

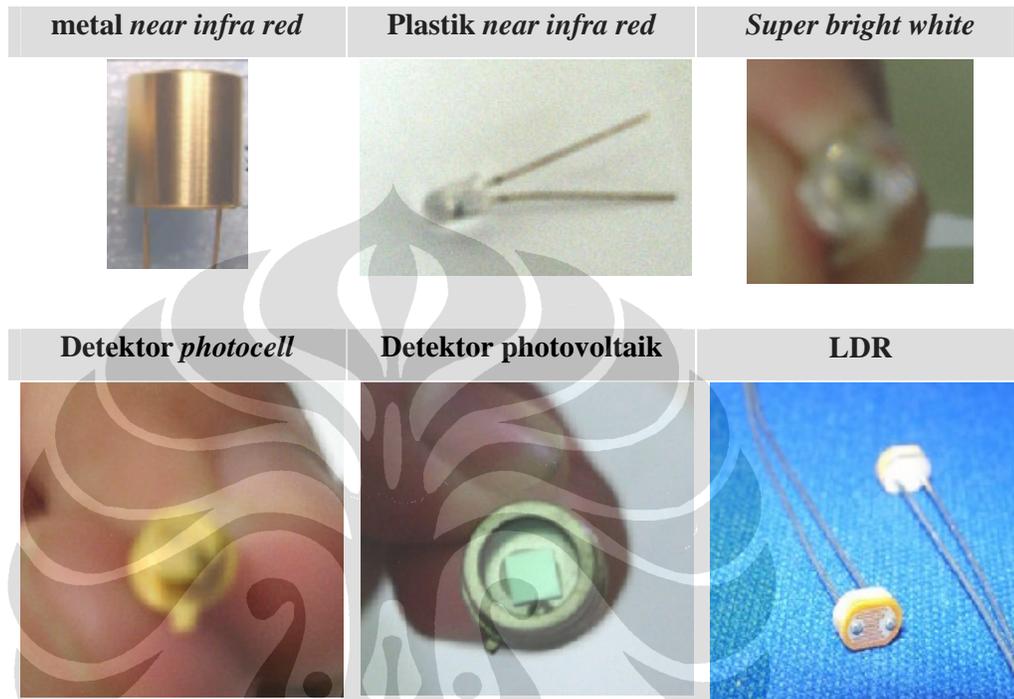
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dikembangkan sensor *infra red* untuk mendeteksi sisa umur pelumas. Beberapa sumber sinar sensor yang digunakan adalah lampu LED *near infra red* komersial, lampu LED metal *near infra red* dan lampu LED *super bright white*. Detektor yang digunakan adalah *photocell*, *photoltaic* dan LDR yang semuanya merupakan detektor cahaya. Sedangkan untuk sampel pada percobaan ini digunakan minyak lumas dasar yang dirusak pada temperature 150°C dengan katalis besi selama 36 jam dan setiap jamnya dilakukan pengambilan sampel. Sampel yang diambil tersebut diuji dengan sensor yang telah dibuat selanjutnya dilakukan analisa viskositas, *Total Acid Number*, dan FTIR terhadap sampel minyak lumas dasar yang dirusak sebagai pembanding.

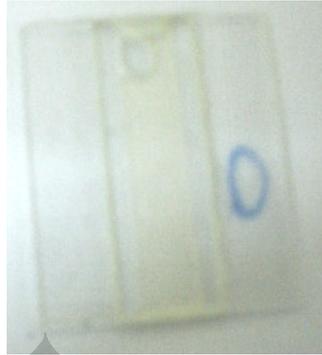
IV.1 *Prototype* Sensor Sisa Umur Pelumas

Sensor sisa umur pelumas yang dibuat terdiri dari sumber sinar, tempat sampel pelumas, dan detektor. Sumber sinar yang digunakan adalah metal LED *near infra red*, plastik LED *near infra red*, dan LED *super bright white*. Sedangkan detektor yang digunakan adalah *photocell*, *photovoltaic*, dan LDR seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Metal LED *near infra red* dipasangkan dengan *photocell* (MIR-PC), plastik LED *near infra red* dipasangkan dengan *photovoltaic* (PIR-PV), dan LED *super bright white* dipasangkan dengan LDR (SB-LDR). Sumber sinar dipasangkan berhadapan dengan detektornya dengan di antara terdapat ruang untuk meletakkan sel dari sampel pelumas.



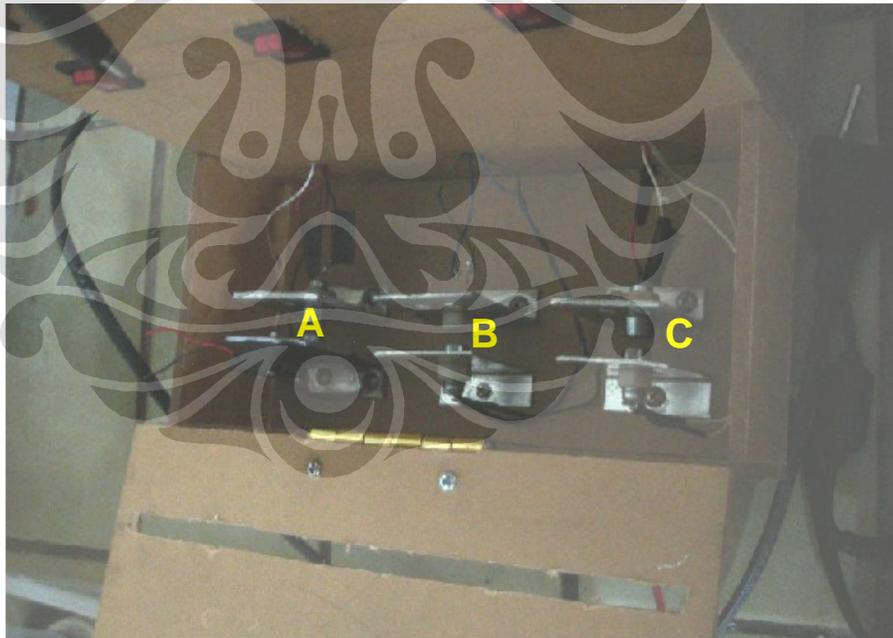
Gambar 4.1. Pasangan Sumber Sinar Dengan Detektornya.

Metal LED *near infra red* dipasangkan dengan *photocell* (MIR-PC), plastik LED *near infra red* dipasangkan dengan *photovoltaic* (PIR-PV), dan LED *super bright white* dipasangkan dengan LDR (SB-LDR). Sumber sinar dipasangkan berhadapan dengan detektornya dengan diantara terdapat ruang untuk meletakkan sel dari sampel pelumas. Sel ini terbuat dari silica karena silica dapat menyerap pada cahaya panjang gelombang 1,2-15 μm . Sel sampel pelumas ini dimensi ketebalan sebesar 1 mm, panjang 12 cm dan lebar 2 cm seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Tempat sampel pelumas tersebut direkatkan dengan menggunakan lem *silicon rubber*.



Gambar 4.2. Sel Tempat Sampel Pelumas

Setelah itu dibuat sumber sinar dirangkai dan ditempatkan pada bingkainya dan berhadapan dengan detektornya. Lalu selanjutnya dipasangkan didalam ruangan yang terbuat dari papan akrilik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Rangkaian Sensor Pelumas Di Dalam Kotak Akrilik.

Keterangan :

A : pasangan Metal LED *infra red* dengan *photocell* (MIR-PC)

B : pasangan plastik LED *near infra red* dengan *photovoltaic* (PIR-PV)

C : pasangan LED *super bright white* dengan LDR (SB-LDR)

Sumber sinar *infra red* dibangkitkan dengan tegangan 1,5 V dan arus sebesar 500 mA. Sumber tegangan ini didapatkan dari adaptor yang dirangkai parallel dengan semua sumber sinar. Sedangkan untuk memperkuat signal yang diterima detektor digunakan amplifier yang dipasangkan parallel. Gambar 4.4. menunjukkan rangkaian alat adaptor dengan penguat signal.



Gambar 4.4. Rangkaian Penguat Dan Adaptor Sensor

Keterangan :

D : rangkaian penguat signal

E : Adaptor

Signal dari rangkaian penguat signal dibaca oleh voltmeter yang terpisah dari rangkaian sensor seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Voltmeter Untuk Membaca Signal Dari Amplifier

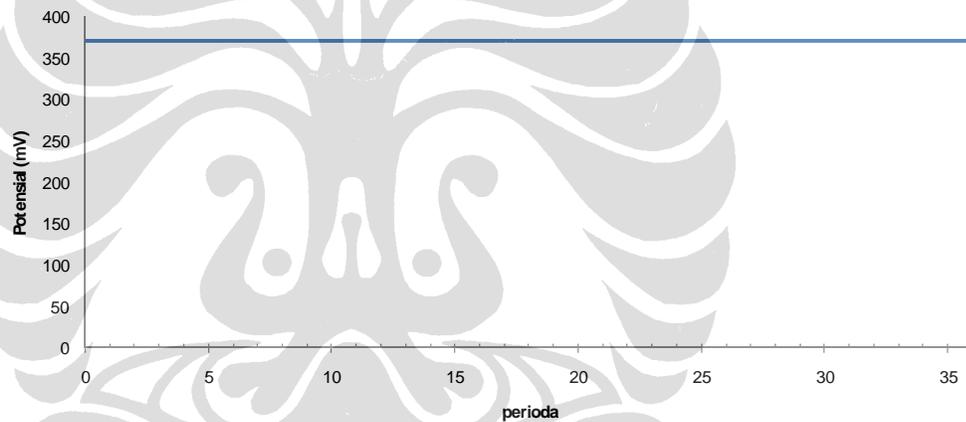
Pada Gambar 4.6. dapat dilihat hasil akhir dari rangkaian sensor sisa umur pelumas.



Gambar 4.6. Kotak Rangkaian Sensor Sisa Umur Pelumas

IV.2 Hasil Deteksi Sensor Terhadap Sampel Pelumas

Sampel dari pelumas yang dipersiapkan dengan memanaskan minyak lumas dasar pada suhu 150°C selama 36 jam dideteksi dengan menggunakan sensor yang dibuat. Hasil deteksi dari sensor MIR-PC yang merupakan pasangan metal *near infra red* dengan *photocell* menunjukkan tidak dapat mendeteksi perubahan dari kualitas peluma seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Hasil Deteksi Sampel Pelumas Dengan Menggunakan LED IR Dengan Receiver *Photocell*

Dari Gambar tersebut diketahui hasil pembacaan deteksi dari pasangan ini menghasilkan beda potensial sebesar 370 mV dan tidak bergerak dari perioda 0 sampai dengan perioda 36. Panjang gelombang dari sumber *infra red* tersebut berada antara $0,95-1,1 \mu\text{m}$ dan *photocell* mendeteksi sinar *infra red* yang mengenainya. *Photocell* umumnya terbuat dari PbS dan umum digunakan untuk mendeteksi *near infra red*. Namun *photocell* tidak dapat mendeteksi perubahan sisa umur pelumas, hal ini disebabkan sinar yang diteruskan diterima dan diterima

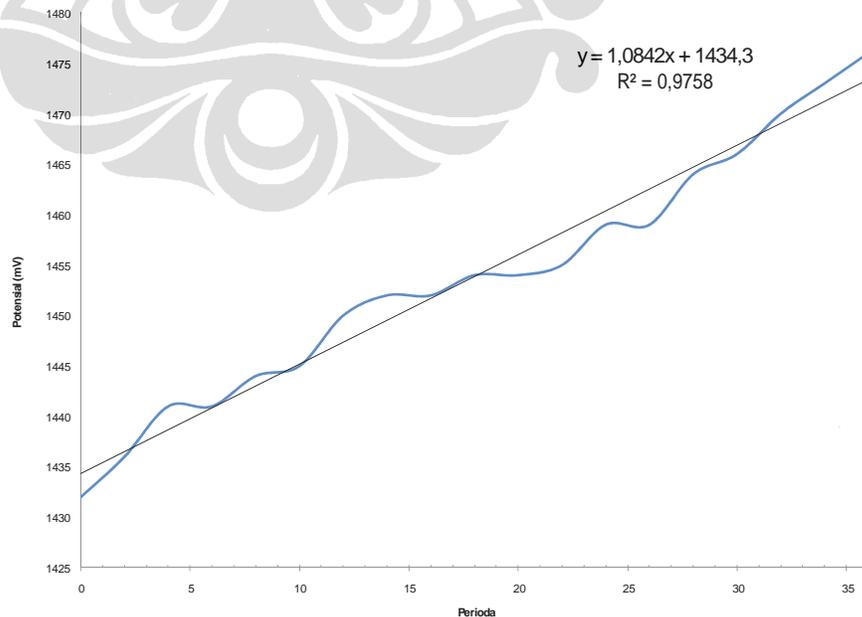
oleh detektor dan dikuatkan oleh amplifier terlalu kuat sehingga tercatat batas maksimal pada voltmeter yaitu 370 mV.

Biaya yang diperlukan untuk pasangan sensor MIR-PC lebih tinggi dibandingkan dengan sensor yang lain. Rincian biaya yang diperlukan untuk membuat sensor ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Rincian Biaya Pembuatan Sensor MIR-PC

komponen	Biaya
LED IR	Rp15.000
Detektor (PC)	Rp5.000
Amplifier	Rp100.000
Adaptor	Rp35.000
pendingin	Rp25.000
total	Rp180.000

Sedangkan dengan menggunakan sensor PIR-PV yang merupakan pasangan plastik LED *near infra red* dengan detektor *photovoltaic* dapat mendeteksi perubahan dari sisa umur pelumas seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.8.



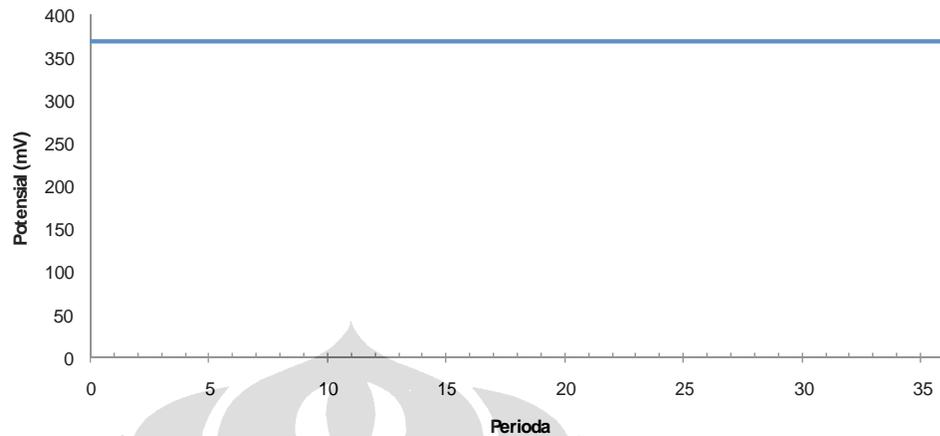
Gambar 4.8. Hasil Deteksi Sampel Pelumas Dengan Menggunakan LED Near Infra Red Dengan Receiver Photovoltaic

Dapat dilihat dari Gambar 4.8. respon dari perubahan sisa umur pelumas adalah linear dengan nilai R^2 nya sebesar 0,9758. Sumber sinar *infra red* yang digunakan adalah LED *near infra red* komersial yang relatif lebih murah. Bilangan gelombang lampu *infra red* 0,95-1 μm dan detektor *photovoltaic* yang digunakan umumnya terbuat dari cesium. Lampu *infra red* ini tidak memerlukan pendingin pada rangkaian. Rincingan biaya untuk membuat sensor ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Rincingan Biaya Pembuatan Sensor PIR-PV

komponen	Biaya
LED IR	Rp1.000
Detektor (PV)	Rp15.000
Amplifier	Rp100.000
Adaptor	Rp35.000
total	Rp151.000

Rangkaian sensor yang terakhir adalah SB-LDR yang merupakan pasangan lampu *super bright white* dengan detektor LDR yang telah digunakan sebelumnya untuk menganalisa kualitas minyak kelapa sawit pada penelitian di Teknik Fisika ITB. Sensor ini tidak mampu mendeteksi perubahan sisa umur pelumas. Sinar dari lampu diteruskan langsung ke LDR dan menunjukkan angka 370 mV pada voltmeter dari perioda 0 sampai dengan perioda 36 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Hasil Deteksi Sampel Pelumas Dengan Menggunakan *Super Bright White LED* Dengan *Receiver LDR*.

Biaya yang diperlukan untuk membuat rangkaian sensor SB-LDR lebih murah dibandingkan dengan yang lain seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Rincian Biaya Pembuatan Sensor SB-LDR

komponen	Biaya
Super bright white	Rp1.000
LDR	Rp5.000
Amplifier	Rp100.000
Adaptor	Rp35.000
total	Rp141.000

Dari hasil tersebut maka sensor PIR-PV dapat digunakan sebagai *prototype* sensor pelumas dengan menggunakan LED *near infra red*. Hasil analisa dari *prototype* sensor ini dibandingkan dengan uji-uji pelumas lainnya yang sudah baku.

IV.3 Perbandingan Sensor PIR-PV Dengan Analisa Pelumas Yang Telah Baku.

Analisa pelumas yang sudah baku dan sering digunakan untuk menganalisa sisa umur pelumas adalah analisis viskositas (ASTM D 445), analisis

kimia yaitu *Total Acid Number* (ASTM D 664), analisis warna dan analisis FTIR. Proses degradasi pelumas mempengaruhi sifat fisik maupun sifat kimia dari pelumas. Perubahan sifat kimia pelumas dapat dikarakterisasi dari kenaikan jumlah keasaman pelumas dan perubahan spektrum gugus fungsional pelumas.

Hasil analisa pelumas dengan menggunakan sensor yang dibuat dibandingkan dengan hasil analisa pelumas yang sudah baku. Parameter nilai ambang batas metoda yang sudah baku dapat dilihat pada Tabel 4.4.

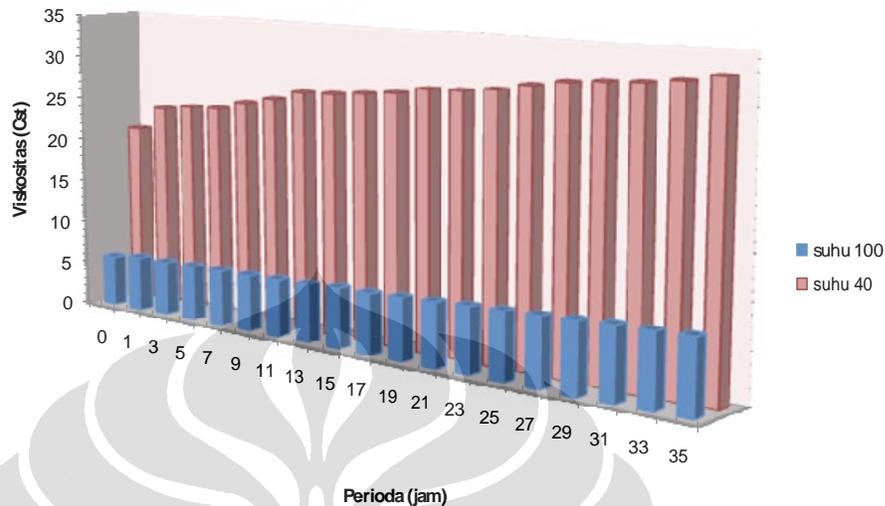
Tabel 4.4. Metoda Analisa Sisa Umur Pelumas

Parameter Analisa	Metoda Analisa	Nilai Ambang Batas
Viskositas, Cst	ASTM D 445	> 35 %
TAN	ASTM D 664	> 7
Oksidasi	FTIR	> 1
Nitrasi	FTIR	> 1

IV.3.1 Perbandingan Hasil Analisa Sensor PIR-PV Dengan Analisa Viskositas

(ASTM D 445)

Salah satu parameter yang penting dalam analisa pelumas adalah pengukuran viskositas kinematik. Pada proses degradasi pelumas ini, minyak lumas dasar dipanaskan pada suhu 150°C selama 36 jam dengan menggunakan katalis besi.



Gambar 4.10. Pengaruh Pengrusakan Pelumas Terhadap Viskositas.

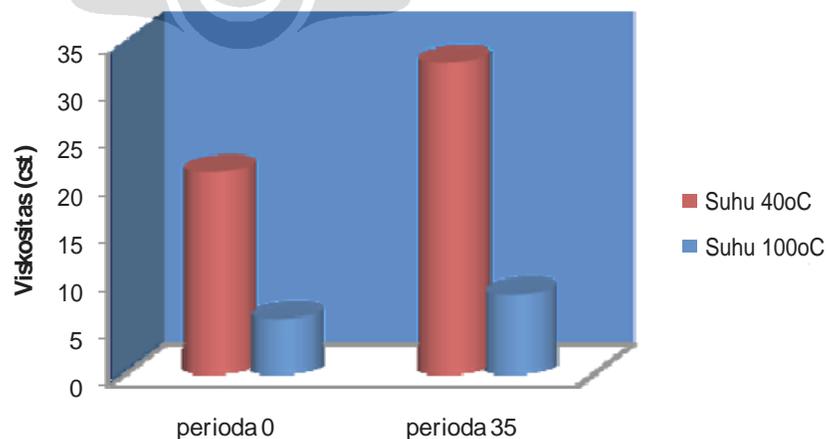
Pengukuran viskositas sampel diukur dengan menggunakan *viscometer* gelas kapiler *cannon fenske*. Uji viskositas dilakukan pada suhu 40°C dan 100°C, tiap sampel ganjil dan sampel awal dianalisa perubahan viskositasnya akibat dari proses pengrusakan. Nilai viskositas suatu pelumas akan menunjukkan seberapa besar hambatan suatu fluida (pelumas) untuk dapat mengalir. Makin besar nilai viskositas suatu pelumas (makin kental) berarti makin besar hambatannya untuk mengalir. Idealnya viskositas atau hambatan suatu pelumas harus kecil namun harus menghasilkan lapisan tipis yang kuat untuk memisahkan dua permukaan yang saling bergesekan pada temperature tertentu.

Berdasarkan Gambar 4.10. proses pengrusakan pelumas pada suhu 150°C dengan katalis besi telah menaikkan viskositas dari pelumas. Peran logam Fe terhadap proses oksidasi pelumas adalah sebagai katalis yang dapat mempercepat proses pengrusakan pelumas. Molekul alkil hidroperoksida (ROOH) yang terbentuk akan terdekomposisi pada temperatur 150°C dan dengan adanya logam akan mengurangi energi aktivasi reaksi dekomposisi tersebut. Hidroperoksida

tersebut akan terurai menjadi radikal peroksida dan alkoksi, dan selanjutnya terjadi reaksi pencabangan.

Kenaikkan viskositas ini diakibatkan karena pada temperature yang lebih tinggi terbentuk produk yang tidak larut dalam hidrokarbon yang disebut dengan *sludge* yang merupakan dari hasil proses polikondensasi dan polimerisasi. Kondensasi aldol menghasilkan senyawa dengan berat molekul yang lebih tinggi dan selanjutnya mengalami reaksi kopolimerisasi sehingga membentuk produk dengan berat molekul yang lebih tinggi.

Berdasarkan ASTM D 445 perubahan viskositas sebesar 35 % menunjukkan bahwa pelumas tersebut telah rusak dan harus segera diganti. Pada Gambar 4.11 ditunjukkan persentase perubahan pelumas yg terjadi selama proses perusakan yaitu sebesar 54 % pada suhu 40°C dan perubahan sebesar 44% pada suhu 100°C. Maka berdasarkan nilai ambang batas ini maka pelumas sudah dikategorikan rusak dan perlu diganti. Saat pelumas rusak terjadi pada perioda 19, dimana perubahan viskositas yang terjadi adalah sebesar 36%. Namun pada penelitian ini, pelumas yang digunakan adalah minyak lumas dasar yang belum ditambahkan aditif *viscosity modifier* sehingga perubahan viskositas pelumas cukup signifikan.



Gambar 4.11. Perbandingan Viskositas Pelumas Baru Dengan Pelumas Bekas

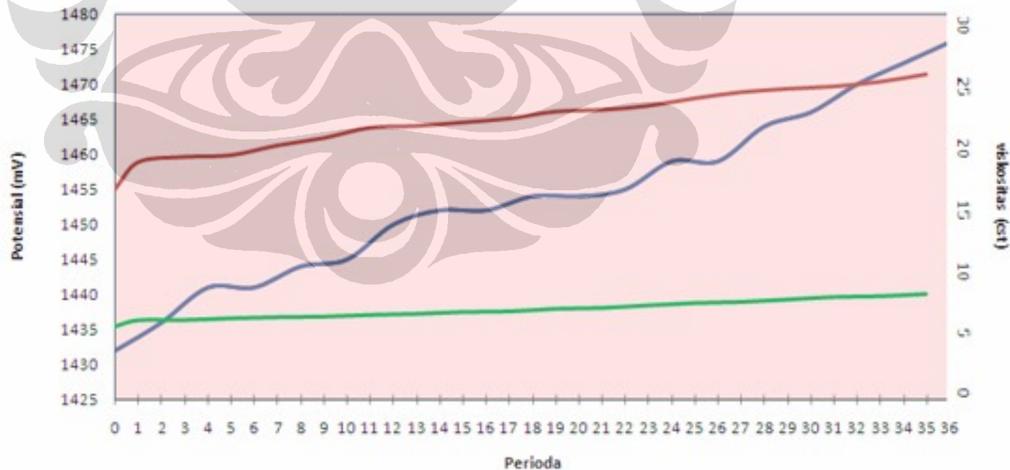
Kenaikkan viskositas ini sebanding dengan kenaikan potensial dari sensor PIR-PV maka hal ini menunjukkan sensor pelumas dapat digunakan untuk mendeteksi sisa umur pelumas. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.12. yang menunjukkan perbandingan analisa viskositas pelumas pada suhu 40°C dengan hasil deteksi sensor.

Keterangan :

Garis hijau : menunjukkan perubahan viskositas pelumas pada suhu 100°C

Garis merah : menunjukkan perubahan viskositas pelumas pada suhu 40°C

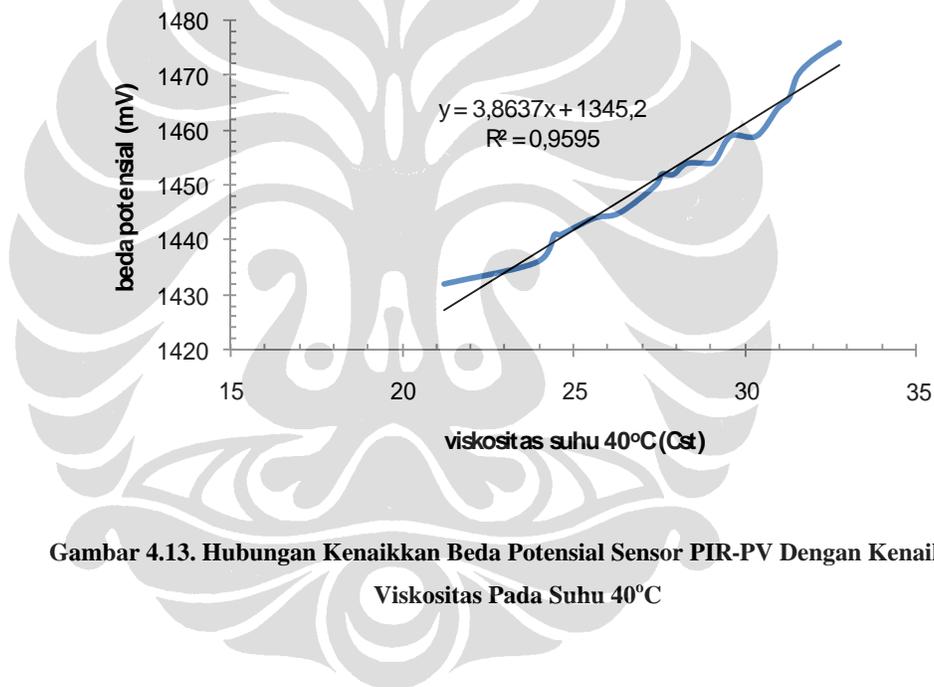
Garis Biru : menunjukkan hasil deteksi sensor PIR-PV



Gambar 4.12. Perbandingan Analisa Viskositas Pelumas Pada Suhu 40°C Dengan Hasil Deteksi Sensor PIR-PV

Pada Gambar 4.12. garis biru yang menunjukkan deteksi dari sensor pelumas PIR-PV memiliki keterangan pada sumbu ordinat sebelah kiri sedangkan sumbu ordinat sebelah kanan menunjukkan keterangan dari viskositas.

Hubungan kenaikan viskositas dan beda potensial sensor dapat dilihat pada Gambar 4.13. Pada Gambar tersebut diketahui kenaikan viskositas juga diikuti dengan kenaikan beda potensial sensor. Sedangkan dari hasil analisis dengan menggunakan Minitab 14 menunjukkan nilai korelasi Pearson sebesar 0,98 yang menunjukkan korelasi yang cukup kuat.



Gambar 4.13. Hubungan Kenaikkan Beda Potensial Sensor PIR-PV Dengan Kenaikkan Viskositas Pada Suhu 40°C

IV.3.2 Perbandingan Hasil Analisa Sensor PIR-PV Dengan Analisa Total Acid

Number (ASTM D 664)

Pelumas yang terus-menerus dipanaskan pada suhu yang tinggi akan mengalami kerusakan, selain ditandai dengan ciri-ciri fisik yaitu kenaikan viskositas atau semakin kental juga ditandai dengan ciri-ciri kimia yaitu kenaikan keasaman dari pelumas tersebut. Kenaikkan asam ini disebabkan

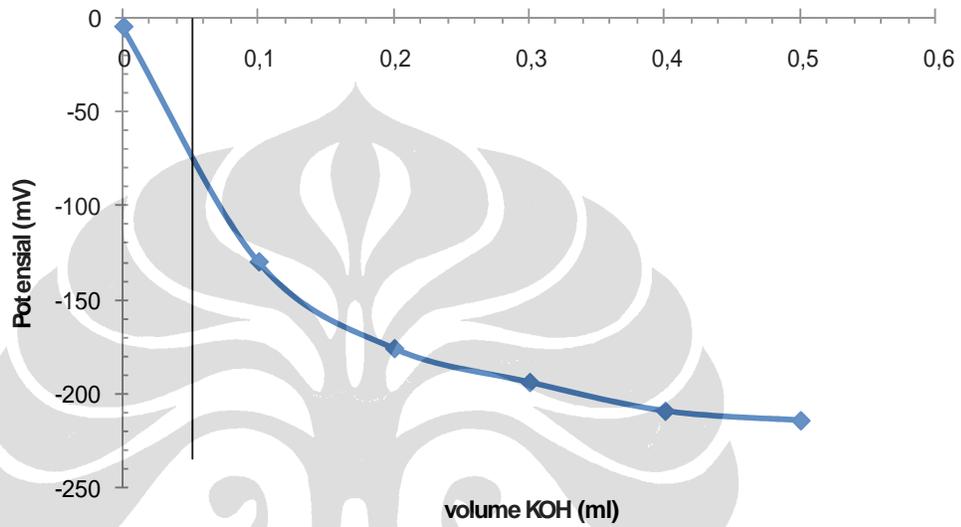
bertambahnya asam-asam organik lemah dan asam – asam anorganik dalam pelumas tersebut. Asam-asam organik yang terbentuk adalah asam karboksilat yang merupakan hasil dari proses oksidasi. Oksidasi inilah yang membatasi umur pemakaian pelumas. Oksidasi pelumas terjadi bergantung pada faktor-faktor seperti temperatur, katalis, oksigen, kontaminasi, dan waktu. Temperatur yang tinggi dan kemungkinan terserapnya oksigen dalam minyak yang menjadi larut karenanya yang menyebabkan terjadinya oksidasi.

Pada penelitian ini pelumas secara terus-menerus bereaksi dengan udara di atmosfer dengan membentuk oksidan organik yang bersifat asam. Dalam suhu ruangan, reaksi ini berjalan sangat lambat dan sedikit sekali berpengaruh pada pelumas. Pada suhu kerja yang lebih tinggi seperti di dalam mesin, laju reaksi berjalan sangat cepat. Untuk mengukur *Total Acid number* dari pelumas yang telah rusak digunakan titrasi potensiometri. Total nilai asam (*total acid number* – TAN) adalah ukuran asam organik lemah dan kuat di dalam pelumas. Meningkatnya TAN secara umum berhubungan langsung dengan tingkat oksidasi pelumas akibat masa kerja dan suhu kerja. Total nilai asam (TAN) tinggi akan mengakibatkan resiko korosi mesin, meningkatkan kekentalan pelumas yang menurunkan efisiensi aliran dan pembentukan lapisan kental yang terdiri dari varnish.

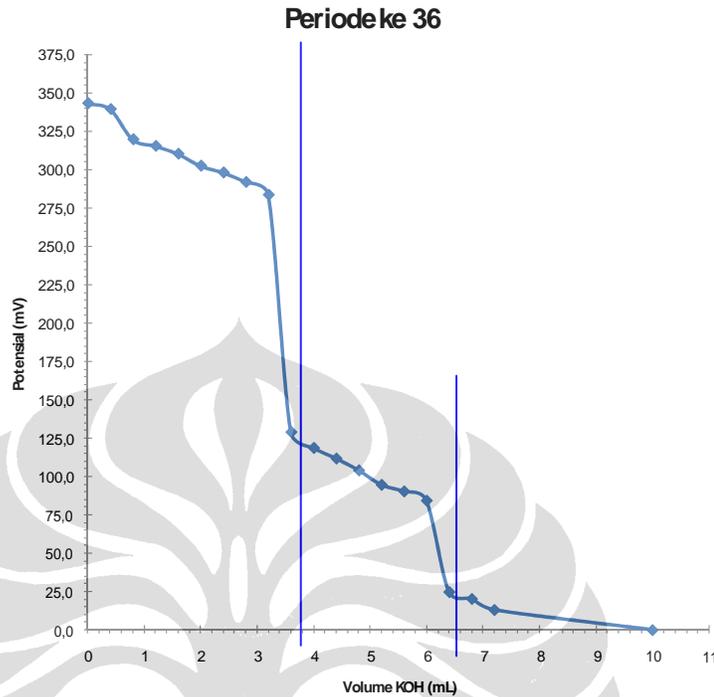
Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari nilai inflection point dari blanko, setelah itu dicari *infection point* dari sampel genap pelumas yang telah rusak. Grafik untuk blanko dapat dilihat pada Gambar 4.14. Dari grafik tersebut didapatkan nilai *inflection point* untuk blanko sebesar 0,05. Nilai ini digunakan pada persamaan 2.2 untuk menghitung *Total Acid Number* dari pelumas.

Selanjutnya sampel-sampel genap mulai dari periode 0 (pelumas baru) hingga periode 36 (pelumas yang telah rusak) yang telah ditimbang tersebut dititrasi dengan menggunakan NAOH didalam pelarut toluene, isopropyl alcohol

dan air. Berdasarkan metode ASTM *inflection point* yang diambil adalah perubahan yang terjadi kedua yang digunakan untuk meminumkan kesalahan.

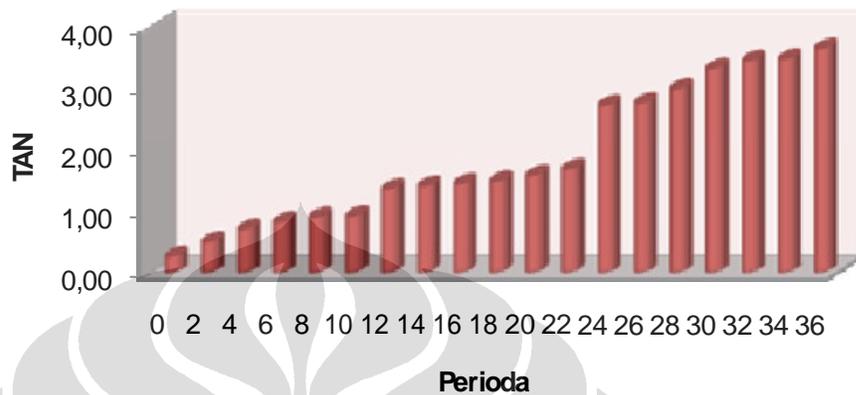


Gambar 4.14. Kurva Titration Blanko



Gambar 4.15 Kurva Titrasi Periode 36

Pada Gambar 4.15 ditunjukkan langkah untuk menentukan titik inflection point dari sampel pelumas yang dirusak pada periode 36. Dari grafik tersebut didapatkan nilai *inflection point* atau titik akhir titrasi sebesar 6,2 mL yang ditetapkan sebagai nilai A. Sedangkan berat sampel 36 ini adalah sebesar 9,4198 g. Maka dengan menggunakan persamaan 4.1 maka didapatkan nilai *Total Acid Number* sebesar 3,6621. Demikian selanjutnya untuk sampel-sampel yang lain. Hasilnya selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.16. Pada Gambar tersebut dapat dilihat tren kenaikan *Total Acid Number* dari pelumas yang dirusak. Pelumas base oil yang baru memiliki nilai *Total Acid Number* yang rendah yaitu sebesar 0,2496.

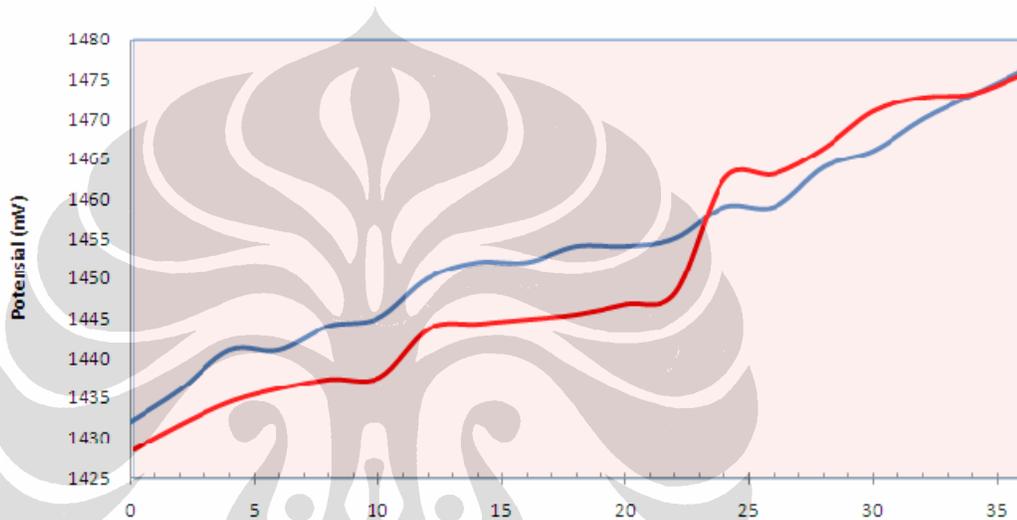


Gambar 4.16 Tren Kenaikkan *Total Acid Number* Pelumas Yang Dirusak

Namun setelah dirusak selama 36 jam terjadi kenaikan *Total Acid Number* yaitu menjadi 3,6621. Hal ini menunjukkan terjadi perubahan kimia dari pelumas yaitu bertambahnya asam karboksilat dan asam anorganik lainnya. Asam organik terbentuk karena adanya oksidasi dari pelumas. Asam anorganik dapat terbentuk dari pelumas *base oil* yang masih banyak mengandung sulfur dan nitrogen bereaksi dengan ion H^+ membentuk asam sulfat dan asam nitrat.

Setelah dirusak pelumas *base oil* mengalami perubahan sebesar 13 kali lipat dari mula-mula. Hal ini disebabkan karena pelumas yang digunakan adalah pelumas dasar tanpa aditif dan diberi katalis untuk mempercepat proses degradasi dari pelumas. Jika dibandingkan dengan standar nilai ambang batas dari ASTM D 664 maka pelumas yang telah memiliki nilai *Total Acid Number* lebih dari 7 perlu untuk diganti. Nilai *Total Acid Number* pada perioda 36 didapatkan sebesar 3,6621 yang menunjukkan pelumas tersebut masih dibawah ambang batas sehingga belum dikategorikan rusak. Hal ini disebabkan karena kondisi perlakuan yang kurang ekstrim sehingga proses degradasi pelumas belum meningkatkan nilai keasaman dari pelumas.

Kenaikkan nilai *Total Acid Number* sebanding dengan kenaikan potensial dari sensor PIR-PV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17. Garis merah menunjukkan kenaikan *Total acid number* dengan sumbu ordinat disebelah kanan dan garis biru menunjukkan potensial dari deteksi sensor PIR-PV dengan sumbu ordinat sebelah kiri.



Gambar 4.17. Perbandingan Analisa *Total Acid Number* Dengan Hasil Deteksi Sensor

Keterangan

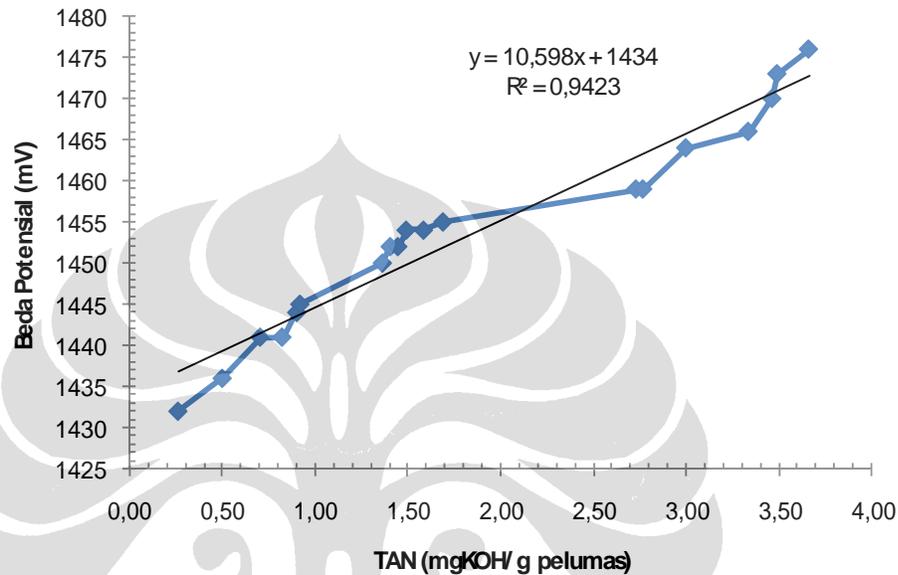
Garis biru : menunjukkan hasil deteksi sensor PIR-PV

Garis merah : menunjukkan perubahan nilai *total acid number*.

Sehingga hal ini menunjukkan bahwa sensor PIR-PV dapat mendeteksi perubahan kualitas dari pelumas.

Korelasi kenaikan *Total Acid Number* dengan kenaikan beda potensial dari sensor cukup kuat. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis dengan menggunakan Minitab 14 menunjukkan nilai korelasi pearson sebesar 0,971. Nilai tersebut menunjukkan kenaikan nilai *Total Acid Number* dengan kenaikan beda

potensial mempunyai korelasi yang kuat. Jika Nilai *Total Acid Number* naik maka nilai beda potensial dari sensor juga naik seperti yang ditunjukkan juga pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18. Hubungan Kenaikkan *Total Acid Number* Dengan Beda Potensial Sensor PIR-PV

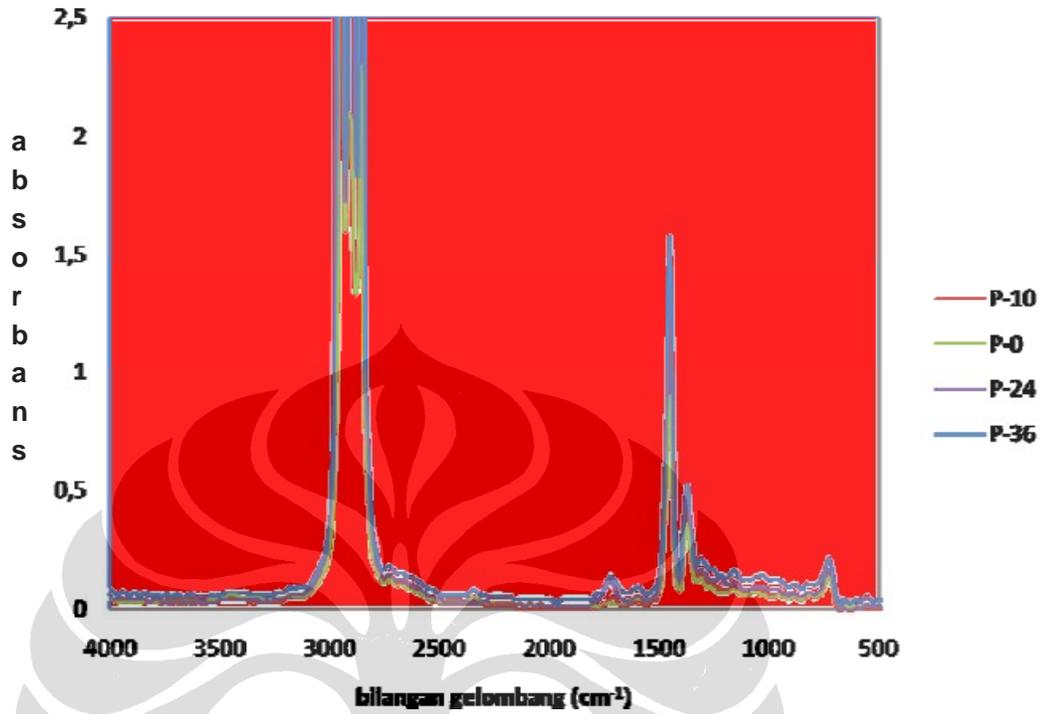
IV.3.3 Perbandingan Hasil Analisa Sensor PIR-PV Dengan Analisa FTIR

Analisa FTIR sering digunakan untuk menganalisa sisa umur pelumas dan menentukan waktu yang tepat untuk mengganti pelumas karena kecepatan analisisnya. Pelumas yang dipanaskan dan berkontak langsung dengan oksigen akan mengalami oksidasi dan menyebabkan pelumas menjadi lebih asam dan selanjutnya dapat mempengaruhi viskositas pelumas. Keasaman pelumas meningkat disebabkan karena di dalam proses oksidasi dihasilkan asam karboksilat. Asam karboksilat terbentuk karena rantai karbon radikal yang

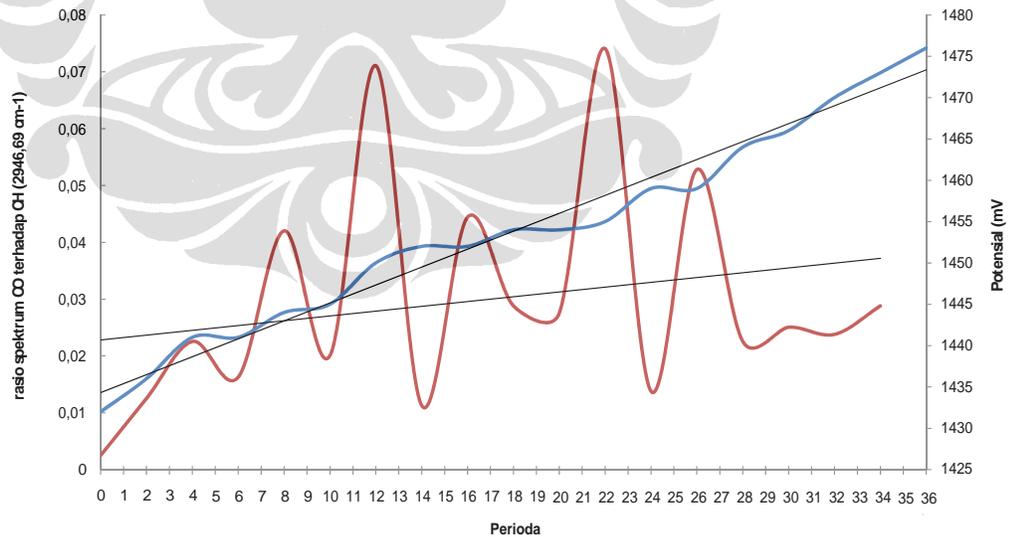
terpotong bereaksi dengan oksigen membentuk aldehid terlebih dahulu dan selanjutnya bereaksi kembali dengan oksigen membentuk asam karboksilat.

Gugus fungsi yang menjadi pengamatan sebagai hasil dari proses oksidasi adalah gugus karboksil. Gugus karbonil adalah gugus hasil dari ikatan rangkap antara karbon dengan oksigen. Semakin lama pelumas digunakan maka jumlah gugus karbonil semakin banyak yang mengakibatkan jumlah energi dari *infra red* semakin banyak diserap. Pada percobaan ini minyak lumas dasar yang dirusak dengan cara dipanaskan pada suhu 150°C yang mengakibatkan jumlah gugus karbonil relatif mengalami kenaikan yang apat dilihat pada Gambar 4.19. Dari Gambar tersebut pada minyak lumas dasar mula-mula terdapat gugus karbonil yang menunjukkan minyak lumas dasar tersebut telah teroksidasi. Namun setelah dipanaskan pada suhu 150°C , ditambahkan katalis besi dan kontak langsung dengan udara minyak lumas tersebut relatif mengalami penambahan absorbansi pada bilangan gelombang $1700\text{-}1730\text{ cm}^{-1}$.

Jika dibandingkan kinerja sensor PIR-PV dengan perbandingan rasio spektrum gugus C-O terhadap gugus C-H maka diketahui terdapat kenaikan tren seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.20. Kenaikkan dari rasio spektrum gugus C-O terhadap dari C-H tidak sempurna menunjukkan tren kenaikan karena ketebalan yang berbeda saat analisis. Tapi rasio spektrum gugus C-O terhadap dari C-H menunjukkan tren kenaikan yang menunjukkan terjadi oksidasi pada pelumas.

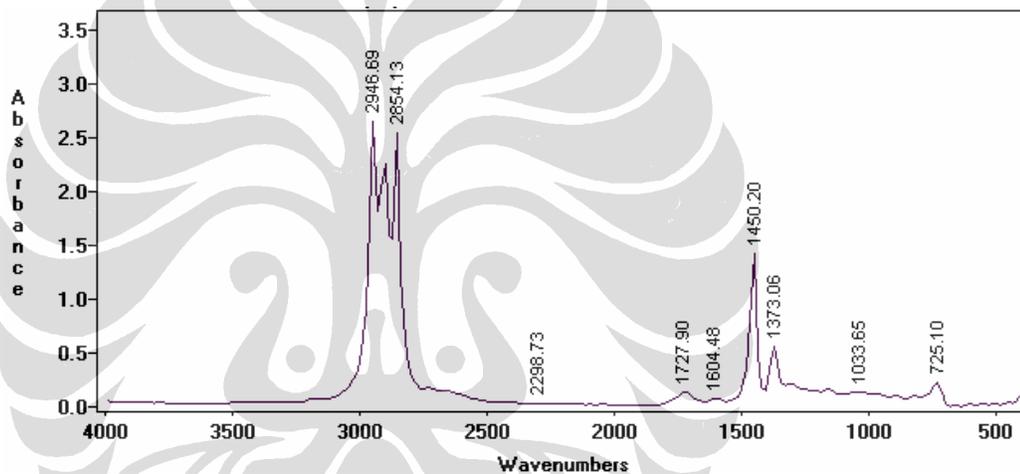


Gambar 4.19. Tren Kenaikkan Absorbans Dari Analisa FTIR Pelumas.



Gambar 4.20. Perbandingan Tren Kenaikkan Deteksi Sensor Dengan Rasio Spektrum Gugus C-O Terhadap Gugus C-H.

Sedangkan pada Gambar 4.21 ditunjukkan hasil analisis FTIR salah satu sampel dengan menggunakan output dari program *win first*. Pada Gambar tersebut dapat diketahui seperti yang sebelumnya yaitu terdapat gugus karbonil pada bilangan gelombang 1700-1730 cm^{-1} . Gugus N-H juga terdeteksi pada bilangan gelombang 2950-3000 cm^{-1} dan bending dari N-H dapat terdeteksi pada bilangan gelombang 1500-1700 cm^{-1} . Regangan ikatan C-H terdeteksi pada bilangan gelombang 2700-3300 cm^{-1} dan bending ikatan C-H terjadi pada ikatan 1300-1500 cm^{-1} .

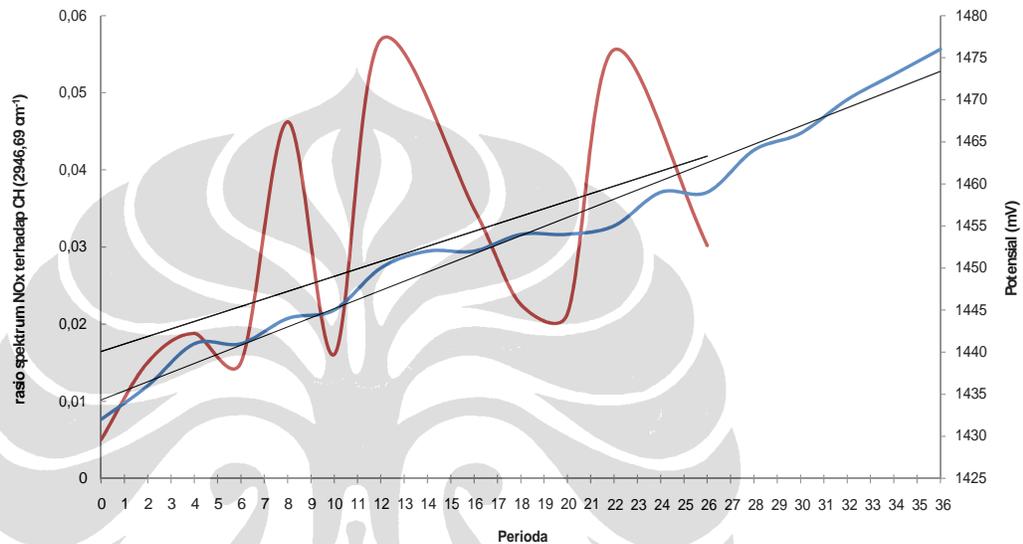


Gambar 4.21. Hasil analisa FTIR sampel pelumas periode 26

Bending ikatan gugus O-H terdeteksi pada bilangan gelombang 1200-1500 cm^{-1} dan regangan dari gugus ikatan O-H terdeteksi pada bilangan gelombang 3000-3700 cm^{-1} . Sedangkan pada bilangan gelombang 1600-1630 cm^{-1} terdeteksi ikatan nitrat $-(\text{NO}_x)$.

Pelumas yang mengalami degradasi akan mengalami perubahan sifat kimia yaitu kenaikan *Total Acid Number* sebagai akibat dari proses oksidasi yang menghasilkan asam organik yaitu asam karboksilat, nitration yang menghasilkan asam nitrat, dan sulfation yang menghasilkan asam sulfat.

Keberadaan nitrat dapat ditandai dari adanya spectrum *infra red* di bilangan gelombang 1600-1630 cm^{-1} seperti yang dapat dilihat pada salah satu Gambar 4.21. Tren rasio spektrum gugus NO_x terhadap gugus C-H mengalami kenaikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.22. Jika dibandingkan dengan kinerja deteksi sensor maka hasilnya sama-sama menunjukkan tren kenaikan.



Gambar 4.22. Perbandingan Tren Kenaikkan Deteksi Sensor Dengan Rasio Spektrum Gugus NO_x Terhadap Gugus C-H.

Asam nitrat memiliki ikatan N-O dan ikatan N-H. Selain memiliki *bending* pada bilangan gelombang 1500-1700 cm^{-1} , regangan dari gugus ikatan N-H juga terdeteksi pada bilangan gelombang 2950-3000 cm^{-1} dan 9000-10000 cm^{-1} . Oleh karena itu lampu LED *near infra red* digunakan karena memiliki bilangan gelombang antara 9000-10000 cm^{-1} untuk mendeteksi keberadaan gugus N-H.