

PEMERIKSAAN SIFAT MEKANIK DARI PIN BUCKET PRODUK LOKAL PADA EXCAVATOR SANY 500

Panggi Deprianto¹, Nofriady Handra²

Institut Teknologi Padang

*panggideprianto@gmail.com^{1*}, nof.hand11@gmail.com²

Abstrak

Kegagalan komponen pin bucket pada excavator Sany 500 yang menggunakan produk lokal menjadi permasalahan serius dalam industri pertambangan batubara, khususnya di PT. Darma Henwa Tbk. Pin lokal dengan diameter 70 mm mengalami kerusakan setelah 2.000 jam operasi, jauh lebih cepat dibandingkan umur pakai komponen original yang mencapai 10.000 jam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik pin bucket produk lokal melalui serangkaian pengujian, termasuk analisis komposisi kimia, uji bending, uji tarik, uji dampak, serta pengamatan mikrostruktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pin lokal memiliki komposisi kimia yang mengacu pada baja AISI 1045, dengan dominasi fasa ferit sebesar 65,524% dan perlit 34,476%. Nilai rata-rata kekuatan tarik mencapai 612 MPa, uji bending sebesar 296 MPa, dan energi serapan dampak rata-rata sebesar 31 Joule. Meskipun memenuhi standar AISI 1045, performa pin lokal masih berada di bawah kualitas pin original yang menggunakan baja AISI 4050, terutama dalam hal ketahanan terhadap beban dinamis dan dampak. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan perlunya pemilihan material yang lebih tepat dan penerapan pengujian lanjutan untuk meningkatkan keandalan produk lokal dalam aplikasi berat seperti excavator.

Kata kunci : Excavator Sany 500, pin bucket, baja AISI 1045, uji mekanik, kegagalan material.

Abstract

The failure of the bucket pin component on the Sany 500 excavator that uses local products is a serious problem in the coal mining industry, especially at PT Darma Henwa Tbk. The local pin with a diameter of 70 mm was damaged after 2,000 hours of operation, much faster than the life of the original component which reached 10,000 hours. This study aims to analyze the mechanical properties of local product bucket pins through a series of tests, including chemical composition analysis, bending test, tensile test, impact test, and microstructure observation. The results showed that the local pins have a

chemical composition that refers to AISI 1045 steel, with a dominance of ferrite phase of 65.524% and pearlite of 34.476%. The average value of tensile strength reached 612 MPa, bending test of 296 MPa, and average impact absorption energy of 31 Joules. Despite meeting the AISI 1045 standard, the performance of the local pins is still below the quality of the original pins using AISI 4050 steel, especially in terms of resistance to dynamic and impact loads. The conclusion of this study emphasizes the need for more appropriate material selection and the application of advanced testing to improve the reliability of local products in heavy applications such as excavators.

Keywords : Sany 500 excavator, bucket pin, AISI 1045 steel, mechanical test, material failure.

PENDAHULUAN

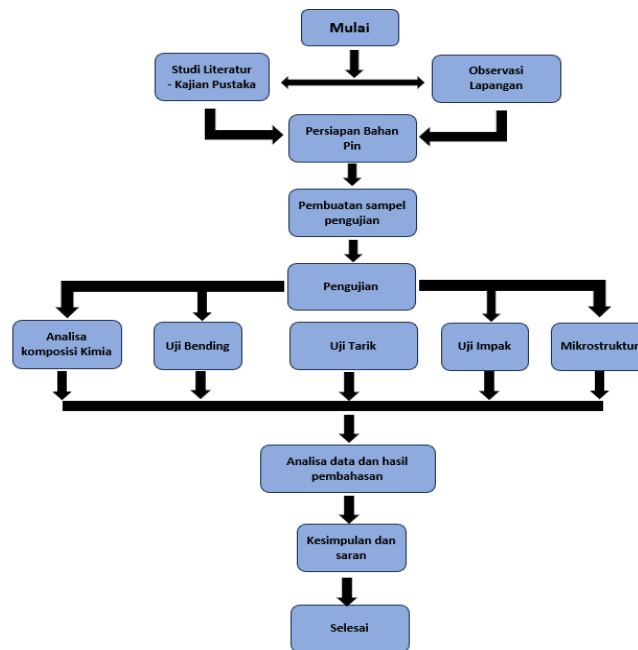
Excavator merupakan salah satu alat berat yang dilengkapi dengan bucket untuk pekerjaan menggali, membuat parit, dan mengangkat material. Alat ini adalah yang pertama digunakan dalam proses pembukaan lahan untuk penambangan batubara. Penggunaan alat tersebut diupayakan dengan tingkat produktifitas yang tinggi. Hal ini dapat memicu kegagalan material komponen pada hydraulic excavator. Kegagalan material merupakan peristiwa yang tidak diinginkan karena dapat menimbulkan bahaya, kerugian ekonomi, dan terganggunya ketersediaan produk dan pengoperasian.

Salah satu contoh kegagalan material ditemukan pada komponen pin bucket buatan sebuah perusahaan lokal. Komponen tersebut digunakan pada unit hydraulic excavator dari Sany tipe 500 yang di miliki sebuah perusahaan kontraktor tambang batubara di Kalimantan Selatan. Pin dengan diameter 70 mm patah setelah digunakan selama 2.000 jam. Umur pakai komponen standar dari produsen excavator adalah 10.000 jam. Pada umumnya, perusahaan alat berat mencoba menekan biaya perbaikan excavator dengan menggunakan SBP grade lokal, dimana tidak memenuhi standar yang sesuai. Kelemahan produk lokal yang lebih mudah mengalami patah menjadi kendala dalam pengoperasian excavator. Hal ini dapat menimbulkan domino effect masalah pada excavator unit Sany-500. Alasan mengambil judul ini karena kurangnya tingkat reliability dari produk lokal yang lebih mudah mengalami patah menjadi kendala dalam pengoperasian excavator. Hal ini dapat menimbulkan domino effect masalah pada excavator unit Sany 500. Penyebab dari pin ini mengalami gagal atau patah ini disebabkan karena produk lokal tidak memiliki tingkat reliability yang lebih kuat dibandingkan dengan produk originalnya.

METODE PENELITIAN

Preparasi Spesimen

Komponen SBP grade lokal diamati secara visual pada daerah patahannya menggunakan teknik Selanjutnya komponen dipotong untuk dibentuk menjadi spesimen standar dari berbagai pengujian. Ragam pengujian yang dilakukan adalah Analisa komposisi kimia, uji bending, mikrostruktur, uji tarik dan uji impak.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Bahan dan Alat yang Digunakan

Bahan yang diperlukan yakni Pin Lokal bucket excavator sany 500. Selanjutnya, alat pembuatan spesimen terdiri dari sikat kawat, gerinda, penggaris, dan jangka sorong/ vernier caliper. Alat penelitian terdiri dari mesin uji bending, mesin uji kekerasan, mesin uji struktur mikro, serta alat tulis untuk mencatat data hasil pengujian.

Analisa Komposisi Kimia

Analisis komposisi kimia pada pin bucket excavator SANY 500 bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur dalam material tersebut, yang sangat penting untuk memastikan kekuatan, ketahanan aus, dan ketahanan korosi dari komponen pin bucket pada excavator.

Pin bucket adalah komponen penting pada excavator yang digunakan untuk menghubungkan bucket dengan lengan excavator. Pin ini harus memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap keausan yang ekstrem, karena sering terpapar pada beban besar dan lingkungan kerja yang kasar.

Uji Bending

Uji bending (atau uji lentur) pada **pin bucket excavator SANY 500** untuk menguji kekuatan material dalam menahan gaya lentur atau pembengkokan. Uji ini penting untuk mengevaluasi sejauh mana pin bucket dapat menahan beban dinamis dan tekanan yang terjadi selama operasional di lapangan, tanpa mengalami deformasi permanen atau kegagalan struktural.

Mikrostruktur

Mikrostruktur adalah struktur internal dari material yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop atau teknik analisis lain yang memiliki resolusi tinggi, seperti mikroskop pemindaian elektron (SEM). Pada pin bucket excavator SANY 500, mikrostruktur dapat memberikan wawasan yang sangat penting tentang sifat mekanik material, seperti kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap keausan serta pembengkokan. Analisis mikrostruktur pada permukaan patahan bisa memberikan informasi mengenai penyebab kegagalan dan kondisi material secara keseluruhan.

Uji Tarik

Uji tarik adalah salah satu jenis uji mekanik yang dilakukan untuk mengukur sifat-sifat material, terutama dalam menilai kekuatan dan ketahanannya terhadap beban tarik (tensile load). Pada Analisa pin bucket sany 500 ini akan menggunakan uji tarik ASTM E8. Uji tarik ASTM E8 adalah standar uji mekanik yang digunakan untuk menentukan sifat-sifat material, seperti kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas, dengan cara mengukur respons material terhadap gaya tarik yang diberikan pada sampel uji. ASTM E8 adalah salah satu standar yang diatur oleh ASTM International (sebelumnya dikenal sebagai American Society for Testing and Materials), yang menetapkan prosedur yang konsisten dan terpercaya untuk pengujian sifat tarik material logam.

Uji Impak

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (rapid loading). Dalam pengujian mekanik, terdapat perbedaan dalam pemberian jenis beban kepada material. Uji tarik, uji tekan, uji puntir adalah pengujian yang menggunakan beban statik. Sedangkan uji impak menggunakan beban dinamik. Pada pembebanan cepat atau disebut juga beban impak, terjadi proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke spesimen. Proses penyerapan energi ini akan diubah dalam berbagai respon pada material seperti deformasi plastis, efek isterisis, gesekan dan efek inersia. (R Pramono, 2016). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Charpy. Dalam pengujian Charpy, spesimen ditempatkan secara mendatar dan ditahan di kedua ujungnya dengan penahan. Pendulum kemudian ditarik ke posisi tertentu yang diinginkan. Setelah itu, pendulum dilepaskan dan diarahkan untuk memukul bagian belakang takikan atau sejajar dengan takikan spesimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa/Komposisi Kimia Bahan Pin

Hasil analisa/komposisi bahan pin menunjukkan kadar unsur paduan pada baja untuk pin lokal untuk bucket Excavator Sany 500 termasuk rendah (kurang dari 10%) sehingga disebut baja paduan rendah.

Tabel 1. Hasil Sampel Pin Lokal Bucket Excavator Sany 500

Unsur	C	Cr	Ni	Mn	Si	S	P	Sn	Al
Kadar	0,49%	0,23%	0,74%	0,81%	0,29%	0,04%	0,013%	0,004%	0,20%
Unsur	Zr	Cu	Zn	Mo	Nb	Ti	V	W	Fe
Kadar	0,03%	0,027%	0,015%	0,074%	0,007%	0,007%	0,008%	0,03%	Balance

Baja untuk pin lokal untuk bucket Excavator Sany 500 ini memiliki kadar C sebanyak 0,49% yang menandakan baja karbon medium. Hasil analisis komposisi kimia pada 1 menunjukkan bahwa baja laterit paduan N-Cr-Mn memiliki komposisi kimia yang mengacu pada baja AISI 1045. Unsur karbon dan nikel dari baja laterit mendekati komposisi standar baja AISI 1045. Hanya saja unsur Mn dan Cr dari baja laterit nilainya lebih tinggi dari baja AISI 1045.

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon menengah dengan kandungan karbon sekitar 0,43% hingga 0,50%. Angka 45 pada kode AISI ini mengindikasikan kandungan karbon yang mencapai 0,45% (Pramono, 2011). Baja ini memiliki sifat mekanik yang baik, dengan kemampuan pengelasan yang memadai serta tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi (Yusman, 2018). Baja AISI 1045 dirancang untuk memiliki ketahanan aus yang optimal, menjadikannya cocok untuk aplikasi yang melibatkan gesekan. Kekuatan tarik baja AISI 1045 berkisar antara 570 hingga 700 MPa, sementara kekerasan Brinellnya berada pada rentang 170 hingga 210 BHN. Suhu austenit pada baja ini berkisar antara 820°C hingga 860°C, yang menghasilkan sifat-sifat seperti kemampuan pengelasan yang sangat baik, daya tahan mesin yang optimal, dan ketahanan terhadap beban dampak yang cukup baik (Mustofa, 2016).

Uji Bending

Uji lengkung (bending test) adalah metode pengujian yang digunakan untuk menilai kualitas material secara visual. Pada pengujian ini, material dikenakan tekanan untuk memperoleh data mengenai kekuatan lentur material tersebut. Setelah proses pembengkokan, permukaan spesimen yang berbentuk cembung harus diperiksa untuk memastikan tidak ada retakan atau cacat lainnya. Jika spesimen mengalami patah setelah ditekuk, maka pengujian dianggap gagal dan spesimen tersebut dinyatakan tidak lolos. Setelah menekuk, permukaan spesimen yang berbentuk cembung harus diperiksa dari kemungkinan adanya retak atau cacat permukaan yang lain. Apabila spesimen mengalami patah (fracture) setelah ditekuk, maka spesimen dinyatakan gagal uji (rejected).

Tabel 2. Hasil Uji Bending

Specimen	Hasil (Mpa)
A	285
B	307
C	295
Rata-rata	296

Pin lokal bucket excavator sany 500 pada ketiga sampel tersebut adalah 295 MPa. Ini menunjukkan bahwa baja ini memiliki karakteristik baja AISI 1045 yang memiliki nilai antara 250 MPa hingga 450 MPa dan kekuatan lentur yang cukup baik, tetapi masih bisa bervariasi tergantung pada perlakuan dan kondisi sampel. Pin lokal bucket excavator

sany 500/Baja AISI 1045 dengan kekuatan lentur sekitar 295 MPa menunjukkan bahwa material ini cukup kuat untuk menahan beban lentur, namun jika dibandingkan dengan material lain yang lebih kuat atau lebih keras (misalnya baja paduan dengan kandungan karbon lebih tinggi atau martensit), kekuatannya mungkin lebih rendah. Contohnya pada pin original bucket excavator sany 500 yang menggunakan baja AISI 4050. Pilihan antara baja AISI 104 dan AISI 4050 tergantung pada kebutuhan aplikasi dan kondisi beban yang diterima. Jika aplikasi memerlukan ketangguhan dan kemudahan pembentukan, AISI 104 lebih cocok. Namun, jika aplikasi menuntut kekuatan dan ketahanan terhadap aus yang lebih tinggi, AISI 4050 adalah pilihan yang lebih tepat.

Uji Tarik

Uji tarik bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi persentase reduksi selama proses pengerolan terhadap kekuatan luluh, kekuatan tarik maksimum, dan elongasi yang tercapai. Dimensi uji tarik menggunakan standar ASTM E8 dengan ukuran spesimen uji tarik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Keterangan	Panjang
G	50 mm
A	57 mm
W	12,5 mm
T	6 mm
R	10 mm
L	220 mm
C	20 mm
B	60 mm

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Sampel Pin Lokal Excavator Sany 500

Specimen	Hasil (Mpa)
A	583
B	620
C	608
D	635
Rata-rata	612

Berdasarkan hasil uji kekuatan tarik sampel pin local sany 500, kekuatan tarik pin tersebut berkisar antara 570-700 Mpa yang merupakan tipe baja AISI 1045. Dalam

konteks penggunaan pin bucket pada excavator SANY 500, kekuatan tarik baja AISI 1045 sangat penting karena pin bucket akan mengalami beban yang sangat besar saat digunakan untuk menggali atau memindahkan material berat. Kekuatan tarik yang lebih tinggi akan memastikan bahwa pin bucket lebih tahan terhadap tegangan yang diterima selama operasi dan dapat bertahan lebih lama dalam kondisi berat.

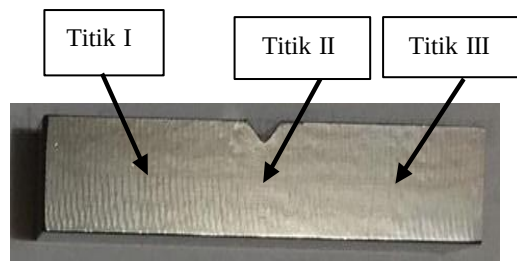
Kekuatan Tarik Minimum (583 MPa): Sampel dengan kekuatan tarik rendah mungkin lebih rentan terhadap keausan atau kerusakan cepat selama operasi, terutama jika terpapar pada beban atau kondisi ekstrem. Kekuatan Tarik Maksimum (635 MPa): Sampel dengan kekuatan tarik tinggi lebih mampu menahan beban berat dan stres mekanis selama penggunaan, menjadikannya lebih andal dan tahan lama untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan material.

Uji Kekuatan Impak

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (rapid loading). Dalam pengujian mekanik, terdapat perbedaan dalam pemberian jenis beban kepada material. Uji impak menggunakan beban dinamik. Uji impak bertujuan untuk mengukur ketahanan material terhadap beban yang diberikan secara mendadak. Pada pengujian ini, beban pendulum digerakkan dengan cepat hingga material mengalami patah. Setelah itu, karakteristik patahan material yang terjadi akibat pembebanan mendadak akan dianalisis.

Dalam pengujian Charpy, spesimen ditempatkan secara mendatar dan ditahan di kedua ujungnya dengan penahan. Pendulum kemudian ditarik ke posisi tertentu yang diinginkan. Setelah itu, pendulum dilepaskan dan diarahkan untuk memukul bagian belakang takikan atau sejajar dengan takikan spesimen. Pendulum dinaikkan hingga mencapai ketinggian h_1 , lalu dilepaskan untuk berayun bebas dan memukul spesimen hingga mengalami patah. Pendulum terus berayun hingga mencapai ketinggian h_2 .

Pada pengujian kekerasan, sampel uji yang telah melalui proses quenching dan tempering, serta telah diukur dimensinya dan dibentuk sesuai dengan standar ukuran ASTM E 23 untuk sampel uji impak, digunakan. Uji kekerasan dilakukan pada tiga titik pada setiap variasi sampel dengan menggunakan metode Vickers (VHN) dan beban 5 kgf.



Gambar 2. Titik pengujian kekerasan Vickers (VHN).

Setelah uji kekerasan, dilakukan pengujian impact untuk mengukur nilai impact dari setiap variasi sampel uji. Uji impact menggunakan metode Charpy, dengan energi yang terpasang pada pendulum sebesar 300 joule. Setiap variasi sampel uji terdiri dari tiga sampel untuk menghindari kemungkinan kesalahan dalam pengujian impact.

Tabel 1. Hasil Uji Impact Sampel Pin Lokal Excavator Sany 500

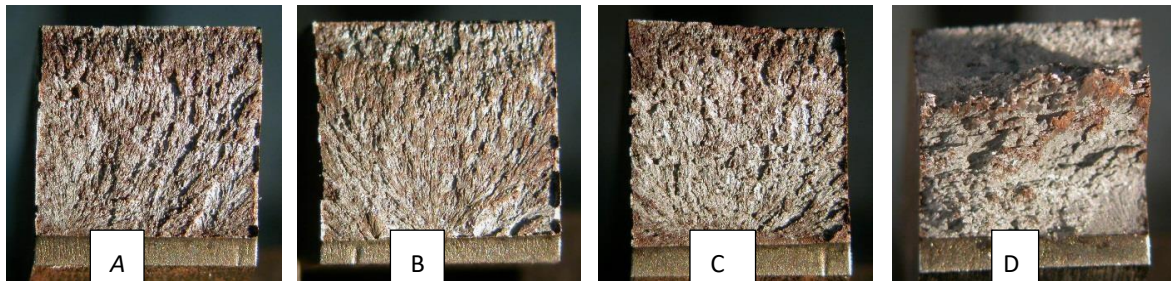
Hasil Pengujian Impact	
Specimen	Hasil (Mpa)
A	34
B	26
C	32
Rata-rata	31

Berdasarkan hasil pengujian impact yang dilakukan pada empat sampel pin local excavator sany 500, energi impact yang diserap masing-masing sampel berada dalam rentang 20 hingga 40 Joule yang merupakan baja AISI 1045. Sedangkan pin bucket excavator sany yang original menggunakan baja AISI 4050. Perbedaan utama antara penggunaan pin bucket excavator yang terbuat dari baja AISI 4050 dan AISI 1045 terletak pada sifat mekanik, ketahanan aus, ketangguhan, dan biaya. AISI 4050 lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap keausan dan kondisi kerja ekstrem, meskipun lebih mahal. Di sisi lain, AISI 1045 lebih cocok untuk aplikasi standar yang tidak membutuhkan ketahanan ekstra terhadap keausan, dengan biaya yang lebih ekonomis.

Mikrostruktur (melihat permukaan patahan pin)

Langkah-langkah dalam kegiatan mikrostruktur yakni mempersiapkan bahan; pembentukan untuk spesimen bahan; frinding dan polishing; etching; melakukan

pengamatan di mikroskop dan pengambilan fotometalografi; serta print out hasil pengujian mikro.



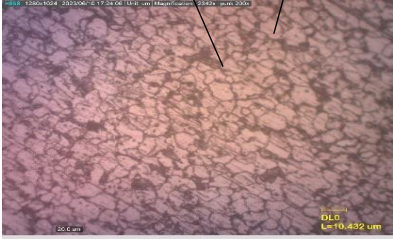
Gambar 3. Bentuk Patahan Sampel Pin Lokal Excavator Sany 500

Nilai kekuatan impak paling tinggi adalah pada sampel D pin lokal excavator Sany 500 yaitu sebesar 39 Joule. Hal ini menunjukkan material tersebut bersifat ulet sehingga dapat menyerap energi sampai material tersebut patah. Bentuk patahan pada sampel D juga menunjukkan patahan serabut yang mencirikan patah ulet (*ductile fracture*).

Patah ulet adalah jenis patahan yang terjadi ketika material mengalami deformasi plastis sebelum gagal. Karakteristik utama patahan ulet adalah pembentukan serabut (*fibrous fracture*) yang menyerupai struktur serat yang sangat tampak pada permukaan patahan. Patah ulet seringkali terjadi pada suhu lebih tinggi dan pada material yang cukup duktil. Kekasaran Permukaan: Permukaan patahan pada patah ulet biasanya kasar dan berbentuk seperti pita (*ribbed or fibrous*), yang merupakan ciri khas dari deformasi plastis pada material. Permukaan ini sering kali terlihat lebih halus jika dibandingkan dengan patahan getas (*brittle fracture*), yang memiliki permukaan yang lebih licin dan terpisah dengan cepat. Komposisi Material: Material dengan kandungan karbon rendah atau paduan logam yang memberikan kemampuan deformasi plastis yang lebih besar cenderung menunjukkan patahan ulet. Baja dengan kandungan karbon rendah, misalnya, lebih mungkin mengalami patah ulet dibandingkan dengan baja karbon tinggi yang lebih rapuh.

Pengamatan yang dilakukan disini adalah pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada daerah logam induk (BM). Foto perbesaran yang diambil disini adalah 200 X. Dari pengamatan struktur mikro ini, dapat dilihat hasil struktur mikro yang terkandung. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan struktur mikro.

Tabel 7. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

No	Spesimen	Pin Lokal Bucket Excavator Sany 500	
		BM	
1	A	 Ferrite : 65,524 % Pearlite: 34,476 %	
2	B	 Ferrite : 67,290 % Pearlite: 32,710 %	
3	C	 Ferrite : 64,798 % Pearlite: 35,202 %	

Tabel 7 menunjukkan hasil struktur mikro Pin Lokal Bucket Excavator Sany 500. Fasa yang terbentuk pada daerah ini yaitu fasa ferit dan perlit. Presentase ferit yaitu 65,524 % dan perlit 34,476%. Butir pada Logam Induk mempunyai bentuk yang homogen dan dominan ferit. Fase martensit belum terlihat pada struktur mikro Base Metal dikarenakan kadar carbon yang terkandung dalam Pin Lokal Bucket Excavator Sany 500 rendah sehingga martensit yg terbentuk pun minim atau malah belum terbentuk. Namun, dengan lebih sedikitnya martensit, kemungkinan ketahanan terhadap aus pada bagian ini sedikit lebih rendah dibandingkan komponen yang menggunakan baja dengan martensit yang lebih banyak. Ferit (65,524%): Dominasi ferit pada struktur mikro menunjukkan bahwa material ini cenderung memiliki sifat yang lebih ulet dan mudah dibentuk. Keberadaan ferit memberikan ketangguhan yang lebih tinggi dan kemampuan deformasi yang lebih baik di bawah beban. Perlit (34,476%): Keberadaan perlit memberikan sedikit tambahan kekerasan dan ketahanan terhadap aus, meskipun ketangguhan keseluruhan material tetap lebih dipengaruhi oleh dominasi ferit. Perlit cenderung memberikan keseimbangan antara kekuatan dan ketangguhan. Berdasarkan informasi yang diberikan, Pin Lokal ini terbuat dari **baja karbon rendah**, kemungkinan menggunakan baja dengan kadar karbon sekitar 0,43% hingga 0,50%, yang dikenal dengan sebutan baja **AISI 1045** atau baja karbon rendah.

KESIMPULAN

Pertama, tingkat reliability produk pin lokal excavator sany 500 yang rendah jika di bandingkan dengan produk original local excavator sany 500. Kedua, reliability produk pin local excavator merupakan baja AISI 1045 yang dibuktikan dengan hasil analisa komposisi kimia, uji bending, mikrostruktur, uji tarik dan uji impak yang masuk ke dalam range standar baja AISI 1045, sedangkan produk pin original excavator sany 500 menggunakan baja AISI 4050. Ketiga, pemilihan material untuk aplikasi tertentu, Untuk komponen yang bekerja di bawah beban statis dan membutuhkan kekuatan tinggi, seperti poros atau gear yang tidak terlalu terpapar kejut, Produk pin lokal sany 500 (AISI 1045) merupakan pilihan yang lebih baik. Namun, untuk aplikasi yang terpapar beban dinamis dan kejut, seperti komponen yang berfungsi di mesin yang sering terkena benturan, Produk pin original sany 500 (AISI 4050) lebih cocok

digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan ketangguhan tinggi dan kemampuan untuk bertahan dalam kondisi kejutan atau benturan seperti untuk pin pada excavator.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, M.F. 2008. *Laporan Praktikum Struktur Dan Sifat Mekanik*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Anonim. 1995. *Fuel Injection Equipment*. Jakarta: PT. Toyota Astra Motor.
- Anonim. 1995. *Materi Pelajaran Engine Group Step 2*. Jakarta: PT. Toyota Astra Motor.
- Anonim. 1995. *Materi Pelajaran Engine Group Step 2*. Jakarta: PT. Toyota Astra Motor.
- Anonim. 1995. *Technical Guide Toyota Diesel*. Jakarta: PT. Toyota Astra Motor.
- Anonim. 1995. *Technical Guide Toyota Diesel*. Jakarta: PT. Toyota Astra Motor.
- ASTM E8/E8M-11. 2012. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. USA.
- ASTM. (2014). Designation : A370 - 03a Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. In ASTM International (pp. 1–50).
- Dwivedi, S.P., Sharma, S., Mishra, R.K. 2014. "Microstructure and Mechanical Properties of A356/SiC Composites Fabricated by Electromagnetic Stir Casting." *Material Science, Elsevier, India*, pp. 1524–1532.
- Hartomo, A.J. 1992. *Komposite Metal*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Niakakita. 2020. "Komponen dan Tipe Nozzle pada Mesin Diesel." Diakses dari <https://niagakita.id/2020/07/18/komponen-dan-tipe-nozzle-pada-mesin-Diesel/>.
- Nurmalasari, Septa Ria. 2017. "Analisa Pengaruh Variasi Perbandingan Campuran Antara Air dan Garam Sebagai Media Pendinginan Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak, dan Struktur Mikro Pada Baja." *Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 2016. "Analisa Pengaruh Temperatur Tempering pada Perlakuan Panas Terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Coupler Yoke Rotary (AAR-M201 Grade E)."
- Sofyan, Bondan T. 2008. *Peran1 D*.
- Tata, S., Shinroku, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita, Jakarta, hal. 905-911.
- Wikipedia. "Motor Bakar Diesel." Diakses dari https://id.wikipedia.org/wiki/Motor_bakar_Diesel.