

Bab IV

Hasil Dan Pembahasan

Pada pengamatan ini, telah dilakukan proses observasi terhadap kekerasan dan struktur mikro baja SS400 dengan perlakuan panas yaitu *pack carburizing*. Pengujian ini membandingkan material SS400 dengan variasi waktu tahan dan fraksi berat *pack carburizing*. Pengambilan data kekerasan dan struktur mikro baja dilakukan menggunakan alat uji kekerasan *Vickers* dan mikroskop optik. Pengamatan nilai kekerasan dan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui secara spesifik pengaruh variasi pengujian.

4.1 Hasil Kekerasan

Dilakukan uji keras dengan metode pengujian keras jenis *vickers*. Pengujian ini dilakukan dengan total tiga indentasi pada masing-masing variasi sampel dengan gaya tekan sebesar 1 Kg.

Tabel 4. 1 Hasil Data Uji Keras

Kode Sampel	Nilai Kekerasan (HV)
1-60A40E	240,9
1-70A30E	243,7
1-80A30E	267,9
2-60A40E	379,5
2-70A30E	401,8
2-80A30E	406,3
3-60A40E	619,2
3-70A30E	663,1
3-80A30E	778,3

Setelah dilakukan pengujian kekerasan pada sampel SS400 yang diberi perlakuan *pack carburizing* selama 1; 2; dan 3 jam dengan tiga variasi fraksi komposisi 60% arang ditambah 40% *energizer*; 70% arang ditambah 30%

energizer; 80% arang ditambah 20% *energizer*, didapatkan nilai kekerasan tertinggi berada pada sampel 3-80A40E sebesar 778,36 HV. Sementara itu, nilai terendah pada kekerasan didapatkan pada sampel 3-60A40E dimana hanya mencapai 240,93 HV. Batas kekerasan untuk Dodos menurut standar adalah 446 HV, sehingga melalui pengujian yang dilakukan, dapat dilihat bahwa perlakuan yang memenuhi *acceptance criteria* merupakan perlakuan dengan waktu tahan 3 jam dikarenakan masing-masing komposisi mewakili nilai yang lebih tinggi dari 446 HV pada pengujian kekerasan. Untuk melihat data secara menyeluruh, dapat dilihat pada tabel 4.1 dimana direpresentasikan mengenai hasil dari total pengujian mengenai kekerasan material.

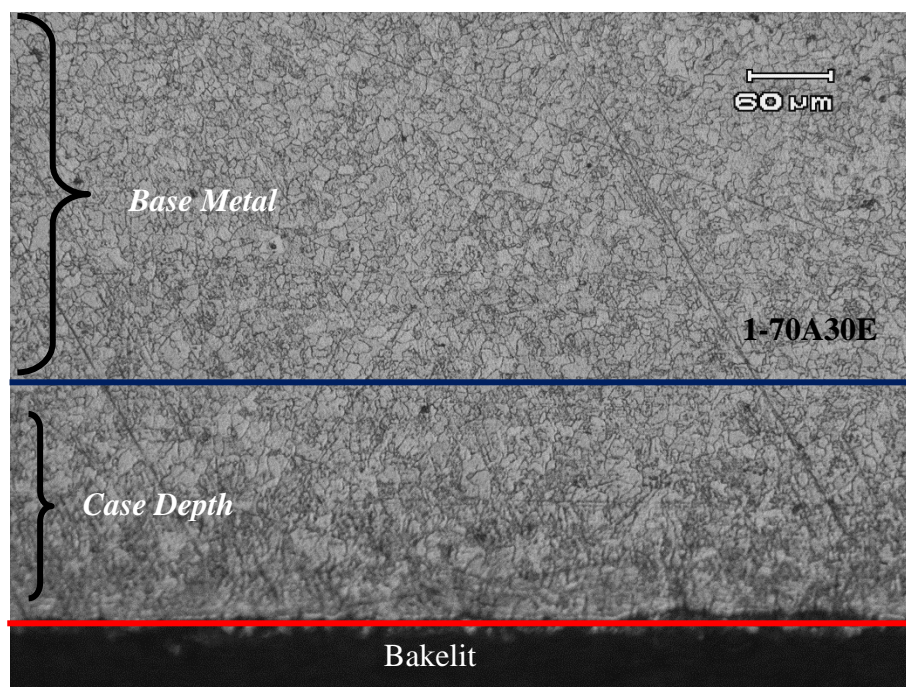
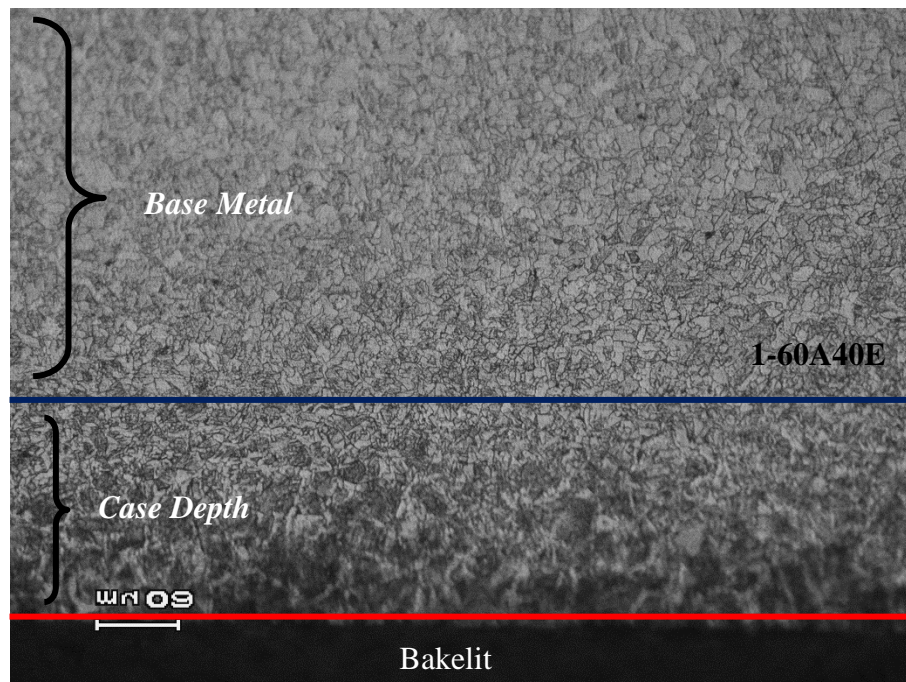
4.2 Hasil Case Depth

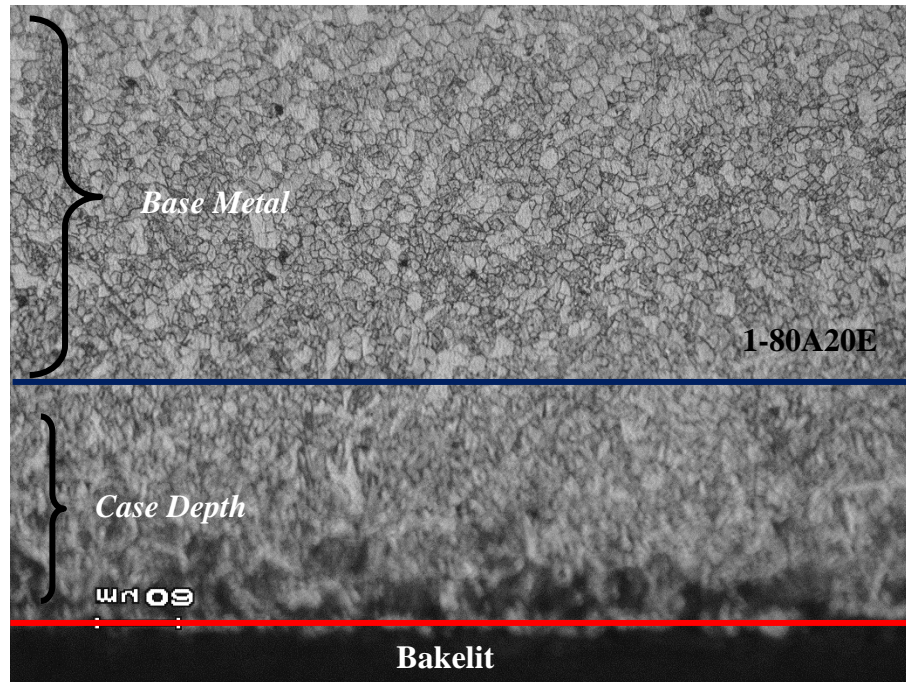
Melalui pengujian yang sudah dilakukan, didapatkan nilai *case depth* tertinggi berada pada kondisi 3-60A40E sebesar 141,55 μm . Sementara itu, nilai terendah berada pada kondisi 1-80A20E 104,51 μm . Perubahan nilai *case depth* dapat dilihat akan menurun secara progresif dengan nilai persentase hampir 10% seiring dengan berkurangnya fraksi *energizer*.

Tabel 4. 2 Hasil Data *Case Depth*

Kode Sampel	<i>Case Depth</i> (μm)
1-60A40E	108,02
1-70A30E	105,44
1-80A30E	104,51
2-60A40E	115,34
2-70A30E	113,24
2-80A30E	110,92
3-60A40E	141,55
3-70A30E	136,53
3-80A30E	130,83

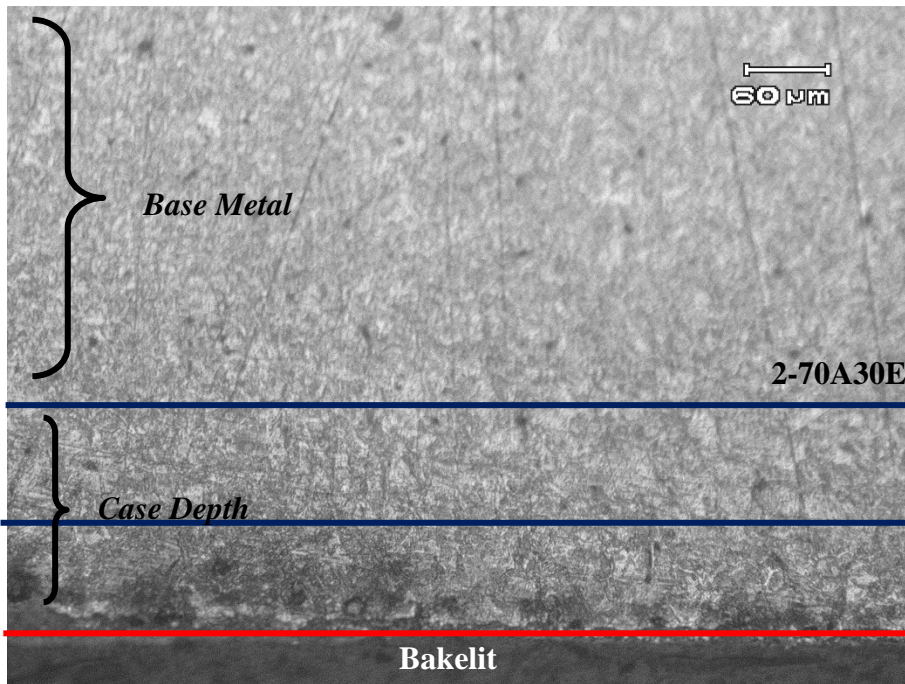
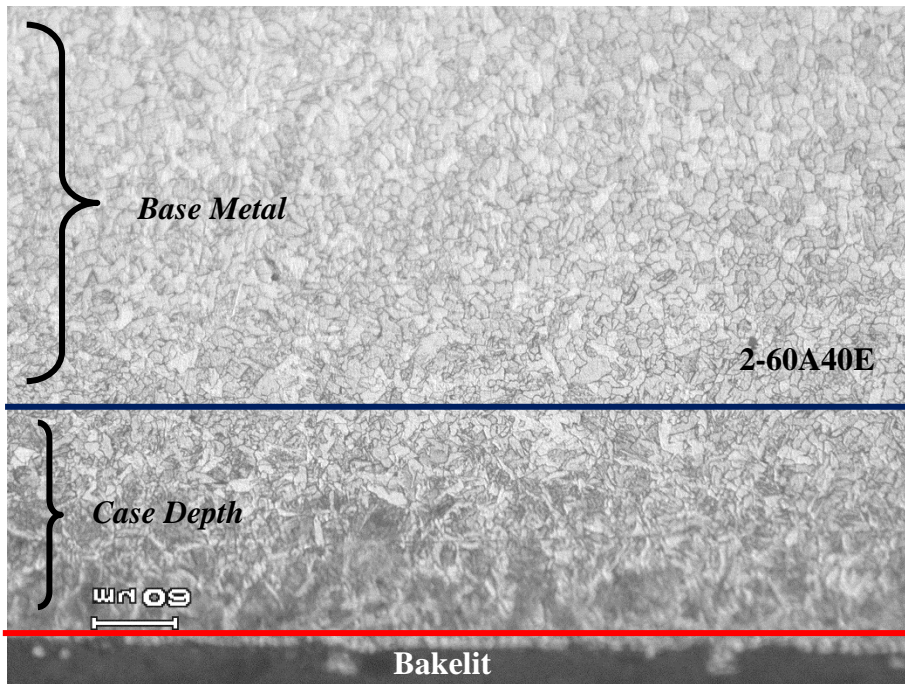
Nilai dari *case depth* dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti temperatur *carburizing*, komposisi *carburizer*, dan waktu tahan. Namun, pengaruh paling utama adalah komposisi dari fraksi *energizer*. Fraksi *energizer* cenderung akan mempercepat laju difusi *carbon* pada baja.

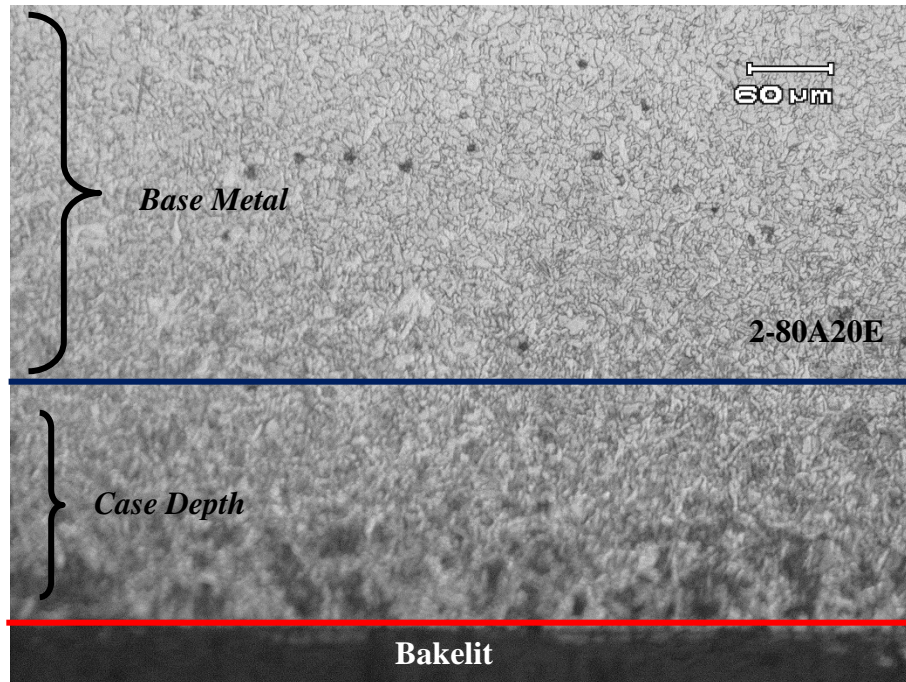




Gambar 4. 1 Hasil *Case Depth* 1 Jam

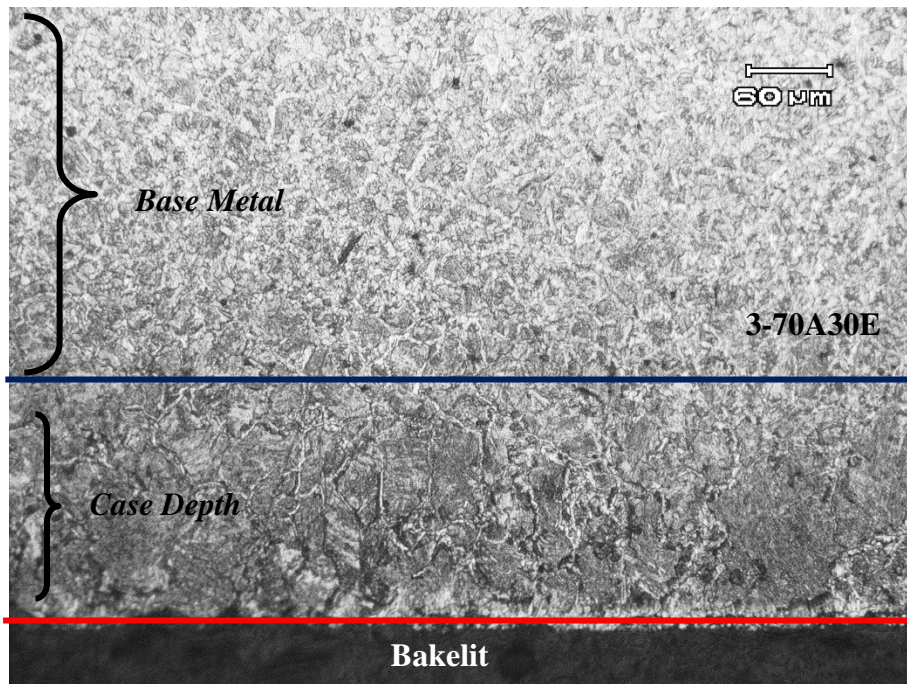
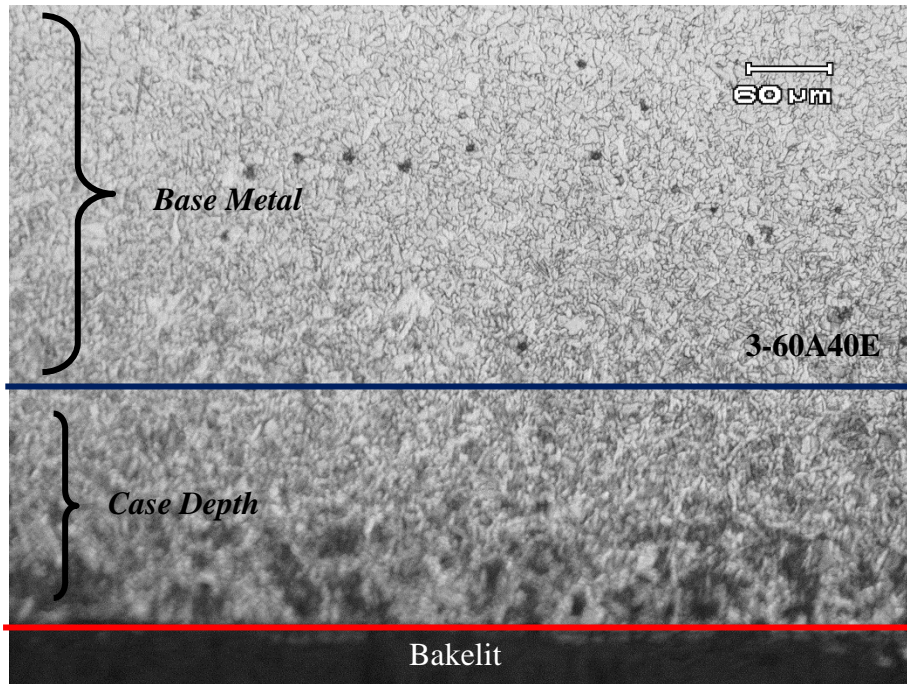
Berdasarkan Gambar 4.1, terlihat adanya kecenderungan penurunan *case depth* seiring dengan menurunnya fraksi *energizer* pada komposisi *carburizer*. Pada kondisi fraksi *energizer* 40% *case depth* mencapai 108,02 μm . Namun, ketika fraksi *energizer* turun menjadi 30%, *case depth* menurun menjadi 105,44 μm . Selanjutnya, pada fraksi *energizer* 20%, terjadi penurunan *case depth* menjadi 104,51 μm . Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa penurunan fraksi *energizer* dalam komposisi *carburizer* memiliki pengaruh signifikan terhadap *case depth* yang terbentuk. Semakin rendah fraksi *energizer*, semakin rendah pula *case depth* yang terbentuk. Hal ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa dengan fraksi *energizer* yang lebih rendah, jumlah *carbon* yang tersedia untuk difusi menjadi lebih sedikit. Dengan demikian, kecepatan difusi *carbon* menjadi lebih lambat, memberikan waktu yang lebih lama bagi *carbon* untuk menyebar ke dalam material dan membentuk lapisan karburisasi yang lebih dangkal.

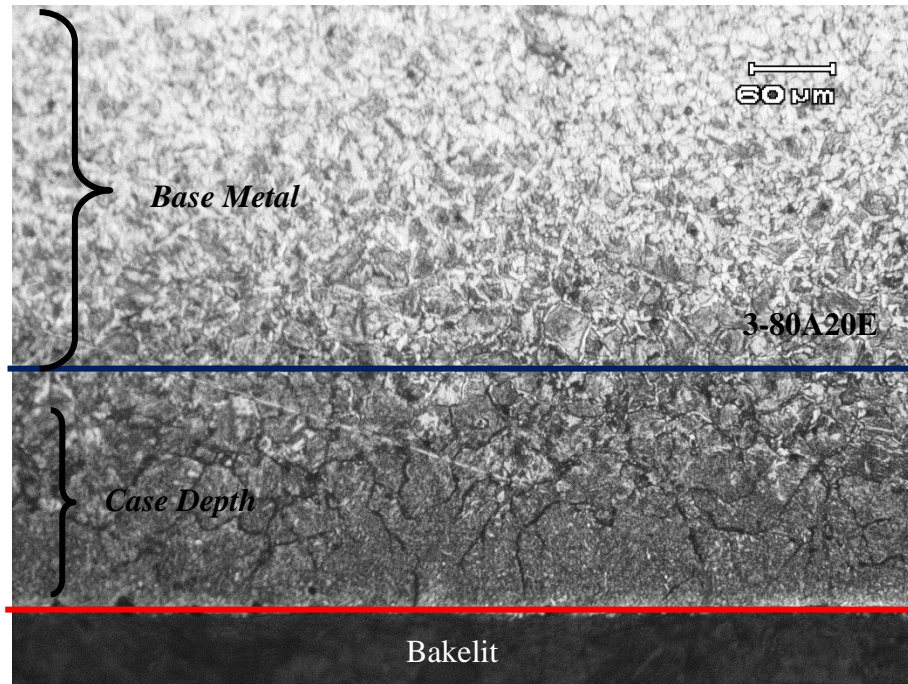




Gambar 4. 2 Hasil *Case Depth* 2 Jam

Dalam Gambar 4.2, terlihat bahwa *case depth* cenderung lebih tinggi pada kondisi waktu tahan 2 jam dibandingkan dengan kondisi waktu tahan 1 jam. Selain itu, terdapat kecenderungan penurunan *case depth* seiring dengan penurunan fraksi *energizer* (40%, 30%, dan 20%) pada komposisi *carburizer*. Pada kondisi fraksi *energizer* 40%, *case depth* mencapai 115,34 μm . Namun, ketika fraksi *energizer* turun menjadi 30%, *case depth* menurun menjadi 113,24 μm . Selanjutnya, pada fraksi *energizer* 20%, terjadi penurunan *case depth* menjadi 110,92 μm . Penurunan fraksi *energizer* dalam komposisi *carburizer* memiliki dampak signifikan terhadap proses difusi *carbon* ke dalam material. Dengan fraksi *energizer* yang lebih rendah, jumlah *carbon* yang tersedia untuk difusi menjadi lebih sedikit, menyebabkan kecepatan difusi *carbon* menjadi lebih lambat. Hal ini memberikan waktu yang lebih lama bagi *carbon* untuk menyebar ke dalam material dan membentuk lapisan karburisasi yang lebih dalam.



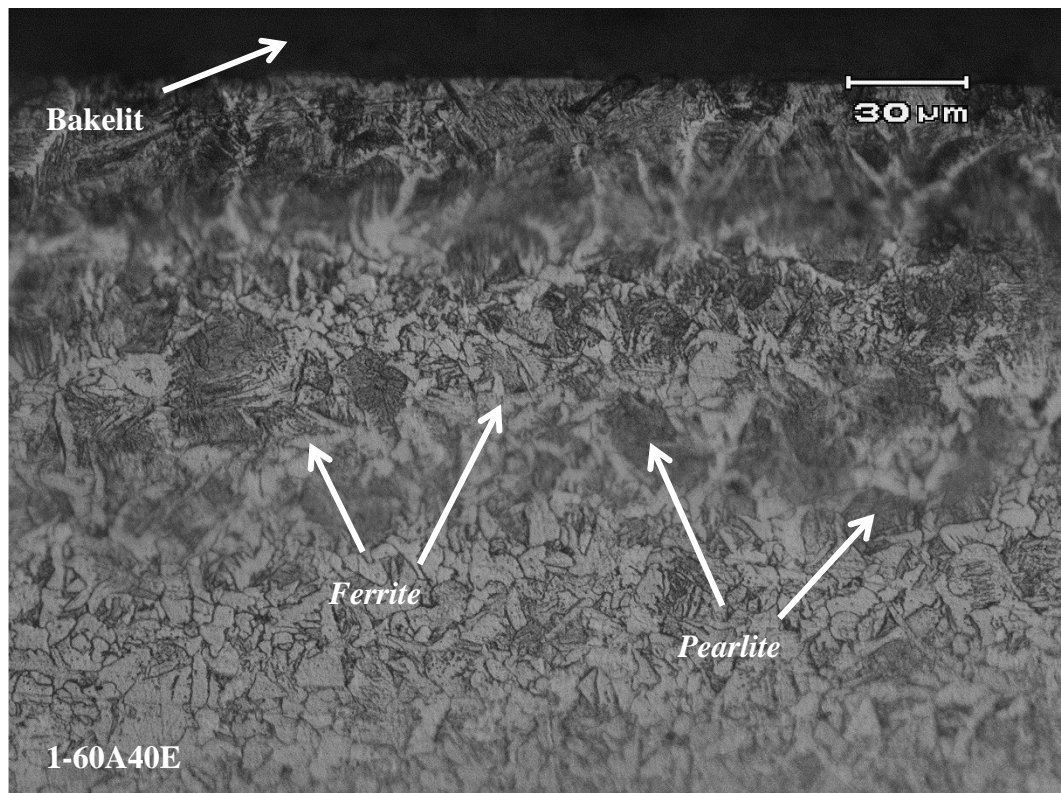


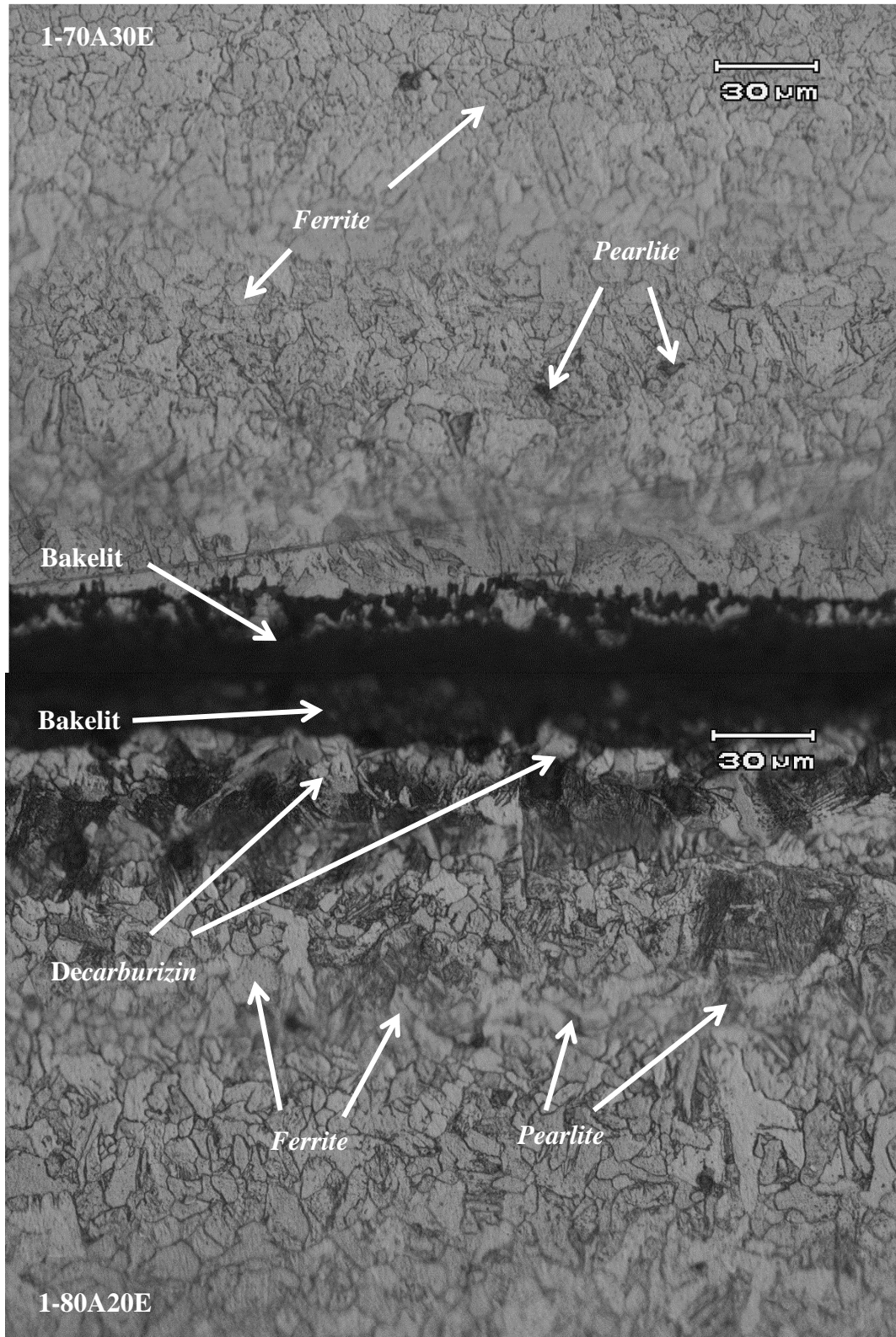
Gambar 4. 3 Hasil *Case Depth* 2 Jam

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa *case depth* cenderung lebih tinggi pada kondisi waktu tahan 2 jam dibandingkan dengan kondisi waktu tahan 1 jam. Selain itu, terlihat kecenderungan penurunan *case depth* seiring dengan penurunan fraksi *energizer* (40%, 30%, dan 20%) pada komposisi *carburizer*. Pada kondisi fraksi *energizer* 40%, *case depth* mencapai 141,55 μm. Namun, ketika fraksi *energizer* turun menjadi 30%, *case depth* menurun menjadi 136,53 μm. Selanjutnya, pada fraksi *energizer* 20%, terjadi penurunan *case depth* menjadi 130,83 μm. Penurunan fraksi *energizer* dalam komposisi *carburizer* memberikan dampak signifikan terhadap difusi *carbon* ke dalam material. Dengan fraksi *energizer* yang lebih rendah, jumlah *carbon* yang tersedia untuk difusi menjadi lebih sedikit, sehingga kecepatan difusi *carbon* menjadi lebih lambat. Hal ini memberikan waktu yang lebih lama bagi *carbon* untuk menyebar ke dalam material dan membentuk lapisan karburisasi yang lebih dalam

4.3 Hasil Fasa Mikrostruktur

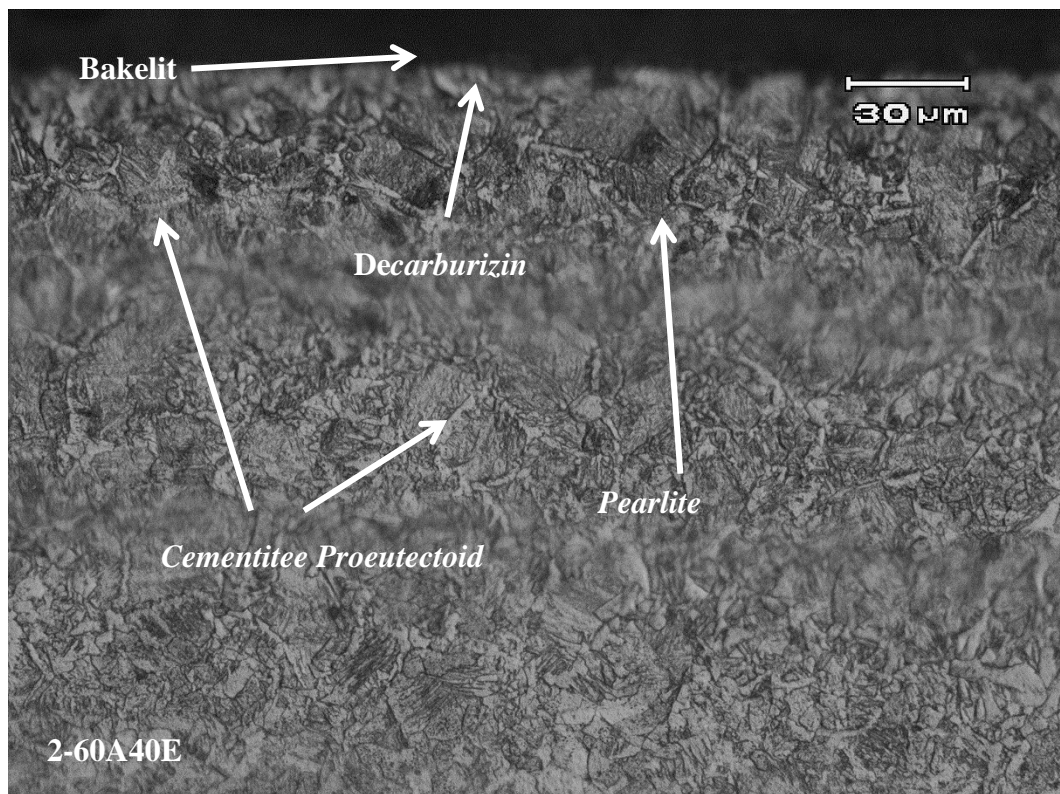
Dari hasil karakterisasi mikroskop optik, didapatkan beberapa fasa konstituen pada baja yang di *carburizing* . Fasa tersebut antara lain adalah *pearlite* dan *ferrite* pada waktu tahan 1 jam. *Pearlite* dan *cementite* untuk waktu tahan 2 dan 3 jam. Hal ini menunjukkan adanya 3 fasa berbeda yang terbentuk selama proses *carburizing* . Perubahan fasa ini terjadi karena proses *carburizing* melibatkan peningkatan kandungan *carbon* dalam material, yang pada gilirannya mempengaruhi struktur mikro baja. Pada waktu tahan 1 jam, kandungan *carbon* yang lebih rendah menyebabkan terbentuknya fasa *pearlite* dan *ferrite*, yang merupakan campuran dari fasa *ferrite* dan *cementite*. Namun, seiring dengan peningkatan waktu tahan menjadi 2 dan 3 jam, kandungan *carbon* dalam material meningkat, sehingga fasa *cementite* mulai terbentuk.

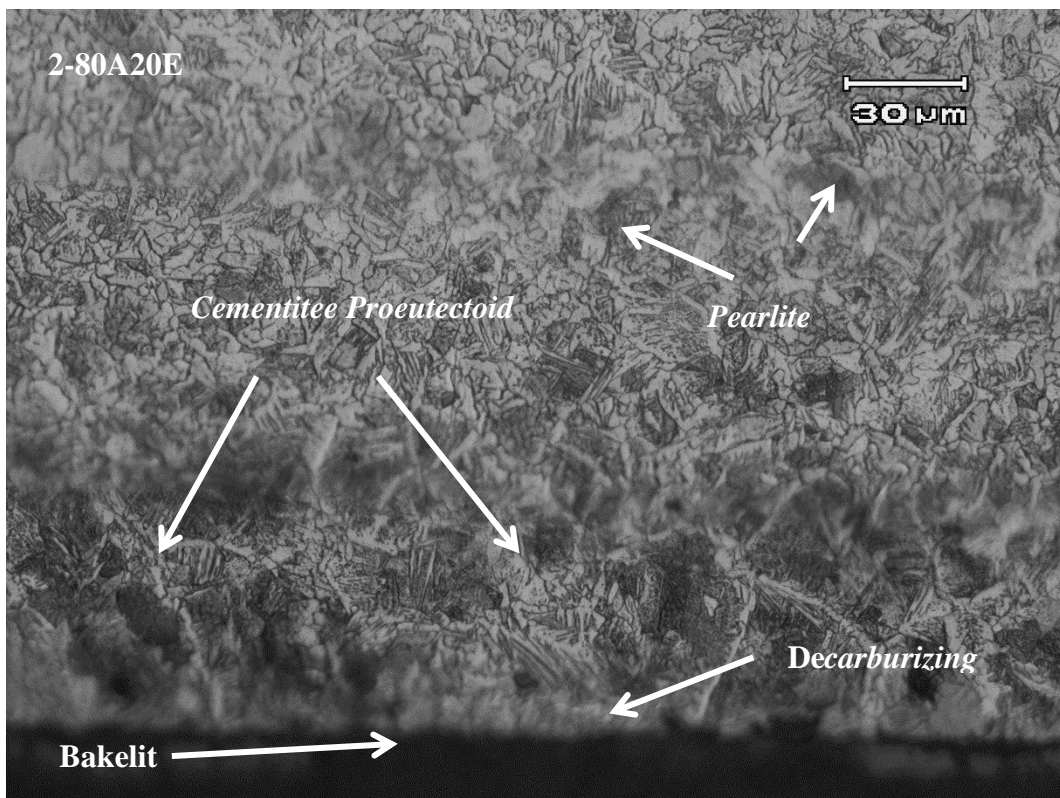
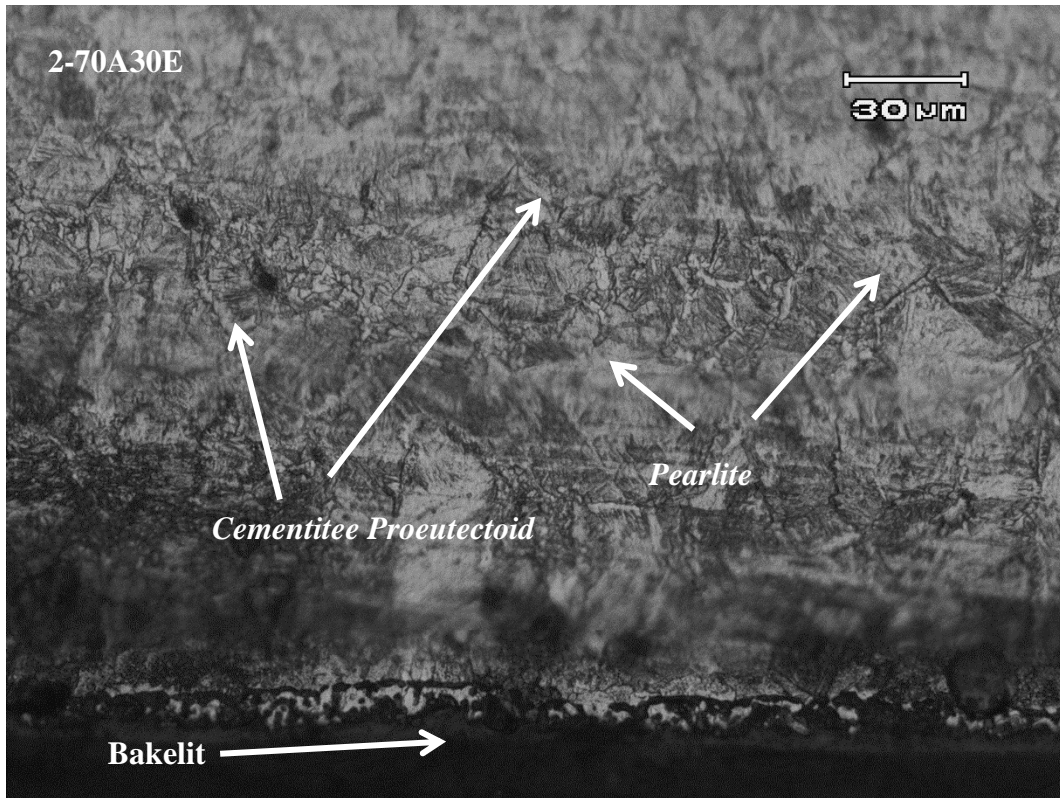




Gambar 4. 4 Hasil Mikrostruktur Sampel 1 Jam

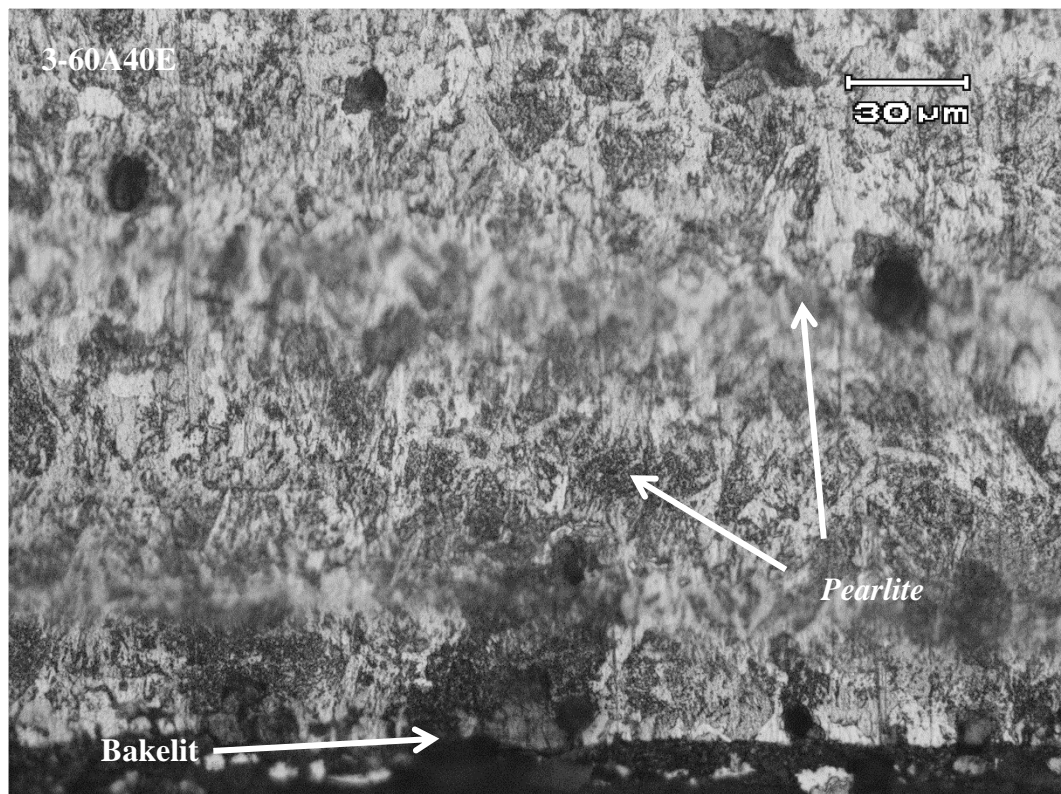
Pada Gambar 4.4 dalam konteks ini memberikan penjelasan yang menarik mengenai komposisi arang pada fraksi *carburizer* dan dampaknya terhadap jumlah fasa *pearlite* pada permukaan. Dalam gambar tersebut, terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya komposisi arang pada fraksi *carburizer*, jumlah fasa *pearlite* pada permukaan juga meningkat secara signifikan. Penjelasan ini dapat dihubungkan dengan proses *carburizing*, yang merupakan metode perlakuan panas yang digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan material logam. Dalam proses ini, komposisi arang pada *carburizer* berperan penting dalam mempengaruhi hasil akhir perlakuan panas. Dengan meningkatnya komposisi arang pada fraksi *carburizer*, jumlah *carbon* yang ditransfer ke permukaan logam juga meningkat. *Carbon* yang ditransfer ini kemudian akan berinteraksi dengan logam dan membentuk fasa *pearlite* pada permukaan.

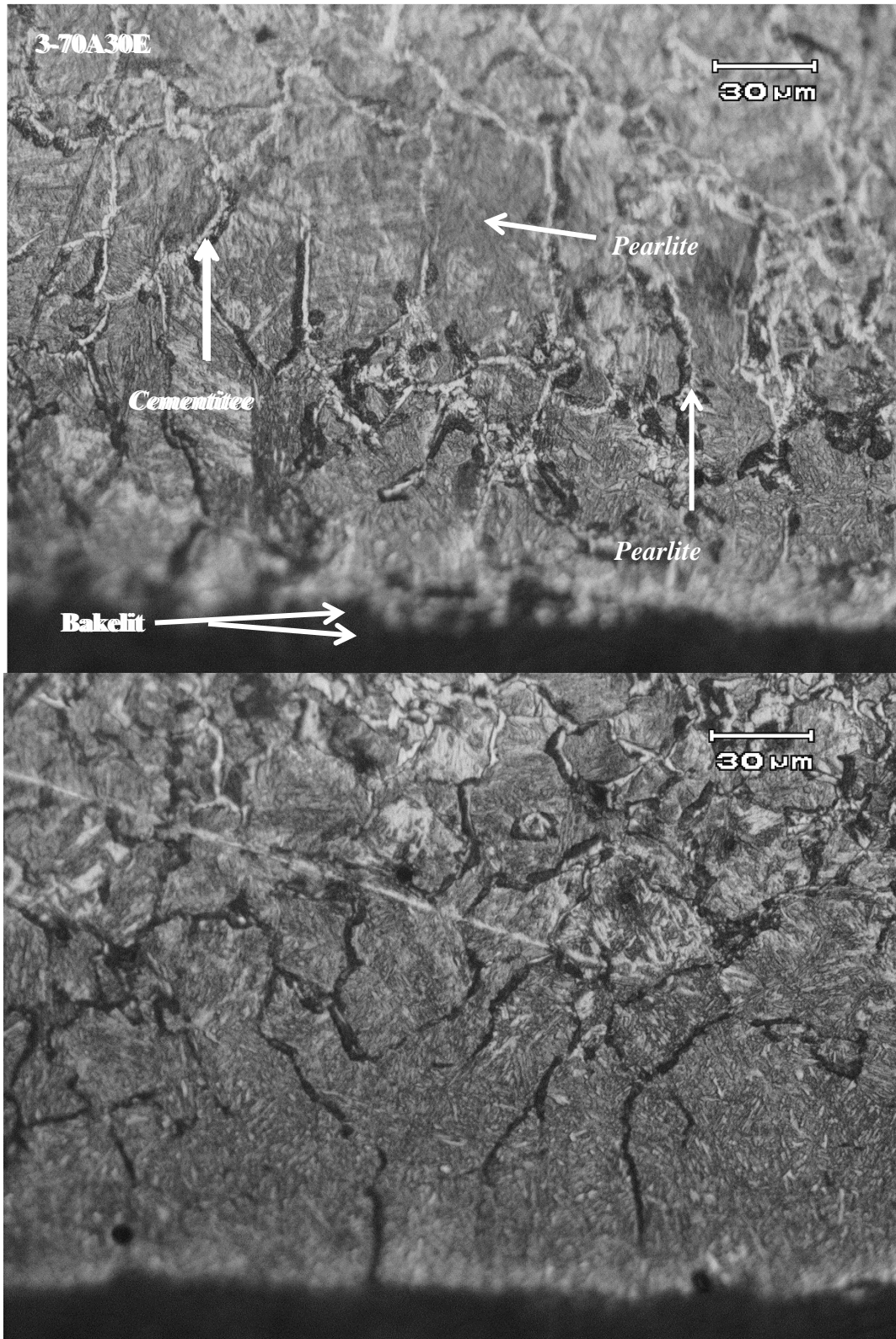




Gambar 4. 5 Hasil Mikrostruktur Sampel 2 Jam

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya waktu tahan menjadi 2 jam, terjadi pembentukan fasa *cementite* proeutectoid yang sebelumnya tidak ditemukan. Hal ini menunjukkan bahwa waktu tahan dalam proses *carburizing* memiliki pengaruh signifikan terhadap pembentukan fasa tersebut. Pada waktu tahan yang lebih singkat, pembentukan fasa *cementite* proeutectoid terbatas dan tidak signifikan. Namun, dengan meningkatnya waktu tahan menjadi 2 jam, *carbon* memiliki lebih banyak waktu untuk berinteraksi dengan logam, yang menyebabkan pembentukan fasa *cementite* proeutectoid yang lebih banyak pada permukaan material. Keberadaan fasa *cementite* proeutectoid dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik material.





Gambar 4. 6 Hasil Mikrostruktur Sampel 3 Jam

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan yang signifikan dalam pembentukan fasa *cementite* proeutectoid ketika waktu tahan pada proses *carburizing* diperpanjang menjadi 3 jam dibandingkan dengan kondisi 2 jam. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu tahan yang lebih lama memungkinkan *carbon* untuk lebih berdifusi dan berinteraksi dengan material, yang berkontribusi pada peningkatan pembentukan fasa *cementite* proeutectoid. Dalam kondisi 3 jam, terlihat adanya peningkatan yang lebih nyata dalam jumlah fasa *cementite* proeutectoid pada permukaan material. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa *carbon* memiliki lebih banyak waktu untuk berdifusi ke dalam material dan menggabungkan dengan atom-atom logam untuk membentuk fasa *cementite* proeutectoid.

4.6 Hasil Kalkulasi Koefisien Difusi

Selanjutnya didapatkan hasil mengenai kalkulasi dari koefisien difusi *carbon* pada masing-masing sampel.

$$\frac{Cx - Co}{Cs - Co} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

Didapatkan hasil dari perhitungan koefisien difusi berdasarkan kalkulasi menggunakan Hk. II Fick's sebagaimana persamaan di atas dengan nilai $Q=148$ kJ/mol dan $T=1223$ K (950 °C), dan C_o adalah 0,261 atau 26,1% .

$$D = \frac{\left(\frac{x}{2 * \sqrt{t}}\right)^2}{-2 \log\left(\frac{Cx - Co}{Cs - Co}\right) - 1}$$

Diperoleh variabel sebagai berikut :

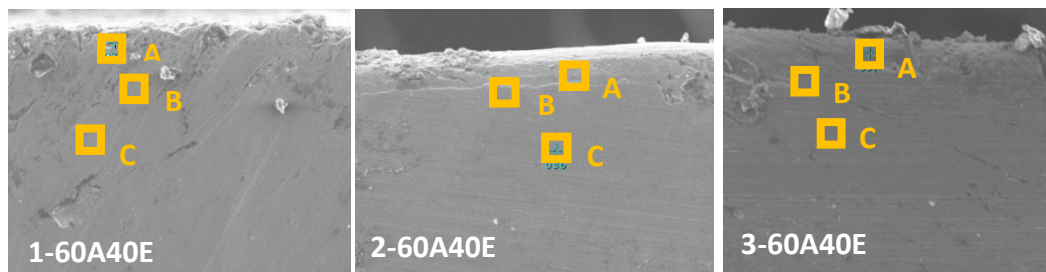
Tabel 4.3 Hasil Kalkulasi Koefisien Difusi

Kode Sampel	X (cm)	Cs (%)	C _x (%)	D (x 10 ⁻¹⁰ cm ² /s)
1-60A40E	0,0119	10%	5,38%	0,057
1-70A30E	0,0081	25,10%	7,67%	0,163
1-80A30E	0,0083	7,88%	2,85%	1,573
2-60A40E	0,0091	7,80%	6,23%	0,040
2-70A30E	0,0137	9,34%	8,28%	0,066
2-80A30E	0,0060	35,92%	9,45%	0,411
3-60A40E	0,0092	14,94%	8,84%	0,027
3-70A30E	0,0058	48,70%	28,04%	0,061
3-80A30E	0,0057	13,83%	6,23%	0,367

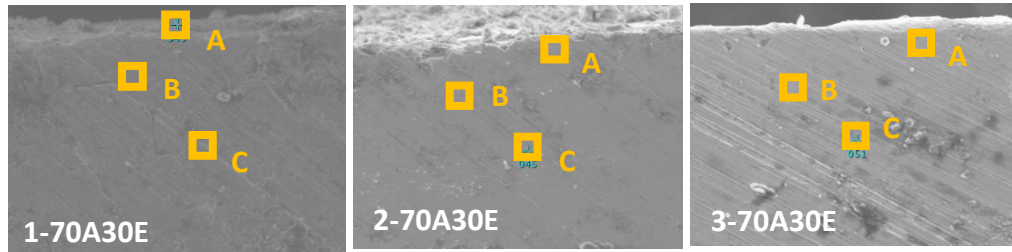
Pada Tabel di atas dapat diketahui mengenai hasil dari koefisien difusi yang terjadi pada sampel selama proses *carburizing*. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa terdapat pengaruh dari komposisi sampel dan waktu tahan pada proses *carburizing*.

4.5 Hasil SEM-EDS

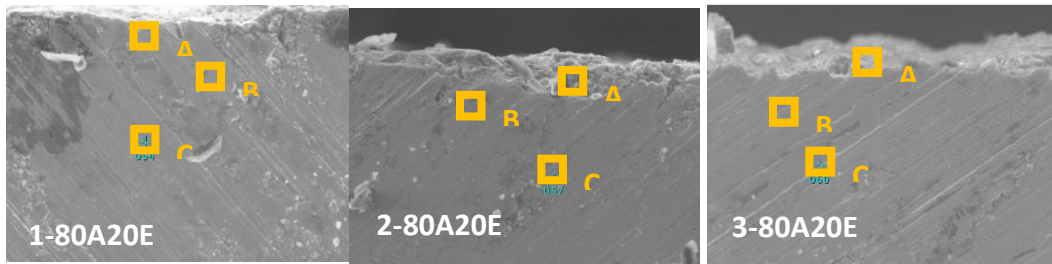
Pada Pengujian *EDS* ini, nilai komposisi lebih mengarah kepada unsur C yang ditinjau dari permukaan hingga ke bagian dalam pada sampel. Hal ini ditujukan untuk mengaitkan perihal pengaruh dari masing-masing variabel terhadap distribusi unsur C dan tingkat penetrasi difusi.



Gambar 4. 7 Hasil *EDS* Sampel 60A-40E



Gambar 4. 8 Hasil *EDS* Sampel 70A-30E



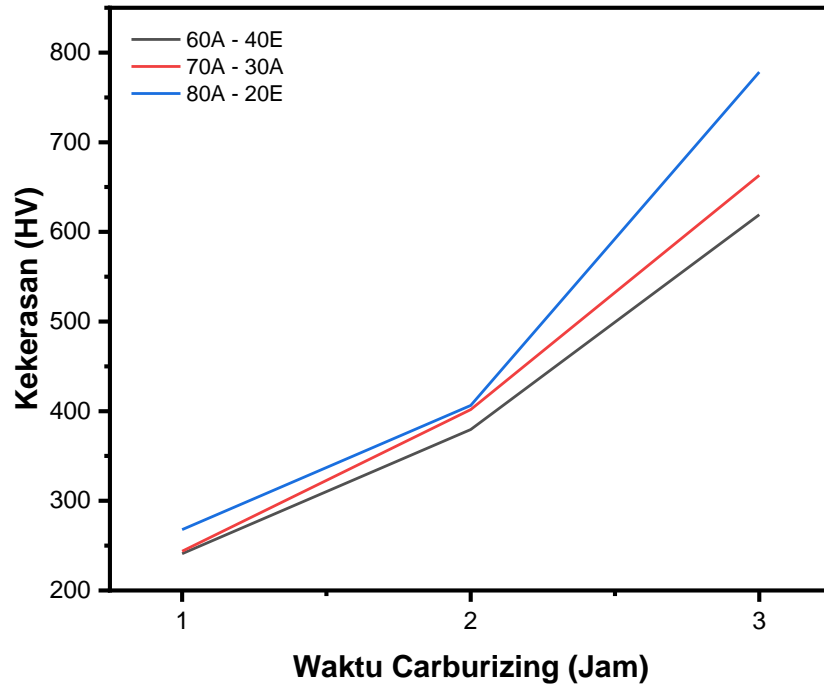
Gambar 4. 9 Hasil *EDS* Sampel 80A-20E

Melalui Gambar 4.7 sampai dengan Gambar 4.9, didapatkan beberapa lokasi sampling *EDS* pada masing-masing komposisi sampel. Pada setiap gambar, titik A hingga C menandakan lokasi dari permukaan (*surface*) hingga bagian inti atau dalam sampel (*sub-surface*). Hal ini bertujuan untuk mengetahui tentang *case depth* dan distribusi *carbon* selama proses *carburizing* dan keterkaitannya dengan variabel yang diteliti.

4.7 Pengaruh Dari Waktu Tahan *Carburizing*

Setelah melihat mengenai pembahasan yang sudah dilakukan, dapat diketahui bahwa waktu penahanan dalam proses *carburizing* memiliki andil yang besar dalam mikrostruktur, sifat mekanik, dan penetrasi *carbon* pada baja. Dalam proses *carburizing*, meningkatnya waktu tahanan akan berdampak pada peningkatan kekerasan material. Sebagai contoh, pada sampel dengan fraksi berat 60% arang ditambah 40% *energizer*, pengolahan selama 1 jam hingga 2 jam

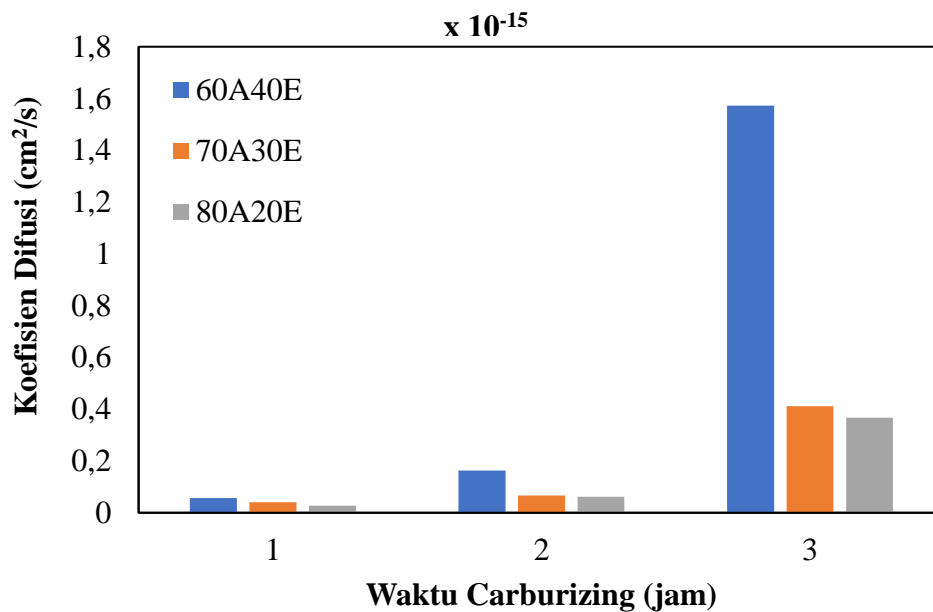
menghasilkan peningkatan kekerasan dari 240 HV menjadi 246 HV, dan meningkat lagi menjadi 452 HV saat waktu tahanan mencapai 3 jam, sebagaimana yang ditampilkan oleh Gambar 4.11.



Gambar 4. 10 Pengaruh Waktu *Carburizing* Terhadap Kekerasan

Hal ini juga terjadi pada sampel dengan fraksi berat 70% arang ditambah 30% *energizer* dan 80% arang ditambah 20% *energizer*, di mana kekerasan meningkat seiring dengan peningkatan waktu *carburizing*, misalnya dari 1 jam hingga 2 jam sebesar 243,73 HV dan 267,9 HV, dan dari 2 jam hingga 3 jam sebesar 463 HV dan 778,4 HV. Peningkatan bertahap ini terjadi akibat pengaruh dari waktu proses terhadap difusi *carbon* kepada permukaan sampel. Meningkatnya waktu *carburizing* maka akan menghasilkan proses yang lebih lama, hal ini akan menghasilkan banyaknya *carbon* yang terakumulasi pada permukaan dan terdifusi (Joshua, 2021). Hal ini sesuai dengan literatur yang dicetuskan oleh Hosseini dkk

(2016) dimana material yang telah mengalami proses *carburizing* akan mengalami peningkatan kekerasan. Waktu *carburizing* yang lebih lama juga menghasilkan nilai difusivitas *carbon* yang diukur menggunakan hasil dari *EDS* mengenai konsentrasi nilai *carbon* pada 3 titik sebagaimana yang terlampir pada tabel 4.4 dan persamaan Hukum Fick's mengenai koefisien difusi, dapat dilihat hasil yang didapatkan sebagaimana Gambar 4.12:

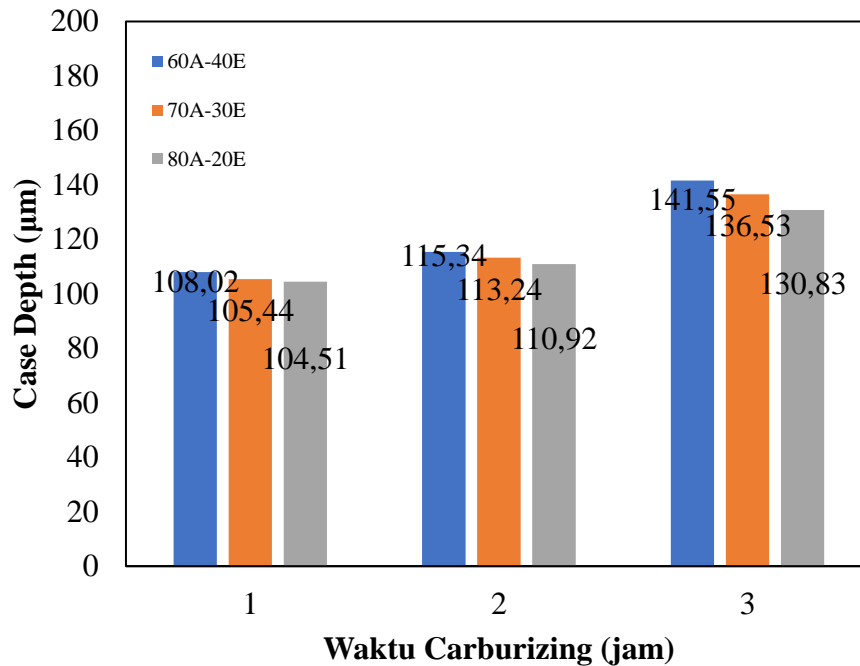


Gambar 4. 11 Pengaruh Waktu *Carburizing* Terhadap Koefisien

Didapatkan pola yang menandakan bahwa semakin lama waktu penahanan proses *carburizing* maka menghasilkan nilai koefisien difusi yang meningkat. Pada penelitian ini, didapatkan bahwa nilai koefisien difusi tertinggi berada pada sampel 3-60A40E yaitu sebesar $1,57 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ dimana nilai ini merupakan nilai maksimal pada waktu tiga jam. Dapat dilihat pada Gambar 4.12 bahwa seiring dengan bertambahnya waktu *carburizing*, maka akan menghasilkan nilai koefisien difusi yang meningkat. Pada kasus ini, meingkatnya waktu *carburizing*

menghasilkan kondisi dimana atom *carbon* memiliki lebih banyak waktu untuk berdifusi ke dalam baja. Hal ini mengakibatkan penetrasi *carbon* yang lebih dalam ke dalam struktur baja (Satria & Setiawan, 2019). Dengan demikian, lapisan *carburizing* yang dihasilkan menjadi lebih tebal dan merata, yang mempengaruhi sifat-sifat material seperti kekerasan permukaan. Selain itu, dalam proses *carburizing*, difusi *carbon* ke dalam baja adalah suatu proses yang bergantung pada waktu. Semakin lama waktu *carburizing*, semakin banyak atom *carbon* yang memiliki kesempatan untuk berdifusi ke dalam baja. Ini disebabkan oleh perbedaan konsentrasi *carbon* antara permukaan baja dan dalam material. Seiring dengan berjalannya waktu, gradien konsentrasi ini mendorong laju difusi *carbon* yang lebih tinggi dan menghasilkan koefisien difusi yang meningkat pada permukaan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Utami dkk (2019) yang menyatakan bahwa selama waktu tahan yang tinggi, *carbon* akan berdifusi secara perlahan dari atmosfer *carburizing* ke permukaan sehingga akan meningkatkan koefisien difusi pada permukaan.

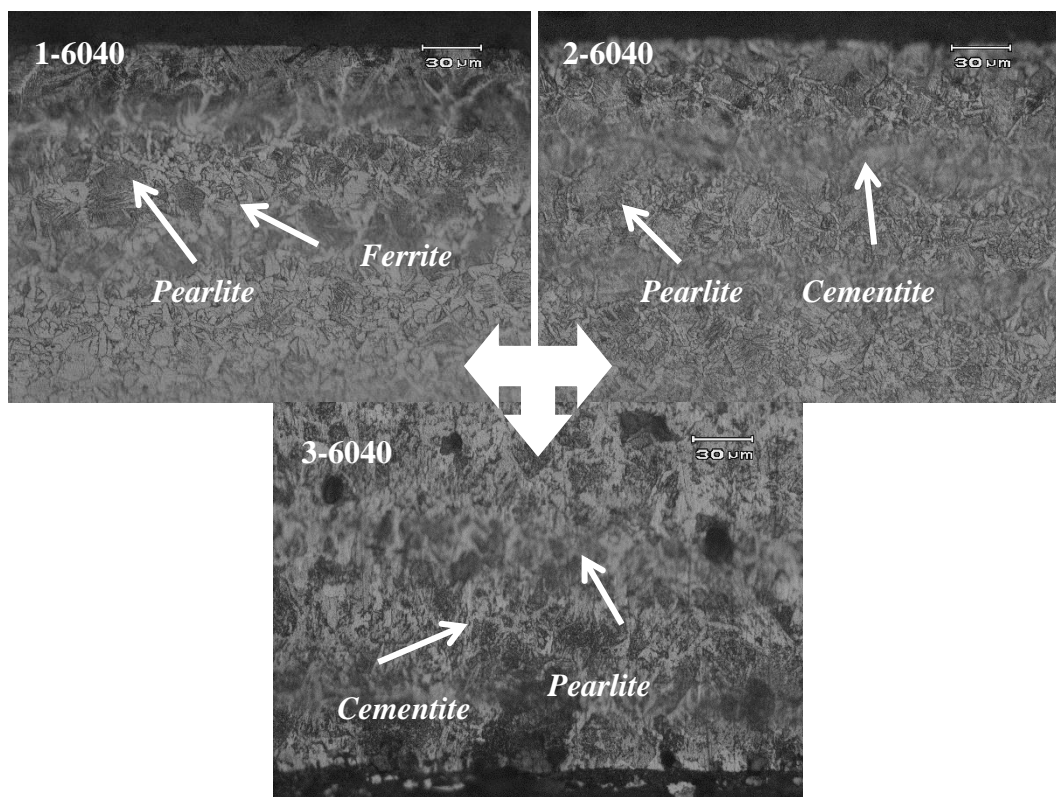
Selanjutnya, dilakukan analisa kedalaman *case depth* yang terbentuk dan mencari kaitannya dengan meningkatnya difusi *carbon* dari permukaan seiring dengan bertambahnya waktu *carburizing* sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 4.13:



Gambar 4. 12 Pengaruh Waktu *Carburizing* Terhadap *Case Depth*

Nilai *case depth* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu *carburizing*. Pada sampel dengan fraksi berat 60% arang ditambah 40% *energizer*, didapatkan nilai *case depth* sebesar 67,62 µm pada waktu 1 jam, dan meningkat menjadi 74,94 dan 101,15 µm untuk waktu *carburizing* selama 2 dan 3 jam, secara berurutan. Hal ini juga terjadi pada sampel dengan fraksi berat 70% arang ditambah 30% *energizer* dan sampel dengan fraksi berat 80% arang ditambah 20% *energizer* yang mengalami kondisi serupa. Secara teori, semakin lama waktu *carburizing*, maka jumlah atom *carbon* yang terdifusi ke permukaan spesimen akan semakin banyak dan semakin dalam, sehingga menghasilkan deposit *carbon* yang tinggi. Selain itu, semakin lama waktu tahan, maka difusi yang terjadi juga akan semakin meningkat dikarenakan atom *carbon* memiliki waktu lebih untuk masuk mengisi rongga pada atom Fe. Dari hal ini, didapatkan *case depth* yang akan meningkat secara drastis. Fenomena ini sesuai dengan literatur yang dijelaskan pada BAB

sebelumnya oleh Ramli & Wu (2022) yang mengatakan bahwa nilai *case depth* akan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu *carburizing*. Selain itu, sebuah penelitian yang menggunakan arang tulang kambing dan CaCO_3 sebagai *energizer* menunjukkan bahwa *case depth* meningkat seiring dengan peningkatan waktu penahanan pada temperatur pemanasan (Karim, 2012). Lama waktu *carburizing* menghasilkan peningkatan kedalaman *case depth* dikarenakan semakin banyak dan semakin dalam *carbon* yang terdifusi dari permukaan.



Gambar 4. 13 Perbandingan Strukur Mikro Terhadap Waktu *Carburizing*

Dilakukan pula analisa mengenai fasa yang terbentuk selama proses *carburizing* dimana didapatkan fasa *pearlite* dan *ferrite* pada kondisi 1 jam, namun saat kondisi 2 jam waktu *carburizing* didapatkan fasa *cementite* dan *pearlite*. Proses *carburizing* akan meningkatkan kandungan *carbon* pada material, yang pada

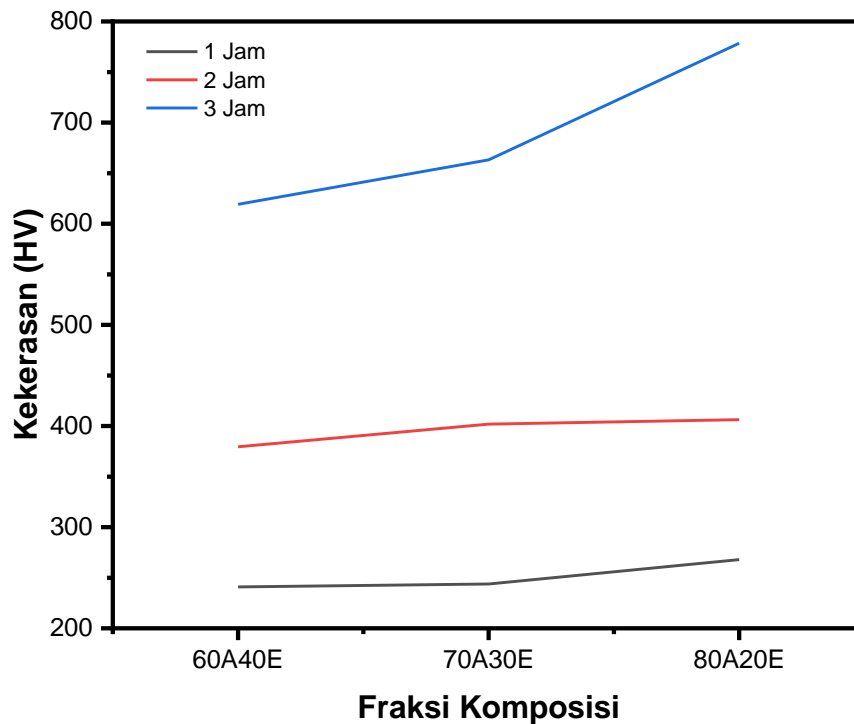
gilirannya akan meningkatkan jumlah fasa *pearlite* yang ada. Fasa *pearlite* ini memiliki sifat kekerasan yang lebih tinggi daripada fasa *ferrite*, sehingga peningkatan jumlah fasa *pearlite* akan meningkatkan kekerasan material secara keseluruhan. Didapatkan bahwa pada sampel 2 jam cenderung menghasilkan lebih banyak fasa *pearlite* dan cenderung tidak terdeteksinya fasa *ferrite* dikarenakan transformasinya menjadi *pearlite*. Selain itu, dapat dilihat pada waktu tahan 2 jam. Didapatkan fasa *cementite proeutectoid* yang terbentuk dimana fasa ini tidak terdeteksi sebelumnya pada kondisi 1 jam. Perubahan fasa ini dapat dijelaskan melalui perubahan mikrostruktur yang terjadi seiring dengan waktu tahan proses *carburizing*. Menurut literatur yang dicetuskan oleh Okwesileze (2022), pada waktu tahan yang lebih lama, seperti 2 jam, proses *carburizing* memiliki kesempatan lebih besar untuk meningkatkan kandungan *carbon* pada material. Dengan demikian, terbentuk lebih banyak fasa *pearlite* yang memiliki sifat kekerasan yang lebih tinggi daripada fasa *ferrite*. Selain itu, terbentuknya fasa *cementite proeutectoid* pada waktu tahan 2 jam menunjukkan bahwa proses *carburizing* telah mencapai tahap di mana *cementite* mulai terbentuk sebelum *pearlite* (Zuchry M., 2019). Fasa *cementite proeutectoid* ini memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada fasa *ferrite*, sehingga peningkatan jumlah fasa *cementite proeutectoid* juga akan meningkatkan kekerasan material secara keseluruhan.

Melalui analisa yang dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi waktu *carburizing* maka akan menghasilkan nilai difusivitas *carbon* yang lebih tinggi dan meningkatkan konsentrasi *carbon* pada *sub-surface*. Kondisi ini akan menghasilkan nilai *case depth* yang semakin dalam dan menghasilkan transformasi fasa *ferrite* menjadi *pearlite* dan *pearlite* menjadi *cementite*

dikarenakan nilai *carbon* yang tinggi akibat difusi. Hadirnya fasa *cementite* pada baja akan menghasilkan nilai kekerasan yang meningkat. Hal ini menandakan bahwa seiring dengan meningkatnya waktu *carburizing* maka akan menghasilkan peningkatan kekerasan pada material.

4.7 Pengaruh Dari Komposisi Fraksi *Carburizer*

Pada percobaan yang dilakukan, didapatkan bahwa nilai katalis atau *energizer* BaCO_3 s pada komposisi menurun seiring dengan meningkatnya fraksi komposisi *carbon* yang dibawa oleh arang. *Energizer* sendiri berfungsi sebagai pengikat CO_2 yang dilepaskan oleh Arang selama proses *carburizing* dan mempercepat difusi *carbon* pada permukaan.



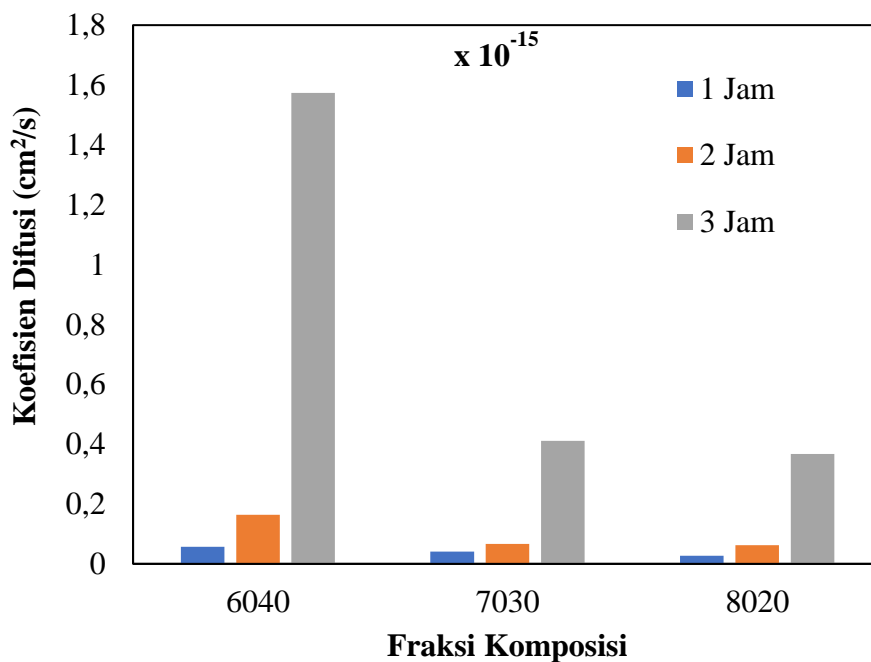
Gambar 4. 14 Pengaruh Fraksi Terhadap Nilai Kekerasan

Dalam penelitian ini, nilai *energizer* yang lebih rendah disertai dengan komposisi *carbon* yang lebih tinggi menghasilkan peningkatan kekerasan pada sampel baja SS400 sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar di atas. Pada kondisi 1 jam, terjadi peningkatan ini sebesar 1,18% dan kembali meningkat hingga 9,88% untuk kondisi fraksi berat arang 60%-70% dan 70%-80%. Peningkatan ini terjadi akibat meningkatnya jumlah arang saat proses *carburizing* dimana jumlah arang akan mempengaruhi kandungan *carbon* selama proses. Hal ini sesuai dengan literatur dimana peningkatan kekerasan yang terjadi seiring dengan meningkatnya komposisi arang diakibatkan oleh tingginya jumlah volume fraksi dari arang yang bersifat sebagai *carburizer*. Kondisi ini sesuai dengan literatur yang dicetuskan oleh Soenoko & Siswanto (2018) yang mengatakan bahwa tingginya kandungan *carbon* pada arang akan mempengaruhi jumlah atom *carbon* yang berdifusi kepada baja dan cenderung akan menghasilkan lebih banyak fraksi fasa *pearlite* seiring dengan meningkatnya jumlah *carburizer* arang. Kandungan *carbon* yang terdifusi ke permukaan akan membentuk lapisan permukaan ber*carbon* tinggi dan meningkatkan kekerasan baja.

Selanjutnya, digunakan katalis BaCO_3 sebagai *energizer* pada proses ini yang komposisinya menurun seiring dengan peningkatan komposisi arang. *Energizer* sendiri berfungsi sebagai pengikat dari CO_2 yang dilepaskan oleh arang selama proses *carburizing* dan mempercepat difusi interstisi dari *carbon* pada permukaan, atau dapat disebut sebagai katalis. Pada kasus ini didapatkan hasil bahwa semakin tinggi nilai *energizer* cenderung menghasilkan kekerasan yang menurun dari baja SS400. Pada kasus ini didapatkan kandungan *carbon* yang tinggi pada arang yang akan menjadi tolak ukur perihal kekerasan permukaan pada

material. Hal ini menghasilkan ketersediaan jumlah *carbon* pada permukaan selama proses *carburizing* berlangsung yang terdispersi ke permukaan sehingga menjadikan jumlah atom C yang tersedia pada permukaan dan berdifusi lebih tinggi apabila dibandingkan dengan sampel yang memiliki konsentrasi fraksi *carburizer* rendah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ihom & Andona (2018) yang menyatakan bahwa peningkatan kekerasan dapat terjadi apabila konsentrasi dari *carburizer* meningkat dan cenderung menghasilkan deposit *carbon* pada permukaan. Oleh karena itu, nilai *energizer* yang menurun yang diiringi dengan nilai *carburizer* yang meningkat akan menghasilkan peningkatan kekerasan pada sampel.

Selanjutnya, dilakukan analisis mengenai nilai koefisien difusi (D) antara fraksi komposisi *energizer* dan didapatkan grafik sebagaimana gambar di bawah :

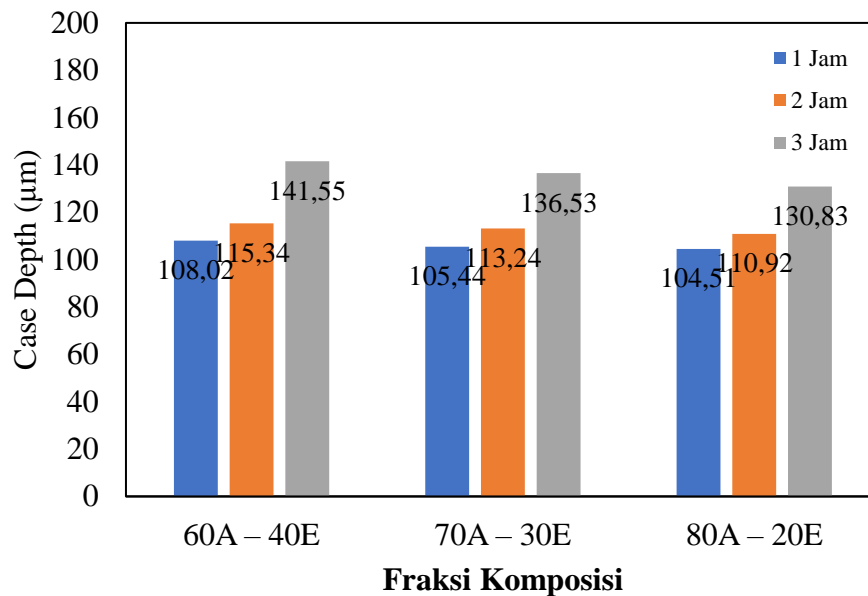


Gambar 4. 15 Pengaruh Fraksi Komposisi Terhadap Koefisien Difusi

Dapat dilihat pada grafik dimana menampilkan bahwa koefisien difusi

menurun seiring dengan menurunnya fraksi *energizer* yang diiringi dengan meningkatnya fraksi arang atau *carburizer*. Didapatkan bahwa nilai tertinggi terdapat pada sampel 3-60A40E dengan koefisien difusi senilai $1,57 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$. Nilai ini terus menurun seiring dengan meningkatnya komposisi arang hingga pada sampel 3-80A20E senilai $0,36 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$. *Energizer* dapat mempengaruhi konsentrasi partikel yang berdifusi. Jika fraksi *energizer* menurun, maka konsentrasi partikel dalam medium juga dapat menurun. Hal ini dapat mengurangi kepadatan partikel yang berdifusi dan menghambat laju difusi (Ihom & Andona, 2018). Hal ini juga sesuai dengan literatur yang dijelaskan oleh Joshua (2021) pada BAB II dimana fraksi *energizer* juga dapat mempengaruhi interaksi antara partikel yang berdifusi. Jika fraksi *energizer* menurun, maka interaksi antara partikel-partikel tersebut dapat menjadi lebih kuat. Interaksi yang lebih kuat ini dapat menghambat pergerakan partikel dan memperlambat laju difusi. Hal ini berpengaruh terhadap interstisi *carbon* dimana dengan nilai *energizer* yang rendah cenderung *carbon* tidak terdifusi dengan baik dan cenderung mengendap pada permukaan.

Selanjutnya, dilakukan pengamatan dari nilai *case depth* yang dihasilkan sebagaimana Gambar 4.17. Didapatkan mengenai pengaruh dari komposisi arang dan katalis terhadap kedalaman penetrasi difusi atom *carbon* yang ditandai dengan *case depth*. Melihat pada Gambar 4.17, didapatkan jarak *case depth* cenderung meningkat seiring dengan menurunnya komposisi arang yang bertindak sebagai *carburizer*.

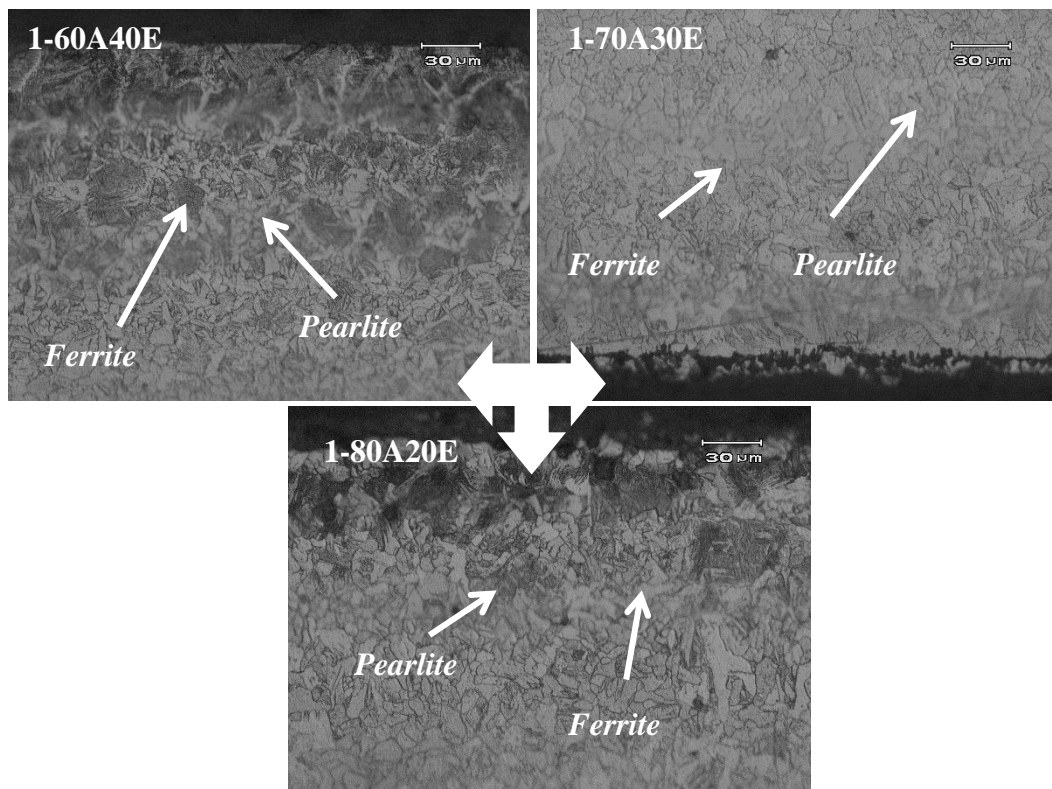


Gambar 4. 16 Pengaruh Fraksi Komposisi Terhadap *Case Depth*

Didapatkan nilai *case depth* yang semakin menurun seiring dengan berkurangnya fraksi *energizer*. Berdifusinya atom C dapat terjadi dikarenakan atom C memiliki radius yang lebih kecil 15% apabila dibandingkan dengan atom Fe. Hal ini akan memudahkan atom C untuk menyusup secara interstisi di antara atom Fe. Hal ini dapat terjadi dikarenakan *energizer* bertindak sebagai katalis dan pengikat CO₂ pada permukaan. Akan tetapi, apabila jumlah dari atom C yang terakumulasi sedikit, maka cenderung hanya akan mengisi pada permukaan tanpa terjadi penetrasi yang berlebih hingga ke substrat atau inti. Kondisi ini memungkinkan terjadinya penetrasi yang tinggi di awal sehingga menciptakan nilai *case depth* yang tinggi, namun seiring dengan bertambahnya nilai *energizer* tanpa diiringi oleh nilai *carburizer* yang cukup maka cenderung akan menghasilkan nilai *case depth* yang tinggi namun kekerasan yang rendah (Hosseini, 2016). Hal ini sesuai dengan literatur dimana meningkatnya konsentrasi dari *energizer* selama proses

carburizing akan menghasilkan tingkat difusi yang tinggi untuk atom C masuk secara interstisi melalui permukaan (Ramli & Wu, 2022).

Selanjutnya, dilakukan analisa mengenai struktur mikro yang terbentuk selama proses *carburizing* dengan komposisi fraksi yang berbeda. Dapat dilihat mengenai perbandingan dari hasil mikrostruktur antara dua fraksi komposisi yang ditampilkan pada Gambar di bawah ini:



Gambar 4. 17 Perbandingan Strutur Mikro Terhadap Komposisi *Energizer*

Dapat diketahui bahwa pada analisa visual didapatkan fasa *pearlite* yang tinggi pada sampel fraksi berat 80% arang ditambah 20% *energizer*. Peningkatan jumlah fasa *pearlite* akan menjadikan peningkatan kekerasan pada permukaan sampel (Atanda, Olorunniwo, & Umoru, 2009). Dalam konteks ini, peningkatan kekerasan material seiring dengan meningkatnya

komposisi arang sebagai *carburizer* dapat dijelaskan melalui perubahan mikrostruktur yang terjadi. Proses *carburizing* akan meningkatkan kandungan *carbon* pada material, yang pada gilirannya akan meningkatkan jumlah fasa *pearlite* yang ada. Fasa *pearlite* ini memiliki sifat kekerasan yang lebih tinggi daripada fasa *ferrite*, sehingga peningkatan jumlah fasa *pearlite* akan meningkatkan kekerasan material secara keseluruhan.