

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Riwayat Penggantian *Floating Seal* pada *Final Drive* PC400-8

Salah satu faktor dilakukannya penelitian ini adalah riwayat penggantian *floating seal* yang tercatat pada beberapa unit. Setiap dilakukan perbaikan, akan menyebabkan berhentinya proses produksi sehingga mengakibatkan kerugian sebesar Rp. 4.740.720.428,26 per unit dalam satu shift. Dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi penggantian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggantian pelumas *final drive* pada unit Komatsu PC400-8 di PT. Saptaindra Sejati, dari setiap 2000 HM menjadi 250 HM. Berikut data riwayat penggantian *floating seal* beberapa unit yang ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 4. 1 Riwayat Penggantian *Floating Seal* pada *Final Drive* PC400-8

Equipment	Start Date	Start Time	Finish date	Finish Time	Problem	Action
EX040-025	11/06/2023	07.00	11/06/2023	17.00	Kebocoran pada <i>floating seal</i>	Replace <i>floating seal</i>
EX040-027	07/09/2023	07.00	07/09/2023	17.00	Kebocoran pada <i>floating seal</i>	Replace <i>floating seal</i>
EX040-033	27/12/2023	07.00	27/12/2023	17.00	Kebocoran pada <i>floating seal</i>	Replace <i>floating seal</i>
EX040-035	20/02/2023	07.00	20/02/2023	17.00	Kebocoran pada <i>floating seal</i>	Replace <i>floating seal</i>
EX040-038	15/03/2023	07.00	15/03/2023	17.00	Kebocoran pada <i>floating seal</i>	Replace <i>floating seal</i>

Sumber : Dokumen Perusahaan

4.2 Hasil Pengujian Oli *Final drive* pada 2000 Jam Kerja dan 1000 Jam

Kerja

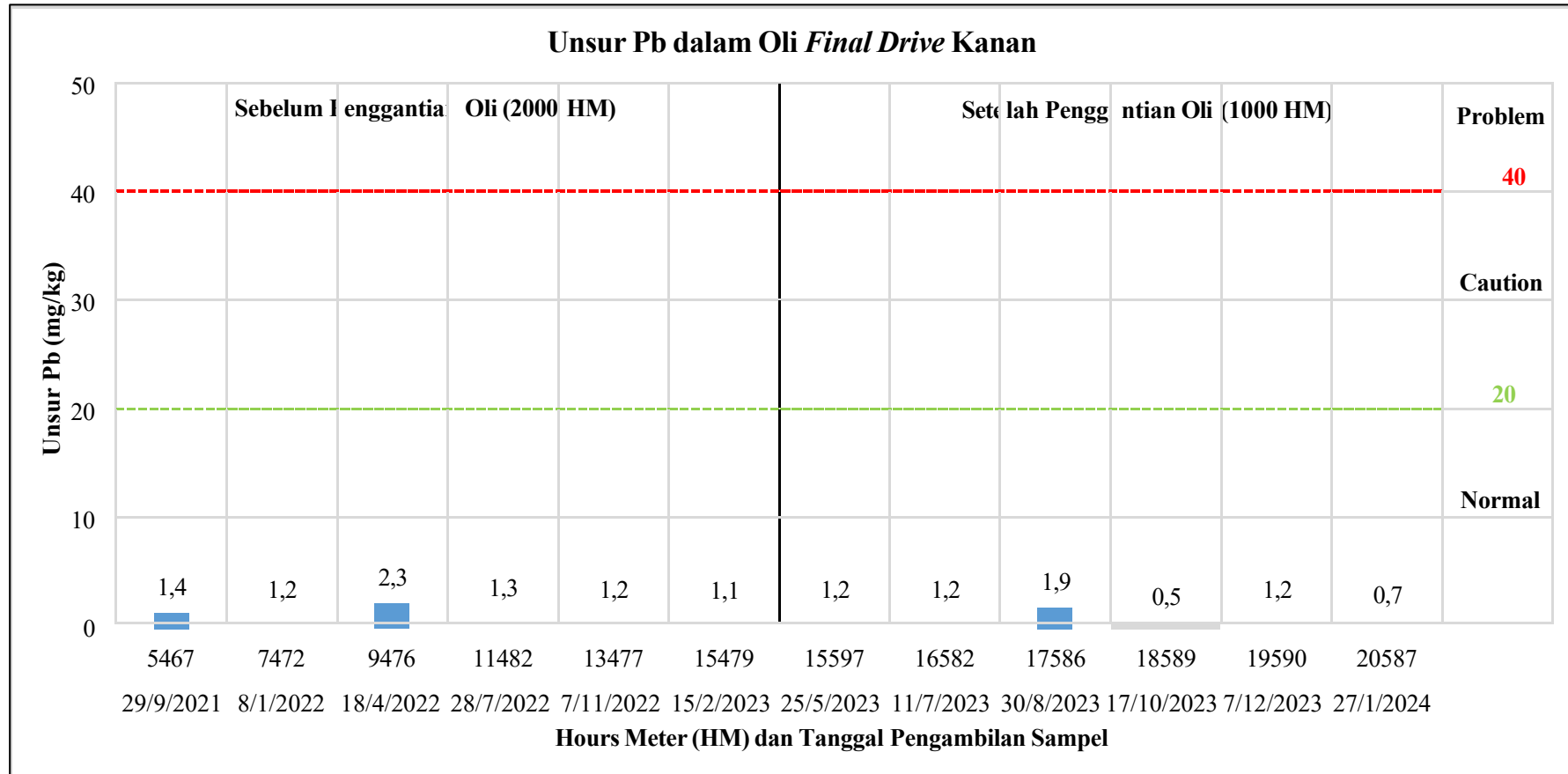
Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil perbandingan kondisi oli *final drive* antara 2000 *hours meter* dengan 1000 *hours meter* pada bagian kanan dan kiri yang menunjukkan kandungan *wear metal* atau tingkat keausan material pada oli dan tingkat viskositas oli. Kandungan *wear metal* pada oli terdiri dari *lead* (pb), *iron* (Fe), *aluminium* (Al), *copper* (Cu), *chromium* (Cr), *tin* (Sn), dan *nickel* (Ni). Pengujian yang dilakukan hanya mengambil beberapa sampel kandungan wear metal yaitu : *lead* (pb), *iron* (Fe), *aluminium* (Al), *copper* (Cu). Karena beberapa kandungan wear metal tersebut yang mengalami penurunan signifikan.

4.2.1 Penurunan Kandungan *Wear Metal* Unsur Pb pada Oli *Final drive*

1. Bagian Kanan

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi penurunan kadar unsur Pb pada oli *final drive*, meskipun sebelum dilakukan *improvement*, kadar Pb yang dihasilkan masih dalam batas aman dan dalam batas normal. Kadar Pb pada oli *final drive* menunjukan bahwa adanya tingkat keausan yang dialami oleh komponen-komponen yang mengandung timah hitam seperti *bearing* serta karena adanya *oil additive* yang sudah rusak atau terkontaminasi. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 1000 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa

penurunan kandungan unsur timbal (Pb) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 20 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas. Dengan demikian, tidak hanya berpotensi meningkatkan kinerja mesin, tetapi juga dapat memperpanjang umur komponen serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah oli yang terkontaminasi.



Gambar 4. 1 Grafik Unsur Pb pada oli *Final drive* Kanan setiap 1000 HM

Sedangkan penurunan kadar Pb yang dihasilkan berkisar antara 0% hingga 62%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 1000 HM, konsentrasi Pb dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Pb yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Pb pada 2000 HM} - \text{Kadar Pb pada 1000 HM}}{\text{Kadar Pb pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,3 - 0,5}{1,3} \times 100\% \\
 &= 62\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 2000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Pb}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{1,1 \text{ mg/kg}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,00055 \text{ mg/kg. jam}$$

- Pada 1000 HM

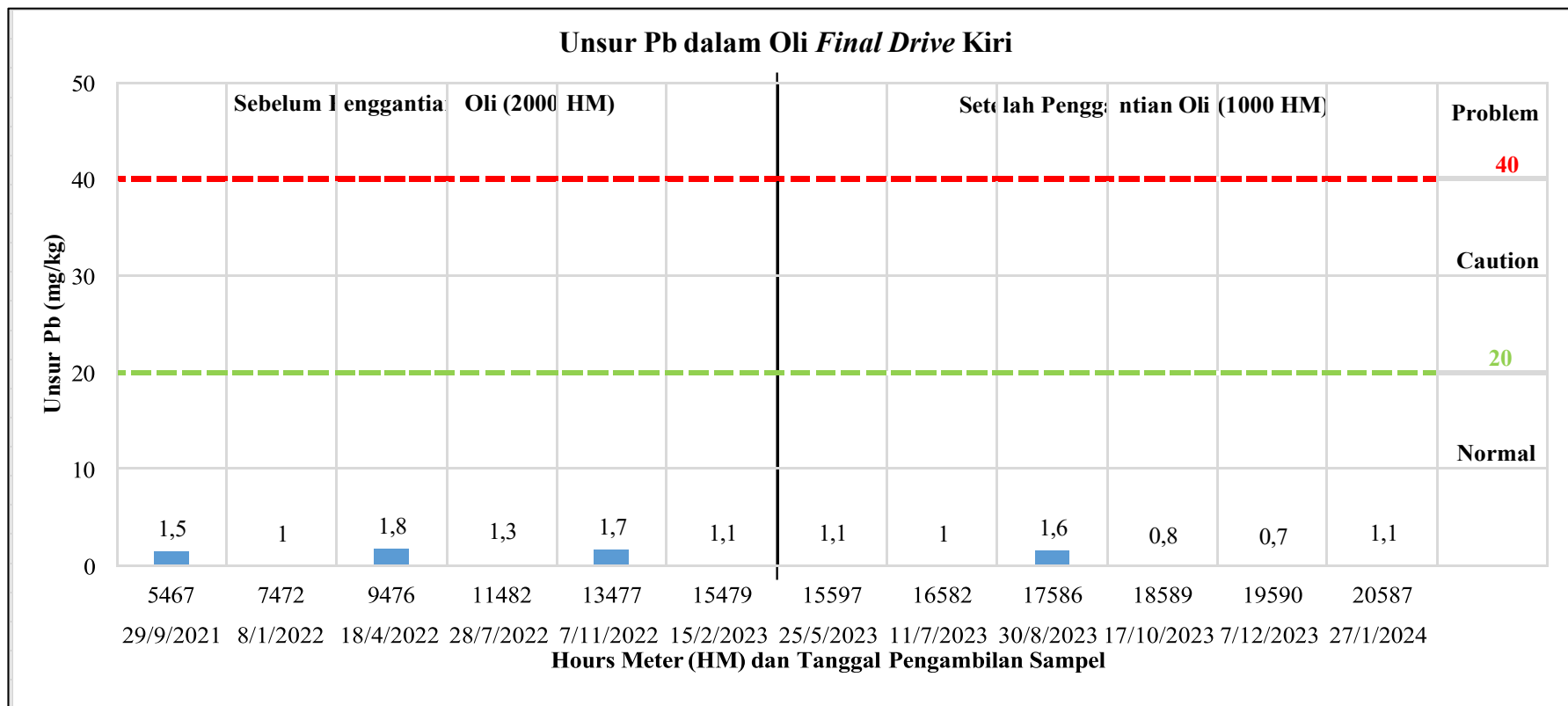
$$x = \frac{\text{Kadar Pb}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{0,7 \text{ mg/kg}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,00035 \text{ mg/kg. jam}$$

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi penurunan kadar unsur Pb pada oli *final drive*, meskipun sebelum dilakukan *improvement*, kadar Pb yang dihasilkan masih dalam batas aman dan dalam batas normal. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 1000 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur timbal (Pb) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 20 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas.



Gambar 4. 2 Grafik Unsur Pb pada oli *Final drive* Kiri setiap 1000 HM

Sedangkan penurunan kadar Pb yang dihasilkan berkisar antara 0% hingga 59%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 1000 HM, konsentrasi Pb dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Pb yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Pb pada 2000 HM} - \text{Kadar Pb pada 1000 HM}}{\text{Kadar Pb pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,7 - 0,7}{1,7} \times 100\% \\
 &= 59\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 2000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Pb}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{1,1 \text{ mg/kg}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,00055 \text{ mg/kg. jam}$$

- Pada 1000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Pb}}{1000 \text{ Jam}}$$

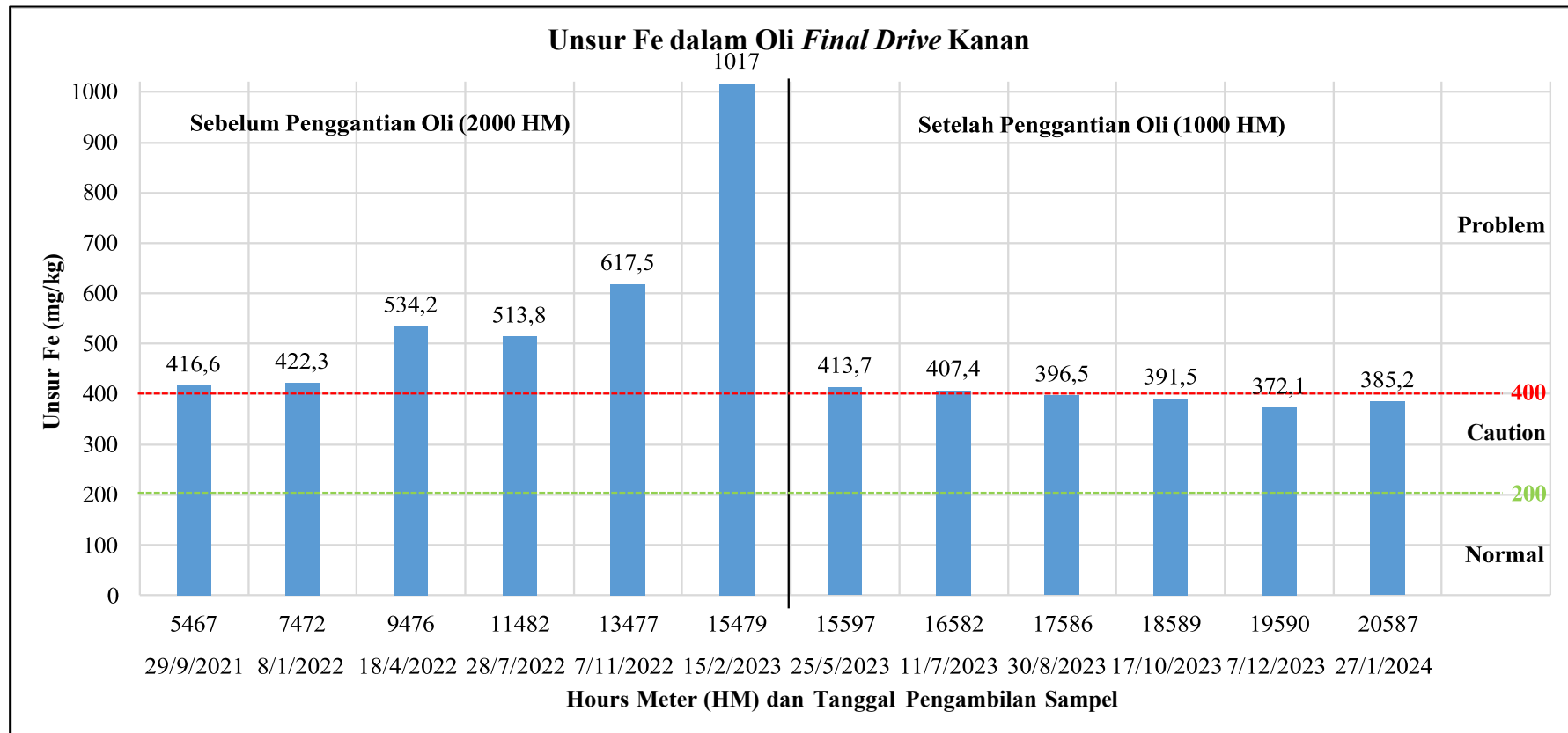
$$= \frac{1,1 \text{ mg/kg}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,0011 \text{ mg/kg. jam}$$

4.2.2 Penurunan Kandungan *Wear Metal* Unsur Fe pada Oli *Final drive*

1. Bagian Kanan

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.3, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi penurunan kadar unsur Fe pada oli *final drive*. Kandungan Fe pada oli menunjukkan adanya tingkat keausan yang dialami oleh *gear*, *bearing*, *shaft*, dan *housing*. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 1000 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur besi (Fe) dalam oli berada dalam kategori *caution* yang artinya perlu mewaspadaai terhadap kadar besi yang masih lumayan tinggi, dengan nilai di atas 200 mg/kg. Terdapat 2 data yang kadar besinya di atas batas *caution* (400 mg/kg) yaitu senilai 431,7 mg/kg dan 407,4 mg/kg. Hal ini menyebabkan adanya keausan pada komponen mesin dan mengganggu kemampuan pelumas.



Gambar 4. 3 Grafik Unsur Fe pada oli *Final drive* Kanan setiap 1000 HM

Sedangkan penurunan kadar Fe yang dihasilkan berkisar antara 1% hingga 62%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli yang dari sebelumnya 2000 HM menjadi 1000 HM, konsentrasi Fe dalam oli dapat diminimalkan. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Fe yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Fe pada 2000 HM} - \text{Kadar Fe pada 1000 HM}}{\text{Kadar Fe pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{1017 - 385,2}{1017} \times 100\% \\
 &= 95\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 2000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Fe}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{1017 \text{ mg/kg}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,5085 \text{ mg/kg. jam}$$

- Pada 1000 HM

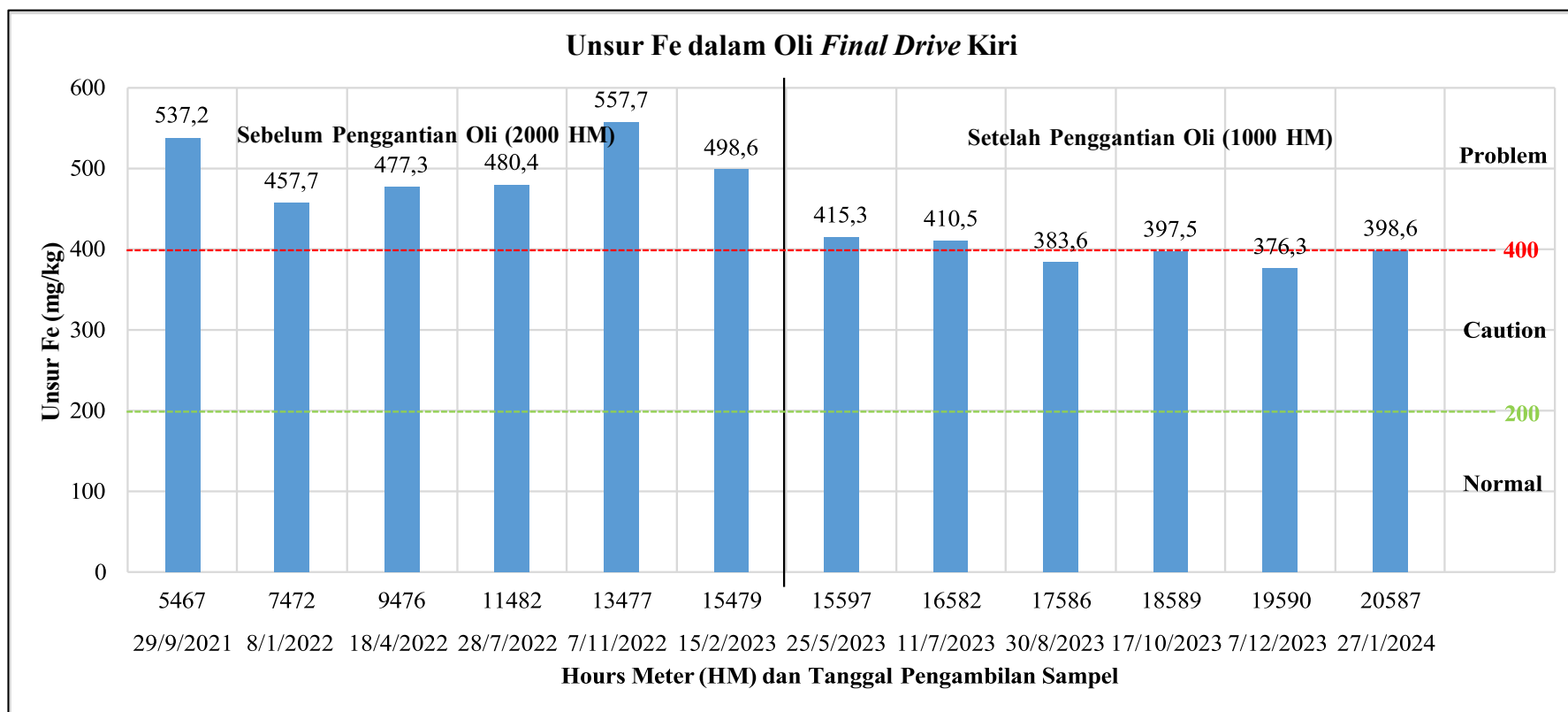
$$x = \frac{\text{Kadar Fe}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{385,2 \text{ mg/kg}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,3852 \text{ mg/kg. jam}$$

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.4, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi penurunan kadar unsur Fe pada oli *final drive*. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 1000 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur besi (Fe) dalam oli berada dalam kategori *caution* yang artinya perlu mewaspadai terhadap kadar besi yang masih lumayan tinggi, dengan nilai yang tercatat di atas 200 mg/kg. Bahkan terdapat 2 data yang kadar besinya di atas batas *caution* (400 mg/kg) yaitu senilai 415,3 mg/kg dan 410,5 mg/kg. Hal ini menyebabkan adanya keausan pada komponen mesin dan mengganggu kemampuan pelumas untuk melindungi antar komponen yang bergerak sehingga komponen mengalami korosi dan performa mesin menjadi menurun.



Gambar 4. 4 Grafik Unsur Fe pada oli *Final drive* Kiri setiap 1000 HM

Sedangkan penurunan kadar Fe yang dihasilkan berkisar antara 10% hingga 33%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 1000 HM, konsentrasi Fe dalam oli dapat diminimalkan. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Fe yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Fe pada 2000 HM} - \text{Kadar Fe pada 1000 HM}}{\text{Kadar Fe pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{557,7 - 376,3}{557,7} \times 100\% \\
 &= 33\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 2000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Fe}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{498,6 \text{ mg/kg}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,2493 \text{ mg/kg. jam}$$

- Pada 1000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Fe}}{1000 \text{ Jam}}$$

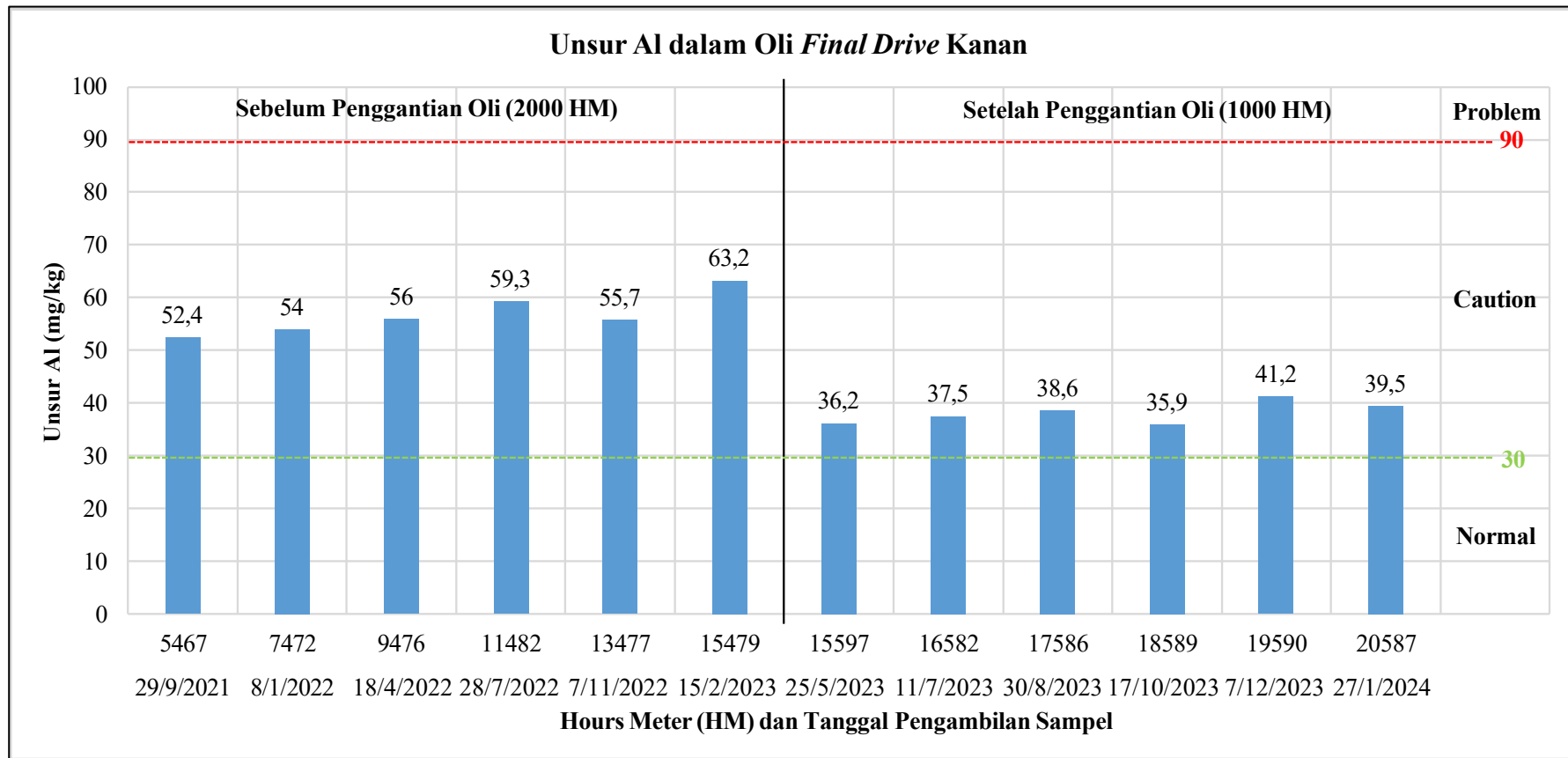
$$= \frac{398,6 \text{ mg/kg}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,3986 \text{ mg/kg. jam}$$

4.2.3 Penurunan Kandungan *Wear Metal* Unsur Al pada Oli *Final drive*

1. Bagian Kanan

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.5, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi penurunan kadar unsur Al pada oli *final drive*. Kandungan aluminium menunjukkan bahwa adanya tingkat keausan yang dialami oleh *oil pump, bearing, housing, bushing, dan thrust washer*. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 1000 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur aluminium (Al) dalam oli berada dalam kategori *caution* yang artinya kadar Al masih lumayan tinggi, dengan nilai di atas 30 mg/kg. Hal ini menyebabkan adanya keausan pada komponen mesin dan mengganggu kemampuan pelumas untuk melindungi komponen yang bergerak sehingga komponen mengalami korosi dan performa mesin menjadi menurun.



Gambar 4. 5 Grafik Unsur Al pada oli *Final drive* Kanan setiap 1000 HM

Sedangkan penurunan kadar Al yang dihasilkan berkisar antara 26% hingga 39%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 1000 HM, konsentrasi Al dalam oli dapat diminimalkan. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Al yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Al pada 2000 HM} - \text{Kadar Al pada 1000 HM}}{\text{Kadar Al pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{59,3 - 35,9}{59,3} \times 100\% \\
 &= 39\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 2000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Al}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{63,2 \text{ mg/kg}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,0316 \text{ mg/kg. jam}$$

- Pada 1000 HM

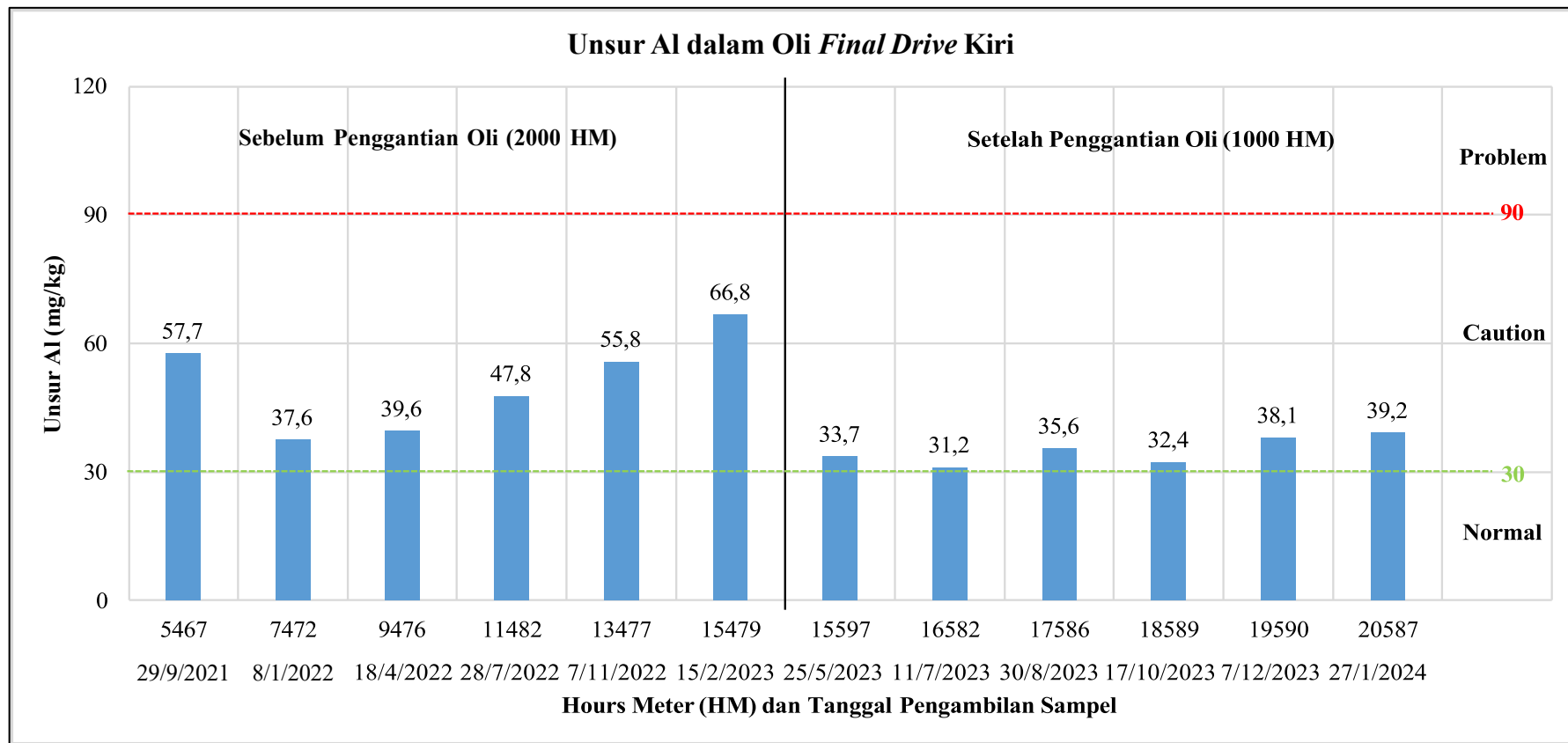
$$x = \frac{\text{Kadar Al}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{39,5 \text{ mg/kg}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,0395 \text{ mg/kg. jam}$$

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.6, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi penurunan kadar unsur Al pada oli *final drive*. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 1000 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur aluminium (Al) dalam oli berada dalam kategori *caution* yang artinya perlu mewaspadaai terhadap kadar besi yang masih lumayan tinggi, dengan nilai yang tercatat di atas 30 mg/kg. Hal ini menyebabkan adanya keausan pada komponen mesin dan mengganggu kemampuan pelumas untuk melindungi antar komponen yang bergerak sehingga komponen mengalami korosi dan performa mesin menjadi menurun.



Gambar 4. 6 Grafik Unsur Al pada oli *Final drive* Kiri setiap 1000 HM

Sedangkan penurunan kadar Al yang dihasilkan berkisar antara 10% hingga 42%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 1000 HM, konsentrasi Al dalam oli dapat diminimalkan. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Al yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Al pada 2000 HM} - \text{Kadar Al pada 1000 HM}}{\text{Kadar Al pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{55,7 - 33,7}{55,7} \times 100\% \\
 &= 42\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 2000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Al}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{66,8 \text{ mg/kg}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,0334 \text{ mg/kg. jam}$$

- Pada 1000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Al}}{1000 \text{ Jam}}$$

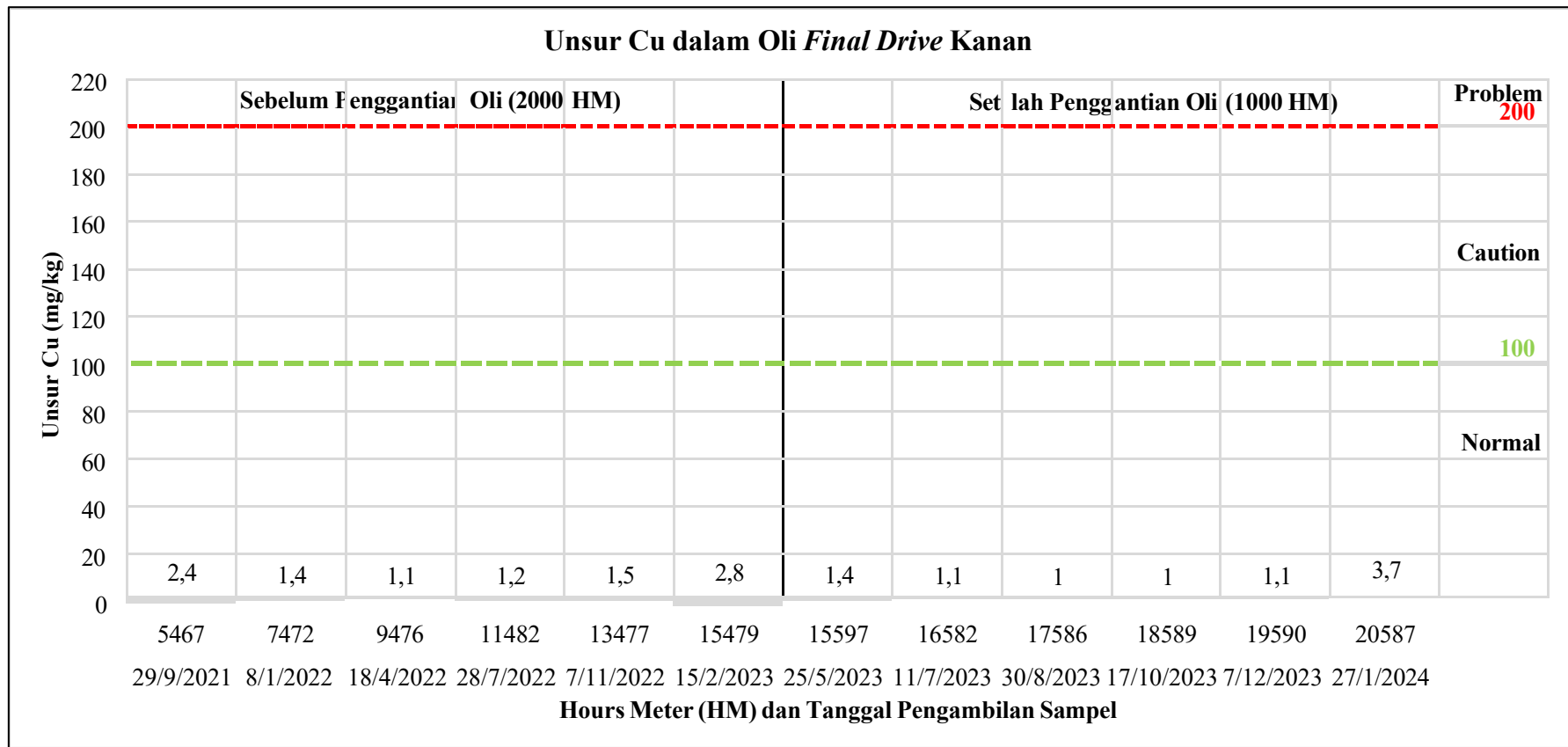
$$= \frac{39,2 \text{ mg/kg}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,0392 \text{ mg/kg. jam}$$

4.2.4 Penurunan Kandungan *Wear Metal* Unsur Cu pada Oli *Final drive*

1. Bagian Kanan

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.7, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi penurunan kadar unsur Cu pada oli *final drive* meskipun sebelum dilakukan *improvement* kadar Cu yang dihasilkan masih dalam batas aman dan dalam batas normal. Kandungan Cu menunjukkan bahwa adanya tingkat keausan yang dialami oleh *oil pump* dan *thrust washer* Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 1000 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur tembaga (Cu) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai di bawah 100 mg/kg. Hal ini menunjukkan performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga kualitas pelumas dapat terjaga.



Gambar 4. 7 Grafik Unsur Cu pada oli *Final drive* Kanan setiap 1000 HM

Sedangkan penurunan kadar Cu yang dihasilkan berkisar antara 9% hingga 42%. Meskipun terdapat kenaikan kadar Cu sebesar 32% yang diakibatkan karena adanya karena *wear metal* atau gesekan antar komponen *final drive*, namun tetap berada di bawah batas normal sehingga masih dikategorikan aman. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 1000 HM, konsentrasi Cu dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Cu yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Cu pada 2000 HM} - \text{Kadar Cu pada 1000 HM}}{\text{Kadar Cu pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,4 - 1,4}{2,4} \times 100\% \\
 &= 42\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 2000 HM

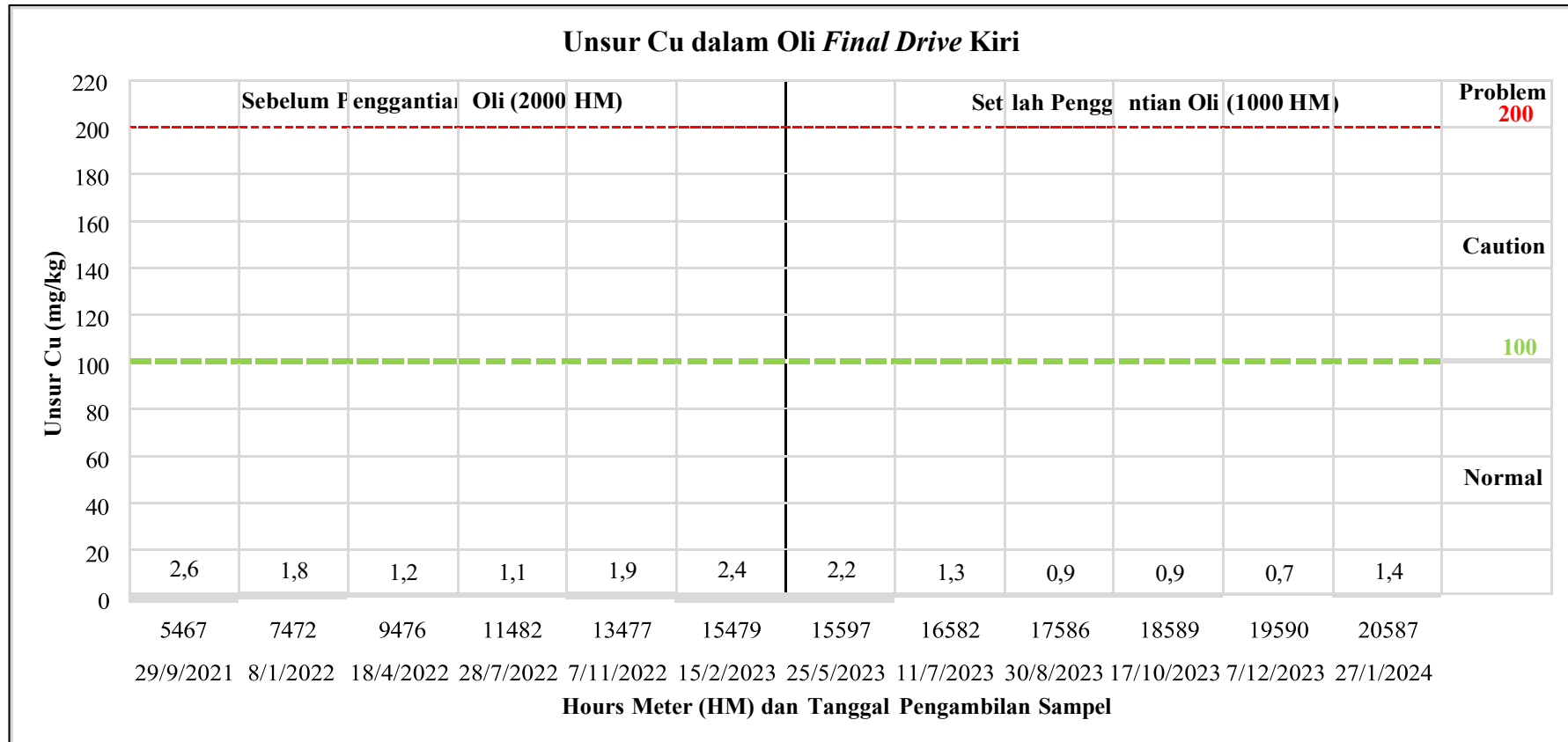
$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\text{Kadar Cu}}{2000 \text{ Jam}} \\
 &= \frac{2,8 \text{ mg/kg}}{2000 \text{ Jam}} \\
 &= 0,0014 \text{ mg/kg. jam}
 \end{aligned}$$

- Pada 1000 HM

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\text{Kadar Cu}}{1000 \text{ Jam}} \\
 &= \frac{3,7 \text{ mg/kg}}{1000 \text{ Jam}} \\
 &= 0,0037 \text{ mg/kg. jam}
 \end{aligned}$$

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.8, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi penurunan kadar unsur Cu pada oli *final drive* meskipun sebelum dilakukan *improvement* kadar Cu yang dihasilkan masih dalam batas aman dan dalam batas normal. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 1000 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur tembaga (Cu) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 100 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas.



Gambar 4. 8 Grafik Unsur Cu pada oli *Final drive* Kiri setiap 1000 HM

Sedangkan penurunan kadar Cu yang dihasilkan berkisar antara 15% hingga 63%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 1000 HM, konsentrasi Cu dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Cu yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Cu pada 2000 HM} - \text{Kadar Cu pada 1000 HM}}{\text{Kadar Cu pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,9 - 0,7}{1,9} \times 100\% \\
 &= 63\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 2000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Cu}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{2,4 \text{ mg/kg}}{2000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,0012 \text{ mg/kg. jam}$$

- Pada 1000 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Cu}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= \frac{1,4 \text{ mg/kg}}{1000 \text{ Jam}}$$

$$= 0,0014 \text{ mg/kg. jam}$$

4.3 Hasil Pengujian Oli *Final drive* pada 2000 Jam Kerja dan 250 Jam

Kerja

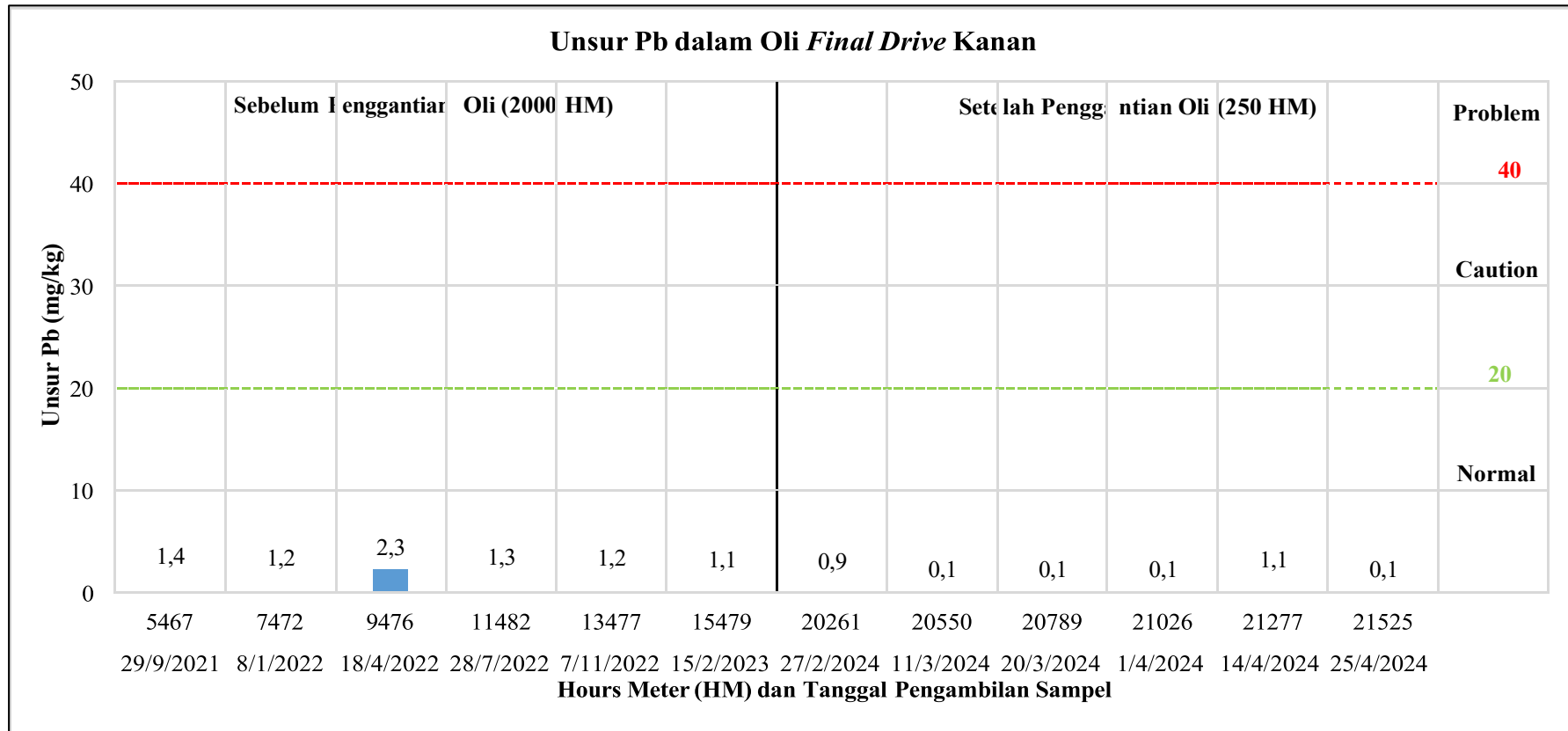
Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil perbandingan kondisi oli *final drive* antara 2000 *hours meter* dengan 250 *hours meter* pada bagian kanan dan kiri yang menunjukkan kandungan *wear metal* atau tingkat keausan material pada oli dan tingkat viskositas oli.

4.3.1 Penurunan Kandungan *Wear Metal* Unsur Pb pada Oli *Final drive*

1. Bagian Kanan

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.9, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi penurunan kadar unsur Pb pada oli *final drive* meskipun sebelum dilakukan *improvement* kadar Pb yang dihasilkan masih dalam batas aman dan dalam batas normal. Untuk pengambilan

sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 2000 dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 250. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur timbal (Pb) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 20 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas. Dengan demikian, tidak hanya berpotensi meningkatkan kinerja mesin, tetapi juga dapat memperpanjang umur komponen serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah oli yang terkontaminasi.



Gambar 4. 9 Grafik Unsur Pb pada oli *Final drive* Kanan

Sedangkan penurunan kadar Pb yang dihasilkan berkisar antara 8% hingga 96%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 250 HM, konsentrasi Pb dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Pb yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Pb pada 2000 HM} - \text{Kadar Pb pada 250 HM}}{\text{Kadar Pb pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,3 - 0,1}{2,3} \times 100\% \\
 &= 96\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

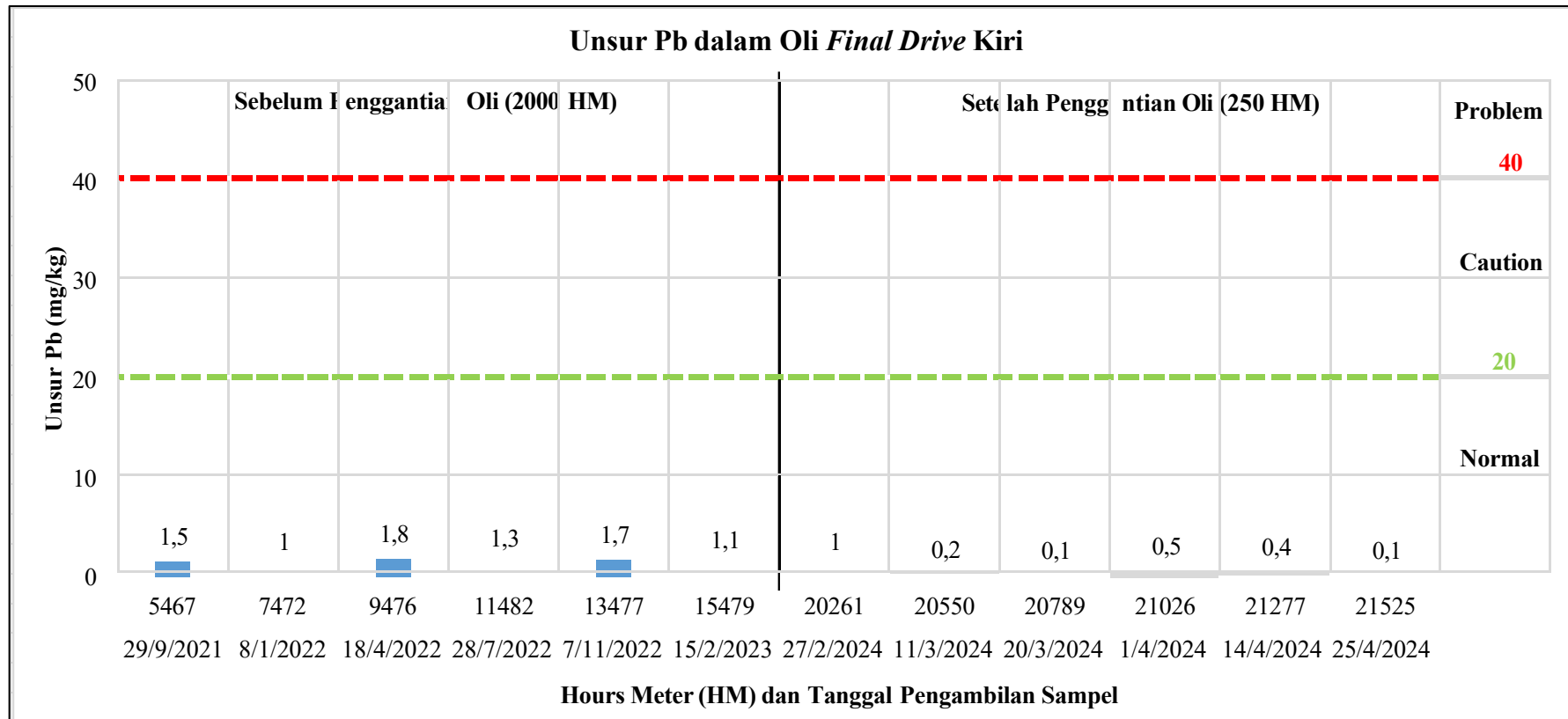
- Pada 250 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Pb}}{250 \text{ Jam}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,1 \text{ mg/kg}}{250 \text{ Jam}} \\
&= 0,0004 \text{ mg/kg. jam}
\end{aligned}$$

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.10, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi penurunan kadar unsur Pb pada oli *final drive* meskipun sebelum dilakukan *improvement* kadar Pd yang dihasilkan masih dalam batas aman dan dalam batas normal. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 2000 dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 250. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur timbal (Pb) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 20 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas.



Gambar 4. 10 Grafik Unsur Pb pada oli *Final drive* Kiri setiap

Sedangkan penurunan kadar Pb yang dihasilkan berkisar antara 33% hingga 94%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 250 HM, konsentrasi Pb dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Pb yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Pb pada 2000 HM} - \text{Kadar Pb pada 250 HM}}{\text{Kadar Pb pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,8 - 0,1}{1,8} \times 100\% \\
 &= 94\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 250 HM

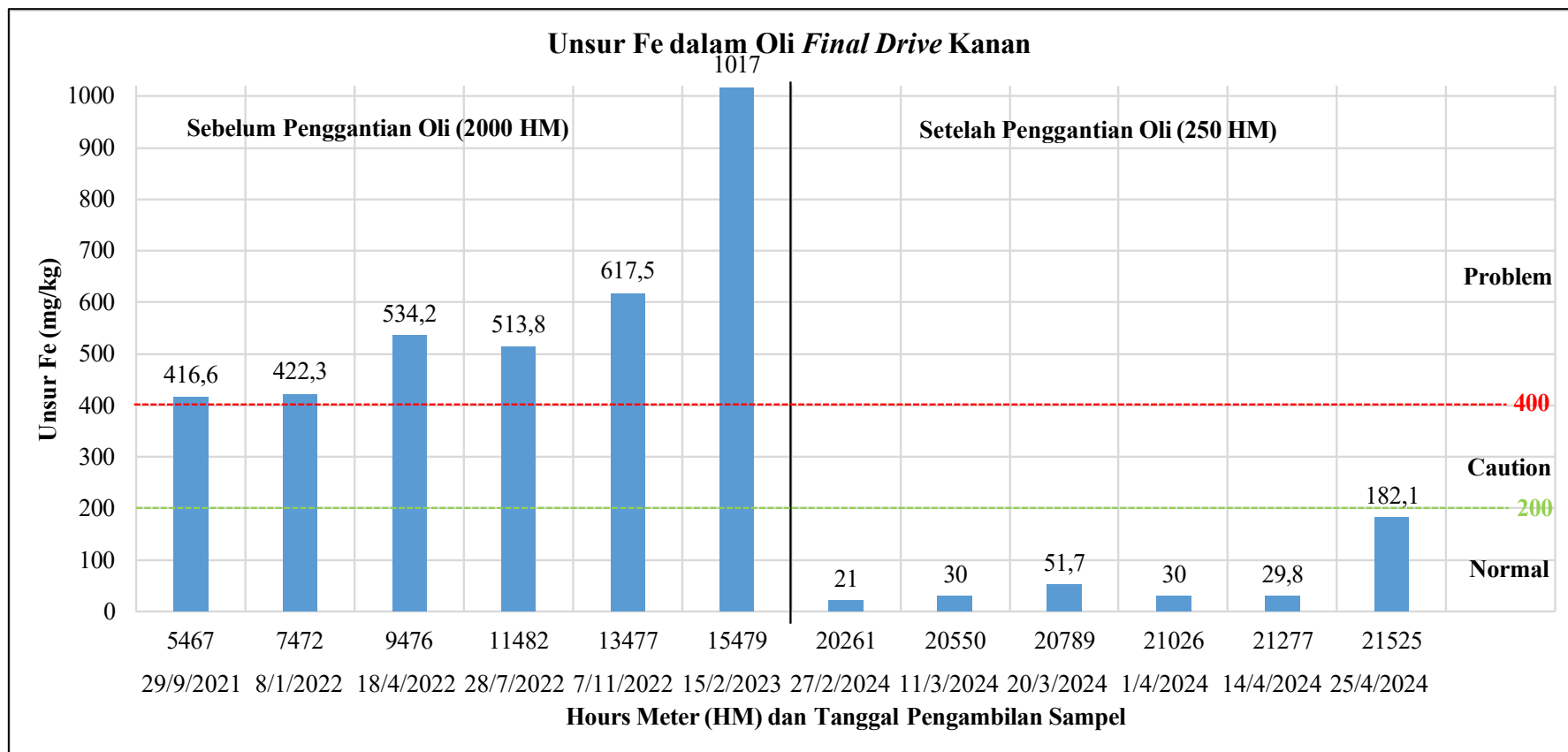
$$x = \frac{\text{Kadar Pb}}{250 \text{ Jam}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,1 \text{ mg/kg}}{250 \text{ Jam}} \\
&= 0,0004 \text{ mg/kg. jam}
\end{aligned}$$

4.3.2 Penurunan Kandungan *Wear Metal* Unsur Fe pada Oli *Final drive*

1. Bagian Kanan

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.11, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi penurunan kadar unsur Fe pada oli *final drive*. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 2000 dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 250. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur besi (Fe) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 200 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas.



Gambar 4. 11 Grafik Unsur Fe pada oli *Final drive* Kanan setiap 250 HM

Sedangkan penurunan kadar Fe yang dihasilkan signifikan, berkisar antara 82% hingga 95%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 250 HM, konsentrasi Fe dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Fe yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Fe pada 2000 HM} - \text{Kadar Fe pada 250 HM}}{\text{Kadar Fe pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{416,6 - 21}{416,6} \times 100\% \\
 &= 95\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

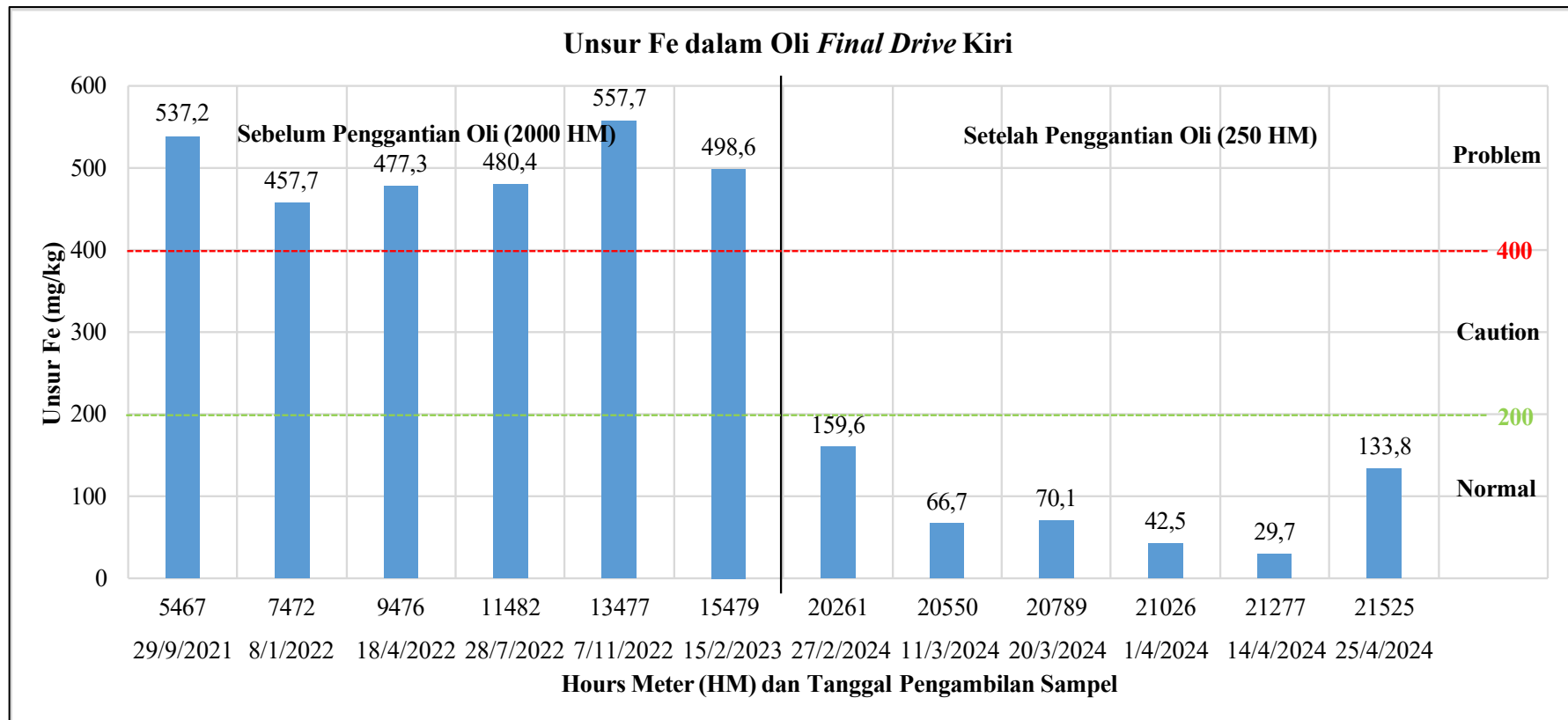
- Pada 250 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Fe}}{250 \text{ Jam}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{29,8 \text{ mg/kg}}{250 \text{ Jam}} \\
&= 0,1192 \text{ mg/kg. jam}
\end{aligned}$$

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.12, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi penurunan kadar unsur Fe pada oli *final drive*. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 2000 dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 250. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur besi (Fe) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 200 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas. Dengan demikian, tidak hanya berpotensi meningkatkan kinerja mesin, tetapi juga dapat memperpanjang umur komponen serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah oli yang terkontaminasi.



Gambar 4. 12 Grafik Unsur Fe pada oli *Final drive* Kiri setiap 250 HM

Sedangkan penurunan kadar Fe yang dihasilkan signifikan, berkisar antara 70% hingga 95%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 250 HM, konsentrasi Fe dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Fe yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Fe pada 2000 HM} - \text{Kadar Fe pada 250 HM}}{\text{Kadar Fe pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{557,7 - 29,7}{557,7} \times 100\% \\
 &= 95\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 250 HM

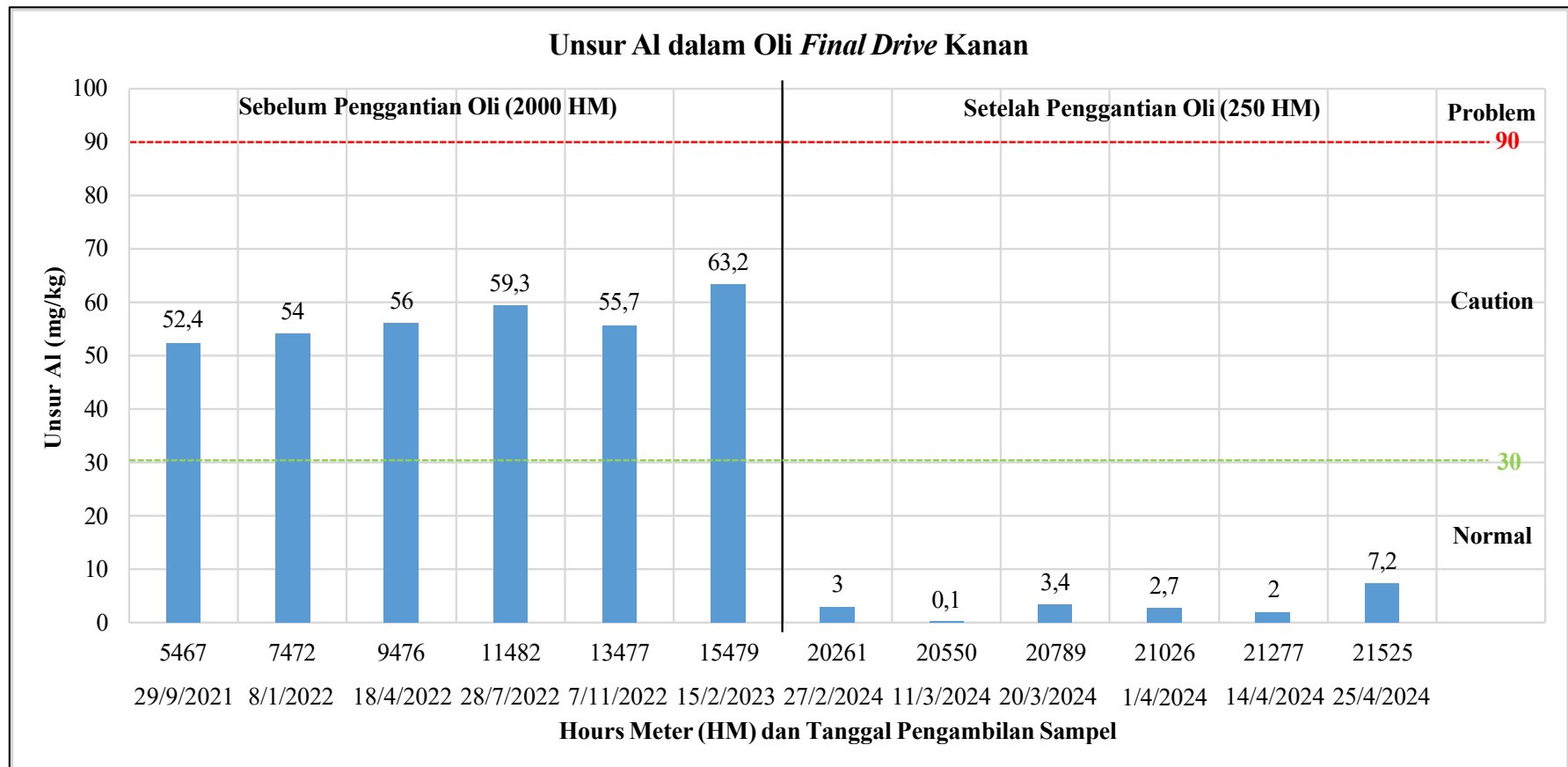
$$x = \frac{\text{Kadar Fe}}{250 \text{ Jam}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{29,7 \text{ mg/kg}}{250 \text{ Jam}} \\
&= 0,1188 \text{ mg/kg. jam}
\end{aligned}$$

4.3.3 Penurunan Kandungan *Wear Metal* Unsur Al pada Oli *Final drive*

1. Bagian Kanan

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.13, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi penurunan kadar unsur Al pada oli *final drive*. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 2000 dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 250. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur aluminium (Al) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 30 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas.



Gambar 4. 13 Grafik Unsur Al pada oli *Final drive* Kanan setiap 250 HM

Sedangkan penurunan kadar Al yang dihasilkan signifikan, berkisar antara 89% hingga 99%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 250 HM, konsentrasi Al dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Al yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Al pada 2000 HM} - \text{Kadar Al pada 250 HM}}{\text{Kadar Al pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{55,7 - 2}{55,7} \times 100\% \\
 &= 96\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

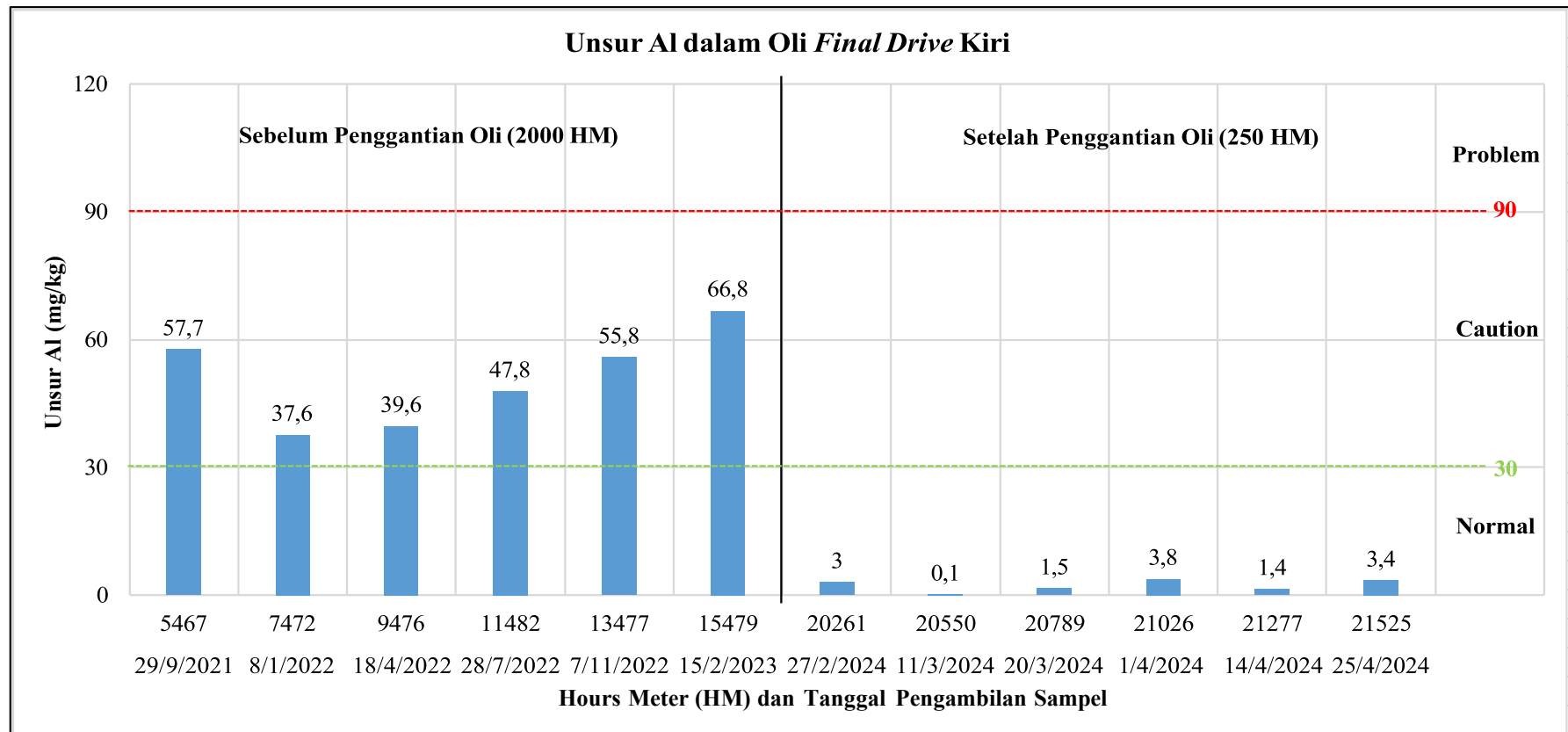
- Pada 250 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Al}}{250 \text{ Jam}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{7,2 \text{ mg/kg}}{250 \text{ Jam}} \\
&= 0,0288 \text{ mg/kg. jam}
\end{aligned}$$

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.14, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi penurunan kadar unsur Al pada oli *final drive*. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 2000 dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 250. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur aluminium (Al) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 30 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas. Dengan demikian, tidak hanya berpotensi meningkatkan kinerja mesin, tetapi juga dapat memperpanjang umur komponen serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat limbah oli yang terkontaminasi.



Gambar 4. 14 Grafik Unsur Al pada oli *Final drive* Kiri setiap 250 HM

Sedangkan penurunan kadar Al yang dihasilkan signifikan, berkisar antara 92% hingga 99%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 250 HM, konsentrasi Al dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Al yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Al pada 2000 HM} - \text{Kadar Al pada 250 HM}}{\text{Kadar Al pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{47,8 - 3,8}{47,8} \times 100\% \\
 &= 92\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 250 HM

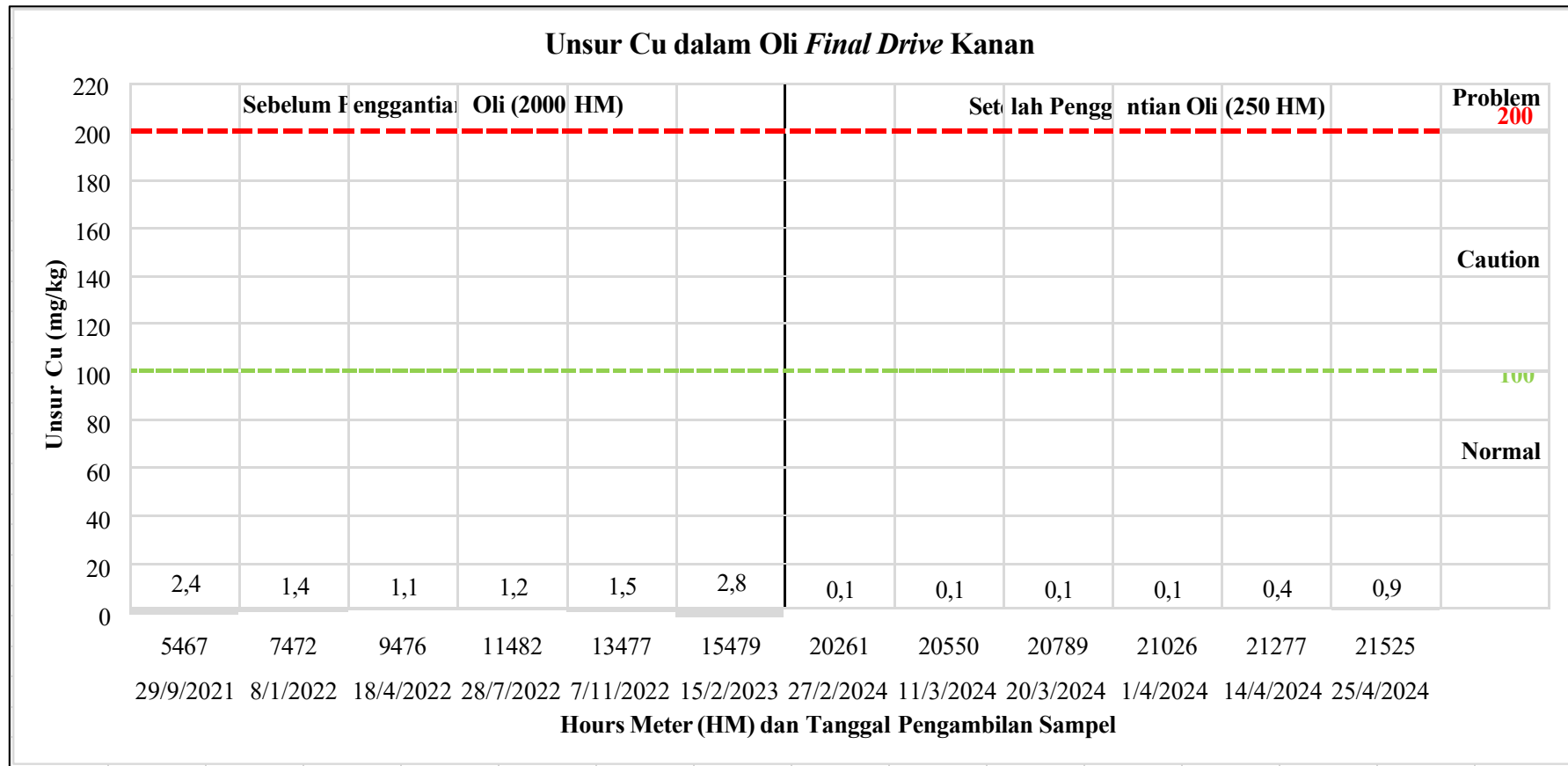
$$x = \frac{\text{Kadar Al}}{250 \text{ Jam}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{3,4 \text{ mg/kg}}{250 \text{ Jam}} \\
&= 0,0136 \text{ mg/kg. jam}
\end{aligned}$$

4.3.4 Penurunan Kandungan *Wear Metal* Unsur Cu pada Oli *Final drive*

1. Bagian Kanan

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.15, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi penurunan kadar unsur Cu pada oli *final drive* meskipun sebelum dilakukan *improvement* kadar Cu yang dihasilkan masih dalam batas aman dan dalam batas normal. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada kelipatan 2000 HM dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada kelipatan 250 HM. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur tembaga (Cu) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 100 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga kualitas pelumas dapat terjaga.



Gambar 4. 15 Grafik Unsur Cu pada oli *Final drive* Kanan setiap 250 HM

Sedangkan penurunan kadar Cu yang dihasilkan berkisar antara 68% hingga 96%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 250 HM, konsentrasi Cu dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Cu yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Cu pada 2000 HM} - \text{Kadar Cu pada 250 HM}}{\text{Kadar Cu pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,4 - 0,1}{2,4} \times 100\% \\
 &= 96\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

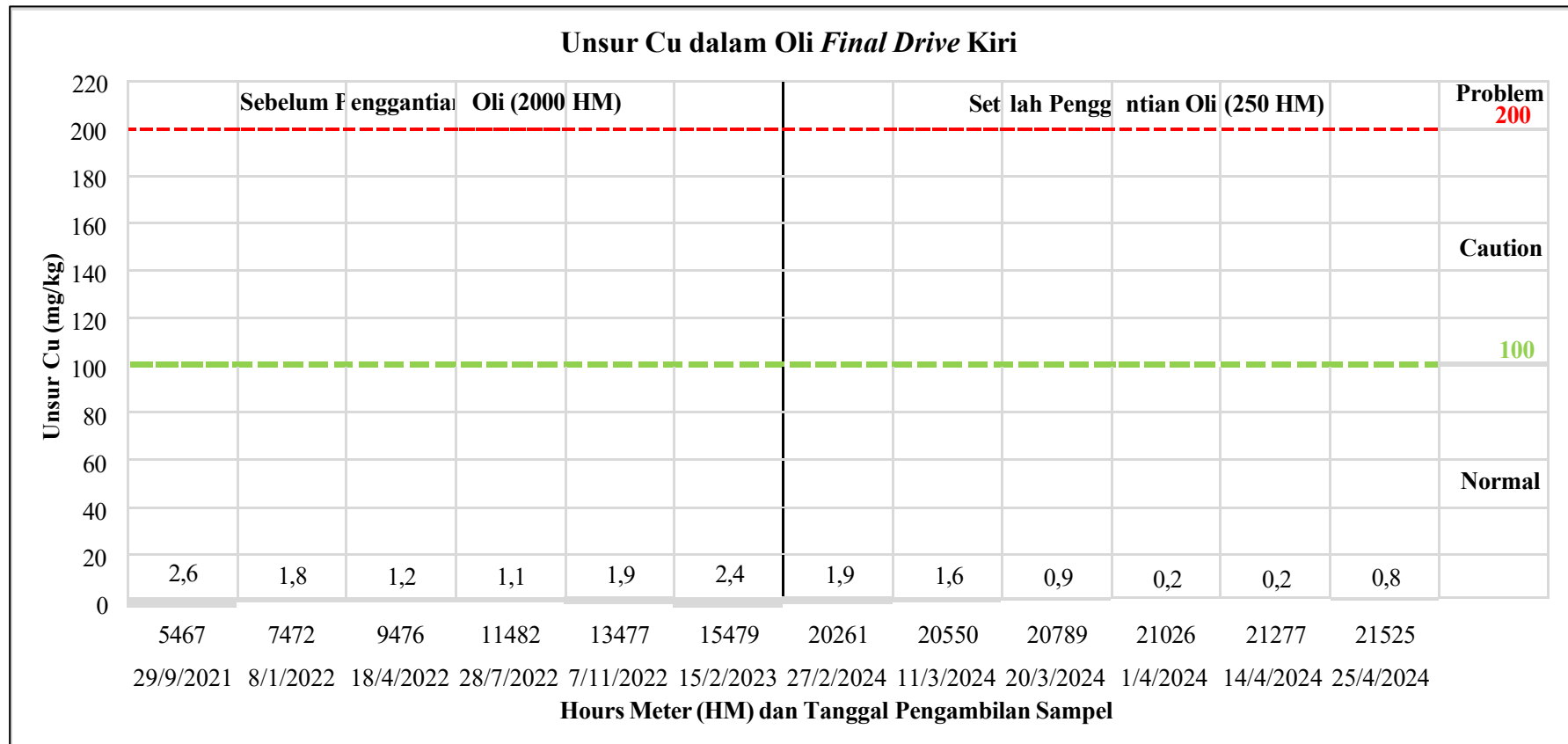
- Pada 250 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Cu}}{250 \text{ Jam}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,9 \text{ mg/kg}}{250 \text{ Jam}} \\
&= 0,0036 \text{ mg/kg. jam}
\end{aligned}$$

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.16, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi penurunan kadar unsur Cu pada oli *final drive* meskipun sebelum dilakukan *improvement* kadar Cu yang dihasilkan masih dalam batas aman dan dalam batas normal. Untuk pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan *historical unit* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 2000 dan pada saat setelah dilakukan *improvement* yaitu pada *hours meter* (HM) kelipatan 250. Dari *improvement* tersebut didapatkan hasil bahwa penurunan kandungan unsur tembaga (Cu) dalam oli masih tergolong aman dan berada dalam batas normal, dengan nilai yang tercatat di bawah 100 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa performa mesin tetap optimal dan risiko kerusakan akibat kontaminasi logam berat dapat diminimalkan, sehingga dapat membantu menjaga kualitas pelumas.



Gambar 4. 16 Grafik Unsur Cu pada oli *Final drive* Kiri setiap 250 HM

Sedangkan penurunan kadar Cu yang dihasilkan berkisar antara 11% hingga 89%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi interval penggantian oli dari sebelumnya 2000 HM menjadi 250 HM, konsentrasi Cu dalam oli dapat diminimalkan secara efektif. Untuk cara perhitungan penurunan kadar Cu yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Kadar Cu pada 2000 HM} - \text{Kadar Cu pada 250 HM}}{\text{Kadar Cu pada 2000 HM}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,9 - 0,2}{1,9} \times 100\% \\
 &= 89\%
 \end{aligned}$$

Dengan menganalisis kadar unsur dalam oli, dapat dievaluasi tingkat kontaminasi yang diakibatkan oleh gesekan antar komponen, yang dapat mempengaruhi kinerja pelumasan dan menyebabkan kerusakan pada *final drive*. Salah satu cara untuk mengetahui tingkat kontaminasi yaitu dengan mencari kecepatan keausan per jam terhadap kandungan unsur pada oli *final drive*. Menghitung kecepatan keausan per jam pada oli *final drive* sangat penting untuk beberapa alasan, seperti membantu dalam memantau kondisi pelumasan, memungkinkan untuk mengidentifikasi masalah lebih awal, serta dapat menjaga efisiensi operasional alat berat. Sehingga untuk mencari kecepatan keausan perjam yaitu sebagai berikut :

- Pada 250 HM

$$x = \frac{\text{Kadar Cu}}{250 \text{ Jam}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,8 \text{ mg/kg}}{250 \text{ Jam}} \\
&= 0,0032 \text{ mg/kg. jam}
\end{aligned}$$

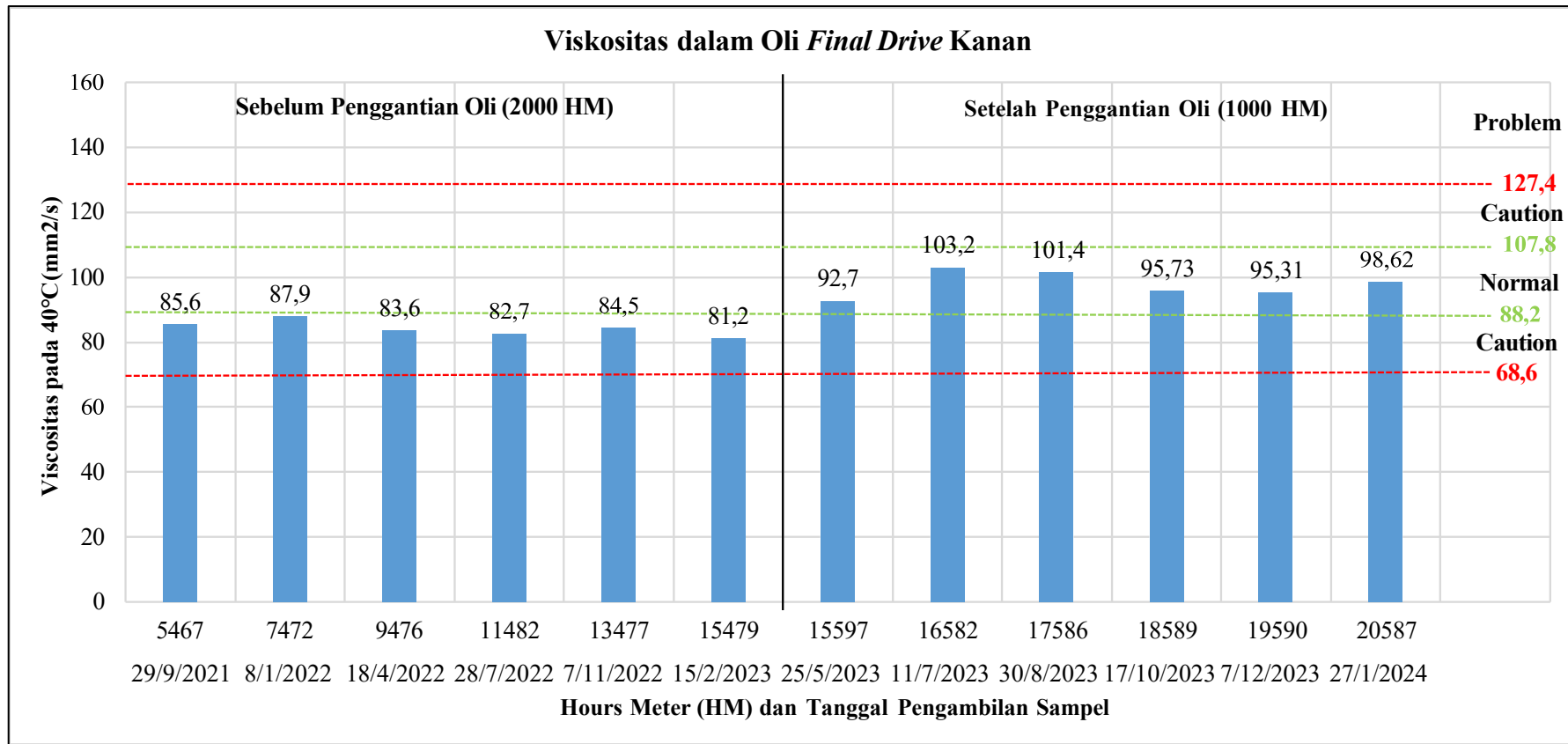
4.4 Karakteristik Oli *Final drive*

Karakteristik oli *final drive* dapat diidentifikasi melalui viskositasnya, yang menunjukkan kekentalan oli yang mempengaruhi kemampuannya untuk mengalir dan melumasi komponen mesin. Viskositas yang tepat memastikan perlindungan optimal terhadap keausan serta menjaga performa sistem pelumasan dalam berbagai kondisi operasional. Berikut perbedaan antara viskositas oli *Final drive* dari 2000 HM menjadi 1000 HM dengan viskositas oli *Final drive* dari 2000 HM menjadi 250 HM.

4.4.1 Viskositas Oli *Final drive* dari 2000 Jam Kerja Menjadi 1000 Jam Kerja

1. Bagian Kanan

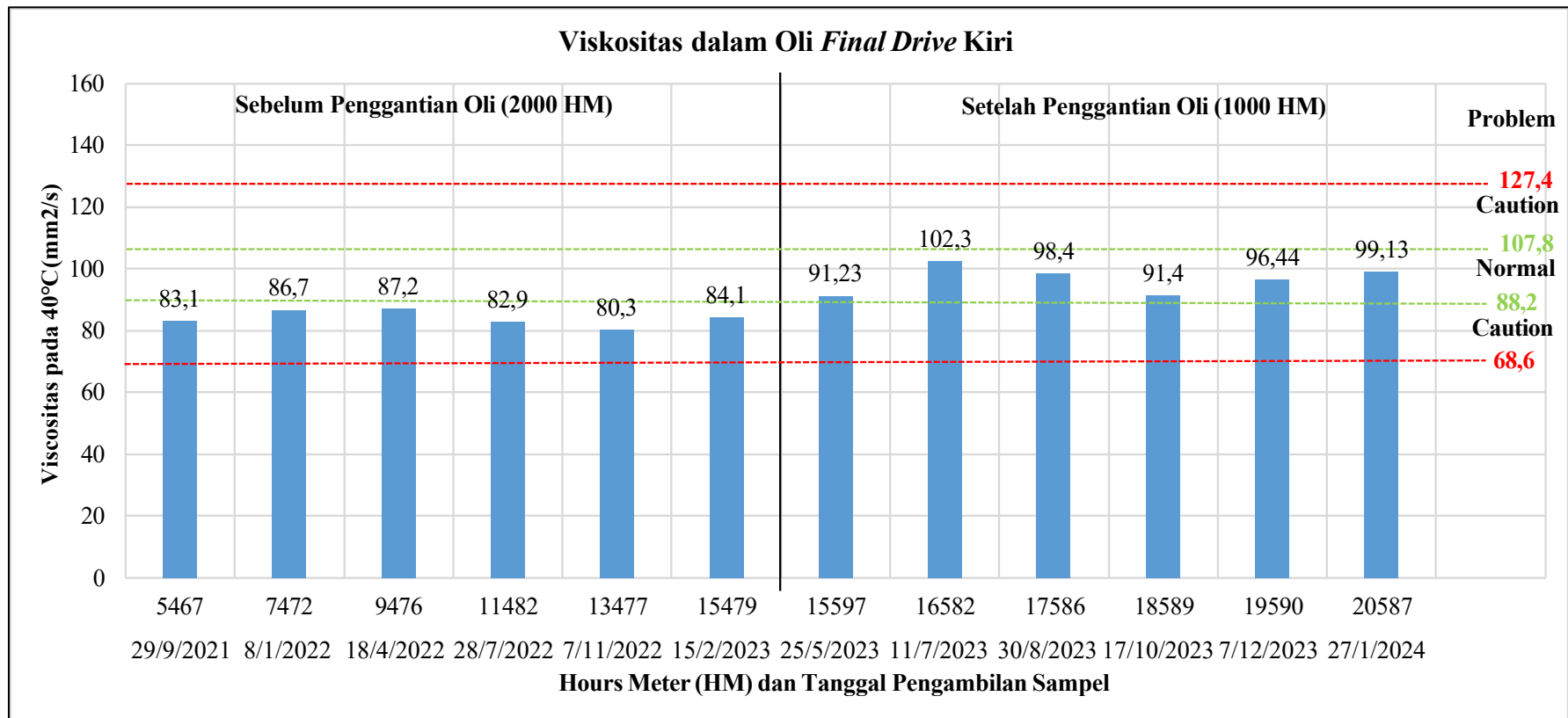
Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.17, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi peningkatan viskositas. Viskositas pada oli *final drive* yang sebelumnya berada dalam kategori *caution* (di bawah 88,2 mm²/s), yang dianggap terlalu kental, kini telah mengalami peningkatan menjadi kategori normal (antara 88,2 mm²/s – 107,8 mm²/s).



Gambar 4. 17 Grafik Viskositas pada oli *Final drive* Kanan setiap 1000 HM

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.18, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 1000 HM, terjadi peningkatan viskositas. Viskositas pada oli *final drive* yang sebelumnya berada dalam kategori *caution* (di bawah $88,2 \text{ mm}^2/\text{s}$), yang dianggap terlalu kental, kini telah mengalami peningkatan menjadi kategori normal (antara $88,2 \text{ mm}^2/\text{s} - 107,8 \text{ mm}^2/\text{s}$).



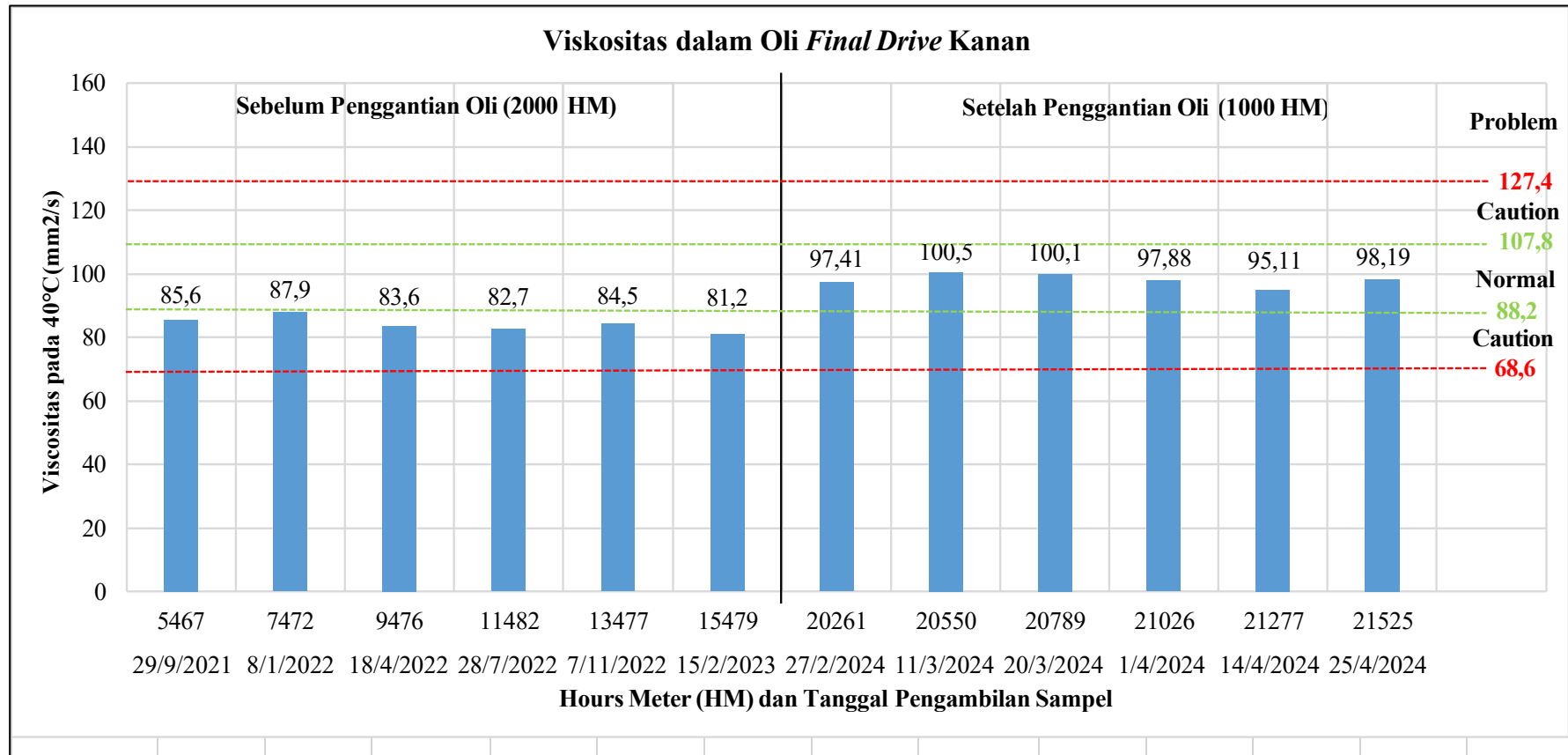
Gambar 4. 18 Grafik Viskositas pada oli *Final drive* Kiri setiap 1000 HM

4.4.2 Viskositas Oli *Final drive* dari 2000 Jam Kerja Menjadi 250 Jam

Kerja

1. Bagian Kanan

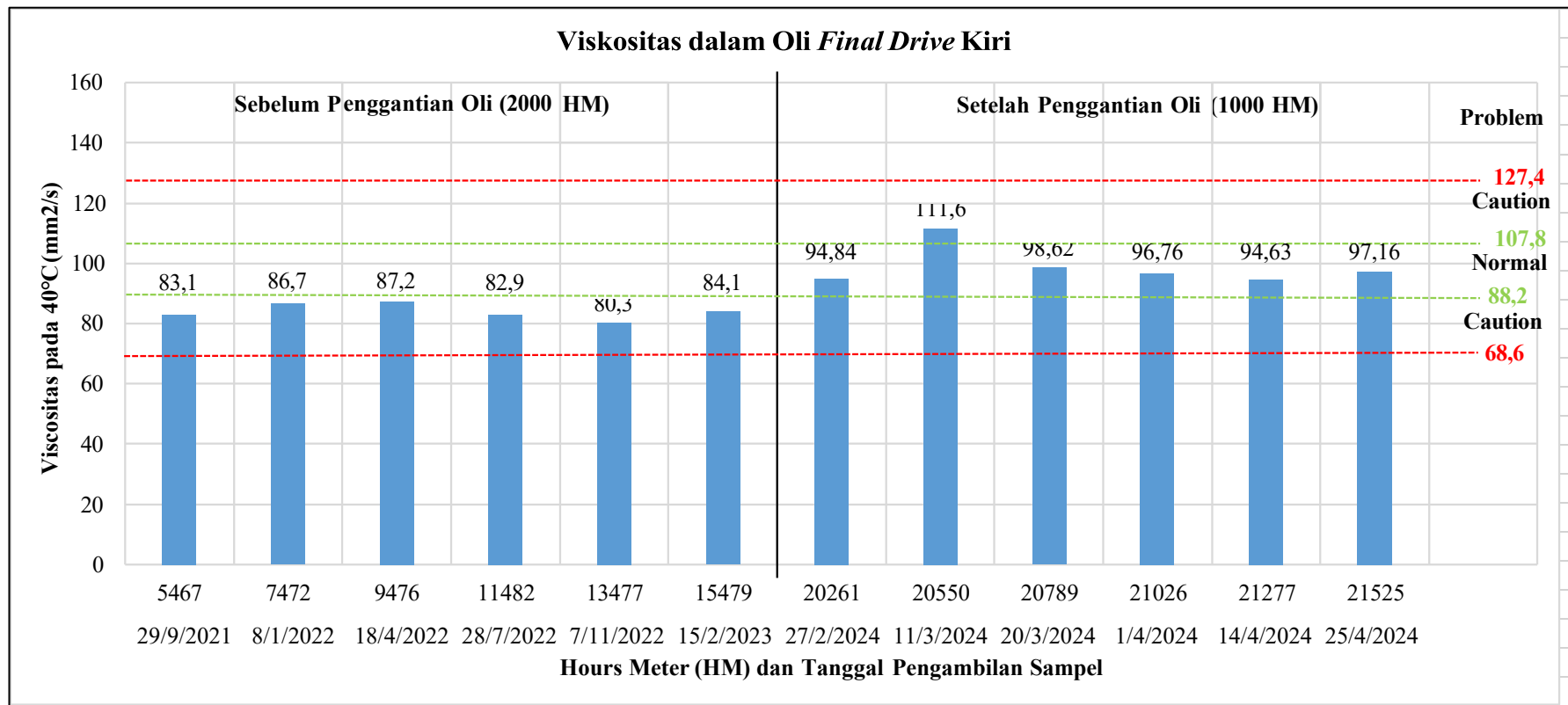
Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.19, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kanan mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi peningkatan viskositas. Viskositas pada oli *final drive* yang sebelumnya berada dalam kategori *caution* (di bawah 88,2 mm²/s), yang dianggap terlalu kental, kini telah mengalami peningkatan menjadi kategori normal (antara 88,2 mm²/s – 107,8 mm²/s).



Gambar 4. 19 Grafik Viskositas pada oli *Final drive* Kanan setiap 250 HM

2. Bagian Kiri

Berdasarkan analisis grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.20, hasil pengujian oli pada *final drive* sebelah kiri mengindikasikan bahwa setelah dilakukan penggantian oli setiap 250 HM, terjadi peningkatan viskositas. Viskositas pada oli *final drive* yang sebelumnya berada dalam kategori *caution* (di bawah $88,2 \text{ mm}^2/\text{s}$), yang dianggap terlalu kental, kini telah mengalami peningkatan menjadi kategori normal (antara $88,2 \text{ mm}^2/\text{s} - 107,8 \text{ mm}^2/\text{s}$). Namun terdapat 1 data yang berada dalam kategori *caution* (antara $107,8 \text{ mm}^2/\text{s} - 127,4 \text{ mm}^2/\text{s}$) dengan nilai $111,6 \text{ mm}^2/\text{s}$.



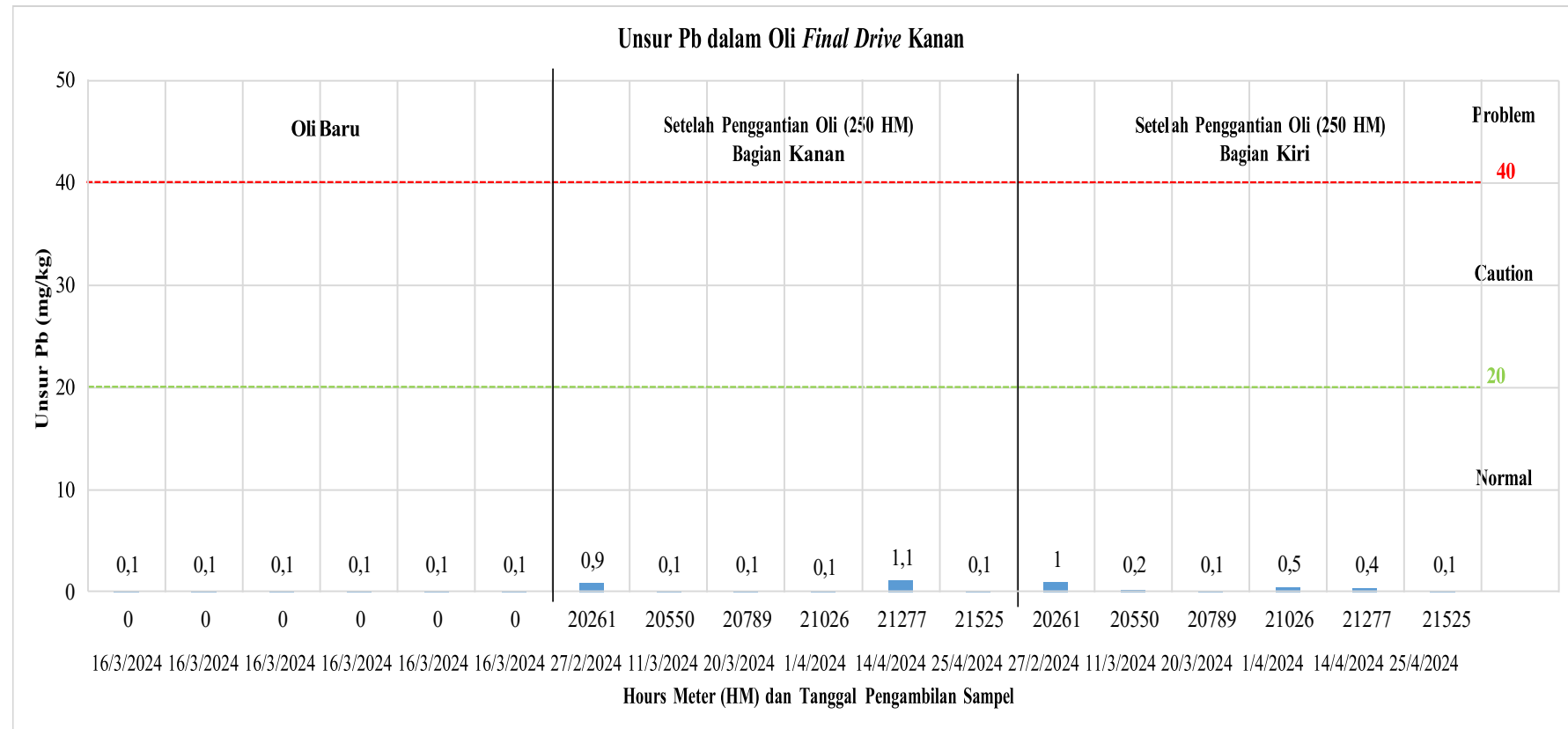
Gambar 4. 20 Grafik Viskositas pada oli *Final drive* Kiri setiap 250 HM

4.5 Perbandingan Kandungan *Wear Metal* dan Viskositas Oli *Final drive* baru SAE 30 dengan Oli *Final drive* pada 250 Jam Kerja

Berdasarkan hasil pengujian oli pada *Final drive*, penggantian oli dari interval 1000 HM dengan 250 HM menunjukkan bahwa penggantian oli setiap 250 HM lebih efektif dibandingkan dengan interval 1000 HM. Oleh karena itu, akan disajikan perbandingan antara oli *Final drive* yang telah digunakan selama 250 HM dengan oli baru. Mengingat perbedaan antara oli baru dan oli *Final drive* setelah 250 HM, sangat dianjurkan untuk melakukan penggantian oli secara rutin guna menjaga kinerja mesin agar tetap optimal.

4.5.1 Perbandingan Kandungan *Wear Metal* Unsur Pb pada Oli *Final drive*

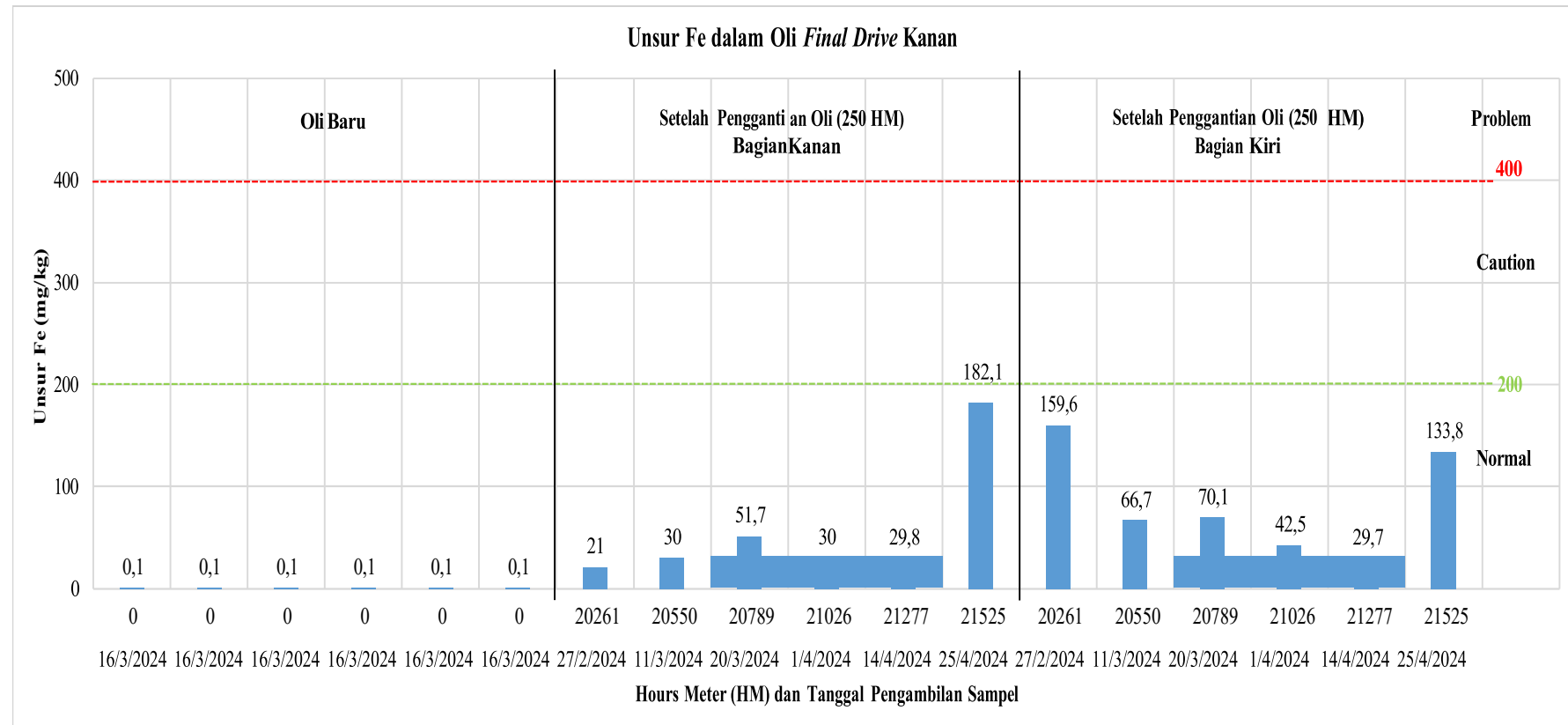
Perbandingan antara kandungan timbal (Pb) pada oli baru dan oli yang telah digunakan setiap 250 HM menunjukkan bahwa oli baru umumnya bebas dari kontaminan logam berat, sedangkan oli bekas berpotensi mengalami peningkatan kadar Pb akibat keausan dan kontaminasi. Meskipun kadar Pb yang ditunjukkan tidak meningkat secara signifikan, ada kemungkinan terjadinya akumulasi logam berat seiring dengan waktu pemakaian. Perbedaan antara kandungan timbal (Pb) pada oli baru dengan oli yang telah digunakan setiap 250 HM bagian kanan dan bagian kiri pada *final drive* ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Unsur Pb Oli *Final drive* baru SAE 30 dengan 250 HM

4.5.2 Perbandingan Kandungan *Wear Metal* Unsur Fe pada Oli *Final drive*

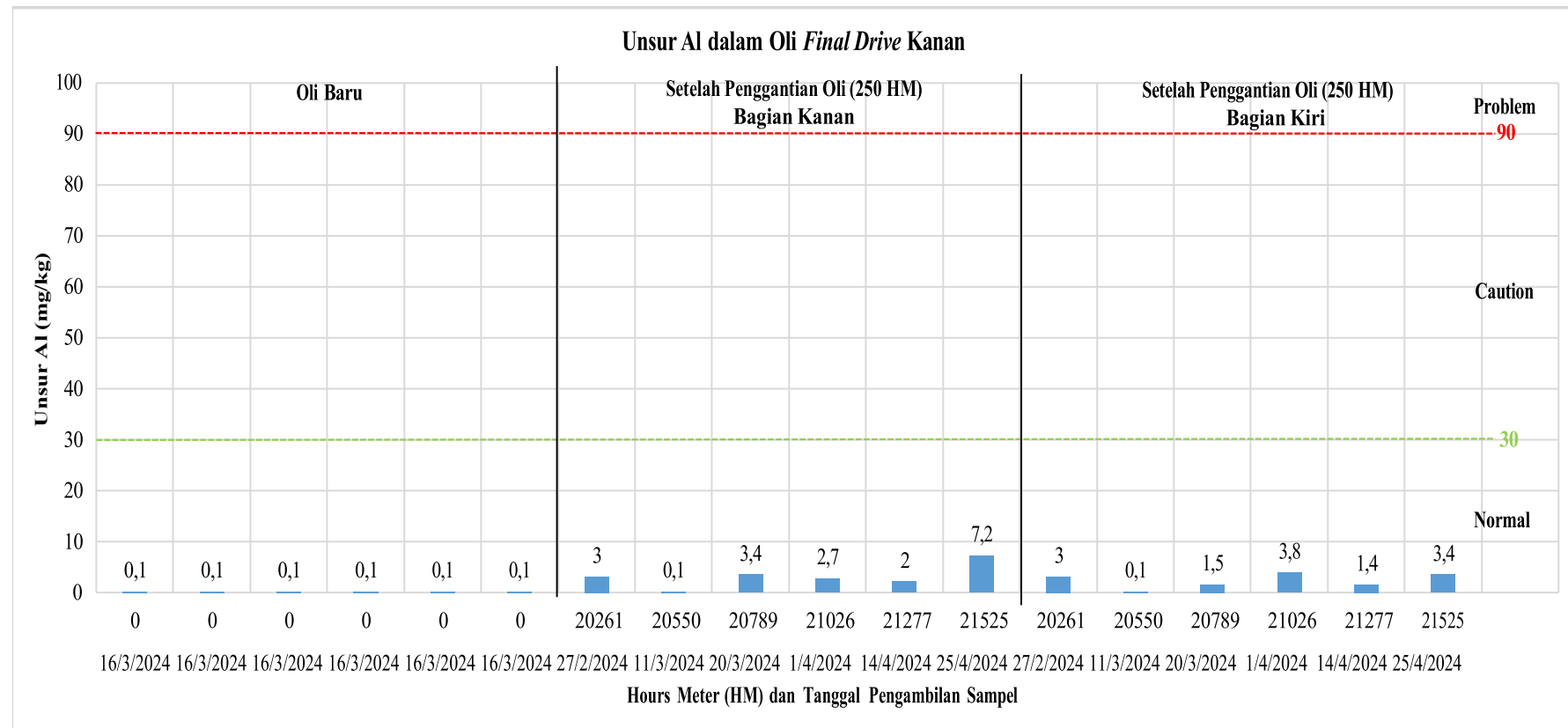
Perbandingan antara kandungan besi (Fe) pada oli baru dan oli yang telah digunakan setiap 250 HM menunjukkan bahwa oli baru umumnya bebas dari kontaminan logam berat, sedangkan oli bekas berpotensi mengalami peningkatan kadar Al akibat keausan dan kontaminasi. Meskipun kadar Fe yang ditunjukkan tidak meningkat secara signifikan, ada kemungkinan terjadinya akumulasi logam berat seiring dengan waktu pemakaian. Perbedaan antara kandungan besi (Fe) pada oli baru dengan oli yang telah digunakan setiap 250 HM bagian kanan dan bagian kiri pada *final drive* ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Unsur Fe Oli *Final drive* baru SAE 30 dengan 250 HM

4.5.3 Perbandingan Kandungan *Wear Metal* Unsur Al pada Oli *Final drive*

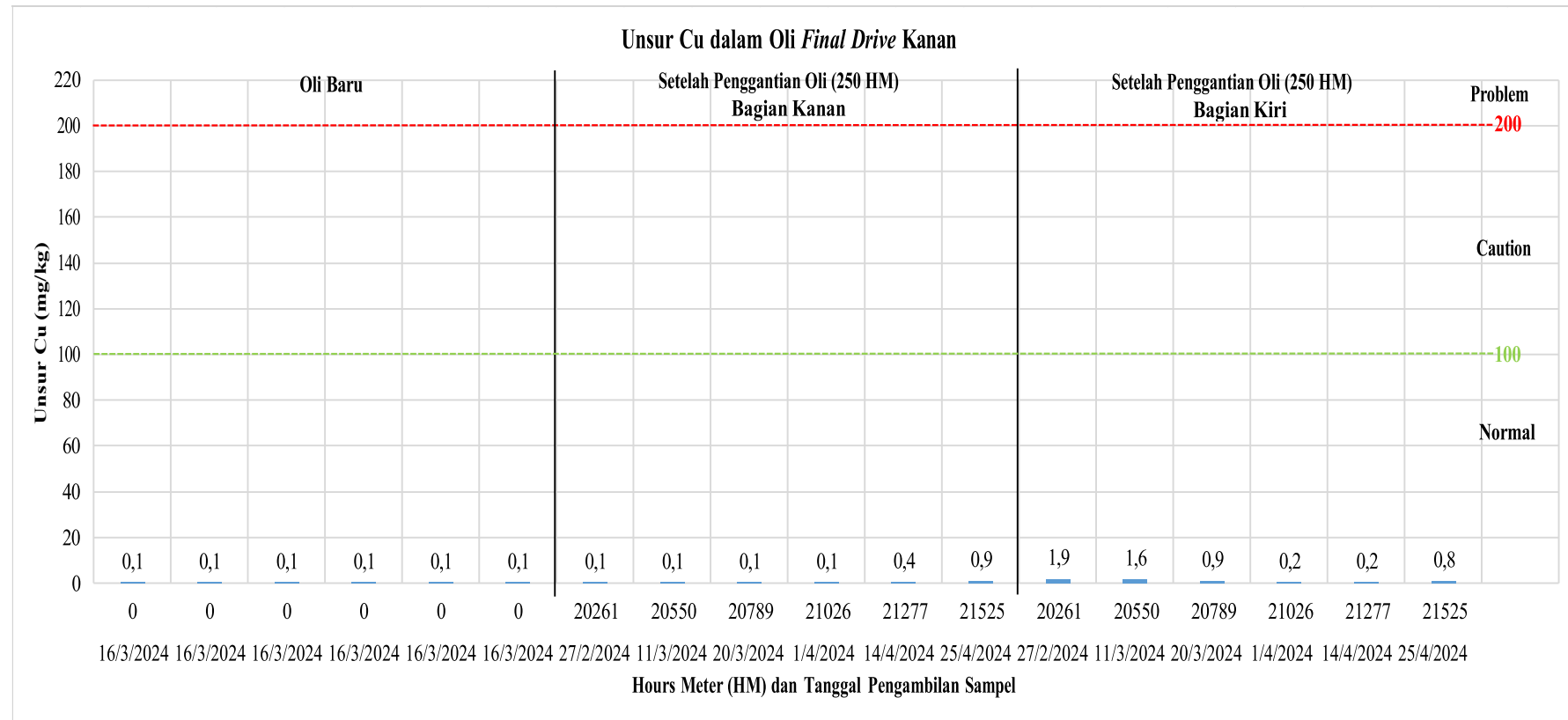
Perbandingan antara kandungan aluminium (Al) pada oli baru dan oli yang telah digunakan setiap 250 HM menunjukkan bahwa oli baru umumnya bebas dari kontaminan logam berat, sedangkan oli bekas berpotensi mengalami peningkatan kadar Al akibat keausan dan kontaminasi. Meskipun kadar Al yang ditunjukkan tidak meningkat secara signifikan, ada kemungkinan terjadinya akumulasi logam berat seiring dengan waktu pemakaian. Perbedaan antara kandungan aluminium (Al) pada oli baru dengan oli yang telah digunakan setiap 250 HM bagian kanan dan bagian kiri pada *final drive* ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Unsur Al Oli *Final drive* baru SAE 30 dengan 250 HM

4.5.4 Perbandingan Kandungan *Wear Metal* Unsur Cu pada Oli *Final drive*

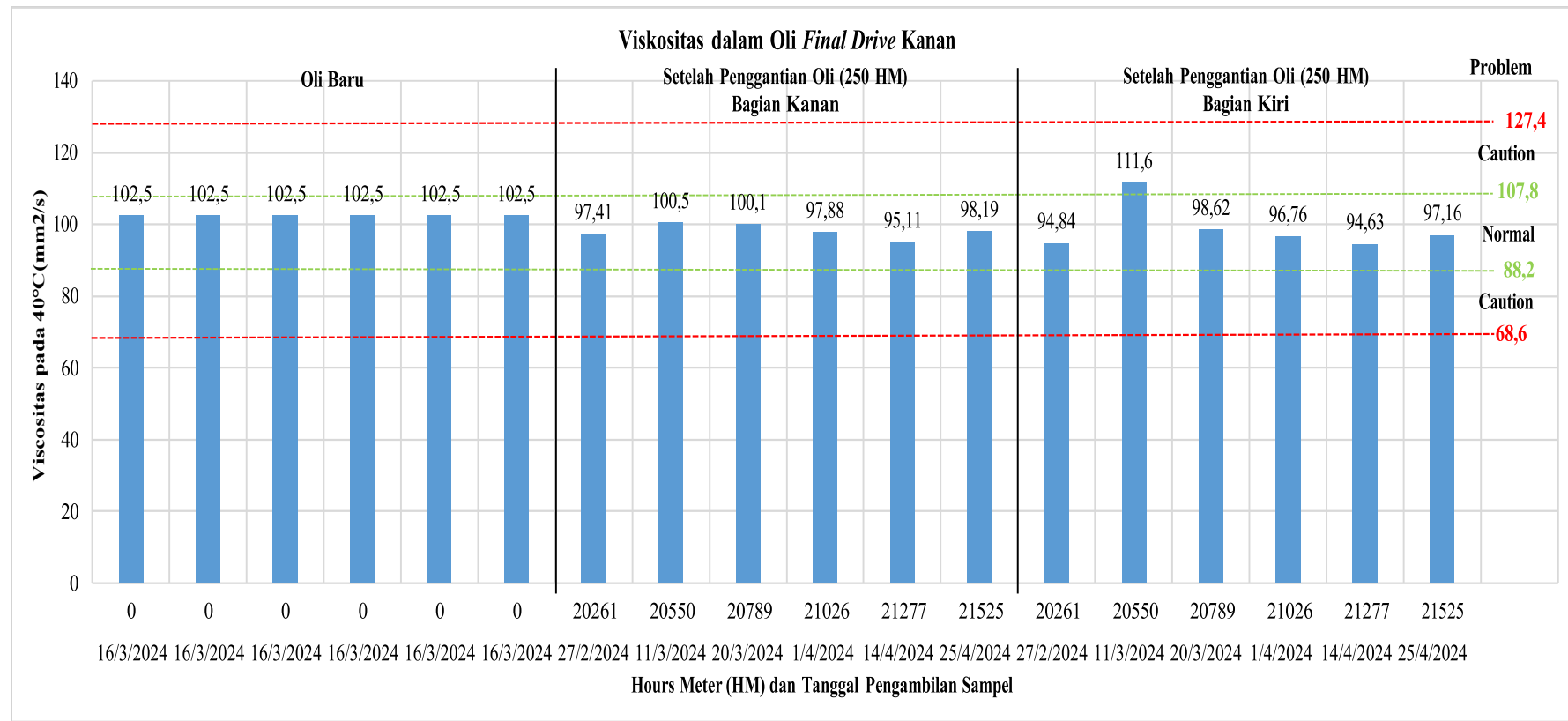
Perbandingan antara kandungan tembaga (Cu) pada oli baru dan oli yang telah digunakan setiap 250 HM menunjukkan bahwa oli baru umumnya bebas dari kontaminan logam berat, sedangkan oli bekas berpotensi mengalami peningkatan kadar Cu akibat keausan dan kontaminasi. Meskipun kadar Cu yang ditunjukkan tidak meningkat secara signifikan, ada kemungkinan terjadinya akumulasi logam berat seiring dengan waktu pemakaian. Perbedaan antara kandungan tembaga (Cu) pada oli baru dengan oli yang telah digunakan setiap 250 HM bagian kanan dan bagian kiri pada *final drive* ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Unsur Cu Oli *Final drive* baru SAE 30 dengan 250 HM

4.5.5 Perbandingan Kandungan Viskositas pada Oli *Final drive*

Oli baru umumnya memiliki viskositas yang optimal, sesuai dengan spesifikasi yang direkomendasikan oleh produsen. Kondisi ini memastikan pelumasan yang efektif, mengurangi gesekan, dan melindungi komponen mesin dari keausan. Namun, setelah digunakan setiap 250 HM, oli cenderung mengalami penurunan viskositas akibat pemanasan, oksidasi, dan akumulasi kontaminan. Namun jika dilakukan penggantian secara rutin, viskositas pada oli akan berada pada kondisi normal seperti yang ditunjukkan gambar di bawah ini.



Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Viskositas Oli *Final drive* baru SAE 30 dengan 250 HM

4.6 Kajian Biaya Ekonomi Penggantian Oli *Final drive* dari 2000 Jam

Kerja menjadi 250 Jam Kerja

Improvement ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi, penurunan biaya, dan meningkatkan kualitas yang berdampak pada *financial* perusahaan. Analisis menunjukkan bahwa, dari *historical breakdown*, kerusakan pada *floating seal* unit PC400-8 disebabkan oleh kondisi oli yang kurang baik, sehingga diperlukan *maintenance* selama 10 jam untuk penggantian *floating seal* yang baru. Berikut adalah gambaran kerugian yang terjadi akibat kerusakan *floating seal*.

1. Kerugian *breakdown schedule* unit PC400-8

Tabel 4. 2 Produksi Komatsu PC400-8

Nama Alat	Produksi Aktual perhari (Ton/Hari)	Target Produksi (Ton/Bulan)
Komatsu PC 400	2.381,66	59.400

Sumber : Dokumen Perusahaan

Dalam 1 hari Komatsu PC 400 dapat melakukan produksi gali muat 2.381,66 ton. Sedangkan efisien waktu kerja dalam 1 kali shift adalah 10 jam maka dapat diperoleh.

$$\text{Produksi dalam 1 jam} = \frac{2.381,66 \text{ ton}}{20 \text{ jam}}$$

$$= 119,08 \text{ ton/jam}$$

$$\text{Jumlah produksi selama 10 jam} = 119,08 \text{ ton/jam} \times 10$$

$$= 1.190,83 \text{ ton}$$

$$\text{Kerugian} = \text{Jumlah muatan (10 jam)} \times \text{harga batubara/ton}$$

$$= 1.190,83 \text{ ton} \times \text{Rp. } 3.981.022,00$$

$$= \text{Rp. } 4.740.720.428,26$$

Jadi, jumlah kerugian yang dihasilkan karena penggantian *floating seal* pada PC400-8 adalah Rp. 4.740.720.428,26.

2. Pengeluaran penggantian oli *final drive* setiap 2000 *hours meter*

$$\text{Harga oli SAE 30W} = \text{Rp. } 23.000/\text{liter}$$

$$\text{Kapasitas oli } \textit{final drive} = 10,5 \text{ liter}$$

$$\text{Jumlah pengeluaran} = \text{Rp. } 23.000 \times 21 \text{ liter}$$

$$= \text{Rp. } 483.000,00$$

3. Pengeluaran penggantian oli *final drive* setiap 250 *hours meter*

$$\text{Penggantian} = \frac{2.000 \text{ HM}}{250 \text{ HM}}$$

$$= 8 \text{ kali}$$

$$\text{Jumlah pengeluaran} = \text{Rp. } 483.000,00 \times 8 \text{ kali}$$

$$= \text{Rp. } 3.864.000,00$$

4. Perbandingan pengeluaran biaya penggantian oli *final drive* setiap 2000 *hours meter* dan 250 *hours meter*

Dengan penggantian oli *final drive* dari setiap 2000 *hours meter* menjadi setiap 250 *hours meter*, terdapat perbandingan biaya yang dibutuhkan, dengan selisih biaya pengeluaran sebagai berikut:

$$\text{Selisih pengeluaran} = \text{Rp. } 3.864.000,00 - \text{Rp. } 483.000,00$$

$$= \text{Rp. } 3.381.000,00$$