

BAB IV

DATA DAN HASIL PENELITIAN

4.1 HASIL UJI KOMPOSISI MATERIAL

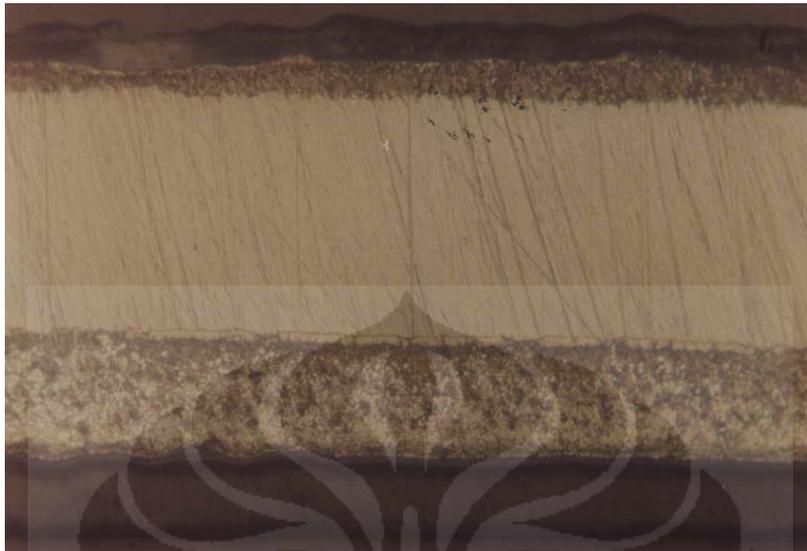
Pengujian komposisi material yang akan diuji, dilakukan dengan menggunakan spectrometer. Hasil uji alat spectrometer menunjukkan bahwa Fe merupakan *remainder* yang memiliki kadar paling tinggi yaitu lebih dari 98%. Sedangkan unsur paduan dengan kadar dan pengaruh yang signifikan adalah silikon (Si), fosfor (P), chromium (Cr), dan nikel (Ni). Hasil pengujian komposisi material adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Komposisi material

Komposisi	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4
Fe	99.339	98.756	99.551	97,486
C	0.0521	0.0563	0.0527	0,07
Si	0.0132	< 0.005	< 0.005	0,45
Mn	0.234	0.202	0.200	0,290
P	0.0073	0.0175	0.0084	0,07
S	0.0139	0.0141	0.0097	0,004
Cr	0.0737	0.209	0.0146	0,32
Ni	0.106	0.544	< 0.005	0,11

4.2. HASIL PENGUJIAN MIKROSTRUKTUR

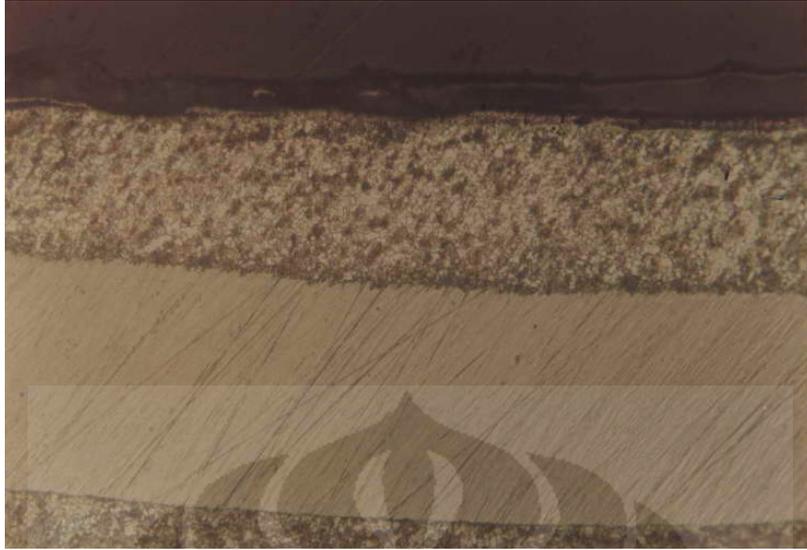
4.2.1. Sampel 1



Gambar 4.1. Mikrostruktur hasil celup panas pada sampel 1 dengan waktu celup 3 detik. (Perbesaran 200x)



Gambar 4.2. Mikrostruktur hasil celup panas pada sampel 1 dengan waktu celup 15 detik. (Perbesaran 200x)



Gambar 4.3. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 1 dengan waktu celup 15 detik. (Perbesaran 200x)

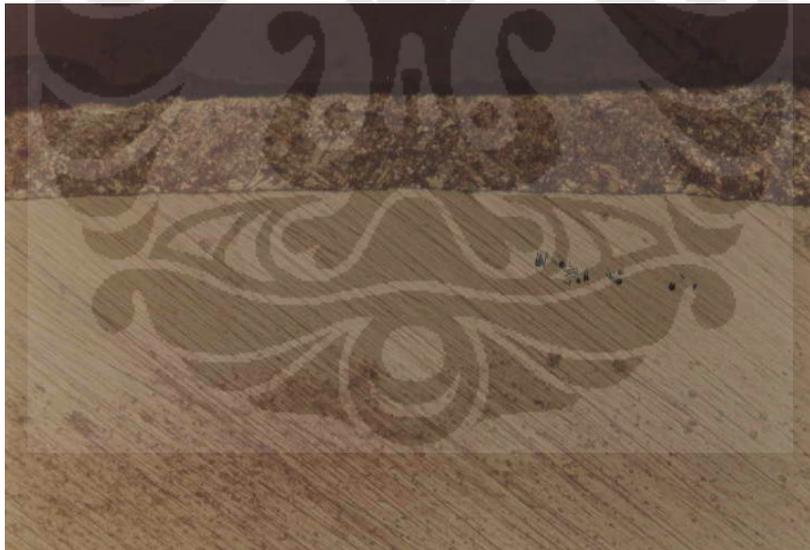
4.2.2. Sampel 2



Gambar 4.4. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 2 dengan waktu celup 3 detik. (Perbesaran 200x)

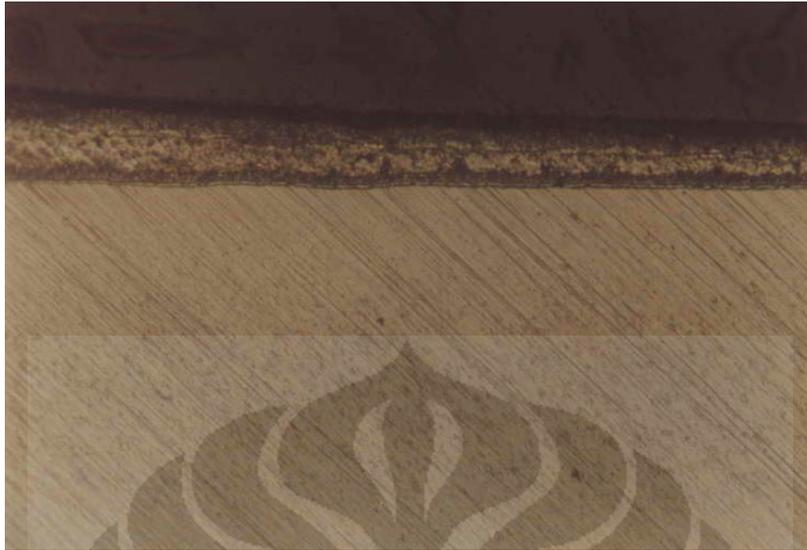


Gambar 4.5. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 2 dengan waktu celup 15 detik. (Perbesaran 200x)

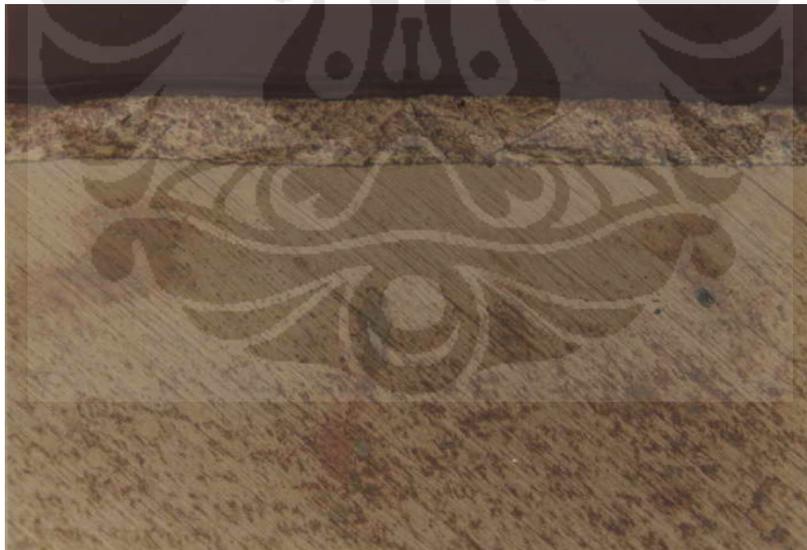


Gambar 4.6. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 2 dengan waktu celup 50 detik. (Perbesaran 200x)

4.2.3. Sampel 3



Gambar 4.7. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 3 dengan waktu celup 3 detik. (Perbesaran 200x)



Gambar 4.8. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 3 dengan waktu celup 15 detik. (Perbesaran 200x)



Gambar 4.9. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 3 dengan waktu celup 50 detik. (Perbesaran 200x)

4.2.4. Sampel 4



Gambar 4.10. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 4 dengan waktu celup 3 detik. (Perbesaran 200x)



Gambar 4.11. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 4 dengan waktu celup 15 detik. (Perbesaran 200x)



Gambar 4.12. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 4 dengan waktu celup 50 detik. (Perbesaran 200x)

4.2.5. Sampel 4 (Amplas)



Gambar 4.13. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 4 yang diampas dengan waktu celup 3 detik. (Perbesaran 200x)



Gambar 4.14. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 4 yang diampas dengan waktu celup 15 detik. (Perbesaran 200x).



Gambar 4.15. Mikrostruktur lapisan hasil celup panas pada sampel 4 yang diampas dengan waktu celup 50 detik. (Perbesaran 200x)

4.3 HASIL UJI KETEBALAN LAPISAN

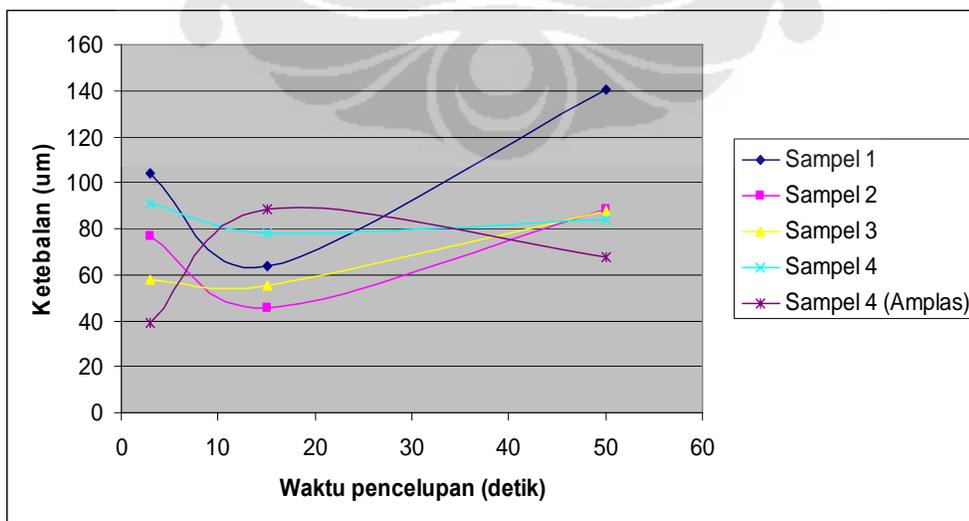
Ketiga sampel yang digunakan memiliki ketebalan yang berbeda-beda. Dari hasil pengukuran ketebalan dengan menggunakan alat thicknessmeter didapat ketebalan sampel sebelum proses galvanisasi yaitu :

Tabel 4.2. Hasil pengukuran ketebalan sampel sebelum proses galvanisasi

Sampel	Ketebalan sampel (μm)
1	200
2	499
3	396
4	8029
4 (ampas)	8005

Tabel 4.3. Hasil pengukuran ketebalan lapisan yang terbentuk setelah proses galvanisasi

Waktu Pencelupan (detik)	Sampel	Ketebalan lapisan (μm)
3	1	103,767
	2	76,817
	3	57,933
	4	90,860
	4 (amplas)	39,05
15	1	63,525
	2	45,65
	3	55,183
	4	77,77
	4 (amplas)	88,55
50	1	140,25
	2	88,275
	3	87,817
	4	83,6
	4 (amplas)	67,375



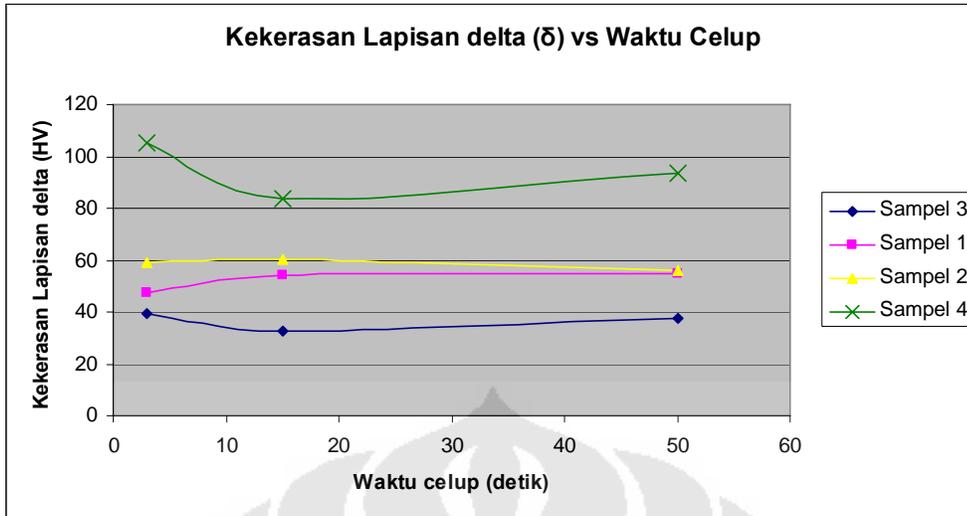
Gambar 4.16. Hubungan antara ketebalan lapisan dengan waktu pencelupan

4.4. HASIL UJI KEKERASAN LAPISAN

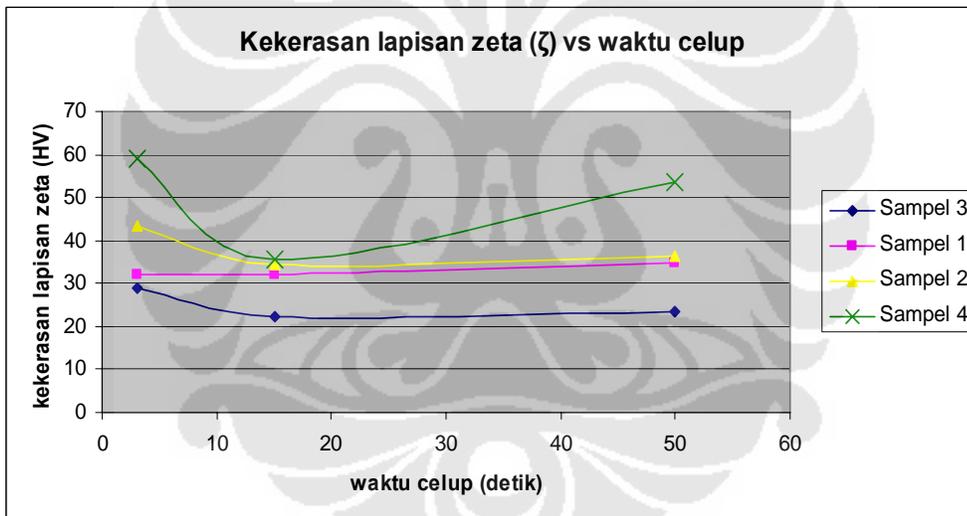
Perhitungan nilai kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji *microhardness Vickers* dengan pembebanan sebesar 25 gram dengan waktu pembebanan selama 15 detik.

Tabel 4.4. Hasil uji kekerasan lapisan

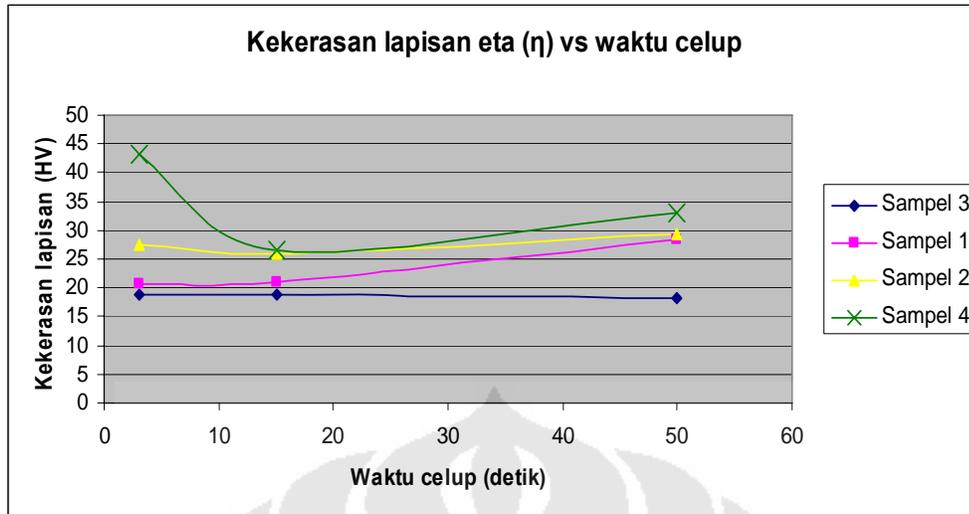
Sampel	Waktu Pencelupan (detik)	Kekerasan lapisan (HV)		
		eta (η)	zeta (ζ)	delta (δ)
1	3	20,687	32,261	47,303
2		27,472	43,522	58,996
3		18,691	29,064	39,242
4 (amplas)		43,194	58,856	105,370
1	15	20,878	32,198	54,276
2		25,814	34,301	60,186
3		18,756	22,296	32,412
4 (amplas)		26,674	35,592	83,535
1	50	28,424	34,824	54,725
2		29,411	36,477	56,201
3		18,162	23,617	37,748
4 (amplas)		32,967	53,677	93,597



Gambar 4.17. Hubungan antara waktu pencelupan dengan kekerasan lapisan delta



Gambar 4.18. Hubungan antara waktu pencelupan dengan kekerasan lapisan zeta



Gambar 4.19. Hubungan antara waktu pencelupan dengan kekerasan lapisan eta



BAB V

PEMBAHASAN

5.1. ANALISA PENGUJIAN KADAR KROMIUM

Sebelum dilakukan proses *Hot Dip Galvanizing*, ketiga sampel yang digunakan diuji kadar kromium (Cr) yang terkandung didalamnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel 4 yaitu baja tahan karat cuaca (*weathering steel*), memiliki kadar kromium tertinggi yaitu 0,32%. Sampel 2 memiliki kadar kromium sebesar 0,209% dan kadar kromium terendah yaitu 0,0146% yang terdapat pada sampel 3. Sedangkan pada sampel 1 terdapat kromium dengan kadar 0,0737%.

5.2. ANALISA STRUKTUR MIKRO LAPISAN

Dari hasil foto struktur mikro lapisan, tidak terlihat dengan jelas fasa-fasa yang terbentuk. Untuk lapisan gamma (Γ) terlihat berwarna hitam yang terletak tepat diatas base metal dan berbentuk seperti garis hitam. Sedangkan lapisan delta (δ) terlihat berwarna putih sedangkan lapisan zeta berwarna agak gelap. Dari struktur foto mikro tidak dapat terlihat jelas fasa yang terbentuk, namun berdasarkan uji kekerasan dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan kekerasan antara lapisan yang berada dekat dengan baja, lapisan paling luar dan lapisan antara (*intermediate*). Fasa tersebut adalah fasa eta, fasa zeta, fasa delta dan fasa gamma. Pada sampel dengan waktu celup 3 detik, dapat terlihat adanya fasa intermetalik Fe_2Al_5 . Pembentukan fasa intermetalik Fe_2Al_5 dikarenakan komposisi Al pada bak logam seng cair cukup tinggi yaitu 0,35%. Menurut Jordan dan Marder [7], kandungan Al antara 0,1 – 0,25% akan menambah daya lekat dan mengurangi terbentuknya fasa zeta, serta akan memicu terbentuknya fasa intermetalik Fe_2Al_5 .

Pembentukan fasa-fasa pada lapisan hasil proses galvanisasi merupakan hasil fungsi dari laju difusi pada fasa yang berdekatan. Hal ini telah dipelajari Allen dan Mackowiak dengan menggunakan prinsip percobaan Kirkendall. Percobaan tersebut membuat batas antara besi dan seng cair dengan benda yang bersifat inert. Dari hasil percobaan ternyata benda pembatas yang bersifat inert tersebut mengalami perpindahan posisi dengan bergerak ke arah logam seng. Ini sesuai dengan prinsip efek Kirkendall yang menjelaskan bahwa kawat pembatas akan bergerak ke arah logam yang berdifusi lebih banyak. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan ketebalan lapisan dengan parameter waktu pencelupan yang berbeda seperti pada Gambar 4.2.

Ketika logam dicelupkan kedalam bak galvanisasi, pada awalnya akan terbentuk lapisan oksida pada permukaan untuk mencegah kontak langsung antara baja dengan logam cair, sehingga hanya ada sedikit perubahan kecil pada sampel ketika dicelupkan dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini dikarenakan lapisan oksida yang terbentuk akan menyulitkan *dross particle* yang terdapat didalam bak untuk berikatan dengan permukaan sampel. Dengan semakin lama waktu pencelupan akan mengakibatkan lapisan oksida tersebut hilang sehingga memungkinkan terjadinya rekasi antara baja dengan logam cair. Reaksi antara logam baja dan logam cair Zn-Fe-Al akan membentuk lapisan Fe_2Al_5 pada permukaan sampel. Pembentukan lapisan ini akan meminimalisasi terjadinya energi bebas yang dikarenakan oleh komposisi kimia dan struktur yang hampir sama. Atom Al berdifusi membentuk lapisan dan mengakibatkan terjadinya pertumbuhan lapisan. Evolusi yang terjadi pada lapisan reaksi ini bahwa pada awalnya atom Al yang membentuk lapisan reaksi akan bergerak kedalam untuk menekan reaksi yang terjadi dilapisan selanjutnya sehingga kekosongan atom Al pada lapisan akan disubstitusi oleh atom Zn. Hal ini mengakibatkan lapisan paling dalam memiliki kadar Al yang lebih tinggi dan penampakan yang lebih gelap sedangkan lapisan yang selanjutnya memiliki kadar Zn yang lebih banyak.

5.3. ANALISA PENGARUH KETEBALAN LAPISAN

Dari hasil pengujian didapat bahwa ada perbedaan ketebalan dari kelima sampel tersebut. Pada sampel 1 terlihat bahwa lapisan yang terbentuk lebih tebal

dibandingkan pada sampel 2, 3 dan 4 pada semua kondisi waktu celup 3 dan 50 detik. Dari hasil pengujian komposisi dengan spectrometer terlihat bahwa sampel 4 memiliki kandungan silikon tertinggi yaitu 0,510 %. Sedangkan sampel 1 memiliki kandungan silikon (Si) yang lebih rendah yaitu 0,0132%. Sampel 2 dan sampel 3 hanya memiliki kandungan silikon kurang dari 0,005%. Kandungan silikon dalam baja akan mempengaruhi ketebalan lapisan. Silikon dalam baja akan mempengaruhi proses difusi yang berlangsung antara logam baja dengan logam seng cair dimana akan mempengaruhi pembentukan fasa yang sesuai dengan kandungan silikon yang terdapat didalam baja. Lapisan tebal yang dihasilkan merupakan akibat dari meningkatnya reaktivitas baja dengan seng cair yang mengakibatkan pembentukan lapisan Fe-Zn yang cepat di permukaan baja. Namun, selain kandungan silikon, ketebalan sampel uji akan mempengaruhi ketebalan lapisan galvanisasi yang terbentuk.

Pada sampel 4 dalam kondisi diamplas, memiliki kandungan Si sebesar 0,510%, tetapi ketebalan lapisan yang dihasilkan paling rendah. Hal ini disebabkan ketebalan sampel pada sampel 4 paling tinggi yaitu 8 mm. Sampel dengan ketebalan yang cukup tinggi akan menghambat pemerataan panas sehingga akan menyebabkan temperatur sampel pada preparasi awal rendah sehingga berakibat pada gradien temperatur yang rendah antara temperatur preparasi awal dan temperatur pencelupan. Semakin rendah gradien temperatur tersebut maka difusi flux akan semakin rendah sehingga akan dihasilkan ketebalan lapisan yang lebih rendah. Sedangkan pada sampel 4 dalam kondisi tidak diamplas menunjukkan ketebalan lapisan yang lebih tinggi dibandingkan dalam kondisi diamplas. Hal ini dikarenakan pada sampel 4 yang merupakan *weathering steel* dalam kondisi tidak diamplas, terdapat lapisan oksida kromium yang sangat mempengaruhi ketebalan lapisan yang terbentuk. Keberadaan lapisan oksida tersebut akan mengakibatkan seng cair sulit berdifusi sehingga mengakibatkan koefisien difusi menjadi rendah sehingga akan dihasilkan difusi flux yang tinggi dimana mengakibatkan terbentuknya lapisan yang lebih tebal seperti pada Persamaan 2.2.

Hal yang sama juga terjadi pada sampel 2 dan sampel 3 yang memiliki kadar silikon yang sama yaitu $< 0,005\%$ menghasilkan ketebalan lapisan yang

berbeda dimana ketebalan lapisan pada sampel 2 lebih tinggi dibandingkan pada sampel 3. Hal ini disebabkan ketebalan sampel yang digunakan akan mempengaruhi ketebalan lapisan yang terbentuk. Ketebalan sampel 2 adalah 0,5 mm dan ketebalan sampel 3 adalah 0,4 mm. Sampel 1 memiliki ketebalan benda uji yang paling rendah yaitu 0,2 mm dan memiliki ketebalan lapisan yang paling tinggi.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kandungan Si didalam baja akan mempengaruhi ketebalan lapisan yang terbentuk. Selain kandungan Si, ketebalan benda uji juga akan mempengaruhi lapisan yang terbentuk. Dapat terlihat juga bahwa kadar kromium (Cr) tidak berpengaruh terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk.

Waktu pencelupan akan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan yang dihasilkan. Berdasarkan literatur, semakin lama waktu pencelupan maka semakin besar waktu yang dibutuhkan seng untuk berdifusi kedalam permukaan baja sehingga akan dihasilkan ketebalan lapisan yang lebih tinggi. Dari hasil percobaan dapat terlihat bahwa pada detik ke-15, ketebalan lapisan galvanizing pada semua sampel mengalami penurunan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kecepatan pengangkatan sampel dari bak galvanisasi dimana kecepatan pengangkatan yang cenderung lambat mengakibatkan tebal permukaan tidak merata, sedangkan kecepatan pengangkatan yang terlalu cepat cenderung mengakibatkan terbentuknya lapisan yang terlalu tipis.

5.4. ANALISA KEKERASAN LAPISAN

Pengukuran kekerasan lapisan dilakukan pada masing-masing fasa pada semua jenis baja. Pada semua kondisi variable waktu celup dan komposisi kromium, terlihat bahwa urutan kekerasan lapisan mulai dari yang paling tinggi adalah fasa delta (δ), fasa zeta (ζ) dan yang paling kecil kekerasannya adalah fasa eta (η). Lapisan gamma (Γ) tidak dapat diuji kekerasannya karena karena lebar lapisan tersebut sangat kecil dan sehingga penjejakan diameter indentor akan menghasilkan nilai kekerasan yang tidak akurat.

Pada sampel 4 dengan kondisi tidak diampelas, tidak dapat dilakukan pengukuran kekerasan lapisan. Hal ini disebabkan lapisan yang terbentuk sangat

rapuh. Lapisan yang rapuh ini disebabkan oleh ikatan yang terbentuk antara logam dengan seng cair rendah dimana adanya lapisan oksida kromium yang ada pada sampel 4 dalam kondisi tidak diampelas. Lapisan oksida pada permukaan logam baja akan mencegah kontak langsung antara baja dengan logam cair (*almost non-wetting*), sehingga hanya ada sedikit perubahan kecil pada sampel ketika dicelupkan dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini dikarenakan lapisan oksida yang terbentuk akan menyulitkan *dross particle* yang terdapat didalam bak untuk berikatan dengan permukaan sampel. Menurut percobaan Brunnock dimana baja *stainless steel* yang terlapsi dan yang tidak terlapsi dicelupkan pada paduan logam cair Zn-Al dengan komposisi Al 0,135% dan Fe 0,03% pada temperatur 480°C didapatkan bahwa baja *stainless steel* yang tidak terlapsi memiliki ikatan lapisan yang baik dengan paduan logam cair tersebut.

Dari keempat sampel yang diuji, terlihat bahwa sampel 4 dalam kondisi diampelas dengan kadar Cr sekitar 0,32% memiliki kekerasan paling tinggi pada semua fasa dan semua variabel waktu pencelupan. Sedangkan sampel 3 dengan kadar Cr paling rendah yaitu 0,0146% memiliki kekerasan yang paling rendah. Dapat terlihat bahwa semakin tinggi kadar chromium (Cr) yang terkandung maka kekerasan lapisan yang terbentuk akan semakin tinggi. Gejala ini ada hubungannya dengan mekanisme pengerasan larutan padat (*solid solution hardening*), yaitu peningkatan kekerasan karena adanya unsur asing didalam matriks logam. Keberadaan unsur ini dalam susunan logam menyebabkan terhambatnya gerakan dislokasi didalam logam. Energi dislokasi pada logam dengan susunan atom yang terdapat unsur asing lebih besar jika dibandingkan dengan energi dislokasi pada logam murni. Sehingga pergerakan dislokasi akan terhambat dan kekerasan akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya unsur yang terkandung didalamnya. Keberadaan kromium (Cr) akan menyebabkan terjadinya mekanisme pengerasan *solid solution hardening*.

Kekerasan lapisan tertinggi terdapat pada waktu celup yang cukup singkat yaitu 3 detik. Hal ini berkaitan dengan komposisi Al yang terdapat pada bak logam cair yaitu 0,35% dimana memungkinkan terjadinya peningkatan kekerasan melalui pembentukan fasa intermetalik Fe_2Al_5 yang terbentuk pada waktu singkat. Hal ini berdasarkan percobaan Jordan dan Marder [7], kandungan Al antara 0,1 –

0,25% akan menambah daya lekat dan mengurangi terbentuknya fasa zeta dan memicu terbentuknya fasa intermetalik Fe_2Al_5 seperti yang terlihat pada Gambar 2.8.

Jadi dapat disimpulkan bahwa ada kemungkinan kromium bersubstitusi kedalam lapisan Fe-Zn sebagai *solid solution*. Hal inilah yang menyebabkan semakin tinggi penambahan kromium (Cr) akan mengakibatkan kekerasan lapisan akan meningkat. Berdasarkan percobaan Ke Zhang , Nai Yong Tang dan Frank E. Goodwin [2], menunjukkan bahwa pada baja tahan karat 316 yang digalvanisasi dengan komposisi bak logam cair yang terdiri dari 0,17% - 0,22% Al, akan membentuk fasa intermetalik pada sampel yang terdiri ikatan Fe_2Al_5 dan sedikit Mo dan Cr. Pada lapisan terluar terdiri dari 55,17% Al, 31,96% Fe dan 12,87% Zn. Sedangkan lapisan tipis yang terbentuk paling dekat dengan base metalnya terdiri dari 50,2% Al, 28,8% Fe, 19,3% Zn, 1,1% Mo dan 0,6% Cr dan lapisan berikutnya terdiri dari 51,8% Zn, 30,0% Al, 16,8% Fe, 1,2% Mo dan 0,2% Cr ^[2].