

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia *Shape memory alloy*

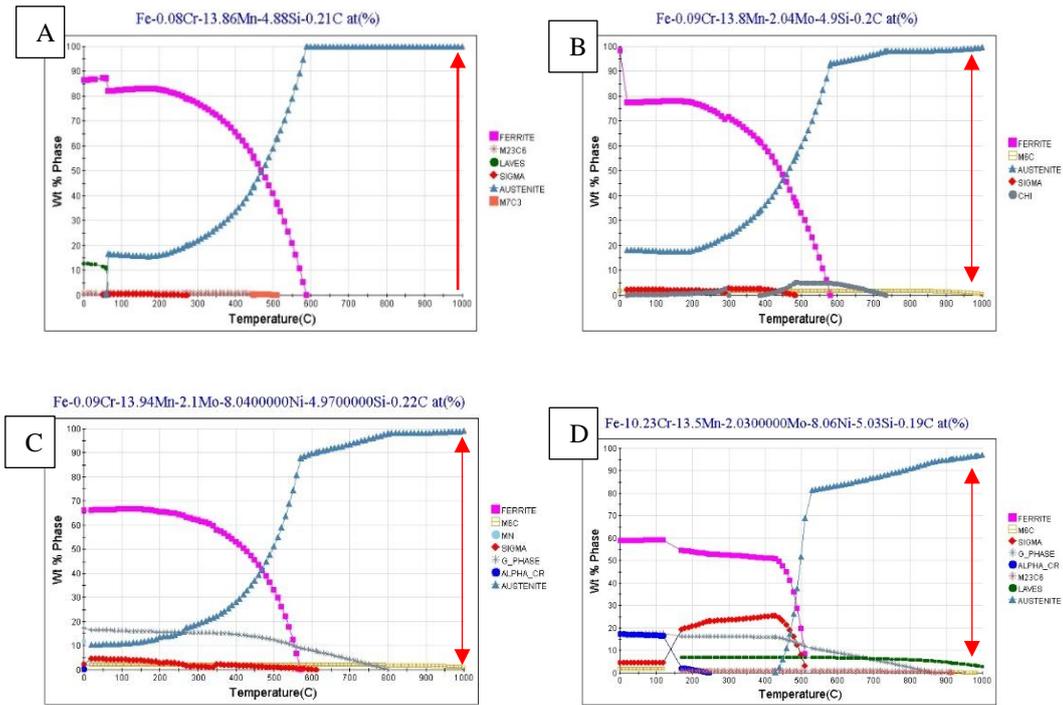
Shape memory alloy (SMA) merupakan material yang memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk aslinya setelah mengalami deformasi ketika diberi perlakuan panas tertentu. Pengujian komposisi kimia untuk mengetahui elemen-elemen penyusun yang mempengaruhi sifat unik material tersebut. Melalui pengujian komposisi kimia dengan alat Spektroskopi Emisi Optik (OES) maka akan menghasilkan persentase dari elemen-elemen penyusun SMA secara akurat. Tabel 4.1 menunjukkan komposisi setiap paduan dan nilai Ms. Nilai Ms dihitung tanpa memasukan unsur Mo pada rumus Ms.

Tabel 4.1 Komposisi Kimia *Shape memory alloy* Hasil Pengujian OES

Alloy	Elements (wt %)							Ms (°C)
	Fe	Mn	Si	Mo	Ni	Cr	C	
A	80,97	13,86	4,88	0	0	0,08	0,21	372.91
B	78,97	13,8	4,9	2,04	0	0,09	0,2	372.64
C	70,64	13,94	4,97	2,1	8,04	0,09	0,22	-151.56
D	60,96	13,5	5,03	2,03	8,06	10,23	0,19	-527.9

Penambahan Mo, Ni, dan Cr dalam SMA berbasis Fe-Mn-Si secara bertahap memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan sifat-sifat paduan.

Setiap unsur memiliki peran unik dalam memperkuat kekuatan mekanik, memperbaiki sifat memori bentuk, serta meningkatkan ketahanan korosi. Pengaruh masing-masing unsur ini akan diuji lebih lanjut melalui serangkaian pengujian metalografi, uji kekerasan, dan uji ketahanan korosi.



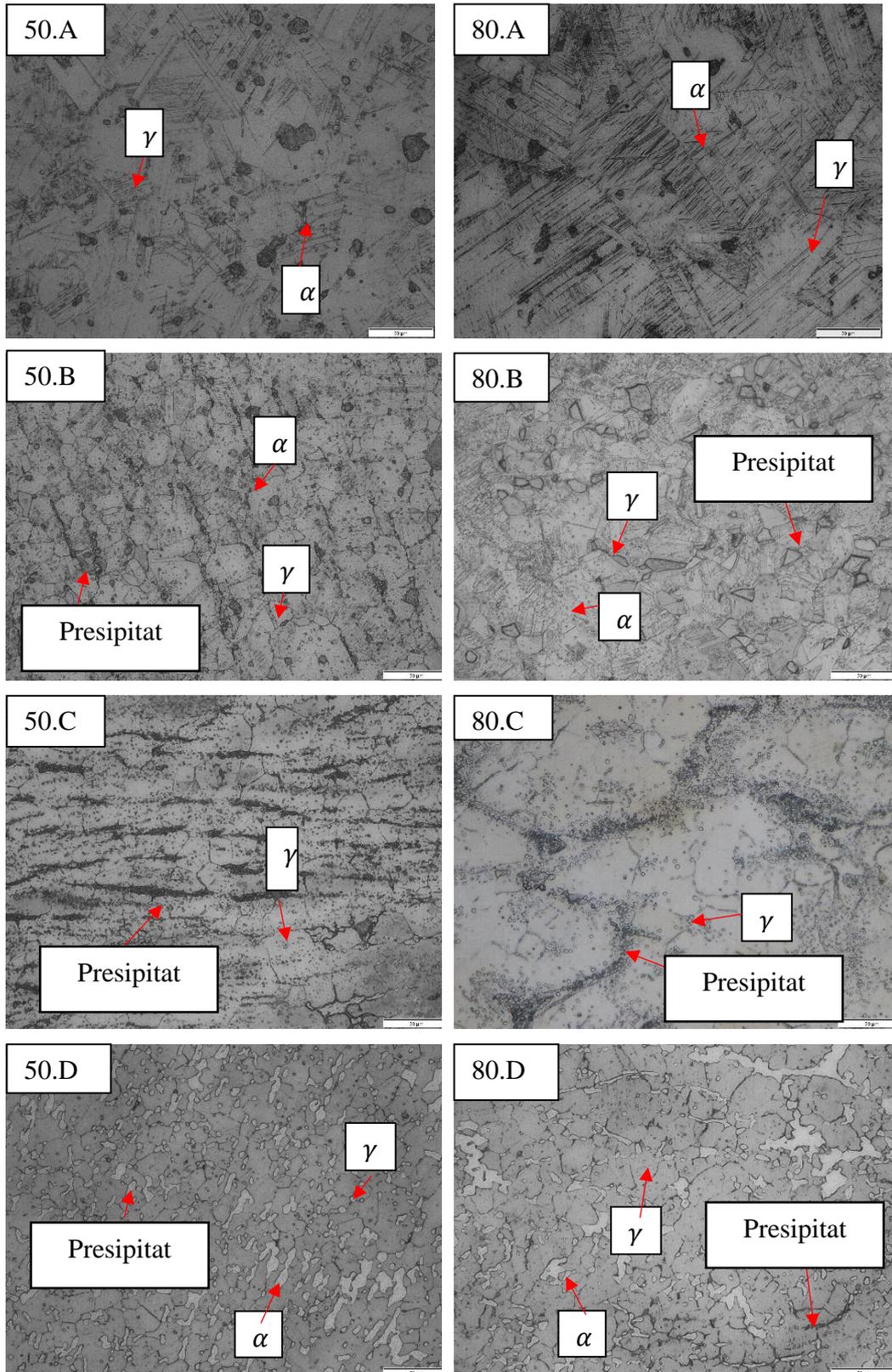
Gambar 4.1 Prediksi Diagram Fasa Menggunakan Jmatpro

Gambar 4.1 memprediksi fasa apa yang terbentuk dengan tambahan unsur yang berbeda di setiap paduannya dan proses perlakuan panas pada temperatur 1000°C. Paduan A Fe-Mn-Si dapat dilihat terbentuk fasa austenit. Paduan B Fe-Mn-Si-Mo terbentuk fasa austenit dan presipitat karbida. Paduan C Fe-Mn-Si-Mo-Ni terbentuk fasa austenit dan presipitat karbida. Paduan D Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr terbentuk fasa austenit dan presipitat karbida. Hal ini sesuai dengan literatur pada temperature 1000°C menghasilkan fasa austenite dan adanya penambahan Mo, Ni, Cr menghasilkan presipitat [36].

4.2 Hasil Pengujian Metalografi

Setelah komposisi kimia dari empat variasi SMA berbasis besi (Fe) dianalisis, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian metalografi untuk memahami struktur mikro yang terbentuk, termasuk transformasi fasa, ukuran butir, dan adanya presipitasi yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan korosi SMA setelah dilakukan proses *hot rolling* dan *solution treatment*. Pengamatan struktur mikro dilakukan pada semua spesimen menggunakan *optical microscope* dengan perbesaran 50x untuk mengetahui pengaruh komposisi dari setiap paduan dipengaruhi oleh penambahan unsur paduan seperti Mo 2,04%, Ni 8,04%, Cr 10,23%, dan persen reduksi *hot rolling* 50% dan 80% terhadap hasil mikrostruktur SMA.

Analisis mikrostruktur pada empat jenis SMA menunjukkan variasi yang berbeda dalam komposisi fasa dan karakteristik strukturalnya, yang masing-masing dipengaruhi oleh penambahan unsur paduan dan kondisi pemrosesan yang berbeda. Pengamatan ini dilakukan dengan perbesaran 50x pada dua kondisi reduksi yang berbeda 50% dan 80%. Pada paduan A yang Fe-Mn-Si, struktur mikro terbentuk fasa austenit (77,62%) dan fasa martensit (22,38%) Fasa austenit terbentuk karena adanya unsur Mn yang dapat meningkatkan stabilitas fase austenit [45]. Fasa martensit terbentuk ketika paduan didinginkan di bawah temperatur M_s , yang menyebabkan transisi menjadi martensit. Nilai M_s untuk paduan A dapat dihitung menggunakan perhitungan M_s yang didapat dari literatur. Nilai M_s pada paduan A 372,91 °C. dan proses pendinginan menggunakan media air dengan temperatur ruang 25°C Hal ini sesuai dengan literatur transformasi martensitik terjadi ketika paduan didinginkan di bawah temperatur M_s sehingga terbentuk martensit. [14].



Gambar 4.2 Struktur Mikro *Shape memory alloy* Reduksi 50% dan 80% perbesaran 50x Sampel A, sampel B, Sampel C, Sampel D.

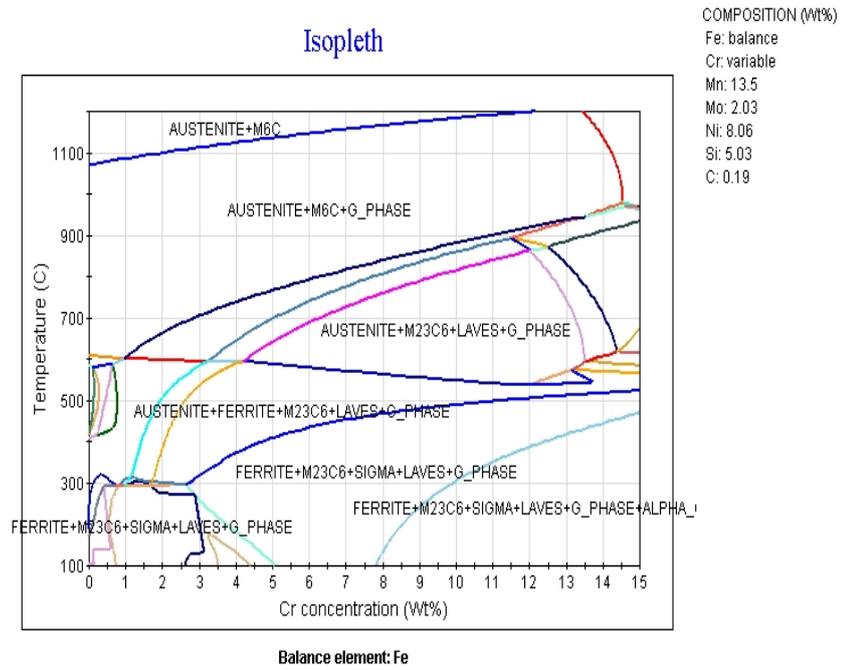
Pada paduan B yang terdiri dari Fe-Mn-Si-Mo, struktur mikro fasa γ -austenit (75,01%), martensit (20,96%), dan presipitat (4,03%) diantara batas butir yang tetap stabil selama tahap pemrosesan homogenisasi, pengerolan panas, dan perlakuan *solution treatment* pada temperatur 1000°C. Jika dibandingkan dengan paduan A terlihat fasa martensit berkurang dan terdapat kemunculan persipitat diantara batas butir. Berkurangnya martensit dikarenakan Nilai Ms pada paduan B lebih kecil yaitu 372,64°C. Mo berfungsi untuk menurunkan temperatur Ms, yang berarti bahwa martensit dapat terbentuk pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan paduan yang tidak mengandung Mo. Penambahan molibdenum pada paduan, terutama pada paduan berbasis Fe-Mn-Si, dapat memperkuat pengendalian pembentukan fasa dan mencegah pembentukan fasa yang tidak diinginkan [55]. Selain itu seperti yang diketahui, Mo adalah elemen pembentuk karbida [56]. Pembentukan ini, yang dikenal sebagai fase presipitat, merupakan kondisi yang terjadi umumnya di batas butir. Menurut literatur, diketahui bahwa presipitat di batas butir meningkatkan kekuatan dan kekerasan dengan mencegah transformasi, meningkatkan ketahanan material terhadap kohesi dengan meningkatkan kelenturan dan ketangguhan, serta menghasilkan hasil morfologi yang berbeda untuk *superalloy* [57].

Pada paduan C yang terdiri dari Fe-Mn-Si-Mo-Ni, struktur mikro menunjukkan fasa austenit yang stabil (67,32%) dan terdapat presipitat yang lebih banyak (32,68%) jika dibandingkan dengan paduan B, terlihat juga tidak ada fasa martensit pada paduan ini. Hal ini disebabkan penambahan nikel sebagai unsur penstabil austenit sehingga menghasilkan fasa austenit yang stabil dan secara efektif mengurangi pembentukan α -martensit sehingga tidak terlihat adanya fasa α -

martensit [43]. Terlihat adanya banyak presipitat diantara batas butir yang diprediksi merupakan presipitat karbida $M_{26}C_3$, bentuk presipitat serupa dengan yang dihasilkan dari penelitian [24] dengan ciri presipitat membentuk karbida bulat-bulat hitam diantara batas butir. Presipitat ini juga diprediksi terbentuk dengan menggunakan diagram prediksi fasa pada Gambar 4.3. Penambahan nikel memperkuat keterbatasan matriks untuk mempertahankan elemen ini dalam larutan padat, sehingga meningkatkan peluang pembentukan presipitat menjadi semakin banyak. Batas kelarutan karbon dalam nikel sangat rendah, hanya sekitar 0,03% pada temperatur 1000°C, ketika karbon tidak larut dalam matriks nikel cenderung membentuk senyawa atau fasa sekunder melalui mekanisme presipitasi. Proses ini dimulai ketika karbon melebihi batas kelarutan nikel pada temperatur tinggi, kemudian terpisah dan berkumpul di titik-titik seperti batas butir atau dislokasi saat temperatur menjadi turun [58].

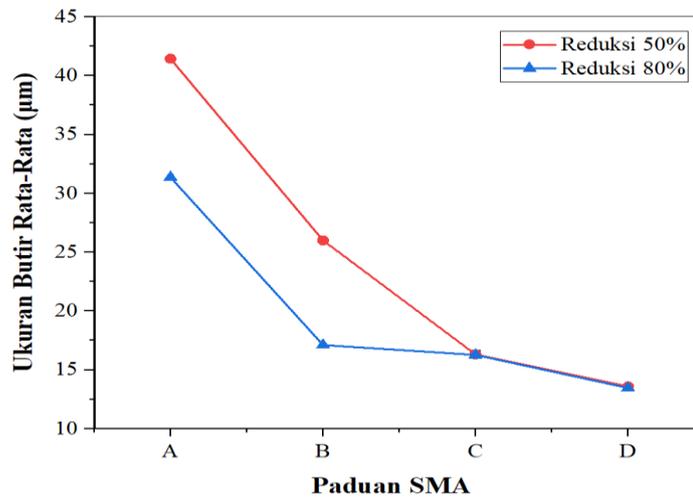
Pada paduan D yang terdiri dari Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr, struktur mikro menunjukkan fasa γ -austenit (50,20 %), terdapat presipitat (2,16%) di batas butir dan terbentuknya fasa ferrit (47,64%). Penambahan kromium dalam paduan dapat menyebabkan terbentuknya struktur mikro ferrit karena Cr merupakan unsur penstabil ferrit [18]. Terbentuknya fasa ferrit sesuai dengan prediksi diagram fasa dengan menggunakan *software* jmatpro pada Gambar 4.3 yang menunjukkan dengan kadar Cr 10,23% pada temperatur 1000°C akan terbentuk fasa austenit, jika temperatur diturunkan pada temperatur yang lebih rendah maka akan terbentuk fasa austenit, ferrit, dan karbida $M_{23}C_6$. Meski Cr bukan merupakan unsur penstabil austenit tetapi, Cr sering dipadukan dengan unsur lain seperti nikel (Ni), yang berfungsi sebagai penstabil austenit. Kombinasi ini menciptakan keseimbangan

antara kekuatan dan keuletan, Cr tetap berfungsi untuk meningkatkan ketahanan korosi dan kekerasan tanpa menghilangkan stabilitas austenit [18].



Gambar 4.3 Prediksi Diagram Fasa Paduan Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr Menggunakan

Jmatpro



Gambar 4.4 Hubungan antara Tingkat reduksi ketebalan dan Ukuran Butir pada

Paduan Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr

Perbandingan antara sampel dengan reduksi 50% dan 80% menunjukkan perbedaan deformasi paduan ini. Berdasarkan analisis metalografi dan data ukuran butir yang ditampilkan pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.2, terdapat korelasi yang jelas antara persentase reduksi *hot rolling* dengan fraksi fasa dan ukuran butir yang dihasilkan pada paduan *shape memory alloy*. Pada reduksi 50%, sampel menunjukkan ukuran butir yang lebih besar dibandingkan dengan sampel yang mengalami reduksi 80%. Hal ini dapat diamati secara konsisten pada semua variasi komposisi paduan (A, B, C, dan D). Semakin tinggi persen reduksi yang diterapkan selama *hot rolling*, semakin besar deformasi yang dialami oleh material, ukuran butir dapat berkurang secara signifikan seiring dengan peningkatan persen reduksi, karena proses rekristalisasi yang terjadi di dalam matriks material [59].

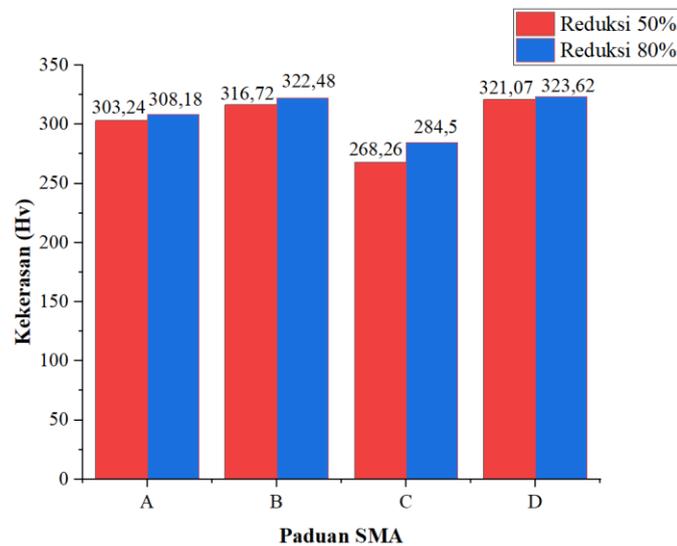
Tabel 4.2 Fraksi Fasa dan Ukuran Butir

Sampel	Fraksi Fasa				Ukuran Butir (μm)
	Austenit (%)	Martensit (%)	Ferit (%)	Presipitat (%)	
50.A	77,62	22,38	0	0	41,44
50.B	75,01	20,96	0	4,03	26
50.C	67,32	0	0	32,68	16,31
50.D	50,20	0	47,64	2,16	13,60
80.A	74,75	25,25	0	0	31,36
80.B	72,22	22,31	0	5,47	17,11
80.C	66,45	0	0	33,55	16,27
80.D	49,42	0	47,51	3,07	13,46

Pengaruh unsur paduan juga terlihat jelas dalam pola penghalusan butir. Paduan A Fe-Mn-Si menunjukkan ukuran butir terbesar dan perbedaan ukuran yang paling signifikan antara reduksi 50% dan 80%. Pada paduan B Fe-Mn-Si-Mo terjadi penghalusan ukuran butir dari paduan A meski dilakukan deformasi dengan persen reduksi yang sama karena adanya penambahan Mo, penambahan molibdenum dapat menyebabkan *refining grain size*, yaitu penurunan ukuran butir, proses ini terjadi karena Mo berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan butir selama proses pemanasan dan pendinginan, sehingga menghasilkan butir yang lebih kecil dan lebih homogen [42]. Begitupun pada paduan C terjadi penghalusan ukuran butir dari paduan A Fe-Mn-Si meski dilakukan deformasi dengan persen reduksi yang sama karena adanya penambahan Ni, nikel dalam paduan berbasis Fe dapat berfungsi sebagai agen penghalus butir. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan nikel dalam paduan dapat menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil, yang berkontribusi pada peningkatan sifat mekanik, seperti kekuatan tarik dan ketahanan terhadap *creep* [60]. Hal ini disebabkan oleh interaksi antara nikel dan unsur-unsur lain dalam paduan, yang dapat mempengaruhi proses pembentukan fasa dan distribusi ukuran butir selama proses pengolahan. Berbeda halnya dengan paduan D Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr hanya terjadi sedikit penghalusan butir dengan adanya penambahan unsur Cr, penambahan unsur Cr menunjukkan kemampuan unsur terhadap elongasi pada deformasi, kromium membantu mempertahankan ukuran butir meskipun baja telah mengalami proses *rolling*. Dengan meningkatkan stabilitas mikrostruktur, Cr mencegah pertumbuhan butir yang berlebihan, sehingga mempertrahankan sifat mekanik yang diinginkan setelah deformasi [18].

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui sifat mekanik yang dihasilkan dari pengaruh penambahan paduan dan persen reduksi *hot rolling* terhadap nilai kekerasan. Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Micro Vickers Hardness* terhadap seluruh sampel dilakukan pada lima titik yang berbeda di permukaan sampel, dengan menggunakan pembebanan sebesar 0,5 Kgf. Data hasil rata-rata pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Diagram Batang Nilai Rata-Rata Pengujian Kekerasan SMA

Analisis nilai kekerasan pada berbagai paduan SMA yang telah mengalami proses *hot rolling* dengan variasi reduksi 50% dan 80% menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Pada paduan A (Fe-Mn-Si), peningkatan kekerasan dari 303,24 HV (reduksi 50%) menjadi 308,18 HV (reduksi 80%) relatif moderat. Hal ini berkaitan dengan struktur mikronya yang terdapat banyak fasa α -martensit, sebagaimana terlihat pada hasil metalografi. Terdapat peningkatan fraksi martensit dari paduan A 50% dan 80% yang dihasilkan karena *hot rolling*, Peningkatan fraksi martensit berkontribusi langsung terhadap peningkatan kekerasan material. Martensit

memiliki struktur kristal tetragonal berpusat pada badan (*body-centered tetragonal*, BCT) yang terbentuk dari transformasi austenit. Struktur ini menyebabkan distorsi dalam kisi kristal atom karbon terjebak di dalamnya. Distorsi ini menciptakan tegangan internal yang signifikan, berkontribusi pada peningkatan kekerasan pada material [59].

Paduan B (Fe-Mn-Si-Mo) menunjukkan peningkatan kekerasan yang lebih signifikan, dari 316,72 HV pada reduksi 50% menjadi 322,48 HV pada reduksi 80%. Selain itu paduan B memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan paduan A pada reduksi 50% dan 80%. Penambahan Mo meningkatkan kekerasan dari paduan A tanpa Mo, hal ini menunjukkan komposisi suatu paduan sangat mempengaruhi kekerasannya melalui mekanisme penguatan larutan padat, pembentukan fasa dan mikrostruktur, interaksi antar unsur, serta pengaruh ukuran butir. Dengan adanya penambahan unsur Mo mampu meningkatkan kekerasan. Hal yang paling berpengaruh yaitu dengan penambahan Mo terbentuk presipitat pada struktur mikronya yang dapat meningkatkan kekerasan. Presipitat, seperti karbida atau berfungsi sebagai penghalang bagi pergerakan dislokasi dalam kisi kristal. Akibatnya, material menjadi lebih keras karena pergerakan dislokasi yang terhambat meningkatkan kekuatan material secara keseluruhan [62]. Peningkatan fraksi presipitat dan fraksi martensit pada paduan B dengan persen reduksi 50% dan 80% menyebabkan kekerasan semakin meningkat.

Paduan C (Fe-Mn-Si-Mo-Ni) menunjukkan fenomena menarik terjadi yang menunjukkan nilai kekerasan terendah di antara semua paduan (268,26 HV pada reduksi 50% dan 284,5 HV pada reduksi 80%). Hal ini dikarenakan adanya penambahan unsur nikel yang merupakan unsur penstabil austenit, penstabil

austenit tidak terlalu banyak meningkatkan kekerasan fasa austenit itu sendiri. Justru dengan keberadaan nikel dapat menurunkan kekerasan fasa austenit [18]. Menurunnya nilai kekerasan jika dibandingkan dengan paduan B yaitu karena tidak terdapat martensit pada paduan ini. Peningkatan fraksi presipitat dan penghalusan ukuran butir membuat kekerasan meningkat pada paduan C jika dibandingkan persen reduksi 50% dan 80%. Hal ini dikarenakan ketika material mengalami deformasi, dislokasi terbentuk dan butir-butirnya menjadi lebih kecil, yang meningkatkan kekerasan [63].

Paduan D (Fe-Mn-Si-Mo-Ni-Cr) menunjukkan nilai kekerasan tertinggi diantara paduan A,B, dan C (321,07 HV pada reduksi 50% dan 324,62 HV pada reduksi 80%). Hal ini dikarenakan adanya penambahan unsur Cr dapat meningkatkan kekerasan [18]. Kromium berfungsi sebagai unsur penguat dengan membentuk larutan padat dalam matriks logam. Ketika Cr ditambahkan ke dalam paduan, atom-atom Cr yang larut mengganggu kisi kristal besi, menciptakan distorsi yang menghambat pergerakan dislokasi. Hal ini dikenal sebagai *solid solution strengthening*, peningkatan konsentrasi atom *solute* (kromium) berkontribusi pada peningkatan kekuatan dan kekerasan material [64]. Kekerasan pada paduan D yang lebih tinggi dengan penambahan Cr dapat dijelaskan melalui teori *Ruled Mixed*. Teori ini menyatakan bahwa kekerasan total suatu material merupakan gabungan kekerasan dari fasa-fasa penyusunnya, yang dihitung berdasarkan fraksi volumetrik dan sifat mekanik masing-masing fasa. Dalam paduan D, keberadaan fasa austenit, ferrit, dan presipitat memberikan kontribusi yang berbeda terhadap kekerasan. Meskipun jumlah presipitat dalam paduan D relatif sedikit, keberadaannya tetap mampu memberikan peningkatan kekerasan

yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh sifat penguatan presipitat yang cenderung meningkat secara eksponensial seiring dengan keberadaan presipitat dalam struktur mikro [65].

Tabel 4.3 Data Analisis Regresi Linear Berganda Hubungan Fraksi Fasa dan Fraksi Presipitat Terhadap Nilai Kekerasan

Hasil Regresi Statistik	
R^2	0,8895
Galat	88,84
<i>Significant F</i>	0,040
P-value Fraksi Martensit	0,0017
P-value Fraksi Austenit	0,0019
P-value Fraksi Ferrit	0,122
P-value Fraksi Presipitat	0,269

Besarnya pengaruh ukuran butir dan fraksi fasa martensit terhadap kekerasan dapat hitung dengan analisis regresi linear berganda menghasilkan data pada Tabel 4.3. Dari hasil analisis statistik yang dilakukan, nilai R^2 menunjukkan 88,95% variabel fraksi fasa dan fraksi presipitat berpengaruh terhadap kekerasan SMA dengan standar error sebesar 88,84. Nilai *significant F* sebesar 0,040 ($<0,05$) menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan signifikan secara keseluruhan pada tingkat kepercayaan 95%. Nilai P-value adalah probabilitas bahwa hasil yang ditemukan terjadi secara kebetulan jika tidak ada hubungan antara variabel yang diuji. P-value kecil (misalnya $<0,05$) menunjukkan hubungan yang signifikan. Fasa yang paling dominan menentukan nilai kekerasan adalah fraksi martensit, karena

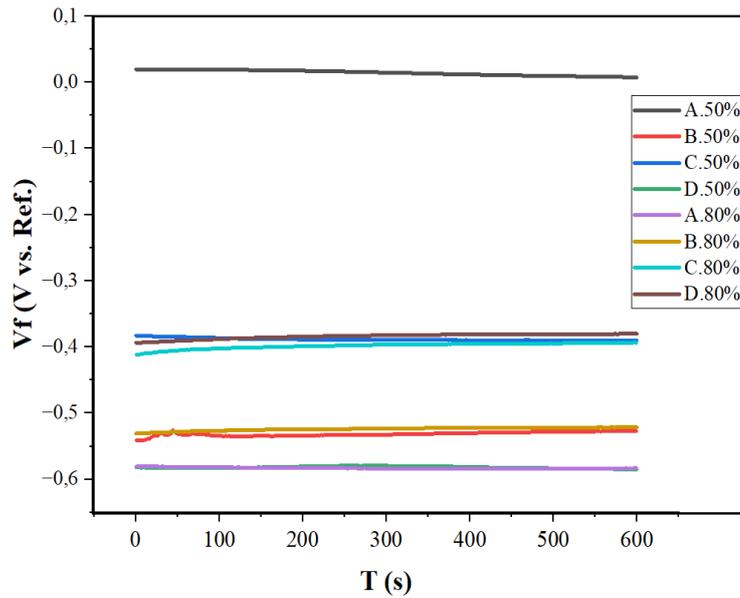
memiliki P-value terkecil (0,0017). Hal ini menunjukkan bahwa fraksi martensit memiliki hubungan yang paling kuat dan signifikan terhadap nilai kekerasan dibandingkan dengan fasa lainnya.

4.4 Hasil Pengujian Korosi

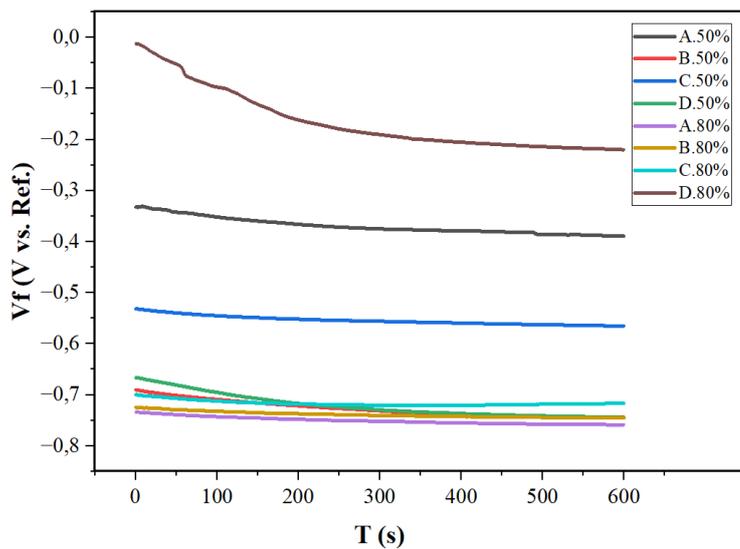
4.4.1 Hasil Pengujian OCP (*Open Circuit Potential*)

Pengujian *Open Circuit Potential* merupakan salah satu metode penting yang bisa dilakukan dalam analisis pengujian korosi pada suatu material, tujuannya untuk mengukur tegangan elektrokimia suatu material dalam larutan korosif tanpa adanya arus listrik yang mengalir untuk mengetahui kecenderungan material terhadap korosi. Semakin negatif nilai OCP, semakin besar kemungkinan material tersebut mengalami korosi. Jika dilihat dalam bentuk grafik menunjukkan perubahan potensi elektrokimia suatu material terhadap waktu dalam larutan korosif. Jika grafik menunjukkan garis yang stabil, itu berarti material dalam kondisi pasif, yang artinya material terlindungi dengan baik dari korosi. Jika potensial naik secara bertahap, itu menunjukkan material sedang membentuk lapisan pelindung (pasif) yang meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Sebaliknya, jika grafik menunjukkan penurunan potensial, ini menandakan bahwa material mulai terkorosi atau lapisan pelindungnya rusak, membuat material lebih rentan terhadap korosi [66]. Pengujian korosi pada penelitian ini dilakukan pada semua sampel SMA dengan menggunakan 3 larutan yang berbeda untuk diketahui masing-masing pengaruhnya, larutan asam berupa H_2SO_4 , larutan netral berupa NaCl, dan larutan basa berupa campuran 0,01 M Na_2SO_4 + 0,4

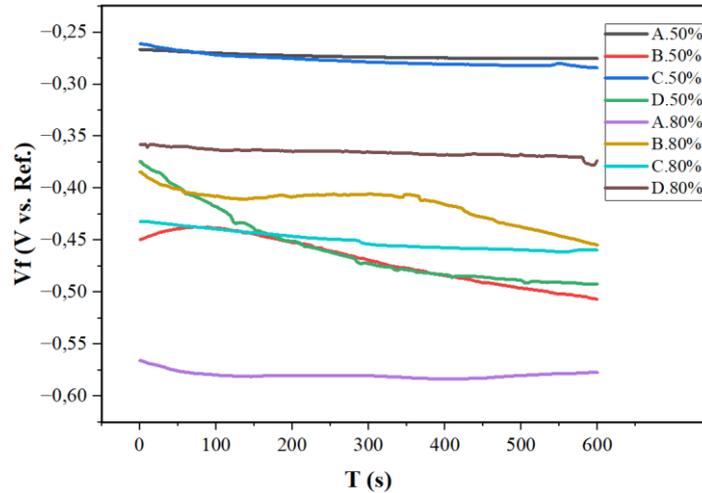
M KOH + 0,001 M Ca(OH)₂ yang merupakan larutan *simulated concrete pore* (SCP). Setelah dilakukan perendaman pada ketiga larutan selama 600 detik didapatkan data OCP setiap paduan yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 larutan H₂SO₄, Gambar 4.7 larutan NaCl, Gambar 4.8 dalam larutan SCP. Nilai hasil OCP dapat dilihat pada Tabel 4.4.



Gambar 4.6 Grafik OCP pada Larutan H₂SO₄



Gambar 4.7 Grafik OCP pada Larutan NaCl



Gambar 4.8 Grafik OCP pada Larutan SCP

Dapat dilihat pada Gambar 4.6 dalam lingkungan asam paduan 50.A memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan paduan lain, sedangkan paduan 50.D memiliki nilai yang lebih rendah, dengan urutan nilai kestabilan OCP yaitu : Paduan 50.A>80.D>50.C>80C>80B>50B>80A>50D. Pada Gambar 4.7 dalam lingkungan netral paduan 80.D memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan paduan lain, sedangkan paduan 80.A memiliki nilai yang lebih rendah, dengan urutan nilai kestabilan OCP yaitu : Paduan 80.D>50.A>50C>80C>80B>50D>50B>80A. Pada Gambar 4.8 dalam lingkungan basa paduan 50.A memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan paduan lain sama dengan tren pada larutan asam, sedangkan paduan 80.A memiliki nilai yang lebih rendah sama dengan tren pada dalam larutan netral, dengan urutan nilai kestabilan OCP yaitu : Paduan 50.A>80.C>.80D>80B>80.C>50D>50B>80A.

Perbedaan nilai OCP pada setiap paduan dalam tiga larutan dilihat pada Tabel 4.4 yang berbeda dipengaruhi oleh persen reduksi pengerolan dan

unsur paduan yang ditambahkan. Perlakuan *rolling* yang berbeda dapat mempengaruhi perilaku korosi, di mana pengurangan *rolling* yang lebih besar berhubungan dengan penurunan kecenderungan korosi [67]. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menentukan penambahan paduan yang sesuai seperti Cr, Ni, Cu, Co, dan N, yang akan meningkatkan ketahanan korosi tanpa mengurangi sifat memori bentuknya [14]. Jika dilihat pada grafik OCP dalam ketiga larutan, paduan SMA lebih mulia di lingkungan SCP dibandingkan dengan larutan H₂SO₄, dan larutan NaCl 3,5%. Hal ini umumnya menunjukkan paduan SMA tidak menimbulkan korosi pada larutan basa (pH 13,10) [12].

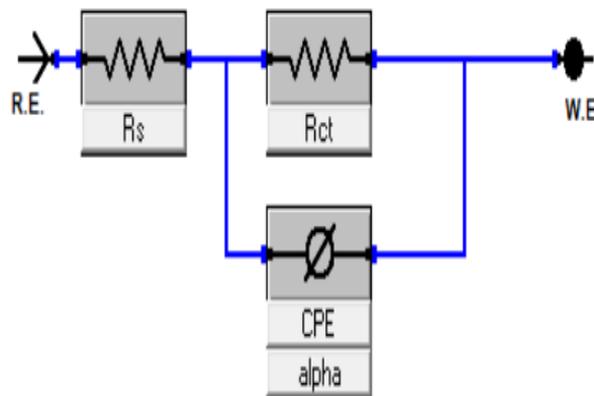
Tabel 4.4 Hasil Pengujian OCP

Sampel	Larutan H ₂ SO ₄		Larutan NaCl		Larutan SCP	
	Min (mV)	Max (mV)	Min (mV)	Max (mV)	Min (mV)	Max (mV)
50.A	7,465	19,57	-388,9	-331,1	-275,2	-266,5
50.B	-541,6	-525,4	-743,9	-690,7	-506,7	-437,2
50.C	-390,5	-382,7	-565,3	-531,8	-284,1	-261,2
50.D	-584,8	-579,4	-744,3	-666,7	-492,2	-374,4
80.A	-584,0	-580,5	-758,7	-733,9	-454,5	-384,2
80.B	-530,7	-521,3	-745,6	-724,7	-461,2	-432,0
80.C	-411,6	-393,3	-720,7	-700,1	-377,7	-357,5
80.D	-393,7	-380,0	-220	-12,10	-583,3	-565,9

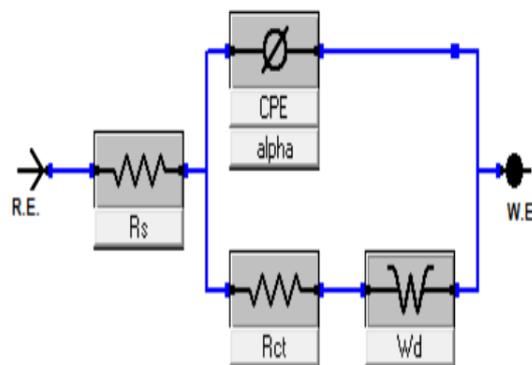
4.4.2 Hasil Pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Pengujian *electrochemical impedance spectroscopy* merupakan pengujian lain yang dapat dilakukan untuk menganalisis pengujian korosi

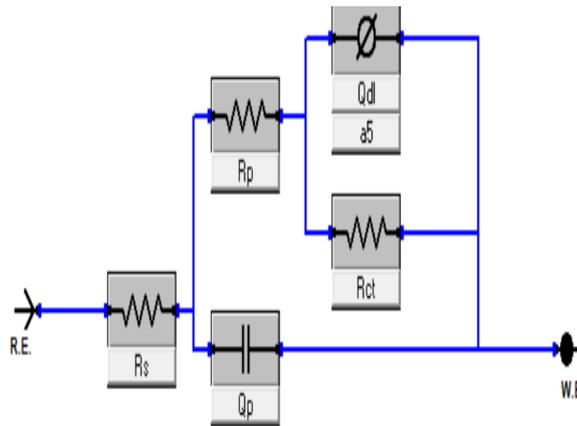
pada sampel SMA dengan menggunakan prinsip elektrokimia, tujuan dilakukan pengujian ini untuk mengukur ketahanan material terhadap korosi dengan melihat bagaimana material merespons arus listrik pada berbagai frekuensi. EIS membantu mengetahui seberapa efektif lapisan pelindung material dan mengidentifikasi proses korosi yang terjadi. Prinsip dasar EIS melibatkan penerapan sinyal AC ke dalam sistem dan pengukuran tahanan, yang merupakan resistansi kompleks pada berbagai frekuensi. Model *Randles Modified* digunakan sebagai sirkuit sederhana untuk dapat mendeskripsikan perilakunya dalam larutan elektrolit [26]. Model *Randles Modified* dapat dilihat pada Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11.



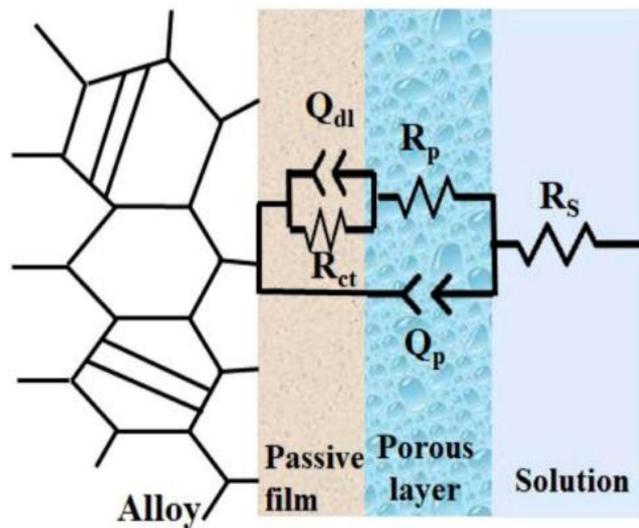
Gambar 4.9 Rangkaian Sirkuit Model *Randles Modified* Larutan H_2SO_4



Gambar 4.10 Rangkaian Sirkuit Model *Randles Modified* Larutan $NaCl$



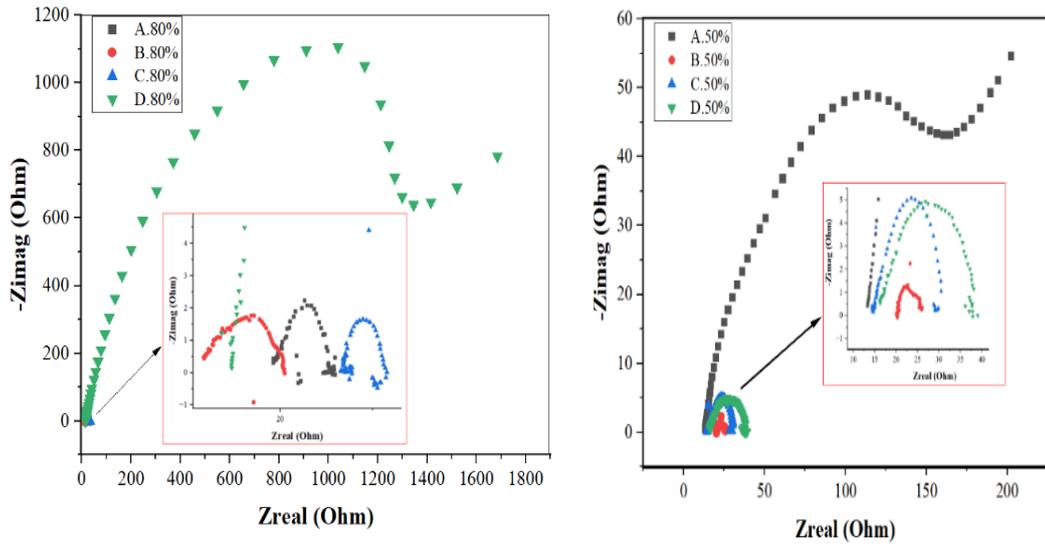
Gambar 4.11 Rangkaian Sirkuit Model *Randles Modified* Larutan SCP



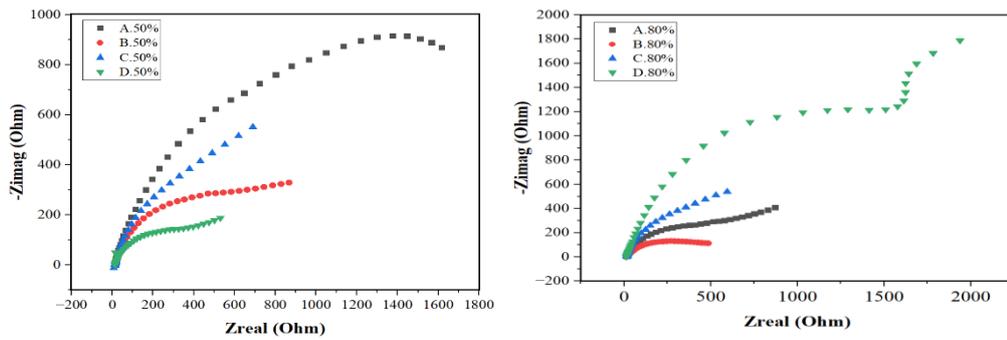
Gambar 4.12 Ilustrasi Mekanisme Perilaku Korosi dan Perilaku Elektrokimia

Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11 menunjukkan rangkaian listrik dengan model *Randles Modified* yang terbentuk untuk menganalisis sistem elektrokimia. Terdapat beberapa parameter penting dalam rangkaian ekivalen, pada larutan H_2SO_4 (R_s, R_{ct}, CPE), larutan $NaCl$ (R_s, R_{ct}, CPE, WD), larutan SCP ($R_s, R_p, R_{ct}, Q_{dl}, Q_p$). Dalam ketiga larutan

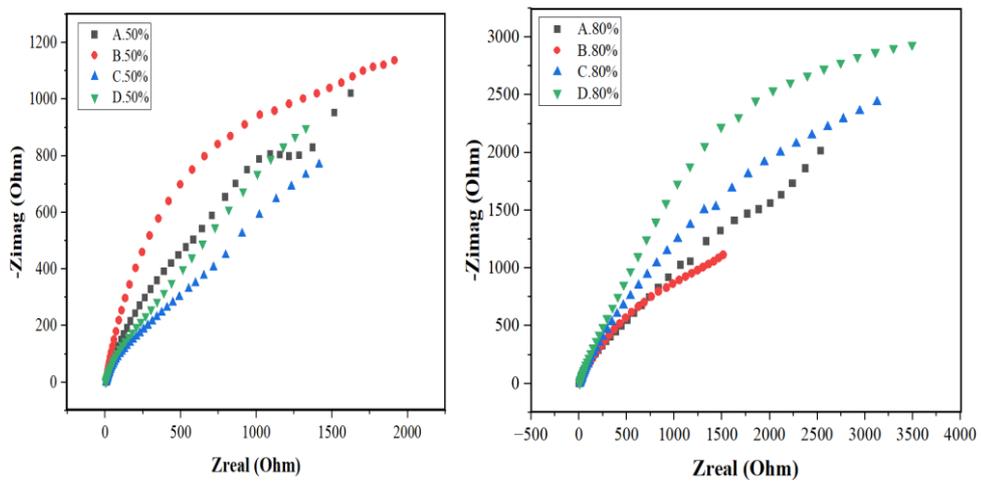
elemen-elemen tersebut menunjukkan R_s berarti resistensi elektrolit antara elektroda kerja dan elektroda referensi, R_{ct} berarti resistansi dari lapisan antarmuka antara elektroda dan elektrolit, CPE berarti elemen fase konstan, yang dalam teori akan mewakili kapasitas lapisan ganda elektrik (Q_{dl}), WD menggambarkan impedansi yang berhubungan dengan proses difusi pada larutan elektrolit, R_p berarti resistensi polarisasi menggambarkan pengaruh lapisan pelindung, Q_p menggambarkan ketidaksempurnaan kapasitas pada proses polarisasi, tetapi di sini berarti kapasitor yang tidak sempurna ($n < 1$). Ketidaksempurnaan ini bisa bersifat mekanik (permukaan kasar) atau komposisi kimia yang tidak merata [26]. Dapat dilihat bahwa larutan H_2SO_4 menunjukkan proses korosi terjadi melalui satu reaksi kimia, begitupun dengan larutan $NaCl$ dengan difusi, larutan SCP menunjukkan adanya perilaku lapisan pasif. Gambar 4.12 menunjukkan ilustrasi korosi pada paduan logam dihambat melalui beberapa lapisan pelindung. Ion dalam larutan pertama-tama dihambat oleh resistansi larutan (R_s) yang memperlambat pergerakan ion menuju logam. Selanjutnya, lapisan pori memberikan perlindungan tambahan melalui resistansi pori (R_p) dan kapasitansi pori (Q_p) yang menahan difusi ion. Jika ion melewati lapisan pori, lapisan pasif melindungi logam dengan resistansi transfer muatan (R_{ct}) yang menghalangi reaksi elektrokimia dan kapasitansi lapisan pasif (Q_{dl}) yang menahan muatan. Namun, jika ion agresif menembus semua hambatan ini, lapisan pasif dapat rusak, memungkinkan korosi terjadi pada logam. Parameter hasil pengujian EIS dilihat pada tabel 4.5 larutan H_2SO_4 , Tabel 4.6 larutan $NaCl$, dan Tabel 4.7 larutan SCP



Gambar 4.13 Grafik EIS pada Larutan H₂SO₄



4.14 Grafik EIS pada Larutan NaCl



Gambar 4.15 Grafik EIS pada Larutan SCP

Tabel 4.5 Parameter EIS baja Fe-Mn-Si-Ni-Cr dalam Larutan H₂SO₄

Sampel	Rs (ohm)	CPE	n	Rct (ohm)
50.A	12,15	0,692 x 10 ⁻³	560,8 x 10 ⁻³	197,1
50.B	20,11	15,18 x 10 ⁻³	509,9 x 10 ⁻³	5,915
50.C	14,70	4,614 x 10 ⁻³	699,5 x 10 ⁻³	15,95
50.D	16,04	1,847 x 10 ⁻³	528,0 x 10 ⁻³	22,80
80.A	19,47	0,182 x 10 ⁻³	809,2 x 10 ⁻³	5,286
80.B	11,18	5,546 x 10 ⁻³	415,2 x 10 ⁻³	9,641
80.C	27,10	3,406 x 10 ⁻³	955,9 x 10 ⁻³	3,680
80.D	14,43	0,102 x 10 ⁻³	805,4 x 10 ⁻³	2.016

Pada Tabel 4.5 larutan H₂SO₄, paduan 80D memiliki nilai Rct paling tinggi 2.016 ohm itu berarti menunjukkan ketahanan korosi yang lebih tinggi dibandingkan paduan lainnya, sedangkan paduan 80C memiliki nilai Rct yang sangat rendah 5.286 ohm, hal ini sesuai dengan diameter semi lingkaran kurva *Nyquist* pada Gambar 4.13, Gambar 4.14, dan Gambar 4.15. Kurva *Nyquist* dari hasil pengujian EIS menunjukkan bahwa semakin ke kanan semakin besar jari-jari dari kurva tersebut. Semakin besar jari-jari kurva, menandakan nilai tahanan polarisasi yang semakin meningkat dan berakibat pada laju korosi yang menurun [69]. Nilai Rs berkisar antara 11.18 ohm hingga 27.10 ohm, yang mencerminkan resistansi listrik larutan H₂SO₄ Nilai yang lebih tinggi sampel 80.C menunjukkan larutan yang memiliki hambatan listrik lebih besar, kemungkinan karena perubahan kondisi larutan di sekitar sampel. Paduan 80D

memiliki nilai CPE yang paling rendah itu berarti menunjukkan lapisan pelindung yang lebih homogen dan stabil. Persen reduksi *hot rolling* yang lebih tinggi akan menghasilkan perlindungan yang lebih baik [67].

Tabel 4.6 Parameter EIS baja Fe-Mn-Si-Ni-Cr dalam Larutan NaCl

Sampel	Rs (ohm)	CPE (S*s^a)	N	Wd S*s^(1/2)	Rct (ohm)
50.A	9,939	0,087 x 10 ⁻³	760,1 x 10 ⁻³	0,872 x 10 ⁻³	1.304
50.B	16,13	0,136 x 10 ⁻³	832,9 x 10 ⁻³	2,375 x 10 ⁻³	545,7
50.C	12,29	0,539 x 10 ⁻³	889,3 x 10 ⁻³	1,955 x 10 ⁻³	538,6
50.D	12,69	0,332 x 10 ⁻³	734,0 x 10 ⁻³	4,998 x 10 ⁻³	365,3
80.A	15,40	0,089 x 10 ⁻³	829,9 x 10 ⁻³	1,903 x 10 ⁻³	496,7
80.B	12,65	0,694 x 10 ⁻³	622,8 x 10 ⁻³	102,9 x 10 ⁻³	555,7
80.C	14,54	0,671 x 10 ⁻³	882,3 x 10 ⁻³	1,794 x 10 ⁻³	555,1
80.D	12,60	0,053 x 10 ⁻³	854,1 x 10 ⁻³	0,552 x 10 ⁻³	1.592

Pada Tabel 4.6 larutan NaCl, paduan 80D memiliki nilai Rct paling tinggi 1.592 ohm dibandingkan paduan lainnya, Paduan 50D memiliki nilai Rct yang sangat rendah 365.3 ohm. Nilai Rs berkisar antara 9,939 ohm hingga 16,13, yang mencerminkan resistansi listrik larutan NaCl nilai yang lebih tinggi sampel 50.B. Nilai CPE paling rendah dimiliki Paduan 80D. Pada Tabel 4.7 larutan SCP paduan 80A memiliki nilai Rct paling tinggi 22.000 ohm, paduan 50A memiliki nilai Rct yang sangat rendah 3.185 ohm. Nilai Rs

berkisar antara 4,446 ohm hingga 11,07. Berbeda dengan larutan yang lainnya dalam larutan SCP ini terbentuk lapisan ganda yang terbentuk.

Tabel 4.7 Parameter EIS baja Fe-Mn-Si-Ni-Cr dalam Larutan SCP

Sam	Rs	N	Rp	Qdl	Qp (F)	Rct
pel	(ohm)		(ohm)	(S*s^a)		(ohm)
50.A	6,915	$538,2 \times 10^{-3}$	1,577	$0,003 \times 10^{-3}$	$0,275 \times 10^{-3}$	3.185
50.B	7,198	$436,3 \times 10^{-3}$	0,0008	$0,228 \times 10^{-3}$	$0,009 \times 10^{-3}$	5.171
50.C	8,067	$0,551 \times 10^{-3}$	0,00004	$0,551 \times 10^{-3}$	$0,005 \times 10^{-3}$	3.657
50.D	4,446	$563,0 \times 10^{-3}$	1,549	$0,467 \times 10^{-3}$	$0,009 \times 10^{-3}$	3.229
80.A	9,825	$427,5 \times 10^{-3}$	0,00004	$0,271 \times 10^{-3}$	$0,008 \times 10^{-3}$	22.000
80.B	4,668	$546,8 \times 10^{-3}$	0,0003	$0,230 \times 10^{-3}$	$0,004 \times 10^{-3}$	3.462
80.C	11,07	$517,3 \times 10^{-3}$	1,914	$0,160 \times 10^{-3}$	$0,003 \times 10^{-3}$	11.290
80.D	9,699	$492,3 \times 10^{-3}$	0,00003	$0,137 \times 10^{-3}$	$0,003 \times 10^{-3}$	17.510

4.4.3 Hasil Pengujian Potensiostatik

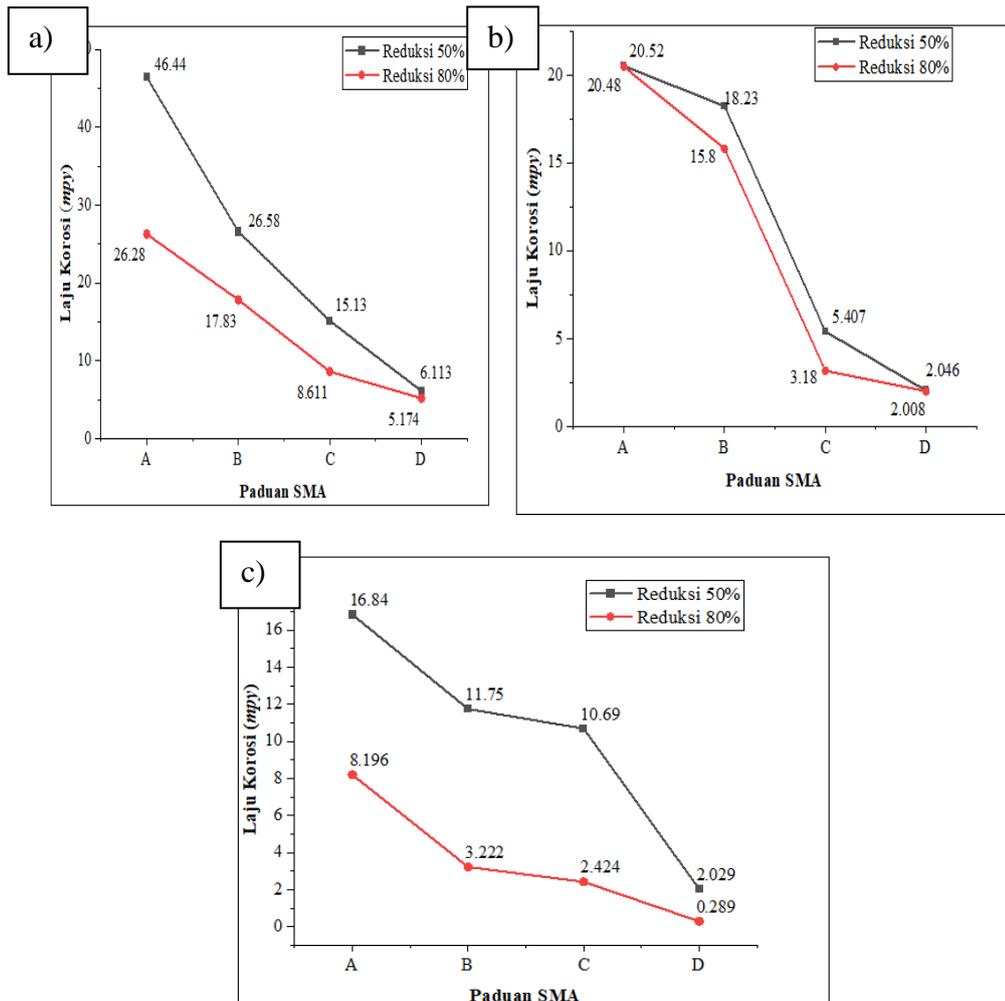
Pengujian potensiostatik bertujuan untuk mengevaluasi perilaku korosi material dalam lingkungan tertentu melalui analisis elektrokimia. Uji ini memungkinkan penentuan laju korosi dengan mengukur densitas arus korosi (*icorr*), yang menggambarkan seberapa cepat material mengalami degradasi. Selain itu, potensial korosi (*Ecorr*) dapat diidentifikasi untuk mengetahui kecenderungan material terhadap korosi. Pengujian ini juga menilai kemampuan material dalam membentuk lapisan pasif pelindung, yang terlihat dari potensial pasivasi (Epasivasi). Informasi terkait parameter

korosi, seperti korosi potensial (E_{corr}), korosi kerapatan arus (I_{corr}), dan laju korosi dalam Tabel 4.8. Kurva polarisasi potensiodinamik yang diperoleh dalam larutan H_2SO_4 , NaCl 3,5% dan SCP ditunjukkan pada Gambar.

Dapat dilihat pada Gambar 4.17, 4.18, 4.19, dan Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengujian potensiodinamik yang diperoleh pada ketiga larutan H_2SO_4 , NaCl 3,5% dan SCP. Pada persen reduksi 50% dalam larutan H_2SO_4 , paduan D memiliki laju korosi (*corrosion rate*) paling rendah yaitu 6,113 mpy dengan nilai i_{corr} yang kecil yaitu $6,690E-03 A/cm^2$, sedangkan paduan 50.A memiliki laju korosi (*corrosion rate*) paling tinggi yaitu 46,44 mpy dengan nilai i_{corr} yang tinggi yaitu $48,80 E-03 A/cm^2$ diantara paduan yang lainnya. Tren yang sama ditampilkan dalam larutan NaCl dan SCP paduan 50.D memiliki laju korosi dan i_{corr} yang kecil. Sedangkan paduan 50.A memiliki nilai laju korosi dan i_{corr} yang tinggi. Nilai laju korosi paduan 50.D pada larutan NaCl 2,046 mpy dengan nilai i_{corr} $1,815 E-06$, paduan 50.A nilai laju korosinya yaitu 20,52 mpy dengan nilai i_{corr} $21,60E-06 A/cm^2$. Nilai laju korosi paduan 50.D pada larutan SCP 2,029 mpy dengan nilai i_{corr} $2,220 E-06 A/cm^2$, paduan 50.A nilai laju korosinya yaitu 16,84 mpy dengan nilai i_{corr} $17,70 E-06A/cm^2$.

Hal serupa ditunjukkan pada persen reduksi 80% paduan 80.D memiliki nilai laju korosi yang rendah dengan nilai i_{corr} yang kecil dan paduan 80.A memiliki nilai laju korosi yang tinggi dengan nilai i_{corr} yang besar dalam ketiga larutan. Pada larutan H_2SO_4 paduan 80.D nilai laju korosinya yaitu 5,174 mpy dengan nilai i_{corr} $9,620E-06 A/cm^2$, paduan 80.A nilai laju korosinya yaitu 26,28 mpy dengan nilai i_{corr} $34,50E-03 A/cm^2$. Pada larutan

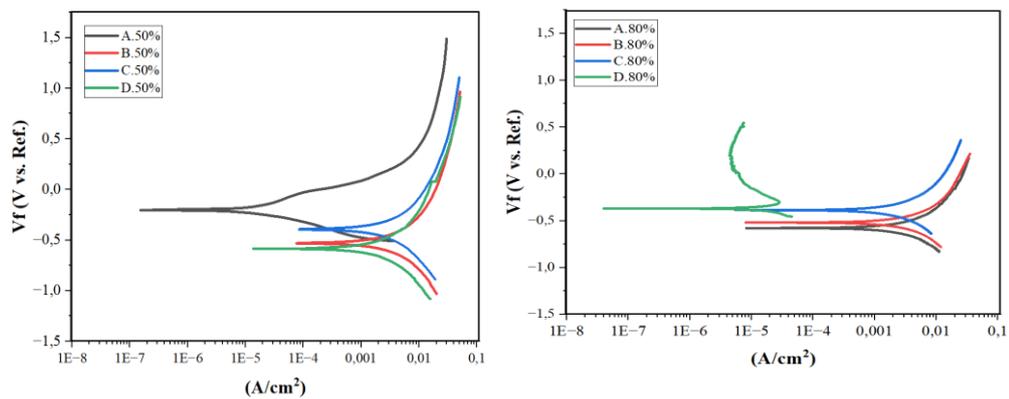
NaCl paduan 80.D nilai laju korosinya yaitu 2,008 mpy dengan nilai *icorr* 2,220 E-06A/cm², paduan 80.A nilai laju korosinya yaitu 20,48 mpy dengan nilai *icorr* 3,030 E-06A/cm². Pada larutan SCP paduan 80.D nilai laju korosinya yaitu 0,289 mpy dengan nilai *icorr* 5,38E-07A/cm², paduan 80.A nilai laju korosinya yaitu 8,196 mpy dengan nilai *icorr* 10,80 E-06A/cm². Hal ini berkaitan dengan struktur mikro yang dihasilkan pada paduan A baik 50% dan 80% nilai laju korosi terburuk disebabkan oleh fasa martensit yang terbentuk dimana semakin banyak fraksi fasa martensit maka akan menaikkan laju korosi yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.16 Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhang, dkk [70] bahwa paduan Fe-Mn-Si dalam larutan NaCl dan Na₂SO₄ memiliki nilai korosi yang rendah ketika martensit meningkat. Martensit memiliki kecenderungan untuk lebih mudah mengalami pelarutan karena kerapatan tinggi cacat tumpukan (*stacking faults*) dalam strukturnya. Selain itu, interaksi antara fasa austenit dan martensit dapat membentuk mikro galvanik, yang mempercepat terjadinya korosi lokal (*pitting*) baik pada martensit ϵ maupun di sepanjang batas antara kedua fasa tersebut. Transformasi $\gamma \rightarrow \epsilon$ pada martensit dalam paduan Fe-Mn-Si terbukti mengurangi ketahanan material terhadap korosi elektrokimia secara signifikan [70]. Pada paduan D reduksi 50% dan 80% memiliki nilai korosi yang terbaik karena adanya penambahan unsur Cr yang dapat membantu ketahanan korosi karena membentuk lapisan pasif [14]. Selain itu paduan D tidak ditemukan adanya martensit, fraksi fasa pada paduan D austenit dan ferrit hamper memiliki fraksi fasa yang sama sehingga menurunkan resiko terjadinya mikro galvanik.



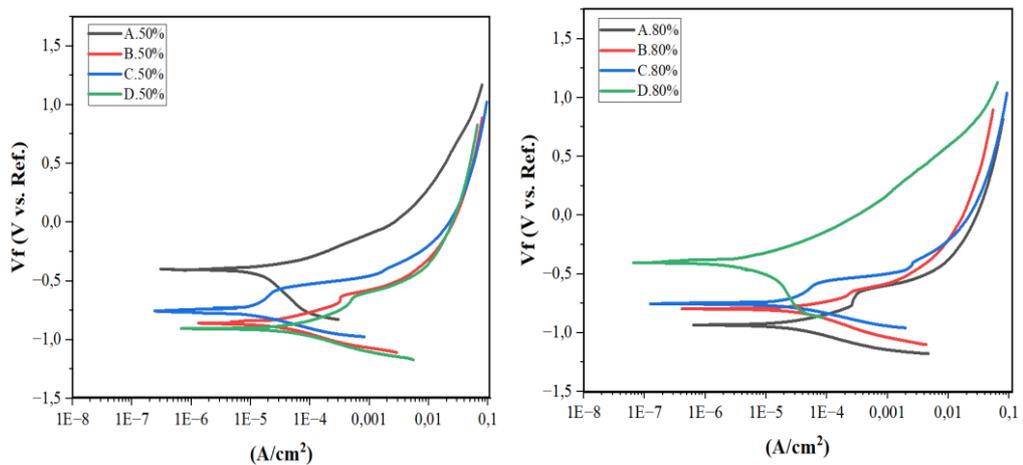
Gambar 4.16 Pengaruh Paduan terhadap Nilai Laju Korosi a) H₂SO₄, b) NaCl, c) SCP.

Jika dilihat dari perbedaan persen reduksi keduanya 50% dan 80%, paduan 80% cenderung memiliki nilai laju korosi yang lebih kecil dibandingkan dengan paduan 50% baik paduan A,B,C, dan D. Hal ini dikarenakan semakin besar persentase reduksi *hot rolling*, biasanya menghasilkan butir yang lebih halus, permukaan yang lebih halus, dan distribusi elemen paduan yang lebih baik, yang bisa meningkatkan ketahanan korosi [14]. Berdasarkan ketiga larutan pada Gambar 4.17, 4.18, dan 4.19 secara umum, semua paduan SMA menunjukkan *I_{corr}* yang lebih rendah dan

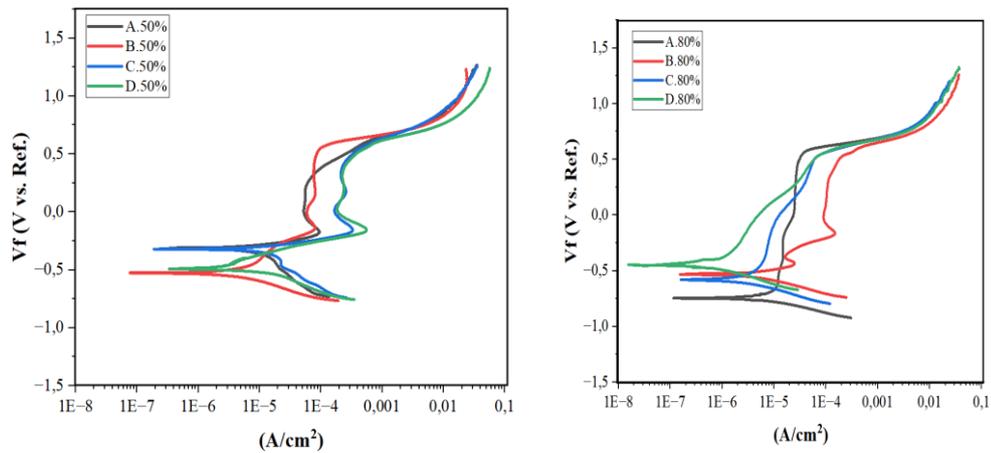
Ecorr yang lebih positif, menunjukkan ketahanan korosi yang lebih baik ketika terkena lingkungan SPC dibandingkan larutan NaCl dan H₂SO₄, yang sesuai dengan pengamatan OCP. Selain itu, larutan beton cenderung memiliki pasivasi yang stabil tanpa adanya indikasi kerusakan lubang akibat pembentukan oksida. Bisa dilihat pada tabel terdapat epasivasi dalam larutan SCP. Hal ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Miftakur,dkk dengan menggunakan larutan SCP dan NaCl [12]. Dalam diagram Pourbaix Fe-Mn-Si menunjukkan pada pH basa menunjukkan daerah imun atau daerah pasivasi.



4.17 Grafik Potensiodinamik pada Larutan H₂SO₄



Gambar 4.18 Grafik Potensiodinamik pada Larutan NaCl



Gambar 4.19 Grafik Potensiodinamik pada Larutan SCP

Lapisan oksida yang terbentuk pada masing-masing permukaan paduan SMA dapat terdiri dari beberapa jenis senyawa oksida, bergantung komposisi unsur pada diagram Pourbaix dalam larutan SCP (pH 13,10) menunjukkan besi dalam bentuk Fe^{2+} ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) campuran oksida besi, dan mangan sebagai Mn^{2+} dan Mn^{4+} , Molibdenum terlarut MoO_4^{2-} , dan kromium terutama terdapat dalam bentuk Cr^{3+} (Cr_2O_3 atau $\text{Cr}(\text{OH})_3$). Dalam larutan NaCl (pH 6.49) berdasarkan potensi korosi dalam larutan klorida dan analisis dari diagram Pourbaix untuk setiap elemen paduan, dapat disimpulkan bahwa perilaku pelarutan unsur-unsur tersebut berbeda-beda. Besi (Fe) cenderung larut sebagai ion Fe^{2+} , menunjukkan bahwa unsur ini rentan mengalami korosi. Hal serupa terjadi pada mangan (Mn), yang juga larut sebagai ion Mn^{2+} . Sementara itu, silikon (Si) larut secara perlahan dalam bentuk senyawa H_7SiO_6 , menunjukkan bahwa pelarutannya tidak secepat besi dan mangan. Nikel (Ni) menunjukkan pelarutan yang relatif lebih sedikit, dengan larutan dalam bentuk ion Ni^{2+} . Di sisi lain, kromium (Cr) memiliki kecenderungan

untuk membentuk lapisan $\text{Cr}(\text{OH})_3$, yang berperan sebagai lapisan pasif pelindung. Hal ini menjadikan kromium elemen penting dalam mencegah korosi lebih lanjut pada paduan. Secara keseluruhan, perilaku masing-masing elemen dalam larutan klorida memperlihatkan bagaimana kehadiran ion klorida dapat mempengaruhi stabilitas dan ketahanan korosi dari paduan tersebut [12]. Dalam larutan H_2SO_4 (pH 2,43) terbentuk lapisan oksida yang terdiri dari Si^{4+} , Cr^{3+} , CrOH^{2+} dan Fe^{2+} campuran Fe^{3+} , hal ini berarti dalam keadaan asam sangat korosif [71]. Jika dilihat dari perbedaan persen reduksi keduanya 50% dan 80%, paduan 80% cenderung memiliki nilai laju korosi yang lebih kecil dibandingkan dengan paduan 50% baik paduan A, B, C, dan D. Hal ini dikarenakan semakin besar persentase reduksi *hot rolling*, biasanya menghasilkan butir yang lebih halus, permukaan yang lebih halus, dan distribusi elemen paduan yang lebih baik, yang bisa meningkatkan ketahanan korosi [14]. Berdasarkan ketiga larutan pada Gambar 4.17, 4.18, dan 4.19 secara umum, semua paduan SMA menunjukkan I_{corr} yang lebih rendah dan E_{corr} yang lebih positif, menunjukkan ketahanan korosi yang lebih baik ketika terkena lingkungan SPC dibandingkan larutan NaCl dan H_2SO_4 , yang sesuai dengan pengamatan OCP. Selain itu, larutan beton cenderung memiliki pasivasi yang stabil tanpa adanya indikasi kerusakan lubang akibat pembentukan oksida. Bisa dilihat pada tabel terdapat epasivasi dalam larutan SCP. Hal ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Miftakhur, dkk dengan menggunakan larutan SCP dan NaCl [12]. Karena dalam diagram *pourbaix* Fe-Mn-Si menunjukkan pada pH basa menunjukkan daerah imun atau daerah pasivasi.

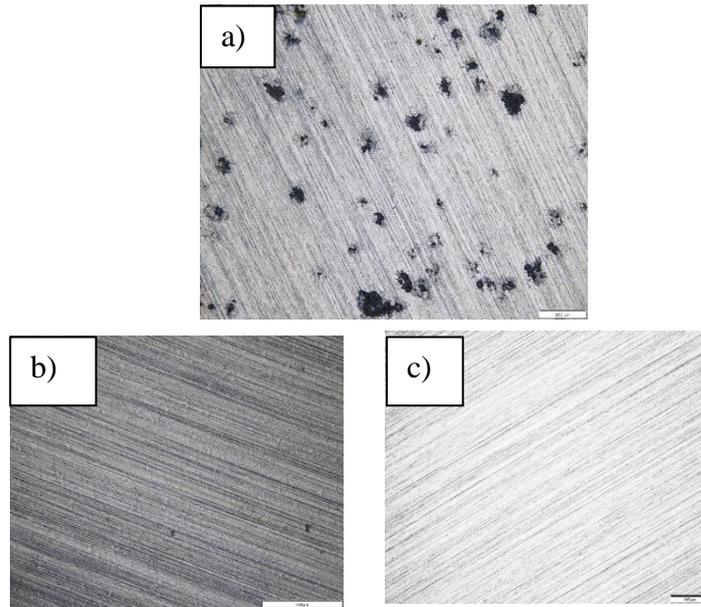
Tabel 4.8 Parameter Korosi Potensiodinamik

Elektrolit	Sampel	<i>Corrosion Rate</i> (mpy)	<i>I_{corr}</i> (A/cm ²)	<i>E_{corr}</i> (mV)	<i>E_{pasivasi}</i> (mV)	
					Awal	Akhir
H ₂ SO ₄	50.A	46,44	48,80 E-03	-203		
	50.B	26,58	29,10E-03	-530		
	50.C	15,13	14,60E-03	-393		
	50.D	6,113	6,690E-03	-393		
	80.A	26,28	34,50E-03	-578		
	80.B	17,83	23,40E-03	-520		
	80.C	8,611	12,20E-03	-387		
	80.D	5,174	9,620E-06	-370		
NaCl	50.A	20,52	21,60 E-06	-401		
	50.B	18,23	20,00 E-06	-861	-683,2	-627,5
	50.C	5,407	5,210 E-06	-757	-685,9	-599,0
	50.D	2,046	1,815 E-06	-405	-695,5	-652,5
	80.A	20,48	26,90 E-06	-935	-745,4	-674,8
	80.B	15,80	20,70 E-06	-873	-701,7	-646,0
	80.C	3,180	4,520 E-06	-754	-443,1	-413,4
	80.D	2,008	2,860E-06	-403		
SCP	50.A	16,84	17,70 E-06	-313	-175,7	255,0
	50.B	11,75	12,90 E-06	-527	-108,9	514,9
	50.C	10,69	10,30 E-06	-320	-146,0	351,5
	50.D	2,029	2,220 E-06	-489	-131,5	321,8
	80.A	8,196	10,80 E-06	-746	-628,7	479,0
	80.B	3,222	4,230E-06	-533	-168,6	277,2
	80.C	2,424	3,450E-06	-582	-420,8	522,3
	80.D	0,289	5,8E-07	-450	-242,6	1.317

Lapisan oksida yang terbentuk pada masing-masing permukaan paduan SMA dapat terdiri dari beberapa jenis senyawa oksida, bergantung komposisi unsur pada diagram Pourbaix dalam larutan SCP (pH 13,10) menunjukkan besi dalam bentuk Fe^{2+} ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) campuran oksida besi, dan mangan sebagai Mn^{2+} dan Mn^{4+} , Molibdenum terlarut MoO_4^{2-} , dan kromium terutama terdapat dalam bentuk Cr^{3+} (Cr_2O_3 atau $\text{Cr}(\text{OH})_3$). Dalam larutan NaCl (pH 6.49) berdasarkan potensi korosi dalam larutan klorida dan analisis dari diagram Pourbaix untuk setiap elemen paduan, dapat disimpulkan bahwa perilaku pelarutan unsur-unsur tersebut berbeda-beda. Besi (Fe) cenderung larut sebagai ion Fe^{2+} , menunjukkan bahwa unsur ini rentan mengalami korosi. Hal serupa terjadi pada mangan (Mn), yang juga larut sebagai ion Mn^{2+} . Sementara itu, silikon (Si) larut secara perlahan dalam bentuk senyawa H_7SiO_6 , menunjukkan bahwa pelarutannya tidak secepat besi dan mangan. Nikel (Ni) menunjukkan pelarutan yang relatif lebih sedikit, dengan larutan dalam bentuk ion Ni^{2+} . Di sisi lain, kromium (Cr) memiliki kecenderungan untuk membentuk lapisan $\text{Cr}(\text{OH})_3$, yang berperan sebagai lapisan pasif. Hal ini menjadikan kromium elemen penting dalam mencegah korosi lebih lanjut pada paduan. Secara keseluruhan, perilaku masing-masing elemen dalam larutan klorida memperlihatkan bagaimana kehadiran ion klorida dapat mempengaruhi stabilitas dan ketahanan korosi dari paduan tersebut [12]. Dalam larutan H_2SO_4 (pH 2.43) terbentuk lapisan oksida yang terdiri dari terdiri dari Si^{4+} , Cr^{3+} , CrOH_2^+ dan Fe^{2+} campuran Fe^{3+} , hal ini berarti dalam keadaan asam sangat korosif [71]

4.4.4 Pengamatan Permukaan Setelah Korosi

Setelah dilakukan pengujian korosi dengan metode OCP, Potensiodinamik, dan EIS pada ketika lingkungan yang berbeda. Dapat dilihat pada Gambar 4.20 (b) menunjukkan terdapat lubang yang terlihat jelas akibat terjadinya korosi pada permukaan paduan yang direndam dalam larutan NaCl, disebabkan oleh kehadiran ion klorida (Cl^-), yang dapat menembus dan merusak lapisan pasif pada permukaan logam. Selain itu, struktur mikro dan keberadaan fase lain dalam paduan, seperti martensit atau presipitat tertentu, dapat menciptakan area yang lebih aktif secara elektrokimia dan rentan terhadap serangan korosi. Pada Gambar 4.20 dalam larutan H_2SO_4 hanya terlihat sedikit lubang samar pada permukaannya, lapisan oksida pasif yang lebih stabil dalam kondisi asam (H_2SO_4), lapisan ini dapat memberikan perlindungan tambahan terhadap korosi, sehingga mengurangi jumlah lubang atau kerusakan lokal di permukaan logam. Lubang-lubang pada dua larutan tersebut tumbuh di bawah lapisan lapisan oksida yang rusak [12]. Menariknya pada Gambar 4.20 c dalam larutan SCP diperlihatkan permukaan yang bersih dari lubang akibat kerusakan yang terjadi setelah uji korosi. Hal ini dikarenakan kondisi alkalin yang sangat tinggi (pH 12-13). Lingkungan yang basa ini mendukung pembentukan lapisan oksida pasif yang stabil dan tebal pada permukaan logam, yang melindungi dari korosi. Selain itu, SCP tidak mengandung ion klorida agresif seperti larutan NaCl, sehingga risiko pitting corrosion lebih rendah [72].



Gambar 4.20 Pengamatan Permukaan Setelah Polarisasi dalam Larutan a) H_2SO_4 , b) NaCl , c) SCP.