

Analisis Kerusakan dan Mekanisme *Travel Motor* pada *Excavator R220-9S*

Kis Yoga Utomo^{1*}, Alimuddin², Cahyono HP³

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana Jl. Raya Jatiwaringin, Pondok Gede, Jakarta Timur, Jakarta 13077.

³ Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional Jakarta 12520.

*Korespondensi penulis: yogautomo760@gmail.com

Abstrak. *Travel motor* berfungsi sebagai sistem kendali dan rem untuk mengoperasikan unit bergerak maju, mundur, ke kanan dan ke kiri. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kerusakan, penyebab kerusakan, dan mengetahui mekanisme atau cara kerja pada *travel motor Excavator Hyundai R220-9S*. Prosedur pemeriksaan dilakukan dengan cara wawancara Operator, pembongkaran dan uji *sample oli* di laboratorium. Selanjutnya dilakukan analisis kerusakan pada *travel motor* menggunakan diagram *fishbone* yaitu metode sebab akibat diagram untuk menganalisa penyebab kerusakan pada *travel motor reduction* dan lembar periksa (*check sheet*) yaitu untuk menentukan jumlah dan jenis yang tidak sesuai atau yang sering disebut kegagalan produk. Hasil analisis kerusakan pada *travel motor* ini berawal dari salah pengoperasian dan salah sistem pemeliharaan sehingga terjadi kerusakan komponen pada *floating seal*, oli gir, dan *inner* komponen gir lainnya yang berada di dalam mekanisme *travel motor* yang disebabkan oleh terkontaminasinya *travel motor reduction* dengan air, debu, kotoran yang menyebabkan mekanisme dari *travel motor reduction* terganggu dan menimbulkan *noise*. Langkah perbaikan yang dilakukan dengan mengganti komponen-komponen yang rusak. Tindakan pencegahan yaitu menjalankan sistem pemeliharaan dengan benar dan pengoperasian sesuai dengan *operation & maintenance manual*.

Kata Kunci: analisis kerusakan, *travel motor*, *excavator*, lembar periksa, diagram *fishbone*.

Abstract. *The travel motor functions as a control system and the brake to operate the unit moves forward, backward, right and left. This analysis aims to determine the damage, the cause of damage, and know the mechanism or way of working on the Hyundai R220-9S Excavator travel motor. The examination procedure is done by interviewing the operator, dismantling and testing the oil sample in the laboratory. Furthermore, an analysis of damage to the travel motor is carried out using a fishbone diagram, which is a causal method of diagrams to analyze the causes of damage to the travel motor reduction and check sheets, which are to determine the number and type that are not appropriate or which are often called product failures. The results of the analysis of damage to the travel motor originated from incorrect operation and mismanagement so that there was damage to the components in the floating seal, gear oil, and other inner gear components that were in the travel motor mechanism caused by contaminated travel motor reduction with water, dust, dirt which causes the mechanism of the travel motor reduction to interfere and cause noise. The improvement step is done by replacing damaged components. The precautionary measure is to carry out proper maintenance and operation in accordance with the operation & maintenance manual.*

Keywords: damage analysis, *travel motor*, *excavator*, *check sheet*, *fishbone diagram*.

PENDAHULUAN

Kerusakan *travel motor* pada *Excavator Hyundai* disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari alat tersebut. Dalam dunia industri, *breakdown* dari suatu alat yang dioperasikan merupakan suatu hal yang tidak diinginkan karena akan terhentinya pekerjaan yang sedang berlangsung. Kegagalan fungsi suatu peralatan tidak terjadi secara mendadak tetapi merupakan akibat dari kerusakan yang sering terjadi di lapangan,

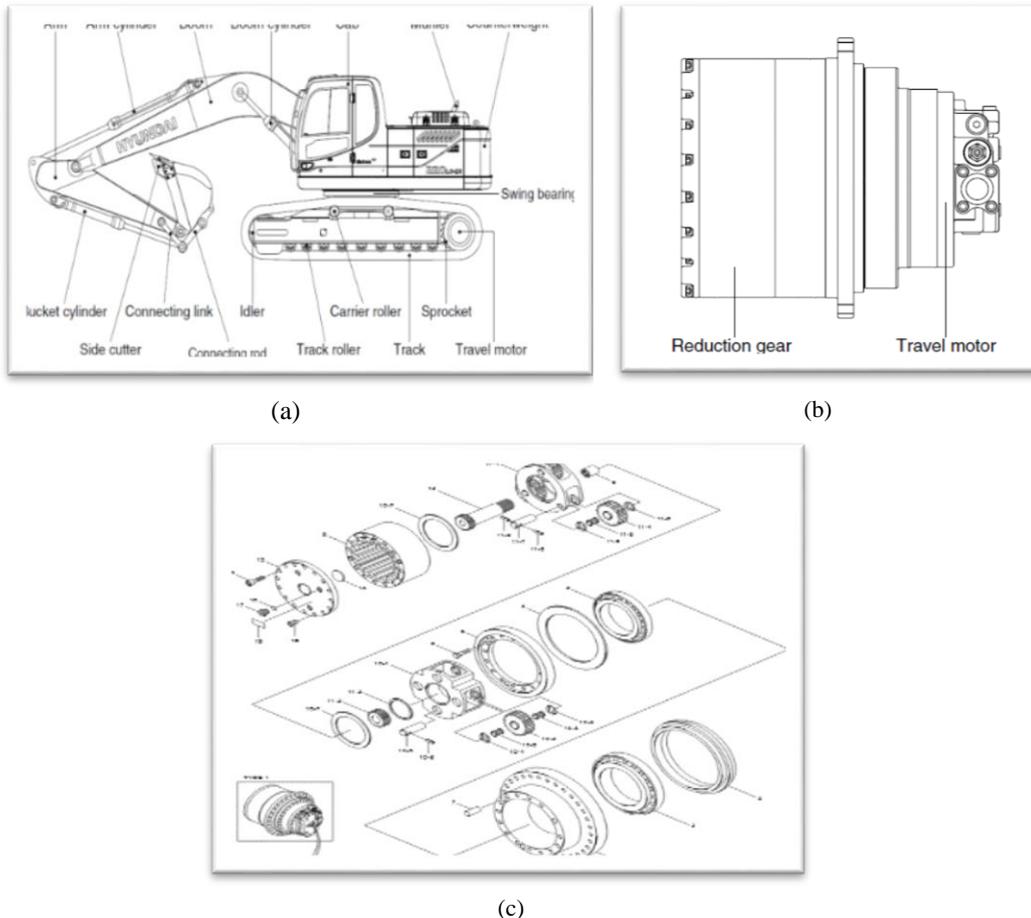
mengingat sifat kegagalannya, maka alat pemantau atau sensor tidak dapat mendeteksi suatu kegagalan sampai kegagalan tersebut mencapai tingkat besaran tertentu, akibat banyaknya hal tersebut, tentunya dibutuhkan juga pengetahuan dasar yang menunjang dalam proses mekanisme sehingga tidak mengalami salah aplikasi dan kerusakan yang terlalu dini. Untuk mencegah terjadinya kegagalan diperlukan analisis kerusakan sebagai *improvement* perkembangan sehingga dapat bekerja secara terus menerus dengan waktu kerusakan seminimum mungkin [1].

Permasalahan yang terdapat dalam penelitian ini adalah masalah kerusakan *inner part* dan faktor apa yang menyebabkan terjadinya kerusakan mekanisme *travel motor reduction* pada *Excavator* Hyundai R220-9S. Adapun batasan yang dilakukan pada analisis kerusakan *bearing* 7210 pada *torsion shaft*, antara lain: Analisis pada penelitian ini hanya difokuskan pada jenis *bearing* dengan tipe 7210-B-XL-TVP. Sehingga penting untuk mengetahui sebab akibat dari kerusakan *travel motor* pada *Excavator* tipe R220-9S. Dalam penelitian ini, diduga bahwa kerusakan mekanisme pada *travel motor reduction* ini adalah karena gir-gir yang rusak dan mulai mengalami keausan, sehingga akan timbul suara dari *travel motor reduction*.

TINJAUAN LITERATUR

Pengertian *Excavator*

Excavator adalah alat serbaguna yang dapat menggali tanah, membuat parit, memuat material ke *dump truck* atau kayu ke *trailer*. Dengan kombinasi penggantian *attachment* maka dapat digunakan untuk memecah batu, mencabut tanggul, membongkar aspal dan lain-lain [2].



GAMBAR 1. a). *Excavator*, b). *travel motor* c). *travel reduction*.

Sistem Kerja Motor Hidraulik

Motor hidraulik adalah sebuah aktuator mekanis yang mengkonversi aliran dan tekanan hidraulik menjadi torsi atau tenaga putaran. Alat ini menjadi satu bagian dari sebuah sistem hidraulik selain silinder hidraulik. Motor hidraulik merupakan kebalikan fungsi dengan pompa hidraulik [3]. Aliran oli hidraulik berawal dari *mainpump* ke *control valve* kemudian ke *center swivel joint* setelah itu ke *travel motor* dan terakhir ke *travel reducer*, maka terjadilah gerakan *excavator*.

Sistem Travel Motor

Travel motor terbagi menjadi 2 bagian yaitu *travel motor* dan *reduction gear*, pada bagian *reduction gear* ini yang akan dibahas. Komponen tersebut mengalami kerusakan karena kurangnya sistem pemeliharaan dan salah pengoperasian.

Komponen Travel Reduction

Pada *Excavator* tipe R220-9S menggunakan 2 buah *carrier* tipe yang disusun bertingkat. *Sun gear* tingkat pertama yang berhubungan dengan *output shaft* dari *travel motor* yang akan menggerakkan *planetary gear* yang berjumlah 3 dimana pada masing-masing *planetary gear* bersatu dengan *carrier* masing-masing [4].

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan cara atau prosedur yang berisi tahapan-tahapan yang jelas yang disusun secara sistematis dalam proses penelitian. Tiap tahapan maupun bagian yang menentukan tahapan selanjutnya sehingga harus dilalui dengan teliti. Pada metodologi penelitian merupakan cara atau prosedur yang berisi tahapan-tahapan yang jelas yang disusun secara sistematis dalam proses penelitian. Tiap tahapan maupun bagian yang menentukan tahapan selanjutnya sehingga harus dilalui dengan teliti.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PT. United Equipment Indonesia, yang berlokasi di Jalan Raya Cakung Cilincing No. 203 Jakarta Timur DKI Jakarta. United Equipment Indonesia (UNIQIP) adalah Perusahaan Penyedia dan Distributor dari *Manlift (Scissor Lift, Boom Lift, Working Platform, Telehandler)*, *Forklift, Excavator, Backhoe Loader, Dump Truck, Wheel Loader, Light Tower, Crane, Terex Finlay* yang bergerak dibidang penjualan dan rental alat-alat untuk pekerjaan konstruksi, mining, industri, dan lain-lain.

Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Diagram alir penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

- Pengumpulan data kerusakan motor
- Menghitung Penyebab kerusakan
 - o Menghitung koefisien gesek
 - o Menghitung gaya gesek
 - o Perhitungan waktu dan jarak tempuh
 - o Perhitungan penyerapan kalor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan Pemeriksaan Kerusakan

Pemeriksaan dilakukan secara langsung pada unit *Excavator* tipe R220-9S untuk mencari sumber kerusakan dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- Pengambilan sampel oli *travel motor reduction* untuk mengetahui kerusakan yang terjadi di dalam mekanisme *travel motor reduction*. Dilakukan pemeriksaan secara visual kualitas dan kuantitas serta pengambilan sampel oli *travel motor reduction*.
- Setelah dilakukan pemeriksaan terhadap oli, maka langkah pemeriksaan selanjutnya adalah pembongkaran *travel motor reduction*. Untuk mengetahui kondisi dari komponen gear di dalamnya.

- Setelah pembongkaran, dilakukan analisis problem awal kerusakan hingga ditemukan dengan titik permasalahan kerusakan.

Analisis Awal Kerusakan

Berdasarkan analisis awal kerusakan yang terjadi sebagai berikut:

Travel Motor Burn

Dalam hal ini *Excavator* tipe *track* tidak disarankan melakukan perjalanan terlalu jauh karena bisa menyebabkan panas berlebih pada *travel motor reduction*, disarankan setiap jarak 200 meter harus berhenti selama 5 menit untuk mendinginkan komponen di dalam *travel motor reduction* agar tidak menimbulkan panas yang berlebih [5].

TABEL 1. Hasil pengambilan data suhu.

Pemeriksaan	Kecepatan Travel	Suhu Awal Sebelum Travel	Suhu Setelah Travel 250 m	Suhu Setelah Travel 500 m	Suhu Setelah Travel 750 m	Suhu Setelah Travel 1.000 m
Pertama	3,8 km/jam	30 °C	54 °C	76 °C	103 °C	127 °C
Kedua	3,8 km/jam	32 °C	54 °C	75 °C	102 °C	125 °C
Ketiga	3,8 km/jam	29 °C	52 °C	75 °C	101 °C	124 °C
Keempat	3,8 km/jam	33 °C	56 °C	78 °C	104 °C	128 °C
Rata-rata	3,8 km/jam	31 °C	54 °C	76 °C	102,5 °C	126 °C

Hasil pengambilan data suhu pada halaman sebelumnya dapat disimpulkan bahwa ada gesekan pada gir di dalam mekanisme *travel motor reduction*, apabila melakukan *travelling* >200 meter sangat mempengaruhi pada penurunan viskositas dan kualitas suatu oli. Pemeriksaan rata-rata dari data suhu awal sebelum *travel* 31°C kemudian dengan kecepatan 3,8 km/jam jarak 250 meter terjadi kenaikan suhu rata-rata 54°C, setelah itu pemeriksaan dengan jarak 500 meter terjadi kenaikan suhu menjadi rata-rata 76°C, kemudian pemeriksaan dengan jarak 750 meter terjadi kenaikan suhu menjadi rata-rata 102,5°C, dan terakhir pemeriksaan dengan jarak 1.000 meter, terjadi kenaikan suhu menjadi rata-rata 126°C.



GAMBAR 2. Oli *burn* menempel pada gir.

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa telah terjadi *overheating* atau *burn* di dalam mekanisme *travel motor reduction*. *Overheating* ini dapat mengakibatkan kerusakan *floating seal* di dalam mekanisme *travel motor reduction*, seperti yang terlihat pada gambar 4 menunjukkan terjadi deformasi pada *floating seal*.

Pada gambar 3, menunjukkan bahwa *Floating seal* yang rusak akan mengalami deformasi yaitu perubahan bentuk atau wujud dari yang baik menjadi kurang baik. Pada saat inilah kerusakan baru muncul dan mempercepat kerusakan pada mekanisme *travel motor reduction*.



GAMBAR 3. Deformasi *floating seal*.



GAMBAR 4. Kotoran menempel pada *floating seal*.

Pada gambar 4, menunjukkan bahwa *Floating seal* ini tergolong dalam karet sintetik dengan jenis NBR (Nitrile Butadiene Rubber) dengan ketahanan suhu minimum $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga maksimum $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sudah dapat dipastikan bahwa *floating seal* ini mengalami kerusakan karena sudah melebihi batas ketahanan maksimal suhu atau deformasi, sehingga mengalami perubahan bentuk fisik seperti menjadi getas [6].

Travel Motor Noise

Gambar 6a dan 6b, menunjukkan bahwa pada *Excavator* H.M. (*Hours Meter*) rendah yaitu 3.359 hours, kerusakan ini terjadi disebabkan Operator tidak mengerti dan tidak memahami tata cara pengoperasian *Excavator* yang baik dan benar sesuai dengan *Operation Manual Maintenance (OMM)*, dan hal ini ditemukan juga pada Operator yang belum berpengalaman untuk penggunaan alat tersebut.



(a)



(b)

GAMBAR 5. (a). Kondisi *planetary gear*, (b). Kondisi *sun gear*.

Pada gambar 5 menunjukkan tentang kerusakan pada *sun gear* terjadi pada H.M. 3.359, karena komponen ini usia pakainya dapat mencapai batas waktu yang cukup panjang dengan catatan sistem pemeliharaan berkala dilakukan dengan teratur.

Travel Motor Jammed

Penyebab utama terjadinya kerusakan dan keausan gigi penggerak dan roda gigi *splined* adalah karena adanya gesekan beban putar, gaya tekan yang berulang (beban dinamis) yang

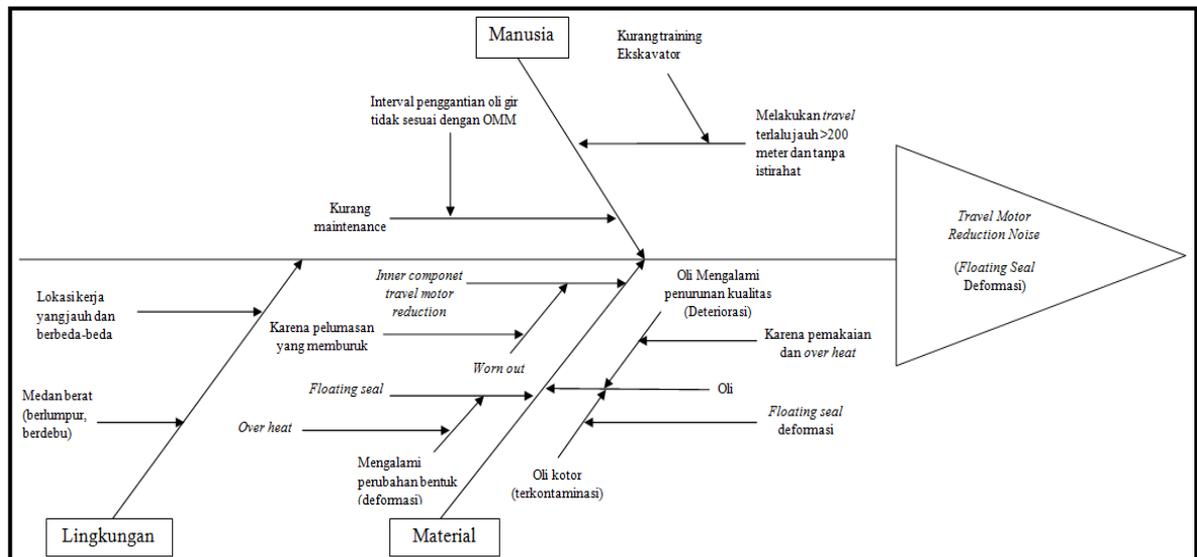
dialami pada kondisi operasional dikarenakan fungsi dari poros *travel motor reduction* adalah mereduksi putaran dan meningkatkan torsi seperti ditunjukkan pada gambar 6 [7].



GAMBAR 6. Pemeriksaan ring gear.

Analisis Penyebab Kerusakan Travel Motor Reduction

Berikut adalah diagram gambar 7 adalah fishbone yang dibuat berdasarkan data-data di lapangan.



GAMBAR 7. Diagram sebab akibat (fishbone).

Dari hasil diagram fishbone tersebut maka dapat diketahui faktor penyebab kerusakan travel motor reduction yang paling dominan ditunjukkan pada tabel 2.

TABEL 2. Hasil analisis kerusakan.

Faktor Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Improvement
Manusia	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan travel >200 m - Kurang Training Operator - Kurang Maintenance - Interval waktu penggantian oli gear terlalu lama 	Diperlukan training tambahan untuk mengetahui cara pengoperasian yang baik dan benar
Material	<ul style="list-style-type: none"> Oli gear mengalami detonasi dan kontaminasi Floating seal mengalami deformasi karena over heating sehingga kotoran masuk Gaer mengalami worn out dikarenakan oli yang kurang baik 	Disarankan untuk menggunakan oli gear genuine dari excavator tipe R220-9S dan waktu penggantian oli gear harus dipercepat dari standar penggantian yaitu tiap 500 hm
Lingkungan	Lokasi pengoperasian berlumpur dan berdebu	Dijaga kebersihan excavator setelah selesai pengoperasian

Dari analisis diagram *fishbone* diatas, maka dapat mengetahui bahwa penyebab kerusakan *travel motor reduction* adalah sebagai berikut :

- Manusia / Operator melakukan travel terlalu jauh dengan jarak >200 meter tanpa istirahat, kurangnya pengetahuan tentang pengoperasian *excavator* juga memberi dampak terhadap kerusakan travel motor. Oleh karena itu, perlu diadakan training operator untuk menambah wawasan dan pengetahuan terhadap pengoperasian *excavator* secara benar.
- Ditemukan juga material asing yang masuk ke dalam oli. Oleh karena itu, penggantian oli tidak pada interval 1.000 hm, tetapi seharusnya pada interval 500 hm karena menggunakan oli non *genuine* dan karena travel yang jauh. Material kedua yaitu *floating seal*, kotoran masuk ke dalam mekanisme travel motor *reduction* dan pada akhirnya oli terkontaminasi.
- *Machine*, pada faktor ini gir yang ada di dalam travel motor *reduction* mengalami gesekan antara gear dengan gear lainnya. Gesekan ini akan menimbulkan panas pada travel motor *reduction*. Kemudian panas ini akan merambat secara konduksi ke bagian paling lemah yaitu *floating seal*.

Perhitungan Penyebab Kerusakan
Perhitungan Koefisien Gesekan

Pada penelitian ini, perhitungan koefisien gesekan dan gaya gesekan yang terjadi sehingga menimbulkan panas yang terjadi pada *travel motor reduction* (kalor jenis 450 J/kg°C) dengan perpindahan jarak 250m, penambahan suhu 23°C, jarak 500m penambahan suhu 45°C, jarak 750m penambahan suhu 71.5°C, dan jarak 1.000m penambahan suhu 95°C, massa benda 100kg dan kecepatan gravitasi 10m/s². Perhitungan koefisien gesek diperoleh dari penurunan persamaan (1) [8].

$$Q = W \tag{1}$$

Sehingga didapat hubungan

$$mc\Delta t = \mu_k mgs \tag{2}$$

Dari persamaan (2) dapat digunakan untuk menghitung μ_k koefisien gesek dari penelitian ini.

Sedangkan perhitunganya gaya gesek di dapat dari hubungan persamaan (3) [9].

$$f_k = \mu_k N \tag{3}$$

dimana N = mg.

Berikut tabel 3 menunjukkan kalor jenis pada zat besi/baja adalah 450 J/kg°C.

TABEL 3. Data tentang kalor jenis [8].

No	Nama Zat	Kalor Jenis	
		J/kg°C	KKal/kg°C
1	Alkohol	2.400	550
2	Es	2.100	500
3	Air	4.200	100
4	Uap air	2.010	480
5	Alumunium	900	210
6	Besi/Baja	450	110
7	Emas	130	30
8	Gliserin	2.400	580
9	Kayu	670	400
10	Kaca	1.700	400
11	Kuningan	380	90
12	Marmer	860	210
13	Minyak tanah	2.200	580
14	Perak	230	60
15	Raksa	140	30
16	Seng	390	90
17	Tembaga	390	90
18	Timbal	130	30
19	Badan manuasia	3.470	830

Dengna menggunakan persamaan (2) diperoleh nilai koefisien gesekan pada jarak 250 m adalah

$$\mu_k = \frac{10350}{250} = 4.14, \text{ dengan cara yang sama diperoleh juga untuk jarak 500m adalah } \mu_k = \frac{20250}{5000} = 4.05. \text{ Pada jarak 750m } \mu_k = \frac{32175}{7500} = 4.29, \text{ sedangkan untuk jarak 1.000m adalah } \mu_k = \frac{42750}{10000} = 4.27$$

Perhitungan Gaya Gesekan

Menghitung gaya gesekan pada jarak 250 m dengan menggunakan persamaan (3) dimana $f_k = 4140$ Newton. Pada jarak 500 m $f_k = 4050$ Newton, pada jarak 750 m $f_k = 4290$ Newton, pada jarak 1.000 m diperoleh $f_k = 4270$ Newton.

Perhitungan Waktu dan Jarak Tempuh

Perhitungan waktu dan jarak tempuh pada *travel motor reduction* selama 1 jam 25 menit (85 menit), kecepatan *travel* 3.8 km/jam, jarak tempuh 250m, 500m, 750m, 1000m. Untuk menempuh jarak 250meter adalah 3.800meter = 60menit, maka 250meter ditempuh selama 3.94menit. Untuk *travel* sejauh 250m, *excavator* membutuhkan waktu 3.94 menit. Dengan cara yang sama diperoleh juga jarak 500 meter adalah 7.89 menit. Untuk *travel* sejauh 500 m, *excavator* membutuhkan waktu 11.84 menit. Untuk *travel* sejauh 500 m *excavator* membutuhkan waktu 15.78 menit. Jadi, jarak yang ditempuh untuk *travel* selama 85 menit adalah 5.39 km.

Perhitungan Penyerapan Kalor

Selanjutnya adalah perhitungan penyerapan kalor yang didapatkan *travel motor reduction* dari kenaikan suhu 31°C menjadi 102°C dengan massa benda 100 kg, berdasarkan tabel 3, kalor jenis besi/baja yaitu 450 J/kg°C. Menghitung penyerapan kalor dalam jarak 250 meter dengan persamaan (4) [10].

$$Q = mc\Delta T \tag{4}$$

Sehingga diperoleh $Q = 1035000$ Joule = 1035 kJ. Jadi, kalor yang diserap *travel motor reduction* adalah 1035 kJ. Kalor dalam jarak 500 meter yang diserap *travel motor reduction* adalah 2025 kJ. Penyerapan kalor dalam jarak 750 meter yang diserap *travel motor reduction* adalah 3217.5 kJ. Kalor dalam jarak 1000 meter yang diserap *travel motor reduction* adalah 4275 kJ.

Analisa dan Pemeriksaan

Floating seal adalah salah satu jenis produk karet sintetik/elastomer yang memiliki bentuk melingkar seperti cincin. Dan karena memiliki bentuk bulat maka seal ini disebut juga o-ring. *Floating seal* ini menggunakan bahan material *Nitrile Butadiene Rubber (NBR)*.. Karet NBR tahan terhadap minyak dan oli sehingga sering digunakan untuk *floating seal*. NBR merupakan standart material untuk pembuatan o-ring. *Floating seal* ini memiliki fungsi sebagai *seal* atau segel penutup pada sistem *travel motor reduction*. Jadi *floating seal* ini memiliki fungsi yang sangat penting pada mekanisme *travel motor reduction* untuk mencegah kebocoran oli *gear* dan kotoran masuk dari luar ke dalam *travel motor reduction*.

TABEL 4. Spesifikasi maksimum temperatur karet.

SBR	NBR	EPDM	Silicone	Viton	PU
-25 to 80°C					
Baik	Cukup	Baik	Baik	Baik	Cukup
Baik	Baik	Baik	Cukup	Cukup	Sangat Baik
Sangat Baik	Baik	Baik	Rendah	Baik	Sangat Baik
Baik	Baik	Cukup	Rendah	Baik	Baik
Rendah	Cukup	Sangat Baik	Sangat Baik	Sangat Baik	Baik
Baik	Baik	Sangat Baik	Cukup	Sangat Baik	Cukup
Rendah	Rendah	Sangat Baik	Sangat Baik	Sangat Baik	Baik
Rendah	Sangat Baik	Rendah	Rendah	Sangat Baik	Baik
Rendah	Cukup	Baik	Rendah	Sangat Baik	Cukup
Murah	Sedang	Sedang	Tinggi	Mahal	Tinggi

Berdasarkan tabel 4, spesifikasi maksimum temperatur karet sintetis yang berjenis NBR mempunyai batas temperatur suhu yaitu -25°C s/d 100°C , artinya suhu temperatur *travel motor reduction* sudah melebihi batas maksimum temperatur *floating seal*, jadi hasil dari analisis ini sudah dapat diketahui yaitu disebabkan oleh *floating seal* yang mengalami deformasi akibat menerima panas yang berlebih.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis, pemeriksaan dan pengumpulan data-data, maka disimpulkan bahwa terkontaminasinya oli *gear* mengakibatkan keausan *gear* pada *inner part travel motor reduction*. Hasil dari analisis kerusakan ini adalah dikarenakan *floating seal* yang mengalami deformasi akibat *overheat* yang terjadi di dalam mekanisme *travel motor reduction* terjadi gesekan dan menimbulkan panas. Hasil dari pemeriksaan *travel motor burn* adalah pengoperasian pada *travel* terlalu jauh, standar *excavator* maksimal 200 meter harus berhenti selama 5 menit, hal ini menimbulkan panas sehingga terjadi *burn* yang mengakibatkan deformasi pada *floating seal*. Dengan hasil analisis ini tidak terbukti, dari hasil analisis penyebab kerusakan bukan dari *gear*, tetapi penyebabnya adalah *floating seal* yang mengalami deformasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Veny Selviyanty LC, Kerusakan Poros Motor Final Drive dan Solusi Pemeliharaan pada Unit Excavator 220, Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru. Jurnal Surya Teknik Vol. 4 Desember 2016, ISSN: 2354-6751.
- [2] School, UT. 2009, basic troubleshooting, Jakarta: sekolah vokasi universitas muhammadiyah surakarta
- [3] Anonim. 2002. "Service Manual Book R220-9S". Korea: P.T. Hyundai Construction Equipment.
- [4] Anonim. 2002, "Operating and Maintenance Manual Book R220-9S". Korea: PT. Hyundai Construction Equipment.
- [5] Irwandy MI, 2008. "Teknik Automobile". Penerbit: STT-PLN.
- [6] Dahmir Dahlan, 2012. "Elemen Mesin". Penerbit: Citra Harta Prima, Jakarta.
- [7] Neru Danarbroto. 2013, "Analisa Patah Lelah pada Roda Gigi", Fakultas Teknik Universitas Pandanaran.
- [8] Kurmi & J.K. Gupta, R.S. 2005. "Machine Design". Eurasia Publishing House, Ram Nagar, New Delhi. Kurmi & J.K. Gupta, R.S. 2005. "Machine Design". Eurasia Publishing House, Ram Nagar, New Delhi.
- [9] Mahfuddin Hanif, (2017) Analisa Mekanisme Swing Device Pada Excavator Keihatsu 921 C, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [10] Frank Kreith. 1997. "Prinsip-prinsip Perpindahan Panas" Edisi Ketiga, University of Colorado.