ANALISIS KUANTITATIF METALOGRAFI BERDASARKAN PENGOLAHAN CITRA MENGGUNAKAN WOLFRAM MATHEMATICA

Yuant Tiandho[1,a], Assyira Athavidya Tiandho[2], Fitri Afriani[1]

[1]Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia
[2]Villa Faris Jam's, Selindung, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

[a)] *email korespondensi: yuant@ubb.ac.id*

ABSTRAK

Metalografi merupakan salah satu pengujian yang banyak dilakukan dalam proses fabrikasi logam. Dengan metalografi dapat diperoleh informasi terkait mikrostruktur logam yang kelak dapat digunakan untuk menjelaskan berbagai karakteristik logam. Meskipun saat ini citra yang diperoleh pada analisis metalografi, baik menggunakan mikroskop optik maupun mikroskop elektron, sudah berupa citra digital tetapi belum seluruh alat tersebut dilengkapi dengan perangkat penunjang yang dapat digunakan untuk melakukan pengolahan dan analisis citra secara kuantitatif. Sehingga analisis yang dilakukan cenderung hanya pada analisis visual dan pengukuran-pengukurannya pun dilakukan secara manual. Dalam makalah ini kami melakukan analisis metalografi berdasarkan metode pengolahan citra dengan menggunakan perangkat lunak Wolfram Mathematica. Dari analisis yang telah dilakukan dapat ditentukan presentase dari beberapa fasa penyusun paduan logam, ukuran butir, aspek rasio, serta sebaran distribusi ukuran butir yang terdapat dalam logam.

Kata kunci: *metalografi, pengolahan citra, Wolfram Mathematica*

PENDAHULUAN

Metalografi merupakan analisis dari suatu struktur dan komponen fisis suatu logam atau paduan yang dapat dilihat secara langsung secara visual maupun dengan bantuan peralatan seperti mikroskop optik, mikroskop elektron, dan difraksi sinar-x. Analisis metalografi secara kuantitatif merupakan pengujian yang cukup penting dalam proses fabrikasi suatu logam karena dapat digunakan untuk menentukan fasa yang terbentuk, kekompakan struktur, ukuran butir, dan berbagai karakteristik fisis lainnya (Malage et al., 2015; Lentz et al., 2015). Informasi-informasi tersebut bersifat penting karena dari data itu kita dapat memprediksi kekerasan (Ahmed, et al., 2016), ketangguhan (Maj & Pietrzak, 2015), dan ketahanan suatu logam terhadap suatu proses degradasi (Pan et al., 2017), serta dapat menganalisis kerusakan yang muncul pada permukaannya (Dunn, 2016).

Seiring dengan kemajuan teknologi instrumentasi, saat ini kita dapat memperoleh citra hasil pengamatan mikroskop (optik atau elektron) dalam bentuk digital. Sehingga memungkinkan kita untuk dapat menganalisis citra tersebut secara digital pula (Povstyanoi et al., 2015). Namun pada kenyataannya, tidak seluruh instrumentasi untuk mengambil citra memiliki perangkat penunjang untuk dapat melakukan analisis citra secara langsung. Sehingga kebanyakan analisis metalografi cenderung dilakukan secara visual ataupun jika dilakukan pengukuran akan dilakukan secara manual. Tentu saja apabila analisis dilakukan secara visual informasi data kuantitatif akan sulit untuk diperoleh, misalkan terkait jumlah presentase suatu fasa yang terdapat dalam suatu logam. Terlebih jika jumlah obyek yang akan dianalisis besar, bentuknya tidak beraturan, dan terdapat objek yang saling bertindihan. Selain itu, pengukuran secara manual juga membutuhkan waktu yang cukup lama serta seringkali pengukuran yang dilakukan bersifat tidak menyeluruh. Oleh karena itu perlu dikembangkan sistem pengolahan hasil metalografi otomatis yang andal untuk meningkatkan akurasi dan mempersingkat waktu pengukuran (Ardisasmita, 2000).

Wolfram Mathematica (juga disebut dengan Mathematica) adalah suatu perangkat lunak komputasi matematik simbolik atau komputasi aljabar yang telah digunakan secara luas dalam berbagai kajian sains, teknik, dan matematika. Perangkat lunak ini disusun oleh Stephan Wolfram dan dikembangkan oleh Wolfram Research of Champaign. Bahasa yang digunakan dalam Wolfram Mathematica adalah Wolfram Language yang telah dikenal sebagai bahasa pemrograman yang relatif sederhana dan mudah dipahami (Wolfram, 2003; Naa & Suroso, 2013).

Saat ini, selain digunakan untuk komputasi yang berbasis pada bidang matematika, Wolfram Language juga telah menyediakan dukungan yang mendalam pada pemrosesan dan analisis citra. Wolfram Mathematica memungkinkan citra dalam bentuk visual untuk dianalisis dan dimanipulasi secara langsung, baik secara interaktif maupun dalam program (McCaslin & Kesireddy, 2015; Tiandho, 2017).

Di dalam makalah ini kami akan menggunakan Wolfram Mathematica untuk menganalisis citra hasil metalografi suatu logam. Analisis kuantitatif yang akan kami pelajari terdiri dari analisis presentase fasa dalam suatu paduan, ukuran butir, serta distribusi ukuran butirnya. Meskipun saat ini telah dikenal beberapa perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mengolah citra seperti ImageJ atau Fiji. Tetapi tanpa *plugin* tambahan perangkat lunak tersebut kurang baik dalam memberikan hasil segmentasi citra. Beberapa metode yang telah dikembangkan untuk mengatasi masalah

tersebut telah diajukan seperti dengan memodifikasi algoritma yang telah dilakukan oleh da Costa tetapi tetap saja masih menyisakan masalah dalam menentukan batasan butir suatu fasa dalam citra metalografik (da Costa et al., 2015). Selain itu, tentu saja, untuk dapat melakukan modifikasi algoritma dalam suatu program atau membuat *plugin* tambahan dibutuhkan kemampuan bahasa pemrograman. Adapun pengembangan metode pengolahan citra metalografik berbasis Wolfram Mathematica yang kami ajukan dalam makalah ini bertujuan untuk menghasilkan metode pengolahan citra yang relatif sederhana, ringan, dan akurat. Karena seperti diketahui, Wolfram Mathematica menyediakan: (i) antar muka yang *user-friendly*, (ii) kemampuan untuk analisis citra melalui sistem dialog, (iii) kemampuan menampilkan fungsi *layer* pemrosesan citra di atas tiap citra, dan (iv) kemampuan untuk menampilkan *preview* dari hasil pengolahan citra dan pengubahan parameter fungsi analisis citra dapat dilakukan secara dinamis(McCaslin & Kesireddy, 2015).

METODE PENELITIAN

Citra yang akan kami analisis dalam makalah ini merupakan hasil metalografi dari paduan Fe-C pada buku yang ditulis oleh Callister dan Rethwisch (Callister & Rethwisch, 2010). Terdapat dua citra paduan Fe-C yang akan kami analisis: (1) citra mikroskop elektron dari martensite setelah tempering yang terdiri dari fasa cementite dan α-ferrite dan (2) citra mikroskop optik baja yang memiliki struktur spheroidite yang juga terdiri dari fasa cementite dan α-ferrite. Pemilihan dua citra yang berasal dari jenis mikroskop yang berbeda ini ditujukan untuk menguji keandalan analisis citra Wolfram Mathematica pada dua jenis mikrograf tersebut. Namun demikian, prinsip dasar penggunaan Wolfram Mathematica untuk analisis kuantitatif hasil metalografi logam lainnya bersifat analogi.

Untuk dapat menghitung presentase fasa yang terdapat di dalam suatu paduan kami memanfaatkan fakta adanya perbedaan warna dari fasa yang berbeda dalam proses metalografi. Sehingga dengan proses binerisasi gambar maka kami dapat melihat dengan jelas perbedaan dari kedua fasa tersebut. Perbandingan presentase fasa diperoleh berdasarkan perbandingan jumlah piksel berwarna gelap atau terang dengan seluruh jumlah piksel citra hasil metalografi. Secara matematis dituliskan sebagai,

$$\%T = \frac{NT}{Ntotal} \qquad (1)$$

dan

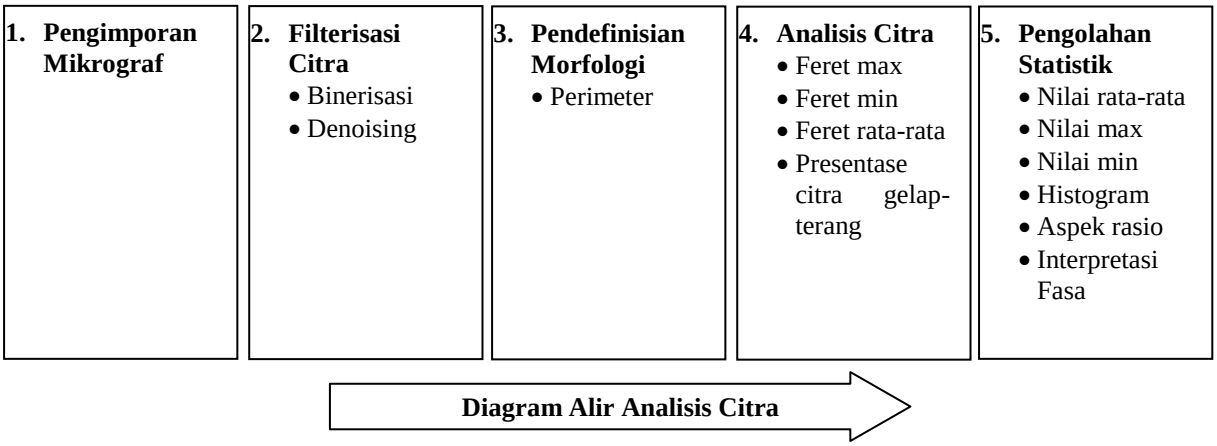
$$\%G = \frac{NG}{Ntotal} \qquad (2)$$

dimana $\%T$ adalah presentase fasa berwarna terang, $\%G$ adalah presentase fasa berwarna gelap, *NT* adalah jumlah piksel terang, *NG* adalah jumlah piksel gelap, dan *Ntotal* adalah total jumlah piksel.

Untuk dapat melakukan analisis ukuran butir, sebelumnya citra diolah agar diketahui dengan jelas batas antar butirnya. Proses ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan Wolfram Mathematica dalam mendeskripsikan perimeter dari suatu butir. Setelah morfologi dari perimeter sesuai maka ukuran dari tiap butir dapat ditentukan dengan program untuk menghitung panjang kalipernya. Kami menggunakan dua jenis kaliper: panjang kaliper (diameter Feret maksimum) dan lebar kaliper (diameter Feret minimum). Karena analisis citra dalam Wolfram Mathematica merupakan analisis dalam satuan piksel maka diperlukan hubungan antara skala yang tertera dalam gambar metalografi dengan nilai piksel-nya. Dengan demikian, kami dapat memperoleh informasi dari seluruh butir yang terdapat dalam citra dan dapat menggunakannya untuk analisis secara statistik. Adapun untuk melihat ukuran kesimetrisan butir kami menggunakan nilai aspek rasio butir rata-rata yang ditentukan berdasarkan perbandingan nilai diameter Feret minimum dengan nilai diameter Feret maksimum dari keseluruhan butir ,

$$AR = \frac{1}{N}\frac{\sum_i F_{\min i}}{\sum_i F_{\max i}} \qquad (3)$$

Nilai aspek rasio berada pada rentang 0 sampai 1, dimana nilai 1 menyatakan butir bersifat simetris. Secara skematis, diagram alir dari metode percobaan dalam penelitian ini terdapat pada Gambar 1.



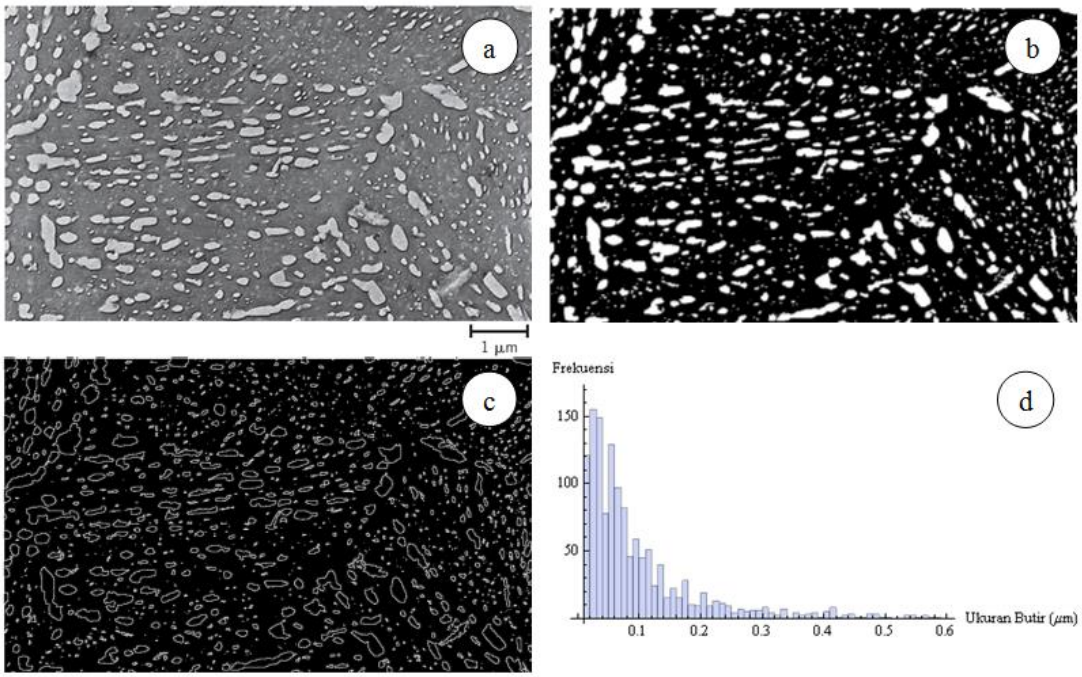
Gambar 1. Skema diagram alir analisis citra untuk metalografi kuantitatif

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengolahan citra pada mikrograf elektron dari martensite setelah tempering maka diperoleh hasil seperti pada Gambar 2. Pada Gambar asli hasil metalografi (Gambar 2 (a)), fasa cementite ditunjukkan oleh butir-butir partikel kecil yang memiliki warna lebih terang sedangkan fasa α-ferrite ditunjukkan oleh matriks yang memiliki warna relatif lebih gelap. Dengan proses binerisasi maka perbedaan

antara fasa cementite dengan fasa α-ferrite tampak semakin tajam. Sehingga dengan menganalisis jumlah piksel gelap dan piksel terang dalam citra dapat disimpulkan bahwa presentase fasa dalam paduan logam tersebut adalah, 80,46% α-ferrite dan 19,54% adalah cementite.

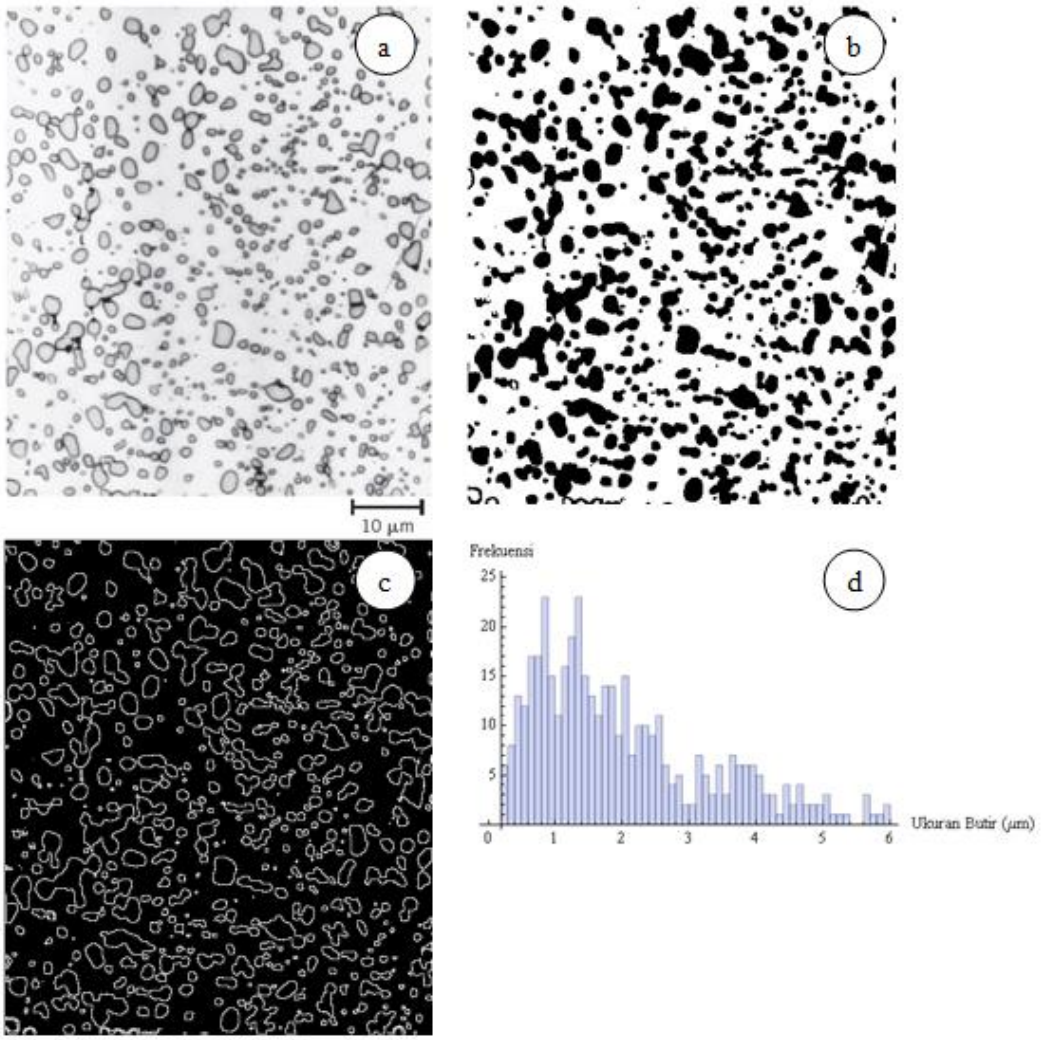
Setelah dilakukan segmentasi gambar sesuai dengan morfologi perimeter masing-masing butir (Gambar 2 (c)) dan menerapkan program untuk menghitung kaliper, kami memperoleh bahwa butiran cementite memiliki rentang diameter Feret maksimum (panjang kaliper) mulai dari 0,018 μm – 1,234 μm, dengan nilai rata-rata diameter Feret maksimum adalah 0,105 μm. Adapun untuk diameter Feret minimumnya (lebar kaliper) berada pada rentang: 0,013 μm – 0,473 μm, dengan nilai rata-rata adalah 0,058 μm. Dengan membandingkan nilai diameter Feret maksimum dan diameter Feret minimum keseluruhan butir (terdapat 1351 butir) maka dapat diperoleh bahwa aspek rasio butiran cementite adalah 0,610 Nilai yang tidak terlampau jauh juga diperoleh ketika aspek rasio langsung ditentukan berdasarkan rata-rata diameter Feretnya: 0,554. Dari nilai aspek rasio tersebut dapat disimpulkan bahwa butir cementite pada citra yang diperoleh bersifat tidak simetris. Hal ini juga dengan mudah dapat dilihat berdasarkan bentuk butirnya secara visual. Untuk mengamati sebaran distribusi ukuran butir cementite dapat dilakukan dengan memplot data ukuran butir keseluruhan partikel menggunakan histogram seperti pada Gambar 2 (d). Dari hasil segmentasi yang telah diperoleh dalam metode ini dapat dilihat bahwa metode ini dapat mendeskripsikan butiran-butiran fasa dengan sangat baik. Jika dibandingkan dengan metode threshold yang dikembangkan menggunakan imageJ (da Costa et al., 2015), hasil segmentasi citra dalam makalah ini dapat memberikan citra dengan *noise* yang relatif lebih kecil. Selain itu untuk dapat memperoleh hasil segmentasi dalam metode ini tidak dibutuhkan *plugin* tambahan lagi. Seluruh perintah dalam metode ini telah tersaji dalam perangkat lunak Wolfram Mathematica.



Gambar 2. (a) mikrograf elektron martensite setelah tempering yang terdiri dari cementite (partikel kecil) dan α-ferrite (matriks), perbesaran 9300× (Callister & Rethwisch, 2010), (b) hasil binerisasi citra metalografi, (c) morfologi perimeter butir, (d) histogram ukuran butir.

Pada Gambar 3 disajikan hasil dari pengolahan citra mikrograf optik baja dengan mikrostruktur spheroidite yang terdiri dari fasa cementite dan α-ferrite. Fasa cementite pada Gambar 3(a) merupakan partikel-partikel kecil yang berwarna relatif lebih gelap sedangkan fasa α-ferrite adalah matriksnya yang relatif lebih terang. Untuk dapat melakukan perhitungan presentase fasa maka citra mikrograf optik yang bersifat *grayscale* tersebut dikonversi menjadi citra biner seperti pada Gambar 3(b). Berdasarkan perbandingan jumlah piksel gelap dan piksel terang maka dapat diketahui bahwa jumlah fasa cementite adalah 30,89% sedangkan α-ferrite adalah 69,11%.

Dengan melakukan segmentasi citra sehingga diperoleh morfologi perimeter dari butiran cementite seperti pada Gambar 3(c) kami dapat mengukur rentang diameter Feret maksimum (panjang kaliper) terletak pada 0,218 μm – 22,749 μm dengan nilai rata-ratanya adalah 2,324 μm. Rentang diameter Feret minimum (lebar kaliper) dari butiran cementite pada citra ini dimulai dari 0,154 μm – 11,847 μm dengan nilai rata-rata 1,498 μm. Adapun nilai aspek rasio rata-rata dari keseluruhan butir cementite pada mikrograf ini adalah 0,640. Sedangkan dengan menggunakan perbandingan diameter Feret maksimum rata-rata dengan diameter Feret minimum rata-rata diperoleh nilai aspek rasionya adalah 0,644. Jika dibandingkan dengan perhitungan nilai asperk rasio rata-rata dari keseluruhan butir nilai tersebut tidak berbeda begitu jauh. Apabila dibandingkan dengan Gambar 2, nilai aspek rasio dari mikrograf pada Gambar 3 memiliki nilai yang lebih kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa butir cementite pada Gambar 3 relatif lebih simetris. Hal ini juga dapat dibuktikan melalui pengamatan visual yang menunjukkan bahwa butiran cementite pada Gambar 3 secara umum lebih bulat dibandingkan butiran cementite pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Mikrograf optik baja dengan mikrostruktur spheroidite yang terdiri dari cementite (partikel kecil) dan α-ferrite (matriks), perbesaran 1000× (Callister & Rethwisch, 2010), (b) hasil binerisasi citra metalografi, (c) morfologi perimeter butir, (d) histogram ukuran butir.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dijabarkan di atas maka dapat dilihat bahwa Wolfram Mathematica memiliki keandalan yang cukup baik untuk digunakan sebagai perangkat analisis kuantitatif metalografi. Untuk memperoleh data presentase fasa di dalam paduan dapat dilakukan berdasarkan perbandingan jumlah piksel warna gelap dan terangnya. Untuk menentukan ukuran butir suatu fasa terlebih dahulu perlu dilakukan segmentasi citra untuk menggambarkan morfologi perimeternya. Penentuan ukuran butir dapat dilakukan dengan menggunakan program pengukuran panjang Feret (baik minimum dan maksimum) sedangkan untuk mengamati kesimetrian butir dalam paduan dapat ditentukan berdasarkan nilai aspek rasionya.

REFERENSI

Ahmed, I. et al., 2016. Microstructural correlation of hardness profile in martensitic stainless stell weldment. *Metallogr. Microstruct. Anal.* , 5(1), pp. 43-49.

Ardisasmita, M., 2000. Pengolahan citra digital dan analisis kuantitatif dalam karakterisasi citra mikroskopik. *J. Mikroskopi dan Mikroanalisis*, 3(1), pp. 25-29.

Callister, W. & Rethwisch, D., 2010. *Materials Science and Engineering an Introduction.* USA: John Wiley & Sons.

daCosta, F.H., Fukugauchi, C.S. & Pereira, M.S. 2015. Metallographic analysis of a TRIP 800 steel using digital image processing. *Materials Science Forum*, 805, pp. 236-241.

Dunn, B., 2016. Metallography applied to spacecraft test failures. In: *Materials and Processes for Spacecraft and High Reliability Applications.* Chichester: SpringerInternational Publishing, pp. 247-328.

Lentz, J., Rottger, A. & Theisen, W., 2015. Solidification and phase formation of alloys in the hypoeutectic region. *Acta Materialia*, Volume 99, pp. 119-129.

Maj, M. & Pietrzak, K., 2015. The reability of the results of the modified low-cycle fatigue test for cast iron evaluated by metallographic studies. *Archives of Foundry Engineering*, 15(1), pp. 41-46.

Malage, A., Rege, P. & Rathod, M., 2015. Automatic quantitative analysis of microstructure of ductile cast iron using digital image processing. *Metall. Mater. Eng.*, 21(3), pp. 155-165.

McCaslin, S. & Kesireddy, A., 2015. Metallographic image processing tools using mathematica manipulate. In: *Innovations and Advances in Computing, Informatics, System Sciences, Networking and Engineering.* Switzerland: Springer International Publishing, pp. 357-363.

Naa, F. & Suroso, A., 2013. Pembelajaran fisika berbasis Wolfram Mathematica 8.0. *Prosiding Seminar Kontribusi Fisika*, pp. 54-60.

Pan, Q. et al., 2017. The study on degradation of stainless stell clad plate used for a shift reactor in coal chemical plant. *Applied Mechanics and Materials*, Volume 853, pp. 311-316.

Povstyanoi, O. et al., 2015. Metallographic analysis and microstructural image processing of sandblasting nozzles produced by powder metallurgy methods. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Volume 54, pp. 234-240.

Tiandho, Y., 2017. Analisis kuantitatif pori berdasarkan pengolahan citra menggunakan Wolfram Mathematica. *Kumpulan Jurnal Ilmu Komputer (KLIK)*, 4(1), pp. 15-23.

Wolfram, S., 2003. *The Mathematica Book (5th ed.).* USA: Wolfram Media.