

ANALISA TERMAL PADA RUANG TRANSMISI DENGAN PERBANDINGAN SUHU HASIL EKSPERIMEN DAN SIMULASI

M. Sabri^{1*}, Surya^{2*}, dan Nixon Randy^{3*}

^{1, 2, 3}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan – 20155, Indonesia

*Email: dtsurya123@gmail.com; nixon_randy@live.com

Abstrak

Transmisi adalah salah satu dari sistem pemindah tenaga dari mesin ke poros *axle* yang mengakibatkan roda dapat berputar dan menggerakkan mobil, transmisi berfungsi mendapatkan variasi momen dan kecepatan sesuai dengan kondisi jalan dan kondisi pembebanan sehingga diperoleh kesesuaian tenaga mesin dan beban kendaraan. Transmisi tidak selalu menghasilkan energi mekanik pada pemakaiannya, akan tetapi juga ada menghasilkan energi panas. Energi panas inilah yang harus ditekan mendekati nilai nol supaya tidak menyebabkan mesin mengalami kerusakan. Dari penelitian yang sebelumnya, didapatkan bahwa peneliti mencari efek temperatur pada *casing gearbox*, fluks panas dari *casing gearbox*, tegangan termal pada *casing gearbox*, dan panas pada roda gigi *helical* ketika diberi beban dan tanpa beban. Dalam kajian ini, akan dibahas tentang analisa termal pada ruang transmisi. Secara eksperimen, diukur kelembaban dan suhu lingkungan yang tidak dapat dikendalikan. Secara numerik, akan dicari *total heatflux* yang terjadi pada ruang transmisi. Hasil yang didapatkan eksperimen bahwa terjadi penurunan suhu sekitar 3°C setelah dilakukan perbaikan. Pertumbuhan suhu tersebut tidak mempengaruhi performansi mekanik *gearbox*, sedangkan secara numerik bahwa *heatflux* yang terjadi dalam ruang transmisi dipengaruhi oleh kontak antar roda gigi. Dimana *heatflux* tertinggi dialami oleh komponen bantalan.

Kata Kunci: termal, ruang transmisi, termokopel, higrometer, *total heatflux*

Pendahuluan

[1,2] Transmisi merupakan salah satu komponen yang penting pada mesin mobil. Pada pendahuluan ini akan lebih dijelaskan tentang peran dari transmisi. Peran kerja transmisi sangat penting karena pada bagian inilah terdapat beberapa komponen penting misalnya gear yang digunakan untuk mengubah kecepatan dan kekuatan diantara poros input dan poros output, wadah fluida yang berfungsi untuk melumasi komponen-komponen yang berada didalam transmisi, poros untuk mentransfer daya, dan juga terdapat bantalan.

Pada transmisi ini tidak selalu terjadi energi mekanik pada pergerakannya, namun juga menghasilkan energi panas pada sistem tersebut. Meskipun nilai yang dihasilkan energi panas kecil. Sehingga untuk mendapatkan panas yang terjadi dengan memberikan input putaran yang berbeda dapat digunakan metode FEA. Analisis FEA digunakan untuk mendapatkan *total* deformasi dan *total heatflux* yang terjadi dengan cara memberikan putaran pada static structural pada *gear*, kemudian akan dilanjutkan dengan analisis panas yang terjadi pada gear dan

casing dengan diberikan putaran yang berbeda. Tujuan dari menganalisis transmisi adalah untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi.

Pawan Kumar dan M. Y. Patil Pawan Kumar, dan Prof. M. Y. Patil meneliti tentang suhu pada roda gigi ketika diberi beban dan tanpa diberi beban. Hasil penelitian adalah bahwa suhu pada roda gigi tanpa beban adalah sebesar 45,352 °C, dan suhu roda gigi yang diberikan beban adalah sebesar 101,09 °C.

P. D. Patel, dan D. S. Shah meneliti tentang *heatflux* analisis, dan termal *stress* analisis. Hasil penelitian adalah mendapatkan tegangan ekuivalen maksimum pada bagian atas *casing* dan bagian bawah *casing*. Serta mendapatkan *total* deformasi maksimum pada *casing* transmisi tersebut.

Model Analitik

[3] Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dan suatu fluida dapat dihitung dengan persamaan 1:

$$q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Keterangan:

q_c = laju perpindahan panas dengan cara konveksi.

h_c = permukaan perpindahan panas atau koefisien perpindahan panas konveksi.

A = luas perpindahan panas.

ΔT = perubahan suhu permukaan T_s dan suhu fluida T_∞ dilokasi yang ditentukan.

Radiasi adalah proses dengan mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda – benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda – benda tersebut. Jumlah energi yang meninggalkan suatu permukaan sebagai panas radiasi tergantung pada suhu mutlak dan sifat permukaan tersebut. Radiasi yang sempurna memancarkan energi radiasi dari permukaannya dengan laju perpindahan yang ditulis dengan persamaan 2:

$$q_r = \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (2)$$

Keterangan:

q_r = laju perpindahan panas radiasi

σ = konstanta Stefan – Boltzmann

ΔT = perubahan suhu permukaan 1 dan 2

Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi diusulkan oleh ilmuwan Perancis, J. B. J. Fourier, dalam tahun 1882. Hubungan ini menyatakan bahwa q_k , laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan, sama dengan hasil kali dari 3 buah besaran berikut yang dapat dilihat pada persamaan 3:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

Keterangan:

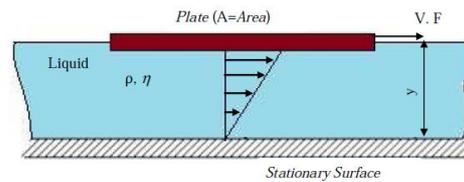
q_k = laju aliran panas.

k = konduktivitas termal.

A = luas penampang.

$\frac{dT}{dx}$ = gradien suhu pada penampang tersebut, yaitu laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x .

Viskositas merupakan sifat yang paling utama dari sebuah bahan pelumas karena sifat ini secara garis besar menunjukkan kemampuan melumasi sesuatu. Hukum Newton tentang aliran *viscous* menyatakan bahwa tegangan geser di dalam fluida adalah berbanding lurus dengan perubahan kecepatan. Gambar 1 menunjukkan penjelasan dari definisi viskositas melalui Hukum Newton.



Gambar 1. Definisi viskositas Hukum Newton
Jadi viskositas menurut Hukum Newton dapat didefinisikan dengan persamaan 4 sebagai berikut:

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} = \eta \frac{u}{h} \quad (4)$$

dimana:

τ = tegangan geser fluida (N/m^2)

η = viskositas dinamik (Poise, P)

u = kecepatan relatif permukaan (m/s)

h = tebal lapisan pelumasan (m)

Metode Eksperimen

Penelitian ini dilandaskan secara eksperimental dimana pengambilan data menggunakan alat uji termokopel yang akan dilekatkan pada transmisi mobil saat studi eksperimental berlangsung. Parameter yang akan diujicobakan yaitu ketika transmisi tidak diberikan beban (*non load*), dimana pengukuran suhu dilakukan sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan. Berikut akan dijelaskan bahan-bahan yang akan digunakan pada saat pengujian eksperimental thermal pada transmisi Daihatsu TAFT Daihatsu Hiline. Dalam pengujian ekperimental pada transmisi TAFT Daihatsu Hiline untuk mengetahui data thermal pada kondisi yang terjadi sebagai berikut :

a) Termokopel

Termokopel yang digunakan merupakan termokopel tipe K yang memiliki rentang (*range*) suhu $-50^\circ C$ sampai $1300^\circ C$. Pemilihan tipe K ini dikarenakan rentangan suhu daripada transmisi yang dikehendaki dan ketersediaan unit produk di pasar (*market*) yang ada. Dari hasil tinjauan terdapat dua jenis termokopel tipe K yang memiliki satu input dan dua input pengukuran yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Termokopel tipe K

b) Higrometer

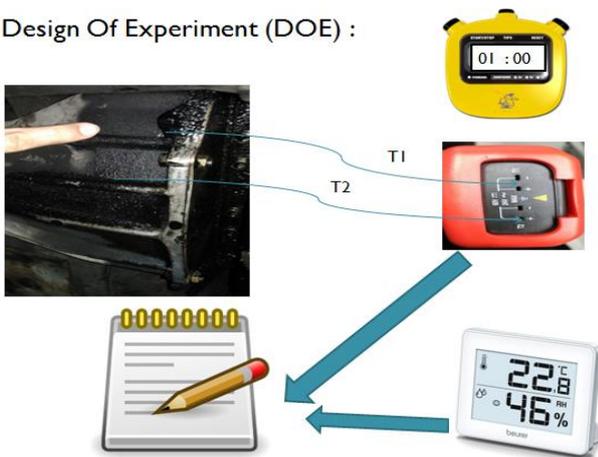
Higrometer diperlukan untuk mengukur tingkat kelembaban udara suatu tempat dimana tingkat kelembaban merupakan faktor yang tidak dapat dikendalikan dalam studi eksperimen ini. Penyebab utama terjadinya galat yang cukup besar dalam suatu percobaan termal adalah kelembaban dan suhu lingkungan yang tidak dapat dikendalikan higrometer dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Higrometer

Penggambaran *flow process* pengambilan data eksperimental dapat dijelaskan pada Gambar 4 sebagai *Design of Experiment* (DOE)

Design Of Experiment (DOE) :

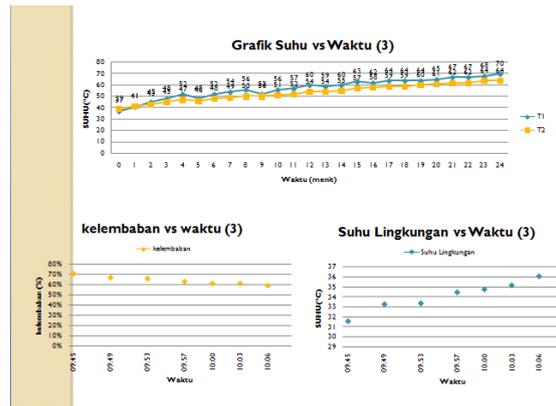


Gambar 4. Design of Experiment (DOE)

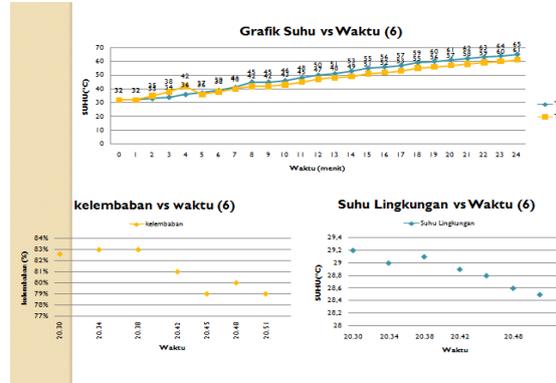
Percobaan dirangkai sesuai dengan DOE pada 2 titik yang berbeda untuk menghindari data tunggal yang terjadi.

Data Eksperimen Sebelum Perbaikan

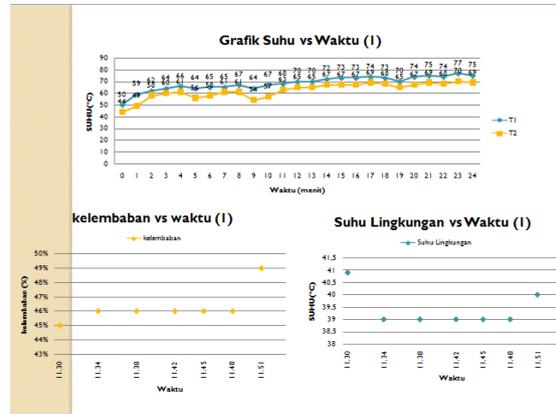
Data berikut didapatkan dari data aktual di lokasi Magister S-2 Teknik Mesin USU dengan pengambilan data suhu 2 titik, serta suhu lingkungan dan kelembaban.



Tanggal : 5 April 2016
Pukul : 09.45



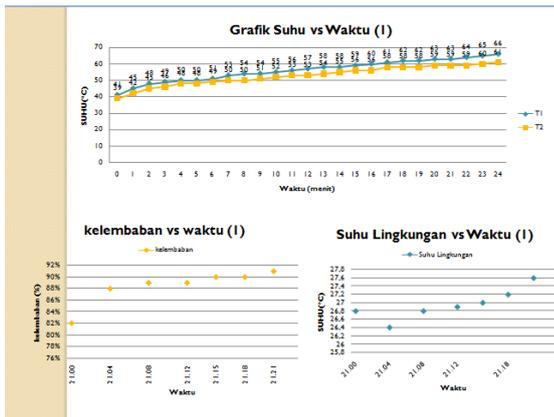
Tanggal : 6 April 2016
Pukul : 20.30



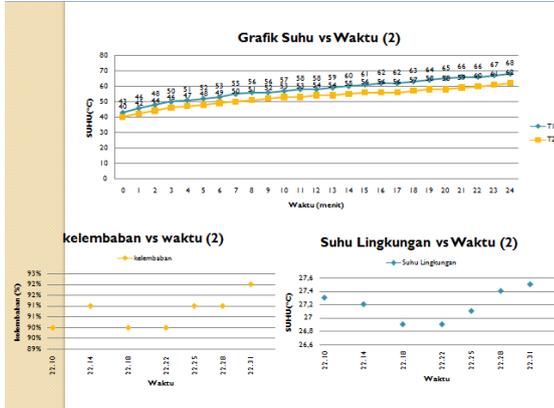
Tanggal : 4 April 2016
Pukul : 11.30

Data Eksperimen Setelah Perbaikan

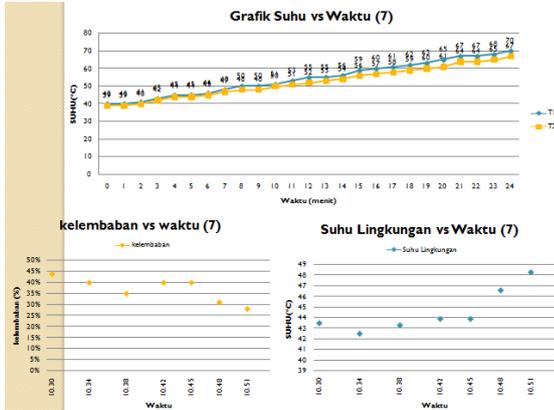
Data berikut didapatkan dari data aktual di lokasi Magister S-2 Teknik Mesin USU dengan pengambilan data suhu 2 titik, serta suhu lingkungan dan kelembaban.



Tanggal : 7 Mei 2016
Pukul : 21.00



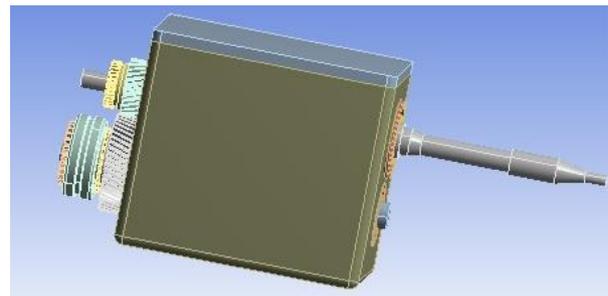
Tanggal : 7 Mei 2016
Pukul : 22.10



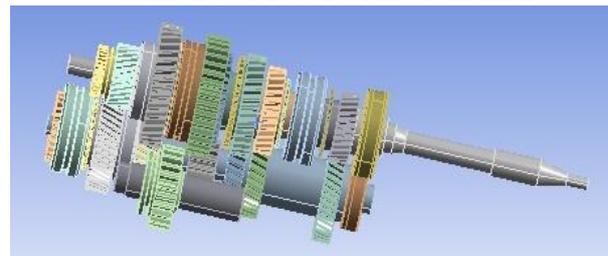
Tanggal : 12 Mei 2016
Pukul : 10.30

Model CAD

Proses desain CAD transmisi dilakukan dengan menggambarkan model CAD kemudian diimport untuk dianalisis. Gambar model CAD dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.



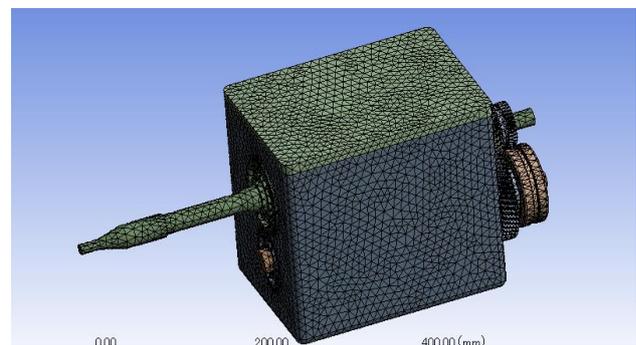
Gambar 5. Model CAD transmisi



Gambar 6. Model CAD transmisi

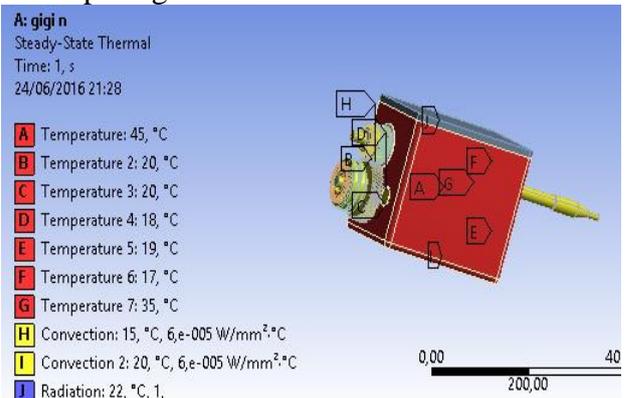
Metode Simulasi

Pada bagian ini model CAD yang sudah dibuat diberikan *mesh* dengan ukuran elemen 10 mm yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Proses *mesh*

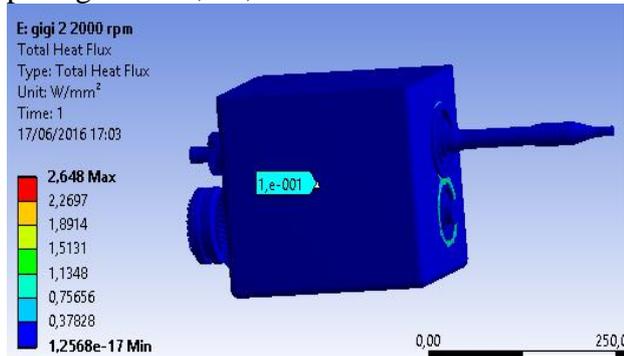
Selanjutnya dikembangkan dengan menggunakan *steady state* termal dengan memberikan kondisi pembebanan yang dapat dilihat pada gambar 8.



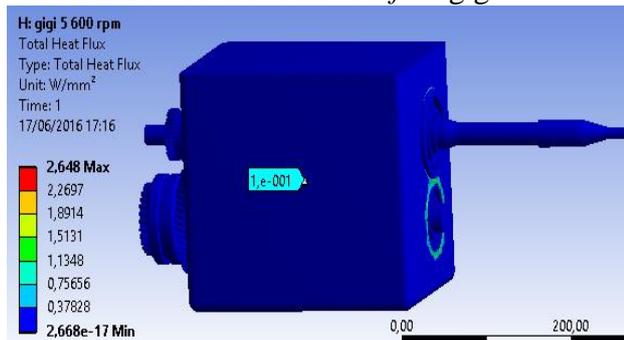
Gambar 8. Kondisi pembebanan

Hasil Simulasi Sebelum Perbaikan

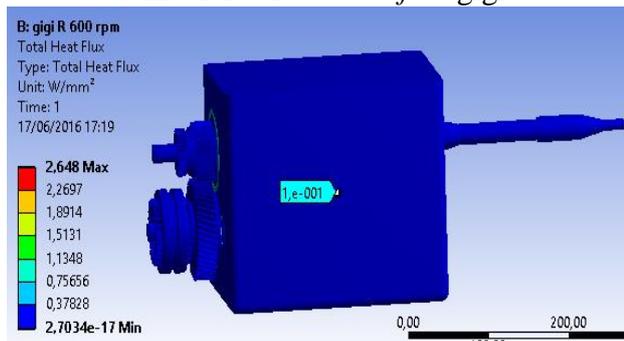
Setelah selesai dilakukan penggambaran CAD, proses selanjutnya adalah menganalisa desain CAD dengan metode FEA untuk mendapatkan hasil. Pada bagian ini akan dianalisa *total heatflux* dimana keadaan kendaraan belum diperbaiki yang dapat dilihat pada gambar 9, 10, dan 11.



Gambar 9. Total heatflux gigi 2



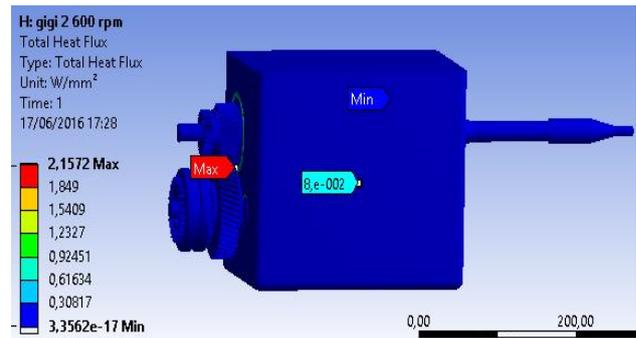
Gambar 10. Total heatflux gigi 5



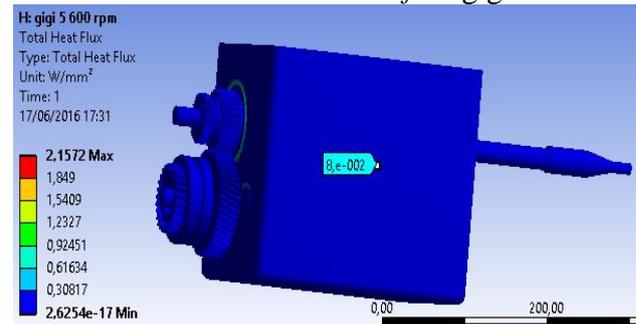
Gambar 11. Total heatflux gigi R

Hasil Simulasi Setelah Perbaikan

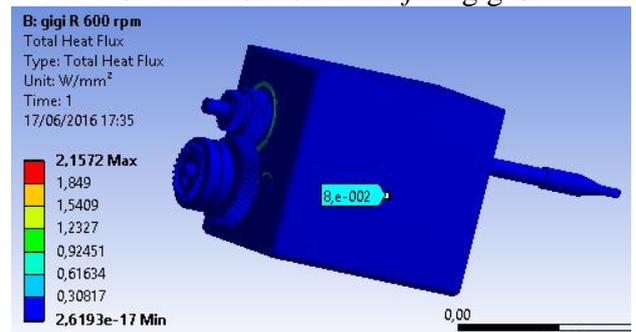
Berikut ini akan ditampilkan hasil analisa *heatflux* dimana kendaraan sudah diganti oli dan barang yang rusak berupa bantalan. Yang dapat dilihat pada gambar 12, 13, dan 14.



Gambar 12. Total heatflux gigi 2



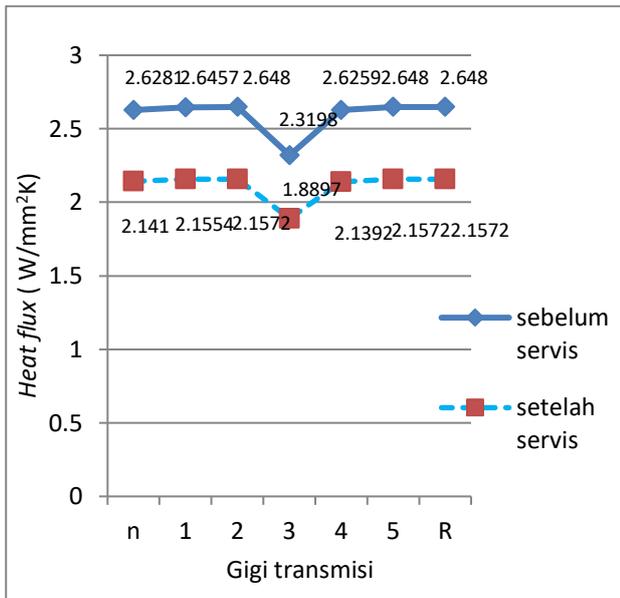
Gambar 13. Total heatflux gigi 5



Gambar 14. Total heatflux gigi R

Perbandingan Total Heatflux Hasil Simulasi Sebelum dan Setelah Perbaikan

Dibawah ini akan ditampilkan grafik *total heatflux* maksimum yang terjadi pada gigi n, 1, 2, 3, 4, 5 dan R dan *total heatflux* pada ruang transmisi dimana keadaan kendaraan sebelum diperbaiki dan setelah diperbaiki. Yang dapat dilihat pada gambar 15.



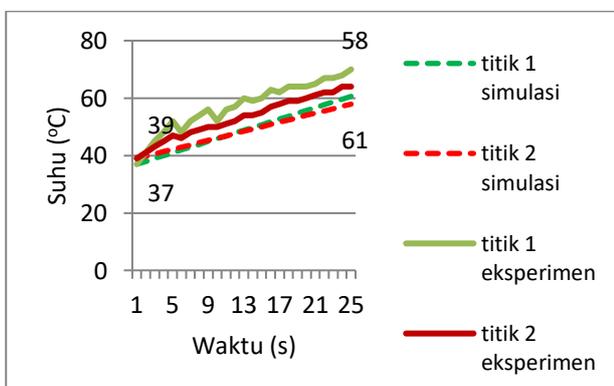
Gambar 15. Perbandingan total heatflux

sebelum perbaikan dan setelah perbaikan. Dari grafik dapat diketahui bahwa kendaraan setelah diperbaiki mengalami penurunan suhu. Misalkan pada saat belum diperbaiki suhunya dapat mencapai 70°C dan setelah diperbaiki hanya mencapai 60°C.

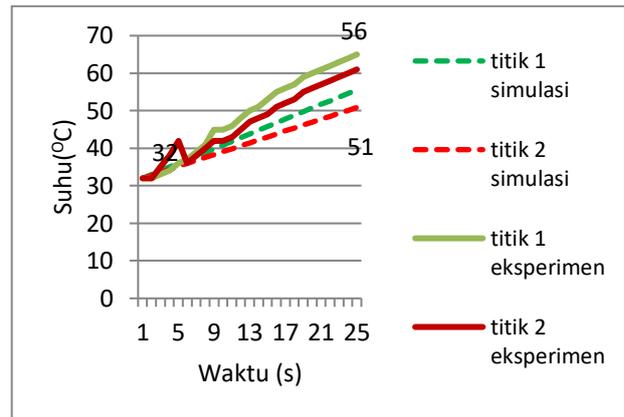
Hasil total heatflux akan diubah ke bentuk suhu dengan menggunakan rumus empiris sehingga dapat dilakukan perbandingan suhu antara hasil eksperimen dengan hasil simulasi.

Hasil Perbandingan Suhu Eksperimen dan Simulasi

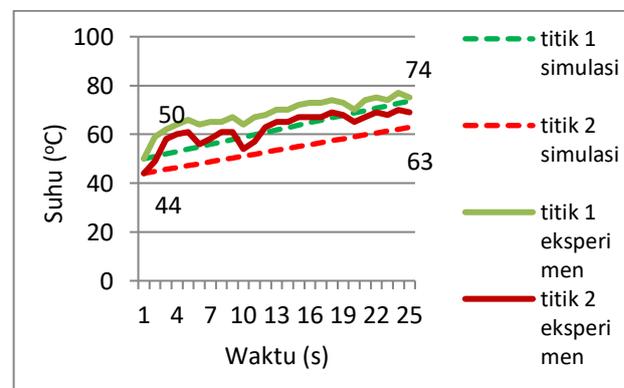
Berikut akan dibandingkan grafik suhu antara hasil dari eksperimen dengan hasil dari simulasi sebelum perbaikan yang dapat dilihat pada gambar 16, 17, dan 18 sebagai berikut:



Gambar 16. Grafik perbandingan suhu ke-1



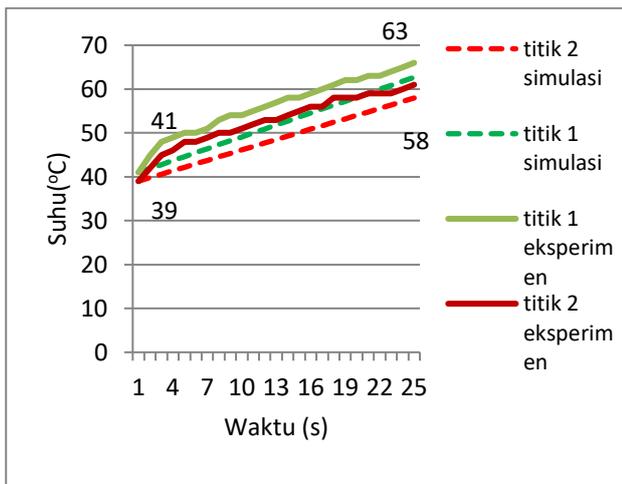
Gambar 17. Grafik perbandingan suhu ke-2



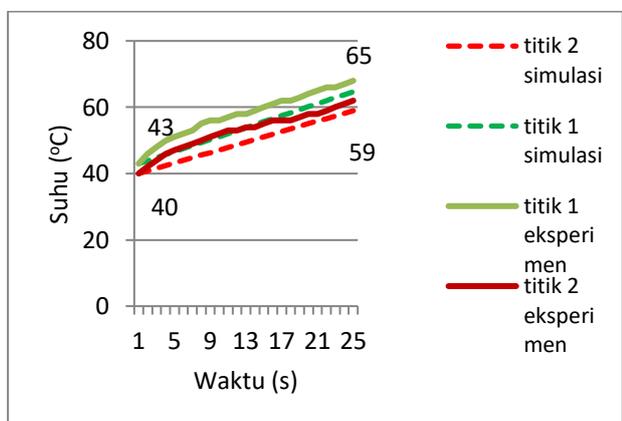
Gambar 18. Grafik perbandingan suhu ke-3

Grafik diatas merupakan grafik dari suhu vs waktu yang terjadi pada transmisi yang belum perbaikan. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa suhu yang diukur secara eksperimen nilainya tidak tetap tetapi pada hasilnya tetap mengalami kenaikan suhu. Pada simulasi, suhunya naik secara terus - menerus. Hal ini terjadi karena pada bagian eksperimen terjadi kelonggaran dalam hal pemasangan sensor termokopel karena sensor termokopel tidak dapat melekat dengan erat diakibatkan adanya kotoran oli yang menempel disekitar ruang luar transmisi. Dari gambar 11, 12, dan 13 belum dapat dibuat kesimpulan karena suhu pada eksperimen tidak tentu.

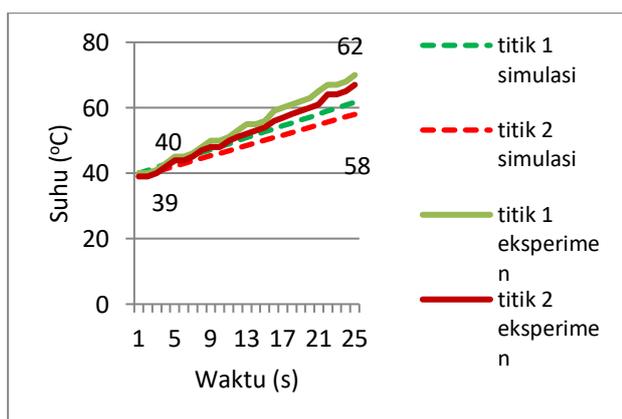
Karena pada bagian sebelum perbaikan belum dapat ditarik kesimpulan. Maka dilanjutkan penelitian dengan keadaan mesin setelah perbaikan. Berikut ini akan ditampilkan gambar grafik perbandingan eksperimen dengan simulasi setelah terjadi perbaikan. Yang dapat dilihat pada gambar 19, 20 dan 21:



Gambar 19. Grafik perbandingan suhu ke-4



Gambar 20. Grafik perbandingan suhu ke-5



Gambar 21. Grafik perbandingan suhu ke-6

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa suhu yang diukur secara eksperimen sudah naik tidak seperti pada saat sebelum perbaikan. Dan pada hasil simulasi, suhunya naik. Jadi pada gambar 19, 20, dan 21 dapat disimpulkan bahwa semakin lama suatu mesin beroperasi maka suhu mesin tersebut akan semakin tinggi.

Persen Ralat

Berikut ini akan dihitung persen ralat antara eksperimen dengan simulasi. Persen ralat yang dihasilkan dari grafik perbandingan suhu ke - 4:

$$\% \text{ ralat}_{(t=39)} = \frac{\text{eksperimen} - \text{simulasi}}{\text{hasil simulasi}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = \frac{61 - 58}{58} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = 5,17 \%$$

$$\% \text{ ralat}_{(t=41)} = \frac{\text{eksperimen} - \text{simulasi}}{\text{hasil simulasi}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = \frac{66 - 63}{63} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = 4,76 \%$$

Persen ralat yang dihasilkan dari grafik perbandingan suhu ke - 5 adalah:

$$\% \text{ ralat}_{(t=40)} = \frac{\text{eksperimen} - \text{simulasi}}{\text{hasil simulasi}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = \frac{62 - 59}{59} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = 5,08 \%$$

$$\% \text{ ralat}_{(t=43)} = \frac{\text{eksperimen} - \text{simulasi}}{\text{hasil simulasi}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = \frac{68 - 65}{65} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = 4,61 \%$$

Persen ralat yang dihasilkan dari grafik perbandingan suhu ke - 5 yaitu sebesar:

$$\% \text{ ralat}_{(t=39)} = \frac{\text{eksperimen} - \text{simulasi}}{\text{hasil simulasi}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = \frac{67 - 58}{58} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = 15,5 \%$$

$$\% \text{ ralat}_{(t=40)} = \frac{\text{eksperimen} - \text{simulasi}}{\text{hasil simulasi}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = \frac{70 - 62}{62} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ralat} = 12,9 \%$$

Kesimpulan

Secara eksperimen, metode dua titik tepat untuk mendapatkan karakteristik grafik kenaikan suhu pada transmisi sehingga memudahkan proses analisa. Prediksi kerusakan yang terjadi, sebagai parameter ketepatan menganalisa dan penarikan kesimpulan dimana hasil kerusakan aktual hanya berhubungan dengan pelumasan yang sudah melewati umur pemakaian (*lifetime*).

Secara simulasi, didapatkan nilai *total heatflux* maksimum sebelum perbaikan sebesar 2,648 W/mm²K, setelah perbaikan nilai *total heatflux* maksimum sebesar 2,1572 W/mm²K. Dari *total heatflux* ini, peneliti mendapatkan nilai suhu

sehingga dapat diketahui terjadi penurunan suhu setelah dilakukan perbaikan.

Grafik eksperimen dan simulasi serupa dimana menunjukkan metode simulasi cukup tepat dalam melihat pertumbuhan panas dalam transmisi.

Referensi

- [1] Joule D, Hinduja S, Ashton J N, "Thermal analysis of spur transmisi Part 1: steady state finite element analysis", *Journal of Mechanical Engineering*, July 1998, pp. 245- 256.
- [2] Kumar Pawan, Patil," Design and Thermal Analysis of Helical Transmisi", *Global Research Analysis*, 2013.
- [3] Prijono, Arko," Prinsip-prinsip Perpindahan Panas", Edisi 3, Jakarta : Erlangga, 1985.