

## PENGARUH ZAT ADITIF PADA SOLAR TERHADAP KETAHANAN KOROSI SUHU TINGGI MESIN DIESEL

Mohammad Dani<sup>1</sup>, Wagiy H.<sup>1</sup>, dan Minsyahril B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN  
Kawasan Puspipetek, Serpong, Tangerang 15314

<sup>2</sup>Jurusan Fisika FMIPA - USU  
Jl. Bioteknologi No. 1 Kampus USU, MEDAN

### ABSTRAK

**PENGARUH ZAT ADITIF PADA SOLAR TERHADAP KETAHANAN KOROSI SUHU TINGGI MESIN DIESEL.** Telah dilakukan oksidasi pada sampel mesin diesel A (HV = 256,78 kgf/mm<sup>2</sup>,  $\rho = 6,65-7,16$  g/cm<sup>3</sup>) dan sampel mesin diesel B (HV = 166,67 kgf/mm<sup>2</sup>,  $\rho = 5,39-5,57$  g/cm<sup>3</sup>) dengan alat *Thermal Gravimetric Analyser* (TGA) yang dilengkapi timbangan *Magnetic Suspension Balance* (MSB). Oksidasi dilakukan pada suhu 900°C selama 24 jam dengan variasi : tanpa aditif dan ditambah aditif (Diesel Booster + Amilum Nitrat; DBANI dan Diesel Booster; DB) yang di campurkan pada solar dengan perbandingan 1:1500. Hasil oksidasi kemudian dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (struktur kristal) dan *Scanning Electron Microscope* (struktur mikro). Hasil identifikasi fasa memperlihatkan adanya lapisan oksida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tersebar merata diseluruh permukaan bahan. Pengamatan struktur mikro menunjukkan batas butir oksida yang rapat.

**Kata kunci :** mesin diesel, solar, aditif, struktur mikro.

### ABSTRACT

**EFFECT OF ADDITIVE SOLAR OIL ON HIGH TEMPERATURE CORROSION RESISTANCE OF DIESEL MACHINES.** It has been done the study of thermal gravimetric analyser (TGA) accompanied with magnetic suspension balance (MSB) on the diesel machine of sample A (HV = 256.78 kgf/mm<sup>2</sup>,  $\rho = 6.65-7.16$  g/cm<sup>3</sup>) and sample B (HV = 166.67 kgf/mm<sup>2</sup>,  $\rho = 5.39-5.57$  g/cm<sup>3</sup>). The samples were oxidized at 900°C for 24 hours in the variation of with and without additives (Diesel Booster + Amilum Nitrate; DBANI and Diesel Booster;DB) in solar oil of 1:1500. The samples were, then, characterized by X-Ray Diffraction (crystal structures) and Scanning Electron Microscope (microstructures). The result shows that the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layers spread out over the sample surfaces and the oxidant grain boundaries are very compacted.

**Key words :** diesel machine, solar, additive, microstructure.

### PENDAHULUAN

Korosi [1,6,10] merupakan peristiwa yang biasa dijumpai di industri terutama pada industri otomotif dan bersifat merugikan karena menimbulkan kerusakan pada logam atau paduan (*alloy*) sehingga mengurangi efisiensi dan ketahanan logam tersebut.

Besi tuang (*cast iron*) sebagai bahan yang paling dominan dalam pembuatan mesin diesel, selalu dioperasikan pada suhu yang tinggi, dan secara perlahan mampu mengalami korosi. Proses korosi kering ini merupakan reaksi logam [2] dengan oksigen di udara. Laju oksidasi logam (*alloy*) dapat meningkat pada suhu tinggi dan ditentukan oleh laju reaksi oksidasi antara unsur-unsur logam dengan gas lingkungan seperti O, C, N, H, S, Cl dan lain-lain. Reaksi dapat terjadi dengan cara unsur-unsur logam keluar ke permukaan bereaksi dengan gas-gas atau dengan cara gas-gas masuk ke dalam logam. Difusi unsur-unsur logam keluar permukaan dapat

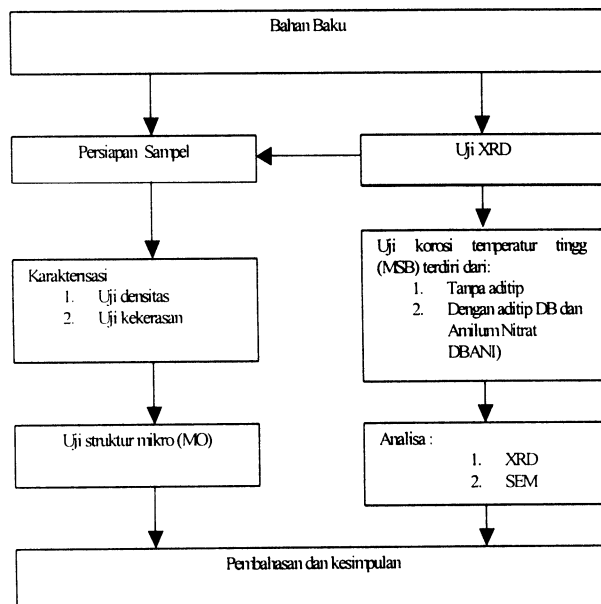
membentuk lapisan oksida pelindung. Lapisan oksida pelindung ini dapat pula dibentuk dengan menambahkan zat aditif atau zat yang bersifat reaktif dengan cara pembentukan paduan (*alloying*) maupun metode pelapisan (*coating*).

Penambahan zat aditif pada bahan bakar solar sejauh ini diketahui dapat meningkatkan efisiensi pembakaran mesin sampai sebesar 10%. Akan tetapi, belum diketahui bagaimana pengaruh penambahan zat aditif tersebut terhadap ketahanan korosi mesin diesel pada suhu tinggi. Penambahan zat aditif ini kemungkinan akan mempengaruhi reaksi oksidasi antara unsur-unsur logam dengan gas lingkungannya. Studi mengenai pengaruh zat aditif terhadap ketahanan korosi mesin diesel pada suhu tinggi ini dapat dilakukan dengan mempelajari sifat korosi bahan diesel sebelum dan setelah penambahan zat aditif.

Pada penelitian ini akan dipelajari dampak dari penambahan zat aditif, yaitu *Diesel Booster* dan Amilum Nitrat, terhadap ketahanan korosi mesin Diesel A dan B pada suhu tinggi. Kedua jenis mesin diesel ini dioksidasi pada suhu tinggi dalam lingkungan uap solar dengan dan tanpa penambahan zat aditif untuk kemudian dibandingkan. Korosi dapat diketahui melalui penambahan berat sampel dan didukung data karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), mikroskop optik, *X-Ray Diffractometer*, dan uji kekerasan.

## METODE PERCOBAAN

Penelitian ini dilakukan pada bahan mesin Diesel A dan B, yang dioksidasi pada suhu tinggi, dengan alat *Thermal Gravimetry Analyzer* (TGA) yang dilengkapi timbangan berprinsip MSB (*Magnetic Suspension Balance*). Penelitian ini menggunakan zat aditif berupa *Diesel Booster* (DB) dan Amilum Nitrat (AN). Semua bahan yang telah dibersihkan sebelumnya masing-masing dioksidasi dengan MSB selama 24 jam pada suhu 900°C. Tujuannya untuk melihat seberapa besar korosi yang terjadi dan jenis lapisan proteksi [3] yang terbentuk setelah proses ini. Karakterisasi dilakukan dengan meliputi pengukuran kekerasan menggunakan *Microhardness Tester*, densitas dengan metode piknometer, identifikasi fasa menggunakan XRD, dan strukturmikro menggunakan SEM. Skema penelitian ditampilkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Adapun alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

## Alat

- Alat pemotongan sampel jenis *Abrasive Cutter Buehler Supplement 2*
- Mikroskop Optik *Nikon FX-35 DX/ UFX-DX*
- *Magnetic Suspension Balance*
- Mesin poles *Struas Dap- V*
- *X-Ray Diffractometer* (XRD); Shimadzu
- *Microhardness Tester*; Shimadzu No 4656
- *Scanning Electron Microscope*; Philip 515
- Kertas Amplas ukuran 500,800,1000,1500,2000 mesh
- *Piknometer*
- Timbangan Digital; Sartorius

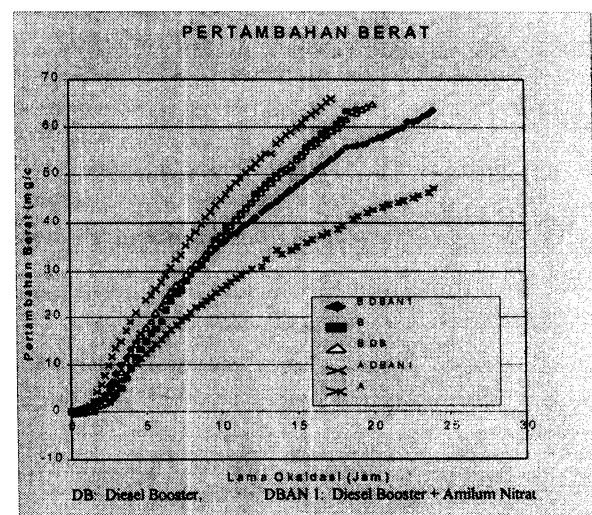
## Bahan

- Sampel Besi Cor
- Alumina Suspension
- Termoset Resin
- Bahan Pengeras (*hardener*)/ Katalis
- Air (H<sub>2</sub>O) dan Alkohol

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Korosi dengan TGA / MSB

Uji korosi dilakukan pada sampel A dan B selama 24 jam menggunakan alat TGA dengan timbangan menggunakan prinsip (*Magnetic Suspension Balance*).



Gambar 2. Grafik Pertambahan Berat sampel A dan B tanpa aditif dan dengan aditif.

### Uji Densitas [3, 4]

Hasil percobaan/pengukuran densitas pada sampel mesin diesel (A) dan mesin diesel (B) menggunakan metode Piknometer adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Uji Densitas dengan metode Piknomet

Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )		
No	Sampel A	Sampel B
1	6,89	5,57
2	7,16	5,53
3	6,65	

Densitas besi cor secara umum menurut literatur/referensi adalah 7,15 g/cm<sup>3</sup>. Akan tetapi densitas berbagai jenis besi cor berbeda satu sama lain. Hal ini disebabkan karena perbedaan persentase karbon dan bentuk grafit yang terbentuk pada besi cor tersebut serta unsur paduan pembentuknya.

Besi cor kelabu yang bentuk grafitnya *flake* (berupa serpih) memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor putih yang bentuk grafitnya *nodular* (berupa bola). Hal ini teramati dengan nilai kekerasannya, dimana besi cor putih memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

Dari hasil pengukuran densitas dengan metode piknometer sampel B memiliki nilai densitas 5,57 g/cm<sup>3</sup> dan 5,53 g/cm<sup>3</sup> serta sampel A dengan nilai densitas 6,89 g/cm<sup>3</sup>, 7,16 g/cm<sup>3</sup> dan 6,65 g/cm<sup>3</sup> sehingga sampel A dan sampel B dapat diklasifikasikan kedalam jenis besi cor kelabu (*gray cast iron*) seperti yang terlihat pada lampiran dan hasil yang didapat didukung hasil strukturmikro.

### Uji Kekerasan

Hasil pengukuran uji kekerasan dengan menggunakan *Microhardness Tester* [4] dengan waktu penekanan selama 15 detik dan pembebanan 0,2 kgf ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan *Micro Hardness* Vikers

Nama Sampel	Diagonal X 10 <sup>-3</sup> mm			D rata-rata X 10 <sup>3</sup> mm	VHN (kgf/mm <sup>2</sup> )
	d1	d2	d3		
A	39	38	37	38	256,778
B	46	47.5	48	47,16	166,67

Dari panjang diagonal diameter jejak indentor nilai kekerasan dapat dihitung dengan persamaan,  $H_v = 1,854 P/d^2$ , dimana  $P$  adalah beban (kgf) dan  $d$  adalah diagonal (mm).

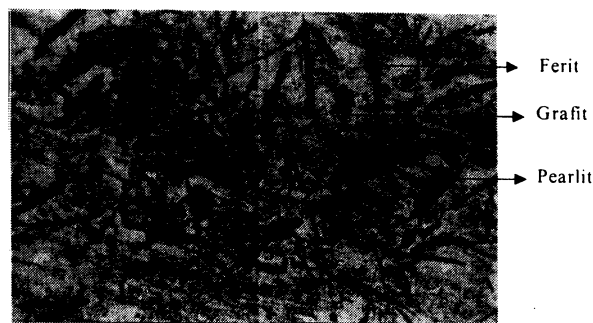
Kekerasan dipengaruhi oleh densitas. Semakin besar densitas maka nilai kekerasan akan semakin

besar. Hal ini disebabkan oleh tidak terbentuknya Fe<sub>3</sub>C (sementit). Pada grafit berbentuk *flakes* (*gray cast iron*) laju pendinginannya lebih lambat (sedang) dibandingkan dengan grafit berbentuk bola (*nodular*) yang laju pendinginannya cepat. Jika laju pendinginan cepat maka akan terbentuk Fe<sub>3</sub>C yang sifatnya keras.

Dari hasil percobaan didapat bahwa sampel A memiliki nilai kekerasan 256,778 kgf/mm<sup>2</sup> dan sampel B memiliki nilai kekerasan 166,67 kgf/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan sampel A lebih keras dibandingkan nilai kekerasan sampel B dikarenakan strukturmikro *pearlit* sampel A lebih halus dibandingkan dengan sampel B.

### Strukturmikro [1,4]

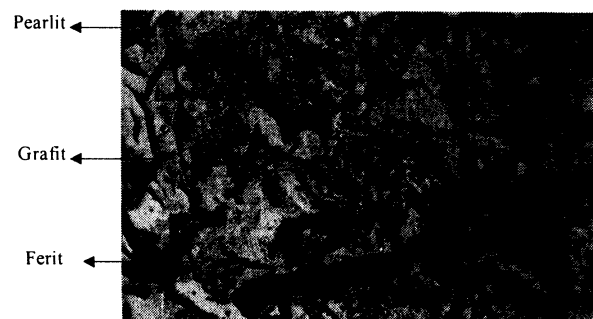
Hasil pemotretan dengan Mikroskop Optik terhadap sampel A dan B adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Strukturmikro sampel A perbesaran 400 X.



Gambar 4. Strukturmikro sampel A perbesaran 800 X.



Gambar 5. Strukturmikro sampel B perbesaran 400 X



Gambar 6. Strukturmikro sampel B perbesaran 800 X

Strukturmikro dari besi cor kelabu terdiri dari matriks ferit dan sedikit perlit serta karbon bebas (grafit) yang berbentuk serpih. Struktur dasar (matriks) dari besi cor kelabu kualitas rendah pada umumnya adalah campuran dari ferit dan perlit, dimana persentase dari perlit adalah sangat kecil sekali, sedangkan untuk besi cor kelabu kelas tinggi sangat perlu untuk mempunyai matriks perlit, hal ini disebabkan oleh sifat perlit yang ulet dan baik sekali ketahanan terhadap keausannya.

Pada dasarnya komposisi kimia [4] dari besi cor kelabu adalah sebagai berikut :

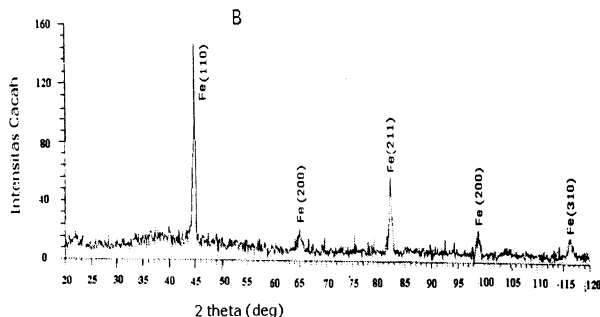
- Karbon (C) = 2,8 hingga 3,5 %
- Silikon (Si) = 1,0 hingga 3,5%
- Sulfur (S) = 0,05 hingga 0,15%
- Mangan (Mn) = 0,5 hingga 1,0%
- Posfor (P) = 0,05 hingga 0,080%

Dari hasil Mikroskop Elektron terlihat bahwa untuk sampel B strukturmikronya terdiri atas perlit, ferit dan grafit. Begitu juga halnya dengan sampel A memiliki strukturmikro yang sama dengan strukturmikro sampel B.

Perlit halus (terbentuk akibat transformasi yang cepat) lebih kuat dan lebih keras dari pada perlit yang kasar. Unsur Mangan (Mn) membantu pembentukan struktur perlit yang halus dan juga menahan pembentukan grafit.

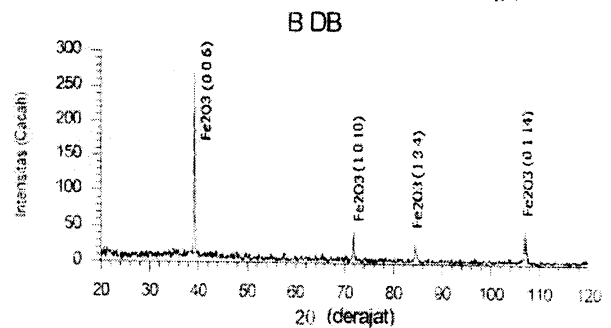
### Uji Difraksi Sinar-X [9]

Data hasil difraksi sinar-X sebelum oksidasi terhadap sampel B adalah sebagai berikut :

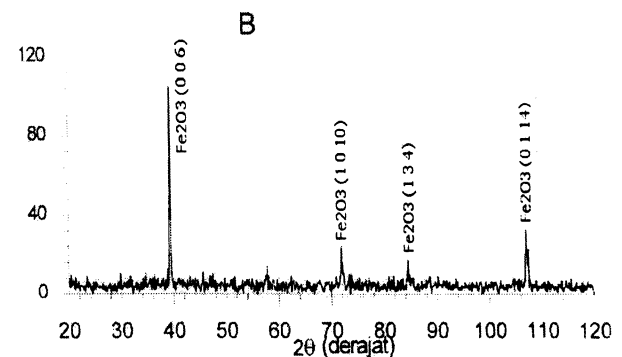
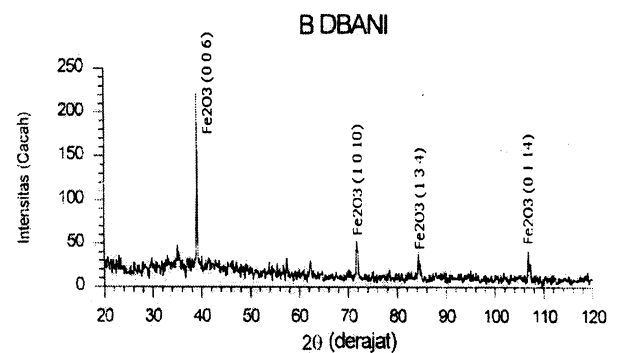


Gambar 7. Difraktogram sinar X sampel B sebelum dioksidasi

Data hasil difraksi sinar X setelah perlakuan oksidasi pada sampel B DBANI ,B dan B DB adalah sebagai berikut :



Gambar 8. Difraktogram sinar X sampel B DB



Gambar 10. Difraktogram sinar X Sampel B

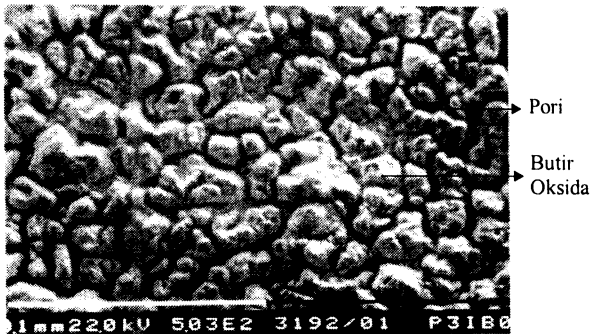
Pengamatan permukaan sampel setelah perlakuan oksidasi [6,7,8] dengan menggunakan SEM adalah sebagai berikut :



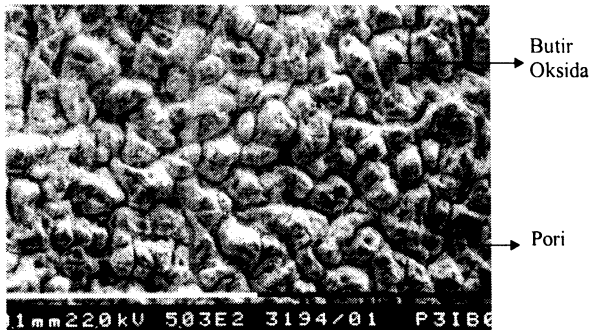
Gambar 11. Hasil SEM sampel A DBANI perbesaran 500 X



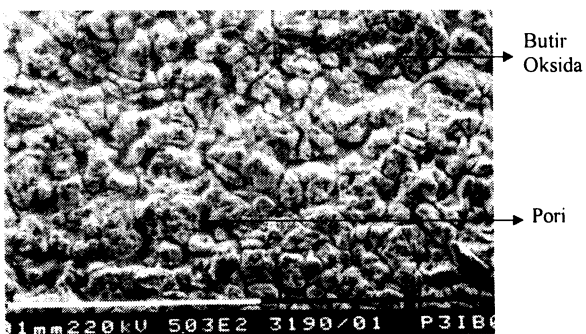
Gambar 12. Hasil SEM sampel A perbesaran 500X



Gambar 13. Hasil SEM sampel B DBANI perbesaran 500X



Gambar 14. Hasil SEM sampel B DB perbesaran 500X



Gambar 15. Hasil SEM Sampel B perbesaran 500X

Nilai  $d_{hkl}$  yang didapatkan pada percobaan dicocokkan dengan nilai  $d_{hkl}$  pada tabel Hanawalt. Sehingga diidentifikasi struktur fasa sebagai berikut :

#### Identifikasi Fasa sebelum Oksidasi

Besi cor kelabu adalah besi cor yang memiliki campuran fasa ferit dan cementit[5] perlit serta grafit.

Tabel 3. Identifikasi fasa hasil XRD sampel B

Peak	2θ(deg)	d(Å)	I/I <sub>1</sub>	d <sub>ref</sub>	I <sub>ref</sub>	Unsur
1	116.11	0.9077	14	0.9064	12	Fe
2	98.873	1.0139	14	1.0134	10	Fe
3	82.181	1.1719	44	1.1702	30	Fe
4	64.947	1.4346	12	1.4332	20	Fe
5	44.57	2.0312	100	2.0268	100	Fe

Tabel 4. Identifikasi Fasa Hasil XRD pada sampel B (tanpa penambahan aditif)

Peak no	2θ(deg)	d(Å)	I/I <sub>1</sub>	d <sub>ref</sub>	I/I <sub>ref</sub>	Senyawa
1	107.001	0.3958	63	0.9581	4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	84.455	1.1461	26	1.1411	7	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3	71.989	1.3106	37	1.3115	10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
4	39.363	2.2871	100	2.292	3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Tabel 5. Identifikasi Fasa Hasil XRD pada sampel B DB

Peak	2θ(deg)	d(Å)	I/I <sub>1</sub>	d <sub>ref</sub>	I/I <sub>ref</sub>	Senyawa
1	106.89	0.9589	41	0.9516	5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	84.346	1.1413	20	1.1411	7	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3	71.773	1.314	29	1.3115	10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
4	34.146	2.2992	100	2.292	3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Tabel 6. Identifikasi Fasa Hasil XRD pada sampel B DBANI

Peak	2θ	d(Å)	I/I <sub>1</sub>	d <sub>ref</sub>	I/I <sub>ref</sub>	Senyawa
1	106.78	0.9599	41	0.9581	4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	84.328	1.1485	26	1.1411	7	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3	71.773	1.314	49	1.3115	10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
4	39.037	2.3054	100	2.292	3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Pada sampel B yang belum dioksidasi tampak bahwa puncak yang paling dominan dan tertinggi ( $2\theta = 44.570, 65.380, 82.181$ ) adalah puncak  $\alpha$  ferit. Sedangkan puncak Si, C, dan Mn tidak terlalu dominan. Hal ini sesuai dengan komposisi kimia/unsur dari besi cor kelabu dimana persentase besi (Fe) lebih dari 92 % sedangkan sisanya adalah persentase dari unsur yang lain.

Pada sampel B yang dioksidasi pada suhu 900°C sudah menunjukkan adanya senyawa/lapisan oksida, akan tetapi senyawa/lapisan oksida untuk intensitas terbesar pertama, kedua, ketiga intensitasnya berbeda jauh. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya Fe<sub>3</sub>C yang metastabil, yang mampu mengikat oksida untuk menjadi stabil.

Pada sampel B yang dioksidasi dengan penambahan aditif DB pada suhu 900°C sudah menunjukkan adanya senyawa/lapisan oksida yang terbentuk akan tetapi senyawa dengan puncak tertinggi

pertama, kedua, dan ketiga intensitas puncaknya jauh berbeda, kemungkinan disebabkan peranan  $Fe_3C$  pada perlit (yang metastabil) yang pada suhu tinggi menuju kepada suatu kestabilan [11]. Begitu juga adanya pada sampel B DBANI menunjukkan keadaan yang sama dengan sampel B DB dan B.

### Uji Korosi Suhu Tinggi [10]

Pada sampel mesin (B) terlihat bahwa penambahan aditif (DBANI dan DB) sedikit menurunkan laju pertambahan berat. Akan tetapi secara keseluruhan (ketiga sampel) mengalami korosi dengan cepat. Hal ini diakibatkan karena sampel B ini tidak memiliki unsur Chrom (Cr)[12] yang berfungsi sebagai unsur yang menghambat korosi (lapisan oksida proteksi/ $Cr_2O_3$ ).

Pada sampel mesin A terlihat bahwa penambahan aditif DBANI mengakibatkan kenaikan pertambahan berat, sehingga terjadi korosi yang cepat karena pada sampel ini juga tidak adanya oksida proteksi. Hal ini didukung data pada XRD yang tidak memunculkan lapisan oksida proteksi baik itu  $Cr_2O_3$  ataupun  $Al_2O_3$ .

Jika ditinjau dari hasil Mikroskop Optik sampel B yang matriknya perlit ketahanan korosinya lebih baik bila dibandingkan dengan matriks ferit. Pada hasil MO untuk sampel B yang matriknya adalah campuran dari ferit dan perlit mengakibatkan sampel ini mudah terkorosi, walaupun grafit yang terdapat pada sampel ini ketahanan korosinya lebih baik dari ferit dan perlit. Pada sampel A matriks ferit lebih dominan daripada perlit sehingga ketahanan korosinya rendah. Akan tetapi pengaruh oksidasi dilihat dari strukturmikro sangat kecil terhadap ketahanan korosi.

Sedangkan pengaruh ammonium nitrat ( $NH_4NO_3$ ) menyebabkan *Stress Corrosion Attack* (SCC) sehingga mempercepat terjadinya korosi. Sehingga seperti yang tampak pada grafik dengan penambahan aditif korosi bertambah besar.

### Pengamatan Struktur Permukaan Setelah Oksidasi

Dari pengamatan SEM tampak bahwa kelima sampel mengalami korosi yang besar. Hal ini terlihat dengan tidak ratanya permukaan sampel. Akan tetapi bila ditinjau dari porositas (pori) tampak bahwa sampel yang porositasnya lebih kecil mengalami korosi yang lebih kecil. Dari hasil SEM tampak bahwa sampel A tanpa penambahan aditif mengalami korosi yang paling kecil (celah/porinya yang lebih rapat). Fenomena ini sesuai dengan referensi yang menyatakan bahwa porositas dapat menurunkan ketahanan korosi pada besi cor. Hal ini diakibatkan porositas tidak dapat menghalau media yang korosif masuk ke dalam bahan. Korosi ini dapat dikategorikan sebagai korosi lubang, karena terdapat perbedaan struktur permukaan logam. Adanya

lingkungan yang korosif [13] dalam hal ini berasal dari aditif menyebabkan terjadinya serangan korosi yang terlokalisasi membentuk lubang.

### KESIMPULAN

1. Dari hasil uji korosi dengan TGA/MSB sampel A lebih rendah korosinya dibandingkan dengan sampel B sebelum penambahan aditif, akan tetapi setelah penambahan aditif sampel A menunjukkan korosi yang lebih tinggi dari sampel B.
2. Dari hasil pengamatan permukaan sampel mesin A dan mesin B sebelum penambahan aditif menunjukkan jarak antar butir sampel A lebih rapat bila dibandingkan dengan sampel B.

### SARAN

Penelitian lebih lanjut menggunakan variasi mesin diesel dan zat aditif yang lebih bervariasi.

### DAFTAR ACUAN

- [1]. Metals Handbook, *Corrosion*, 13, 9<sup>th</sup> Ed., (1987)
- [2]. ASM Handbook, *Metallography and Microstructure*, 9, The Materials Information Society, USA, (1985)
- [3]. ASM Handbook, *Properties and Selection Iron, Steels and High Performance Alloys*, 1, 10<sup>th</sup> Ed., (1990)
- [4]. ASM Handbook, *Mechanical Testing*, 8, 10<sup>th</sup> Ed., (1985)
- [5]. ASM Handbook, *Materials Characterization*, 10, 10<sup>th</sup> Ed., (1986)
- [6]. ROBERGE R. PIERE, *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw Hill, New York, (2000)
- [7]. SMALLMAN R.E., *Metallurgy Physics Modern*, (1984)
- [8]. SHACKELFORD J.F. and WILLIAM ALEXANDER, *Materials Science and Engineering Handbook*, CRC Press, (1994)
- [9]. SWANSON E. HOWARD and CARMEL J. SIMON, *Powder Diffraction Data*, 1<sup>st</sup> Ed.
- [10]. Published By the Joint Committee on Powder Diffraction Data, (1991)
- [11]. SCHUWEIZER A. PHILIP, *What Every Engineer Should Know About Corrosion*, (1988)
- [12]. LAWRENCE VAN VLACK H., Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi I, Erlangga, Jakarta, (1989)
- [13]. BRADY S. GEORGES and CLAUSER R. HENRY, *Materials Handbook*, 12<sup>th</sup> Ed., (1991)
- [14]. BLAND F. and DAVIDSON L. ROBERT, *Petroleum Processing Handbook*, (1990)