

DAFTAR PUSTAKA

- A. Oyetunji & S.O. Adeosun. (2021). Effects of Carburizing Process Variables on Mechanical and Chemical Properties of Carburized Mild Steel. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 8(2), 319–324. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2012.08.02.11>
- Abbaschian, R., Abbaschian, L., & Reed-Hill, R. E. (2009). *Physical metallurgy principles* (4th ed). Cengage Learning.
- Achmad Zainuri, Paryanto Dwi Setyawan, & Prayuda Atmam. (2011). Analysis of hardness and microstructure of AISI 1018 steel due to the pack carburizing process with variations in the concentration of gold snail shell powder. *Dinamika Teknik Mesin*, 1(1), 25–33.
- Akita, M., & Tokaji, K. (2006). Effect of carburizing on notch fatigue behaviour in AISI 316 austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 200(20), 6073–6078. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.09.018>
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. (2012). *Engineering materials 1: An introduction to properties, applications and design* (Vol. 1). Elsevier.
- B.H., A., Ostwald, P. F., Begeman, M. L., & Djaprie, S. (1992). *Mechanical Technology* (pId=671&pRegionCode=JIUNMAL&pClientId=111; VII). Erlangga. <http://kin.perpusnas.go.id/DisplayData.aspx?>
- Bhadeshia, H. K. D. H., & Honeycombe, R. W. K. (2006). *Steels: Microstructure and properties* (3rd ed). Elsevier, Butterworth-Heinemann.
- Bontong, Y. (2020). Behavior Of Mechanical Properties On Carbon Steel Due To Pack Carburizing With Buffalo Bone Charcoal And BaCO₃. *UNHAS*. Desertation.
- Bontong, Y., Syam, R., Arsyad, H., & Asmal, H. S. (2018). Behavior Of Pack Carburizing With Bone Buffalo Charcoal And BaCO₃ Against Mechanical Properties Of Low Carbon Steel. *ARPN Journal*, 13(14).
- Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction* (7th ed). John Wiley & Sons.
- Dieter, G. E., & Bacon, D. (1976). *Mechanical metallurgy* (Vol. 3). McGraw-hill New York.
- DNK D N., TG T, irta N., IW, S., & M, S. (2017). Chemical, strength and microstructure characterization of Balinese bamboos as activated carbon source for adsorbed natural gas application. *IOP Publishing*, 201(1), 12033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/201/1/012033>



F. D., S., & JW, S. (2003). Pengaruh media celup dan waktu tahan pada karburasi padat baja AISI SAE 1522. *Seminar Nasional Aplikasi Sains Dan Teknologi*, 166-170.

Fawell, J. K., & Bailey, K. (Eds.). (2006). *Fluoride in drinking-water*. IWA Pub.

Fick, A. (1855). Ueber Diffusion. *Annalen der Physik und Chemie*, 170(1), 59–86. <https://doi.org/10.1002/andp.18551700105>

G, M., & R.H, W. (2020). Steel Class Notes and lecture material For MSE 651.01 Physical Metallurgy of Steel. In *Physical Metallurgy of Steel* (Vol. 15, p. 173). The Ohio State University.

Hafni, & Nurzal. (2014). Testing of Pack Carburizing Tune for Surface Hardening of Low Carbon Steel with Carburizing Media Mixed of Coconut Charburgers and BaCO₃. *Jurnal Momentum*, 16(1), 84–89.

Hari, A., & Daryanto. (1999). *Materials Science* (1st ed.). Bumi Aksara.

Ihsan, A. (2015). Quantitative and Qualitative Identification of Spotted Mature Female Domestic Asian Water Buffalo Bubalus Bubalis in Pasar Bolu Kabupaten Toraja Utara. *Students E-Journal*, 4(3).

Ismay, A. S. (2009). Karburisasi baja ST 37 dengan media arang batok kelapa. *Jurnal POLIMESIN*, 7(1), 563. <https://doi.org/10.30811/jp.v7i1.1340>

Ketut Putra Negara, D. N. (2016). Efektifitas Carburizer dari Sumber Karbon Berbeda Pada Proses Pack Carburizing. *Urnal METTEK*, 2(1), 5–10.

Kuswanto, B. (2010). *Pack Carburizing Treatment Of Low Carbon Steel As An Alternative Material For Cutting Knives In The Application Of Appropriate Technology*. 5.

Márquez-Herrera, A., & Moreno-Palmerin, J. (2022). Corrosion resistance evaluation of boron-carbon coating on ASTM A-36 steel. *Revista Mexicana de Fisica*, 68(1), 1–6. <https://doi.org/10.31349/REVMEXFIS.68.011001>

Miswanto, Rajaguguk, T. O., & Sumardi, S. (2019). The study of low carbon steel pack carburizing using cow bone and coconut shell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 478, 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/478/1/012037>

Nanulaitta, N. J. M. (2012). Analysis of the Hardness Features of ST-42 Steel with The Influence of The Large Granules of The Catalizer Media (Cow one (CaCO₃) Through A Pack Carburizing Process. *Jurnal Teknologi, niversitas Pattimura*, 9(1), 985–994.



- Priadi, D., Setyadi, I., & . Siradj, E. S. (2003). Influence of Strain I Rate and T ain Rate and Temperature Hot Tension Testing on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel S48C. *Makara Journal of Technology*, 7(1). <https://doi.org/10.7454/mst.v7i1.137>
- Rombe, B. (2011). *Nilai-nilai Sosial Ekonomi Kerbau Pendatang di Lingkungan Masyarakat Toraja*. Makalah Seminar Nasional dan Teknologi Peternakan dan Veteriner. Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan.
- Shaifudin, A., Istiasih, H., & Mufarrih, A. (2018). Optimization of carbon diffusion by pack carburizing method on ST 42 steel. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 27–34. <https://doi.org/10.29407/jmn.v1i1.12293>
- Smallman, R. E., & Bishop, R. J. (1999). *Modern physical metallurgy and materials engineering: Science, process, applications* (6th ed). Butterworth Heinemann.
- Somba, R. (2019). Koreografi Garonto'Eanan: Visualisasi Kerbau Dalam Kehidupan Masyarakat Toraja. *Joged*, 13(2), 112–124.
- Sukardjo, S. (1999). Integrated coastal zone management (ICZM) in Indonesia. *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management*, 227–233.
- Suryanto, H. (2005). *Pengaruh Komposisi Media Karburasi Serbuk Arang Kayu-Barium Karbonat Terhadap Kekerasan Dan Keausan Baja Karbon Rendah* (tesis). UGM.
- Vlack, L. H. V. (1991). *Materials Science and Technology*. Erlangga.



BAB IV TOPIK PENELITIAN II

PERUBAHAN STRUKTUR MIKRO DAN KOMPOSISI BAJA KARBON *CARBURIZING* TEMPERATUR RENDAH

4.1 Abstrak

Struktur mikro baja karbon tergantung pada persentase karbon dalam komposisi material. Sifat kekerasan baja karbon juga dapat diketahui dari kadar karbon yang terkandung di dalam material. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro, kandungan unsur dan jenis unsur yang terdapat pada material yang di *carburizing* pada temperatur rendah yakni 700°C dan 750°C. Dengan metode penelitian pengujian *non destructive test* yakni dengan uji *metalography* dan uji *SEM, EDS dan mapping* untuk melihat struktur mikro, jenis unsur, persentase unsur dalam material. Dari penelitian diperoleh hasil pada struktur mikro spesimen normal didominasi oleh ferrit karena belum ada perlakuan. Dominasi fasa ferit mengakibatkan nilai kekerasan lebih rendah, hal ini dipengaruhi karena belum adanya penambahan karbon pada material. Pada temperatur 700°C, dan temperatur 750°C, terlihat pertambahan struktur perlit yang ditandai dengan warna gelap. Pada *raw material* persentase perlit sebesar 14.029%, temperatur 700°C sebesar 40.187%, dan temperatur 750°C sebesar 52.234%. Semakin banyak struktur mikro perlit yang terbentuk maka semakin tinggi nilai kekerasannya. Sedangkan untuk komposisi unsur karbon (C) pada *raw material* sebesar 0.15%, setelah di *carburizing* temperatur 700°C dengan beban penarikan σ_p terjadi kenaikan unsur karbon menjadi 0.73%. Sedangkan pada *carburizing* temperatur 750°C beban penarikan σ_p juga terjadi kenaikan unsur karbon sebesar 1.26%. Dengan adanya pertambahan unsur karbon pada permukaan material ini mengindikasikan terjadinya difusi pada material dengan terbentuknya fase perlit yang lebih banyak pada permukaan serta ditandai pula terjadinya distribusi kekerasan dari surface ke core dengan peningkatan persentase karbon maka nilai kekerasan meningkat dimana nilai kekerasan yakni 104,8 HRB untuk temperatur 700°C dan 106,60 HRB untuk temperatur 750°C.

Kata Kunci: *carburizing, diffusion, hardness, carbon, chemical composition, microstructure*



4.2 Pendahuluan

Karbon adalah unsur yang paling penting dalam baja karbon, dan kandungan karbonnya dapat bervariasi dari 0,01% hingga 2,1% berdasarkan komposisi kimianya (Dieter & Bacon, 1976). Pengamatan struktur mikro digunakan untuk mengetahui keadaan atau kondisi suatu logam ditinjau dari strukturnya dengan menggunakan mikroskop. Serta dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk mengetahui kerusakan suatu komponen. Berdasarkan hasil metalografi yang dilakukan dapat diketahui bahwa tidak ditemukan adanya cacat pada permukaan, sehingga material masih layak digunakan (Hari, 1999). Struktur mikro dalam baja karbon sangat penting karena mempengaruhi sifat dan karakteristik mekaniknya. Struktur mikro baja karbon tergantung pada persentase karbon dalam komposisi material. Terdapat tiga struktur mikro utama yang dapat terbentuk dalam baja karbon: perlit, ferit, dan sementit (Abbaschian et al., 2009).

Struktur mikro yang diinginkan dapat dicapai melalui kontrol komposisi kimia, suhu perlakuan panas, kecepatan pendinginan, dan perlakuan panas lainnya. Dengan memahami struktur mikro, dapat dioptimalkan sifat mekanik, kekuatan, keuletan, dan kinerja keseluruhan baja karbon.

Ada tiga struktur mikro utama dalam baja karbon yang bergantung pada kandungan karbonnya:

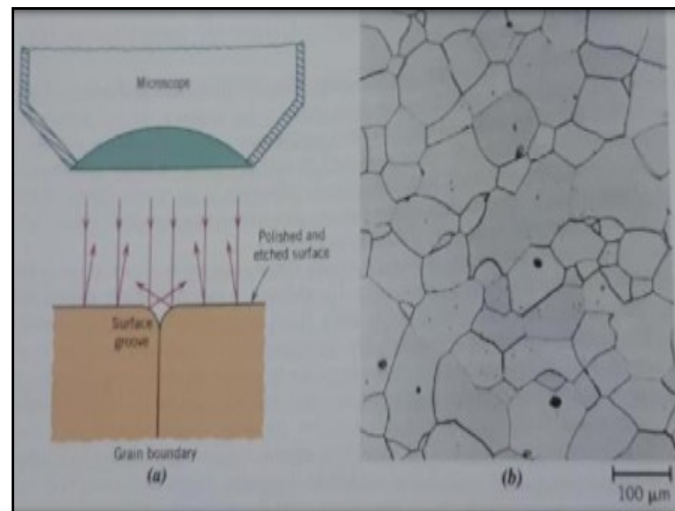
1. Struktur Austenit: Pada kandungan karbon yang rendah (kurang dari 0,8%), baja karbon memiliki struktur austenit pada suhu tinggi. Struktur ini terdiri dari kristal fasa tunggal yang disebut austenit dan memiliki kekuatan yang relatif rendah. Baja karbon dengan struktur austenit umumnya lebih mudah dibentuk dan diubah bentuknya.
2. Struktur Ferrit: Pada kandungan karbonnya rendah hingga menengah (0,02% hingga 0,8%), baja karbon memiliki struktur ferrit pada suhu rendah. Struktur ini terdiri dari butir-butir besi yang terpisah oleh batas butir. Baja dengan struktur ferrit memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada baja dengan struktur austenit, tetapi keuletan dan ketangguhan yang lebih rendah.



Pada kandungan karbon yang sedang hingga tinggi (0,8% hingga 2,1%), karbon memiliki struktur perlit. Struktur ini terdiri dari lapisan tipis besi sementit yang saling bergantian, membentuk struktur yang keras dan rapuh.

Baja dengan struktur perlit memiliki kekuatan yang tinggi, tetapi kurang elastis dan lebih rentan terhadap retak atau patah.

Selain ketiga struktur mikro utama tersebut, struktur mikro lainnya pada baja karbon seperti sementit, bainit, martensit, yang terbentuk saat baja karbon diquenching dengan cepat dari suhu austenit. Martensit memiliki kekerasan yang sangat tinggi, tetapi keuletan yang rendah (Ashby & Jones, 2012).



Gambar 27 (a) penampang batas butir, (b) foto mikro permukaan spesimen (Callister, 2007)

Struktur mikro mengacu pada tata letak, ukuran, dan sifat mikroskopis yang terdapat dalam material. Struktur mikro merupakan hasil dari interaksi antara atom atau molekul dalam material dan pengaruh lingkungan serta proses yang telah mengalaminya. Pembahasan tentang struktur mikro melibatkan pemahaman tentang berbagai komponen, termasuk butiran, fasa, batas butiran, dan defek dalam material (Bhadeshia & Honeycombe, 2006). Bagian-bagian penting dari struktur mikro adalah:

1. Butiran (*Grain*): Material padat terdiri dari butiran yang berukuran mikroskopis. Setiap butiran terdiri dari susunan atom atau molekul yang teratur. Ukuran, bentuk, dan orientasi butiran dapat mempengaruhi sifat material, seperti kekuatan, kekerasan, dan konduktivitas termal.

sa (*Phase*): Material dapat terdiri dari satu atau lebih fasa, yaitu bagian homogen dengan komposisi kimia dan struktur kristal yang seragam. Fasa



dapat berupa padat, cair, atau gas. Setiap fasa memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda.

3. Batas Butiran (*Grain Boundary*): Batas butiran adalah daerah antara dua butiran yang memiliki orientasi kristal yang berbeda. Batas butiran mempengaruhi sifat material, terutama kekuatan dan kekerasan. Batas butiran juga dapat mempengaruhi mobilitas atom atau difusi dalam material.
4. Defek (*Defect*): Defek merujuk pada ketidaksempurnaan atau kegagalan dalam struktur kristal. Defek dapat berupa cacat titik (seperti atom tambahan, atom yang hilang, atau atom yang berada di posisi yang salah), cacat garis (seperti dislokasi), atau cacat permukaan (seperti retakan atau celah). Defek dapat mempengaruhi sifat mekanis, konduktivitas, dan reaktivitas material (Smallman & Bishop, 1999).

Sifat kekerasan baja karbon juga dapat diketahui dari kadar karbon yang terkandung di dalam material. Dimana semakin tinggi kadar karbon maka semakin tinggi pula nilai kekerasan material baja karbon tersebut. Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Bontong, 2020) tentang *pack carburizing* dengan arang tulang kerbau dan BaCO_3 diperoleh bahwa proses *pack carburizing* dengan arang tulang kerbau mempengaruhi komposisi karbon pada baja karbon rendah semakin tinggi persentase arang tulang kerbau maka komposisi karbon pada baja karbon rendah juga semakin meningkat, dimana nilai persentase karbon meningkat sebesar 0.735% dibanding dengan karbon pada kondisi normal 0.268%.

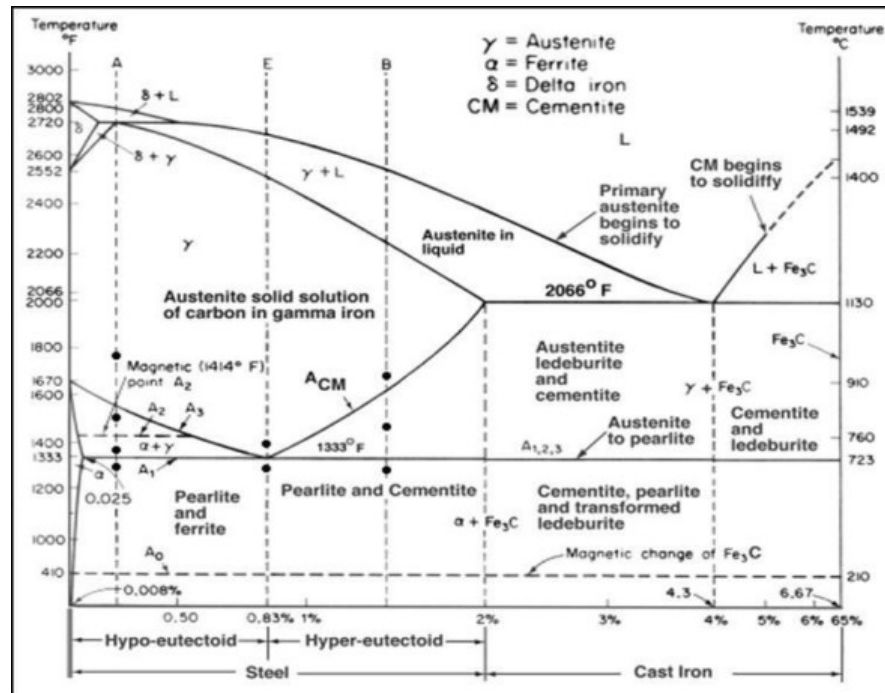
Arang tulang kerbau sebagai sumber energizer menurut penelitian (Bontong, 2020; Miswanto et al., 2019) memiliki kandungan karbon seperti pada tabel 8 berikut:

Tabel 8 Komposisi arang tulang

<i>Komposisi</i>	<i>Persentase (%)</i>
Kadar air	1,55%
Moisture	0,35%
Volatile matter	16,50%
Abu	80,00%
Karbon	3,15%



Pengaruh temperatur dan persentase kandungan karbon dapat dilihat pada diagram Fasa Fe-C di gambar 26.



Gambar 28 Diagram Fasa Fe-C (Callister, 2007)

4.3 Metode

Metode penelitian pada topik penelitian II ini adalah dengan pengujian *non destructive test* yakni dengan uji *metalography*. Uji *metalography* yang dimaksud dengan pengamatan struktur mikro material yang telah mengalami proses *carburizing*. Dilakukan juga uji SEM, EDS dan *mapping* untuk melihat mapping unsur, persentase unsur dalam material serta jenis unsur yang terkandung dalam material.

4.3.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat dilakukan pada penelitian, antara lain:



ujian *metalography* yakni struktur mikro di laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNHAS, Gowa.

2. Pengujian *SEM*, *EDS* dan *Mapping* di laboratorium Struktur Mikro, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar.

4.3.2 Bahan dan Alat Penelitian

- a. Bahan

Spesimen yang telah melalui proses *carburizing* pada tungku laboratorium, tungku beban tarik, dan *raw material*.



Gambar 29 Spesimen pengamatan struktur mikro

- b. Alat Pengujian Mikroskop *metalography*, mikroskop SEM, EDS, dan mapping.



Gambar 30 Mikroskop *metalography*





Gambar 31 Mikroskop JEOL JCM 6000 plus (SEM,EDS)

4.3.3 Prosedur pengujian

Adapun tahap pengamatan struktur mikro atau uji *metalography* adalah :

1. *Sectioning* (pemotongan)

Pemotongan ini dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong dengan ukuran seperlunya.

2. *Grinding* (pengamplasan kasar)

Tahap ini untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan retak dan goresan. Grinding dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar.

3. *Polishing* (pemolesan)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan. Hasil yang baik dapat diperoleh dengan memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Pemolesan, sebaiknya dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan.
- b. Penekanan, pengamplasan pada mesin amplas jangan terlalu ditekan, apabila terlalu ditekan maka arah dan posisi pemolesan dapat berubah dan kemungkinan terjadi goresan-goresan yang tidak teratur.

4. *Etching* (pengetsaan)

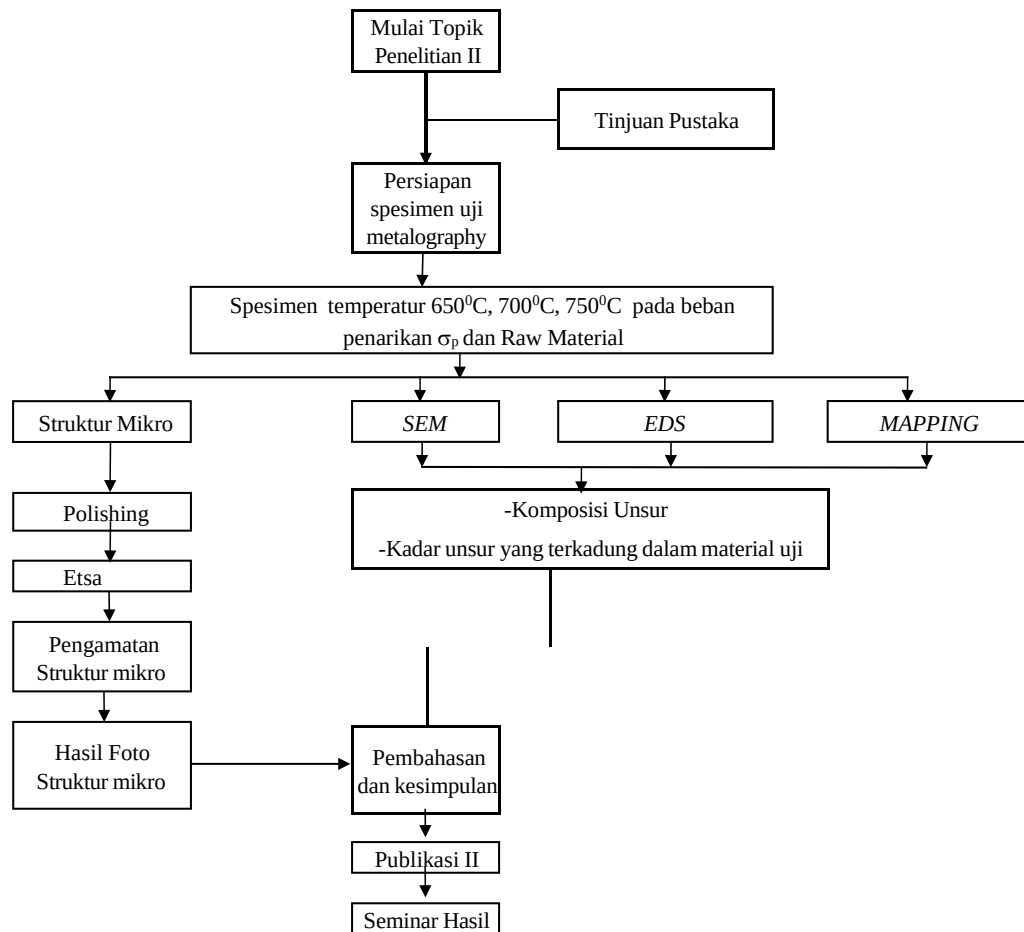
Hasil dari proses pemolesan akan berupa permukaan yang mengkilap seperti cermin. Agar struktur terlihat jelas maka permukaan tersebut dietsa. Dalam an jangan terlalu kuat karena akan terjadi kegosongan pada benda uji.

otretan

otretan digunakan untuk mendapatkan gambar dari struktur mikro, SEM, pping dari spesimen uji setelah difokuskan dengan mikroskop.



4.3.4 Tahapan Penelitian Topik II



Gambar 32 Diagram Alir Penelitian Topik Penelitian II

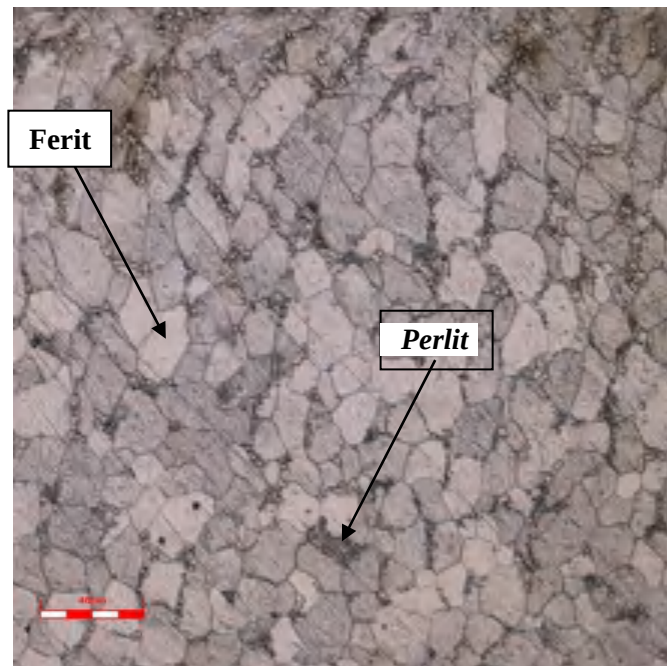
4. 4 Hasil Dan Pembahasan

4.4.1 Hasil Penelitian

A. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

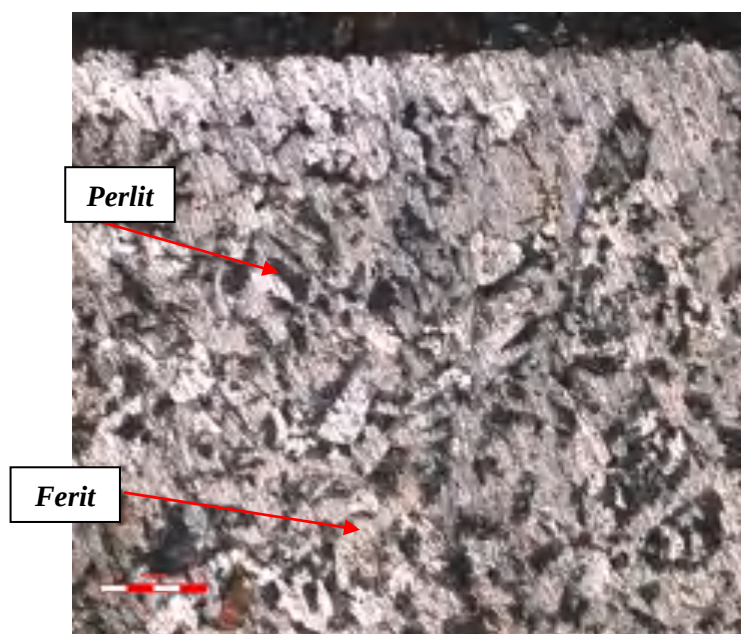
Berdasarkan hasil pengujian dengan uji *metalography* untuk mengamati struktur mikro material yang tidak di *carburizing*, *carburizing* tungku beban tarik dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh *carburizing* dengan penarikan pada temperatur 700°C, dan 750°C diperoleh foto struktur mikro sebagai berikut:





Gambar 33 Struktur mikro raw material

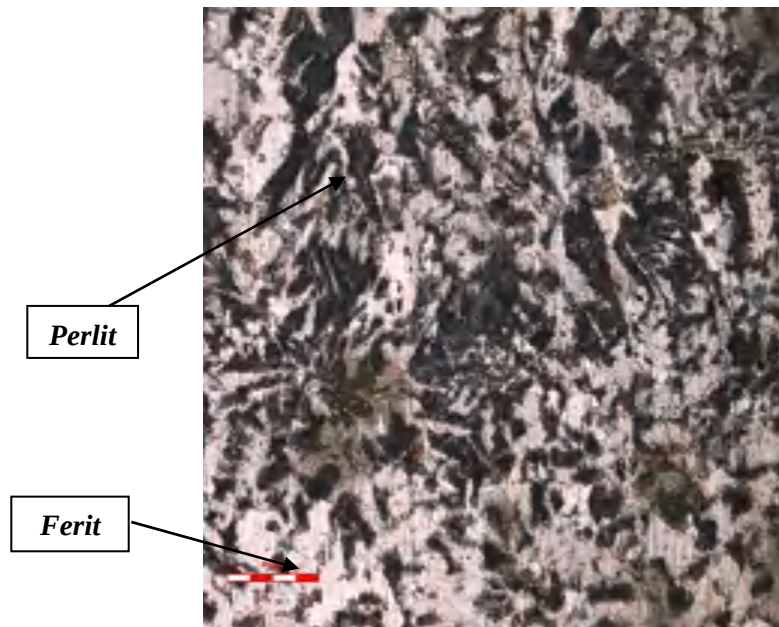
Pada gambar 33 untuk struktur mikro raw material dengan pembesaran mikroskop 40 μ m terlihat struktur didominasi oleh ferit yang ditandai dengan warna putih dan sedikit perlit yang ditandai dengan warna keabu-abuan dan batas butir terlihat jelas. Adapun persentase perlit sebesar 14.029%.



Gambar 34 Struktur mikro beban penarikan σ_p pada temperatur 700°C

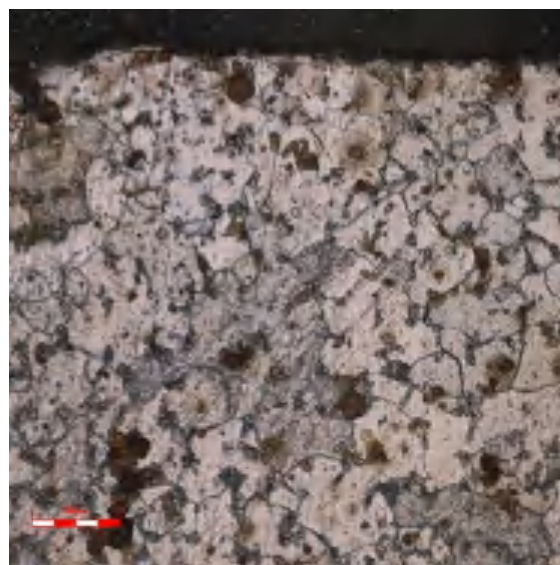


Pada Gambar 34 terlihat struktur mikro penarikan σ_p pada temperatur 700°C dengan pembesaran 40 μ m terlihat struktur perlit semakin bertambah ditandai dengan semakin banyaknya struktur yang berwarna hitam dimana persentase perlit sebesar 40.187%.



Gambar 35 Struktur mikro beban penarikan σ_p temperatur 750°C

Pada Gambar 35 terlihat struktur mikro penarikan σ_p pada temperatur 750°C dengan pembesaran 40 μ m terlihat struktur perlit semakin banyak dengan semakin banyaknya struktur yang berwarna hitam tapi masih terlihat juga struktur ferit, dimana persentase perlit sebesar 52.234%.



bar 36 Struktur mikro tanpa beban penarikan pada temperatur 800°C



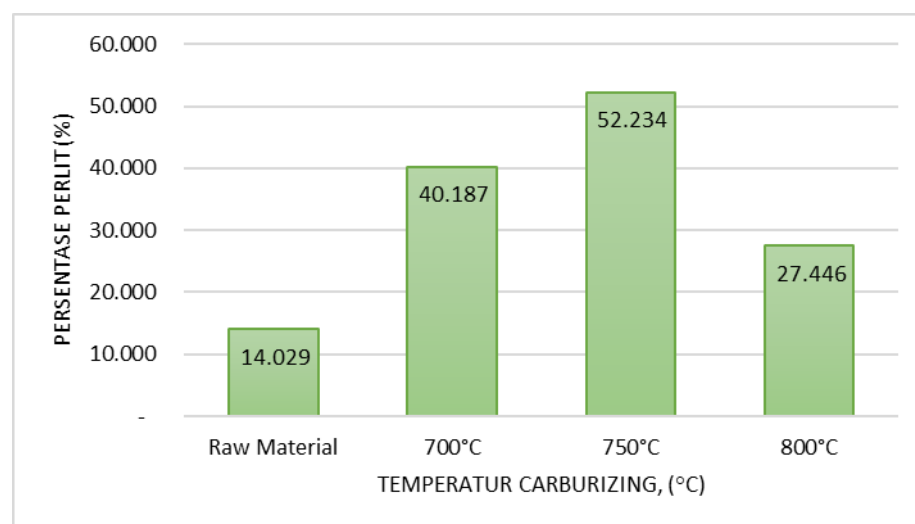
Pada Gambar 36 terlihat struktur mikro tanpa beban penarikan pada temperatur 800°C dengan pembesaran 40 μ m terlihat struktur perlit yang banyak dengan ditandai dengan struktur yang berwarna hitam dimana persentase perlitnya sebesar 27.446%.

Adapun persentase sebaran perlit pada struktur mikro material yang telah di *carburizing* dengan beban penarikan sebesar tegangan proporsional dapat dilihat berdasarkan tabel 9 berikut:

Tabel 9 Persentase perlite pada carburizing beban penarikan σ_p pada temperatur 700°C, 750°C, dan 800°C tanpa penarikan

<i>Temperatur ($^{\circ}$C)</i>	<i>Persentase Perlit (%)</i>
<i>Raw Material</i>	14.029
700	40.187
750	52.234
800	27.446

Dari Tabel 9 diperoleh persentase perlit pada carburizing dengan beban penarikan, maupun tanpa penarikan, dan serta dapat digambarkan perubahan persentase perlit dalam bentuk grafik seperti pada gambar 37:



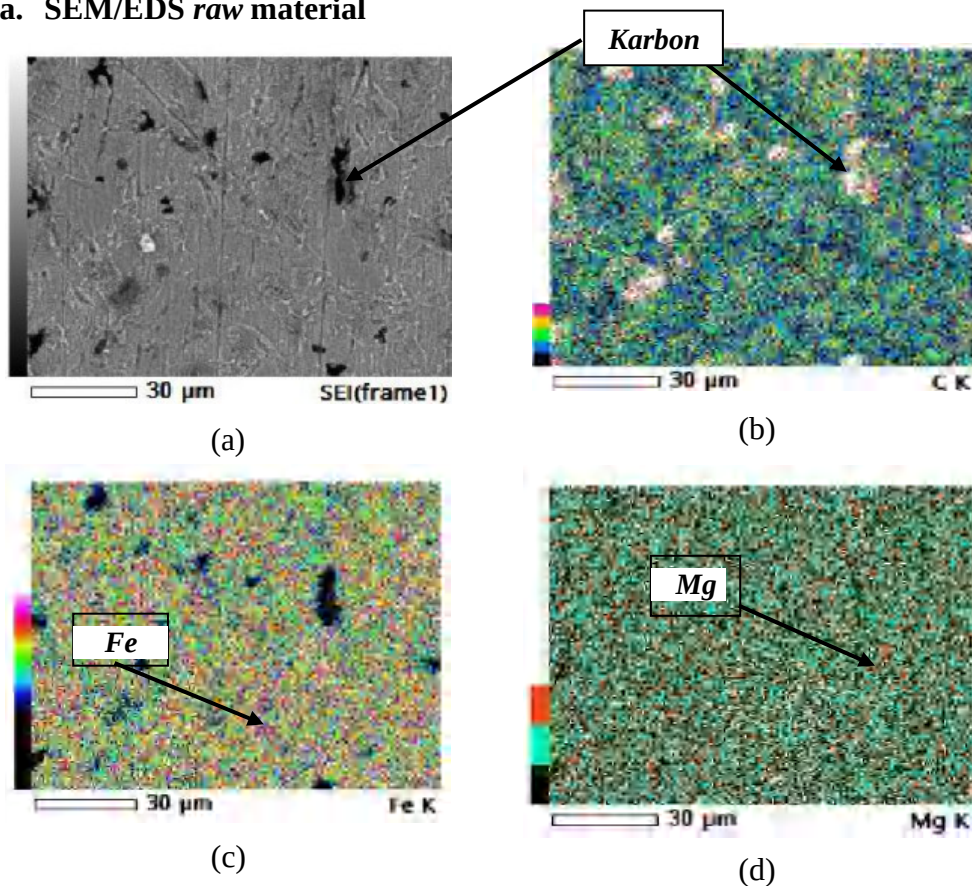
Gambar 37 Grafik persentase perlite pada carburizing beban penarikan σ_p pada temperatur 700°C, 750°C, dan 800°C tanpa penarikan

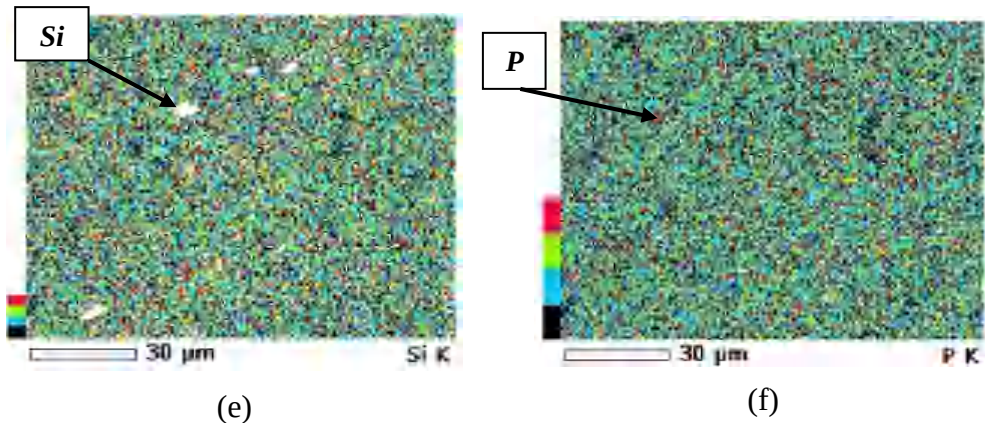


B. Hasil Pengujian Komposisi dan unsur

Pengujian dilakukan menggunakan mikroskop JEOL JCM 6000 plus dengan pengujian *Energy dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)*, pengamatan foto dan hasil pengujian unsur pada sampel *raw material* dan sampel *carburizing* dengan penarikan σ_p temperatur 700°C, 750°C dan 800°C tanpa penarikan. Tujuan dilakukan pengamatan ini untuk mengetahui perubahan unsur, komposisi, dan spektrum unsur yang terkandung pada material uji. Spektrum dapat diindikasikan dengan intensitas warna yang dipantulkan oleh cahaya yang mengenai material uji. Dan intensitas cahaya tersebut dapat diukur dengan pembentukan sebaran gradiasi warna yang terpantul dan terkonsentrasi.

a. SEM/EDS *raw material*



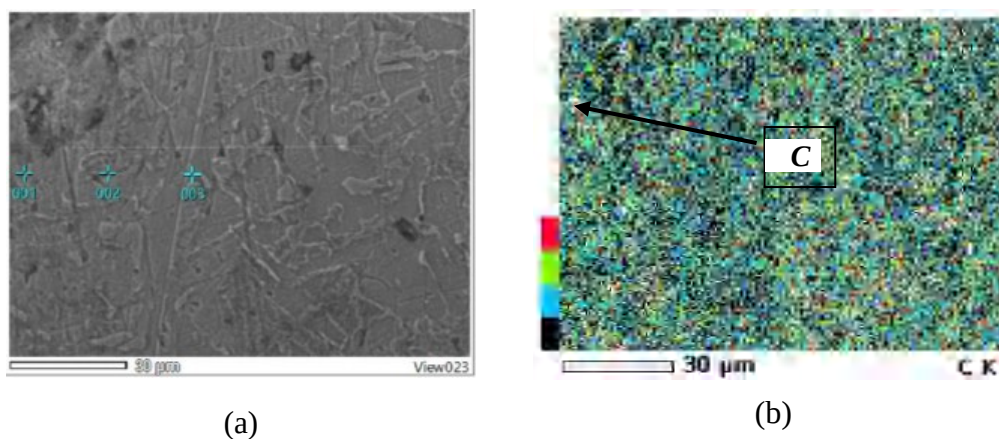


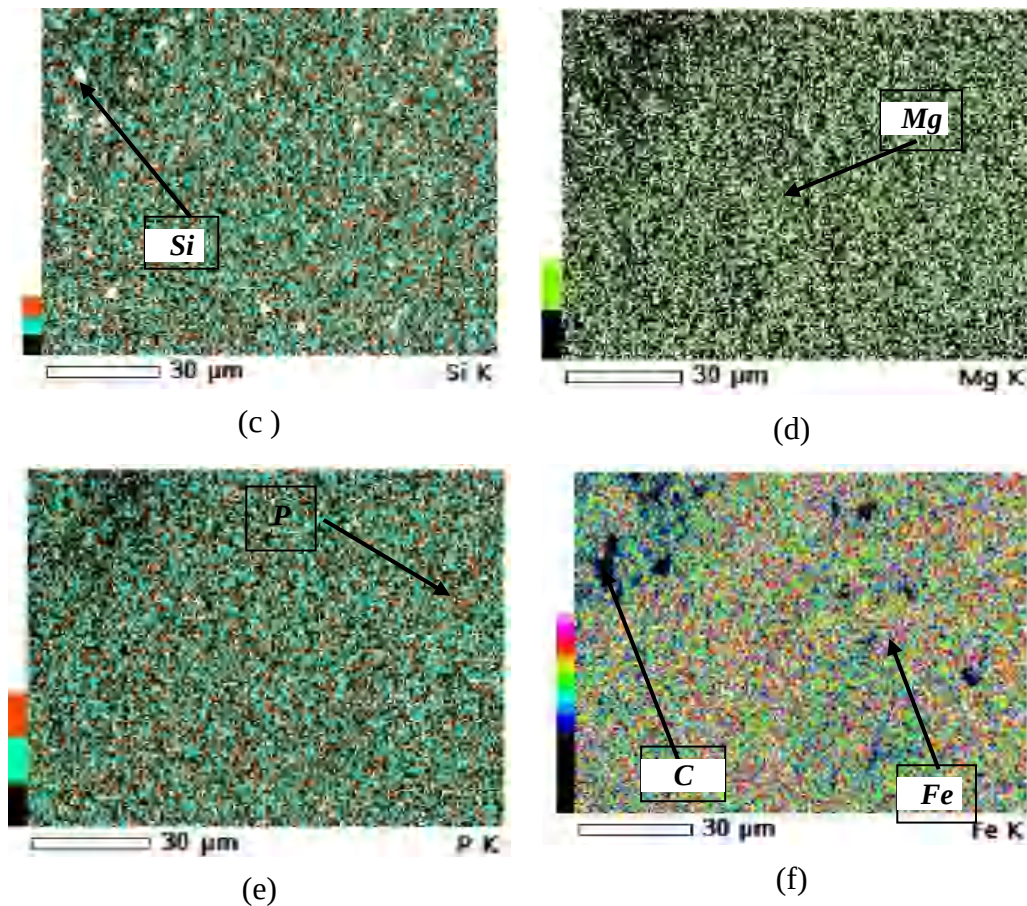
Gambar 38 Gambar hasil pengamatan EDS untuk letak dan spektrum unsur pada raw Material, (a) *mapping raw material*, (b) C, (c) Fe, (d)Mg, (e) Si, (f) P.

Pada *raw material* dapat terlihat *mapping* dan spektrum unsur yang terbentuk di setiap kandungan unsur. Dimana warna dan sebaran serta gradiasi warna terlihat berbeda baik unsur C, Fe, Mg, Si, dan P. Hal ini dapat terlihat pada gambar 38.

b. SEM/EDS temperatur 700°C penarikan σ_p

Pada *carburizing* temperatur 700°C dengan penarikan dapat terlihat *mapping* dan spektrum unsur yang terbentuk di setiap kandungan unsur. Dimana warna dan sebaran serta gradiasi warna terlihat berbeda. Hal ini dapat terlihat pada gambar 39.

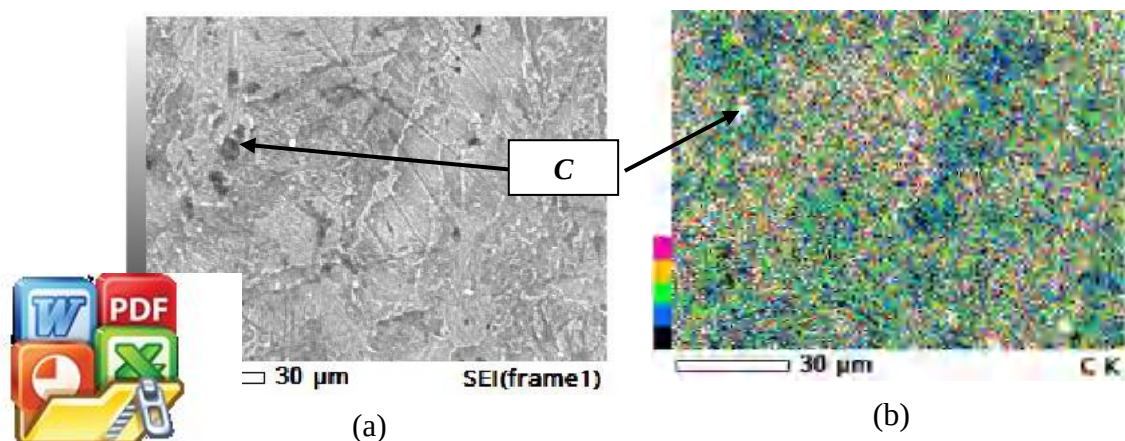


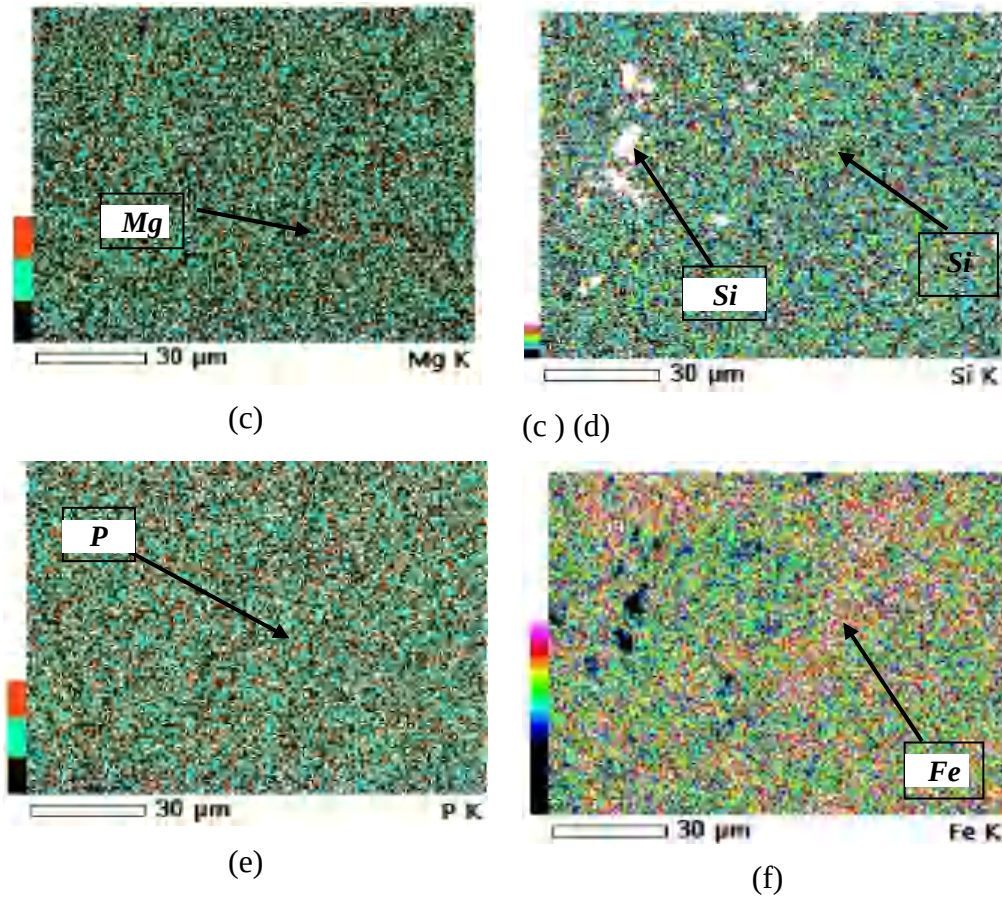


Gambar 39 Gambar hasil pengamatan EDS untuk letak dan spektrum unsur pada *carburizing* temperatur 700°C, (a) *mapping* (b) C, (c) Si, (d)Mg, (e) P, (f) Fe

c. SEM/EDS temperatur 750°C penarikan σ_p

Pada *carburizing* temperatur 750°C dengan penarikan dapat terlihat mapping dan spektrum unsur yang terbentuk dimana warna dan sebaran serta gradiasi terlihat lebih banyak, dengan ini membuktikan adanya penambahan unsur. Hal ini dapat terlihat pada gambar 40.

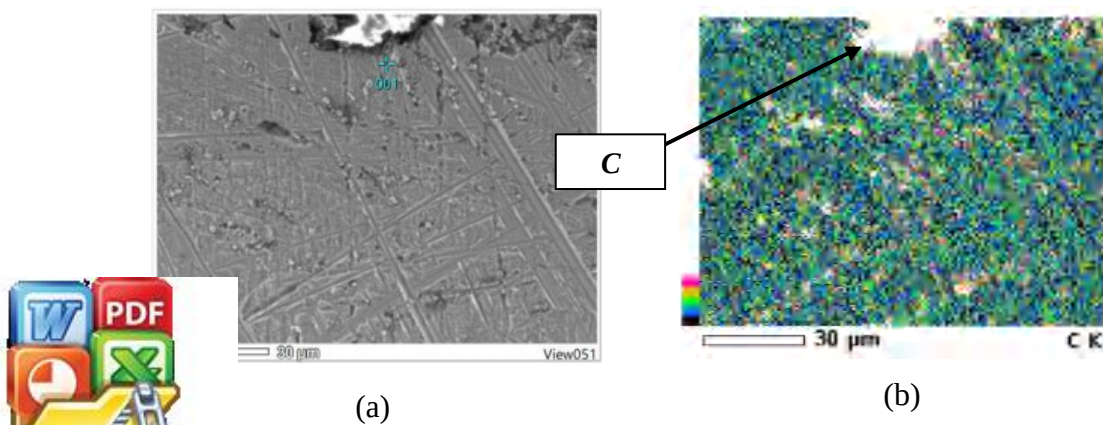


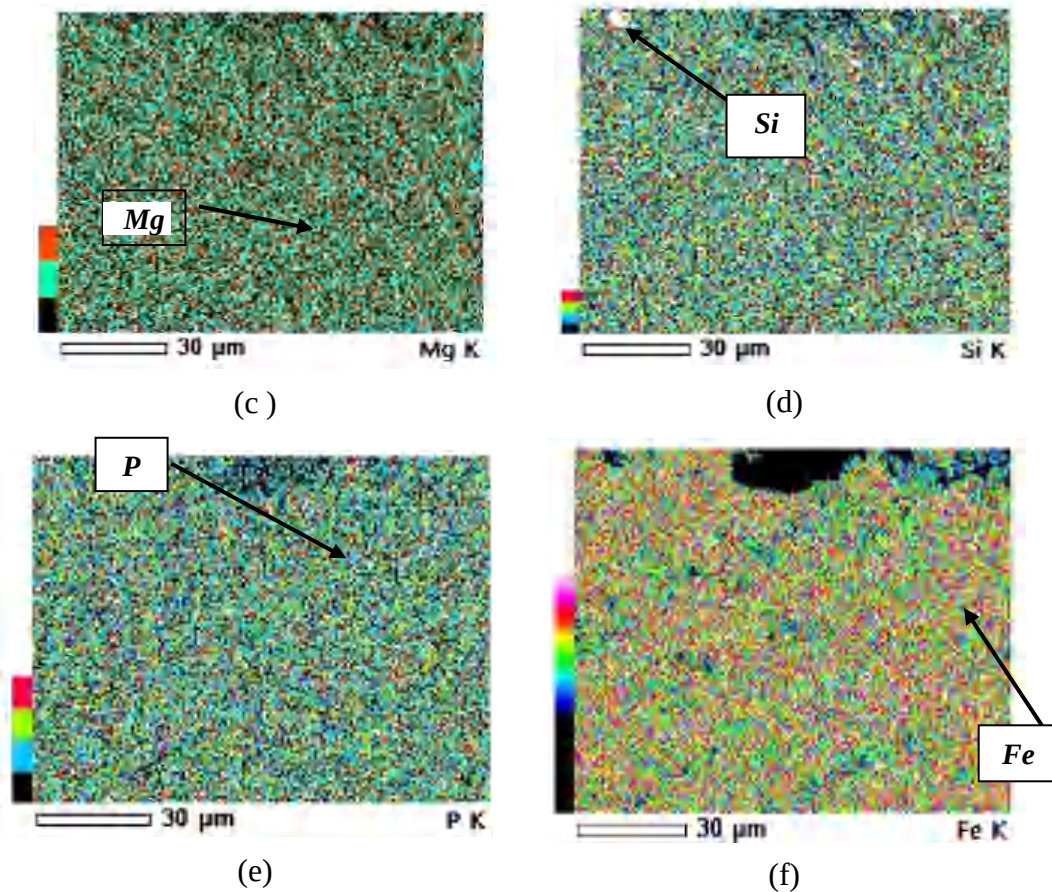


Gambar 40 Gambar hasil pengamatan EDS untuk letak dan spektrum unsur pada *carburizing* temperatur 750°C , (a) *mapping* (b) C, (c) Mg, (d) Si, (e) P, (f) Fe

d. SEM/EDS temperatur 800°C tanpa penarikan

Pada *carburizing* temperatur 800°C tanpa penarikan dapat terlihat mapping dan spektrum unsur yang terbentuk dimana warna dan sebaran serta gradiasi terlihat banyak, dengan ini membuktikan adanya penambahan unsur. Hal ini dapat terlihat pada gambar 41.





Gambar 41 Gambar hasil pengamatan EDS untuk letak dan spektrum unsur pada *carburizing* temperatur 800°C tanpa penarikan, (a) *mapping* (b) C, (c) Mg, (d) Si, (e) P, (f) Fe

Data komposisi unsur yang terkandung pada tiap material baik yang material tanpa perlakuan, material *carburizing* temperatur 700°C, material *carburizing* temperatur 750°C dan *carburizing* 800°C tanpa penarikan dapat terlihat seperti diuraikan pada tabel 10. Unsur yang dimaksud adalah Karbon (C), Magnesium (Mg), Silikon (Si), Pospor (P), Ferro (Fe) dan unsur lainnya.



Tabel 10 Data komposisi kimia material *Carburizing* temperatur 700°C, 750°C, 800°C tanpa penarikan

Sampel	Point	Komposisi Kimia (wt%)				
		C	Mg	Si	P	Fe
<i>Raw Material</i>	1	0.15	0.07	0.58	0.06	99.14
700°C	1	0.73	0.06	8.43	0.06	90.65
	2	0.7	0.09	0.36	0.13	98.78
	3	0.69	0.09	1.25	0.06	97.91
750°C	1	1.26	0.04	0.9	0.06	97.74
	2	1.14	0.06	6.1	0.1	92.59
	3	0.98	0.11	0.6	0.02	98.29
800°C tanpa Penarikan	1	1.12	0.01	0.13	0.01	98.73

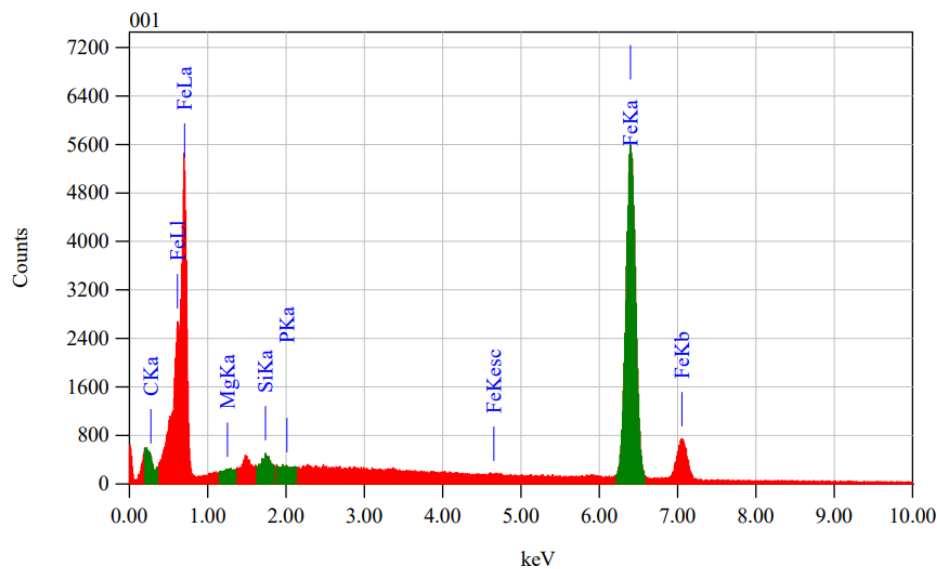
Pada struktur mikro gambar 34, gambar 35, dan gambar 36 terlihat pembentukan fase perlit yang semakin banyak terbentuk ditandai dengan gumpalan-gumpalan dan spektrum warna yang berwarna hitam. Dan juga terjadi peningkatan komposisi karbon yang masuk material, terlihat pada tabel 9 dimana pada *raw material* komposisi karbon sebesar 0.15%, material yang dicarburizing temperatur 800°C tanpa penarikan, komposisi karbonnya sebesar 1.12 %, material *carburizing* temperatur 700°C dari permukaan ke dalam sebanyak tiga titik terjadi peningkatan komposisi kimia yakni 0.73%, 0.72%, 0.69%, dan untuk *carburizing* penarikan σ_p temperatur 750°C komposisi karbon dari titik permukaan ke dalam yakni 1.26%, 1.14%, dan 0.98%.

Pada gambar 38, gambar 39, gambar 40, dan gambar 41 terlihat sebaran spektrum dan persentase unsur. Spektrum dan persentase unsur yang terkandung pada material uji seperti pada tabel 11, tabel 12, tabel 13, dan tabel 14.

a. Spektrum unsur elemen pada *raw material*

Pada gambar 42 dan tabel 11 terlihat kandungan unsur yang terdapat pada *raw material* di mana kandungan karbon sebesar 0.15%, Fe sebesar 99.04%, Mn 0.07%, Silikon 0.58% dan Pospor sebesar 0.06%.





Gambar 42 Grafik persentase unsur pada raw material

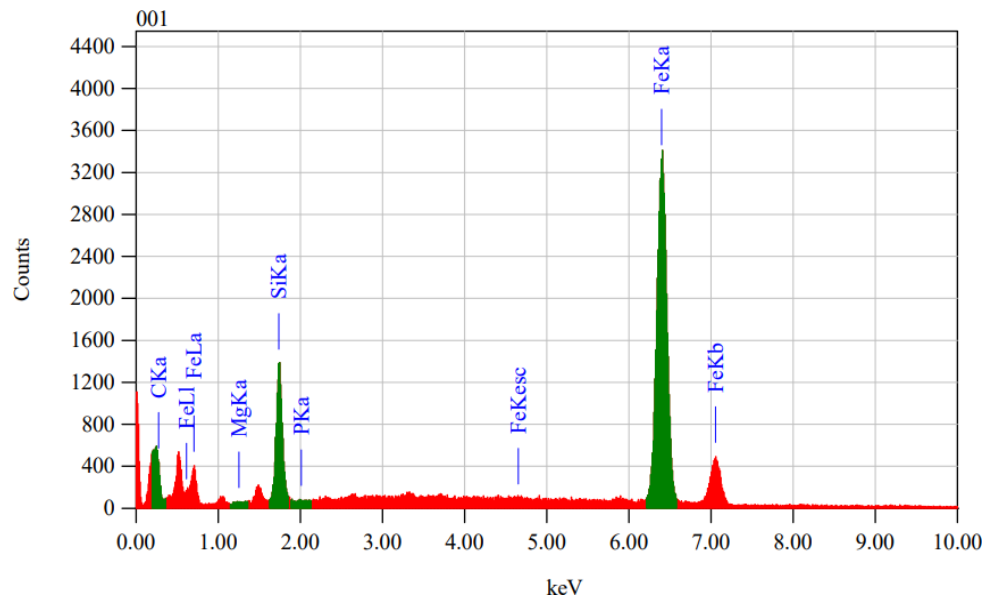
Tabel 11 Data komposisi unsur material *raw material*

<i>Element</i>	<i>(keV)</i>	<i>Mass (%)</i>	<i>Counts</i>	<i>Sigma</i>	<i>Mol (%)</i>	<i>Compound</i>	<i>Mass (%)</i>	<i>Cation</i>
C	0.277	0.15	173.15	0.01	0.87	C	0.15	0.00
O		22.45				ND		
Mg	1.253	0.04	175.38	0.02	0.13	MgO	0.07	0.03
Si	1.739	0.27	1013.14	0.04	0.69	SiO ₂	0.58	0.16
P	2.013	0.03	86.39	0.03	0.03	P ₂ O ₅	0.06	0.02
Fe	6.398	77.06	75174.77	0.50	98.29	FeO	99.04	23.60
Total		100.00			100.00		100.00	23.81

b. Spektrum unsur elemen *carburizing* temperatur 700⁰C beban penarikan σ_p

Pada gambar 43 dan tabel 12 terlihat kandungan unsur yang terdapat pada *carburizing* temperatur 700⁰C beban penarikan σ_p spot 1 (*surface*) di mana kandungan karbon sebesar 0.73%, Fe sebesar 90.65%, Mangan 0,06%, Silikon 8,43% dan Pospor sebesar 0.13%.





Gambar 43 Grafik elemen unsur pada *Carburizing* 700°C penarikan σ_p spot terluar (1)

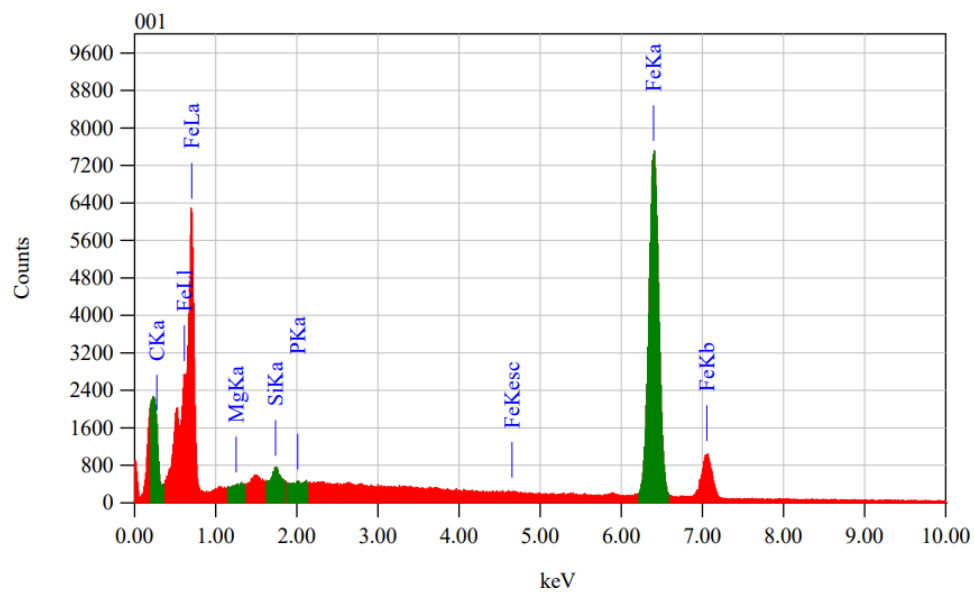
Tabel 12 Data komposisi unsur material *Carburizing* 700°C penarikan σ_p

Element	(keV)	Mass (%)	Counts	Sigma	Mol (%)	Compound	Mass (%)	Cation
C	0.277	0.73	567.16	0.02	4.16	C	0.73	0.00
O		24.77					ND	
Mg	1.253	0.03	93.16	0.02	0.10	MgO	0.06	0.02
Si	1.739	3.94	9717.99	0.14	9.57	SiO ₂	8.43	2.17
P	2.013	0.06	120.46	0.03	0.06	P ₂ O ₅	0.13	0.03
Fe	6.398	70.46	45216.15	0.59	86.11	FeO	90.65	19.56
Total		100.00			100.00		100.00	21.78

c. Spektrum unsur elemen *carburizing* temperatur 750°C beban penarikan σ_p

Pada gambar 44 dan tabel 13 terlihat kandungan unsur yang terdapat pada *carburizing* temperatur 750°C beban penarikan σ_p spot 1 (*surface*) di mana kandungan karbon sebesar 1.26%, Fe sebesar 97.74%, Mangan 0,04%, Silikon 0,90% dan Pospor sebesar 0.06%.





Gambar 44 Grafik elemen unsur pada *Carburizing* 750⁰C penarikan σ_p spot terluar (1)

Tabel 13 Data komposisi unsur material *Carburizing* 750⁰C penarikan σ_p

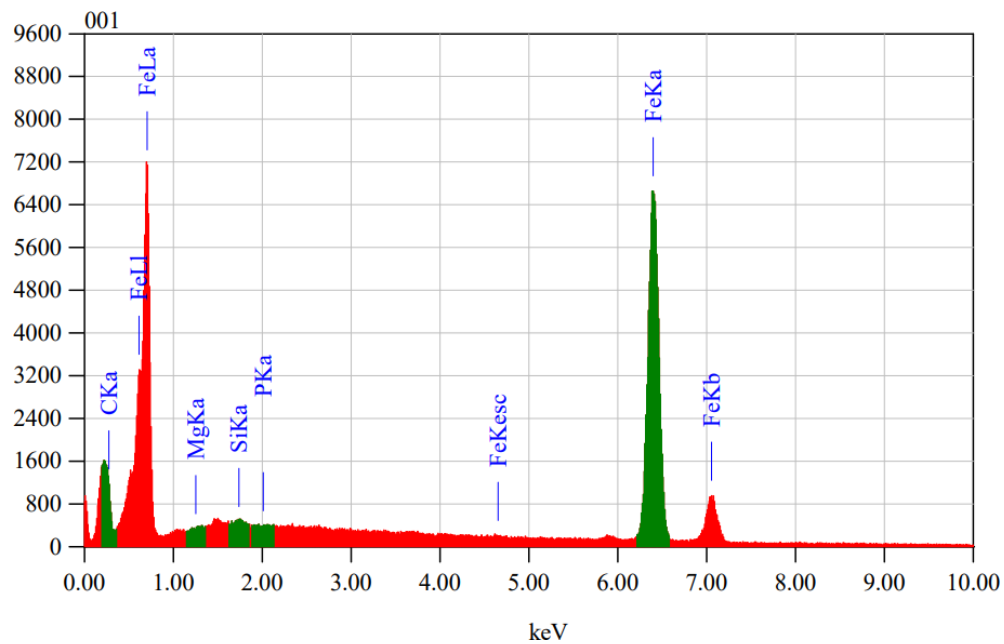
Element	(keV)	Mass (%)	Counts	Sigma	Mol (%)	Compound	Mass (%)	Cation
C	0.277	1.26	2031.37	0.02	7.10	C	1.26	0.00
O		22.29					ND	
Mg	1.253	0.02	125.14	0.02	0.06	MgO	0.04	0.02
Si	1.739	0.42	2159.75	0.04	1.01	SiO ₂	0.90	0.26
P	2.013	0.02	105.21	0.03	0.03	P ₂ O ₅	0.06	0.01
Fe	6.398	75.97	101043.30	0.43	91.79	FeO	97.74	23.43
Total		100.00			100.00		100.00	21.78

Untuk sebaran persentase elemen unsur pada tiap spot yakni spot dua dan spot tiga dari titik terluar ke dalam dengan *carburizing* temperatur 700⁰C dan 750⁰C dapat di lihat pada gambar lampiran.

d. Spektrum unsur elemen *carburizing* temperatur 800⁰C tanpa beban penarikan

Pada gambar 45 dan tabel 14 terlihat kandungan unsur yang terdapat pada *carburizing* temperatur 800⁰C tanpa beban penarikan σ_p spot 1 (*surface*) di mana kandungan karbon sebesar 1.12%, Fe sebesar 98.73%, Mangan 0,01%, Silikon 0.13% dan Pospor sebesar 0.01%.





Gambar 45 Grafik elemen unsur pada *Carburizing* 800⁰C tanpa beban penarikan spot terluar (1)

Tabel 14 Data komposisi unsur material *Carburizing* 800⁰C tanpa penarikan

<i>Element</i>	<i>(keV)</i>	<i>Mass (%)</i>	<i>Counts</i>	<i>Sigma</i>	<i>Mol (%)</i>	<i>Compound</i>	<i>Mass (%)</i>	<i>Cation</i>
C	0.277	1.12	1247.00	0.02	5.02			0.82
Mg	1.253	0.01	36.68	0.01	0.02			0.24
Si	1.739	0.13	463.56	0.02	0.25			0.26
P		ND			ND			0.00
Fe	6.398	98.73	90615.20	0.46	94.71			1.00
Total		100.00			100.00			

4.4.2 Pembahasan

A. Struktur Mikro

Pada struktur mikro spesimen normal, fasa ferit terlihat dominan dibanding fasa perlit karena belum ada perlakuan. Dominasi fasa ferit pada spesimen mengakibatkan nilai kekerasan pada spesimen normal lebih rendah. Hal ini dipengaruhi oleh belum adanya penambahan karbon pada spesimen baja karbon rendah. Perubahan fasa pada baja sangat dipengaruhi oleh proses pemanasan yang akan membuat karbon terdifusi ke dalam baja menjadi lebih cepat. Hal ini yang



akan merubah struktur mikro baja (Achmad Zainuri et al., 2011). Difusi, atom karbon mengisi celah diantara atom induk sehingga atom induk menjadi meningkat kekerasannya (Kuswanto, 2010).

Pada temperatur 700°C , dan temperatur 750°C , terlihat pertambahan struktur perlit yang ditandai dengan warna gelap di setiap peningkatan temperatur. Semakin banyak struktur mikro perlit yang terbentuk maka semakin tinggi nilai kekerasannya. Berdasarkan tabel 9 pada raw material persentase perlit sebesar 14.029%, pada temperatur 700°C persentase perlit sebesar 40.187%, dan temperatur 750°C persentase perlit sebesar 52,234%, sedangkan pada temperature 800°C tanpa penarikan, persentase perlit sebesar 27.446%.

Perubahan pada struktur perlit yang disebabkan proses *carburizing* serta terbentuknya lapisan karburasi (*carburizing layer*) dapat pada gambar 46 terlihat pada *carburizing* temperatur 700°C dan 750°C dengan penarikan. Ini terjadi karena karbon yang masuk, namun tidak menjadi penghalang (*barrier*) terhadap proses terjadinya difusi karbon karena selama proses *carburizing* berlangsung atom – atom karbon tetap dapat berdifusi hingga membentuk ferit dan perlit. Hal ini sejalan dengan penelitian (Fick, 1855; Márquez-Herrera & Moreno-Palmerin, 2022) bahwa *carburized layer* yang terbentuk karena karbon yang terlarut dalam austenit selama proses *carburizing* terjadi, tidak menjadi *barrier* terhadap proses terjadinya difusi karbon.



Gambar 46 Lapisan karburasi (*carburizing layer*) pada carburizing

Pada temperatur 700°C dan 750°C dengan penarikan di dominasi dengan struktur perlit ini terjadi karena adanya laju difusi karbon ke dalam material. Hal ini akibat terjadi regangan pada saat *carburizing* dengan penarikan, sehingga jarak antar atom semakin besar dan memudahkan atom bisa berdifusi masuk mengisi kekosongan atau menggeser atom dalam material. Hal ini sejalan dengan bertambahnya nilai kekerasan dari material karena terjadinya difusi karbon ke material.



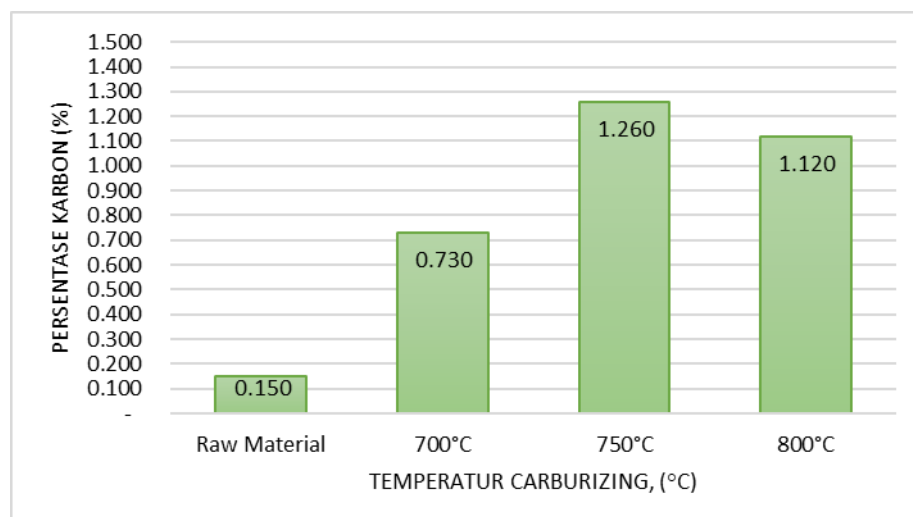
B. Spektrum, unsur dan komposisi

Seperti yang telah diketahui bahwa baja karbon rendah merupakan baja paduan yang terbentuk dari unsur utama Fe dan C. Kedua unsur tersebut yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dari baja karbon rendah salah satunya adalah kekerasan. Unsur – unsur tersebut memiliki nilai persentase komposisi kimia yang tertinggi dibandingkan dengan unsur – unsur lainnya yang terkandung pada baja karbon rendah. Pada pengujian struktur mikro yang telah dilakukan tidak dapat menentukan dan mengukur seberapa banyak difusi karbon yang terjadi setelah melalui proses *carburizing*, maka dilakukan pengujian komposisi dan *mapping* dengan unsur yang sama pada permukaan sampai pada inti.

Tabel 15 Data komposisi kimia unsur C dan Fe material temperatur (700°C, 750°C) *Carburizing* dengan penarikan σ_p , dan 800°C tanpa penarikan pada permukaan terluar

Unsur	Raw Material	700°C	750°C	800°C tanpa penarikan
(%)				
C	0.15	0.73	1.26	1.12
Fe	77.06	70.46	75.99	98.73

Berdasarkan tabel 15 dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 47 berikut:



Gambar 47 Data persentase komposisi unsur C pada *raw material*, material carbur (700°C, 750°C) *Carburizing* dengan penarikan σ_p , dan 800°C tanpa penarikan pada permukaan terluar



Pada gambar 47 dan tabel 15 merupakan data komposisi unsur karbon (C) dan ferrous (Fe) baik pada *raw material*, *carburizing* temperatur 800°C tanpa penarikan, *carburizing* temperatur 700°C dan temperatur 750°C dengan beban penarikan σ_p , dari tabel 15 tersebut diperoleh ada penambahan unsur karbon pada bagian *surface* (spot 1) material, dimana persentase karbon pada *raw material* sebesar 0.15%. Setelah di *carburizing* pada temperatur 700°C dengan beban penarikan σ_p terjadi kenaikan unsur karbon sebesar 0.73%. Sedangkan pada *carburizing* temperatur 750°C dengan beban penarikan σ_p juga terjadi kenaikan unsur karbon sebesar 1.26%, sedangkan untuk *carburizing* temperatur 800°C tanpa penarikan unsur karbon sebesar 1.12%. Dengan adanya pertambahan unsur karbon pada permukaan material ini mengindikasikan terjadinya difusi pada material dengan terbentuknya fase perlit yang lebih banyak pada permukaan serta ditandai pula dengan peningkatan nilai kekerasan yakni 104,8 HRB untuk temperatur 700°C dan 106,60 HRB untuk temperatur 750°C. Hal ini membuktikan terjadi distribusi kekerasan dari *surface* ke *core* material.

Begitu pula dengan unsur Fe yang merupakan unsur yang mendominasi pada baja karbon. Berdasarkan tabel 16 digambarkan terjadi penurunan nilai Fe *raw material* sebesar 99.14% turun menjadi 97.74% pada temperatur 750°C dan 90, 65% pada temperatur 700°C sedangkan untuk *carburizing* temperatur 800°C tanpa penarikan sebesar 98.73%. Hal ini menggambarkan bahwa terjadi difusi dengan masuknya karbon ke dalam material sehingga menggeser atom Fe pada permukaan kulit masuk ke bagian inti material melalui proses *carburizing* dengan penarikan, hal ini dapat terlihat pada tabel 16.

Tabel 16 Data komposisi kimia unsur Fe material *Carburizing* pada *surface* ke *core*

<i>Temperatur</i> (°C)	<i>Spot dari surface ke core unsur Fe</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
700	90.65	98.78	97.91
750	97.74	92.59	98.29
800	98.75		



rujuk pada hasil tersebut diperoleh bahwa proses *carburizing* merupakan *case hardening* atau pengerasan permukaan dengan adanya penambahan pada permukaan material yang prosesnya sangat di pengaruhi oleh

temperatur dan lama *holding time* ini sejalan uraian pada buku menurut (Smallman & Bishop, 1999).

Gambar 38, gambar 39, gambar 40, dan gambar 41 menunjukkan hasil *mapping* dari *raw material*, *carburizing* temperatur 700°C penarikan σ_p , *carburizing* temperatur 750°C penarikan σ_p , *carburizing* temperatur 800°C tanpa penarikan, dimana unsur yang diamati dari material tersebut adalah C, Fe, Si, Mg, P. Dari hasil *mapping* pada gambar 38 terlihat unsur Fe yang tersebar luas dan padat pada permukaan sampel dan terlihat lebih dominan dibandingkan dengan penyebaran partikel atom C dari permukaan meskipun terdapat rongga hitam yang terlihat seperti pada gambar 39, gambar 40, dan gambar 41 menunjukkan spektrum dari massa unsur C mulai meningkat dan Fe masih mendominasi dibandingkan massa unsur lainnya. Dengan persentase massa unsur karbon sebesar 1.26% pada temperatur 750°C beban penarikan σ_p , maka baja yang mengalami *carburizing* dengan penarikan tersebut merupakan baja *hyper-eutectoid*, ini merujuk pada diagram gambar 28. Dari hasil pengamatan *mapping* yang telah dilakukan didapatkan massa unsur karbon yang meningkat, sehingga dengan bertambahnya unsur karbon maka bertambah pula nilai kekerasan dari material tersebut ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (A. Oyetunji & S.O. Adeosun, 2021).

4.5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada *carburizing* temperatur 700°C dan 750°C dengan beban penarikan sebesar tegangan proporsional terjadi difusi sehingga menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro, dimana semakin besar temperatur maka penambahan struktur perlit semakin mendominasi dan ini sejalan dengan peningkatan nilai kekerasan. Pada temperatur 700°C persentase perlit sebesar 40.187%, dan temperatur 750°C persentase perlit sebesar 52,234%.



Penambahan unsur karbon terjadi pada *carburizing* temperatur 700°C dan 750°C dimana persentase karbon pada material meningkat dari 0.15% pada *raw material* menjadi 0.73%, pada temperatur *carburizing* 700°C, dan pada

temperatur 750°C sebesar 1.26%, ini menunjukkan adanya peningkatan jumlah karbon yang terdifusi ke dalam material, dengan membentuk struktur mikro perlit yang lebih banyak sehingga menyebabkan terjadinya distribusi kekerasan dari *surface* ke *core* bertambah di tandai dengan meningkatnya juga nilai kekerasan material.



DAFTAR PUSTAKA

- A. Oyetunji & S.O. Adeosun. (2021). Effects of Carburizing Process Variables on Mechanical and Chemical Properties of Carburized Mild Steel. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 8(2), 319–324. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2012.08.02.11>
- Abbaschian, R., Abbaschian, L., & Reed-Hill, R. E. (2009). *Physical metallurgy principles* (4th ed). Cengage Learning.
- Achmad Zainuri, Paryanto Dwi Setyawan, & Prayuda Atmam. (2011). Analysis of hardness and microstructure of AISI 1018 steel due to the pack carburizing process with variations in the concentration of gold snail shell powder. *Dinamika Teknik Mesin*, 1(1), 25–33.
- Akita, M., & Tokaji, K. (2006). Effect of carburizing on notch fatigue behaviour in AISI 316 austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 200(20), 6073–6078. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.09.018>
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. (2012). *Engineering materials 1: An introduction to properties, applications and design* (Vol. 1). Elsevier.
- B.H., A., Ostwald, P. F., Begeman, M. L., & Djaprie, S. (1992). *Mechanical Technology* (pId=671&pRegionCode=JIUNMAL&pClientId=111; VII). Erlangga. <http://kin.perpusnas.go.id/DisplayData.aspx?>
- Bhadeshia, H. K. D. H., & Honeycombe, R. W. K. (2006). *Steels: Microstructure and properties* (3rd ed). Elsevier, Butterworth-Heinemann.
- Bontong, Y. (2020). Behavior Of Mechanical Properties On Carbon Steel Due To Pack Carburizing With Buffalo Bone Charcoal And BaCO₃. *UNHAS*. Desertation.
- Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction* (7th ed). John Wiley & Sons.
- Dieter, G. E., & Bacon, D. (1976). *Mechanical metallurgy* (Vol. 3). McGraw-hill New York.
- DNK, P. N., TG T, irta N., IW, S., & M, S. (2017). Chemical, strength and microstructure characterization of Balinese bamboos as activated carbon source for adsorbed natural gas application. *IOP Publishing*, 201(1), 12033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/201/1/012033>
- & JW, S. (2003). Pengaruh media celup dan waktu tahan pada karburasi padat baja AISI SAE 1522. *Seminar Nasional Aplikasi Sains Dan Teknologi*, 166-170.



- Fawell, J. K., & Bailey, K. (Eds.). (2006). *Fluoride in drinking-water*. IWA Pub.
- Fick, A. (1855). Ueber Diffusion. *Annalen der Physik und Chemie*, 170(1), 59–86. <https://doi.org/10.1002/andp.18551700105>
- G, M., & R.H, W. (2020). Steel Class Notes and lecture material For MSE 651.01 Physical Metallurgy of Steel. In *Physical Metallurgy of Steel* (Vol. 15, p. 173). The Ohio State University.
- Hafni, & Nurzal. (2014). Testing of Pack Carburizing Tune for Surface Hardening of Low Carbon Steel with Carburizing Media Mixed of Coconut Charburgers and BaCO₃. *Jurnal Momentum*, 16(1), 84–89.
- Hari, A., & Daryanto. (1999). *Materials Science* (1st ed.). Bumi Aksara.
- Ismay, A. S. (2009). Karburisasi baja ST 37 dengan media arang batok kelapa. *Jurnal POLIMESIN*, 7(1), 563. <https://doi.org/10.30811/jp.v7i1.1340>
- Ketut Putra Negara, D. N. (2016). Efektifitas Carburizer dari Sumber Karbon Berbeda Pada Proses Pack Carburizing. *Urnal METTEK*, 2(1), 5–10.
- Kuswanto, B. (2010). *Pack Carburizing Treatment Of Low Carbon Steel As An Alternative Material For Cutting Knives In The Application Of Appropriate Technology*. 5.
- Márquez-Herrera, A., & Moreno-Palmerin, J. (2022). Corrosion resistance evaluation of boron-carbon coating on ASTM A-36 steel. *Revista Mexicana de Fisica*, 68(1), 1–6. <https://doi.org/10.31349/REVMEXFIS.68.011001>
- Miswanto, Rajaguguk, T. O., & Sumardi, S. (2019). The study of low carbon steel pack carburizing using cow bone and coconut shell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 478, 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/478/1/012037>
- Nanulaitta, N. J. M. (2012). Analysis of the Hardness Features of ST-42 Steel with The Influence of The Large Granules of The Catalizer Media (Cow Bone (CaCO₃) Through A Pack Carburizing Process. *Jurnal Teknologi, Universitas Pattimura*, 9(1), 985–994.
- Priadi, D., Setyadi, I., & . Siradj, E. S. (2003). Influence of Strain Rate and Temperature of Hot Tension Testing on Mechanical Properties of Medium Carbon Steel S48C. *Makara Journal of Technology*, 7(1). [tps://doi.org/10.7454/mst.v7i1.137](https://doi.org/10.7454/mst.v7i1.137)
- ., Setyadi, I., & S, E. (2003). Pengaruh Kecepatan dan Temperatur Uji arik Terhadap Sifat Mekanik Baja S48C. *Makara, Journal Of Tecnology*, 1(1), 21–26. <https://doi.org/10.7454/mst.v7i1.137>



- Shaifudin, A., Istiasih, H., & Mufarrih, A. (2018). Optimization of carbon diffusion by pack carburizing method on ST 42 steel. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 27–34. <https://doi.org/10.29407/jmn.v1i1.12293>
- Smallman, R. E., & Bishop, R. J. (1999). *Modern physical metallurgy and materials engineering: Science, process, applications* (6th ed). Butterworth Heinemann.
- Sukardjo, S. (1999). Integrated coastal zone management (ICZM) in Indonesia. *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management*, 227–233.
- Suryanto, H. (2005). *Pengaruh Komposisi Media Karburasi Serbuk Arang Kayu-Barium Karbonat Terhadap Kekerasan Dan Keausan Baja Karbon Rendah* (tesis). UGM.
- Vlack, L. H. V. (1991). *Materials Science and Technology*. Erlangga.



BAB V

PEMBAHASAN UMUM

Pada temperatur pemanasan 700°C, nilai kekerasan yang pada penarikan σ_p sebesar 104.80 HRB. Pada temperatur pemanasan 750°C, nilai kekerasan yang pada penarikan σ_p sebesar 106.60 HRB. Sedangkan pada pengujian kekerasan pada keadaan tanpa pemberian beban tarik temperatur 800°C nilai kekerasan sebesar 105.5 HRB. Hal ini membuktikan bahwa terjadi laju difusi pada temperatur rendah yakni temperatur di bawah temperatur *carburizing* normal, hal ini disebabkan karena regangan yang terjadi dengan pemberian penarikan sebesar tegangan proporsional sehingga *interspace* atom semakin besar. Dengan *space* yang besar menyebabkan atom karbon mudah masuk berdifusi mengisi kekosongan atau menggeser atom dalam material, sehingga jarak atom semakin rapat dan dengan bertambahnya atom karbon ke dalam material maka nilai kekerasannya meningkat pula hingga dapat melebihi nilai kekerasan tanpa beban penarikan pada temperatur yang lebih tinggi atau temperatur *carburizing* normal yakni 800°C. Ini menyebabkan temperatur *carburizing* dapat diminimalisir dengan melakukan penarikan sebesar tegangan proporsional material. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Shaifudin et al., 2018) bahwa dengan terjadinya difusi karbon menyebabkan masuknya karbon ke dalam material sehingga menyebabkan kekerasan material meningkat. Juga berdasarkan penelitian (Priadi, Setyadi, & S, 2003) bahwa dengan adanya penarikan pada keadaan panas maka akan terjadi laju regangan yang besar dan pada temperatur yang lebih kecil. Dengan laju regangan yang besar memiliki potensi *interspace* atom semakin besar sehingga atom karbon mudah berdifusi ke dalam material baik secara substitusi maupun intertisi.

Berdasarkan foto pengamatan struktur mikro terlihat jelas bahwa terjadi peningkatan banyaknya struktur perlit yang terbentuk ditandai dengan butir yang berwarna gelap (Bhadeshia & Honeycombe, 2006). Struktur perlit menandakan semakin banyak struktur perlit yang terbentuk maka semakin keras tersebut dan ini berkorelasi dengan hasil nilai kekerasan di setiap ir. Pada struktur mikro spesimen normal, fasa ferit terlihat dominan



dibanding fasa perlit karena belum ada perlakuan. Dominasi fasa ferit pada spesimen mengakibatkan nilai kekerasan pada spesimen normal lebih rendah. Hal ini dipengaruhi oleh belum adanya penambahan karbon pada spesimen baja karbon rendah. Perubahan fasa pada baja sangat dipengaruhi oleh proses pemanasan yang akan membuat karbon terdifusi ke dalam baja menjadi lebih cepat. Hal ini yang kemudian akan merubah struktur mikro baja (Achmad Zainuri et al., 2011). Akibat difusi, atom karbon mengisi celah diantara atom induk sehingga mengakibatkan atom induk menjadi meningkat kekerasannya (Kuswanto, 2010).

Pada temperatur 700°C , dan temperatur 750°C , terlihat pertambahan struktur perlit yang ditandai dengan warna gelap di setiap peningkatan temperatur. Semakin banyak struktur mikro perlit yang terbentuk maka semakin tinggi nilai kekerasannya. Pada temperatur 700°C persentase perlit sebesar 40.187%, dan temperatur 750°C persentase perlit sebesar 52.234%. Perubahan pada struktur perlit yang disebabkan proses *carburizing* serta terbentuknya lapisan karburasi (*carburizing layer*) terlihat pada *carburizing* temperatur 700°C dan 750°C dengan penarikan. Ini terjadi karena karbon yang masuk, namun tidak menjadi penghalang (*barrier*) terhadap proses terjadinya difusi karbon karena selama proses *carburizing* berlangsung atom – atom karbon tetap dapat berdifusi hingga membentuk ferit dan perlit. Hal ini sejalan dengan penelitian (Fick, 1855; Márquez-Herrera & Moreno-Palmerin, 2022) bahwa *carburized layer* yang terbentuk karena karbon yang terlarut dalam austenit selama proses *carburizing* terjadi, tidak menjadi *barrier* terhadap proses terjadinya difusi karbon.

Pada temperatur 700°C dan 750°C dengan penarikan di dominasi dengan struktur perlit ini terjadi karena adanya laju difusi karbon ke dalam material. Hal ini akibat terjadi regangan pada saat *carburizing* dengan penarikan, sehingga jarak antar atom semakin besar dan memudahkan atom bisa berdifusi masuk mengisi kekosongan atau menggeser atom dalam material. Hal ini sejalan dengan bertambahnya nilai kekerasan dari material karena terjadinya difusi karbon ke material.



la pengujian struktur mikro yang telah dilakukan tidak dapat menentukan
ukur seberapa banyak difusi karbon yang terjadi setelah melalui proses

carburizing, maka dilakukan pengujian komposisi dan *mapping* dengan unsur yang sama pada permukaan sampai pada inti.

Berdasarkan komposisi unsur karbon (C) dan ferrous (Fe) baik pada *raw material*, *carburizing* temperatur 700°C dan temperatur 750°C dengan beban penarikan σ_p , diperoleh ada penambahan unsur karbon pada bagian *surface material*, dimana persentase karbon pada *raw material* sebesar 0.15%. Setelah di *carburizing* pada temperatur 700°C dengan beban penarikan σ_p terjadi kenaikan unsur karbon sebesar 0.73%. Sedangkan pada *carburizing* temperatur 750°C dengan beban penarikan σ_p juga terjadi kenaikan unsur karbon sebesar 1.26%. Dengan adanya pertambahan unsur karbon pada permukaan material ini mengindikasikan terjadinya difusi pada material dengan terbentuknya fase perlit yang lebih banyak pada permukaan serta ditandai pula dengan peningkatan nilai kekerasan yakni 104,8 HRB untuk temperatur 700°C dan 106,60 HRB untuk temperatur 750°C. Hal ini membuktikan terjadi distribusi kekerasan dari *surface* ke *core material*.

Begitu pula dengan unsur Fe yang merupakan unsur yang mendominasi pada baja karbon, terjadi penurunan dari nilai Fe *raw material* sebesar 99.14% turun menjadi 97.74% pada temperatur 750°C dan 90, 65% pada temperatur 700°C. Hal ini menggambarkan bahwa terjadi difusi dengan masuknya karbon ke dalam material sehingga menggeser atom Fe pada permukaan kulit masuk ke bagian inti material melalui proses *carburizing* dengan penarikan.

Merujuk pada hasil tersebut diperoleh bahwa proses *carburizing* merupakan proses *case hardening* atau pengerasan permukaan dengan adanya penambahan karbon pada permukaan material yang prosesnya sangat di pengaruhi oleh temperatur dan lama *holding time* ini sejalan uraian pada buku menurut (Smallman & Bishop, 1999).

Hasil yang sama juga ditunjukkan dari hasil *mapping* dari *raw material*, *carburizing* temperatur 700°C penarikan σ_p , *carburizing* temperatur 750°C penarikan σ_p , dimana unsur yang diamati dari material tersebut adalah C, Fe, Si,

dari hasil *mapping raw material* terlihat unsur Fe yang tersebar luas dan di permukaan sampel dan terlihat lebih dominan dibandingkan dengan an partikel atom C dari permukaan meskipun terdapat rongga hitam yang



terlihat. Pada mapping temperatur 700°C dan 750°C dengan penarikan terlihat spektrum dari massa unsur C mulai meningkat dan Fe masih mendominasi dibandingkan massa unsur lainnya. Dengan persentase massa unsur karbon sebesar 1.26% pada temperatur 750°C beban penarikan σ_p , 0,73% pada temperatur 700°C beban penarikan σ_p , maka baja yang mengalami carburizing dengan penarikan tersebut merupakan baja *hyper-eutectoid*. Dari hasil pengamatan *mapping* yang telah dilakukan didapatkan massa unsur karbon yang meningkat, sehingga dengan bertambahnya unsur karbon maka bertambah pula nilai kekerasan dari material tersebut ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (A. Oyetunji & S.O. Adeosun, 2021).

Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa ada dengan pemberian beban pada kondisi panas maka terjadi regangan yang menyebabkan luas ruang antar atom atau kekosongan bertambah sehingga memudahkan atom carbon terdifusi ke dalam material. Juga terjadi penurunan temperatur yang berdampak pada efisiensi biaya yang digunakan.

Adapun efisiensi daya yang digunakan dapat diketahui berdasarkan persamaan 8. Pada penelitian dengan tungku beban tarik waktu yang di gunakan untuk melakukan *carburizing* pada temperatur 800°C yakni 40 menit dan untuk temperatur 750°C yakni 37.5 menit kemudian di tahan di dalam tungku selama 4 jam. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Muhammad Rais Rahmat, 2015) bahwa untuk 1000°C dibutuhkan daya listrik sebesar 8013,2 Watt, maka untuk 800°C daya yang digunakan adalah 6,400.56 Watt dan untuk 750°C sebesar 6,009.9 Watt.

- a. Daya listrik yang digunakan untuk mencapai temperatur 800°C dan di tahan selam 4 jam adalah :

$KWh_{800} = \text{waktu} \times \text{daya listrik yang digunakan}$

$$Kwh_{800} = \frac{P}{1000} \times \frac{h}{60}$$

$$wh_{800} = \frac{6,400.56 \text{ Watt}}{1000} \times \frac{280 \text{ menit}}{60}$$

$$wh_{800} = 29.8714 \text{ KWh}$$



- b. Daya listrik yang digunakan untuk mencapai temperatur 750°C dan di tahan selama 4 jam adalah :

$\text{KWh}_{750} = \text{waktu} \times \text{daya listrik yang digunakan}$

$$\text{Kwh}_{750} = \frac{P}{1000} \times \frac{h}{60}$$

$$\text{Kwh}_{750} = \frac{6,009.9 \text{ Watt}}{1000} \times \frac{277.5 \text{ menit}}{60}$$

$$\text{Kwh}_{750} = 27.746 \text{ KWh}$$

- c. Efisiensi daya yang diperoleh sebesar :

$$\eta = \frac{P_{800} - P_{750}}{P_{800}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{29.8714 \text{ KWh} - 27.746 \text{ KWh}}{29.8714 \text{ KWh}} \times 100\%$$

$$\eta = 7.115\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa pada temperatur 800°C sebesar 29.8714 Kwh dan pada temperatur 750°C sebesar 27.746 KWh ada selisih daya yang digunakan sebesar 2.1254 Kwh sehingga terjadi efisiensi daya 7.115%.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan sebelumnya maka dapat diperoleh kesimpulan yakni:

1. Nilai kekerasan pada *carburizing* temperatur 750⁰C dengan penarikan tegangan proporsional material sebesar 106,60 HRB yang melebihi *carburizing* temperatur 800⁰C tanpa penarikan yaitu 105,5 HRB akibat terjadinya difusi karena *interspace* atom semakin besar yang memudahkan atom berdifusi mengisi kekosongan atau menggeser atom dalam material uji.
2. Pada *carburizing* temperatur 700⁰C dan 750⁰C dengan beban penarikan sebesar tegangan proporsional material terjadi difusi sehingga menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro, dimana penambahan struktur perlit yang menandakan kekerasan material juga meningkat, pada raw material sebesar 10.029%, pada temperatur 700⁰C persentase perlit sebesar 40.187% dan 750⁰C persentase perlit sebesar 52.234%.
3. Terjadi penambahan unsur karbon mulai dari surface ke core material pada *carburizing* temperatur 700⁰C dan 750⁰C dengan penarikan dimana persentase karbon pada raw material sebesar 0.15% menjadi 0.73% pada temperatur *carburizing* 700⁰C, dan 1.26% pada temperatur 750⁰C ini menunjukkan adanya peningkatan jumlah karbon yang terdifusi ke dalam material, sehingga menyebabkan terjadinya distribusi kekerasan yang di tandai dengan meningkatnya nilai kekerasan.
4. Proses *carburizing* di bawah temperatur *carburizing* normal dengan beban penarikan sebesar tegangan proporsional material yang terbaik pada temperatur 750⁰C sebesar 106.60 HRB dengan persentase perlit 52.235% dan unsur karbon sebesar 1.26%.
5. Pada proses *carburizing* di bawah temperatur *carburizing* normal dengan penarikan sebesar tegangan proporsional diperoleh efisiensi daya k sebesar 2.1254 KWh atau sebesar 7.115% dan penghematan temperatur sar 50⁰C.



6.2. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode quenching untuk pendinginan.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan holding time yang lebih lama untuk melihat distribusi kekerasan akibat adanya laju difusi.



DAFTAR PUSTAKA

- A. Oyetunji & S.O. Adeosun. (2021). Effects of Carburizing Process Variables on Mechanical and Chemical Properties of Carburized Mild Steel. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 8(2), 319–324. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2012.08.02.11>
- Abbaschian, R., Abbaschian, L., & Reed-Hill, R. E. (2009). *Physical metallurgy principles* (4th ed). Cengage Learning.
- Achmad Zainuri, Paryanto Dwi Setyawan, & Prayuda Atmam. (2011). Analysis of hardness and microstructure of AISI 1018 steel due to the pack carburizing process with variations in the concentration of gold snail shell powder. *Dinamika Teknik Mesin*, 1(1), 25–33.
- Akita, M., & Tokaji, K. (2006). Effect of carburizing on notch fatigue behaviour in AISI 316 austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 200(20), 6073–6078. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.09.018>
- Ashby, M. F., Jones, D. R. H. (2012). *Engineering materials 1: an introduction to properties, applications and design*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2009-0-64288-4>
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Konservasi energi pada sistem pencahayaan*. Jakarta: BSN
- B.H., A., Ostwald, P. F., Begeman, M. L., & Djaprie, S. (1992). *Mechanical Technology* (pId=671&pRegionCode=JIUNMAL&pClientId=111; VII). Erlangga. <http://kin.perpusnas.go.id/DisplayData.aspx?>
- Bhadeshia, H. K. D. H., & Honeycombe, R. W. K. (2006). *Steels: Microstructure and properties* (3rd ed). Elsevier, Butterworth-Heinemann.
- Bontong, Y. (2020). Behavior Of Mechanical Properties On Carbon Steel Due To Pack Carburizing With Buffalo Bone Charcoal And BaCO₃. *UNHAS*. Desertation.
- Bontong, Y., Syam, R., Arsyad, H., & Asmal, H. S. (2018). *Behavior Of Pack Carburizing With Bone Buffalo Charcoal And BaCO₃ Against Mechanical Properties Of Low Carbon Steel*, *ARPJ Journal*, 13(14).
- Boumerzoug, Z., Derfouf, C., Baudin, T. (2010). Effect of Welding on Microstructure and Mechanical Properties of an Industrial Low Carbon Steel. *Engineering*, 02 (07), 502–506. doi: <https://doi.org/10.4236/eng.2010.27066>



- Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction* (7th ed). John Wiley & Sons.
- Dieter, G. E., & Bacon, D. (1976). *Mechanical metallurgy* (Vol. 3). McGraw-hill New York.
- DNK, P. N., TG T, irta N., IW, S., & M, S. (2017). Chemical, strength and microstructure characterization of Balinese bamboos as activated carbon source for adsorbed natural gas application. *IOP Publishing*, 201(1), 012033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/201/1/012033>
- Dragatsis, A., Fragkos-Livanios, L., Papageorgiou, D. G., Medrea, C. (2021). Investigation of hardness behavior after carburizing and hardening of 15CrNi6 steel. *MATEC Web of Conferences*, 349, 02006. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134902006>
- Duldes S. Lambey, dkk , 2021, Analisis Konsumsi Energi Listrik Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Di Kantor Dewan Perwakilan Rakyat Daerah Kabupaten Tojo Una-Una, *Jurnal Ilmiah Foristek, Jurusan Teknik Elektro UNTAD*, DOI : <https://doi.org/10.54757/fs.v11i2.112>
- Elzanaty, H. (2014). Effect of carburization on the mechanical properties of the mild steel. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 6 (4), 987–994. Available at: <https://www.issr-journals.org/xplore/ijias/0006/004/IJIAS-14-153-05.pdf>
- F. D., S., & JW, S. (2003). Pengaruh media celup dan waktu tahan pada karburasi padat baja AISI SAE 1522. *Seminar Nasional Aplikasi Sains Dan Teknologi*, 166-170.
- Fawell, J. K., & Bailey, K. (Eds.). (2006). *Fluoride in drinking-water*. IWA Pub.
- Fick, A. (1855). Ueber Diffusion. *Annalen der Physik und Chemie*, 170(1), 59–86. <https://doi.org/10.1002/andp.18551700105>
- G, M., & R.H, W. (2020). Steel Class Notes and lecture material For MSE 651.01 Physical Metallurgy of Steel. In *Physical Metallurgy of Steel* (Vol. 15, p. 173). The Ohio State University.
- Hafni, & Nurzal. (2014). Testing of Pack Carburizing Tune for Surface Hardening of Low Carbon Steel with Carburizing Media Mixed of Coconut Charburgers and BaCO₃. *Jurnal Momentum*, 16(1), 84–89.



D., Hu, K. H., Rolfe, B., Pavlina, E. (2016). A Research on Selective Carburization Process of Low Carbon Steel. *Advanced High Strength Steel and Press Hardening*. doi: https://doi.org/10.1142/9789813140622_0012

- Hari, A., & Daryanto. (1999). *Materials Science* (1st ed.). Bumi Aksara.
- Ihsan, A. (2015). Quantitative and Qualitative Identification of Spotted Mature Female Domestic Asian Water Buffalo Bubalus Bubalis in asar Bolu Kabupaten Toraja Utara. *Students E-Journal*, 4(3).
- Ismy, A. S. (2009). Karburisasi baja ST 37 dengan media arang batok kelapa. *Jurnal POLIMESIN*, 7(1), 563. <https://doi.org/10.30811/jp.v7i1.1340>
- Jiang, Y., Li, Y., Peng, Y., Gong, J. (2020). Mechanical properties and cracking behavior of low-temperature gaseous carburized austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, 403, 126343. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126343>
- Ketut Putra Negara, D. N. (2016). Efektifitas Carburizer dari Sumber Karbon Berbeda Pada Proses Pack Carburizing. *Jurnal METTEK*, 2(1), 5–10.
- Kuswanto, B. (2010). *Pack Carburizing Treatment Of Low Carbon Steel As An Alternative Material For Cutting Knives In The Application Of Appropriate Technology*. 5.
- Lan, L., Yu, M., Qiu, C. (2019). On the local mechanical properties of isothermally transformed bainite in low carbon steel. *Materials Science and Engineering: A*, 742, 442–450. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.11.011>
- Márquez-Herrera, A., & Moreno-Palmerin, J. (2022). Corrosion resistance evaluation of boron-carbon coating on ASTM A-36 steel. *Revista Mexicana de Fisica*, 68(1), 1–6. <https://doi.org/10.31349/REVMEXFIS.68.011001>
- Miswanto, Rajaguguk, T. O., & Sumardi, S. (2019). The study of low carbon steel pack carburizing using cow bone and coconut shell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 478, 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/478/1/012037>
- Duldes S. Lambey, dkk , 2021, Analisis Konsumsi Energi Listrik Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Di Kantor Dewan Perwakilan Rakyat Daerah Kabupaten Tojo Una-Una, *Jurnal Ilmiah Foristek*, Jurusan Teknik Elektro UNTAD, DOI : <https://doi.org/10.54757/fs.v11i2.112>
- Nanulaitta, N. J. M. (2012). Analysis of the Hardness Features of ST-42 Steel with The Influence of The Large Granules of The Catalizer Media (Cow Bone (CaCO_3) Through A Pack Carburizing Process. *Jurnal Teknologi, Universitas Pattimura*, 9(1), 985–994.
- ., Setyadi, I., & . Siradj, E. S. (2003). Influence of Strain Rate and Temperature Hot Tension Testing on Mechanical Properties of



Medium Carbon Steel S48C. *Makara Journal of Technology*, 7(1).
<https://doi.org/10.7454/mst.v7i1.137>

Riastuti, R., Mashanafie, G., Rizkia, V., Maksum, A., Prifiarni, S., Kaban, A. et al. (2022). Effect of syzygium cumini leaf extract as a green corrosion inhibitor on API 5l carbon steel in 1M HCL. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (120)), 30–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267232>

Rombe, B. (2011). *Nilai-nilai Sosial Ekonomi Kerbau Pendatang di Lingkungan Masyarakat Toraja*. Makalah Seminar Nasional dan Teknologi Peternakan dan Veteriner. Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan.

Satito, A., Hariyanto, H., Supandi, S. (2021). Biaxial pressure pack carburizing method to modification local low carbon steel's mechanical properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1108 (1), 012036. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1108/1/012036>

Shaifudin, A., Istiasih, H., & Mufarrih, A. (2018). Optimization of carbon diffusion by pack carburizing method on ST 42 steel. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 27–34. <https://doi.org/10.29407/jmn.v1i1.12293>

Sinarep, S., Darmo, S. (2021). Effect of pack carburizing with chicken egg shell powder agent and vibrator quenching on the mechanical properties of AISI 9310 steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (114)), 12–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244118>

Smallman, R. E., & Bishop, R. J. (1999). *Modern physical metallurgy and materials engineering: Science, process, applications* (6th ed). Butterworth Heinemann.

Somba, R. (2019). Koreografi Garonto'Eanan: Visualisasi Kerbau Dalam Kehidupan Masyarakat Toraja. *Joged*, 13(2), 112–124.

Subbiah, R., Vinod Kumar, V., Lakshmi Prasanna, G. (2020). Wear analysis of treated Duplex Stainless Steel material by carburizing process – A review. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2946–2952. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.608>

Sukardjo, S. (1999). Integrated coastal zone management (ICZM) in Indonesia. *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management*, 227–233.

Suryanto, H. (2005). *Pengaruh Komposisi Media Karburasi Serbuk Arang Kayu-Parium Karbonat Terhadap Kekerasan Dan Keausan Baja Karbon rendah* (tesis). UGM.



H. V. (1991). *Materials Science and Technology*. Erlangga.

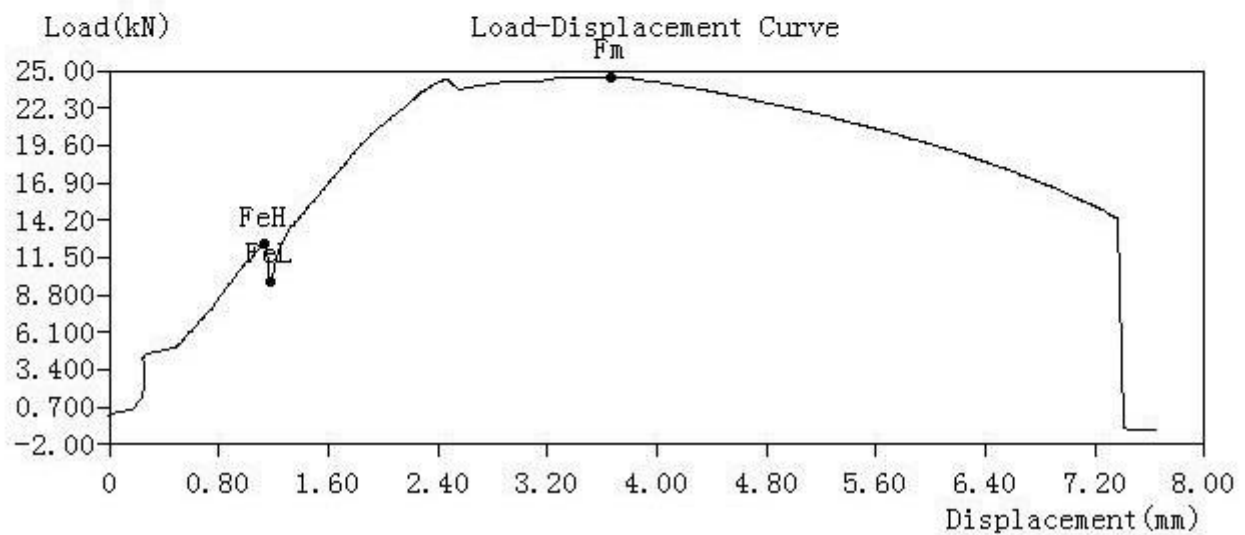
- Wei, S., Wang, G., Zhao, X., Zhang, X., Rong, Y. (2013). Experimental Study on Vacuum Carburizing Process for Low-Carbon Alloy Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23 (2), 545–550. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-013-0762-1>
- Yao, J., Zhang, Q., Gao, M., Zhang, W. (2008). Microstructure and wear property of carbon nanotube carburizing carbon steel by laser surface remelting. *Applied Surface Science*, 254 (21), 7092–7097. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.05.223>
- Zhang, X., Zhang, G., Zhang, D., Zhang, L., Qian, F. (2023). Dynamic Multi-Objective Optimization in Brazier-Type Gasification and Carbonization Furnace. *Materials*, 16 (3), 1164. doi: <https://doi.org/10.3390/ma16031164>



Baja Carbon Rendah

BCR 1

Customer		TestDate	2019/6/26 星期三
Coil No/Package No		Type	Circle
Size(mm)	8	So(mm ²)	50.27
Lo(mm)	60	Lu(mm)	
A(%)	/	Su(mm ²)	/
Z(%)	/	F _m (kN)	24.55
R _m (MPa)	488	F _{eH} (kN)	12.45
R _{eH} (MPa)	248	F _{eL} (kN)	9.800
R _{eL} (MPa)	195	F _p (kN)	/
R _p (MPa)	/	F _t (kN)	/
R _t (MPa)	/	E(GPa)	/

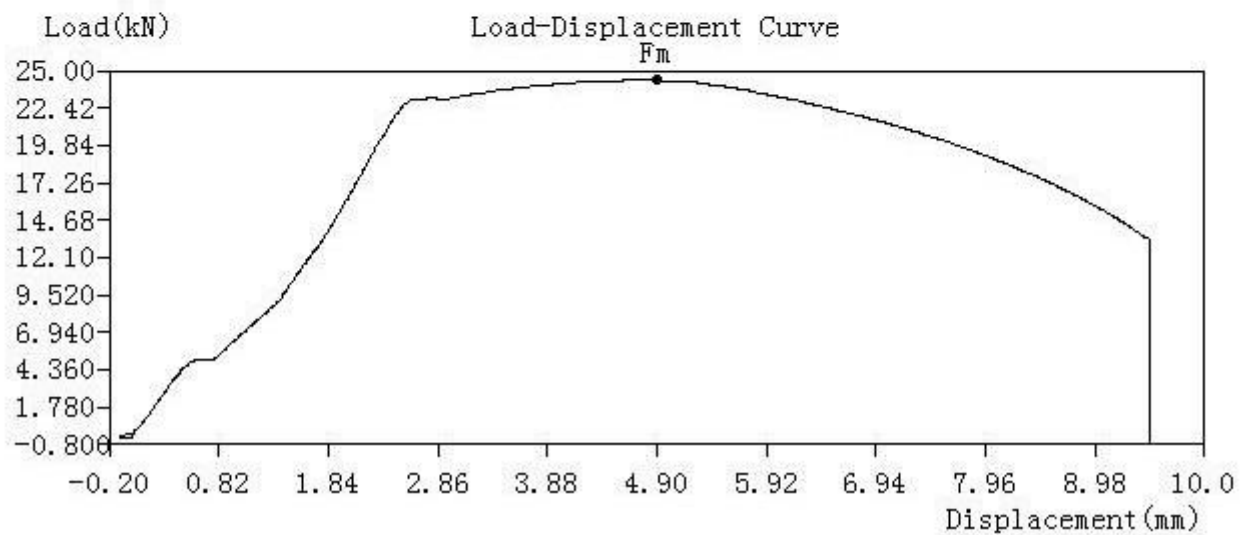


Optimized using
trial version
www.balesio.com

Baja Carbon Rendah

BCR 2

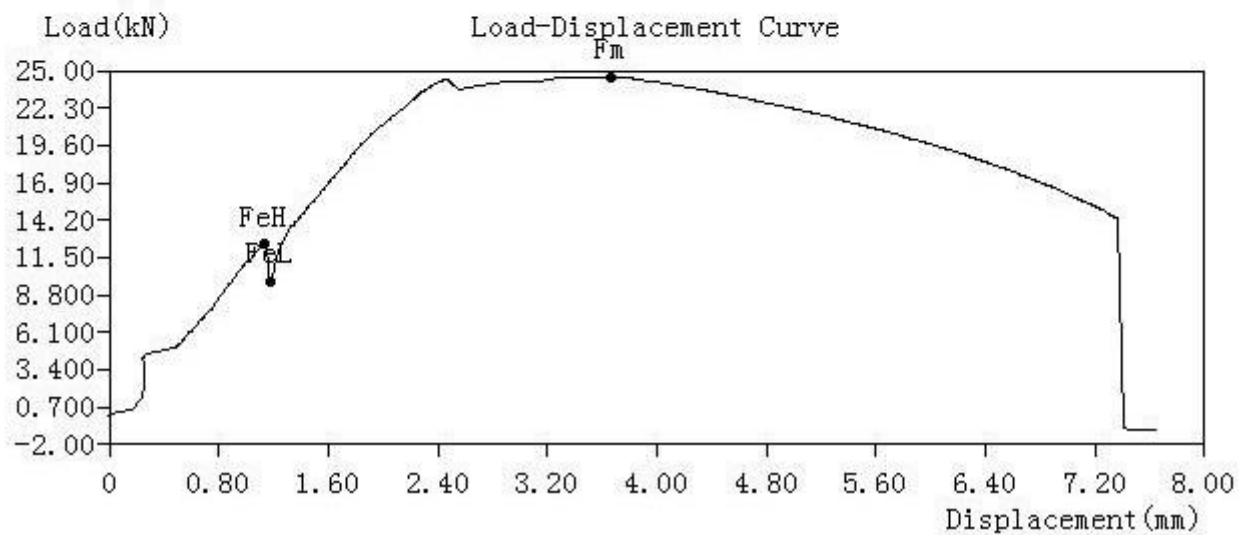
Customer		TestDate	2019/6/26 星期三
Coil No/Package No		Type	Circle
Size(mm)	8	So(mm ²)	50.27
Lo(mm)	60	Lu(mm)	
A(%)	/	Su(mm ²)	/
Z(%)	/	F _m (kN)	24.35
R _m (MPa)	484	F _{eH} (kN)	/
R _{eH} (MPa)	/	F _{eL} (kN)	/
R _{eL} (MPa)	/	F _p (kN)	/
R _p (MPa)	/	F _t (kN)	/
R _t (MPa)	/	E(GPa)	/



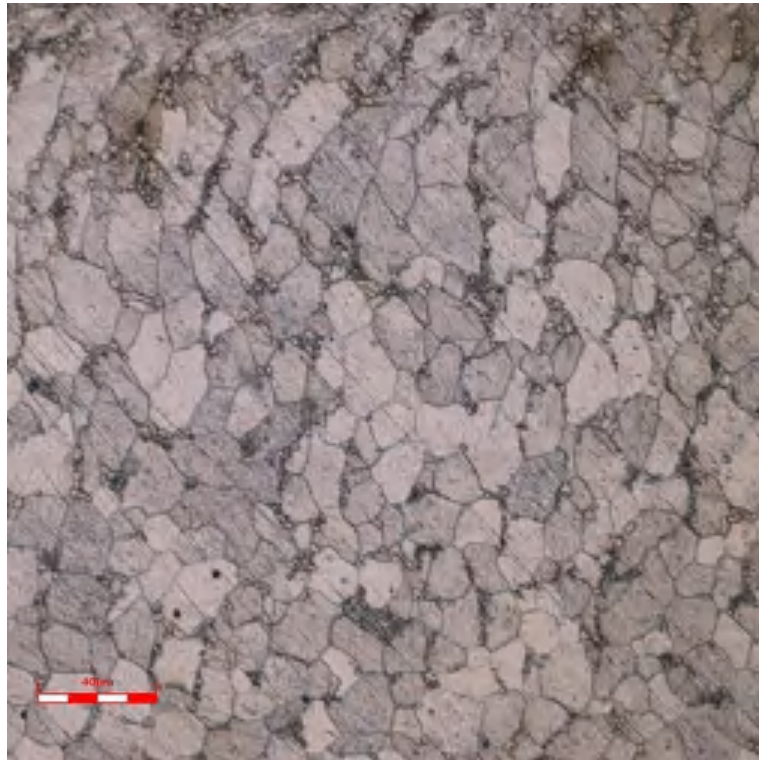
Baja Carbon Rendah

BCR 1

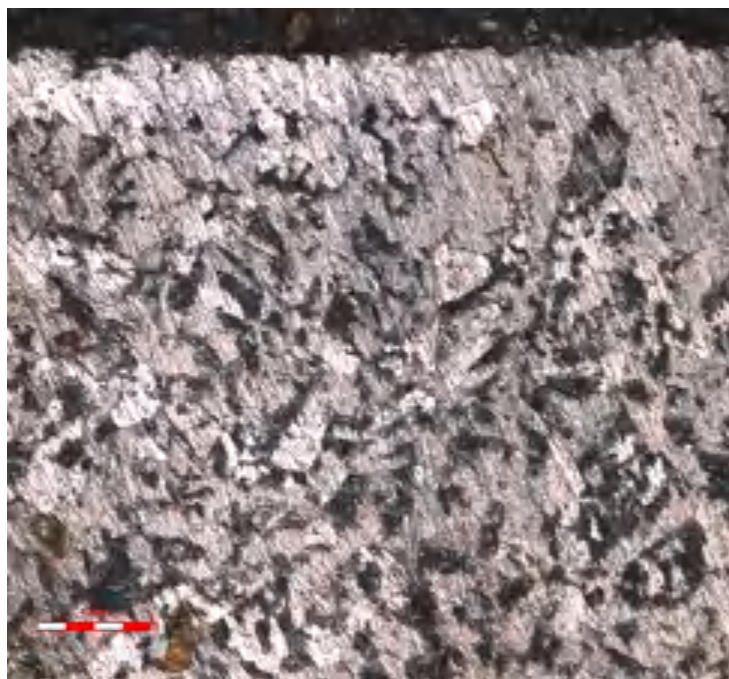
Customer		TestDate	2019/6/26 星期三
Coil No/Package No		Type	Circle
Size (mm)	8	So (mm ²)	50.27
Lo (mm)	60	Lu (mm)	
A (%)	/	Su (mm ²)	/
Z (%)	/	F _m (kN)	24.55
R _m (MPa)	488	FeH (kN)	12.45
ReH (MPa)	248	FeL (kN)	9.800
ReL (MPa)	195	F _p (kN)	/
R _p (MPa)	/	F _t (kN)	/
R _t (MPa)	/	E (GPa)	/



Optimized using
trial version
www.balesio.com

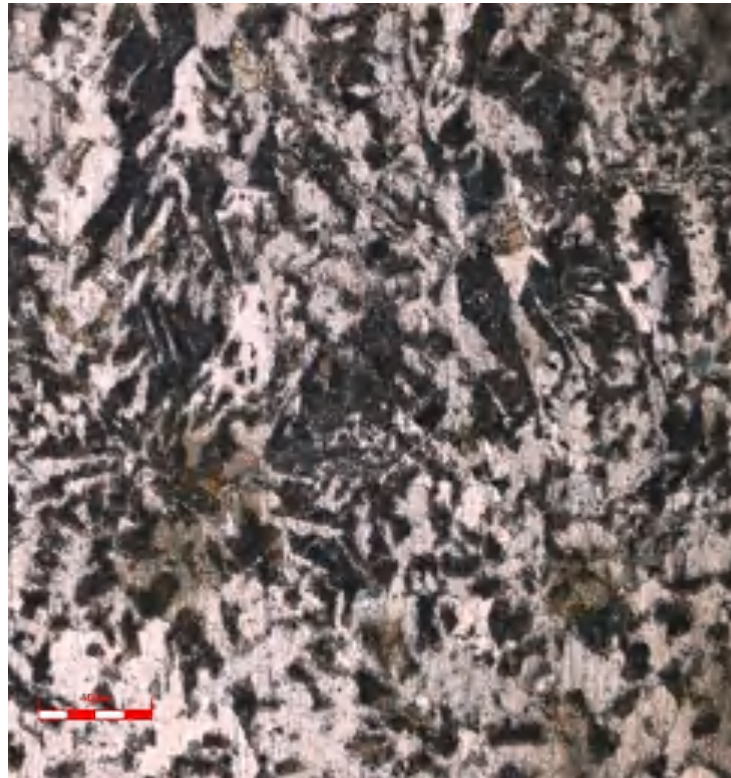


Gambar Foto Struktur Miro Raw Material

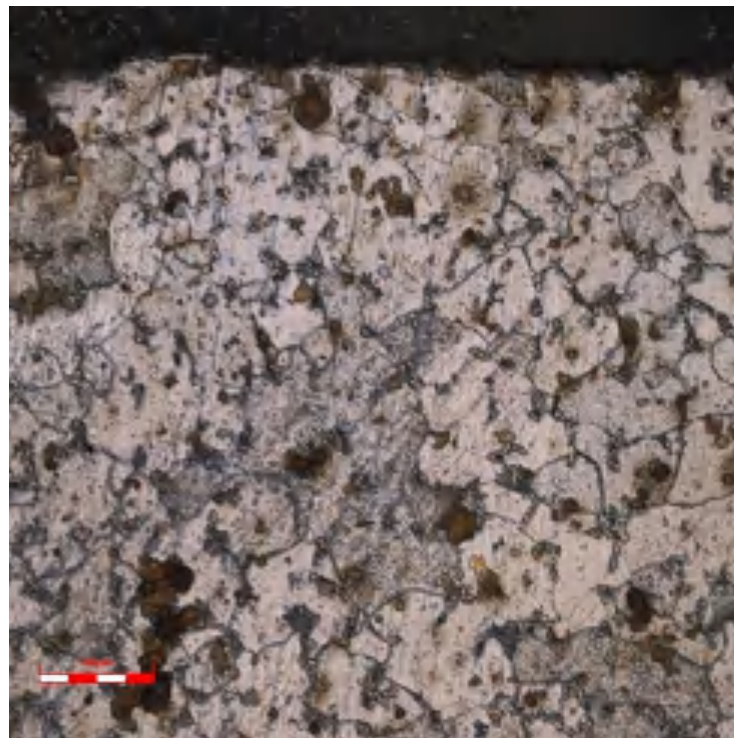


Gambar Struktur mikro beban penarikan σ_p pada temperatur 700°C





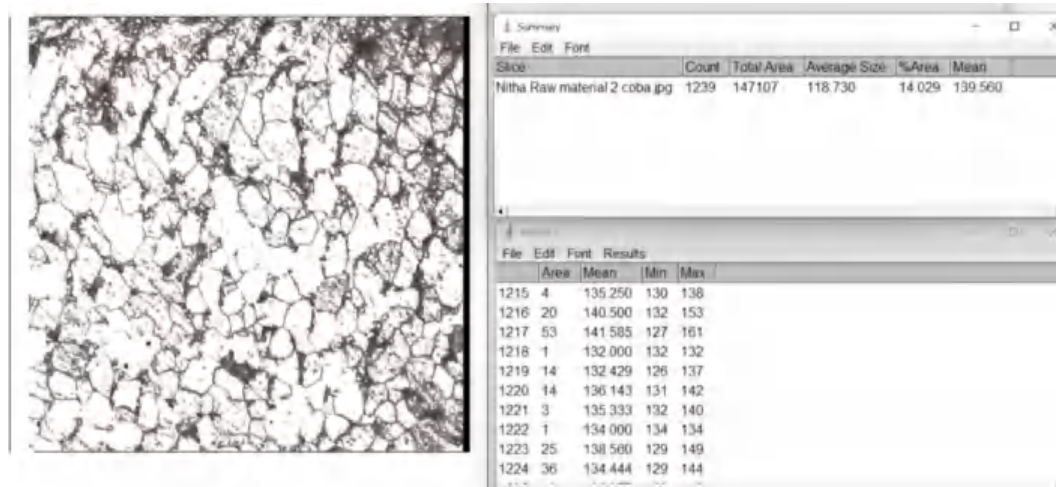
Gambar Struktur mikro beban penarikan σ_p temperatur 750°C



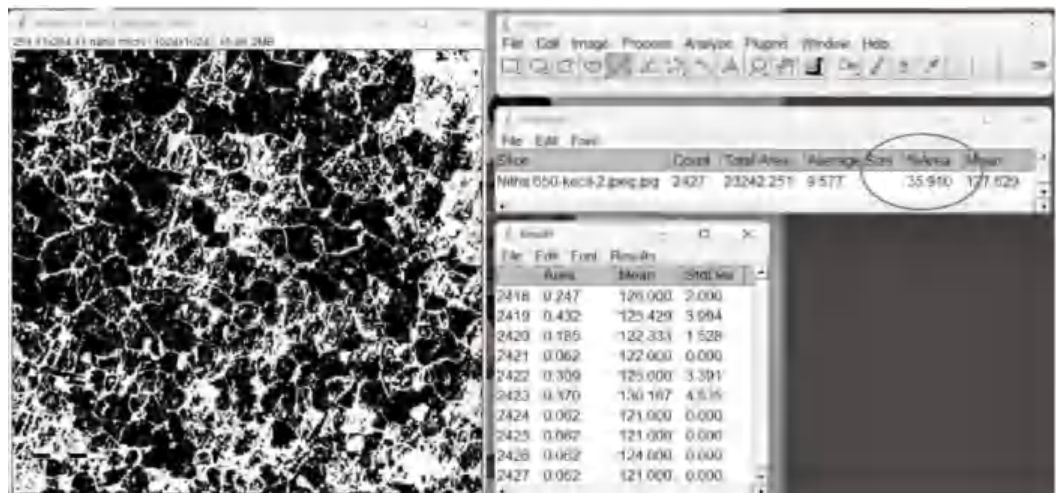
Gambar Struktur mikro tanpa beban penarikan pada temperatur 800°C



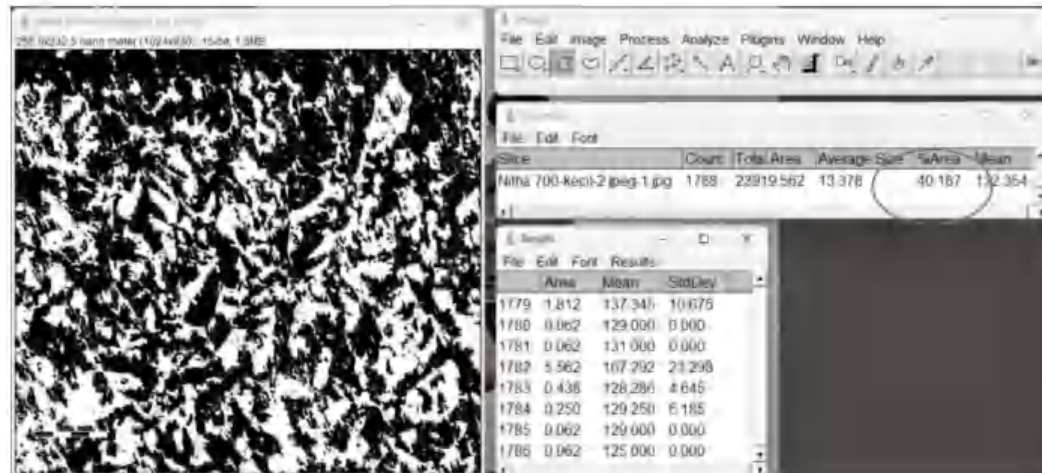
Struktur Mikro Raw Material



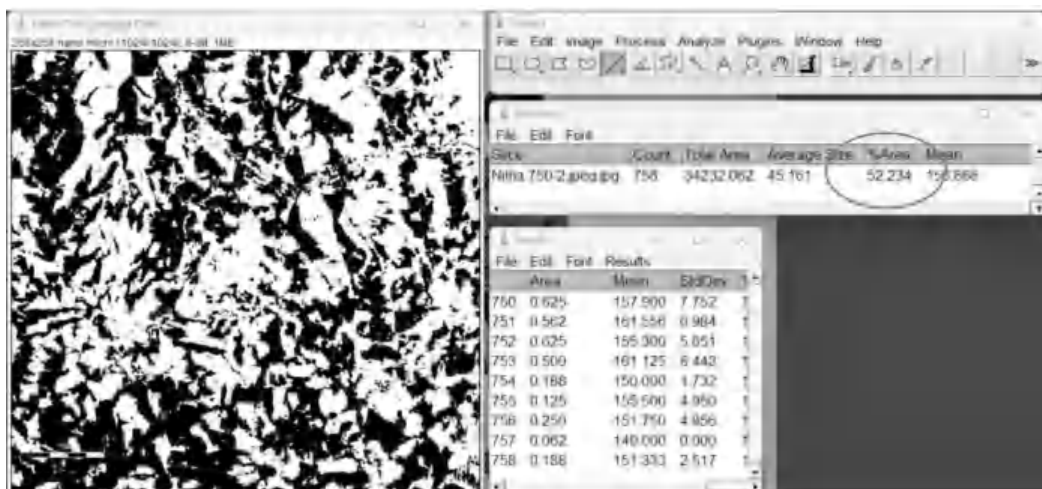
Struktur Mikro 650°C Dengan beban Penarikan σ_p



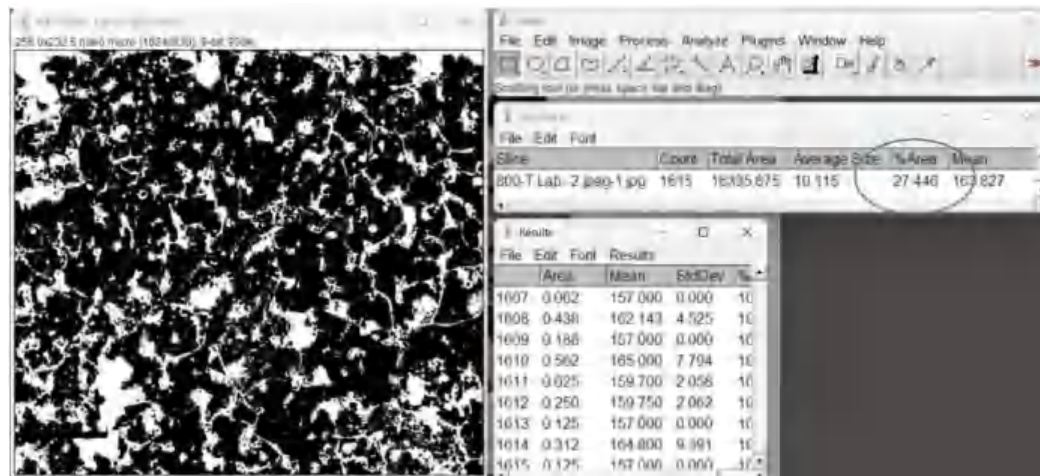
Struktur Mikro 700°C Dengan beban Penarikan σ_p



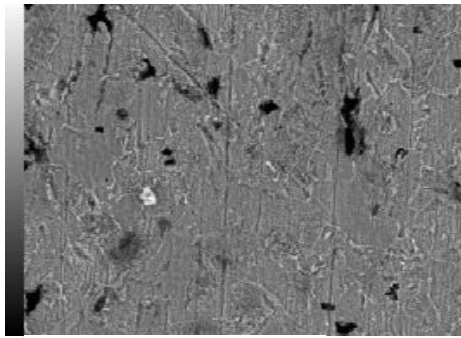
Struktur Mikro 750°C Dengan beban Penarikan σ_p



Struktur Mikro 800°C Tanpa beban Penarikan

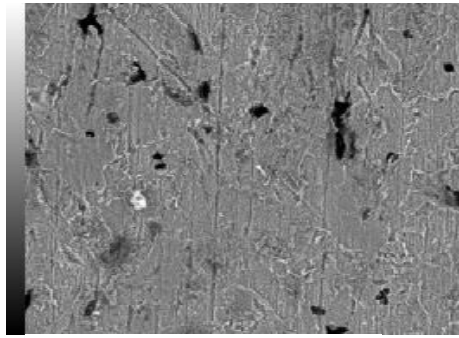


View024



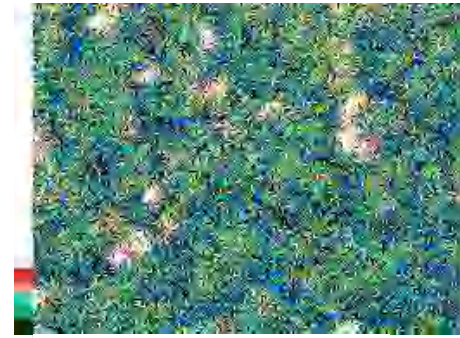
30 µm

SEI(frame1)



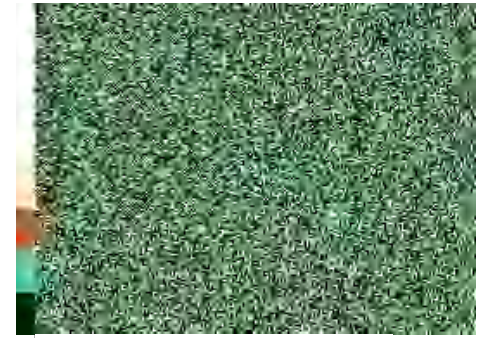
30 µm

SEI



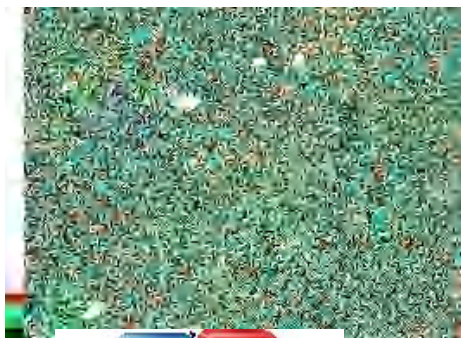
30 µm

C K



30 µm

Mg K



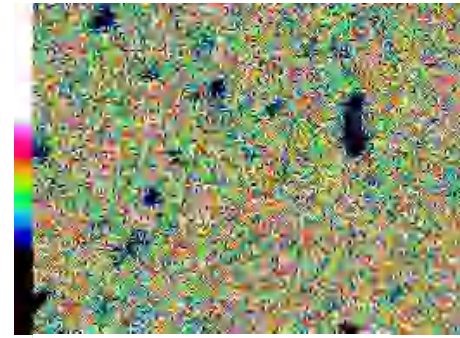
30 µm

Si K



30 µm

P K

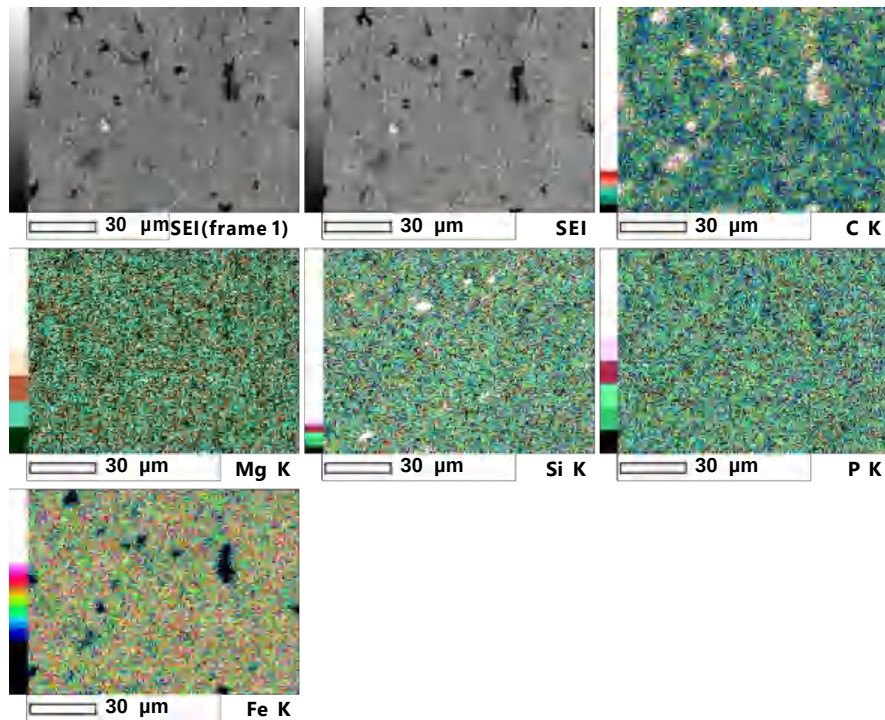


30 µm

Fe K

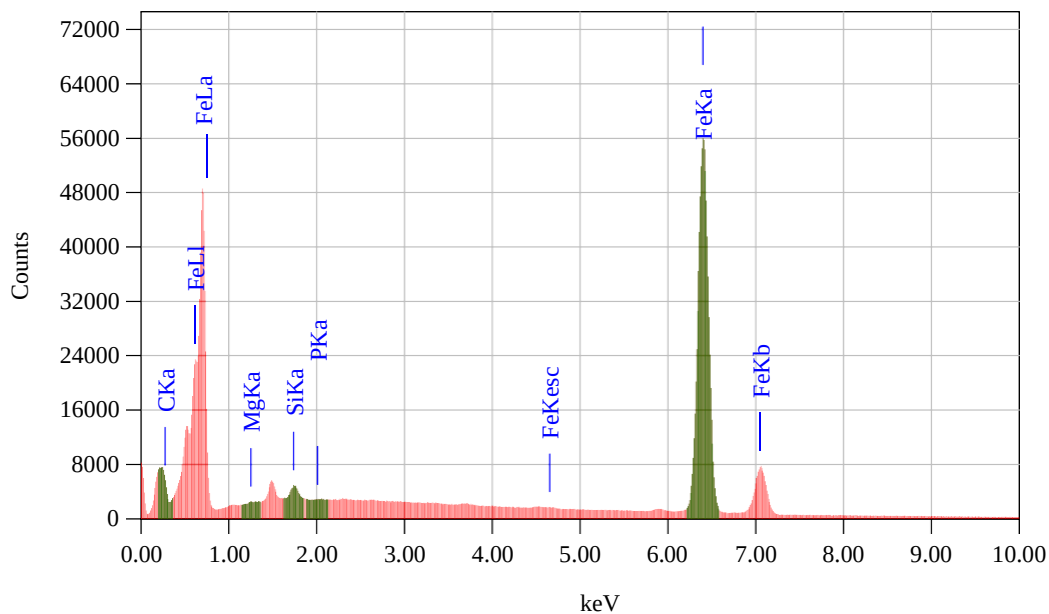


Optimized using
trial version
www.balesio.com



Date	: 6/14/2023
Resolution	: 256 x 192

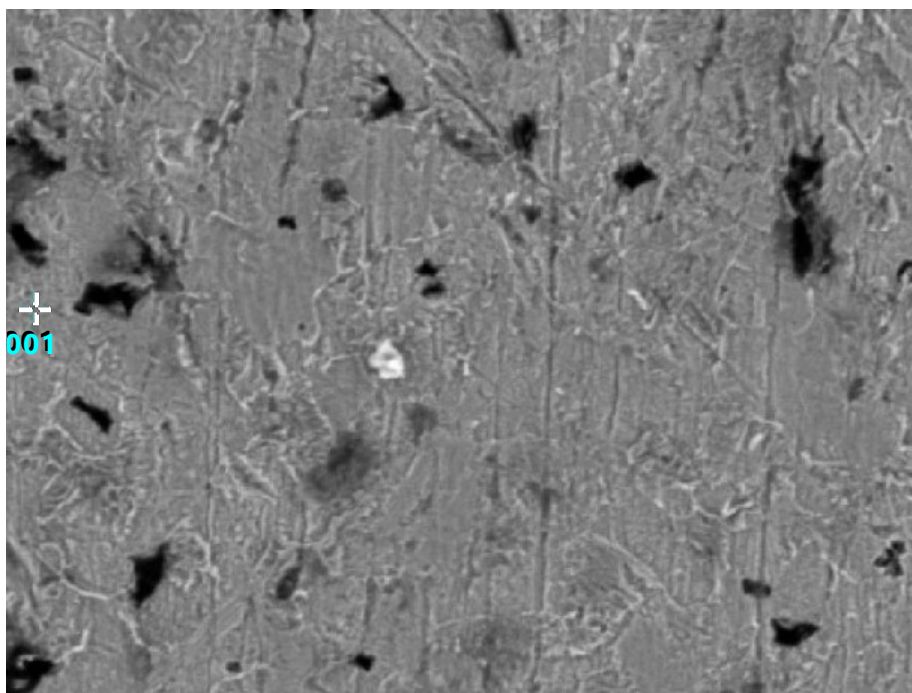
Instrument	: JCM-6000PL
Acc. Volt.	: 15 kV
Magnification	: x 1,000
Dwell Time	: 0.20 msec.
Sweep Count	: 50



Acquisition Parameter	
Instrument	: JCM-6000PLUS
Acc. Voltage	: 15.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T3
Real Time	: 491.52 sec
Live Time	: 477.05 sec
Dead Time	: 2 %
Counting Rate	: 6901 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

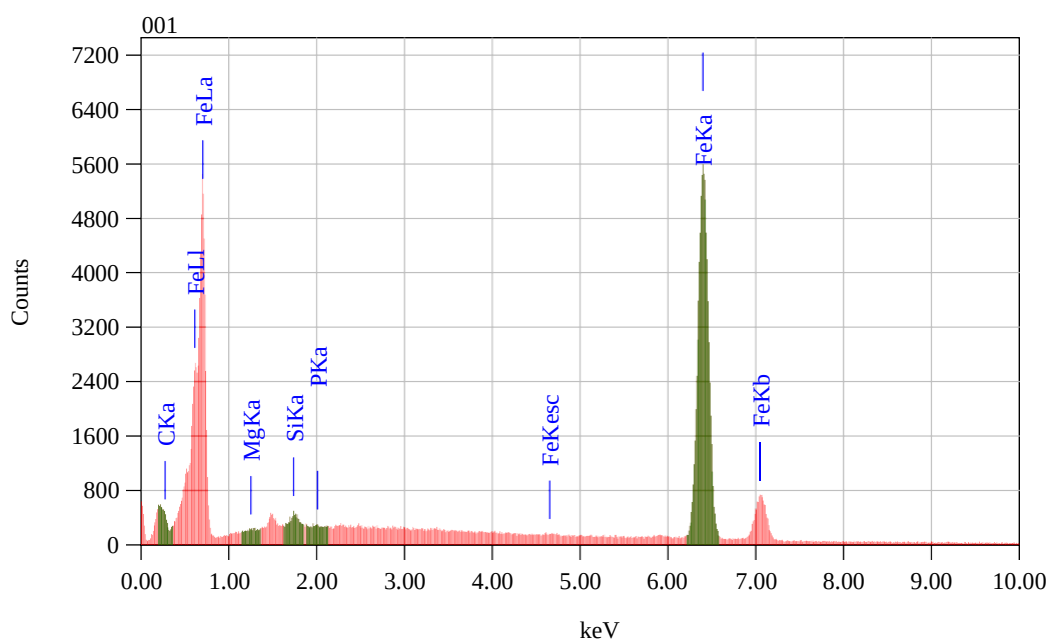


Optimized using
trial version
www.balesio.com



Title : IMG1

Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/06/14
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter

Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.39 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 2 %
 Counting Rate: 6413 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

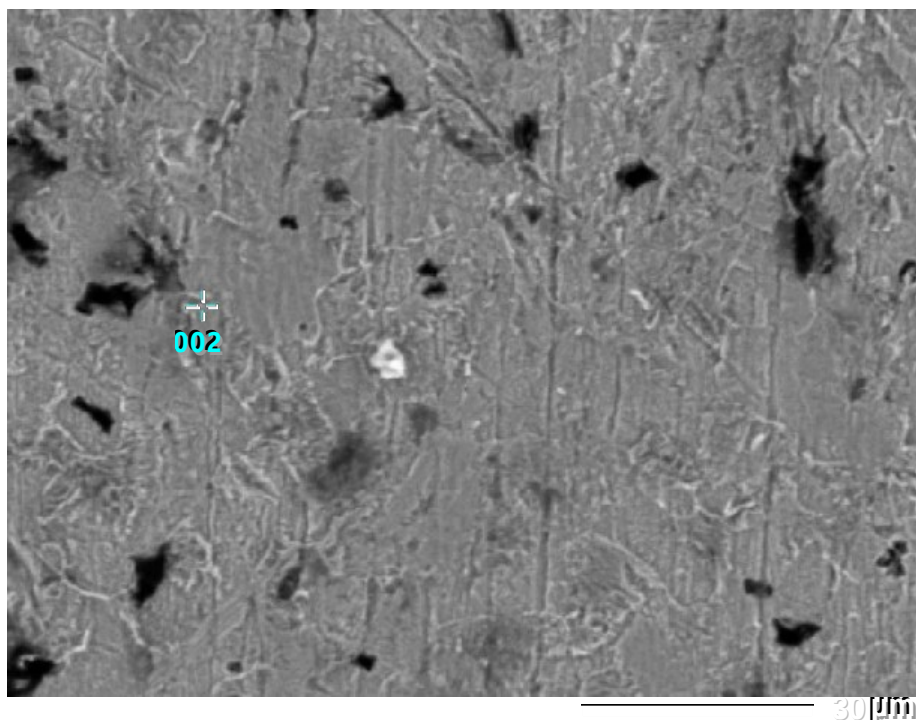
Fitting Coefficient : 0.0364

Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	0.15	173.15	0.01	0.87	C	0.15	0.00	0.8276
O		22.45				ND			
Mg K	1.253	0.04	175.38	0.02	0.13	MgO	0.07	0.03	0.2406
Si K	1.739	0.27	1013.14	0.04	0.69	SiO2	0.58	0.16	0.2602
P K	2.013	0.03	86.39	0.03	0.03	P2O5	0.06	0.02	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	77.06	75174.77	0.50	98.29	FeO	99.14	23.60	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	23.81	

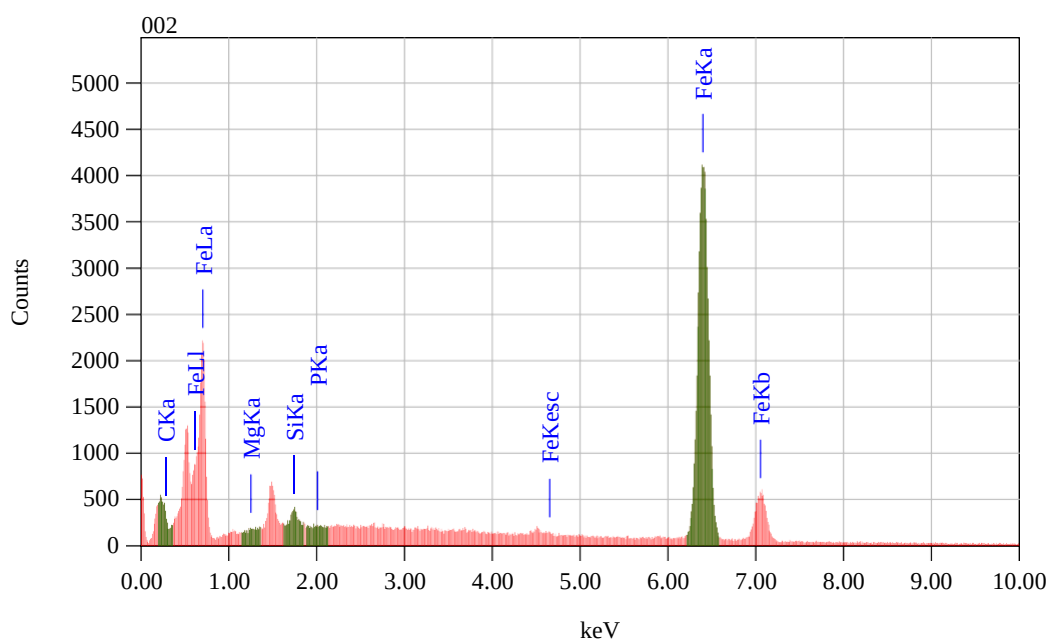


Optimized using
 trial version
www.balesio.com



Title : IMG1

Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/06/14
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter

Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.22 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 2 %
 Counting Rate: 4708 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

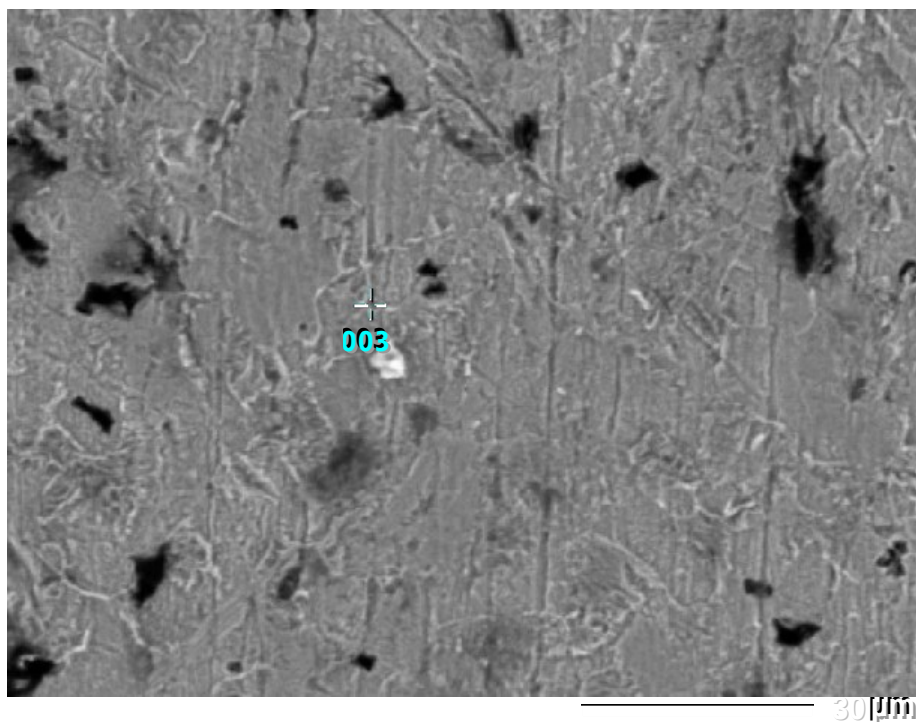
Fitting Coefficient : 0.0755

Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	0.06	51.05	0.01	0.34	C	0.06	0.00	0.8276
O		22.63				ND			
Mg K	1.253	0.04	124.75	0.02	0.12	MgO	0.07	0.03	0.2406
Si K	1.739	0.47	1349.39	0.06	1.21	SiO2	1.01	0.29	0.2602
P K	2.013	0.06	151.67	0.04	0.07	P2O5	0.14	0.03	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	76.73	56841.11	0.58	98.26	FeO	98.72	23.31	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	23.66	

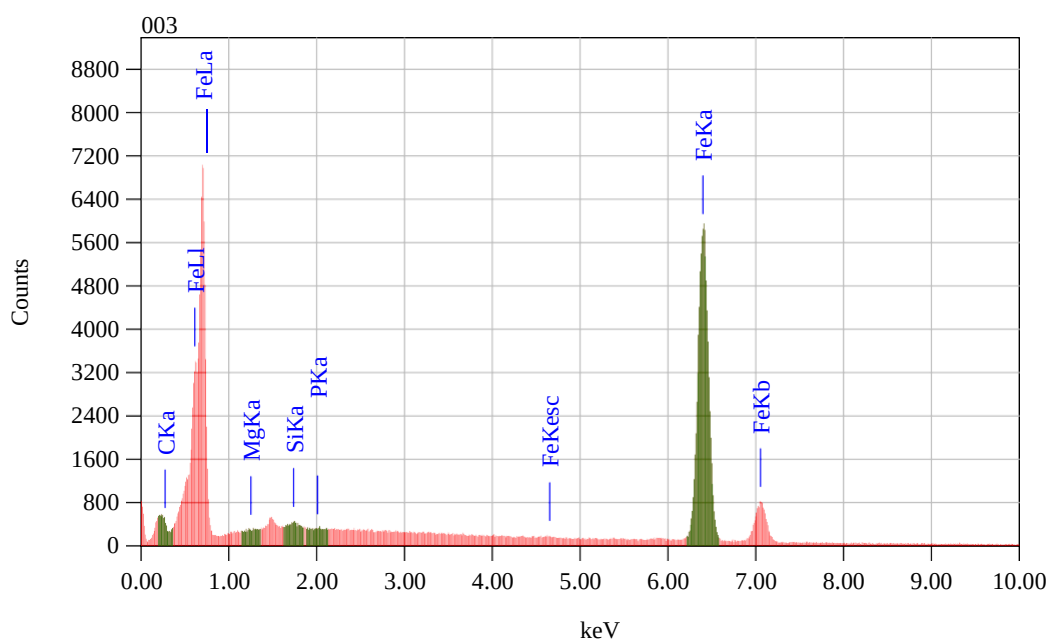


Optimized using
 trial version
www.balesio.com



Title : IMG1

Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/06/14
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter

Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.50 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 2 %
 Counting Rate: 7263 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

Fitting Coefficient : 0.0339

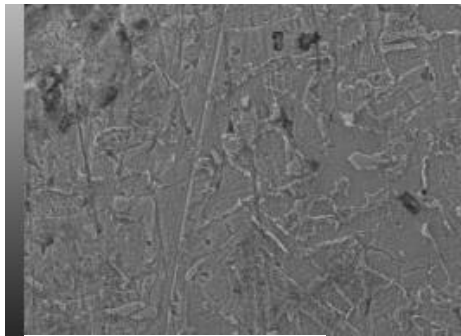
Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	0.03	39.00	0.01	0.19	C	0.03	0.00	0.8276
O		22.39				ND			
Mg K	1.253	0.01	55.53	0.02	0.04	MgO	0.02	0.01	0.2406
Si K	1.739	0.12	478.17	0.04	0.31	SiO2	0.26	0.07	0.2602
P K	2.013	0.05	176.34	0.04	0.06	P2O5	0.12	0.03	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	77.40	80167.59	0.49	99.41	FeO	99.57	23.77	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	23.88	



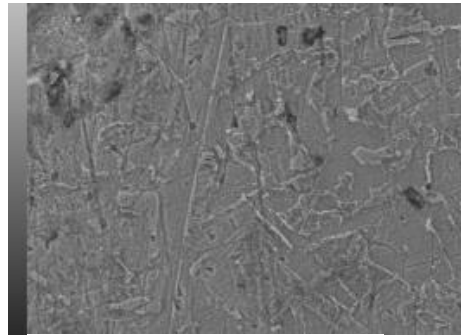
Optimized using
 trial version
www.balesio.com

View023



30 µm

SEI(frame1)



30 µm

SEI



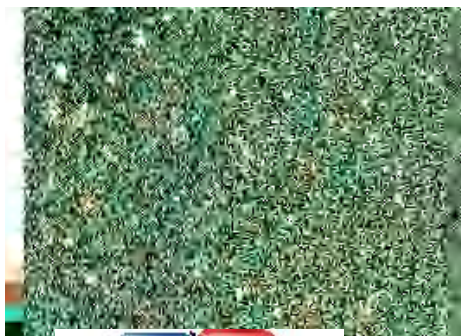
30 µm

C K



30 µm

Mg K



30 µm

Si K



30 µm

P K

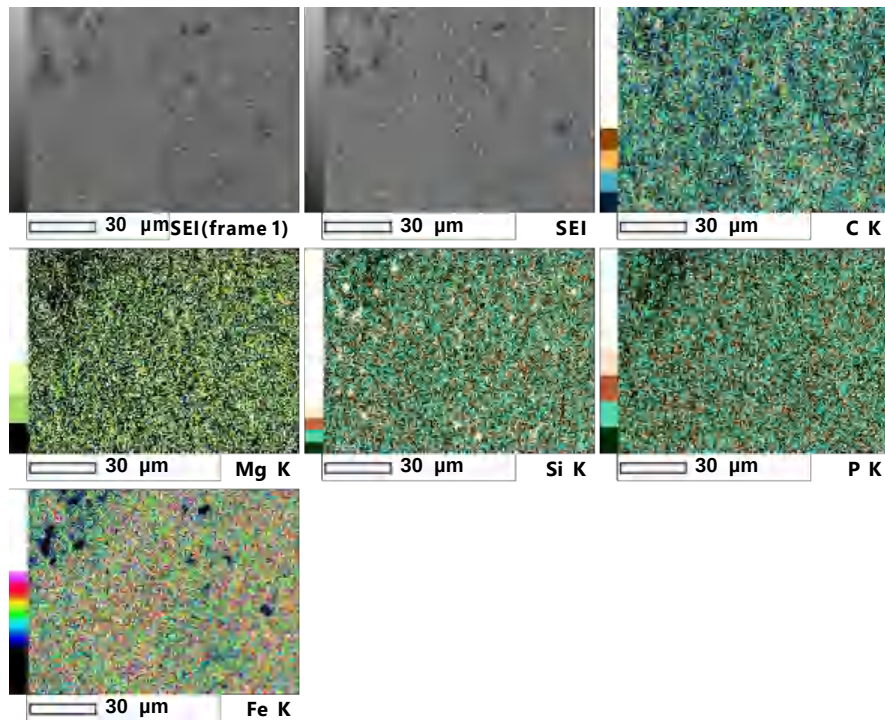


30 µm

Fe K

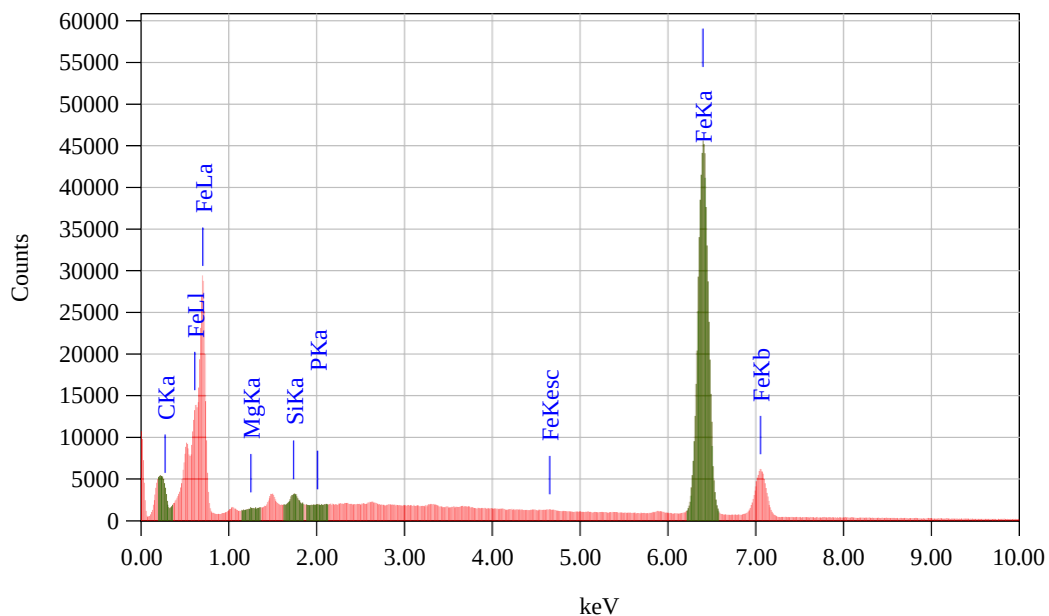


Optimized using
trial version
www.balesio.com



Date	: 6/14/2023
Resolution	: 256 x 192

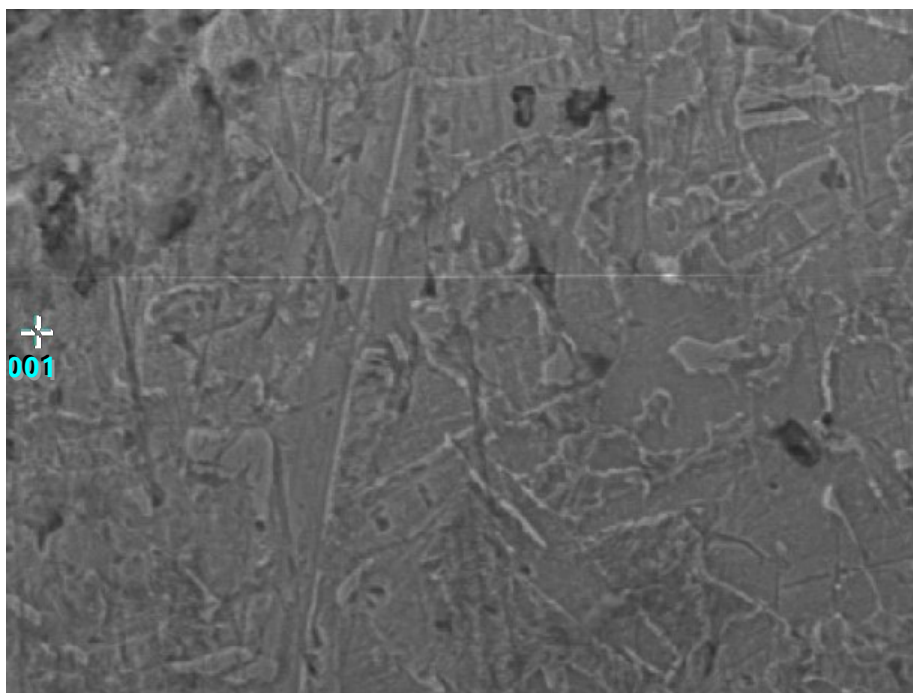
Instrument	: JCM-6000PL
Acc. Volt.	: 15 kV
Magnification	: x 1,000
Dwell Time	: 0.20 msec.
Sweep Count	: 50



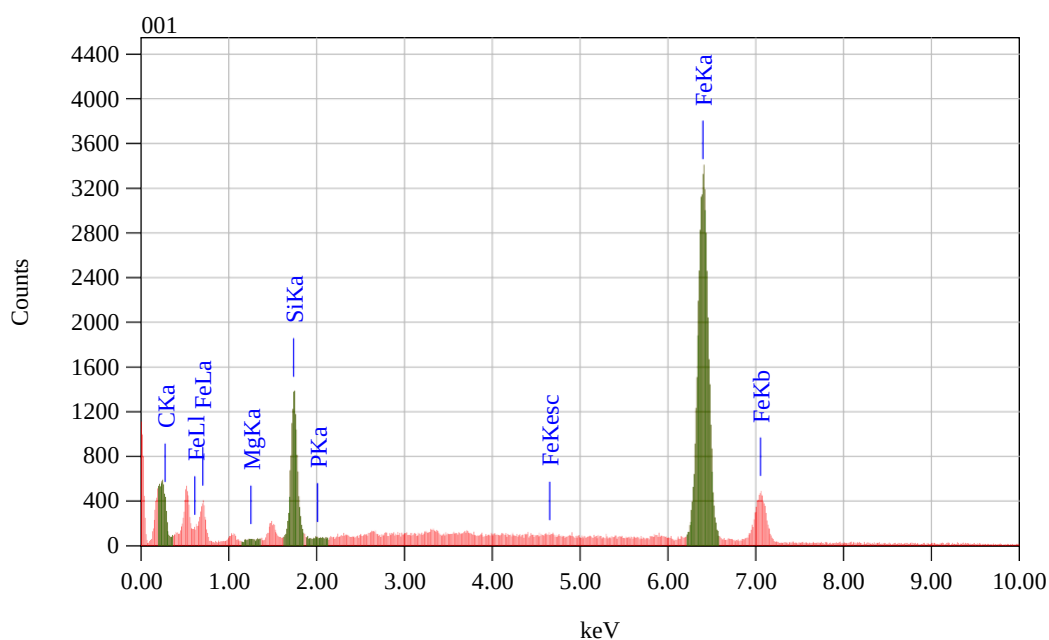
Acquisition Parameter	
Instrument	: JCM-6000PLUS
Acc. Voltage	: 15.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T3
Real Time	: 491.52 sec
Live Time	: 477.20 sec
Dead Time	: 2 %
Counting Rate	: 5054 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV



Optimized using
trial version
www.balesio.com



Title : IMG1
 Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/06/14
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter
 Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.47 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 2 %
 Counting Rate: 3168 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

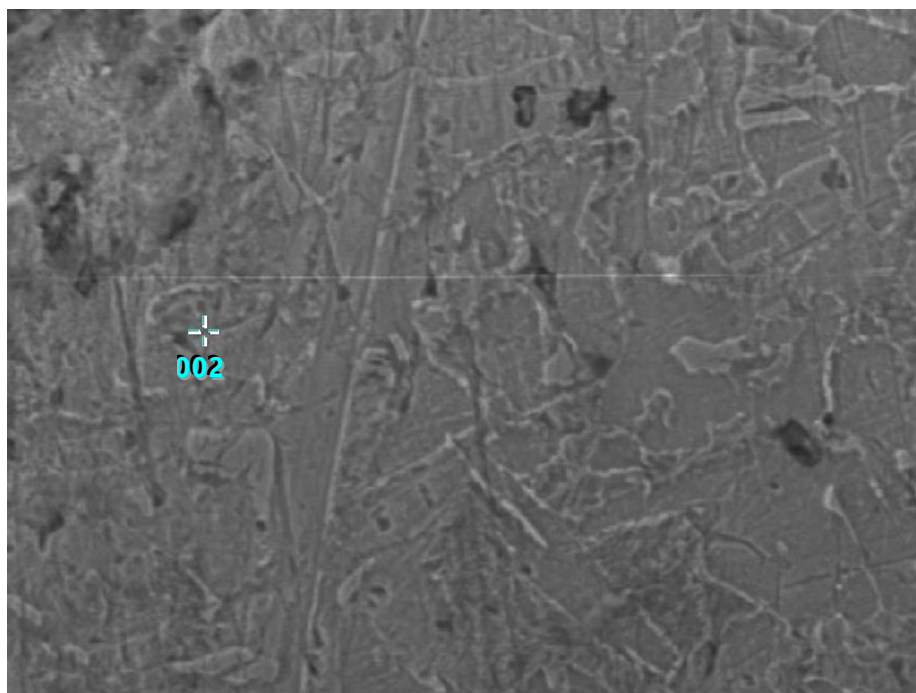
Fitting Coefficient : 0.0858

Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	0.73	567.16	0.02	4.16	C	0.73	0.00	0.8276
O		24.77					ND		
Mg K	1.253	0.03	93.16	0.02	0.10	MgO	0.06	0.02	0.2406
Si K	1.739	3.94	9717.99	0.14	9.57	SiO2	8.43	2.17	0.2602
P K	2.013	0.06	120.46	0.03	0.06	P2O5	0.13	0.03	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	70.46	45216.15	0.59	86.11	FeO	90.65	19.56	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	21.78	

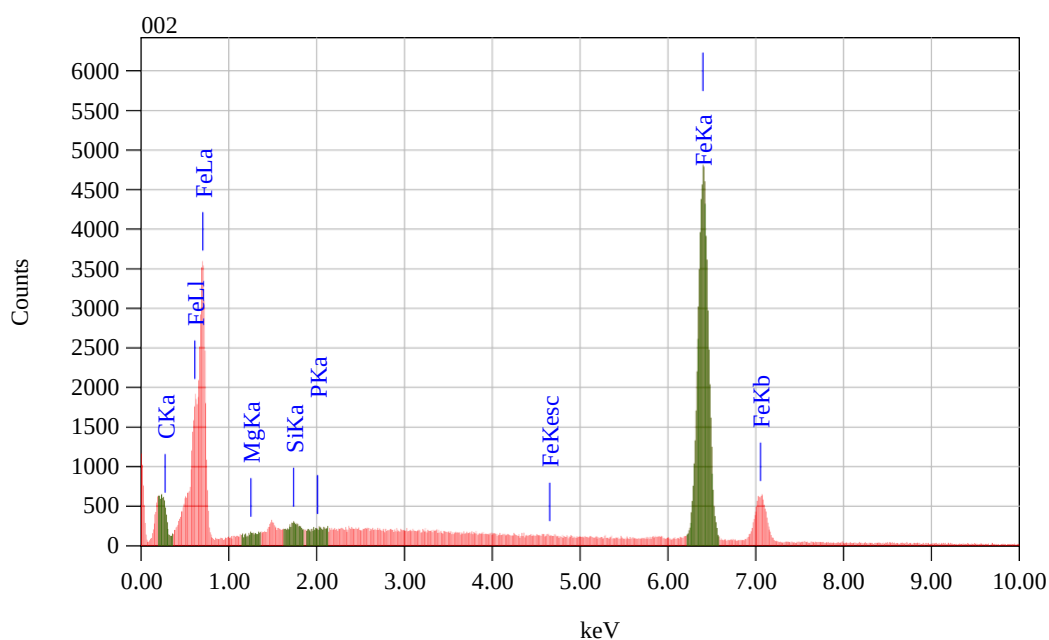


Optimized using
 trial version
www.balesio.com



Title : IMG1

Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/06/14
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter

Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.46 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 2 %
 Counting Rate: 5160 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

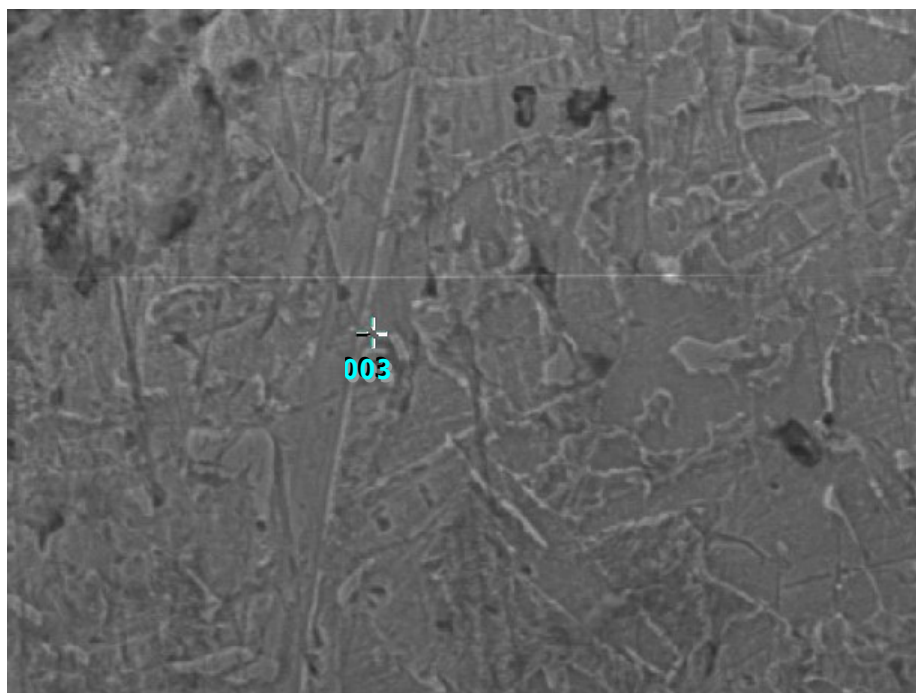
Fitting Coefficient : 0.0505

Total Oxide : 24.0

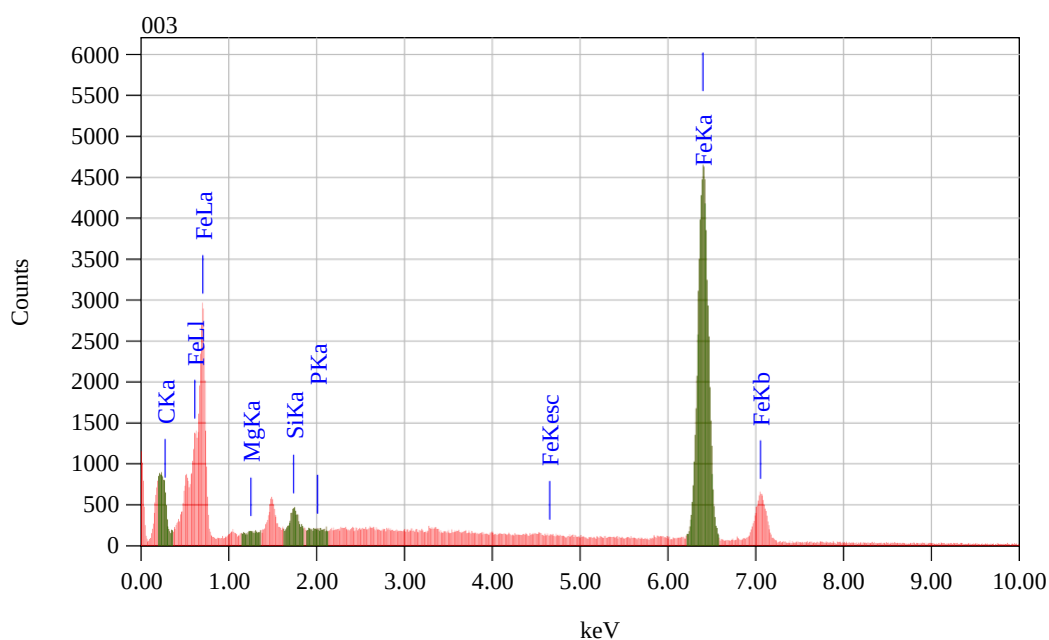
Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	0.72	734.04	0.02	4.17	C	0.72	0.00	0.8276
O		22.25				ND			
Mg K	1.253	0.05	178.96	0.02	0.15	MgO	0.09	0.04	0.2406
Si K	1.739	0.17	546.88	0.04	0.42	SiO2	0.36	0.10	0.2602
P K	2.013	0.02	57.91	0.04	0.02	P2O5	0.05	0.01	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	76.78	64443.69	0.54	95.24	FeO	98.78	23.73	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	23.88	



Optimized using
 trial version
www.balesio.com



Title : IMG1
Instrument : JCM-6000PLUS
Volt : 15.00 kV
Mag. : x 1,000
Date : 2023/06/14
Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter
Instrument : JCM-6000PLUS
Acc. Voltage : 15.0 kV
Probe Current: 1.00000 nA
PHA mode : T3
Real Time : 51.48 sec
Live Time : 50.00 sec
Dead Time : 2 %
Counting Rate: 5133 cps
Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

Fitting Coefficient : 0.0646

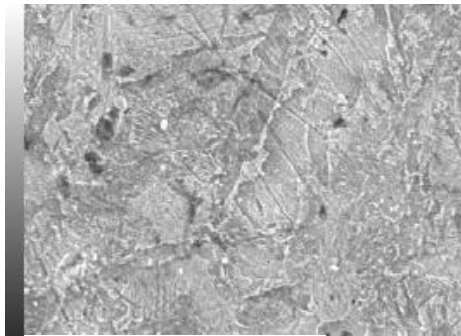
Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	0.69	692.39	0.02	3.99	C	0.69	0.00	0.8276
O		22.54				ND			
Mg K	1.253	0.05	184.13	0.02	0.15	MgO	0.09	0.04	0.2406
Si K	1.739	0.58	1857.41	0.06	1.44	SiO2	1.25	0.35	0.2602
P K	2.013	0.03	70.42	0.04	0.03	P2O5	0.06	0.01	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	76.11	62972.00	0.54	94.38	FeO	97.91	23.22	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	23.62	

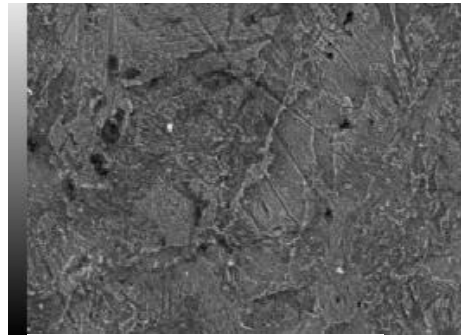


Optimized using
trial version
www.balesio.com

View010



30 µm SEI(frame1)



30 µm SEI



30 µm C K



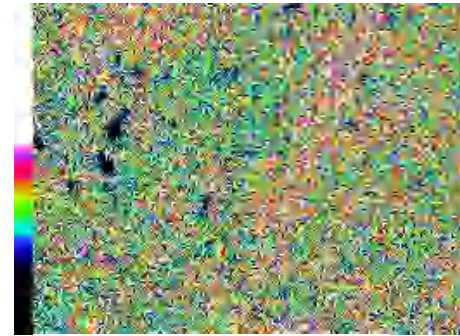
30 µm Mg K



30 µm Si K



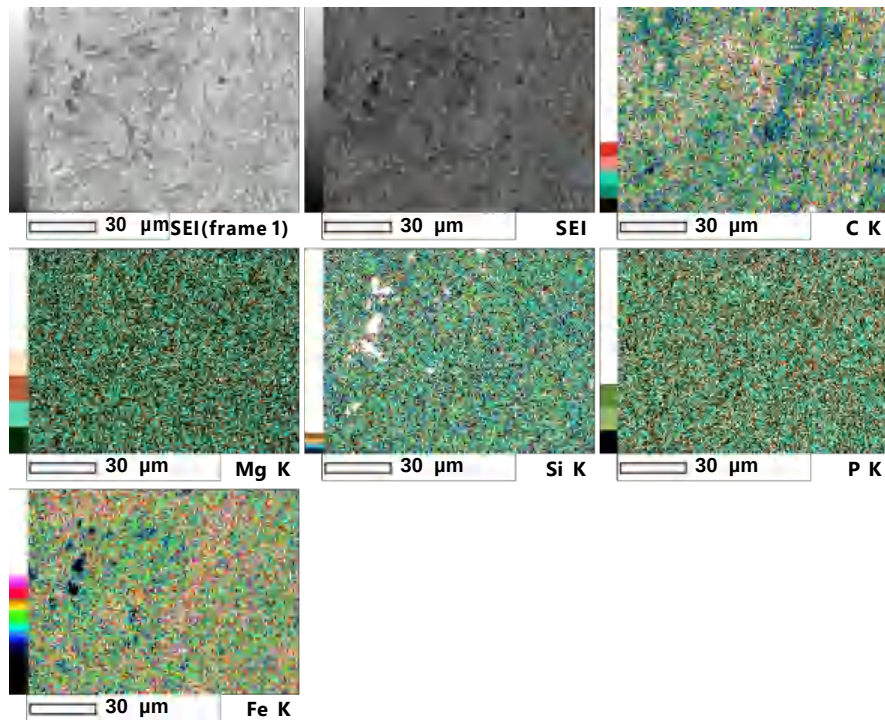
30 µm P K



30 µm Fe K

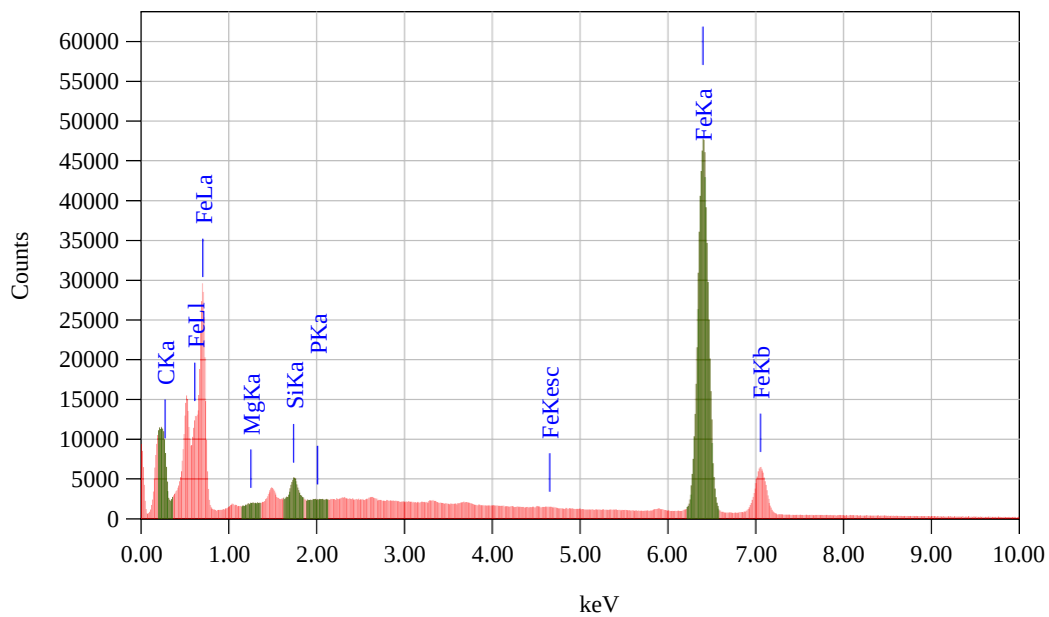


Optimized using
trial version
www.balesio.com



Date	: 6/13/2023
Resolution	: 256 x 192

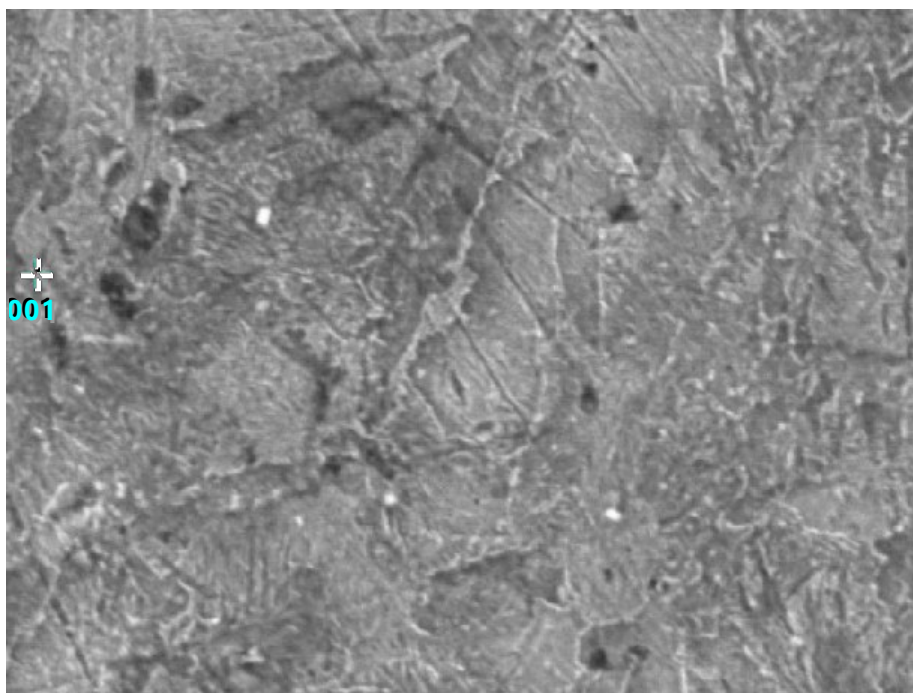
Instrument	: JCM-6000PL
Acc. Volt.	: 15 kV
Magnification	: x 1,000
Dwell Time	: 0.20 msec.
Sweep Count	: 50



Acquisition Parameter	
Instrument	: JCM-6000PLUS
Acc. Voltage	: 15.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T3
Real Time	: 491.52 sec
Live Time	: 477.62 sec
Dead Time	: 2 %
Counting Rate	: 5847 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

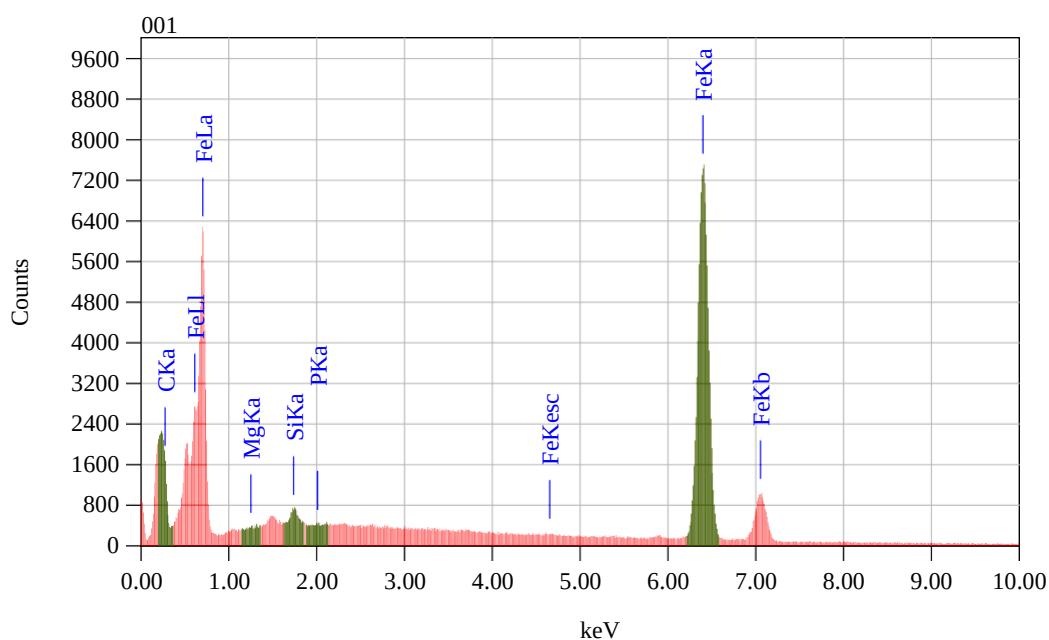


Optimized using
trial version
www.balesio.com



Title : IMG1

Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/06/13
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter

Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.77 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 3 %
 Counting Rate: 9172 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

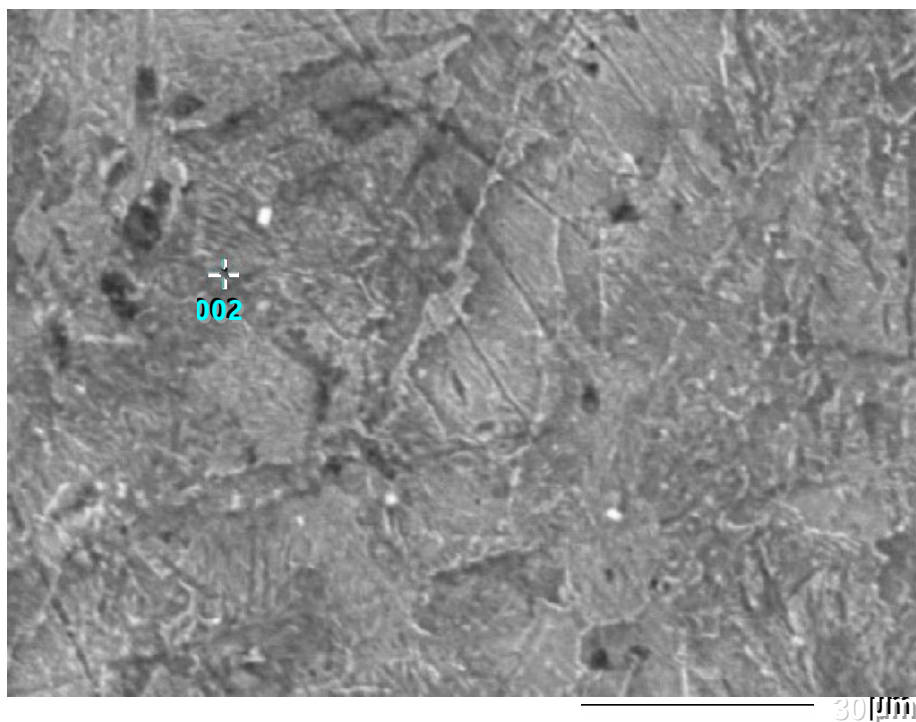
Fitting Coefficient : 0.0608

Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	1.26	2031.37	0.02	7.10	C	1.26	0.00	0.8276
O		22.29					ND		
Mg K	1.253	0.02	125.14	0.02	0.06	MgO	0.04	0.02	0.2406
Si K	1.739	0.42	2159.75	0.04	1.01	SiO2	0.90	0.26	0.2602
P K	2.013	0.02	105.21	0.03	0.03	P2O5	0.06	0.01	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	75.97	101043.30	0.43	91.79	FeO	97.74	23.43	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	23.72	

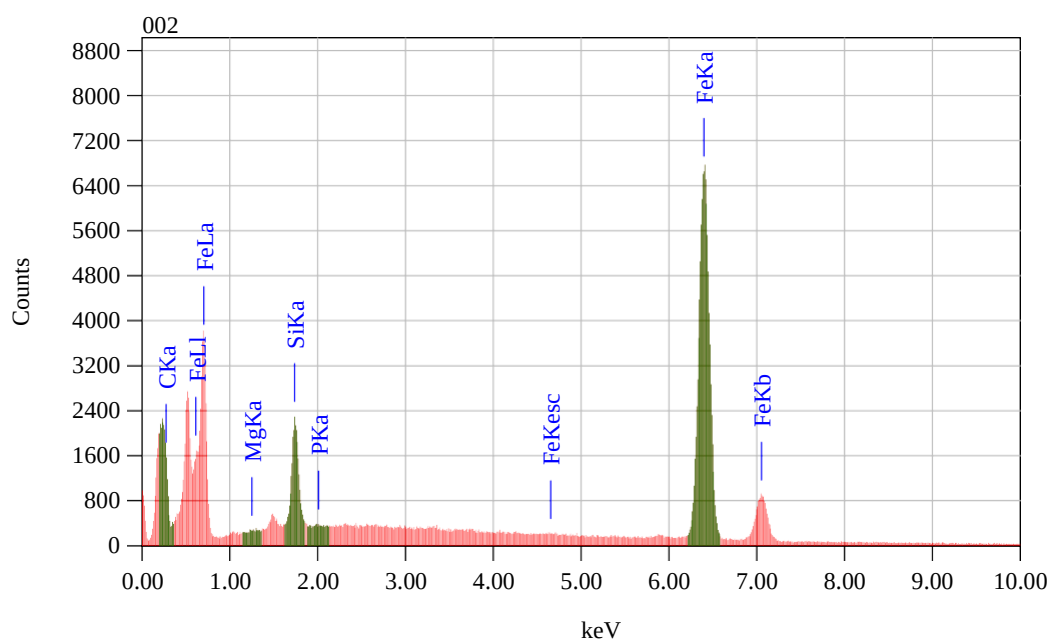


Optimized using
 trial version
www.balesio.com



Title : IMG1

Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/06/13
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter

Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.69 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 3 %
 Counting Rate: 8356 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

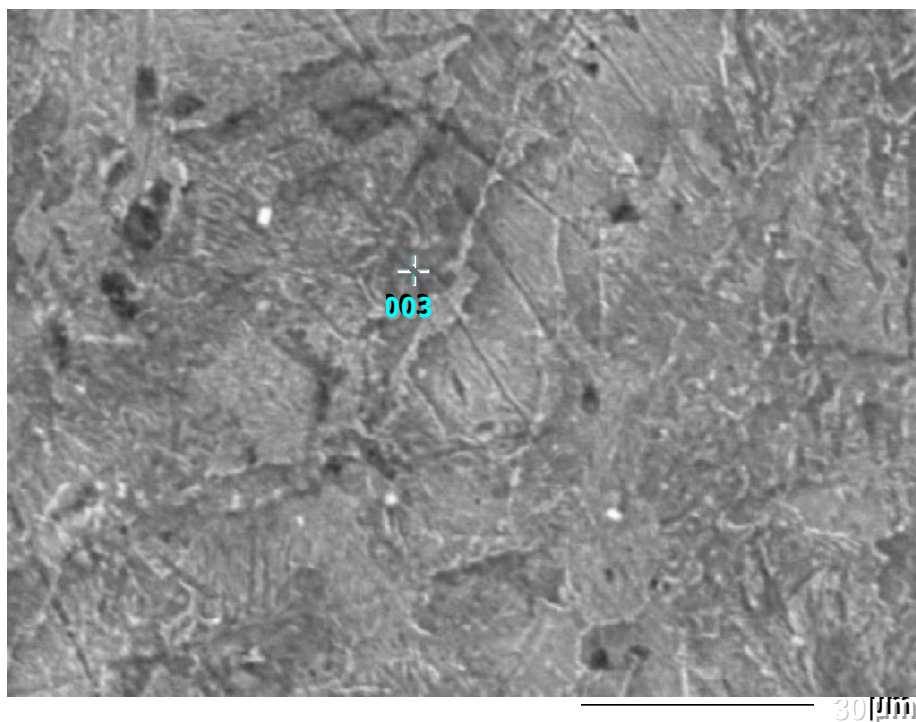
Fitting Coefficient : 0.0901

Total Oxide : 24.0

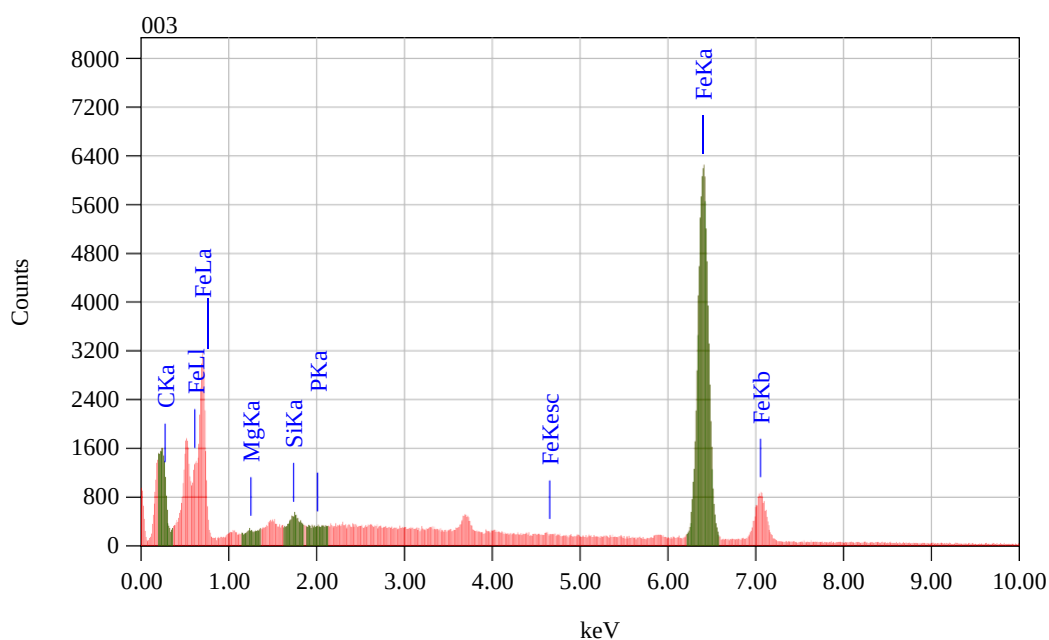
Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	1.14	1735.15	0.02	6.39	C	1.14	0.00	0.8276
O		23.95				ND			
Mg K	1.253	0.04	204.60	0.02	0.11	MgO	0.06	0.03	0.2406
Si K	1.739	2.85	13798.00	0.09	6.83	SiO2	6.10	1.63	0.2602
P K	2.013	0.04	177.42	0.03	0.05	P2O5	0.10	0.02	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	71.97	90562.46	0.43	86.63	FeO	92.59	20.66	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	22.34	



Optimized using
 trial version
www.balesio.com



Title : IMG1
 Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/06/13
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter
 Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.60 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 3 %
 Counting Rate: 7130 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

Fitting Coefficient : 0.0762

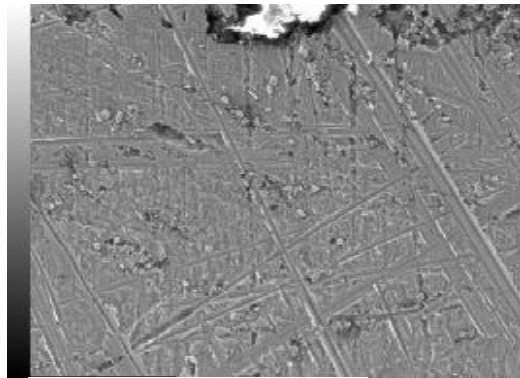
Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	0.98	1309.78	0.02	5.57	C	0.98	0.00	0.8276
O		22.26				ND			
Mg K	1.253	0.07	299.62	0.02	0.18	MgO	0.11	0.05	0.2406
Si K	1.739	0.28	1193.82	0.04	0.68	SiO2	0.60	0.17	0.2602
P K	2.013	0.01	34.52	0.03	0.01	P2O5	0.02	0.01	0.3088
Fe K (Ref.)	6.398	76.40	84620.01	0.47	93.55	FeO	98.29	23.60	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	23.82	



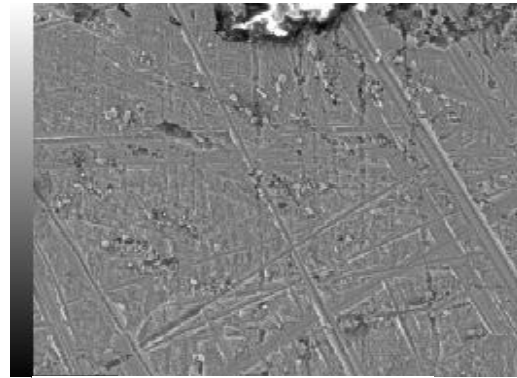
Optimized using
 trial version
www.balesio.com

View051



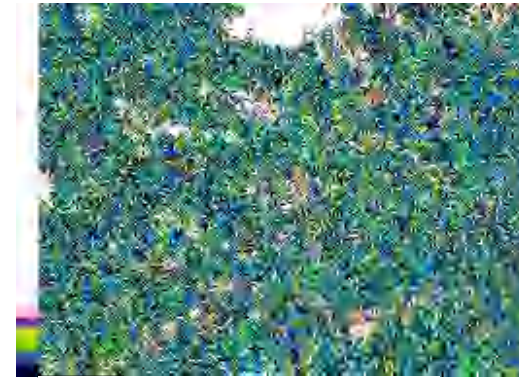
30 μm

SEI(frame 1)



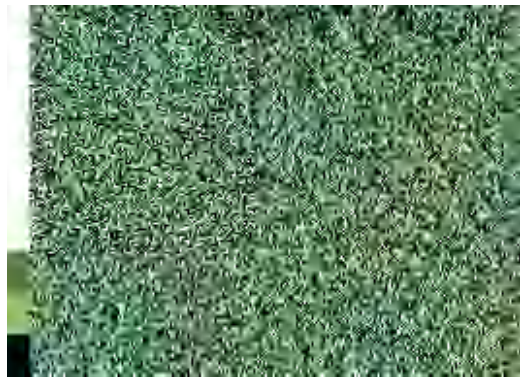
30 μm

SEI



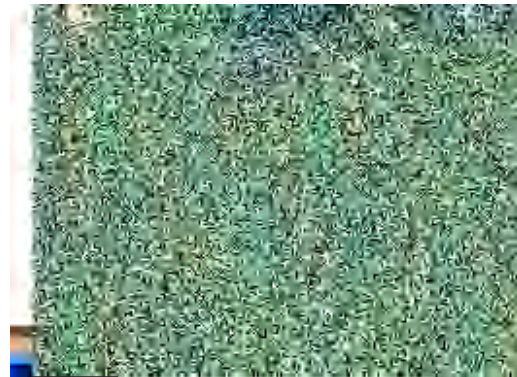
30 μm

C K



30 μm

Mg K



30 μm

Si K



30 μm

P K

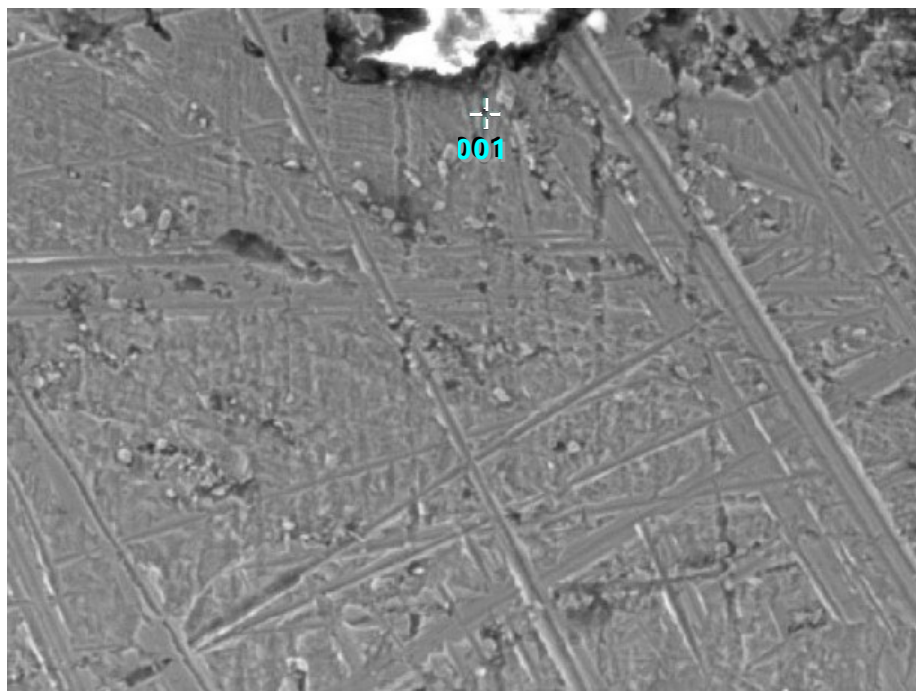


30 μm

Fe K

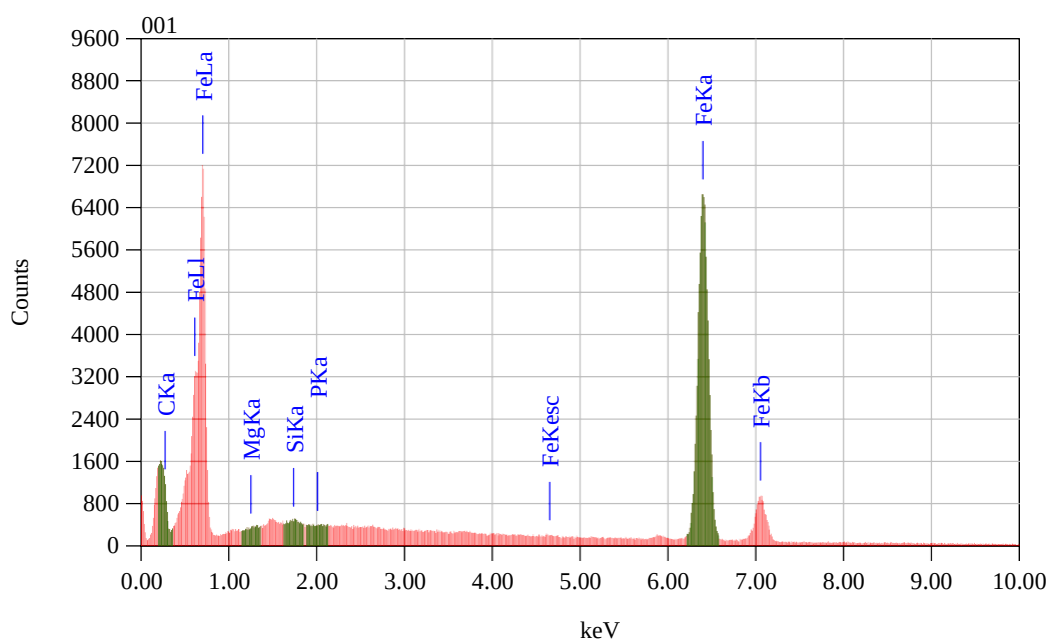


Optimized using
trial version
www.balesio.com



Title : IMG1

Instrument : JCM-6000PLUS
 Volt : 15.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2023/08/02
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter

Instrument : JCM-6000PLUS
 Acc. Voltage : 15.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.72 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 3 %
 Counting Rate: 8464 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

Thin Film Standardless Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

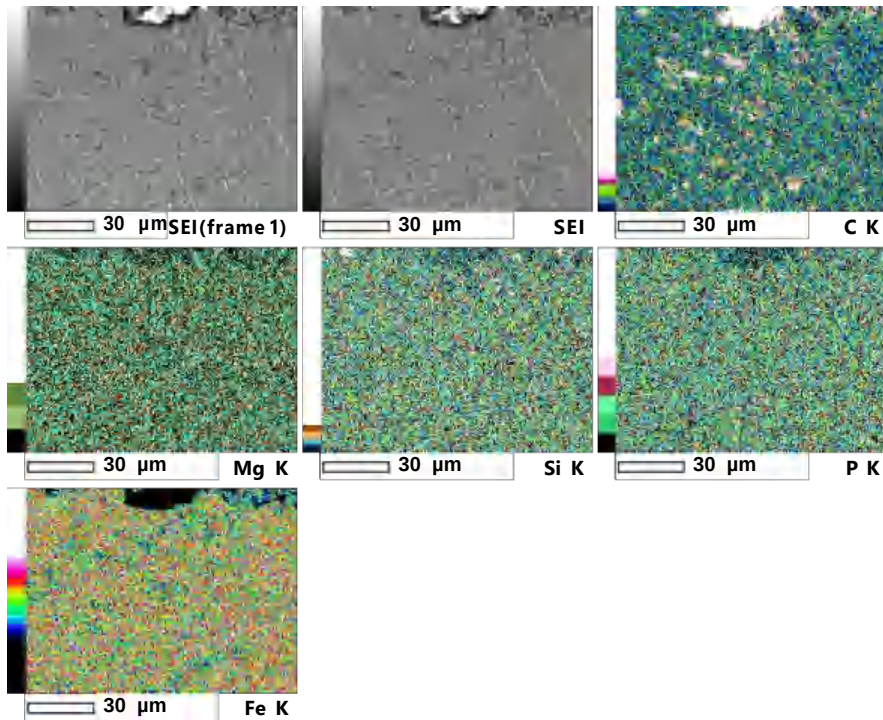
Fitting Coefficient : 0.0498

Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Counts	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	0.88	1247.00	0.02	5.02	C	0.88	0.00	0.8276
O		22.14				ND			
Mg K	1.253	0.01	36.68	0.02	0.02	MgO	0.01	0.01	0.2406
Si K	1.739	0.10	463.56	0.04	0.25	SiO2	0.22	0.06	0.2602
P K		ND			ND		ND		
Fe K (Ref.)	6.398	76.87	90615.20	0.46	94.71	FeO	98.89	23.87	1.0000
Total		100.00			100.00		100.00	23.94	

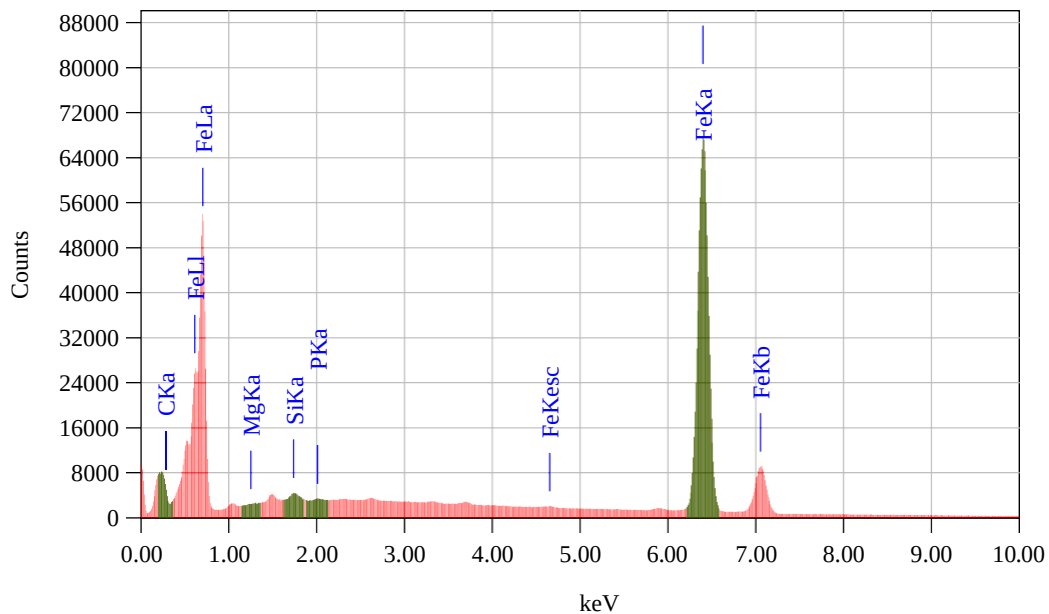


Optimized using
 trial version
www.balesio.com



Date	: 8/2/2023
Resolution	: 256 x 192

Instrument	: JCM-6000PL
Acc. Volt.	: 15 kV
Magnification	: x 1,000
Dwell Time	: 0.20 msec.
Sweep Count	: 50



Acquisition Parameter	
Instrument	: JCM-6000PLUS
Acc. Voltage	: 15.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T3
Real Time	: 491.52 sec
Live Time	: 475.05 sec
Dead Time	: 3 %
Counting Rate	: 7933 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV



Optimized using
trial version
www.balesio.com