

ISSN 1410 - 5288



SIGMA

JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI

Vol. 7, No. 2, Juli 2004

Yosaphat Sumardi

SIMULATION OF HYDRAULIC HEAD DISTRIBUTION IN GROUNDWATER
FLOW USING EXPLICIT FINITE DIFFERENCE METHOD

Asan Damanik

THE EFFECTS OF NEUTRINO MAGNETIC MOMENT ON THE DIFFERENTIAL
CROSS-SECTIONS OF ELECTRON-NEUTRINO SCATTERING

Dwi Nugraheni Rositawati

PENGARUH *DOPING* DAN *ANNEALING* TERHADAP KONDUKTIVITAS
LISTRIK FILM POLIANILIN

R. Soemantri

FUNGSI MODULAR

M. Andy Rudhito

SEMIMODUL ATAS ALJABAR MAX-PLUS

Irawati

DAERAH DEDEKIND DAN IDEAL INVERTIBEL

Frans Susilo

PERINGKAT BILANGAN KABUR

J. E. Priyatma

METODE PENGELOMPOKAN BERBASIS RELASI EKIVALENSI KABUR

Doddy Purwadianto dan Jamasri

THE EFFECT OF MULTI OVERLOAD TO THE FATIGUE CRACK GROWTH
BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOYS AL 2024-T3

Yulia Widyaningrum dan Yosef Wijoyo

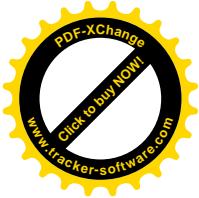
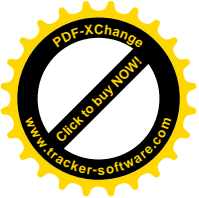
EFEK HEPATOPROTEKTIF KOMBINASI JUS WORTEL DAN APEL HIJAU
PADA MENCIT JANTAN TERINDUKSI PARASETAMOL

Balthasar Elu

PENERAPAN *LEARNING ORGANIZATION* DI RUMAH SAKIT:
PENCiptaan KUALITAS YANG BERFOKUS PADA KONSUMEN

YG. Hartono

TIMBANGAN BUKU



Jurnal sains dan teknologi **SIGMA** diterbitkan dua kali setahun, yaitu pada bulan Januari dan Juli, sebagai wahana komunikasi ilmiah di bidang sains dan teknologi serta lintas-ilmu yang terkait. Penyunting menerima karangan ilmiah dalam bidang-bidang tersebut berupa hasil penelitian, survai, atau telaah pustaka, yang belum pernah dipublikasikan dalam terbitan lain. Penyunting berhak untuk menyunting karangan yang akan dimuat tanpa mengubah isinya. Ketentuan tentang penulisan karangan tercantum pada bagian dalam sampul belakang.

DEWAN PENYUNTING

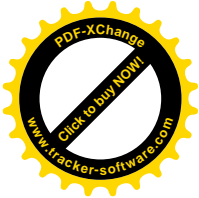
Pemimpin / Penanggungjawab	: Dr. Frans Susilo, SJ
Wakil Pemimpin / Wakil Penanggungjawab	: Ir. Greg Harjanto
Sekretaris	: Dr. C.J. Soegihardjo, Apt
Dewan Penyunting	: Prof. Drs. R. Soemantri Prof. Dra. Moeharti Hadiwidjojo, M.A Ir. P.J. Soedarjana Dr. Imono Argo Donatus, SU, Apt Ir. Bambang Sutopo, M.Phil Drs. J. Eka Priyatma, M.Sc Ir. Ig. Aris Dwiatmoko, M.Sc Dr. Ign. Edi Santosa, M.Si Ir. F.A. Rusdi Sambada, M.T
Penyunting Pelaksana	: Y. Kristio Budiasmoro, S.Si, M.Si Agnes Maria Polina, S.Kom, M.Sc Ir. Tjendro Y.G. Hartono, S.Si., M.Sc
Sekretaris Administrasi	: A. Yunaeni Mariati, S.E

Alamat Penyunting:

FMIPA Universitas Sanata Dharma
Kampus III: Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman.
Teromol Pos 29, Yogyakarta 55002
Telpon: (0274) 883968, 883037. Fax: (0274) 886529
E-mail: sigma@staff.usd.ac.id

Penerbit:

Lembaga Penelitian Universitas Sanata Dharma (LPUSD)
Kampus II: Jl. Gejayan, Mrican
Teromol Pos 29, Yogyakarta 55002
Telpon: (0274) 513301, 515352. Fax: (0274) 562383
E-mail: lemlit@staff.usd.ac.id



SIGMA

JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI

Vol. 7, No.2, Juli 2004

ISSN: 1410-5888

DAFTAR ISI

EDITORIAL	iii
SIMULATION OF HYDRAULIC HEAD DISTRIBUTION IN GROUNDWATER FLOW USING EXPLICIT FINITE DIFFERENCE METHOD <i>Yosaphat Sumardi</i>	93 -107
THE EFFECTS OF NEUTRINO MAGNETIC MOMENT ON THE DIFFERENTIAL CROSS-SECTIONS OF ELECTRON-NEUTRINO SCATTERING <i>Asan Damanik</i>	109 -115
PENGARUH DOPING DAN ANNEALING TERHADAP KONDUKTIVITAS LISTRIK FILM POLIANILIN <i>Dwi Nugraheni Rositawati</i>	117 -122
FUNGSI MODULAR <i>R. Soemantri</i>	123 -129
SEMIMODUL ATAS ALJABAR MAX-PLUS <i>M. Andy Rudhito</i>	131 -139
DAERAH DEDEKIND DAN IDEAL INVERTIBEL <i>Irawati</i>	141 -143
PERINGKAT BILANGAN KABUR <i>Frans Susilo</i>	145 -151
METODE PENGELOMPOKAN BERBASIS RELASI EKIVALENSI KABUR <i>J. E. Priyatma</i>	153 -159
THE EFFECT OF MULTI OVERLOAD TO THE FATIGUE CRACK GROWTH BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOYS AL 2024-T3 <i>Doddy Purwadianto dan Jamasri</i>	161 -171
EFEK HEPATOPROTEKTIF KOMBINASI JUS WORTEL DAN APEL HIJAU PADA MENCIT JANTAN TERINDUKSI PARASETAMOL <i>Yulia Widyaningrum dan Yosef Wijoyo</i>	173 -181
PENERAPAN LEARNING ORGANIZATION DI RUMAH SAKIT: PENCIPTAAN KUALITAS YANG BERFOKUS PADA KONSUMEN <i>Balthasar Elu</i>	183 -194
TIMBANGAN BUKU <i>YG. Hartono</i>	195
INDEKS	197 -199



THE EFFECT OF MULTI OVERLOAD TO THE FATIGUE CRACK GROWTH BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOYS AL 2024-T3

Doddy Purwadianto

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma,
Teromol Pos 29, Yogyakarta 55002*

Jamasri

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of multi overload to the fatigue crack growth behavior of Al 2024-T3. The pre-test of crack growth was performed under the constant amplitude and the periodic single overload, which was used as a comparison test of the result from the multi overload.

The test was performed under the constant amplitude with stress level of 20 %, stress ratio (R) of 0.1 and 0.3, and frequency of 11 Hz. The test, which involved overload was done with Overload Ratio (OLR) of 1.6 and Occurrence Ratio (OCR) of 1/50000. The method used to analyze the crack growth data (da/dN vs ΔK curve) was a polynomial incremental method. The fatigue crack growth behavior can be determined from N vs a or da/dN vs ΔK curve.

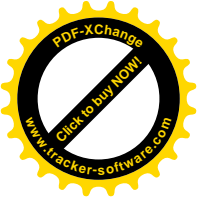
The experimental results show that the fatigue crack growth, with or without overload on the same material, has the same behavior after the effect of overload disappears. The placement of overload in the plastic zone with a longer distance than the radius of the plastic zone on the multi overload test increases the fatigue lifespan.

Keywords: *Fatigue crack growth rate, constant amplitude, multi overload*

1. Pendahuluan

Cacat retak awal dapat ditimbulkan dari perubahan metalurgis oleh karena proses mekanis, termal, maupun kimia. Cacat retak tersebut mula-mula terbentuk di daerah kritis struktur dan sejalan dengan pertumbuhan jumlah siklus beban kerja dinamis, cacat retak akan merambat sampai panjang kritis sehingga struktur tidak dapat beroperasi pada beban yang ditentukan. Salah satu pendekatan penelitian terhadap ketahanan bahan akhir abad ke-20 adalah perambatan retak fatik. Umur kelelahan struktur dapat diidentifikasi melalui jumlah siklus pembebanan dinamis yang dapat ditahan oleh struktur mulai dari terbentuknya permukaan retak sampai panjang retak kritis. Pembebanan dinamis yang melibatkan beban lebih (*overload*) menyebabkan munculnya daerah plastis pada ujung retak yang mengakibatkan terjadinya deformasi plastis permanen, jika beban lebih diadakan plastisitas akan tetap berada di ujung retak dan dikelilingi oleh daerah elastis, dan telah banyak dibuktikan adanya perlambatan perambatan retak.

Bretz, *et al.* (1984) melakukan penelitian perambatan retak fatik (FCG), yaitu *Simple Overload FCG Tests* pada Aluminium paduan (Al 7075 dan Al 7050). Dia menyatakan bahwa terjadi plastisitas akibat beban lebih (*overload*) dengan disertai gaya penutupan retak dan gaya jepit (*clamping forces*) dari daerah elastis yang besar mengelilingi daerah plastis, sehingga terjadi proses perlambatan FCG. Hal ini dipertegas Damri & Knott (1991), bahwa berdasarkan penggunaan beban lebih tunggal akibat beban fatik terjadi efek penutupan retak dengan ditandai munculnya medan tegangan sisa tekan di muka ujung retak untuk jarak siklus tertentu. Perambatan retak berlangsung kembali bersama berkurangnya tegangan sisa.



Tsukuda, *et al.* (1996) melakukan penelitian tentang perambatan retak lelah plat aluminium (Al 2117 – T3) dengan amplitudo konstan dan beban lebih tunggal dengan menggunakan rasio tegangan antara 0 – 0,7. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa perilaku perambatan retak berdasarkan beban lebih pada rasio tegangan tinggi mempunyai perbedaan berarti dengan rasio tegangan rendah yaitu terjadi percepatan retardasi pergerakan laju perambatan retak dan cepat kembali ke level keadaan tetap pada beban dasar. Pada rasio tegangan dengan rasio beban lebih menunjukkan perubahan selang rasio tegangan efektif dengan besarnya retak sebelum beban lebih. Pada pembebanan dengan amplitudo konstan, menurut Kadir, *et al.* (1998) penjalaran retak lelah pelat dipengaruhi oleh rasio beban R, dengan rasio beban yang lebih besar akan memberikan siklus yang lebih besar.

Sarchamy, *et al.* (1998) melakukan penelitian mengenai pengaruh perambatan retak lelah dengan *periodic tensile overload* (R-ratio = 0,05 & 0,40, OLR = 1,60, frekuensi = 1 & 8 Hz) pada aluminium paduan 2024-T351 (tebal = 12 mm, $a_0 = 20$ mm, $a_0/W = 0,20$, type CT) dalam lingkungan air laut (ASTM D1141), dan membandingkan dengan lingkungan udara bebas. Pada R-ratio = 0,05, OLR = 1,60, frekuensi 8 Hz rata-rata pertumbuhan retak di kedua lingkungan tersebut sangat identik atau sama. Rata-rata pertumbuhan retak dengan beban lebih menunjukkan adanya perlambatan pertumbuhan retak dibandingkan dengan pertumbuhan retak tanpa beban lebih dan terdapat daerah retardasi konstan.

Berdasarkan realitas kondisi pengoperasian logam lembaran yang mengalami fluktuasi pembebanan pada suatu siklus pembebanan, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi beban lebih (*overload*) atau *multi overload* terhadap laju perambatan retak fatik, hasilnya dibandingkan dengan perilaku pada *periodic single overload* ataupun tanpa *overload* (amplitudo konstan).

2. Landasan Teori

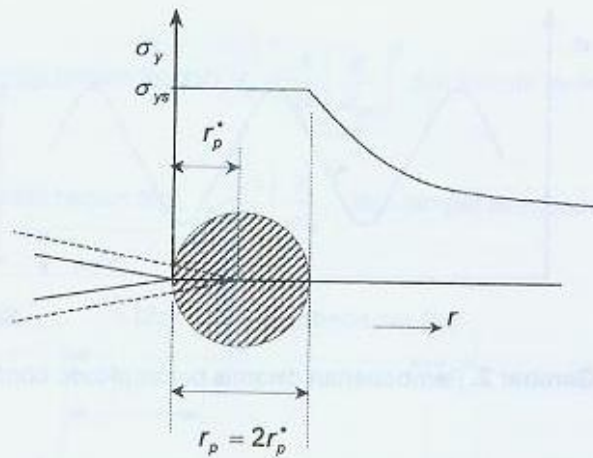
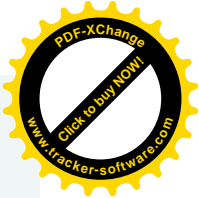
Perambatan retak fatik akibat pembebanan dinamis terjadi pada saat tegangan nominal masih dalam batas elastis, tegangan di sekitar ujung retak telah lebih besar tegangan luluh (σ_{ys}) akibat adanya konsentrasi tegangan, sehingga retak fatik diperkirakan sebagai hasil dari deformasi plastis berulang. Logam cenderung mengalami tegangan luluh di sekitar ujung retak atau cenderung berdeformasi secara plastis dan membentuk daerah plastis, sehingga pada logam singularitas tegangan tidak terjadi. Pendekatan ukuran daerah plastis oleh Irwin dengan mempertimbangkan plastisitas sebagai tambahan semu panjang retak [5], jarak r_p merupakan ukuran daerah plastis.

Kondisi *plane stress* :

$$r_p = 2r_p^* = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{ys}} \right)^2 \tag{1}$$

Kondisi regangan bidang (*plane strain*) :

$$r_p = \frac{1}{3\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{ys}} \right)^2 \tag{2}$$



Gambar 1. Koreksi daerah plastis Irwin

Laju perambatan retak merupakan fungsi faktor intensitas tegangan, dengan:

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta K) = f[(\sigma_{maks} - \sigma_{min})\sqrt{\pi a}] = f(2\sigma_a\sqrt{\pi a}) \quad (3)$$

σ_{maks} = tegangan maksimum, σ_{min} = tegangan minimum, σ_a = amplitudo tegangan

Menurut Paris, dinyatakan
$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (4)$$

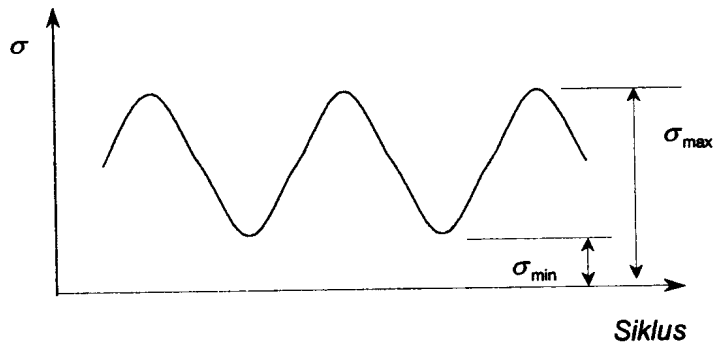
Harga C dan n tergantung jenis material dan ditentukan pada daerah yang menunjukkan hubungan linear dari hubungan $\frac{da}{dN}$ dan ΔK (skala double-log). Harga Faktor Intensitas Tegangan (ΔK) menggunakan standar ASTM E 647 untuk tipe CCT atau M(T) yaitu:

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{T} \sqrt{\frac{\pi \alpha}{2W} \sec \frac{\pi \alpha}{2}} \quad (5)$$

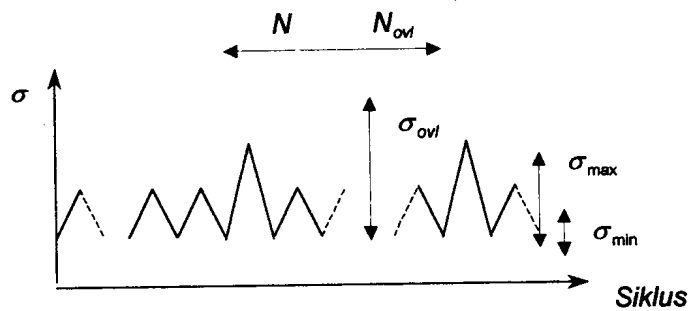
dengan $\Delta P = P_{max} - P_{min}$; $\alpha = 2a/W$, $2a/W < 0,95$. Gambar 2 adalah pembebanan dinamis pada pengujian struktur dengan amplitudo konstan, dan $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$.

Karakteristik perambatan retak fatik oleh karena pembebanan ini masih dapat di korelasikan dengan konsep LEFM, karena plastisitas di ujung retak relatif kecil.

Gambar 3 menunjukkan pembebanan *periodic single overload* ($OCR = N_{ov}/N$) dengan N_{ov} = siklus *overload* = 1, N = siklus amplitudo konstan.



Gambar 2. Pembebanan dinamis beramplitudo konstan



$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

$$OCR = \frac{N_{ovl}}{N}$$

$$OLR = \frac{\sigma_{ovl}}{\sigma_{\max}}$$

Gambar 3. Pembebanan dinamis beramplitudo konstan yang mengalami beban lebih periodic (*periodic single overload*)

3. Cara Penelitian

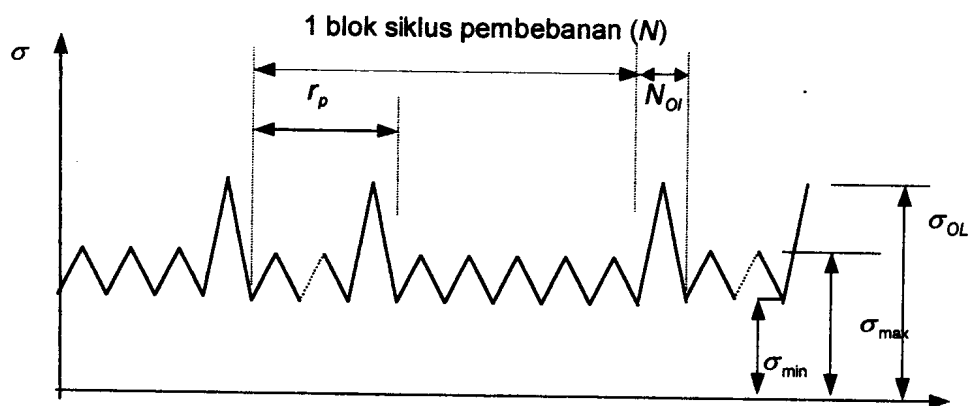
Bahan yang diuji adalah aluminium paduan Al 2024-T3. Bahan uji berupa pelat lembaran yang mempunyai tebal 1,6 mm, kemudian dibuat spesimen uji, yaitu spesimen uji tarik menurut standar ASTM B 557, spesimen uji perambatan retak fatik *Standard Center-Cracked-Tension M(T)* dari Standar ASTM E 647. Jalannya penelitian sebagai berikut:

Uji tarik: dengan menggunakan *servopulser*, benda uji tarik dijepit kemudian beban dinaikkan bertahap dengan beban dasar 2 Ton, besarnya beban maupun pertambahan panjang dilihat dengan *X-Y plotter*, sehingga diperoleh σ_u dan σ_{ys} .

Uji perambatan fatik multi overload: pengujian retak dilakukan dengan menggunakan CCT (*center crack tension*). Sebelum melakukan pengujian laju perambatan retak, diperlukan beberapa persiapan awal untuk menentukan parameter yang diperlukan, level tegangan = 20 %, rasio tegangan (R), beban maksimum (P_{\max}) dan minimum (P_{\min}), dan frekuensi yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan mesin *servopulser* yang beroperasi dibawah kontrol beban dengan frekwensi kira-kira 10-20 Hz. Panjang retak diukur menggunakan *travelling microscope* dan dicatat jumlah siklusnya. Pengujian perambatan retak fatik dimulai pada pembebanan dinamis amplitudo konstan, *periodic single overload* dan *multi overload*. Pada pengujian memakai Rasio tegangan (R) untuk amplitudo konstan sebesar 0,1 dan 0,3, dengan beban lebih $OLR = 1,6$ yang diberlakukan setelah retak merambat 4 mm. *Overload* diberlakukan minimal sebanyak 2 kali (*periode overload* = 1 putaran pembebanan) tiap blok siklus pembebanan dengan amplitudo konstan ($OCR = 1/50000$). Penempatan *overload* kedua (*multi overload*, Gambar 4) tiap blok pembebanan *overload* diberlakukan pada daerah plastis yang diperkirakan (radius daerah plastis Irwin) [5]:

The Effect of Multi Overload to the Fatigue Crack Growth Behavior of Aluminum Alloys Al 2024-T3

- a. Cara 1: daerah plastis bagian tengah, $r_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{ys}} \right)^2$ dari tempat *overload* pertama.
- b. Cara 2: daerah plastis bagian tepi, $r_p = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{ys}} \right)^2$ dari tempat *overload* pertama.



Gambar 4. Perilaku Test Multi Overload, $R = \text{Stress Ratio} = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$
 $OLR = \text{Overload Ratio} = \sigma_{OVI} / \sigma_{\max}$, $OCR = \text{Occurrence Ratio} = N_{OI} / N$
 $N = \text{Banyaknya siklus pembebanan pada amplitudo konstan, } N_{OI} = 1$

Data perambatan retak yang diperoleh dari pengujian perambatan retak berupa panjang retak (a_i) dan siklus (N_i). Analisis pertama dari kedua data tersebut adalah grafik hubungan antara a dan N , grafik dibuat berdasarkan harga rata-rata perambatan retak a dan jumlah siklus N . Harga rata-rata a merupakan panjang keseluruhan retak sebagai berikut:

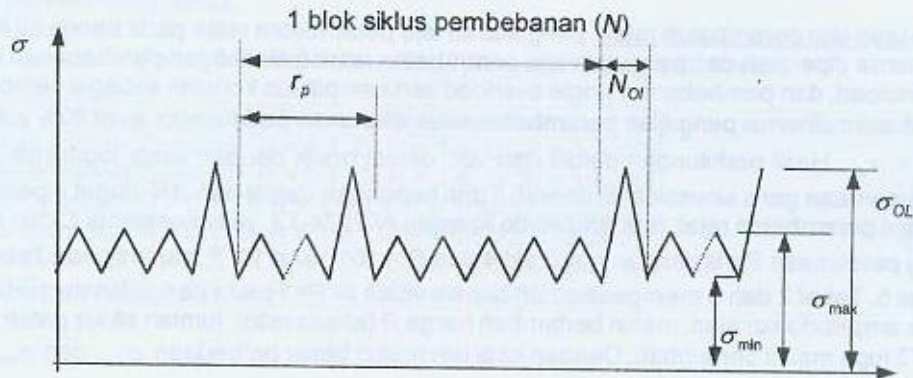
$$a = (a_{kiri} + a_{kanan} + 2a_0) / 2 \tag{6}$$

Sesuai dengan rekomendasi ASTM E 647, pengolahan data dilakukan dengan metode polynomial incremental (incremental polynomial method). Metode ini menggunakan prinsip regresi persamaan polynomial pangkat dua untuk menentukan harga a dan da/dN . Faktor Intensitas tegangan (ΔK) dengan persamaan 5. Dengan menggunakan program dari ASTM E 647 bahasa *Fortran* dan *Microsoft Excel* dapat memperoleh data dan kurva.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil Uji Tarik: dengan mesin uji *servopulse* dan pada beban 2 ton, uji tarik spesimen A 2024-T3 menurut standar ASTM B 557. Tabel 1 memperlihatkan harga σ_u dan σ_y masing-masing tidak jauh berbeda, sehingga harga σ_u dan σ_y rerata diperoleh 49,98 kg/mm² dan 38,95 kg/mm².

- a. Cara 1: daerah plastis bagian tengah, $r_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{ys}} \right)^2$ dari tempat *overload* pertama.
- b. Cara 2: daerah plastis bagian tepi, $r_p = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{ys}} \right)^2$ dari tempat *overload* pertama.



Gambar 4. Perlakuan Test Multi Overload, $R = \text{Stress Ratio} = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$
 $OLR = \text{Overload Ratio} = \sigma_{OL} / \sigma_{\max}$, $OCR = \text{Occurrence Ratio} = N_{Ol} / N$
 $N = \text{Banyaknya siklus pembebanan pada amplitudo konstan, } N_{Ol} = 1$

Data perambatan retak yang diperoleh dari pengujian perambatan retak berupa panjang retak (a_i) dan siklus (N_i). Analisis pertama dari kedua data tersebut adalah grafik hubungan antara a dan N , grafik dibuat berdasarkan harga rata-rata perambatan retak a dan jumlah siklus N . Harga rata-rata a merupakan panjang keseluruhan retak sebagai berikut:

$$a = (a_{\text{diri}} + a_{\text{kanan}} + 2a_0) / 2 \quad (6)$$

Sesuai dengan rekomendasi ASTM E 647, pengolahan data dilakukan dengan metode polynomial incremental (incremental polynomial method). Metode ini menggunakan prinsip regresi persamaan polynomial pangkat dua untuk menentukan harga a dan da/dN . Faktor Intensitas tegangan (ΔK) dengan persamaan 5. Dengan menggunakan program dari ASTM E 647, bahasa *Fortran* dan *Microsoft Excel* dapat memperoleh data dan kurva.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil Uji Tarik: dengan mesin uji *servopulse* dan pada beban 2 ton, uji tarik spesimen Al 2024-T3 menurut standar ASTM B 557. Tabel 1 memperlihatkan harga σ_u dan σ_y masing-masing tidak jauh berbeda, sehingga harga σ_u dan σ_y rerata diperoleh $49,98 \text{ kg/mm}^2$ dan $38,95 \text{ kg/mm}^2$.

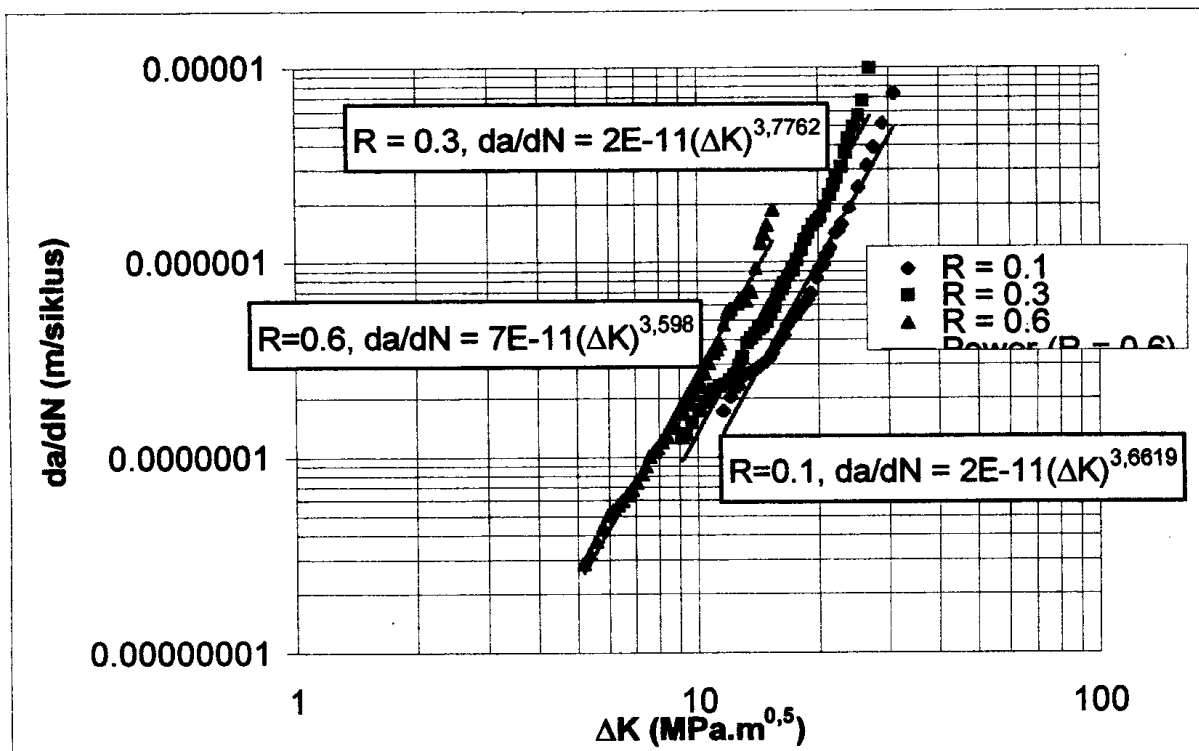
Tabel 1. Hasil pengujian tarik

Spesimen	σ_u (kgf/mm ²)	σ_{ys} (kgf/mm ²)
1	50	39
2	49,11	38,52
3	50,91	39,16
4	49,90	39,12

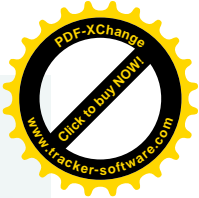
Pengukuran laju perambatan retak: pengukuran laju perambatan retak pada benda uji Al 2024-T3 terutama diperoleh dari pengujian laju perambatan retak fatik dengan pembebanan dinamis multi overload, dan pembebanan single overload serta amplitudo konstan sebagai pembanding. Pembebanan dinamis pengujian perambatan retak dilakukan pada *stress level* 20% yaitu $\sigma_{max} = 20\% \times \sigma_{ult}$. Hasil perhitungan da/dN dan ΔK dibuat grafik dengan skala logaritmik (*double log*). Persamaan garis sinusoidal di daerah II dari hubungan da/dN dan ΔK dapat diperoleh dari pengujian perambatan retak fatik amplitudo konstan Al 2024-T3, yaitu konstanta C dan n sesuai dengan persamaan Paris dengan $n = 3$ s/d 4 dan $C = 10^{-11}$ s/d 10^{-10} , seperti pada Tabel 2 dan Gambar 5. Tabel 2 dan 3 memperlihatkan bahwa untuk $0 < R < 1$ pada pengujian perambatan retak fatik amplitudo konstan, makin bertambah harga R (*stress ratio*), jumlah siklus patah pada A 2024-T3 juga makin bertambah. Dengan kata lain makin besar perbedaan σ_{max} dan σ_{min} , makin kecil jumlah siklus patahnya.

Tabel 2. Jumlah siklus dan harga n pada Amplitudo Konstan

Jenis uji perambatan retak fatik	Jumlah siklus	n
Amplitudo konstan, $R = 0,1$	49992	3,662
Amplitudo konstan, $R = 0,3$	73032	3,776
Amplitudo konstan, $R = 0,6$	339309	3,598



Gambar 5. Hubungan ΔK dan da/dN Al 2024-T3 pada Amplitudo Konstan

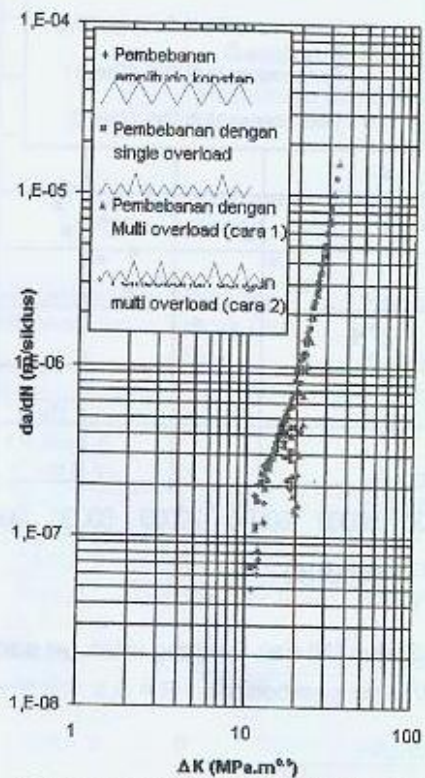


Dari Tabel 3 terlihat bahwa jumlah siklus patah pengujian perambatan retak fatik dari yang paling besar adalah pengujian perambatan retak *multi overload*, pengujian perambatan retak *periodic single overload*, pengujian perambatan retak amplitudo konstan.

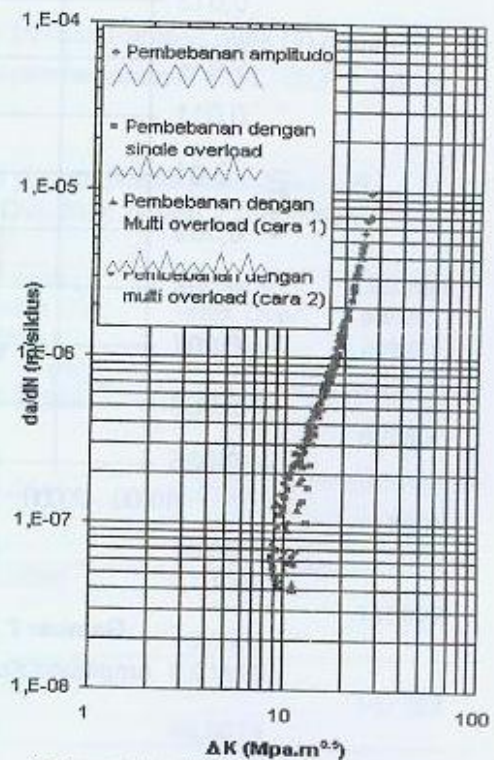
Adanya variasi pembebanan yaitu *overload* pada pembebanan dinamis amplitudo konstan mengakibatkan perlambatan perambatan retak atau peningkatan umur lelah. Tabel 2 dan 3 juga memperlihatkan bahwa makin besar harga R ($0 < R < 1$) pada pengujian yang sama, makin besar jumlah siklus patahnya atau terjadi perlambatan perambatan retak. Gambar 6 menunjukkan bahwa setelah variasi *overload* diberlakukan dan setelah melewati daerah plastis, perambatan retak kembali hanya dipengaruhi pembebanan dengan amplitudo konstan yang mempunyai perilaku yang sama.

Tabel 3. Jumlah siklus hasil pengujian perambatan retak.

Jenis Uji Perambatan Retak Fatik	Jumlah Siklus
<i>Periodic Single Overload</i> , $R = 0,1$, $OLR = 1,6$, $OCR = 1/40000$	78275
<i>Periodic Single Overload</i> , $R = 0,3$, $OLR = 1,6$, $OCR = 1/50000$	112070
<i>Multi Overload</i> , $R = 0,1$, $OLR = 1,6$, $OCR = 1/50000$ (cara 1)	85340
<i>Multi Overload</i> , $R = 0,1$, $OLR = 1,6$, $OCR = 1/50000$ (cara 2)	101277
<i>Multi Overload</i> , $R = 0,3$, $OLR = 1,6$, $OCR = 1/50000$ (cara 1)	145927
<i>Multi Overload</i> , $R = 0,3$, $OLR = 1,6$, $OCR = 1/50000$ (cara 2)	147783



(A) $R = 0,1$; $OLR = 1,6$; $OCR = 1/50000$



(B) $R = 0,3$; $OLR = 1,6$; $OCR = 1/50000$

Gambar 6. Hubungan ΔK dan da/dN Al 2024-T3 hasil pengujian perambatan retak fatik pada Amplitudo konstan dan variasi pembebanan

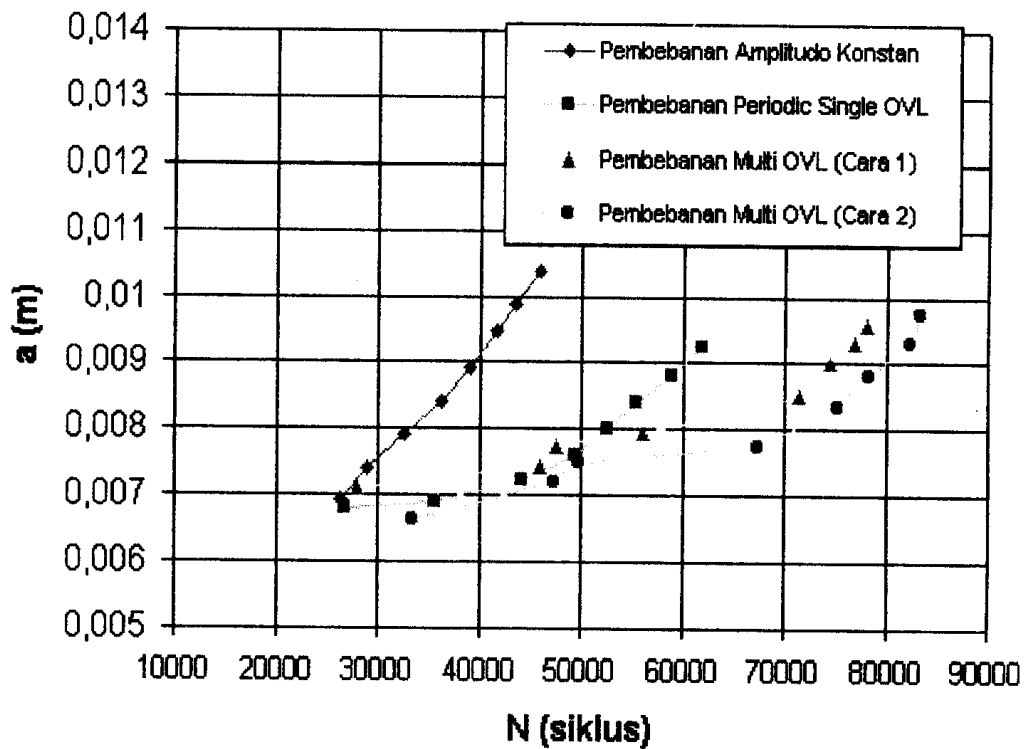


Gambar 7 dan 8 menunjukkan hubungan N (siklus) dan panjang retak a yang dimulai harga a sekitar 0,007 m, dan awal penempatan beban *overload* pada *periodic single overload* maupun *multi overload*. Gambar tersebut juga memperlihatkan adanya pertambahan umur fatik setelah dilakukan *overload* ke dua di daerah plastis pada pengujian *multi overload*. Penempatan *overload* ke-2 untuk cara 1 maupun cara 2 sangat tergantung pada besarnya beban *overload*, panjang retak dan harga K_{ovl} (persamaan 5):

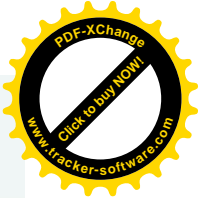
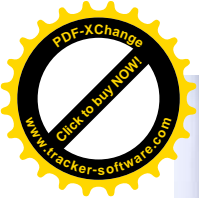
$$K_{ovl} = \frac{P_{ovl}}{T} \sqrt{\frac{\pi \alpha}{2W} \sec \frac{\pi \alpha}{2}} \dots\dots\dots(7)$$

dengan $\alpha = \frac{2a}{W}$ dan koreksi daerah plastis Irwin : $r_p = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{ovl}}{\sigma_{ys}} \right)^2$. Tabel 4 memperlihatkan

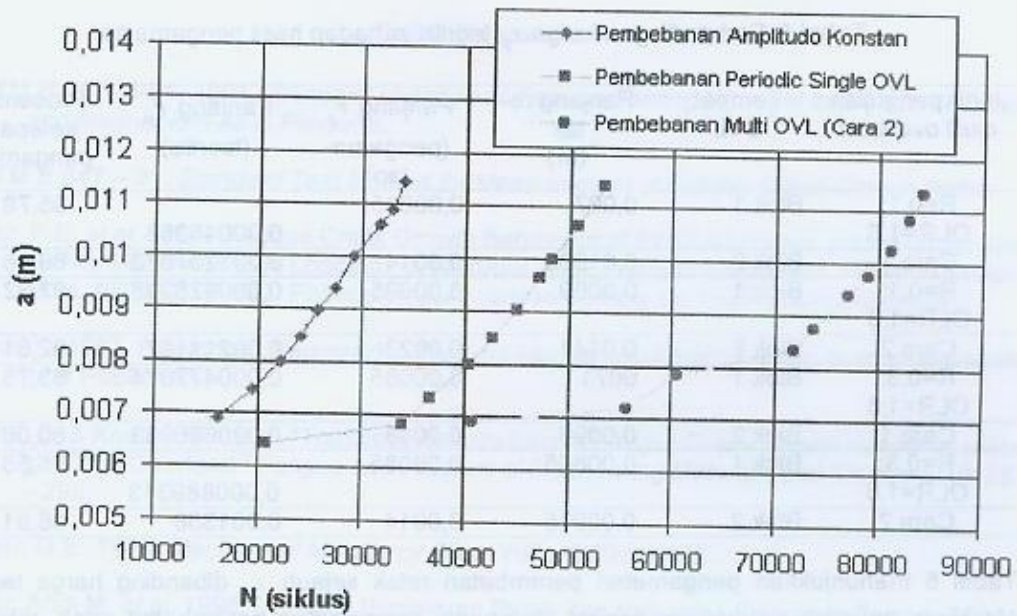
penempatan *overload* ke dua di daerah plastis pada pembebanan *multi overload*. *Overload* ke dua di daerah plastis menghasilkan zona/daerah plastis baru yang melampaui batas zona/daerah plastis sebelumnya dan menggantikan yang lama (Wheeler, 1971). Sehingga besar kecilnya pertambahan umur fatik pada *multi overload* tergantung penempatan *overload* ke-2 di daerah plastis. Jika penempatan *overload* ke dua di daerah plastis $\geq 1/2$ diameter daerah plastis, maka makin besar perlambatan perambatan retak dan umur lelah.



Gambar 7. Hubungan Siklus (N) dan Panjang retak (a) pada Amplitudo Konstan dan Variasi pembebanan $R = 0,3$; $OLR = 1,6$



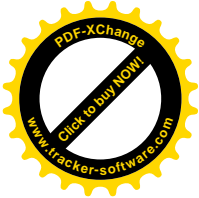
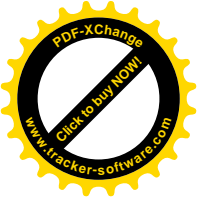
The Effect of Multi Overload to the Fatigue Crack Growth Behavior of Aluminum Alloys Al 2024-T3



Gambar 8. Hubungan Siklus (N) dan Panjang retak (a) pada Amplitudo Konstan dan Variasi pembebanan $R = 0,1$; $OLR = 1,6$

Tabel 4. Penempatan Overload ke-2 pada daerah plastis (*multi overload*) ($OCR = 1/50000$, antara OVL Blok 1 dan OVL Blok 2) atau r_p penelitian

Jenis pengujian <i>multi overload</i>	Panjang retak OVL Blok 1 (m)	Panjang retak Overload ke-2 (m)	Panjang retak OVL Blok 2 (m)	Panjang retak Overload ke-2 (m)	Jumlah siklus patah
R=0,1 ; OLR=1,6 CARA 1	0,007	0,00745	0,01565	0,01705	85340
R=0,1 ; OLR=1,6 CARA 2	0,0069	0,00785	0,0141	0,0165	117609
R=0,3 ; OLR=1,6 CARA 1	0,0071	0,00775	0,0096	0,0104	145927
R=0,3 ; OLR=1,6 CARA 2	0,00665	0,0075	0,00975	0,01115	147783



Tabel 5. Perbandingan harga r_p teoritis terhadap hasil pengamatan

Jenis pengujian <i>multi overload</i>	Tempat OVL	Panjang re-tak (m)	Panjang r_p (pengamatan)	Panjang r_p (teoritis)	Prosentase ketepatan pengamatan
R=0,1; OLR=1,6 Cara 1	Blok 1	0,007	0,00045	0,00046983	95,78 %
R=0,1; OLR=1,6 Cara 2	Blok 2	0,01565	0,0014	0,001237373	86,86 %
R=0,3; OLR=1,6 Cara 1	Blok 1	0,0069	0,00095	0,000925218	97,32 %
R=0,3; OLR=1,6 Cara 2	Blok 2	0,0141	0,0023	0,00214167	92,61 %
R=0,3; OLR=1,6 Cara 1	Blok 1	0,0071	0,00065	0,000477074	63,75 %
R=0,3; OLR=1,6 Cara 2	Blok 2	0,0096	0,0008	0,000666983	80,06 %
R=0,3; OLR=1,6 Cara 1	Blok 1	0,00665	0,00085	0,000889313	95,58 %
R=0,3; OLR=1,6 Cara 2	Blok 2	0,00975	0,0014	0,001358	96,91 %

Tabel 5 menunjukkan pengamatan perambatan retak sejauh r_p dibanding harga teoritis. Meskipun *traveling microscope* sangat membantu pengamatan perambatan retak, rata-rata prosentase penyimpangan data pengamatan terhadap teoritisnya masih sekitar 88,61 %. Hal ini disebabkan karena overload diberlakukan mulai retak merambat sejauh 7 mm, sehingga susah mengamati hasil retak yang sangat lembut.

Tabel 6. Pertambahan umur lelah pengujian perambatan retak fatik pada variasi beban lebih (*overload*) terhadap amplitudo konstan (Tabel 4.3.)

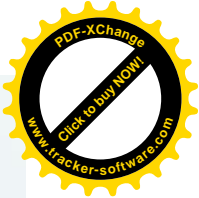
Jenis pengujian berdasarkan nilai <i>Stress Ratio</i>	Periodic Single Overload (%)	Multi Overload	Multi Overload
		Cara 1 (%)	Cara 2 (%)
R = 0,1	56,57	70,71	102,59
R = 0,3	53,45	99,81	102,35

Tabel 6 memperlihatkan prosentase pertambahan umur lelah yang meningkat berdasarkan masing-masing nilai R pada pengujian perambatan retak fatik. Jumlah siklus patah pada pengujian *multi overload* cara 2 untuk $R = 0,1$ maupun $R = 0,3$ sebesar dua kali jumlah siklus pada pengujian perambatan retak fatik amplitudo konstan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Perambatan retak fatik berdasarkan pembebanan *multi overload* akan berperilaku sama dengan perambatan retak fatik amplitudo konstan setelah hilangnya pengaruh plastisitas karena pembebanan *overload* di ujung retak.
- Penempatan pembebanan *overload* di daerah plastis (daerah plastis hasil pembebanan *overload* sebelumnya) berjarak lebih besar atau sama dengan setengah diameter daerah plastis dari ujung retak, makin meningkatkan umur fatik. Untuk hasil pengujian perambatan retak fatik *periodic single overload* pertambahan umur fatiknya sebesar $\pm 53\%$ dari pengujian dengan amplitudo konstan, sedangkan untuk hasil pengujian perambatan retak fatik *multi overload* cara 1 dan cara 2 pertambahan umur fatiknya sebesar $\pm 70\%$ dan $\pm 102\%$ dari pengujian dengan amplitudo konstan.
- Penempatan pembebanan *overload* di daerah plastis menghasilkan daerah plastis baru yang melampaui batas daerah plastis sebelumnya, sehingga mengakibatkan perlambatan perambatan retak.



Daftar Kepustakaan

- ASTM B 557 M-84. 1991. *Standard Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium-Alloy Products*.
- ASTM E 647 – 91. *Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates*.
- Bretz, P.E. et al. 1984. "Fatigue Crack Growth Behaviour of 7XXX Aluminum Alloys under Simple Variable Amplitude Loading." J. Stanford (Ed). *Fracture Mechanics: Fifteenth Symposium*. ASTM STP 833. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Brock, D. 1987. *Elementary Engineering Fracture Mechanics*. Fourth Edition. Boston: Martin Nijhoff Publishers.
- Damri, D. & Knott, J. F. 1991. "Transient Retardations in Fatigue Crack Growth Following a Single Peak Overload." *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structure*, **14**: 287 – 298.
- Dieter, G.E. 1986. *Mechanical Metallurgy*. New York: McGraw-Hill.
- Kadir, Andi M. et al. 1998. "Analisis Penjalaran Retak dan Kekuatan Sisa pada Pelat Al 2024 – T3 Secara Eksperimental". *Prosiding Seminar 'Fatigue & Fracture Mechanics'*. Bandung: Laboratorium Perencanaan Mesin ITB: 174 – 184.
- Jamal, Abdul Muzzakar. 1998. *Analisis Perilaku Laju Perambatan Retak Fatik Berdasarkan Beban Lebih Tunggal pada Al 2024 – T3 Produk Chemical Milling*. Tesis S2. Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin Jurusan Ilmu-ilmu Teknik UGM.
- Sarchamy, et al. 1998. *Effect of Periodic Tensile Overload on Fatigue Crack Behaviour in 2024–T351 Alloy in an Aggressive Environment*.
- Tsukuda, H. et al. 1996. "Transient Fatigue Crack Growth Behaviour Following Single Overloads at High Stress Ratios." *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, **19** (7): 879 – 891.

DODDY PURWADIANTO

Tahun 1992 lulus Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik UGM dan tahun 2002 lulus Magister Teknik pada Program Pascasarjana UGM. Mulai tahun 1997 menjadi staf pengajar pada jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma.