

SKRIPSI
ANALISIS TEGANGAN, REGANGAN DAN PERPINDAHAN
PADA *TRACKFRAME EXCAVATOR* MENGGUNAKAN
AUTODESK INVENTOR



MUHAMMAD OKTA NICO

03051381520067

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

SKRIPSI
ANALISIS TEGANGAN, REGANGAN DAN PERPINDAHAN
PADA *TRACKFRAME EXCAVATOR* MENGGUNAKAN
AUTODESK INVENTOR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH
MUHAMMAD OKTA NICO
03051381520067

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS TEGANGAN, REGANGAN DAN PERPINDAHAN PADA TRACKFRAME EXCAVATOR MENGGUNAKAN AUTODESK INVENTOR

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
MUHAMMAD OKTA NICO
03051381520067

Palembang, Juli 2019

Pembimbing

Ir. H. Zainal Abidin, M.T
NIP. 19580910 198602 1 001



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD OKTA NICO
NIM : 03051381520067
JUDUL : ANALISIS TEGANGAN, REGANGAN DAN
PERPINDAHAN PADA *TRACKFRAME EXCAVATOR*
MENGGUNAKAN *AUTODESK INVENTOR*
DIBERIKAN : AGUSTUS 2018
SELESAI : JULI 2019

Palembang, Juli 2019

Diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Skripsi

Irsyadi Yam, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "**Analisis Tegangan, Regangan dan Perpindahan pada Trackframe Excavator menggunakan Autodesk Inventor**" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 6 Juli 2019.

Palembang, 6 Juli 2019

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Ir. Hj. Marwani, M.T
NIP. 196503221991022001

(.....)

Anggota :

2. Dr. Ir. Darmawi Bayin, M.T., M.T.
NIP. 195806151987031002

(.....)

3. Ellyanie, S.T, M.T.
NIP.196905011994122001

(.....)

4. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002

(.....)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, ST, M.Eng, Ph.D
NIP.19712251997021001

Pembimbing Skripsi,

Ir. H Zainal Abidin, M.T.
NIP. 195809101986021001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Okta Nico

NIM : 03051381520067

Judul : Analisis Tegangan, Regangan dan Perpindahan pada *Trackframe Excavator* menggunakan *Autodesk Inventor*.

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2019



Muhammad Okta Nico
NIM. 03051381520067

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Okta Nico

NIM : 03051381520067

Judul : Analisis Tegangan, Regangan dan Perpindahan pada *Trackframe Excavator* menggunakan *Autodesk Inventor*.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik, apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Juli 2019

Muhammad Okta Nico
NIM. 03051381520067

RINGKASAN

ANALISIS TEGANGAN, REGANGAN DAN PERPINDAHAN PADA TRACKFRAME EXCAVATOR MENGGUNAKAN AUTODESK INVENTOR.

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, 6 Juli 2019

Muhammad Okta Nico; Dibimbing oleh Ir. H. Zainal Abidin, M.T

STRESS, STRAIN AND DISPLACEMENT ANALYSIS ON THE TRACKFRAME EXCAVATOR USING AUTODESK INVENTOR.

xxvii + 45 halaman, 5 tabel, 27 gambar, 2 lampiran

RINGKASAN

Pada zaman yang modern ini, banyak alat-alat yang dapat memudahkan dalam melakukan pekerjaan. Salah satunya pekerjaan dalam dunia industri. Dalam dunia industri dibutuhkan alat-alat berat untuk memudahkan pekerjaan diluar kemampuan manusia. *Excavator* adalah alat berat yang digunakan dalam industri-industri besar seperti konstruksi, pertanian atau perhutanan, pertambangan, dan sebagainya yang membutuhkan kemampuan diluar kemampuan manusia. *Excavator* memiliki belalai yang terdiri dari dua piston. *Excavator* juga memiliki *bucket* (ember keruk) yang disebut *dipper*. Ruang pengemudi atau ruang operator disebut sebagai *House*, terletak diatas roda (*trackshoe*), dan dapat berputar 360 derajat. Salah satu komponen penting dari *excavator* adalah *trackframe* yang berperan sebagai penyangga dari *excavator*. Penelitian yang dilakukan pada *trackframe excavator* adalah analisis tegangan, regangan dan perpindahan menggunakan bantuan *software autodesk inventor*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan dan perpindahan yang terjadi pada *trackframe excavator* dan menentukan daerah-daerah kritis atau nilai faktor keamanan yang terjadi disekitar *trackframe excavator*. Dari analisis akan didapatkan nilai dari tegangan, regangan dan perpindahan setelah *trackframe* diberi beban sebesar beban maksimum yang bisa ditampung *excavator* yaitu sebesar 15 ton. Untuk analisis tegangan yang terjadi pada *trackframe* setelah mengalami pembebahan didapat hasil tegangan maksimum 114,5 Mpa dan tegangan minimum 34,01 Mpa. Untuk analisis regangan yang terjadi pada *trackframe* setelah mengalami

pembebanan didapat hasil regangan maksimum $4,948 \times 10^{-4}$ dan regangan minimum $-8,458 \times 10^{-9}$. Untuk analisis perpindahan yang terjadi pada *trackframe* setelah mengalami pembebanan didapat hasil sebesar 1,638 mm, dan untuk faktor keamanan pada *trackframe* didapat hasil 2,66.

Kata kunci: *Excavator, Trackframe, Analisis Tegangan, Analisis Regangan, Analisis Perpindahan, Autodesk Inventor, Faktor Keamanan.*

SUMMARY

STRESS, STRAIN AND DISPLACEMENT ANALYSIS ON THE EXCAVATOR TRACK FRAME USING AUTODESK INVENTOR.

Scientific Writing in the form of Thesis, July 6, 2019

Muhammad Okta Nico; Supervised by Ir. H. Zainal Abidin, M.T

ANALISIS TEGANGAN, REGANGAN DAN PERPINDAHAN PADA TRACKFRAME EXCAVATOR MENGGUNAKAN AUTODESK INVENTOR.

xxvii + 45 pages, 5 tables, 27 images, 2 attachments

SUMMARY

In this modern age, there is a lot of equipment that can be used to facilitate human in doing works, especially in industrial world. In the industrial world, heavy equipment is needed to facilitate works beyond human capabilities. Excavator is a heavy equipment used in big industries such as construction, agriculture, forestry, mining, and other industries that needs heavy equipment ability. Excavator has a trunk consists of two pistons. Excavator also has a bucket that is called dipper. The driver room or operator room is called house that can rotate 360 degrees and is placed above the track shoe. One of the important components of excavator is track frame that supports the excavator. Research on excavator trackframe is focusing on stress, strain, and displacement analysis using Autodesk Inventor. The main purpose is to find of this research is find stress, strain and displacement distribution on excavator trackframe and to determine critical area or safety factor around excavator track rame. The result of this analysis is stress, strain, and displacement of the trackframe after it has been given the excavator maximum weight of 15 tons. For the stress analysis, the result obtained is maximum stress of 114,5 MPa and minimum stress of 34,01 MPa. For the strain analysis, the result obtained is maximum strain of 4,948 x

10^{-4} and the minimum strain of $-8,458 \times 10^{-9}$. The result of displacement analysis of the track frame is 1.638 mm, and the safety factor of the track frame is 2.66.

Keywords: Excavator, Trackframe, Stress Analysis, Strain Analysis, Displacement Analysis, Autodesk Inventor, Safety Factor.

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis berikan kepada Allah SWT yang Maha pengasih dan penyayang, karena berkat limpahan dan rahmat dan karunia-Nyalah penulis diberi kesempatan dan kesehatan sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: “**Analisis Tegangan, Regangan dan Perpindahan pada Trackframe Excavator menggunakan Autodesk Inventor**”.

Selesainya skripsi ini, tidak lepas dari bantuan dan kerjasama beberapa pihak. Oleh karena itu penulis ucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah mengarahkan dan berjasa kepada penulis karena telah membimbing dan membantu penulis menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Ucapan terima kasih penulis utarakan kepada:

1. Kedua Orang tua atas dukungan dan doa restunya,
2. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya,
3. Bapak Ir. H. Zainal Abidin, M.T , selaku Pembimbing Skripsi,
4. Bapak Ir. Irwin Bizzy, M.T . selaku Dosen Pembimbing Akademik,
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin atas ilmu yang diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik studi akademik maupun studi teladan,
6. Teman-teman BUNTU SQUAD yang selalu memberikan dorongan dan semangat,
7. Keluarga besar BEM KM FT UNSRI,
8. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) yang selalu memberikan semangat,
9. Rekan –rekan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

Penulis juga menyadari masih ada kekurangan dan kesalahan pada skripsi ini, maka itu diharapkankan kritik dan saran yang membangun pada skripsi ini.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembelajaran khususnya pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Palembang, Juli 2019

Muhammad Okta Nico

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	iii
Halaman Persetujuan	v
Halaman Pernyataan	vii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Tabel.....	xvii
Daftar Lampiran	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Studi Literatur	5
2.2 <i>Trackframe</i>	6
2.3 Material Pada <i>Trackframe</i>	7
2.4 Konsep-konsep Tegangan, Regangan dan Perpindahan	8
2.4.1 Tegangan	8
2.4.2 Regangan.....	12
2.4.3 Perpindahan	14
2.4.4 Tegangan <i>Von Mises</i>	14

2.5	<i>Finite Element Method (FEM)</i>	15
2.5.1	<i>Tetrahedron Element</i>	18
2.5.2	<i>Hexahedron Element</i>	19
 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Diagram Alir Penelitian	21
3.2	Peralatan dan Bahan	22
3.3	Program Autodesk Inventor.....	22
3.3.1	<i>Pre-Processing</i>	23
3.3.2	Tahap Penyelesaian (<i>Solving</i>)	25
3.3.3	<i>Post-Processing</i>	25
 BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Hasil Analisis dan Simulasi.....	29
4.1.1	Permodelan Bebas dan <i>Restraint</i>	29
4.2	Analisis Tegangan	30
4.3	Analisis Regangan.....	32
4.4	Analisis Perpindahan / <i>Displacement</i>	33
4.5	Analisis Tegangan <i>Von Mises</i>	34
4.6	Faktor Keamanan	36
4.7	Hasil Simulasi	37
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran	43
 DAFTAR PUSTAKA.....		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Excavator PC 200-8</i>	6
Gambar 2.2. <i>Trackframe</i>	7
Gambar 2.3. Tegangan-tegangan Normal dan geser pada elemen	11
Gambar 2.4. Komponen Regangan	13
Gambar 2.5. <i>Tetrahedron Element</i>	17
Gambar 2.6. Sistem Global x,y,z (<i>Hexahedron Element</i>)	18
Gambar 2.7. Sistem Lokal x,y,z (<i>Hexahedron Element</i>).....	18
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3.2. <i>Trackframe</i>	20
Gambar 3.3. Permodelan Geometri <i>Trackframe</i>	23
Gambar 3.4. <i>Meshing</i> pada <i>Trackframe</i>	23
Gambar 3.5. <i>Fixed Support</i>	24
Gambar 3.6. Pemasukan Nilai Tekanan	24
Gambar 3.7. Proses <i>Solving</i> pada <i>Trackframe</i>	25
Gambar 3.8. Diagram Alir Proses <i>Running</i>	26
Gambar 4.1. Gaya dan Proses	30
Gambar 4.2. Tegangan Utama Maksimum	31
Gambar 4.3. Tegangan Utama Minimum.....	32
Gambar 4.4. Regangan Utama Maksimum	33
Gambar 4.5. Regangan Utama Minimum	34
Gambar 4.6. <i>Displacement Trackframe</i>	35

Gambar 4.7. Tegangan <i>Von Mises</i>	36
Gambar 4.8. Faktor Keamanan <i>Trackframe Excavator</i>	37
Gambar 4.9. Grafik Tegangan Utama Maksimum	39
Gambar 4.10. Grafik Tegangan Utama Minimum	39
Gambar 4.11. Grafik <i>Displacement</i>	40
Gambar 4.12. Grafik Tegangan <i>Von Mises</i>	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. <i>Mechanical Properties ASTM A36</i>	8
Tabel 2.2 Jumlah persamaan Tegangan, Regangan dan Perpindahan.....	8
Tabel 3.1. Sifat fisik komposisi kimia <i>Trackframe Excavator</i>	20
Tabel 3.2. Sifat mekanik material <i>Trackframe Excavator</i>	21
Tabel 4.1. Hasil Tegangan <i>Von Mises</i>	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Faktor Keamanan.....	47
Lampiran 2. Gambar Simulasi Tegangan, Regangan dan Perpindahan	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman yang modern ini, banyak alat – alat yang dapat memudahkan dalam melakukan pekerjaan. Salah satunya pekerjaan dalam dunia industri. Dalam dunia industri dibutuhkan alat – alat berat untuk memudahkan pekerjaan diluar kemampuan manusia.

Beberapa alat berat yang dipakai dalam dunia industri antara lain, yaitu *Tractor*, *Motor Graders*, *Excavator*, *Backhoe Loaders*, *Forest Products*, *Pipelayers*, *Wheel Tractor – Scrapers*, *Construction and Mining Trucks/Tractors*, *Articulated Trucks*, *Wheel Dozers*, *Soil Compactors*, *Skid Steer Loaders*, *Multi Terrain Loaders*, *Compact Track Loaders*, *Wheel Loaders*, *Integrated Toolcarriers*, *Track Loaders*, *Telescopic Handlers*, *Paving Products*, *Underground Mining Equipment*, *Hydromechanical Work Tools*, dan sebagainya.

Excavator adalah alat berat yang digunakan dalam industri – industri besar seperti konstruksi, pertanian atau perhutanan, pertambangan, dan sebagainya yang membutuhkan kemampuan diluar kemampuan manusia. *Excavator* memiliki belalai yang terdiri dari dua piston. *Excavator* juga memiliki *bucket* (ember keruk) yang disebut *dipper*. Ruang pengemudi atau ruang operator disebut sebagai *House*, terletak diatas roda (*trackshoe*), dan dapat berputar 360 derajat. Salah satu komponen penting dari *excavator* adalah *trackframe* yang terletak pada bagian bawah dari *excavator*.

Trackframe merupakan tulang punggung dari pada *undercarriage*, sebagai tempat kedudukan komponen-komponen *undercarriage*. Pada setiap *crawler tractor* terdapat 2 buah *trackframe* yang dipasang pada bagian kiri dan kanan unit. Karena perannya yang sangat vital dan berperan besar dalam kegiatan pekerjaan dari *excavator*. *Trackframe* akan mengalami gaya – gaya yang terjadi

akibat kegiatan pengoperasian *excavator*. Gaya – gaya tersebut menghasilkan tegangan, regangan, dan perpindahan yang terjadi di sekitar *trackframe*. Terhadap *trackframe* yang mengalami tegangan, regangan dan perpindahan akan terdapat daerah – daerah yang mengalami tegangan, regangan, maupun perpindahan yang sangat beresiko memungkinkan terjadi permasalahan yang berupa *fracture*, *crack*, pembengkokan, maupun masalah lainnya.

Dengan memanfaatkan perangkat lunak yang berbasis *Finite Element Method*, untuk dapat diketahuinya distribusi tegangan, regangan, serta perpindahan yang terjadi pada *trackframe*.

1.2 Rumusan Masalah

Adanya operasi pada *excavator* menyebabkan adanya gaya yang bekerja pada *trackframe* *excavator* tersebut. Gaya yang terjadi atau yang bekerja pada *trackframe* *excavator* tersebut menyebabkan terjadinya distribusi tegangan, regangan, serta perpindahan sepanjang *trackframe*. Dengan menganalisis distribusi tegangan, regangan, serta perpindahan yang terjadi sepanjang *trackframe*. Maka terdapat daerah yang sangat rentan terjadinya masalah akibat terjadinya tegangan, regangan, serta perpindahan yang menumpuk di satu daerah sepanjang *trackframe*.

Sehingga diharapkan dapat memperkecil kemungkinan kerusakan seperti *fracture*, *crack*, pembengkokan, maupun masalah yang lainnya pada *trackframe*. Masalah yang akan dianalisa adalah dalam pemodelan sistem yang melibatkan geometri dan kondisi-kondisi batas yang rumit, dan sifat material yang bervariasi, penyelesaian numerik sangat efisien untuk menyelesaikan masalah dengan kondisi-kondisi tersebut, sehingga waktu dalam menghitung tegangan, regangan dan perpindahan pada *trackframe* dengan menggunakan metode elemen hingga.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Kondisi yang dianalisis pada *Trackframe* adalah kondisi statis.
2. Ukuran dan spesifikasi material *trackframe* telah didapatkan berdasarkan studi literatur.
3. Analisis dilakukan dengan bantuan *software Autodesk Inventor*.
4. Berat maksimum *excavator* ditentukan berdasarkan buku manual perusahaan sebesar 15000 kg.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan yang terjadi pada *trackframe excavator* pada kondisi *excavator* statis, dengan menggunakan perangkat lunak.
2. Mengetahui daerah-daerah kritis yang terjadi pada *trackframe excavator*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penulisan ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh gaya operasi terhadap distribusi tegangan, regangan, serta perpindahan yang terjadi pada *trackframe excavator*.
2. Bentuk kontribusi untuk perkembangan ilmu di teknik mesin Universitas Sriwijaya.

3. Mampu memberikan pengetahuan tentang distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan yang terjadi pada *trackframe excavator*, agar dikemudian hari tidak terjadi kerusakan pada struktur tersebut dan mengurangi biaya perbaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan proposal skripsi ini, sistematika penulisan terdiri dari beberapa bab, dimana pada setiap bab terdapat uraian-uraian yang mencangkup pembahasan proposal skripsi ini secara keseluruhan. Diantaranya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan dasar teori yang berhubungan dengan penelitian ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang metode penelitian, peralatan dan bahan penelitian, prosedur penelitian, jadwal, dan hasil yang didapatkan.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisikan data hasil yang didapat selama melakukan penelitian.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab yang berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Zainal dan Rama, B.R., 2007. Analisa Distribusi Tegangan Dan Defleksi Connecting Rod Sepeda Motor 100 Cc Menggunakan Metode Elemen 1–42.
- STM, (2004). ASTM A572.
- ASTM, (2017). Steel Grades according to American Standards - A36, A572, A588, A709, A913, A992. , p.992.
- Dapas, S.O., 2011. Analisis Struktur Rangka Batang Menggunakan Metode Elemen Hingga 1, 156–160.
- Komatsu Indonesia. 2017. PC200 -8 Hydraulic Excavator Walk- Around. <http://www.komi.co.id/product/machine/hydraulic-excavator>
- Rostiyanti, S.F., 2008. Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi, (Second). Jakarta, Erlangga.
- Singiresu S. Rao, 2014. The Finite Element Method in Engineering Fifth Edition, Biochimica et Biophysica Acta (BBA) <https://doi.org/10.1007/s00231-003-0474-4.>, Hongkong, Springer.
- Suryo, S.H., dan Yunianto, B., 2018. Pengaruh Kekuatan Bahan pada Track Shoe Excavator Menggunakan Pengujian Abrasive Wear dengan Metode Ogoshi Universal High Speed Testing 20, 5–15.
- Sutikno, E., 2011. Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain Carbody Tec Railbus Dengan Metode Elemen Hingga 2, 65–81.
- Yang, B., 2005. Stress, Strain, and Structural Dynamics., California, University of Southern.
- Young, W.C., dan Budynas, R.G., 2002. Young, Budynas - Unknown - Roark ' s Formulas for Stress and Strain., McGraw-Hill Companies, Inc.