

METODE PREDIKSI BERBASIS GREY MODEL UNTUK PROGNOISIS PERAMBATAN RETAK

Rivco Mamoto¹⁾, Stenly Tangkuman²⁾, Michael Rembet³⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT, Manado

ABSTRAK

Salah satu masalah yang sering muncul dalam bidang keteknikan adalah keretakan. Keretakan cenderung menyebabkan kerusakan pada komponen. Karena ini, prediksi keretakan merupakan suatu hal yang penting. Prediksi dilakukan sehingga keretakan bisa diprognoisa. Prognoisa suatu keretakan dilakukan agar kegagalan suatu komponen dapat dicegah. Tujuan penelitian ini adalah pengembangan metode *Grey Model* sebagai basis prediksi dan penerapan metode *Grey Model* hasil pengembangan pada prediksi perambatan retak. Metode ini digunakan untuk prediksi panjang keretakan pada suatu komponen dengan menggunakan data uji keretakan yang diambil dari berbagai sumber penelitian. Pengembangan dilakukan dengan modifikasi persamaan dasar *Grey Model* agar hasil prediksi lebih akurat. Tambahan pula, Nilai galat digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil prediksi.

Alur penelitian ini ada lima, yaitu studi pustaka, simulasi *Grey Model* dasar, modifikasi nilai latar, simulasi *Grey Model* modifikasi, dan penerapan *Grey Model* modifikasi.

Dari hasil simulasi, terjadi penurunan nilai galat pada ketiga data. Penurunan nilai galat pada ketiga data secara berturut-turut adalah sebesar 14,07 %, 4,01 %, dan 6,93 %. Dengan demikian, pengembangan *Grey Model* untuk prognosis perambatan retak telah berhasil dibuat.

Kata kunci: Keretakan, Prognoisis, *Grey Model*, Metode Prediksi

ABSTRACT

The crack is one of the frequent problems in engineering field. It effectively cause the component become fail. Therefore predicting crack growth is very important. Prediction was applied, so crack can be prognosed. In order to prevent failure in a component, crack prognostics have applied. The aim of this research is developing of Grey Model as a predictor, and application of developed Grey Model on crack growth prediction. The crack growth data acquired from experimental files were employed for evaluating the proposed method. A modification has made to improve the accuracy of prediction. In addition, error parameter has involved for evaluating the predicting performance.

The methodology of this paper consists of five stages. That are theoretical study, simulation of basic grey model, background value modification, simulation of modified grey model, and application of modified grey model.

The result shown there are decrease of error values on the prediction. The reduction of error values of three prediction data are 14,07 %, 4,01 %, and 6,93 % respectively. Thus, the development of grey model for crack growth prognostic has successfully made.

Keyword: Crack, Prognostics, Grey Model, Prediction Method

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keretakan pada komponen mesin merupakan hal yang tidak diinginkan. Umumnya keretakan terjadi akibat beban dan salah satu beban penyebab keretakan adalah beban berulang. Akibat ini, keretakan akan merambat sehingga keagalan pada komponen pasti terjadi. Karena itu, perambatan retak penting untuk diketahui sebelum adanya kegagalan tersebut. Namun, kegagalan pada komponen dapat diprognoisa dan ilmu yang mempelajari ini disebut prognosis.

Prognosis digunakan sebagai perawatan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*) (Shin dkk, 2015). Selanjutnya, pronogsis dapat dilakukan dengan berbagai metode. Satu diantaranya adalah metode *Grey Model*.

Metode *Grey Model* pertama kali diperkenalkan oleh professor Deng (1982). Metode ini dapat digunakan walaupun data kurang lengkap. Ini karena metode tersebut efektif saat analisis, pemodelan, prediksi, pengambilan keputusan dan kontrol (Jie dkk, 2010). Metode ini

memberikan hasil estimasi yang cukup akurat. Namun, peningkatan hasil prediksi masih dapat dilakukan. Selain itu, prognosis pada perambatan retak dengan bantuan metode tersebut juga dapat dilakukan.

1.2. Tinjauan Pustaka

Prognosis dengan bantuan metode *Grey Model* banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang diantaranya teknologi informasi, energi, industri, ekonomi, resiko kecelakaan, dan lingkungan. Dua penelitian yang menggunakan metode *Grey Model* adalah tim yang dipimpin oleh Jie Gu di tahun 2010 serta Tangkuman dan Yang di tahun 2011.

Tim yang dipimpin oleh Jie Gu mengembangkan metode prediksi *Grey Model* untuk prognosis kegagalan komponen elektronik (Jie dkk, 2010). Pada penelitian ini, pendekatan prognosis dilakukan dalam dua kasus. Pada kasus pertama, prediksi dilakukan di papan elektronik dengan komponen *ball grid array* (BGA) dan *quad flat package* (QFP) yang diberi pembebanan siklus termal. Di lain pihak, pada kasus kedua, prediksi

dilakukan di papan elektronik dengan komponen kapasitor yang diberi pengujian suhu, kelembapan, dan bias.

Tangkuman dan Yang (2011) menggunakan metode Grey pada penelitian tentang prediksi berbasis metode Prognosis. Dalam tulisan ini, metode *Grey Model* dipakai untuk memprediksi penurunan kinerja mesin kompresor metana rendah (*low methane compressor*).

Selain penelitian dengan bantuan metode *Grey Model* di atas, penelitian tentang perambatan retak juga dilakukan. Satu diantaranya adalah Tiasuti, J. (2016). Peneliti ini meneliti tentang laju dan mekanisme perambatan retak fatik baja AISI 1020 pada penampang patahan spesimen hasil uji. Akhirnya, perbandingan panjang retak dan jumlah siklus dihitung dengan bantuan metode *polynomial incremental*.

Berdasarkan penelitian di atas, metode *Grey Model* telah digunakan pada prediksi berbasis prognosis. Namun, prognosis dengan bantuan metode *Grey Model* belum digunakan pada perambatan retak. Jadi, pada

penelitian ini metode *Grey Model* digunakan sebagai basis prediksi pada prognosis perambatan retak.

1.3. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini didasarkan pada Pendahuluan dan Tinjauan Pustaka di atas. Berdasarkan itu, masalah pertama dirumuskan sebagai penerapan metode *Grey Model* pada prognosis perambatan retak. Selanjutnya, rumusan masalah kedua adalah modifikasi metode *Grey Model* sehingga prediksi dapat ditingkatkan.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini ada tiga. Batasan pertama adalah perhitungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Matlab Version 7.10.0.499 (R2010a). Selanjutnya, batasan kedua adalah data tiga peneliti lain digunakan sebagai data pembanding. Akhirnya, perubahan formula dasar hanya dilakukan di persamaan nilai latar (*background value*), dengan notasi yang digunakan yaitu Z merupakan batasan ketiga.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ada dua. Tujuan pertama adalah pengembangan metode *Grey Model* sebagai basis prediksi. Penerapan metode *Grey Model* hasil pengembangan pada prognosis perambatan retak merupakan tujuan kedua.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ada dua. Pertama adalah sebagai dasar perhitungan untuk prediksi berbasis prognosis perambatan retak. Selain itu, tingkat akurasi hasil prediksi lebih akurat akibat modifikasi formula dasar *Grey Model* merupakan manfaat penelitian yang kedua.

II. LANDASAR TEORI

2.1. *Grey Model*

Grey Model mempunyai tiga perhitungan pokok. Ketiga perhitungan tersebut adalah *accumulation generation*, *invers accumulated generation*, dan *grey modelling*. Persamaan diferensial *Grey Model* dibangun pada perhitungan *accumulation generation*. Metode ini bisa

digunakan meski data yang dipakai kurang lengkap. Namun, jumlah data yang digunakan harus lebih dari empat suku deret data sebagai data aktual dalam prediksi (Hsu, Chen, 2003). Selanjutnya, ketiga perhitungan pokok di atas dilakukan dalam empat tahap.

Tahap pertama: Pembentukan deret data awal.

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(i), \dots, x^{(0)}(n))$$

n adalah jumlah data dan i adalah deret bilangan asli dari satu hingga n

Tahap kedua: Perhitungan AGO

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(i), \dots, x^{(0)}(n))$$

Secara matematika, nilai AGO suku ke- k dapat dituliskan sebagai berikut:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k (i), \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Tahap ketiga: Perhitungan persamaan diferensial orde pertama *Grey Model*.

$$\frac{dx^{(0)}}{dt} + ax^{(1)} = b$$

Parameter a dan b secara berturut-turut disebut koefisien pengembang (*developing coefficient*) dan masukan Grey (*Grey input*) (Ali dkk, 2011). Parameter ini bisa didapat dengan bantuan metode kuadrat sederhana.

Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$x^{(0)}(k) + aZ^{(1)}(k) = b, \quad k = 2, 3, \dots, n$$

Persamaan tersebut data ditulis kedalam bentuk matriks. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

Nilai latar dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$Z^{(1)}(k+1) = (1/2) \times (x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k+1))$$

Jika $Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$ dan $B =$

$$\begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, \text{ maka nilai } a \text{ dan } b$$

diperoleh dari persamaan berikut:

$$(B^T B)^{-1} B^T Y_n = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

Tahap keempat: perhitungan nilai prediksi AGO dan nilai prediksi aktual.

Nilai prediksi AGO dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right) e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

Selanjutnya nilai prediksi aktual dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k)$$

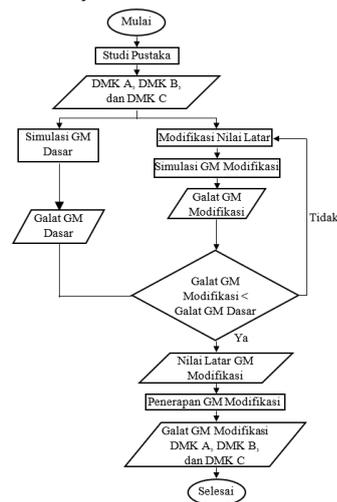
III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan seperti pada Gambar 3.1. Pada gambar tersebut terlihat bahwa prosedur dilakukan dalam lima tahapan. Kelima tahapan tersebut adalah studi pustaka, simulasi *Grey Model* dasar, modifikasi nilai latar, simulasi *Grey Model* modifikasi, dan penerapan *Grey Model* modifikasi.

1. Studi Pustaka

Studi pustaka pada penelitian ini adalah eksplorasi dan pendalaman materi *Grey Model* serta penerapannya. Tambahan pula, tahap ini adalah mencari data keretakan yang akan dipakai menggunakan metode *Grey Model*.



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

2. Simulasi *Grey Model* Dasar

Simulasi *Grey Model* dasar didasarkan pada persamaan *Grey Model* dasar. Setelah simulasi ini dilakukan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui tingkat kekeliruan antara nilai aktual atau nilai hasil pengujian dengan nilai hasil prediksi menggunakan nilai galat. Tahap hanya menggunakan DMK A (data mentah keretakan A) dalam perhitungan awal dalam simulasi.

1. Modifikasi Nilai Latar

Modifikasi nilai latar dilakukan untuk menaikkan tingkat akuratan hasil prediksi yang dibuat. Modifikasi dilakukan karena Mao dan Chirwa (2006) serta Vichare dkk (2010) mendapati bahwa nilai latar, dengan notasi Z pada *Grey Model* dasar sangat mempengaruhi nilai prediksi.

2. Simulasi *Grey Model* Modifikasi

Simulasi *Grey Model* modifikasi dilakukan dengan menggunakan persamaan *Grey Model* yang telah dimodifikasi. Setelah simulasi dilakukan, selanjutnya dihitung nilai galat dari simulasi *Grey Model* modifikasi. Tambahan pula,

tahap ini juga hanya menggunakan DMK A dalam simulasi.

3. Penerapan *Grey Model* Modifikasi

Penerapan *Grey Model* Modifikasi merupakan tahap terakhir dalam penelitian. Pada tahap ini, persamaan *Grey Model* modifikasi diterapkan pada DMK B dan DMK C. Setelah itu, dihitung nilai galat pada kedua DMK tersebut.

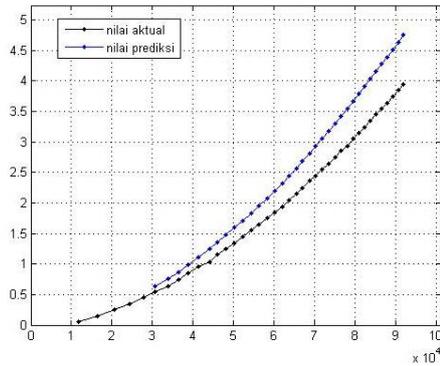
IV. SIMULASI GREY MODEL

Simulasi *Grey Model* dilakukan menggunakan tiga data mentah. Ketiga data ini diperoleh dari sumber uji penelitian yang masih dalam bentuk grafik. Oleh sebab itu, data-data tersebut terlebih dahulu diubah ke bentuk tabel angka. Untuk mengubah data tersebut ke dalam bentuk angka, maka digunakan metode interpolasi linear.

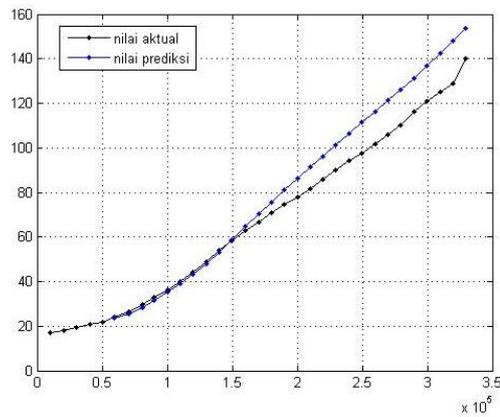
4.1. Simulasi *Grey Model* Dasar

Simulasi *Grey Model* dasar untuk DMK A dapat dilihat pada gambar 2. Kemudian, simulasi pada DMK B dan DMK C dapat dilihat pada gambar 3 dan 4. Pada gambar 2, nilai galat yang diperoleh sebesar 19,08%. Selanjutnya, pada gambar 3 dan 4 nilai galat yang diperoleh secara

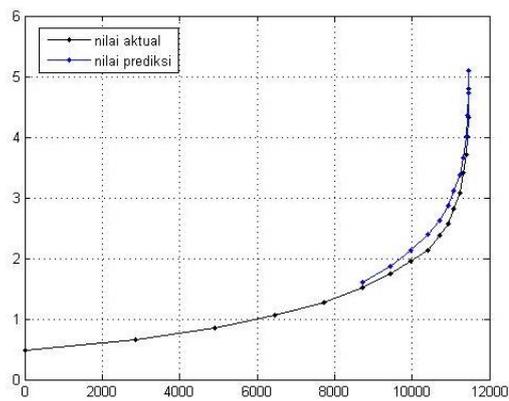
berturut-turut sebesar 8,3% dan 9,01%.



Gambar 4.1 Simulasi Grey Model dasar untuk DMK A



Gambar 4.2. Simulasi Grey Model dasar untuk DMK B



Gambar 4.3 Simulasi Grey Model dasar untuk DMK C

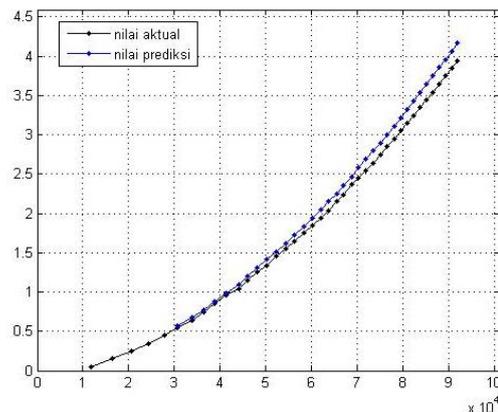
4.2. Modifikasi Nilai Latar

Modifikasi nilai latar yang dilakukan menghasilkan persamaan *Grey Model* modifikasi. Sebelum dimodifikasi, nilai latar adalah $Z^{(1)}(k + 1) = (1/2) \times (x^1(k) + x^1(k + 1))$, namun setelah dimodifikasi, nilai latar menjadi seperti berikut:

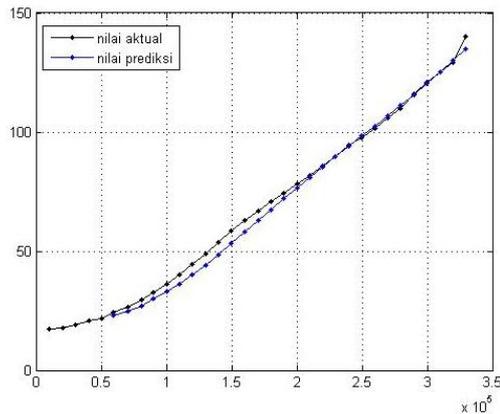
$$Z^{(1)}(k + 1) = (1/1,9) \times (1,05 \times x^1(k) + x^1(k + 1)).$$

4.3. Simulasi Grey Model Modifikasi

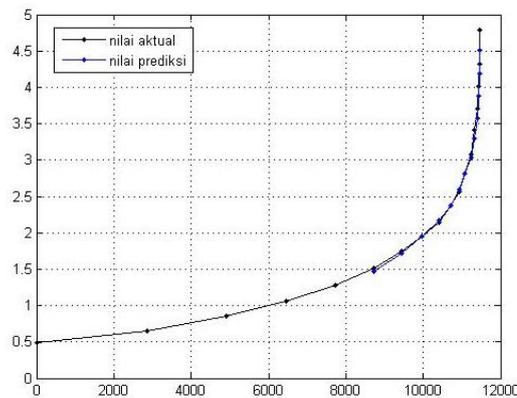
Simulasi *Grey Model* Modifikasi untuk DMK A, DMK B, dan DMK C dapat dilihat pada gambar 5,6 dan 7. Pada gambar 5, nilai galat yang diperoleh adalah 5,01%. Kemudian, pada gambar 6, nilai galat sebesar 4,29%. Setelah itu, nilai galat pada gambar 7 adalah 2,08%.



Gambar 4.4. Simulasi Grey Model modifikasi untuk DMK A



Gambar 4.5. Simulasi Grey Model modifikasi untuk DMK B



Gambar 4.6. Simulasi Grey Model modifikasi untuk DMK C

4.4. Penerapan Metode Grey Model

Penerapan metode Grey Model dapat dilakukan pada beberapa komponen mesin. Komponen-komponen mesin yang bisa menerapkan metode Grey Model ini antara lain adalah berbagai jenis poros pada turbin, cover pada pesawat terbang komersial, blok mesin generator, dan roda gigi.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Modifikasi persamaan metode Grey Model sebagai prediksi untuk basis prognosis pada perambatan retak telah berhasil dibuat. Modifikasi dilakukan pada persamaan nilai latar. Persamaan nilai latar menjadi $Z^{(1)}(k + 1) = \left(\frac{1}{1,9}\right) \times ((1,05 \times x^1(k)) + x^1(k + 1))$.

Modifikasi persamaan Grey Model dasar menghasilkan perubahan nilai galat. Nilai galat sebelum modifikasi untuk DMK A adalah 19,08 %, DMK B adalah 8,3 %, dan DMK C adalah 9,01 %. Setelah modifikasi, nilai galat untuk DMK A adalah 5,01 %, DMK B adalah 4,29 %, dan DMK C adalah 2,08 %.

5.2 Saran

Saran yang bisa didapat dari penelitian ini ada dua. Yang pertama yaitu modifikasi persamaan menggunakan Grey Model sebaiknya dilanjutkan pada persamaan selain persamaan nilai latar agar perbaikan nilai galat yang diperoleh bisa lebih besar dari sebelumnya. Saran yang kedua adalah penelitian ini dapat dilanjutkan pada pengembangan metode pronosis perambatan retak.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Karmiadi, 1998. *Sifat Perambatan Retak Aluminium Paduan 2024_T3 Akibat Beban Biharmonik*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi III. pp 76-80
- Hsu, C. and Chen, C. 2003. *Application of Improved Grey Prediction Model for Power Demand Forecasting*. Energy Conversion and Management, Is. 44, pp. 2241-2249
- Gu, J., Vichare, N., Ayyub, B and Petch, M. 2010. *Application of Grey Prediction Model for Failure Prognostics of Electronics*. International Journal of Performability Engineering, Vol. 6, No. 5, pp 435-442.
- Anshari, H. 2010. Karakteristik Laju Perambatan Retak Fatik Bahan Komposit Berpenguat Serat Kenaf dengan Matrik Polyester. Skripsi Program S1 Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Tangkuman, S. and Yang, B. 2011. *Application of Grey Model for Machine Degradation Prognostics*. Journal of Mechanical Science and Technology, Is. 25, pp 2979-2985
- Mohammadi, A., Moradi, L., Talebjenad, A and Nadaf, A. 2011. *The Use of Grey System Theory in Predicting the Road Traffic Accident in Fars Province in Iran*. Australian Journal of Bussiness and Management Research, Vol. 1, Is. 9, pp.18-23.
- Ljustell, P. 2013. Fatigue Crack Growth Experiments and Analyses from Small Scale to Large Scale Yielding at Constant and Variable Amplitude Loading. Doctoral Thesis pf KTH School of Engineering Science Royal Institute, Sweden.
- Zhenqy, S. and Minghui, H. 2013. *Fatigue Crack Propagation of New Aluminium Lithium Alloy Bonded with Titanium Alloy Strap*. Chinese Journal of Aeronautics, Vol.26, Is.3, pp. 601-605
- Chandra, D., Purbolaksono, J., Nukman, Y., Liew, H., Ramesh, S., and Hassan, M. 2014. *Fatigue Growth of a Surface Crack in a V-Shaped Notched Round Bar Under*

- Cyclic Tension*. Journal of Zhejiang University SCIENCE. Vol.15, no.11, pp.873-882
- Shin, J, Jun H. 2015. *On Condition Based Maintenance Policy*. Jurnal of Computational Design and Engineering 2, Vol.1, pp 119-127.
- Tangkuman, S. 2016. *A Revised Understanding of Engineering Prognostics*. Jurnal Tekno Mesin, Vol. 2. Nomor 3, pp 15-19
- Tiastuti, J. 2016. Analisis Perambatan Retak Fatik Baja AISI 1020. Skripsi Program S1 Teknik Mesin Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Anis, A. 2016. *Prediction of Fatigue Life Of Welded Structures*. American Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Vol.1, Is.3, pp.91-95
- Anonimous, *Fatigue Crack Growth Analysis Review*,
http://www.engineersedge.com/material_science/fatigue_crack_growth_analysis_review_10071.htm,
21 Juni 2017
- Anonimous, *Cara Melakukan Interpolasi Linear*,
- <https://jadipaham.com/edukasi/cara-melakukan-interpolasi-linear-interpolasi-garis-lurus/>
26 Juli 2017