

# KARAKTERISASI *CATALYTIC CONVERTER* MOTOR BENSIN BERBAHAN KATALIS TEMBAGA BERLAPIS MANGAN

RM. Bagus Irawan<sup>1</sup>, Purwanto<sup>2</sup>, Hadiyanto<sup>3</sup>

## ABSTRAK

Penggunaan bahan Tembaga Berlapis Mangan sebagai bahan katalis pada *Catalytic Converter* untuk mengurangi emisi gas buang mampu menurunkan emisi gas Carbon Monoksida Motor Bensin dengan berbagai variasi putaran mesin. Namun demikian belum diketahui bagaimana perubahan bahan katalis Tembaga Berlapis Mangan pada pengujian emisi gas buang tersebut. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakterisasi material Tembaga Berlapis Mangan sebagai bahan Katalis pada *Catalytic Converter* sebelum bahan di uji dan setelah bahan katalis digunakan sebagai *Catalytic Converter*. Karakterisasi Material ini menggunakan X-Ray Diffraction untuk mengetahui perubahan unsur material bahan katalis Tembaga Berlapis Mangan sebelum dan sesudah dilakukan pengujian emisi gas buang. Disamping itu Karakterisasi Material juga menggunakan SEM-EDX untuk menganalisa mikrostruktur bahan Katalis. Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy) adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan dari zat padat bahan katalis. Alat ini dilengkapi dengan detektor dispersi energi (EDX) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel katalis yang dianalisis. Adapun tujuan SEM-EDX dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro dan komposisi unsur dalam untuk mengetahui perubahan unsur material bahan katalis Tembaga sebelum dan sesudah dilakukan pengujian emisi gas buang. Hasil Pengujian X-Ray Diffraction yang dilakukan pada bahan katalis terjadi perubahan unsur dan struktur kristal (ukuran cell dan valume tiap unsur). Sedang untuk pengujian SEM-EDX pada bahan katalis terjadi perubahan permukaan kekasaran dan tipisnya/ berkurangnya lapisan Mangan pada Tembaga setelah bahan katalis digunakan pada *Catalytic Converter*.

**Kata Kunci:** *Catalytic Converter*, Katalis Tembaga Berlapis Mangan, X-RD, SEM-EDX

## PENDAHULUAN

Penggunaan bahan Tembaga Berlapis Mangan sebagai bahan katalis pada *Catalytic Converter* sebagai pengganti bahan Katalis dari Logam Mulia yang jarang dan mahal (*Palladium, Platinum dan Rhodium*) mulai banyak diteliti. Pada penelitian peneliti sebelumnya, penggunaan Tembaga Berlapis Mangan sebagai media katalis dengan melakukan modifikasi *Catalytic Converter* juga mampu menurunkan emisi gas Carbon Monoksida Motor Bensin dengan berbagai variasi putaran mesin. Namun demikian belum diketahui bagaimana perubahan bahan katalis pada pengujian emisi gas buang tersebut. Oleh

---

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakterisasi material Tembaga Lapis Mangan sebagai bahan Katalis pada Catalytic Converter.

Penelitian ini bertujuan mengetahui tentang karakterisasi material dari bahan Katalis Tembaga yang dilapisi Mangan sebagai bahan katalis pada Catalytic Converter untuk mereduksi Emisi Gas Buang Carbon Monoksida Motor Bensin. Secara khusus ingin dikaji bagaimana perubahan karakter bahan uji setelah dilakukannya pengujian emisi gas buang Carbon Monoksida. Karakterisasi Material ini menggunakan X-Ray Diffraction untuk mengetahui perubahan unsur material bahan katalis Tembaga lapis Mangan sebelum dan sesudah dilakukan pengujian emisi gas buang,

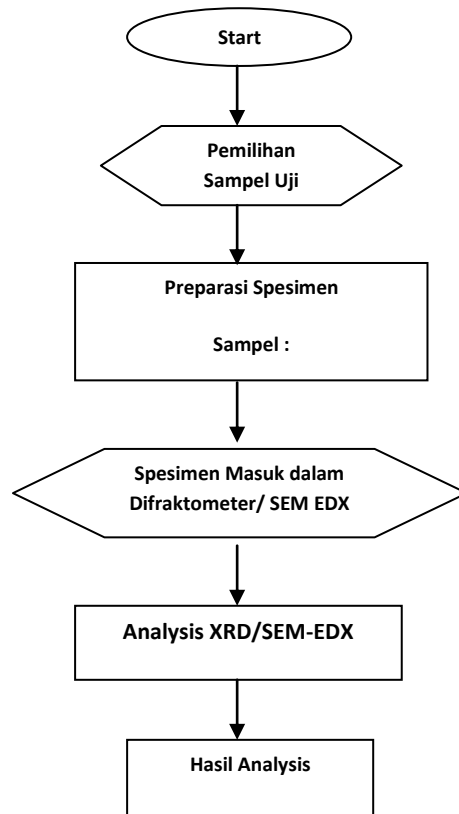
Setelah dilakukan pengujian XRD dilanjutkan dengan menggunakan SEM-EDX untuk menganalisa mikrostruktur bahan Katalis. Pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy) adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan dari zat padat bahan katalis. Alat ini dilengkapi dengan detektor dispersi energi (EDX) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel katalis yang dianalisis. Adapun tujuan SEM-EDX dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro dan komposisi unsur yang ada dan mengetahui perubahan unsur material bahan katalis Tembaga lapis Mangan sebelum dan sesudah dilakukan pengujian emisi gas buang.

## METODOLOGI

Penelitian ini berdasarkan pemikiran dan tahapan yang disusun secara sistematis. Tahap awal penelitian dilakukan dengan studi pustaka untuk memperdalam bidang yang akan diteliti. Studi pustaka pada penelitian terdahulu digunakan sebagai pijakan dan untuk membandingkan hasil penelitian yang nantinya di dapat dengan penelitian terdahulu, sehingga originalitas penelitian tetap terjaga dan tidak terjadi duplikasi penelitian. Adapun tahapan pengujian XRD dan SEM-EDX adalah seperti pada Gambar 1.

### **Bahan Penelitian**

Bahan penelitian ini berupa plat Tembaga yang dilapisi dengan Mangan ukuran 160 mm x 100 mm dengan ketebalan 1 mm. Plat Katalis berbentuk oval sesuai dengan bentuk *chasing* dan setengah dari luasan diberi lubang-lubang ukuran 2 mm dengan jarak antar lubang 3 mm seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Kalatis Tembaga Lapis Mangan

### Persiapan Pengujian

Sebelum penelitian dan pengambilan data dilakukan oleh peneliti, perlu dipersiapkan alat-alat yang akan digunakan saat penelitian berlangsung terdiri dari :

### **Alat Uji XRD**

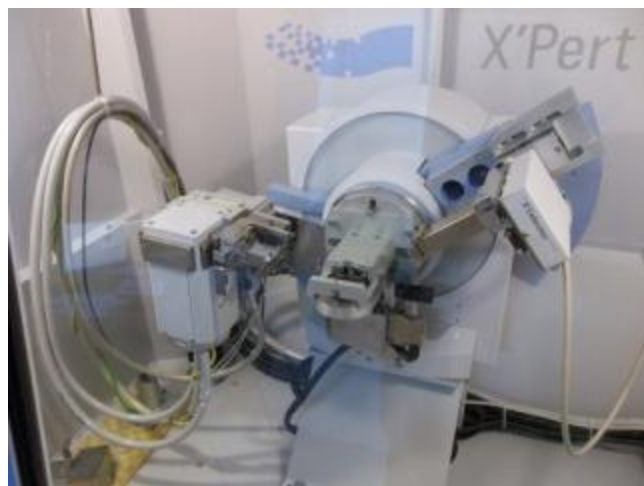
Alat Uji yang digunakan untuk meneliti sampel bahan uji yang pertama adalah alat uji XRD, seperti dalam gambar di bawah ini :



*Gambar 3 . Alat Uji XRD*

### **Alat Uji SEM-EDX**

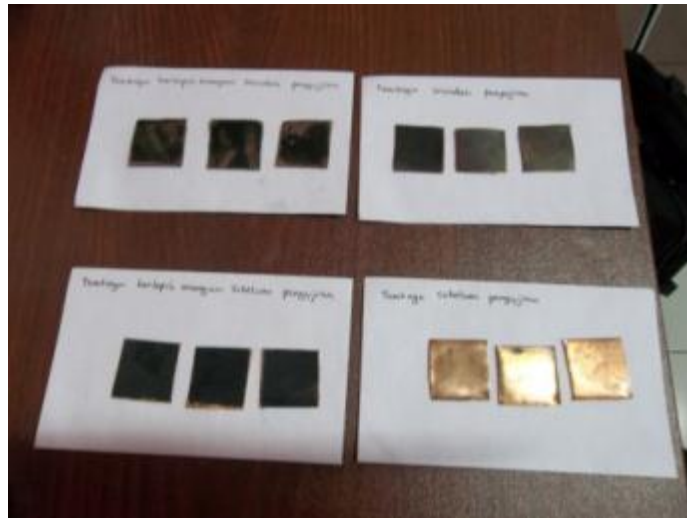
Alat Uji yang digunakan untuk menganalisa karakterisasi bahan katalis adalah SEM-EDX.



*Gambar4 . Alat Uji SEM-EDX*

### **Specimen Uji**

Specimen Uji bahan katalis perlu dipersiapkan, mengingat ukuran katalis yang besar, sehingga perlu di potong dan disesuaikan ukurannya dengan alat uji. Ukuran specimen uji adalah 3 cm dan berbentuk Bujur Sangkar.



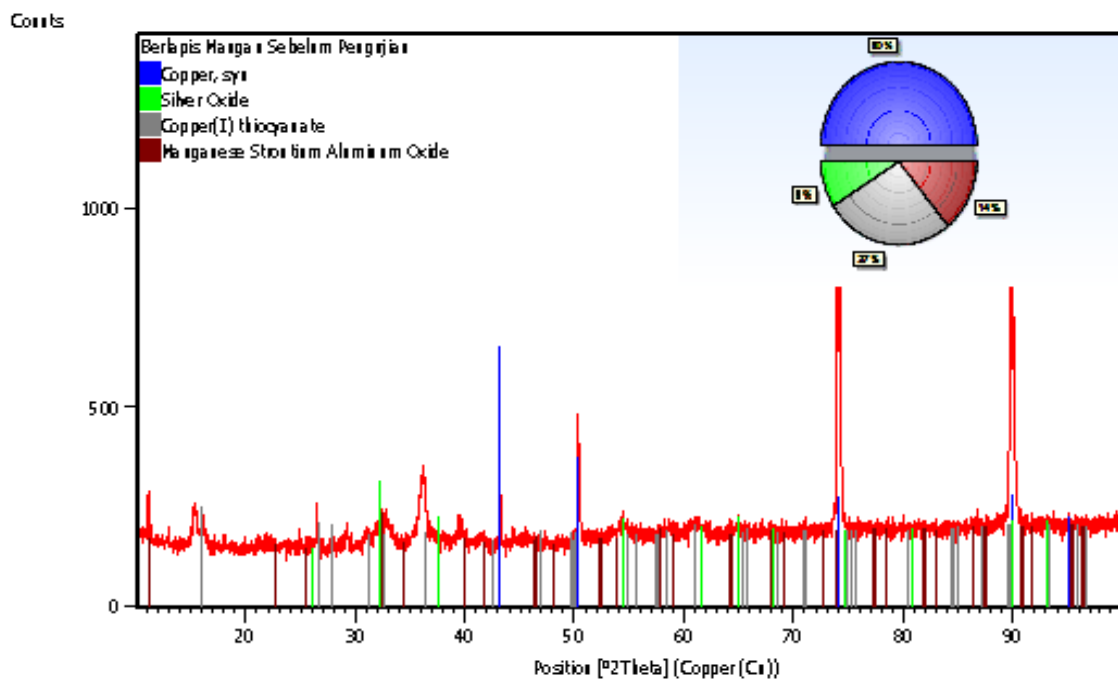
Gambar5.Specimen Uji Tembaga lapis Mangan

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### A. Pengujian XRD

#### 1. Sebelum Pengujian

Dari hasil pengujian XRD yang telah dilakukan peneliti pada spesimen uji bahan katalis sebelum dilakukan pengujian emisi gas buang ditunjukkan dengan metode grafis seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Sebelum Pengujian

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa unsur utama dari bahan katalis adalah Tembaga Berlapis Mangan adalah ( Copper, syn, Cu). Adapun Parameter Kristallografi adalah crystal system adalah cubic, space group Fm-3m, space group number 225, memiliki cell parameter (Å): 3.6100, b (Å): 3.6100; c (Å): 3.6100; Volume cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 47,05.

Adapun unsur yang lain seperti terlihat pada gambar adalah :

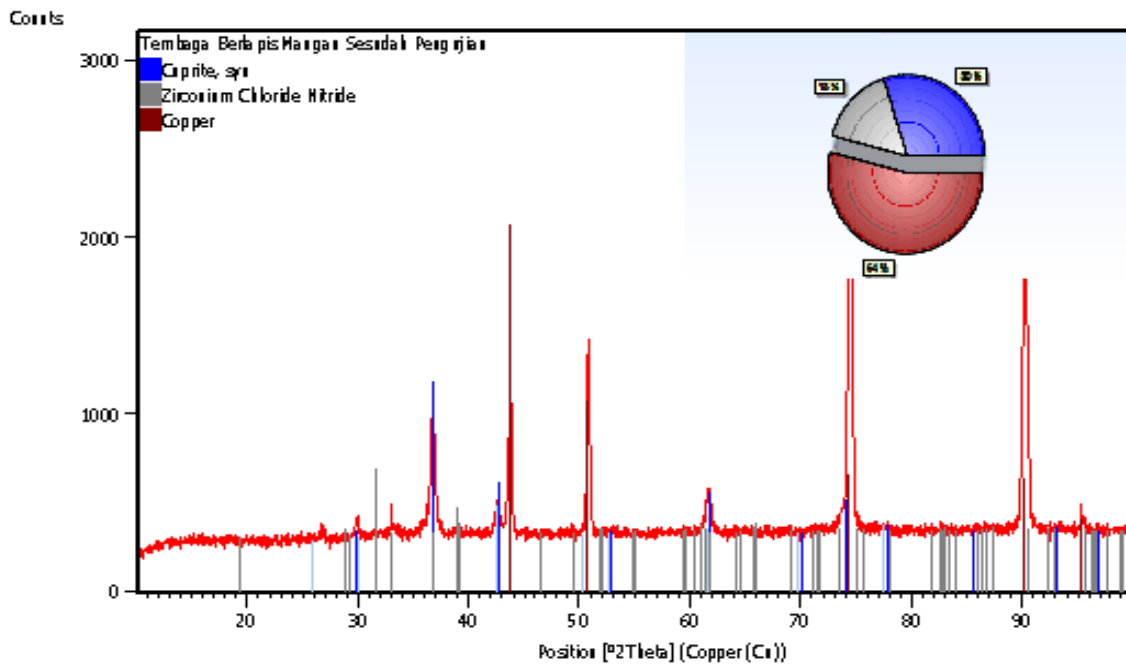
1. Silver Oxida ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ). Adapun Parameter Kristallografi adalah crystal system adalah cubic, space group Pn-3m, space group number 224, memiliki cell parameter (Å): 4.7260, b (Å): 4.7260; c (Å): 4.7260; Volume cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 105,56.
2. Copper (I) thiocyanate (  $\text{CCuNS}$ ). Adapun Parameter Kristallografi adalah crystal system adalah Hexagonal, space group P63mc, space group number 186, memiliki cell parameter (Å): 3.8500, b (Å): 3.8500; c (Å): 3.8500; Volume cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 140,39.
3. Manganese Strontium Aluminum Oxide ( $\text{Al}_{0.78}\text{Mn}_{1.22}\text{O}_{5.2}\text{Sr}_2$ ). Adapun Parameter Kristallografi adalah crystal system adalah Tetragonal, space group P4/mmm, space group number 123, memiliki cell parameter (Å): 3.8902, b (Å): 3.8902; c (Å): 3.8092; Volume cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 118,10.

## 2. Setelah Pengujian

Dari hasil pengujian XRD yang telah dilakukan peneliti pada spesimen uji bahan katalis setelah dilakukan pengujian emisi gas buang ditunjukkan dengan metode grafis seperti gambar 7. Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa unsur utama dari bahan katalis adalah Tembaga Berlapis Mangan adalah ( Copper, Cu). Adapun Parameter Kristallografi adalah crystal system adalah cubic, space group Fm-3m, space group number 225, memiliki cell parameter (Å): 3.6247, b (Å): 3.6247; c (Å): 3.6247; Volume cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 47.62.

Adapun unsur yang lain seperti terlihat pada gambar adalah :

1. Cuprite, syn ; Copper Oxida ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Adapun Parameter Kristallografi adalah crystal system adalah cubic, space group Pn-3m, space group number 224, memiliki cell parameter (Å): 4.2500, b (Å): 4.2500; c (Å): 4.2500; Volume cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 76,77.
2. Zirconium Chloride Nitride ( $\text{ZrNCl}$ ). Adapun Parameter Kristallografi adalah crystal system adalah Rhombohedral, space group R-3m, space group number 166, memiliki cell parameter (Å): 3.6046, b (Å): 3.6046; c (Å): 27.6720; Volume cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 311.38.

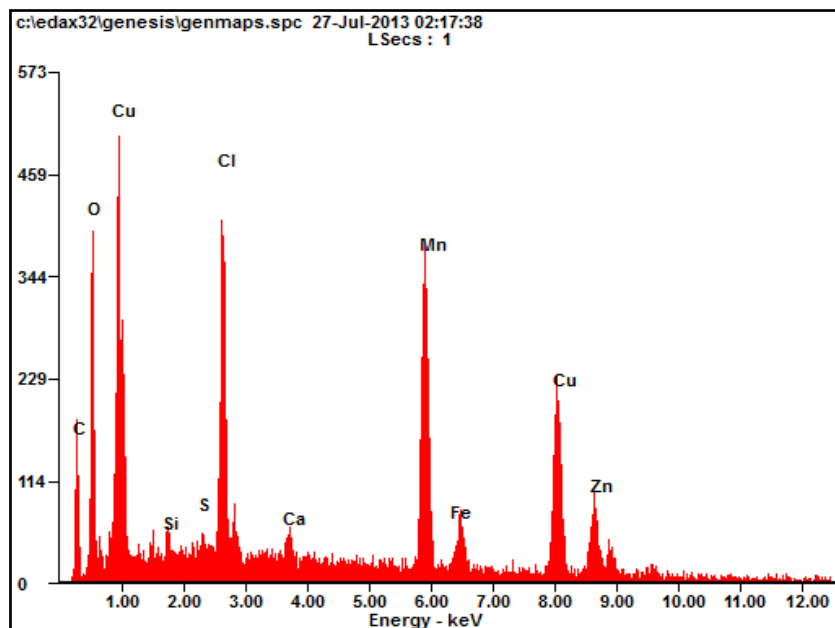


Gambar 7. Grafik Sesudah Pengujian

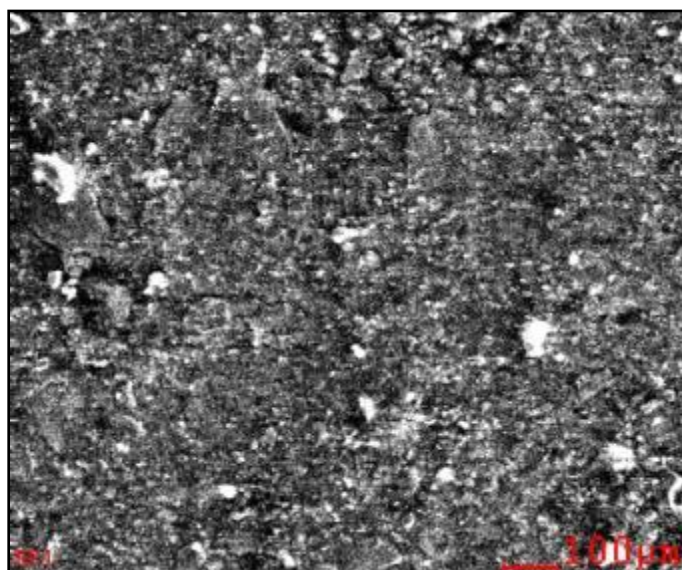
## B. Pengujian SEM-EDX

### 1. Sebelum Pengujian

Dari hasil pengujian SEM-EDX yang telah dilakukan peneliti pada spesimen uji bahan katalis sebelum dilakukan pengujian emisi gas buang ditunjukkan dengan metode grafis seperti gambar 8.



Gambar 8. Grafik Sebelum Pengujian



Gambar 9. Grafik Morfologi Bahan Katalis Sebelum Pengujian

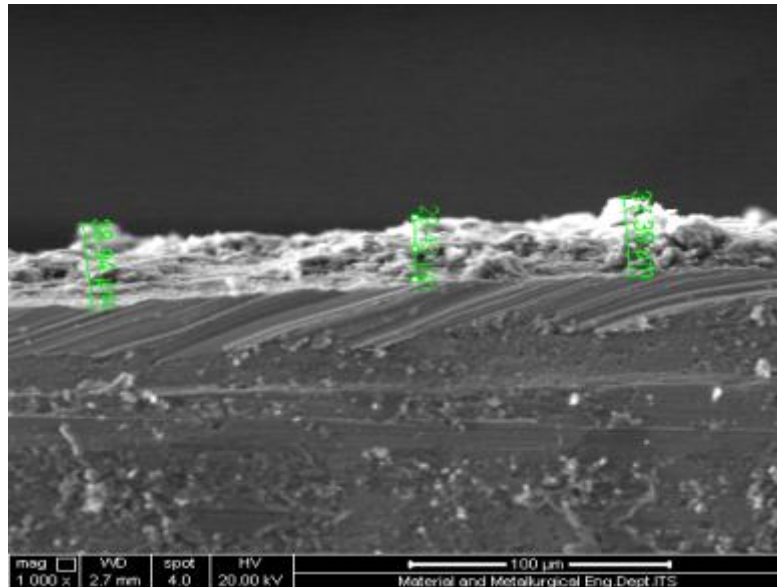
Dari gambar 9 dapat dilihat hasil Pengujian SEM-EDX dengan pembesaran 1000 x; bahwa ukuran partikel dalam plat Tembaga 100  $\mu\text{m}$ . Dari gambar morfologis tampak bahwa permukaan bahan katalis terlihat rata dan halus.

Adapun komposisi unsur bahan katalis Tembaga dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1 : Wt% dan At% Bahan Katalis Tembaga Berlapis Mangan (Sebelum Pengujian)**

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	21.09	42.95
<i>OK</i>	19.67	30.09
<i>SiK</i>	00.74	00.64
<i>SK</i>	00.33	00.25
<i>ClK</i>	08.11	05.60
<i>CaK</i>	00.79	00.48
<i>MnK</i>	17.28	07.70
<i>FeK</i>	01.30	00.57
<i>CuK</i>	21.47	08.27
<i>ZnK</i>	09.22	03.45
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



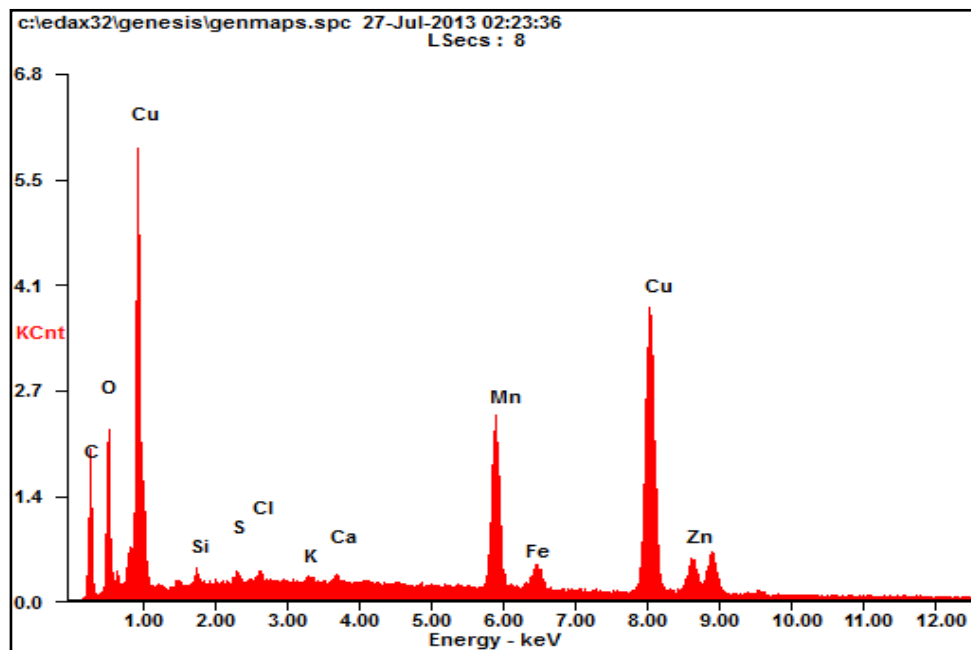


Gambar10. Gambar ketebalan lapisan Mangan (Sebelum Pengujian)

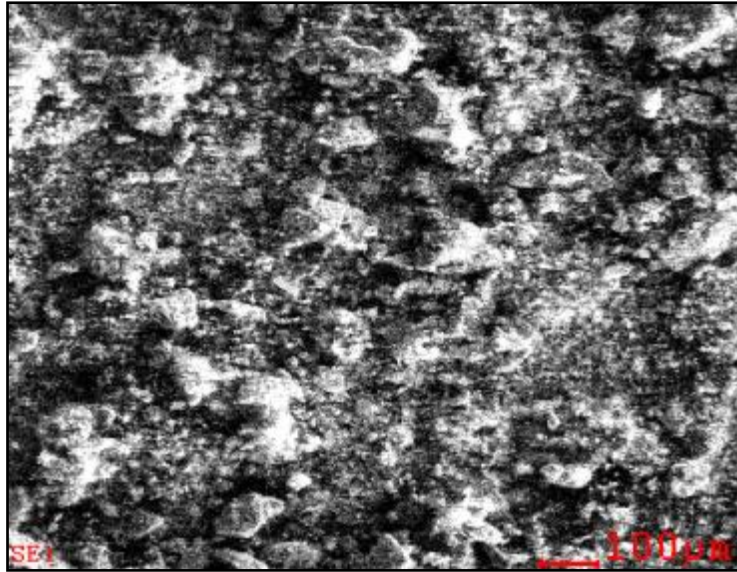
Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa ketebalan lapisan Mangan pada permukaan Tembaga tidak sama tebalnya, pada pembesaran mag 1000 x pada 3 titik yang berbeda adalah 38,94 µm , 29,43 µm dan 37,39 µm.

**2. Sesudah Pengujian :**

3. Dari hasil pengujian SEM-EDX yang telah dilakukan peneliti pada spesimen uji bahan katalis setelah dilakukan pengujian emisi gas buang ditunjukkan dengan metode grafis seperti gambar 11.



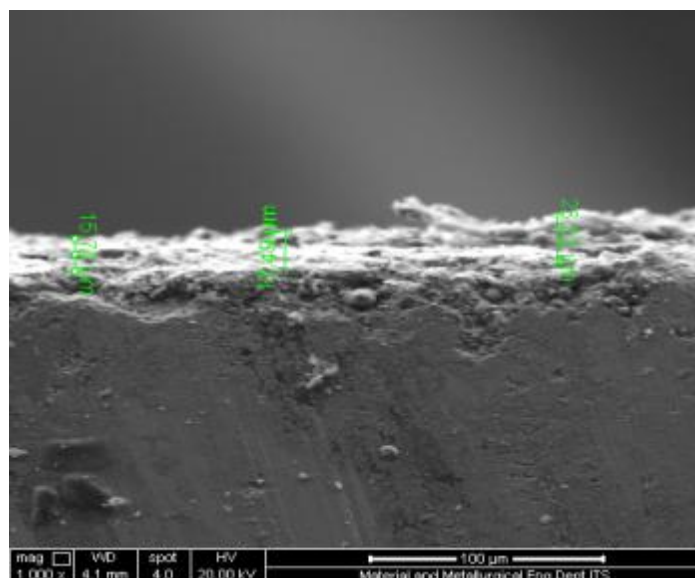
Gambar 11. Grafik Sesudah Pengujian



Gambar 12. Grafik Morfologi Bahan Katalis Sesudah Pengujian

Pada gambar 12 dapat dilihat hasil Pengujian SEM-EDX dengan pembesaran 1000 x; bahwa ukuran partikel dalam plat Tembaga Berlapis Mangan sebesar 100  $\mu\text{m}$ . Dari gambar tampak bahwa permukaan bahan katalis mengalami perubahan (lebih kasar dan terlihat ada tonjolan-tonjolan di beberapa sisi).

Adapun komposisi unsur bahan katalis Tembaga berlapis Mangan terdiri dari 11 unsur, dapat dilihat pada Tabel 2. Dari gambar 13 dapat dilihat bahwa ketebalan lapisan Mangan pada permukaan Tembaga sesudah pengujian emisi gas buang tidak sama tebalnya dan menipis, pada pembesaran mag 1000 x pada 3 titik yang berbeda adalah 15,74  $\mu\text{m}$  , 17,49  $\mu\text{m}$  dan 23,02  $\mu\text{m}$ .



Gambar 13. Gambar ketebalan lapisan Mangan (Sesudah Pengujian)

**Tabel 2. Wt% dan At% Bahan Katalis Tembaga Berlapis Mangan (Sesudah Pengujian)**

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	23.20	50.70
<i>OK</i>	13.10	21.49
<i>SiK</i>	00.69	00.64
<i>SK</i>	00.40	00.33
<i>ClK</i>	00.38	00.28
<i>KK</i>	00.20	00.14
<i>CaK</i>	00.26	00.17
<i>MnK</i>	11.68	05.58
<i>FeK</i>	00.72	00.34
<i>CuK</i>	42.98	17.76
<i>ZnK</i>	06.40	02.57
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

## KESIMPULAN

### A. Pada pengujian XRD

1. Terjadi perubahan unsur yang semula terdiri dari 4 unsur yaitu : Copper, syn (Cu), Silver Oxida (AgO<sub>2</sub>), Copper (I) thiocyanate (CCuNS) dan Manganese Strontium Aluminum Oxide (Al<sub>0.78</sub>Mn<sub>1.22</sub>O<sub>5.2</sub>Sr<sub>2</sub>) berubah menjadi 3 unsur yaitu : Copper (Cu), Cuprite, syn (Copper Oxida, Cu<sub>2</sub>O) dan Zirconium Chloride Nitride (ZrNCl).
2. Struktur Kristal bahan katalis sebelum dan sesudah pengujian emisi gas buang mengalami perubahan bentuk
3. Terjadi perubahan ukuran cell parameter disetiap unsur yang ada dalam bahan katalis
4. Terjadi perubahan volume di setiap unsur yang ada dalam bahan katalis
5. Terjadi perubahan ukuran kristal untuk peak tertinggi yang ada dalam bahan katalis.

## **B. Pada Pengujian SEM-EDX**

1. Terjadi perubahan kekasaran permukaan bahan katalis Tembaga Berlapis Mangan setelah pengujian emisi gas buang dilakukan.
2. Terjadi perubahan komposisi unsur dalam bahan katalis Tembaga Berlapis Mangan yang semula ada 10 Unsur menjadi 11 Unsur
3. Ketebalan lapisan Mangan pada permukaan Tembaga menjadi berkurang sesudah pengujian emisi gas buang berlangsung atau menipis lapisan Mangan nya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aris, 2005**, *Penggunaan Cu Murni di Exhaust Muffler dalam Upaya Pengurangan Emisi Gas Buang*, Institut Teknologi Subaraya.
- Arismunandar . 2002**, *Penggerak Mula : Motor bakar*, Edisi 5, Intitut Teknologi Bandung
- Arcadio P. Sincero Sr, Gregoria A. Aincero, 1995**, *Environmental Engineering A Design Approach. A Prentice Hall Company*, New Jersey.
- Aryanto , Razif , 2000**, *Study Penggunaan Tembaga ( Cu ) Sebagai Catalytic Converter Pada Knalpot Sepeda Motor Dua Tak Terhadap Emisi Gas CO* (jurnal), Teknik Lingkungan, ITS.
- Bachrun, 1993**, *Polusi Udara Perkotaan, Pemantauan dan Pengaturan*, Lab Termodinamika PAU Intitut Teknologi Bandung, Bandung.
- Balenovi. M, 2002**, *Modeling and Model-Based Control of a Three-Way Catalytic Converter*
- Bapedal, 1996**, *Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara*, Semarang.
- Bapedal, 2002**, *Presentasi Data ISPU - Januari 2002 hingga Desember 2002*.
- Bapedal, 2002**, *Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang*.
- Bappenas, 2009**, *Pengaruh Pertumbuhan Kendaraan Bermotor*, Studi Bappenas
- BPS, 2010**, *Angka Pertumbuhan Kendaraan Bermotor*, Jurnal
- BPS, 2009**, *Semarang Dalam Angka*
- Budhi ; Habibi , 2009**, *Kelakuan Dinamik Catalytik Converter pada Kondisi Hot-Run untuk Oksidasi CO*, Institut Teknologi Subaraya.
- Cooper and Alley, 1994**. *Air Pollution Control, a design approach*.
- Darsono, Valentino, 1995**, *Pengantar Ilmu Lingkungan*, Edisi revisi, Penerbit Universitas Airlangga, Yogyakarta.
- Dirjen Perhubungan Darat, 2000**, *Program Langit Biru dan Konservasi Energi* (Jurnal).
- Dowden , at all, 1970**, *Catalytic Hand Book*, Verlag New York, Inc

- Fitiryana**, 2002, *Uji kemampuan Catalytic Converter Tembaga Nikel (CuNi) untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Premium*, Institut Teknologi Subaraya.
- Hakam ; Sungkono**, 2006, *Analisa Pengaruh Penggunaan Logam Tembaga sebagai Katalis pada Saluran Gas Buang Mesin Bensin Empat Langkah terhadap Konsentrasi Polutan CO dan HC*.
- Harsanto**, 2001, *Pencemaran Udara, Pengaruh Serta Cara Penanggulangannya* (Jurnal)
- Heisler** , 1995, *Advanced Engine Tecnology Hodder Headline Group*, London.
- Intisari**, 1998, *Merenda Birunya Langit Kota* (Jurnal).
- Irawan** , 2003, *Rancang Bangun Catalytic Converter dengan Material Substrat Tembaga (Cu) untuk Mereduksi Emisi Gas CO*, Tesis MIL UNDIP
- Irawan**, 2006, *Pengaruh Catalytic Converter Kuningan Terhadap Keluaran Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin*, Majalah Traksi
- Irawan**, 2007, *Pengaruh Letak Pemasangan Catalytic Converter Terhadap Keluaran Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin*, Majalah Traksi
- Irawan** , 2010, *Modifikasi Catalytic Converter Kuningan Untuk Mereduksi Emisi Gas Carbon Monoksida dan Hidro Carbon Motor Bensin*, Majalah Traksi
- Irawan** , 2014, *Optimun Design of Maganase-Coated Copper Catalytic Converter to Reduce Carbon Monoxide Emissions on Gasoline Motor*, Procedia Environmental Sciences
- Jenbacher**. 1996, *Combustion Engines I Vol I*
- Jenbacher**. 1996, *Combustion Engines II Vol II*
- Jenbacher**. 1996, *Spark Ignition Engine Design Vol 3*
- J. C. Prince, C. Trevino, and M. Diaz**, 2008, *Modeling a Catalytic Converter for CO and NO Emissions*.
- Krisbayu**, 2001, *Pengaruh injeksi Oksigen pada Catalytic Converter Oksida Tembaga (CuO) terhadap Penurunan CO dan HC Motor Bensin*.
- Mathur** , 1975, *Internal Combustion Engine*. Second Edition. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York
- Obert**, 1973, *Internal Combustion Engine and Air Pollution*, Third Edition. Harper & Row, Publisher, Inc, New York
- Onogawa**, 2007, *Environmental Sustainable Transportation (EST)*, Jurnal
- Palguna**, 2010, *Pengendalian Pencemaran Emisi Sumber Bergerak*, KLH
- PCI Report**, 1997. *Study of Fine Atmospheric Particles And Gases in The Jakarta Region*
- Pinsker, ZG., Imamov, R.M.**, (1956), *Phys. Status Solidi A*, 56, 127

- Peavy ; D.R. Rowe and G. Tchobanoglous**, 1985, *Environmental Engineering*. Mc. Graw-Hill. Inc, Singapore
- Pelangi**, 1997, *The Study on The Intregated air Quality Management for Jakarta Metropolitan Area* (Jurnal).
- Pelangi**, 1999, *Upaya Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor* (Jurnal).
- Pramudya** , 2001, *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001*, Terbitan pertama, PT. Gramedia Indonesia, Jakarta.
- Setyowarno**, 2010, *Peningkatan Jumlah Kendaraan Bermotor di Semarang*, Suara merdeka
- Sitepoe**, 1997, *Usaha Mencegah Pencemaran Udara*, Terbitan pertama, PT Gransindo, Jakarta
- Sitorus, Ronal , dkk**, 2000, *Reparasi dan Perawatan Mobil*. Pionir jaya, Bandung
- Samir And Shen** , 2003, *Effect of Geometric Parameter on The Performance of Automotive Catalytic Converter*.
- Springer - Verlag New York Inc**, 1970, *Catalyst Hanbook*. Walfe Scintific Book, London - England.
- Surdia** , 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Pertama, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Swisscontact**, 2003, Clean Air Project, Jakarta.
- Toyota-Astra Motor Service Division**. 1998, *Dasar-Dasar Automobil*. Jakarta.
- Toyota Training Center**, 2000, *Emission Control Step Two*. Jakarta.
- V.A.W Heller**, 1995, *Fundamental Motor Vehicle Technology*, Edisi ke-4, FIMI Stanley Thorne (Publisehers ) Ltd.
- Warju**, 2003, *Eksperimen tentang pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Kuningan Berlapis Crom Terhadap Emisi Gas Buang Co dan HCpada Mesin Toyota KijangTipe 4K*. Institut Teknologi Surabaya.
- Warju**, 2006, *Pengaruh Penggunaan catalytic Converter Tembaga berlapis Mangan Terhadap Kadar Polutan Motor Bensin Empat langkah*. Institut Teknologi Surabaya.
- William**, 1985, *Automotive Cooling Exhaust, Fuel and Lubricating Systems*. A Prentice Hall Company, Reston, Virginia.
- Wisnu**, 1999, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Cetakan Kedua, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta
- WHO**, 2000, *Pengaruh Polusi Udara*, Jurnal
- Wolf**, 1971, *Carbon Monoxide - Measurement and Monitorong in Urban Air Environment*, Sei and Technol.

**Yusad , 2003.** Polusi Udara di kota Besar Dunia. Fakultas Kesehatan Masyarakat USU  
Medan.

---

PENULIS:

1. RM. BAGUS IRAWAN

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang

e-mail : [bagusirawanmail@yahoo.com](mailto:bagusirawanmail@yahoo.com)

2. PURWANTO

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Email : [p.purwanto@undip.ac.id](mailto:p.purwanto@undip.ac.id)

3. HADIYANTO

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

e-mail : [hady.hadiyanto@gmail.com](mailto:hady.hadiyanto@gmail.com)