i> aluminium	22
Tabel 4. 1. Komposisi kimia dalam % berat	78
Tabel 4. 2. Dimensi <i>tool</i> dan parameter las FSW	78
Tabel 4. 3. Peralatan dan perlengkapan yang digunakan dalam penelitian	79
Tabel 4. 4. Pengaturan peralatan uji XRD	100
Tabel 5. 1. Komposisi kimia dari AA2024-T3 standar	101
Tabel 5. 2. Komposisi kimia dari AA2024-T3 hasil uji	101
Tabel 5. 3. Sifat mekanik dari AA2024-T3 hasil uji	102
Tabel 5. 4. Sifat mekanik dari AA2024-T3 standar	103
Tabel 5. 5. Konstanta Paris spesimen las FSW dan logam induk AA2024-T3	132
Tabel 5. 6. Konstanta Paris	160
Tabel 5. 7. Nilai konstanta paris semua spesimen	183

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema pengelasan FSW dengan penambahan perlakuan	194
Lampiran 2. Peralatan dan alat ukur pengujian	198
Lampiran 3. Hasil pengujian tekstur	200

DAFTAR SIMBOL

a	: panjang retak
A_0	: luas penampang mula-mula
A_f	: luas penampang akhir
B	: tebal spesimen
b_0, b_1 dan b_2	: Parameter regresi
d	: diagonal injakan rata-rata
d_1	: diagonal indentasi 1
d_2	: diagonal indentasi 2
da/dN	: laju pertumbuhan retak
d_{hkl}	: jarak antar bidang pada indek Miller h, k dan l
E	: modulus <i>Young</i> /modulus elastisitas
F	: gaya aksial/gaya tarik
f	: frekwensi
hkl	: indeks Miller untuk bidang kristalografi
H_{net}	: Suhu input
HV	: kekerasan <i>microVickers</i>
k	: konstanta konduktivitas panas
K_I	: intensitas tegangan
K_{max}	: faktor intensitas tegangan kondisi maksimum
K_{min}	: faktor intensitas tegangan kondisi minimum
K_{res}	: faktor intensitas tegangan pada kondisi tegangan sisa
K_t	: faktor konsentrasi tegangan
l_f	: panjang ukur setelah patah
L_0	: panjang mula-mula
l_0	: panjang ukur mula-mula
N	: jumlah siklus
P	: beban
Q	: energi panas
Q_1	: panas yang ditimbulkan oleh <i>shoulder</i>

Q_2	: panas yang ditimbulkan oleh <i>pin</i>
Q_2	: panas yang ditimbulkan oleh ujung <i>pin/probe</i>
q_w	: masukan panas
R	: rasio tegangan
T	: temperatur
T_{c-10}	: termokopel jarak 10mm
T_{c-25}	: termokopel jarak 25mm
T_{c-40}	: termokopel jarak 40mm
T_m	: temperatur cair
ν	: rasio poisson
V	: kecepatan pengelasan
W	: lebar benda
Y	: jarak pengelasan
α	: difusivitas panas
α_{aw}	: Perbandingan antara dua kali panjang retak dan lebar spesimen
σ	: tegangan tarik
σ_m	: tegangan maksimum
$+\sigma_{max}$: tegangan maksimum
$-\sigma_{min}$: tegangan minimum
σ_{ii}	: komponen tegangan tensor
σ_y	: kekuatan luluh
σ_{xx}	: komponen tegangan arah xx
σ_{yy}	: komponen tegangan arah yy
σ_{zz}	: komponen tegangan arah zz
σ	: tegangan tarik
ΔK	: rentang faktor intensitas tegangan
ΔK_{eff}	: rentang faktor intensitas tegangan efektif
ΔK_{th}	: faktor intensitas tegangan <i>threshold</i>
ΔL	: pertambahan panjang
2θ	: sudut difraksi Bragg

ε	: regangan
ε_{hkl}	: regangan bidang
ε_{ii}	: komponen regangan tensor
ε_{xx}	: komponen regangan arah xx
ε_{yy}	: komponen regangan arah yy
ε_{zz}	: komponen regangan arah zz
μ	: koefisien gesek
ω	: putaran <i>shoulder</i>
λ	: panjang gelombang radiasi neutron
ρ	: massa jenis
ρ_c	: panas jenis
θ_{hkl}	: sudut difraksi
C, n	: konstanta paris

DAFTAR SINGKATAN

AS	: <i>Advancing Side</i>
BM	: <i>Base Metal</i>
DCLSND	: <i>Dynamically Controlled-Low Stress No Distortion</i>
EBS	: <i>Electron Backscattered Diffraction</i>
EDX	: <i>Energy Dispersive X-Ray</i>
FCGR	: <i>Fatigue Crack Growth Rate</i>
FSW	: <i>Friction Stir Welding</i>
GMT	: <i>Global Mechanical Tensioning</i>
HAZ	: <i>Heat Affected Zone</i>
ISRT	: <i>In situ Rolling Tensioning</i>
LT	: <i>Long Transverse</i>
ND	: <i>Normal Direction</i>
NDT	: <i>Non Destructive Testing</i>
NZ	: <i>Nugget Zone</i>
RS	: <i>Retreating Side</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>
ST	: <i>Short Transverse</i>
STT	: <i>Static Thermal Tensioning</i>
TMAZ	: <i>Thermomechanically Affected Zone</i>
TD	: <i>Transverse Direction</i>
TTT	: <i>Transient Thermal Tensioning</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>