



SNTTM XVII

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin 2018

PROSIDING

“Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan”

Organized by :



Program Studi

TEKNIK MESIN

4-5 Oktober 2018

Hotel Swiss Belinn Kupang, Nusa Tenggara Timur

Indonesia

Sponsored by :



Kata Pengantar

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya dengan rahmat-Nya buku prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XVII dapat diterbitkan. SNTTM XVII dengan tema “Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global Dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan” merupakan kegiatan tahunan Badan Kerja Sama Teknik Mesin (BKS-TM) Indonesia. SNTTM kali ini diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana (UNDANA) Kupang pada tanggal 4-5 Oktober 2018 di hotel Swiss-Belinn Kristal Kupang.

Dengan terlaksananya seminar ini, diharapkan adanya kerjasama antar Program Studi Teknik Mesin seluruh Indonesia yang semakin erat dan baik, dalam pengembangan peran ilmu teknik mesin dalam mendukung pembangunan nasional. Mulai tahun 2017, BKS-TM menggunakan sistem *Open Conference System* (OCS) dalam tahapan pengiriman abstrak dan makalah, sehingga seluruh prosiding yang dihasilkan dari SNTTM nantinya dapat diakses secara daring. Upaya ini merupakan bagian dari usaha BKS-TM untuk meningkatkan mutu publikasi karya ilmiah teknik mesin ke level yang lebih tinggi.

Perlu diketahui bahwa seleksi SNTTM XVII dilakukan dalam dua tahapan: 1) seleksi abstrak untuk kegiatan seminar dan 2) seleksi makalah lengkap untuk prosiding daring. Penyelenggaraan kali ini telah berhasil menjaring 198 abstrak untuk diseminarkan yang berasal dari berbagai institusi. Dari 198 abstrak yang diseminarkan, jumlah makalah yang sampai pada tahap prosiding adalah 162 artikel ilmiah, dengan perincian 37,04% konversi energi, 20,98% perancangan dan mekanika terapan, 15,43% proses manufaktur, 21,61% rekayasa material dan 4,94% pendidikan teknik mesin.

Pada kesempatan ini, kami menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya kepada BKS-TM Indonesia, para pimpinan Program Studi Teknik Mesin, *keynote speaker*, tim peninjau, sponsor, para pemakalah, serta segenap panitia yang telah berpartisipasi aktif atas terselenggaranya SNTTM XVII dan terbitnya prosiding dari acara ini. Tidak lupa kami selaku panitia pelaksana memohon maaf atas kekurangan dan ketidaksempurnaan yang terjadi dalam keseluruhan proses penyelenggaraan seminar dan penerbitan buku prosiding. Akhir kata, semoga prosiding SNTTM XVII ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Salam hangat,



Dominggus G. H. Adoe, S. T., M. Eng
Ketua Panitia Pelaksana

Profil Pembicara Utama

Dalam rangkaian acara SNTTM XVII telah diselenggarakan Sesi Pembicara Utama pada hari Kamis, 4 Oktober 2018, pukul 09.10-11.30 WIB. Acara tersebut dilaksanakan di *ballroom* Kristal, Hotel Swiss Belinn, Kupang. Lima pembicara telah hadir dan memberikan presentasinya dalam Sesi Pembicara Utama SNTTM XVII.



Prof. Dr. Ir. Tresna Priyana Soemardi,, M.Si., S.E.

Prof. Dr. Ir. Tresna Priyana Soemardi M.Sc. adalah Guru Besar di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Kelahiran Palembang, 1 September 1955. Beliau menikah dengan Diah Hariyani dan memiliki dua orang anak, yaitu Una Amanda Priharani dan Ezra Ganesha Prihardanu.

Gelar Insinyur diperoleh dari Teknik Mesin ITB - Bandung tahun 1980, memperoleh Gelar Magister Ilmu Lingkungan pada tahun 1985 dan Sarjana Ekonomi tahun 1988 dari Universitas Indonesia.

Pada tahun 1990, lulus sebagai Doktor dalam bidang Applied Mechanics & Advanced Composites Materials dari Ecole Centrale de Paris-France.

Selama lebih dari 25 tahun melakukan kegiatan mengajar, konsultasi dan riset dibidang mekanika terapan dan material komposit, perancangan dan pengembangan produk, inovasi produk, manajemen stratejik inovasi, EPC & Project Management, Project Risk Management, Kelayakkan Angkutan Udara, Transportasi Udara dan Engineering Management. Beliau juga pernah bekerja sebagai Researcher di Industri Pesawat Terbang Aerospatiale dan Industri Otomotif Renault di Perancis. Menghasilkan lebih dari 100 karya ilmiah dalam jurnal, seminar, konferensi dan lokakarya nasional maupun internasional. Berbagai pendanaan riset nasional maupun internasional berhasil ia menangkan antara lain: Hibah Bersaing, RUT, RUTI, Toray Science Foundation dan EU-Asialink Biomedical Engineering.



Prof. Yoshihiro Narita

Penasihat akademik JICA, Expert di C-BEST project

merupakan lulusan dari Universitas Hokkaido tahun 1974. Memulai karir sebagai dosen di Hokkaido Institute of Technology pada tahun 1980 – 1985. Menjabat sebagai Guru Besar di Fakultas Teknik, Universitas Hokkaido (Division of Human Mechanical Systems and Design) semenjak tahun 1991.

Bidang penelitian mencakup *Composite Structures, Optimum Design, Systems Engineering, Computational Mechanics, Engineering Education*. Beliau pernah menjabat sebagai Ketua Cabang Hokkaido

Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) tahun 2008-2009 dan mendapat *Division award for international contribution*. Selain itu, beliau merupakan anggota asosiasi *Japan Society of Mechanical Engineers, International Symposium of Vibration on continuous Systems, International Advisory Committee, Japan Reinforced Plastics Society, International Steering Committee, Society of Automotive Engineers of Japan, Japan Society of Kansei Engineering, The Japan Society for Science Policy and Research Management, Japanese Education Research Association*.



Prof. Olivier Polit

Guru Besar di Université Paris Ouest Nanterre dan peneliti di *Laboratoire Energétique Mécanique Electromagnétisme (LEME)*. Prof. Olivier Polit memiliki keahlian di bidang *Finite Element Analysis, Structural Analysis, Finite Element Modeling, Numerical Modeling, Mechanical Testing, Numerical Analysis, Mechanics of Materials, Mechanical Engineering, Solid Mechanics, Materials Engineering, Composites, Dynamics, Finite Element Method, Computational Mechanics Elasticity, Computational Structural*

Mechanics, Structural Engineering, Piezoelectricity, Composite Structures

Laminated Composites, Shell. Beliau telah menghasilkan lebih dari 100 karya ilmiah sampai saat ini.



Dr. Eng. Nobumasa Sekishita

Peneliti dan pengajar di Departemen Teknik Mesin, Toyohashi University of Technology, dengan jabatan sebagai *Associate Professor*. Beliau juga merupakan lulusan Doktor dari universitas tersebut.

Bidang penelitiannya mencakup *Fluid Dynamics* yaitu, *Wind Tunnel Experiment of Turbulent Shear Flow, Development of Flow Measurements and Analysis*. Dimana menginvestigasi fenomena pada *Buoyancy jet, Pesawat jet dan Sphere wake* menggunakan

Terowongan Angin.

Beliau juga merupakan anggota Perhimpunan Akademik *Japan Society of Mechanical Engineers, Japan Society of Fluid Mechanics, The Physical Society of Japan, dan The Visualization Society of Japan*.



Refi Kunaefi, MSc.

Refi Kunaefi adalah Kepala Proyek Pengembangan Area Bali di Akuo Energy Indonesia. Memulai karir profesionalnya sebagai insinyur lapangan, kemudian manajer operasi lapangan untuk perusahaan layanan minyak & gas terbesar di dunia, Schlumberger.

Di Akuo Indonesia, ia mengelola portofolio pengembangan Energi Terbarukan lebih dari 300 MW di berbagai bidang teknologi. Bidang tersebut dari PV surya, hidro, angin, biomassa, dan

Konversi Energi Panas Laut (OTEC).

Refi memegang gelar Master dalam manajemen energi & lingkungan di bawah program beasiswa bergengsi dari *Total EP Indonesia* di Ecole des Mines de Nantes (Prancis), dan gelar Teknik Mesin dari Universitas Indonesia di bawah Program Kepemimpinan GE Beasiswa. Dia juga mengikuti Kursus Manajemen Kontrak di Ecole Européenne de Contract Management (Prancis). Saat ini beliau juga menjabat sebagai Dosen di Universitas Teknologi Sumbawa sejak Juni 2016.

Topik dan Sebaran Makalah

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| 1. Perancangan dan Mekanika Terapan | : 34 Makalah |
| 2. Proses Manufaktur | : 25 Makalah |
| 3. Konversi Energi | : 60 Makalah |
| 4. Rekayasa Material | : 35 Makalah |
| 5. Pendidikan Teknik Mesin | : 8 Makalah |

Tentang BKS-TM

Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia (BKS-TM) adalah suatu organisasi yang dibentuk pada pertemuan ketua jurusan/program studi/departemen Teknik Mesin perguruan tinggi se-Indonesia pada tanggal 29 Mei 2002 di Jurusan Teknik Mesin ITS. Anggota dari BKS-TM adalah lembaga pendidikan tinggi yang menyelenggarakan pendidikan teknik mesin atau yang sejenis.

Tujuan pendirian BKS-TM adalah sebagai:

- 1) Menciptakan kondisi yang kondusif untuk meningkatkan kerja sama antar perguruan tinggi teknik mesin dalam melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi.
- 2) Meningkatkan interaksi perguruan tinggi anggota dengan lembaga lain.
- 3) Meningkatkan sumber daya anggota dalam menjawab tantangan dan persaingan.

Saat ini keanggotan BKS-TM sudah mencapai lebih dari 30 program studi Teknik Mesin yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Tentang SNTTM

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) merupakan kegiatan tahunan yang diselenggarakan oleh BKS-TM sebagai sarana untuk berbagi riset dan teknologi terbaru serta berbagi pengalaman terhadap pemecahan permasalahan di bidang keilmuan teknik mesin dalam lingkup nasional. Konferensi ini juga memberi kesempatan kepada para akademisi, pihak industri, komunitas, maupun para penentu kebijakan untuk membahas aktivitas dan kolaborasi di masa depan.

SNTTM XVII bertujuan untuk mempertemukan para peneliti, profesional industri, dan mahasiswa pascasarjana dari disiplin ilmu Teknik Mesin. SNTTM XVII, yang bertemakan “Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan“, menawarkan lingkungan yang menarik dan merangsang peserta untuk berdiskusi dan bertukar pikiran mengenai hasil penelitian ilmiah terbaru. Pada tahun 2018, seminar kali ini diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana (Undana), pada tanggal 4-5 Oktober 2018 di Hotel Swiss Belinn, Kupang.

BKS-TM telah menyelenggarakan 16 kali SNTTM dengan host yang bergantian, yakni sebagai berikut:

1. SNTTM I (2002) dilaksanakan di ITS, Surabaya.
2. SNTTM II (2003) dilaksanakan di Unand, Padang.
3. SNTTM III (2004) dilaksanakan di Unhas, Makasar.
4. SNTTM IV (2005) dilaksanakan di Unud, Denpasar.
5. SNTTM V (2006) dilaksanakan di UI, Jakarta.
6. SNTTM VI (2007) dilaksanakan di Unsyiah, Banda Aceh.
7. SNTTM VII (2008) dilaksanakan di Unsrat, Manado.
8. SNTTM VIII (2009) dilaksanakan di Undip, Semarang.
9. SNTTM IX (2010) dilaksanakan di Unsri, Palembang.
10. SNTTM X (2011) dilaksanakan di Unibraw, Malang.
11. SNTTM XI (2012) dilaksanakan di UGM, Yogyakarta.
12. SNTTM XII (2013) dilaksanakan di Unila, Bandar Lampung.
13. SNTTM XIII (2014) dilaksanakan di UI, Jakarta.
14. SNTTM XIV (2015) dilaksanakan di Unlam, Banjarmasin.
15. SNTTM XV (2016) dilaksanakan di ITB, Bandung.
16. SNTTM XVI (2017) dilaksanakan di ITS, Surabaya

Tentang Kupang

Kota Kupang adalah kota madya dan sekaligus sebagai ibu kota provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Kota Kupang adalah kota yang terbesar di Pulau Timor. Dengan jumlah penduduk lebih dari 450 ribu jiwa (perhitungan pada tahun 2014) yang terdiri dari berbagai macam suku dan bangsa yaitu Timor, Rote, Sabu, Tionghoa, Flores, Alor, Lembata serta sebagian kecil pendatang dari Ambon, Bali, Sulawesi dan Jawa. Kota Kupang merupakan pusat bisnis, perdagangan, industri dan pendidikan di Nusa Tenggara Timur.

Kota Kupang sering dijuluki sebagai Kota Karang. Julukan ini disebabkan oleh kondisi geografis kota Kupang dipenuhi oleh batu karang. Nama Kupang berasal dari nama seorang raja yang memerintah Kota Kupang sebelum bangsa Portugis dan Belanda datang ke Nusa Tenggara Timur yaitu Lai Kopan. Nama Lai Kopan kemudian disebut oleh Belanda sebagai Koepan dan dalam bahasa sehari-hari menjadi Kupang.

Sebagai ibu kota provinsi Nusa Tenggara Timur, Kota Kupang memiliki sarana pendidikan milik pemerintah dan yang dikelola oleh swasta untuk pendidikan formal dan informal dari tingkat PAUD, Play Group, TK, SD, SLTP dan SLTA serta Perguruan Tinggi. Perguruan Tinggi yang ada di Kota Kupang sebanyak 19 Perguruan Tinggi yang terdiri dari 4 Perguruan Tinggi Negeri dan 15 Perguruan Tinggi Swasta.

Kupang juga memiliki beberapa objek wisata yang dapat memanjakan setiap orang yang berkunjung dengan hamparan pasir putih yang indah dan laut biru yang cantik. Sejak beberapa tahun terakhir ini menjadi langganan persinggahan peserta lomba perahu layar internasional, pemandangan yang indah serta keramahan para pedagang yang berjualan di sekitar area wisata yang tidak ternoda oleh pikiran mencari untung sebanyak-banyaknya, yang masih kental akan budaya persaudaraan antar sesama serta kekhasan budaya dan adat. Wisatawan yang berkunjung ke kota ini biasanya terkesan dengan ikan bakar yang ukurannya besar-besar dengan harga yang relatif murah. Pasar malam yang populer di Kota Kupang yang menyajikan makanan sari laut terletak di daerah Kampung Solor di sekitar bekas bioskop Raja. Dinikmati dengan sambal khas Kupang, tentu wisatawan akan langsung berjanji pada diri sendiri: "suatu saat nanti, beta akan kembali lagi".

ISSN 2623-0313

Buku Prosiding SNTTM XVII – 2018

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN XVII

Tema Seminar

Peran Ilmu Teknik Mesin yang Berorientasi Global
Dalam Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan

Pelaksanaan

Hotel Swiss-Belinn Kristal Kupang, 4-5 Oktober 2018

Penerbit

Program Studi Teknik Mesin
Kampus UNDANA Penfui Kupang 85148

SNTTM XVII – 2018

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN XVII

Perancangan dan Mekanika Terapan, Proses Manufaktur, Konversi Energi,
Material Material, Pendidikan Teknik Mesin

Penanggung Jawab

Prof. Fredik L. Benu, Rektor Undana Kupang
Drs. Hery L. Sianturi, Dekan Fakultas Sains & Teknik, UNDANA Kupang
Dr. Jefri S. Bale, Ketua Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang

Penasehat

Dr. Arifin Sanusi, Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang
Dr. Matheus M. Dwinanto, Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang
Wenseslaus Bunganaen, M. T., Program Studi Teknik Mesin, UNDANA Kupang

Panitia Pelaksana

Ketua Umum: Dominggus G. H. Adoe, M. Eng
Bendahara: Gusnawati, M. Eng
Publikasi: Muhamad Jafri, M. Eng
Perlengkapan: Ben V. Tarigan, M. M.

Editor

Dr. Jefri S. Bale
Dr. Arifin Sanusi
Yeremias M. Pell, M. Eng
Kristomus Boimau, M. T.
Muhamad Jafri, M. Eng
Boy Bistolen, M. Eng

Reviewer

Perancangan dan Mekanika Terapan

Daud Pulo Mangesa, M. T.
Rima N. Selan, M. T.
Jack C. A. Pah, M. T.

Proses Manufaktur

Wenseslaus Bunganaen, M. T.
Adi Y. Tobe, M. T.
Defmit B. N. Riwu, M. T.

Konversi Energi

Dr. Arifin Sanusi
Muhamad Jafri, M. Eng
Gusnawati, M. Eng
Ben V. Tarigan, M. M.
Yuftriani Littik, M. Eng

Rekayasa Material

Dr. Jefri S. Bale
Yeremias M. Pell, M. Eng
Kristomus Boimau, M. T.
Dominggus G. H. Adoe, M. Eng
Boy Bistolen, M. Eng

Pendidikan Teknik Mesin

Wenseslaus Bunganaen, M. T.
Daud Pulo Mangesa, M. T.
Rima N. Selan, M. T.
Jack C. A. Pah, M. T.
Adi Y. Tobe, M. T.

Daftar Isi

KONVERSI ENERGI [KE]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KE - 01	Computational Analysis of Fluid Flows Crossing Square Cylinder Dimpled Half Ball Nasaruddin Salam, Rustan Tarakka, Jalaluddin dan Andi Machfud	001-007
KE - 02	Analyse Coefficient Of Performance System To Result Of Condensation At Appliance Of Converter Portable Fathir Muhammad, Dominggus G.H.Adoe, Gusnawati	008-013
KE - 03	Analysis of heat loss of hot mix asphalt during the waiting time the overlay Muhammad Muhammad, Ahmad Syuhada, Syifaul Huzni, Zahrul Fuadi	014-021
KE - 04	Analysis of Seal Gas Supply Conditioning and Numerical Simulation of The Influence of Seal Gas Supply Pressure on the Compressor Balance Line Pressure of Labyrinth Dry Gas Seal MSK Tony Suryo Utomo, Syaiful dan Riszcky Fermansah	022-031
KE - 05	Analysis of The Effect of Temperature and Time of Distillation toward Bioethanol Alcohol content of Lontar (Borassus Flabellifer) Fruit Mesocarp Dominggus Adoe, Defmit Riwu, Musa Magang	032-036
KE - 06	Analysis Of The Utilization Of Corn Cobs Waste As An Alternative Fuel Based On Grain Variations Sallolo Suluh, Petrus Sampelawang, Frans Robert Bethony, Yafet Bontong, Gabriel Padda Pabisa	037-042
KE - 07	Analysis of Water Hyacinth Dryers Using Fluent 6.2.16 Noviyanti Nugraha, M. Alexin Putra, Aep Syaeful Rohman, Danang Pinanditio	043-048
KE - 08	Analysis On Solar Heating System Error On Public Road Lighting Power Plant In Banda Aceh And Sabang Ahmad Syuhada, M. Ilham Maulana	049-054
KE - 09	Analysis Performance of Savonius Wind Turbines with combined blade without loaded Arifin Sanusi, Nurhayati dan Hikmah	055-059
KE - 10	Analysis Type of Fluid With Thermosyphon Cooling System Against With Output Power Thermoelectric Generator Ben Vasco Tarigan, Arifin Sanusi dan Marsel Marthinus Liu	060-063
KE - 11	Application of 3-inch Hydraulic Ram Pump in Dryland Irrigation at The Baumata Village, Taebenu District, Kupang Regency Muhamad Jafri, Wenseslaus Bunganaen, Nurhayati dan Gusnawati	064-068
KE - 12	Characteristic Testing of Solar Still X Desalination Technology in Indonesia using Seawater Raldi Artono Koestoer, Ibnu Roihan, dan Valerie Deva Simangunsong, Adi Surjosatyo	069-077

RM – 35	Pengaruh Panjang Serat dan Fraksi Volume terhadap Kekuatan Impact Komposit yang Diperkuat Serat Daun Gwang Boy Bistolen, Muhamad L. Habibi	184-186
RM-36	Pengontrolan Pori dan Uji Permeabilitas Keramik Sulistyo, Musa Akbar	187-190

PERANCANGAN DAN MEKANIKA TERAPAN [PMT]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
PMT - 01	Algorithm For Determining The Feasibility Of Braking Systems Operation Of Passengers Car In Matlab Simulink Danardono A. Sumarsono, Mohammad Adhitya, Rolan Siregar	001-005
PMT - 02	Fracture Analysis of Rear Axle Shaft Vehicles Truck HINO 500 Achmad Kusairi Samlawi, Syauqi Rahmat Firdaus	006-012
PMT - 03	Analysis of Frame Structure a Moving Gantry type NC Router Machine for Wood Carving Rachmad Hartono, Sugiharto, dan Bukti Tarigan	013-017
PMT - 04	Analysis of the Combustion Engine Component Structure Using The Finite Element Method Sangriyadi Setio, Wiranto Arismunandar, Adi Setiakarsa, Claudia Kurniawan	018-028
PMT - 05	Analytical and Numerical Studies of Dynamic Finite Element Analysis of Coaxial Dual Rotor Systems with Pseudo Modal Method Using Matlab Zulhendri H, Alexander Sembiring dan Asnawi Lubis	029-038
PMT - 06	Automatization roaster hopper coffee Mochamad Edoward Ramadhan, Hari Arbiantara Basuki, D A R Wulandari	039-043
PMT - 07	Averaged logarithmic ratio of filtered vibration signal for wear indicator of gearbox A. Widodo, D. Ogie Nugroho, I. Haryanto, Dj. Satrijo dan T. Prahasto	044-048
PMT - 08	Karakteristik dan respon dinamik struktur platudukan motor dengan kekakuan non-linier lokal (Characteristic and dynamic response structure of an engine mounting plate with local non-linear stiffness) Claudia Kurniawan, Sangriyadi Setio	049-055
PMT - 09	Computer-Based Simulation and Stress Analysis of Constructability Study for Shell Column Repair Using Finite Element Method Muki Satya Permana	056-059
PMT - 10	Crash Analysis Of Double Foam Filled Circular Tube Under Axial Impact Using Finite Element Method Ilyas Renreng, Fauzan Djamaluddin, Thomas Tjandinegara	060-064
PMT - 11	Design and Manufacture a Tool Post for Turning the Fatigue Test Standard Specimen Profile for Plastic Materials Syamsul Hadi, Anggit Murdani, Agung Wicaksono	065-072

PMT - 12	Design of Autogluing Conveyor Composer Machine for Music Industry Paryana Puspaputra, Dzikri Ilman Fadhillah, Syamsuddin D.S., M. Syafatahillah	073-076
PMT - 13	Design of Data Acquisition-based Anemometer Trihono Sewoyo, Budiono, Setiawan Wahyu N	077-081
PMT - 14	Design of Mechanical Component of Forced Vibration Apparatus R Heni Hendaryati, Ardi Lesmawanto, Trihono Sewoyo, Budiono, Falah AK	082-085
PMT - 15	Design of Solar Tracking System BRM Djoko Widodo, Mohamad Sahid Abdullah dan Gatot Santoso	086-091
PMT - 16	Equipment Design to Enumerate Oil Palm Empty Fruit Bunch M. Ihram Maulana, Tono Sukarnoto, Soeharsono ¹ , Desyana	092-098
PMT - 17	Evaluation Of Force And Torque Measurement Uncertainties Of The Three-Component Dynamometer Of The Biomimetic Fin Propulsion System Arie Sukma Jaya, Muljo Widodo Kartidjo, Lavi Rizki Zuhul, dan Irsan Soemantri Brodjonegoro	099-104
PMT - 18	Failure Analysis On The Mini Pile Hammer Toto Supriyono, Bukti Tarigan dan Tatang Nurjaman	105-111
PMT - 19	Flexibility of S-Shaped Pipe Bends under Thermal and Mechanical Loads Asnawi Lubis dan Novri Tanti dan Rizki Rian Toni Tambunan	112-117
PMT - 20	Improving The Work Efficiency in Production Process By Making An Automatic Welding Insert Nut Machine. Case Study in Music Industry Paryana Puspaputra, Ferdi Arrahman, Syamsuddin D.S. , M. Syafatahillah	118-123
PMT - 21	Modification of Counter Machine Type PET (Polyethylene terephthalate) Nuha Desi Anggraeni, Noviyanti Nugraha dan Rizal Syahid Ramadhan	124-128
PMT - 22	Numerical Simulation of Salt Particle in Low-Speed Horizontal Screw Conveyor of Solar Salt Harvester Sukmaji Indro Cahyono	129-134
PMT - 23	Perancangan dan Analisis Kekuatan Mekanisme Alat Pemindah <i>Feed Pump</i> Berkapasitas 8 ton Muki Satya Permana	135-138
PMT - 24	Simulation of Quadcopter With Pid Controller And Parameters Tuning Using Direct Synthesis Method R. Lullus Lambang G. Hidayat, Tri Nur Syaifudin	139-144
PMT - 25	Static Load Analysis of Bolster Frame Component in <i>Metro Kapsul</i> Train using Finite Element Method Bagus Budiwantoro, Abdul Hakim Masyhur dan Kreshna Mukti	145-148
PMT - 26	Study of Carbon Fiber And Sulfur Reinforced Geopolymers Composite for Train's Brake Blocks Jamiatul Akmal, Zulhendri H, Ahmad Su'udi dan Taufik Hidayatullah	149-154
PMT - 27	The Application of VDI 2221 Method on Embodiment Design of Pin on Disk Wear Test Jefri S. Bale, Rima N. Selan, Dominggus G.H. Adoe dan Daniel	155-162

Failure Analysis On The Mini Pile Hammer

Toto Supriyono^{1,*}, Bukti Tarigan² dan Tatang Nurjaman³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan - Bandung

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan - Bandung

³Program Sarjana, Teknik Mesijn, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan - Bandung

*Corresponding author: supriyono.toto@unpas.ac.id

Abstract. A mini pile hammer is a tools used to install a mini piles into the ground at 1.7 m in depth . The mini piles is made of steel structure. It can be a rectangular or circular cross section with a maximum size either 125 mm x 125 mm or 125 mm in diameter. The mini pile is planted into the ground by an action combination of both hit and pressed by the hammer mounted on the mini pile hydraulic driver. Both the repetitive impact and pressure acts on by the hammer during the piling process causes damage on it so that it cannot longer be used due to broken. The purpose of this study is to examine both the specific damage causes on the hammer and the hammer materials selected and also to determine a preventive action so that similar damage will not happen again in the future. In the short term, it can improves both the hammer design and the hammer fabrication, while for the long term, it is to development an advanced materials, methods both to evaluate and predict material performance and also to improve a maintenance program. The research method has been done in this study is both stress analysis work on the hammer by finite element analysis method, and laboratory test for the material macroscopically and microscopically view. The failure analysis result shows that the damage has marked by an initial crack on the hammer surface. The dynamic loads acts on the hammer causes crack growth to form fine lines resembling the beach mark. When cracks grow, the hammer cross-sectional area becomes smaller so that the stress on the part that receives the load will increase until it reaches a high level of loading so that the hammer breaks (overload). Microstructure inspection results show that the material used for hammers is carbon steel AISI 1547.

Abstrak. Palu tiang pancang mini (Palu) dalam penelitian ini adalah salah satu alat yang digunakan untuk memasang atau menanam tiang pancang mini ke dalam tanah. Tiang pancang mini terbuat dari bahan baja struktur dapat berpenampang segi empat atau lingkaran dengan ukuran maksimum sebesar 125 mm x 125 mm atau berdiameter 125 mm. Tiang pancang mini ditanam ke dalam tanah dengan cara kombinasi dipukul-pukul dan ditekan oleh palu yang dipasang pada mesin pancang mini hidraulik (*mini pile driver hydraulic*). Benturan dan tekanan berulang yang dialami oleh palu selama proses pemancangan mengakibatkan palu mengalami kerusakan sampai akhirnya tidak dapat dipergunakan kembali karena palu menjadi patah. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji penyebab terjadinya kerusakan yang spesifik pada palu dan material baku yang digunakan serta untuk menentukan tindakan pencegahan agar kerusakan serupa tidak terulang kembali. Untuk jangka pendek diharapkan dapat memperbaiki disain palu dan memperbaiki proses serta metoda fabrikasi palu, sedangkan untuk jangka panjangnya adalah pengembangan material dan metoda mutakhir untuk evaluasi dan memprediksi unjuk kerja material serta untuk memperbaiki sistem pemeliharaan. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah analisis tegangan yang bekerja pada palu, dan pengujian material secara makroskopik dan mikroskopik. Dari hasil analisis kegagalan, terjadinya kerusakan pada palu adalah ditandai dengan retakan (*initial crack*) pada bagian permukaan palu. Beban yang dinamik yang dikenakan pada palu dapat menyebabkan pertumbuhan crack sehingga terbentuklah garis-garis halus menyerupai garis pantai (*beach mark*). Pada saat retak tumbuh, luas penampang palu semakin kecil sehingga tegangan pada bagian yang menerima beban akan bertambah sampai mencapai tingkat pembebanan yang tinggi sehingga palu mengalami patah (*overload*). Hasil pemeriksaan struktur mikro menunjukkan bahwa material yang digunakan untuk palu adalah baja karbon AISI 1547.

Keywords: PLTS, Mini pile, Fatigue, Palu, PV Module

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Palu tiang pancang mini (*Mini Pile Hammer*, selanjutnya disebut Palu) adalah salah satu alat yang digunakan untuk memasang atau menanam tiang pancang mini ke dalam tanah pada kedalaman

1.7 m. Tiang pancang mini terbuat dari bahan baja struktur SS400 dapat berpenampang segi empat atau lingkaran dengan ukuran maksimum sebesar 125 mm x 125 mm atau berdiameter 125 mm. Tiang pancang mini dalam penelilitian adalah salah satu komponen utama rangka penopang *PV module*

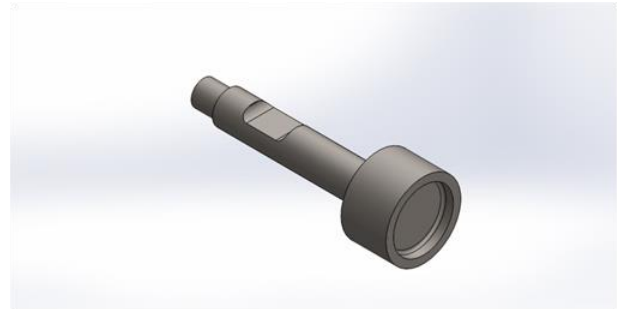
yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) kapasitas besar hingga ratusan megawatt produksi listriknya. Tiang pancang mini ditanam ke dalam tanah keras atau yang telah dipadatkan dengan cara kombinasi dipukul-pukul dan ditekan oleh palu yang dipasang pada mesin pancang mini hidrolik (*mini pile driver hydraulic*). Kombinasi benturan/tumbukan dan tekanan berulang yang dialami oleh palu selama proses pemancangan mengakibatkan palu mengalami kerusakan sampai akhirnya tidak dapat dipergunakan kembali karena palu menjadi patah.

Kegagalan-kegagalan yang telah terjadi pada beberapa palu selama proses pemancangan yang telah dilakukan mendorong kegiatan penelitian untuk mengetahui penyebabnya. Analisis kegagalan pada palu ini sangat perlu dilakukan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan yang spesifik pada palu dan material baku yang digunakan serta untuk menentukan tindakan pencegahan agar kerusakan serupa tidak terulang kembali.

Penerapan hasil penelitian ini diharapkan dapat berperan dalam menunjang pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia yang saat ini sedang dicanangkan pemerintah dalam program pembangunan pembangkit listrik dengan kapasitas total 35.000 MW. Mendesaknya kebutuhan listrik di Indonesia terutama di Indonesia wilayah timur mendorong pengembangan metoda pemasangan atau konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Surya kapasitas besar dengan waktu yang singkat mungkin namun menghasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang handal dan berumur hingga di atas 20 tahun.

Identifikasi Masalah

Gambar 1 di samping ini memperlihatkan model palu yang akan dikaji, sedangkan gambar 2 memperlihatkan foto palu yang mengalami kerusakan atau kegagalan. Palu terbuat dari baja berbentuk silindris, dibuat melalui proses pemesinan seperti bubut dan skrap atau milling sehingga diperoleh bentuk seperti terlihat pada gambar 1. Bagian palu dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian bawah yang bertumbukan dengan tiang pancang mini, bagian tengah untuk mengikat palu pada mesin penggerak (*mini pile driver*) dan bagian atas yang berhubungan dengan mesin pemukul. Bagian leher palu diberi coakan untuk ruang tuas penahan palu agar tidak lepas atau jatuh ke bawah saat tidak dipergunakan.



Gambar 1. Module palu



Gambar 2. Palu yang patah

Analisis Kegagalan

Analisis kegagalan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup situasi dan kondisi kegagalan atau kerusakan tersebut, sehingga dapat ditentukan penyebab dari kegagalan/kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut:

- a. Menemukan penyebab utama kegagalan,
- b. Menghindari kegagalan/kerusakan yang sama di masa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan,
- c. Sebagai bahan pengaduan teknis terhadap pembuat komponen,
- d. Sebagai langkah awal untuk perbaikan kualitas komponen tersebut,
- e. Sebagai penentuan kapan waktu perawatan (*maintenance*) dilakukan.

Kegiatan Analisis kegagalan sering harus dilakukan oleh berbagai ahli dari berbagai disiplin ilmu yang bekerja sama sesuai dengan tahapan yang telah ditetapkan. Adapun tahapan utama dalam melakukan analisis kegagalan adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan investigasi lapangan, yang meliputi:
 - Melakukan observasi lapangan,
 - Mengukur dimensi obyek yang diamati,
 - Melakukan wawancara terhadap pihak terkait,
 - Mendokumentasikan temuan lapangan (fotografi),
- b. Melakukan uji tidak merusak di lapangan, meliputi:
 - Menentukan panjang retak aktual,
 - Menentukan derajat kerusakan (*damage level determination*) dengan cara: uji kekerasan, uji metalografi in-situ, uji komposisi kimia (dengan *portable spectrometry*).
- c. Melakukan uji aspek metalurgis di laboratorium, meliputi:
 - Pengukuran dimensi dari objek yang diteliti,
 - Dokumentasi fraktografi (makro – optik, dan mikro - SEM),
 - Analisis komposisi kimia dari paduan dan/atau produk korosi,
 - Inspeksi metalografi (*sampling, cutting, molding, polishing, etching*),
 - Uji sifat mekanik,
- d. Melakukan analisis beban dan tegangan:
 - Perhitungan beban dan tegangan kritis,
 - Perhitungan mekanika retak,
- e. Mempelajari aspek desain, operasi dan inspeksi terkini,
- f. Melakukan analisis mendalam dan komprehensif terhadap informasi yang telah diperoleh,
- g. Mempersiapkan laporan dan presentasi teknik,
- h. Mempersiapkan saran untuk perbaikan.

Identifikasi Jenis Kegagalan

Kegagalan dapat didefinisikan sebagai kerusakan yang tidak wajar atau rusak sebelum waktunya. Adapun penyebab utama kegagalan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Kesalahan dalam disain,
- b. Kesalahan dalam pemilihan material,
- c. Kesalahan dalam proses pengerjaan,
- d. Kesalahan dalam pemasangan/perakitan,
- e. Kesalahan operasional,
- f. Kesalahan perawatan (*maintenance*).

Secara umum komponen dapat dikatakan gagal apabila masuk dalam kriteria sebagai berikut:

- a. Komponen tidak dapat beroperasi atau tidak dapat digunakan sama sekali,
- b. Komponen dapat digunakan tetapi umur pakainya terbatas (tidak sesuai dengan umur pakai yang dikehendaki),
- c. Komponen mengalami kelainan dan dapat membahayakan bila digunakan.

Kegagalan suatu komponen biasanya diawali dengan retakan yang menjalar sehingga menyebabkan suatu cacat. Retakan yang terjadi dapat dikategorikan atas ciri-ciri makroskopis, yaitu sebagai berikut:

- a. Patah ulet (*Ductile fracture*)
- b. Patah getas (*Brittle fracture*)
- c. Patah lelah (*Fatigue fracture*)
- d. Retak korosi tegangan (*Stress corrosion cracking*)
- e. Penggetasan (*Embrittlement*)
- f. Mulur (*Creep*) dan *Stress rupture*.

Patah Ulet (*Ductile fracture*)

Patah ulet adalah patah yang diakibatkan oleh beban statis, jika beban dihilangkan maka penjaran retak akan berhenti. Patah ulet ini ditandai dengan penyerapan energi disertai adanya deformasi plastis yang cukup besardi sekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu.

Patah Getas (*Brittle fracture*)

Patah getas terjadi dengan ditandai penjaran retak yang lebih cepat dibanding patah ulet dengan penyerapan energi yang lebih sedikit, serta hampir tidak disertai dengan deformasi plastis. Permukaan patahan pada komponen yang mengalami patah getas terlihat mengkilap, granular dan relatif rata.

Patah getas dapat mengikuti batas butir ataupun memotong butir. Bila bidang patahannya mengikuti batas butir, maka disebut patah getas intergranular, sedangkan bila patahannya memotong butir maka disebut patah getas transgranular.

Patah Lelah (Fatigue fracture)

Patah lelah terjadi pada komponen konstruksi dengan pembebanan yang berubah-ubah atau berulang-ulang, meskipun harga tegangan nominalnya masih di bawah kekuatan luluh material.

Patah lelah berawal dari lokasi yang mengalami pemusatan tegangan (*stress concentration*) dimana apabila tegangan setempat tersebut tinggi bahkan melampaui batas luluh material, akibatnya di tempat tersebut akan terjadi deformasi plastis dalam skala makroskopis. Dari lokasi tersebut akan berawal retak lelah (*Crack initiation*) yang selanjutnya terjadi perambatan retak (*Crack propagation*) sejalan dengan pembebanan yang berfluktuasi. Bila perambatan retak lelah ini telah jauh, sehingga luas penampang yang tersisa tidak lagi mampu mendukung beban, maka komponen akan patah. Peristiwa patah tahap akhir ini disebut patah akhir (*Final fracture*). Modus patahan pada tahap tersebut adalah patah statik, yaitu karena tegangan yang bekerja pada penampang yang tersisa sudah melampaui kekuatan tarik material.

Retak Korosi Tegangan (Stress corrosion cracking)

Peristiwa retak korosi tegangan adalah gabungan antara tegangan tarik dengan pengaruh lingkungan yang telah mengandung ion-ion ataupun larutan kimia. Kebanyakan retakannya mengikuti batas butir. Secara makro perambatan retak korosi tegangan terlihat bercabang seperti akar/ranting pohon, sedangkan secara mikro di bawah mikroskop perambatan retakannya dapat transgranular maupun intergranular (melalui batas butir).

Penggetasan (Embrittlement)

Peristiwa penggetasan ini dapat terjadi pada material yang peka terhadap penggetasan hidrogen. Atom-atom hidrogen yang larut interstisi dapat bertemu dan berkumpul membentuk molekul gas hidrogen, sehingga mengakibatkan material menjadi patah karena tidak tersedianya ruang yang cukup untuk gas tersebut, yang akhirnya gas yang bertekanan tinggi akan mendesak material menjadi patah.

Masuknya hidrogen ke dalam material ini biasanya terjadi pada proses pengerjaan, misalnya pada proses pengelasan dan *electroplating* atau pada operasi di lingkungan yang banyak hidrogennya.

Mulur (Creep) dan Stress Rupture

Peristiwa mulur yang dimaksud yaitu deformasi yang berjalan dengan waktu, oleh karena itu mulur

selalu ditandai dengan adanya deformasi plastis yang cukup besar. Peristiwa mulur ini terjadi bila komponen bekerja pada temperatur tinggi, yaitu di atas 0,4 atau 0,5 titik cair dari material komponen tersebut dalam Kelvin.

Sedangkan *stress rupture* selain disertai oleh deformasi plastis juga ditandai oleh adanya retak intergranular yang banyak ditemui di sekitar patahan.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang telah dilakukan dengan cara pengujian material palu dan analisis tegangan (kekuatan) palu menggunakan metode numerik. Pengujian material palu dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, kimia dan mekaniknya sedangkan analisis tegangan yang bekerja pada palu dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada palu.

Pengujian Material

Pengujian pada material palu telah dilakukan untuk mengetahui sifat-sifatnya seperti sifat fisik, kimia, dan sifat mekaniknya. Jenis pengujian yang telah dilakukan adalah:

- a. Spektrometry, untuk mengetahui komposisi kimia (unsur) yang dikandung material
- b. Kekerasan (HB), untuk mengetahui kekerasan material
- c. Metalografi, untuk mengetahui Struktur Mikro material

Hasil Pengujian

Hasil pengujian spectrometer menunjukkan bahwa material palu yang digunakan adalah baja AISI 1547. AISI 1547 adalah baja karbon dengan kekuatan Tarik 710 MPa, kekuatan yield 605 MPa, dan kekerasan Brinell sekitar 207. Kode lain yang ekuivalen dengan AISI 1547 adalah ASTM A29, ASTM A510, dan ASTM A576. Baja karbon ini sering digunakan untuk produk dengan proses forging seperti kawat dan 'rod'.

Dari pengamatan struktur mikro (gambar 5) terlihat bahwa material palu terdiri dari fasa perlit dan ferit namun kandungan perlit lebih dominan dibandingkan dengan fasa ferit. Fasa ferit adalah fasa yang terlihat berwarna terang, fasa ini mempunyai sifat lunak. Sedangkan fasa perlit yang terlihat berwarna gelap dan mempunyai sifat mampu mesin yang baik.

HASIL PENGUJIAN

No. Lab. : 268/Sp. Lab. Mat./Ext. Polman/VI/2017
No. Order : UF-170268

Diterima Tanggal : 09 Juni 2017
Diuji Tanggal : 09 Juni 2017

Kode Sample : VCN

Suhu Ruang : 24°C
Kelembaban : 50%

Method : FELAST

Jenis Pengujian : OES
Mesin Uji : ARL 3460

Hasil Pengujian :

SPEKTROMETER EMISI OPTIK		
No	Unsur / Element	Nilai (%)
1	Carbon (C)	0,467
2	Silicon (Si)	0,328
3	Sulfur (S)	0,024
4	Phosphorus (P)	0,017
5	Manganese (Mn)	1,491
6	Nickel (Ni)	0,06
7	Chromium (Cr)	0,05
8	Molybdenum (Mo)	0,003

Gambar 3. Hasil uji spektrometer

HASIL PENGUJIAN

No. Lab. : 355/Hrd. Lab. Mat/Ext. Polman/VII/2017
No. Order : UF-170355

Diterima tanggal : 21 Juli 2017
Diuji tanggal : 25 Juli 2017

Kode Sample : VCN

Metoda Uji : Brinell
Standar Uji : ASTM E10
Mesin Uji : Ernst Härteprüfer SA 6814 Lamone

Suhu (Ruang) : 23°C
Kelembaban : 69%

UJI KEKERASAN		
Pengujian	Nilai (HB/10/3000/15)	
	Ø Indentasi	Nilai HB
I	3,88	244
II	3,88	244
III	3,85	248
IV	3,81	254
Rata-rata		247

Gambar 4. Hasil uji kekerasan



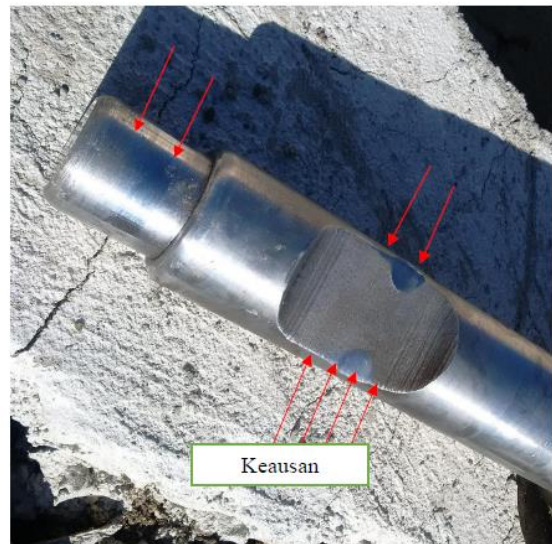
Gambar 5. Struktur mikro material palu

Hasil dan Pembahasan

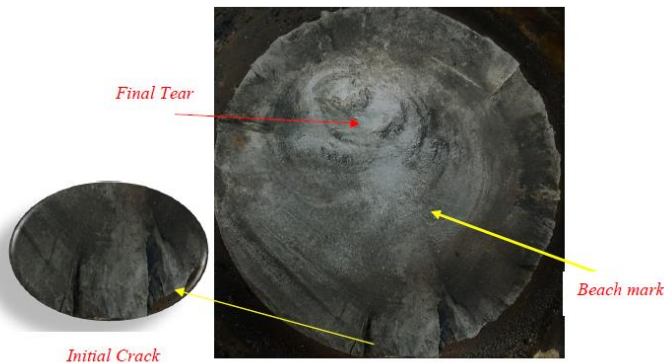
Analisis Kegagalan: Pengamatan Visual

Berikut ini adalah foto-foto palu yang telah mengalami kegagalan. Hasil dari pengamatan visual menunjukkan palu mengalami kegagalan pada bagian antara batang palu dan kepala palu pada permukaan penampang palu. Pada gambar 6 di bawah ini menunjukkan batang mengalami keausan karena kontak langsung dengan pinudukan palu. Sedangkan pada gambar 7 di bawah menunjukkan permukaan patahan palu. Beban fluktuasi yang terjadi pada material dapat menimbulkan retakan yang dapat menyebabkan material mengalami kegagalan. Gambar 7 di bawah ini memperlihatkan permukaan patahan palu hidrolik. Retakan yang kontinyu pada material atau pada daerah konsentrasi tegangan meyebabkan patah lelas (*fatigue fracture*).

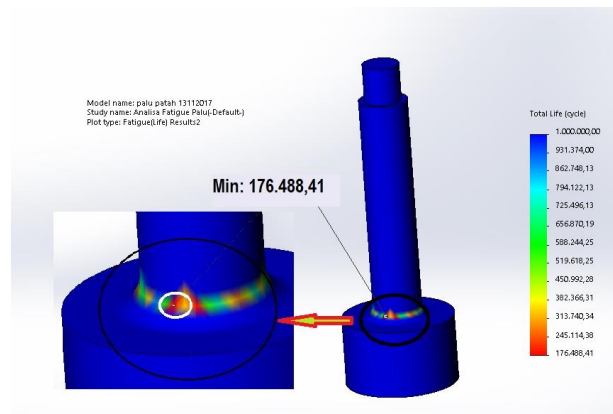
Kegagalan palu disebabkan oleh adanya retakan (*initial crack*) pada bagian permukaan palu. Beban yang berfluktuasi (dinamik) dapat menyebabkan pertumbuhan *crack* sehingga terbentuklah garis-garis halus menyerupai garis pantai (*beach mark*). Pada saat retak tumbuh, luas penampang palu semakin kecil sehingga tegangan pada bagian yang menerima beban akan bertambah sampai mencapai tingkat pembebanan yang tinggi sehingga palu mengalami patah (*overload*).



Gambar 6. Foto permukaan palu aus karena gesekan

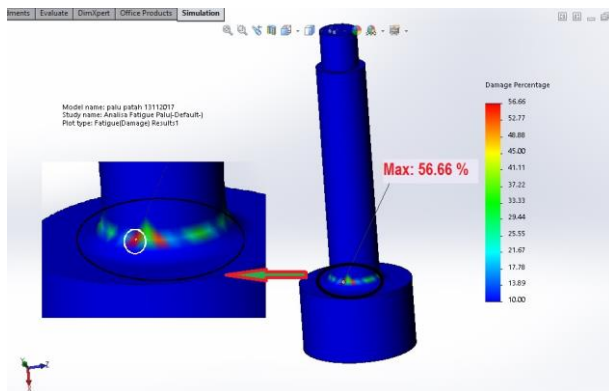


Gambar 7. Foto patahan palu



Analisis Kegagalan: Elemen Hingga

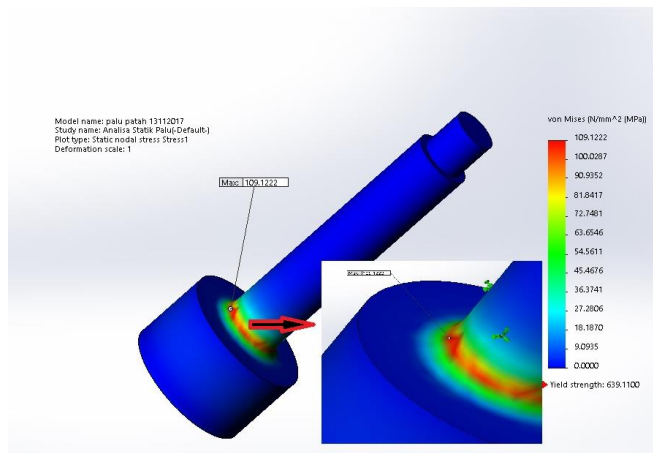
Gambar di bawah ini (gambar 8) memperlihatkan hasil analisis statik menggunakan Solidwork. Tampak bahwa palu tersebut mengalami tegangan maksimum sebesar 109.12 MPa yang berada di antara batang dan kepala palu.



Gambar 8. Pemodelan beban statik

Hasil dari analisa fatigue pada solidwork menunjukkan bahwa persentase kerusakan pada palu terbesar terjadi pada fillet antara batang dan kepala palu sebesar 56,66 %. Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa daerah fillet tersebut rawan dengan kerusakan, hal ini diakibatkan tegangan maksimal berada pada daerah tersebut.

Gambar di atas memperlihatkan kerusakan pertama kali dapat terjadi pada 176.488 siklus, dengan posisi siklus terdapat pada *fillet* antara batang dan kepala palu sehingga pada daerah ini sebagai awal mulanya terjadi retakan (*crack*).



Gambar 9. Pemodelan beban fatigue

Kesimpulan

Dari hasil pengujian material dan analisis kegagalan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Material palu yang telah digunakan adalah AISI 1547. Material ini tidak sesuai untuk pembebanan benturan.
- Analisis tegangan menggunakan metoda elemen hingga memberikan hasil bahwa tegangan yang terjadi pada palu masih di bawah kekuatannya, baik untuk analisis beban statik maupun analisis fatigue.
- Retakan yang terjadi pada palu merupakan patah lelah karena pembebanan yang berubah-ubah atau berulang-ulang, walaupun harga tegangan nominalnya masih di bawah kekuatan luluh material.
- Dari pengamatan visual, patah lelah pada palu berawal dari lokasi yang mengalami pemusatan tegangan (*stress concentration*) di mana apabila tegangan setempat tersebut tinggi bahkan melampaui batas luluh material, akibatnya di tempat tersebut akan terjadi deformasi plastis dalam skala makroskopis. Dari lokasi tersebut

akan berawal retak lelah (*Crack initiation*) yang selanjutnya terjadi perambatan retak (*Crack propagation*) sejalan dengan pembebanan yang berfluktuasi. Jika perambatan retak lelah ini telah jauh, sehingga luas penampang yang tersisa tidak lagi mampu mendukung beban, maka komponen akan patah. Peristiwa patah tahap akhir ini disebut patah akhir (*Final fracture*). Modus patahan pada tahap tersebut adalah patah statik, yaitu karena tegangan yang bekerja pada penampang yang tersisa sudah melampaui kekuatan tarik material.

Referensi

- [1] ASM Handbook Volume 1: Properties and selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys (06181).
- [2] ASM Metals Handbook Volume 11 – Failure Analysis and Prevention.
- [3] Callister, W.D., 2007, Fundamentals of Materials Science and Engineering, 7th, John Wiley & Sons nc., United State of America.
- [4] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, "Shigley's Mechanical Engineering Design", Ninth Edition, McGraw-Hill series in mechanical engineering, New York, 2011.
- [5] Farag, M., Mahmoud., 1997, Material Selection for Engineering Design, Prentice Hall, London.
- [6] http://irianpoo.blogspot.com/2010/02/analisa-kegagalan-failure-analysis_125.html.
- [7] <http://dokumen.tips/documents/material-dan-proses-elemen-mesin.html>.
- [8] <https://www.scribd.com/document/328834655/Analisa-Kegagalan-Beban-Statik-Dan-Dinamik>