

## PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PENCELUPAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA BAJA KARBON RENDAH (0.02% C) DENGAN METODE PELAPISAN *HOT DIP GALVANIZING*

**Tumpal Ojahan R, Slamet Sumardi, Dwi Yoga**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati

Jl. Pramuka No 27 Kemiling Bandar Lampung, Telp/Fax. (0721) 271112 – (0721) 271119

UPT. Balai Pengolahan Teknologi Mineral (BPTM LIPI-Lampung)

Jl. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan

e-mail :

tumpal\_ojahan@yahoo.com

### ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur pencelupan terhadap nilai kekerasan, nilai ketebalan lapisan, struktur mikro serta pengamatan SEM. Proses penelitian ini menggunakan metode pelapisan Hot Dip Galvanizing dengan variasi temperatur 420<sup>o</sup>C, 440<sup>o</sup>C, 460<sup>o</sup>C, 480<sup>o</sup>C serta waktu pencelupan selama 6 menit. Untuk mengetahui hasil penelitian diatas maka dilakukan beberapa pengujian yaitu uji komposisi kimia, uji kekerasan HRb, uji ketebalan lapisan, uji struktur mikro serta uji SEM. Hasil uji kekerasan tertinggi pada variasi temperatur 480<sup>o</sup>C sebesar 76.51 HRb, hasil uji ketebalan lapisan tertinggi pada variasi temperatur 440<sup>o</sup>C sebesar 200.09  $\mu$ m dan hasil uji struktur mikro menunjukkan susunan struktur lapisan Zn dengan baja terbentuk Eta, Zeta, Delta dan Gamma. Pengamatan SEM terdapat unsur yang terkandung pada material yang dilapisi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur juga mempengaruhi hasil dari sifat mekanik.

**Kata kunci** : baja karbon rendah, sifat mekanik, variasi temperatur pencelupan, hot dip galvanizing.

### ABSTRACT

*The Immersion Temperature Variations Influence Of Mechanical Properties In Steel Low Carbon (0,02% C) With The Coating Hot Dip Galvanizing Method. The objective of the study was to identify the effect of temperature variation on dip process towards hardness index, layer thickness rate, micro structure and SEM observation. This study occupied Hot Dip Galvanizing with 420<sup>o</sup>C, 440<sup>o</sup>C, 460<sup>o</sup>C, 480<sup>o</sup>C temperature variations and 6 minutes dip process duration. To achieve the above objectives, some test were done, they are chemical composition, HRb Hardness test, layer thickness test, micro structure test and SEM test. The highest hardness test on 480<sup>o</sup>C was 76.51 HRb, the thickest was on 440<sup>o</sup>C temperature with 200.09  $\mu$ m, and the result of micro structure showed structural composition consisting of Eta, Zeta, Delta and Gamma. SEM observation revealed elements contained in coated material. This study concluded that temperature variation effected mechanical properties.*

**Keywords** : low carbon steel, mechanical, dip temperature variation, hot dip galvanizing

### 1. LATAR BELAKANG

Logam merupakan material yang banyak digunakan masyarakat terutama didunia industri, misalnya dibidang konstruksi, permesinan dan kerajinan. Dalam penggunaan sebagai komponen permesinan dan konstruksi material logam merupakan salah satu komponen yang sering mengalami kerusakan sebelum waktu yang ditentukan, hal ini disebabkan karena terjadi korosi, kelelahan (*fatig*), patah getas, serta over load dan pengaruh temperatur tinggi (*stress corrosion cracking*) dan aus (*wear*). Akibat kerusakan logam pada suatu komponen atau

bagian yang kritis terkadang diluar dugaan, bahkan bencana dapat saja terjadi. Seumpamanya pada kawat baja untuk penahan jembatan, dengan terjadinya kerusakan pada satu kawat berarti beban yang mesti ditanggungnya akan dibebankan merata pada kawat yang lain. Mungkin saja masih aman, namun bagaimana bila ada satu kawat yang ternyata telah mengalami cacat, baik itu akibat korosi, maupun dengan beban dinamis yang diterima akibat kendaraan yang melewatinya maka kawat baja ini dapat saja gagal dan pembebanannyapun akan kembali dibagikan pada kawat yang lainnya. Akibat dari semua ini

jembatan dapat mengalami kegagalan. Adanya getaran atau gerakan yang dinamis, merupakan salah satu penyebab utama terjadinya kerusakan logam. Karena pergerakan yang berulang-ulang dan terus-menerus akan menyebabkan logam mengalami kelelahan. Apabila tidak dilakukan perlindungan pada permukaan material maka cepat atau lambat material tersebut akan mengalami kerusakan yang dapat diakibatkan oleh faktor alam, bahan kimia, udara dan lain-lain seperti kerusakan logam yang paling umum yaitu korosi. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya pencegahan dan pengendalian agar kerusakan yang tak terduga akibat dari korosi dan kerusakan mekanis lainnya dapat diminimalisir atau diperkecil. Upaya pengendalian dapat dilakukan dengan menggunakan metode pelapisan pada permukaan material logam. Pelapisan ini dapat dilakukan secara *electroplating*, *spraying* atau *Hot Dip Galvanizing*. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode pelapisan *Hot Dip Galvanizing* dengan variasi temperatur pencelupan 420°C, 440°C, 460°C, 480°C dan waktu pencelupan 6 menit yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan, ketebalan lapisan dan struktur mikro dari material baja karbon rendah (0.02% C) setelah dilapisi *zinc*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

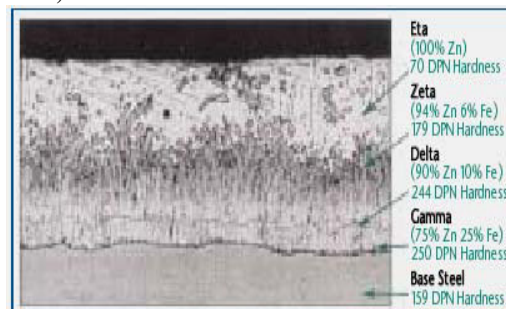
### Hot Dip Galvanizing

*Hot Dip Galvanizing* adalah suatu proses pelapisan dimana logam pelapisnya dipanaskan terlebih dahulu hingga mencair, kemudian logam yang akan dilapisi yang biasa disebut logam dasar dicelupkan ke dalam bak *galvaniz* yang telah berisi seng cair, sehingga dalam beberapa saat logam tersebut akan terlapisi oleh lapisan berupa lapisan paduan antara logam pelapis (*seng*) dengan logam dasar dalam bentuk ikatan metalurgi yang kuat dan tersusun secara berlapis-lapis yang disebut fasa (Anggara, 2007)

Perlindungan pada lapisan galvanis mempunyai dua keuntungan yaitu sebagai barrier dan anoda yang ditumbalkan. Perlindungan barrier akan melindungi logam dari lingkungan luar sedangkan sebagai anoda korban akan terkorosi dahulu baru logam induknya atau substratnya.

Lapisan seng yang diperoleh dengan metode *hot dip galvanizing* lebih tahan lama, relatif tangguh dan mempunyai kekerasan yang tinggi. Dari tiap-tiap lapisan mempunyai sifat yang berbeda-beda baik dari komposisi kimia maupun kekerasan. Lapisan bagian luar ZnO merupakan senyawa oksida seng yang paling tidak diinginkan. Hal ini disebabkan ZnO mempunyai ketahanan korosi paling rendah dibanding produk-produk korosi yang mungkin terbentuk antara seng dan lingkungannya. Lapisan paling atas yang terbentuk

antara Zn dengan Fe (*eta layer*) akan lebih murni dan lunak, sedangkan lapisan paling bawah (*gamma layer*) mempunyai paduan baja paling tinggi dibandingkan lapisan lainnya (Anggara, 2007).



Gambar 1. Lapisan *Galvanizing* (Yeomans, 2004)

Lapisan paduan tersebut yaitu:

1. Lapisan Eta merupakan lapisan terluar yang tersusun oleh 100% seng yang memiliki kekerasan sebesar 70 DPN (*Diamond Pyramid Number*).
2. Lapisan Zeta merupakan lapisan yang terdiri dari 94% seng dan 6% besi yang memiliki kekerasan sebesar 179 DPN.
3. Lapisan Delta adalah lapisan yang terdiri dari 90% seng dan 10% besi yang memiliki kekerasan sebesar 244 DPN.
4. Lapisan Gamma adalah lapisan yang terdiri dari 75% seng dan 25% besi yang memiliki kekerasan sebesar 250 DPN.

Tabel 1. Sifat lapisan paduan Fe-Zn pada proses *Hot Dip Galvanizing* (Yeomans, 2004)

Fase	Paduan	Komposisi (% Fe)	Titik Cair (°C)	VHN	Sifat Mekanik
Eta	Zn	0,03	419	70-72	Lunak dan ulet
Zeta	FeZn <sub>13</sub>	5,7-6,3	530	175-185	Keras dan getas
Delta	FeZn <sub>7</sub>	7,0-11	530-670	240-300	Ulet
Gamma	Fe <sub>3</sub> Zn <sub>10</sub>	20-27	670-780		Tipis, keras dan getas
Base Steel	Fe	98-99	1530	150-175	Ulet

### b. Proses Pelapisan *Hot Dip Galvanizing*

Proses pelapisan dengan metode *Hot Dip Galvanizing* dapat dibagi menjadi tiga tahap proses, yaitu:

#### 1. Tahap Persiapan (*Pre Treatment*)

Tahap persiapan berfungsi untuk menghilangkan asam atau basa yang merupakan bahan pengotor yang menempel pada spesimen, hal ini dimaksudkan agar diperoleh kondisi permukaan yang bersih dan diperoleh hasil lapisan yang baik.

Proses pembersihan permukaan yang akan dilapisi dapat dilakukan sesuai dengan jenis pengotor yang menempel pada permukaan spesimen, namun proses pembersihan ini dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

➤ Proses pembersihan secara fisik.

Pembersihan secara fisik dapat berupa pengamplasan dengan menggunakan mesin gerinda, yang meliputi menghaluskan permukaan yang tidak rata dan penghilangan goresan-goresan serta geram yang menempel pada permukaan spesimen.

➤ Proses pembersihan secara kimia.

Proses pembersihan secara kimia merupakan proses pembersihan pengotor yang menempel pada permukaan spesimen dengan menggunakan bahan-bahan kimia. Proses pembersihan ini meliputi:

#### (a) *Degreasing*

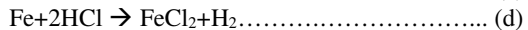
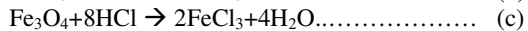
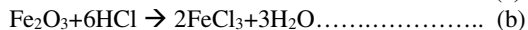
Proses *degreasing* merupakan proses yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran, minyak, lemak, cat dan kotoran padat lainnya yang menempel pada permukaan spesimen. Proses pembersihan dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH (*soda kaustik*) dengan konsentrasi 5% – 10% pada suhu 70°C – 90°C selama kurang lebih 10 menit.

#### (b) *Rinsing I*

Proses *rinsing I* bertujuan untuk membersihkan soda kaustik pada proses *degreasing* yang masih menempel pada permukaan spesimen dalam dengan menggunakan air bersih pada temperatur kamar.

#### (c) *Pickling*

Proses *pickling* bertujuan untuk menghilangkan karat yang melekat pada permukaan spesimen dengan cara dicelupkan ke dalam larutan HCl (*asam klorida*) atau larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (*asam sulfat*) dengan konsentrasi 10% – 15% selama 15 – 20 menit. Selama proses *pickling* terjadi reaksi sebagai berikut:



Proses *pickling* ditunjukkan pada reaksi (a), (b) dan (c) sedangkan reaksi (d), (e) dan (f) merupakan proses *over pickling* (proses *pickling* yang berlebihan). Gas H<sub>2</sub> yang terbentuk pada reaksi ke-(d) akan menghasilkan lapisan yang melepuh. Proses *pickling* yang terlalu cepat akan menyebabkan proses pembersihan kurang maksimal, sehingga akan berpengaruh pada hasil pelapisan.

#### (d) *Rinsing II*

Proses *rinsing II* bertujuan untuk membersihkan larutan HCl atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang menempel pada spesimen saat proses *pickling* dengan menggunakan air bersih pada temperatur kamar.

#### (e) *Fluxing*

Proses *fluxing* merupakan proses pelapisan awal dengan menggunakan *Zinc Amonium Chloride* (ZAC) dengan konsentrasi 20% – 30% selama 5 – 8 menit. Proses *fluxing* berlangsung pada temperatur 60°C – 80°C, hal ini dimaksudkan agar perpindahan panas pada spesimen berlangsung secara perlahan dan bertahap sehingga dapat menghindari terjadinya deformasi plastis yang dapat mengganggu proses pelekatan seng pada benda kerja saat proses *galvanizing* berlangsung.

#### (f) *Drying*

Proses *drying* merupakan proses pengeringan dan pemanasan awal dengan menggunakan gas panas yang suhunya kurang lebih 150°C, tujuannya untuk menghilangkan cairan yang mungkin terdapat pada permukaan spesimen yang dapat menyebabkan terjadinya ledakan uap saat proses *galvanizing* berlangsung.

### 2. Tahap Pencelupan (*Galvanizing*)

Spesimen yang telah mengalami tahap persiapan (*pre treatment*) dan telah bersih dari segala pengotor kemudian langkah berikutnya yaitu dilakukan proses pencelupan (*galvanizing*). Selama proses *galvanizing* berlangsung, cairan seng akan melapisi baja dengan membentuk lapisan baja seng kemudian barulah terbentuk lapisan yang sepenuhnya berupa unsur seng pada permukaan terluar baja, larutan yang digunakan minimal adalah 98,5% murni unsur seng. Tahap pencelupan dilakukan berkisar antara 0,35 – 10 menit pada suhu 435°C – 480°C. Ketebalan lapisan seng pada pelapisan dengan metode *Hot Dip Galvanizing* dipengaruhi oleh kondisi permukaan, lamanya pencelupan dan temperatur pencelupan. (SNI, 1989)

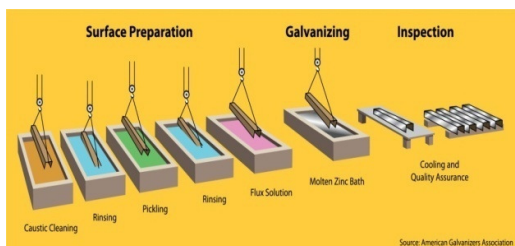
### 3. Tahap Pendinginan dan Tahap Akhir

#### a. Tahap pendinginan (*quenching*)

Tahap pendinginan dilakukan dengan mencelupkan spesimen ke dalam larutan *sodium cromate* dengan konsentrasi 0,015% pada suhu kamar ataupun dengan menggunakan air. Proses ini bertujuan untuk mencegah terjadinya *white rust* (karat putih).

#### b. Tahap akhir (*finishing*)

Bagian akhir dari proses pelapisan berupa menghaluskan permukaan yang runcing yang disebabkan oleh cairan seng yang hendak menetes namun telah mengering terlebih dahulu.



**Gambar 2 . Tahapan Proses Hot Dip Galvanizing (Yeomans, 2004)**

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas lapisan hasil *Hot dip galvanizing* yang terbentuk, yaitu:

- Kualitas Seng

Pemakaian *Special High Grade Zinc* (SHGZ) dengan kandungan Zn hingga 99,999% cenderung memudahkan proses pelarutan permukaan baja saat pertama kali baja dicelup dalam seng cair. Seng yang dipakai harus berkualitas G.O.B (*Good Ordinary Brand*) dan memenuhi Standar SNI 07-1353-1989 yaitu mengandung minimal 98,5% Zn dan 1,65 total campuran timbal, besi dan cadmium. Kandungan timbal lebih dari 1% dapat digunakan karena kelebihan timbal akan terpisah dan mengendap di bawah lelehan seng (Saragih, 2008).

- Komposisi Kimia Substrat

Kandungan unsur-unsur dalam substrat seperti *carbon*, *silicon*, *mangan* dan *phosphor* akan menentukan karakteristik lapisan galvanis yang dihasilkan seperti ketebalan, penampakan, dan kegetasan lapisan. Komposisi kimia substrat yang disarankan untuk *hot dip galvanizing* adalah dengan kandungan komposisi <0.35% C, <0.05% P, <1.35% Mn, <0.05% Si. Diantara unsur-unsur paduan yang terdapat pada substrat, *silicon* mempunyai pengaruh paling besar terhadap ketebalan lapisan galvanis. Kadar *silicon* pada >0,25% Si menyebabkan adanya Efek *Sandelin*. Efek *Sandelin* yaitu jika Si bereaksi dengan Zn akan membentuk lapisan FeZn yang tebal namun bersifat rapuh sehingga mudah retak. Ketebalan lapisan FeZn yang terbentuk menurunkan efisiensi *hot dip galvanizing* karena memerlukan banyak seng sehingga biaya yang diperlukan semakin besar.

- Temperatur Seng Cair

Temperatur yang biasa digunakan dalam proses galvanisasi umumnya berkisar antara 435°C – 480°C. Temperatur maksimum untuk proses galvanisasi celup panas disarankan tidak melebihi 480°C. Pada temperatur diatas 480°C lapisan paduan intermetalik FeZn yang dihasilkan menjadi tidak rata (*non-adherent crystal*) dan memungkinkan proses difusi secara terus berjalan hingga menembus logam dasar. Temperatur yang terlalu tinggi juga dapat mempercepat kerusakan

bak galvanis disamping pemborosan energi (Saragih, 2008).

Peningkatan temperatur akan berpengaruh terhadap fluiditas seng cair. Pada temperatur 435°C – 480°C, pertumbuhan ketebalan lapisan paduan merupakan fungsi linier dari waktu reaksi, tetapi hubungan ini hanya berlaku sampai temperatur 480°C. Pada temperatur 490°C – 520°C hubungan antara laju pertumbuhan lapisan paduan dan waktu reaksi merupakan fungsi parabolik. Dari penelitian sebelumnya dinyatakan bahwa lapisan zeta akan meningkat seiring bertambahnya kenaikan temperatur. Pemisahan elemen paduan pada batas fase zeta dihasilkan dari gabungan bagian liquid yang mana akan mencegah hasil gabungan yang koheren dan padat. Dari penelitian tersebut dikatakan bahwa tahap pertumbuhan lapisan coating yang tercepat terjadi pada temperatur 480°C. Pertumbuhan cepat ini tidak diinginkan karena pada temperatur ini fase zeta akan tidak koheren dan mudah terlepas (Bicao, 2007).

- Waktu Pencelupan

Waktu pencelupan umumnya antara 0,35 - 10 menit. Pada menit awal ketebalan lapisan meningkat dengan cepat kemudian laju pertumbuhan lapisan menurun dengan berjalannya waktu sampai akhirnya sangat lambat. Selain waktu pencelupan, ketebalan lapisan intermetalik dalam lapisan galvanis dipengaruhi oleh kandungan silikon dalam baja yang akan digalvanisasi. Waktu pencelupan baja dengan kandungan silikon tinggi harus dibatasi. Hal ini untuk mencegah pertumbuhan lapisan intermetalik yang berlebihan. Waktu pencelupan harus diatur sedemikian rupa sehingga gradient waktu pencelupan antara bagian awal yang tercelup dan bagian akhir tidak terlalu signifikan. Perbedaan lama waktu pencelupan yang signifikan akan berpengaruh pada keseragaman lapisan yang dihasilkan. Waktu pencelupan pada temperatur 435°C – 480°C akan memberikan perbedaan yang besar pada ketebalan lapisan seiring lama waktu pencelupannya.

- Laju Pengangkatan dari Bak Galvanis

Laju pengangkatan baja dari bak galvanizing hanya berpengaruh pada ketebalan fasa  $\eta$  (Zn murni) yang terdapat pada lapisan terluar. Tebal lapisan  $\eta$  (Zn murni) menentukan efisiensi produk. Laju pengangkatan optimal untuk hampir semua jenis material adalah 1,5 - 15 m/menit (Sulistijono, 2000).

- Pengaruh Unsur Tambahan

Penambahan unsur-unsur pada seng cair dimaksudkan untuk memperbaiki kualitas seng. Aluminium akan membentuk lapisan oksida tipis di permukaan. Unsur Ni akan mengendapkan dross, sedangkan Pb mengangkat dross pada permukaan seng cair. Penambahan unsur Bi akan



memperpanjang laju pembekuan. *Brightness* hasil lapisan diperoleh dari unsur Sn dengan kadar minimal 0,05%.

### 3. METODE PENELITIAN

Adapun langkah-langkah dalam melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Membuat spesimen dengan cara memotong bahan berupa baja karbon rendah dengan ukuran panjang 10 cm, lebar 3.5 cm dan tebal 3.5 mm menggunakan mesin gerinda potong dan dilakukan pengeboran menggunakan mesin bor pada bagian ujung-ujung tengah spesimen seperti pada gambar 3, lubang ini bertujuan untuk mempermudah dalam perangkaian spesimen.



**Gambar 3. Spesimen Uji**

2. Membuat bak galvanize (*crusible*) menggunakan pipa baja yang di belah menjadi dua kemudian disambung bagian punggung bawahnya menggunakan las. Pipa baja dipotong dengan dimensi panjang 35 cm dan diameter 20 cm, kemudian dibelah menjadi dua menggunakan *bluner*. Setelah terbelah kemudian bagian punggung masing-masing pipa baja disambung dengan menggunakan mesin las, dan bagian samping pada ujung pipa ditutup agar terbentuk seperti bak.



**Gambar 4. Bak Galvanize (Crusible)**

3. Melakukan penimbangan sebelum dilakukan proses pelapisan, supaya didapatkan perbandingan berat setelah dilapisi.
4. Melakukan pengujian komposisi kimia untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam suatu bahan atau presentase dari tiap unsur pembentuk bahan misalnya unsur C, Si, Fe, Cu, Mg, Al dan unsur-unsur lainnya.
5. Melakukan proses pembersihan secara fisik dengan cara diampelas dan pembersihan secara kimia dengan cara *degrasing*, *rinsing I*,

*pickling*, *rinsing II*, *fluxing*. Kemudian melakukan proses pelapisan *hot dip galvanizing* dengan variasi temperatur pencelupan 420°C, 440°C, 460°C, 480°C dan waktu pencelupan 6 menit.



**Gambar 5. Hasil Pelapisan**

6. Melakukan penimbangan setelah dilapisi sehingga bisa didapatkan penambahan berat yang terjadi pada spesimen.
7. Melakukan pengujian kekerasan menggunakan *Hardness Rockwell B (HRb)*.



**Gambar 6. Proses Pengujian Kekerasan**

8. Melakukan pengujian struktur mikro menggunakan *Metalurgical Microscope*,



**Gambar 7. Proses Pengujian Struktur Mikro**

9. Melakukan pengujian ketebalan lapisan menggunakan *Thickness Meter Gauge*.



**Gambar 8. Proses Pengujian Ketebalan Lapisan**

10. Melakukan pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Tabel 2. Hasil Uji Komposisi Kimia pada Material Dasar

Nama Unsur	Simbol	Kadar %
Ferum	Fe	98.6
Sulfur	S	0.0013
Aluminium	Al	0.0457
Carbon	C	0.0231
Nickel	Ni	0.0382
Niobium	Nb	0.0136
Silicon	Si	0.1990
Chromium	Cr	0.0199
Vanadium	V	<0.0005
Mangan	Mn	0.8030
Molybdenum	Mo	0.0113
Tungsten	W	0.0147
Phosphors	P	0.0063
Copper	Cu	0.0324
Titanium	Ti	0.0146

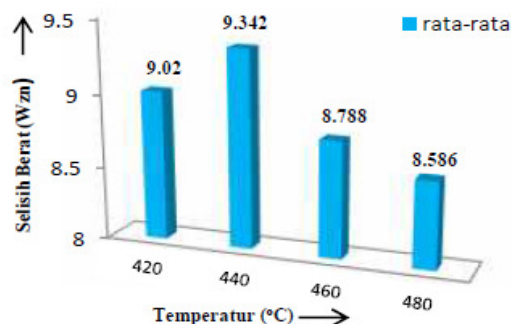
Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia pada Tabel 2 spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja Karbon Rendah dengan kadar karbon 0,0231%.

Tabel 3. Hasil Uji Komposisi Kimia pada Zinc Ingot

Nama Unsur	Simbol	Kadar %
Zinc	Zn	98.65
Silicon	Si	0.710
Sulfur	S	0.430
Ferum	Fe	0.180
Nickel	Ni	0.039

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia pada Tabel 2. diketahui bahwa kandungan Zn yang terdapat pada *Zinc Ingot* adalah sebesar 98.65% dan sudah memenuhi standar SNI No 07-1353-1989 yaitu seng yang dipakai sebagai pelapis harus berkualitas *Good Ordinary Brand* (G.O.B) dan mengandung Zn sebesar 98.5% Zn.

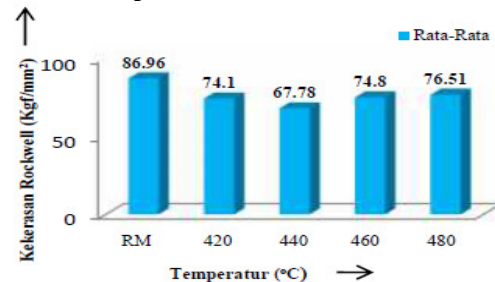
##### Hasil Penimbangan Spesimen Sebelum Dan Sesudah Dilapisi Zn



Gambar 9. Grafik Penambahan Berat Zn ( $W_{Zn}$ ) Terhadap Variasi Temperatur.

Hasil penimbangan spesimen sebelum dan sesudah dilapisi terlihat bahwa semakin besar temperatur pencelupan maka semakin kecil pula penambahan berat Zn ( $W_{Zn}$ ) yang melapisi dari spesimen. Hal ini terlihat dari penurunan berat spesimen dari masing-masing variasi temperatur. Pada temperatur 440°C didapatkan selisih berat ( $W_{Zn}$ ) yang paling besar yaitu 9.342 gram, berbeda dengan temperatur pencelupan 420°C, dimana terjadi penurunan berat yang cukup besar yaitu 9.02 gram, pada temperatur pencelupan 460°C tidak jauh berbeda dengan temperatur sebelumnya terjadi penurunan yang besar yaitu 8.788 gram, sedangkan untuk temperatur pencelupan 480°C terlihat perbedaan yang signifikan dan begitu besar dari temperatur pencelupan sebelumnya yaitu 8.586 gram.

##### Hasil Uji Kekerasan Rockwell (HRb) Dengan Variasi Temperatur



Gambar 10. Grafik Hasil Uji Kekerasan Rockwell (HRb) Dengan Variasi Temperatur

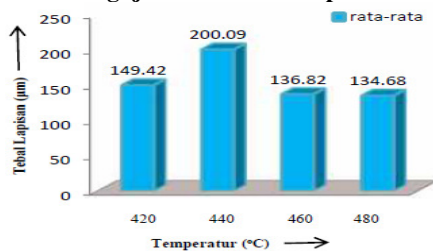
Setelah dilakukan pengujian kekerasan Rockwell (HRb), diperoleh nilai rata-rata pada *raw material* yang digunakan sebagai logam yang dilapisi adalah 86.96 HRb.

Pada variasi temperatur 420°C didapat nilai kekerasan sebesar 74.1 HRb, jika dibandingkan

nilai kekerasan dengan *raw material* sedikit menurun. Hal ini disebabkan saat pengujian kekerasan, indentor pada alat uji hanya menyentuh lapisan Zn dan sedikit mengenai *raw materialnya*.

Selanjutnya pada variasi temperatur 440°C nilai kekerasan rata-rata yang diperoleh sebesar 67.78 HRb, dengan demikian nilai kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan variasi temperature 420°C. Hal ini disebabkan saat proses *Hot Dip Galvanizing* dengan variasi temperatur 440°C, lapisan *zinc* (Zn) yang menempel pada *raw material* lebih tebal dibandingkan dengan variasi 420°C. Sehingga saat dilakukan pengujian kekerasan, indentornya hanya mengenai lapisan *zinc* (Zn). Pada temperatur 460°C nilai kekerasan rata-rata sebesar 74.80 HRb dan nilai kekerasan pada temperatur 480°C sebesar 76.51 HRb. Pada kedua variasi temperatur ini terjadi peningkatan nilai kekerasan dibandingkan dengan nilai kekerasan 440°C. Hal ini disebabkan karena lapisan *zinc* (Zn) yang melapisi *raw material* tidak terlalu tebal sehingga saat dilakukan pengujian kekerasan, indentornya sedikit mengenai permukaan pada *raw material*.

#### Hasil Pengujian Ketebalan Lapisan



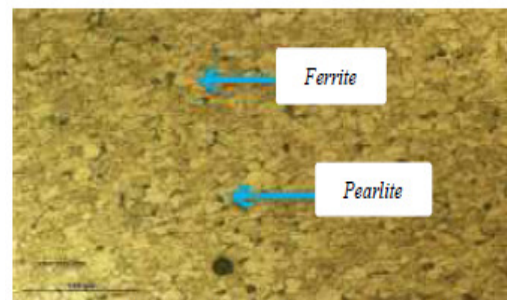
**Gambar 11. Hasil Pengujian Ketebalan Lapisan**

Pada variasi temperatur 420 °C rata-rata ketebalan lapisannya adalah sebesar 149.42 µm, hal ini berbanding lurus dengan hasil penimbangan selisih berat ( $W_{Zn}$ ) yang dilakukan sebelumnya sebesar 9.02 gram. Hasil penimbangan dan tebal lapisan pada variasi temperatur 440 °C yang paling berat.

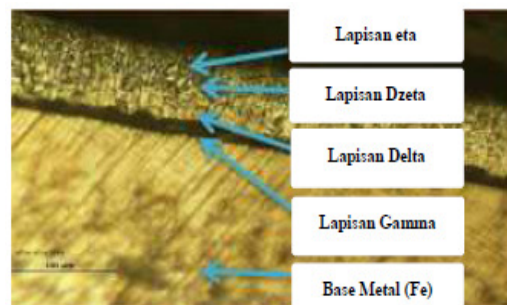
Sedangkan pada variasi temperatur 440°C rata-rata ketebalan lapisannya adalah 200.09 µm, hal ini juga berbanding lurus dengan hasil penimbangan yang dilakukan sebelumnya 9.342 gram, dimana hasil penimbangan pada variasi temperatur 440°C lebih besar daripada temperatur 420°C. Sementara pada variasi temperatur 460°C rata-rata ketebalan lapisannya adalah 136.82 µm terlihat menurun dari variasi temperatur 420°C dan 440°C, hal ini juga berbanding lurus dengan hasil penimbangan yang dilakukan sebelumnya 8.788 gram, dimana hasil

dari penimbangan pada variasi 460°C terlihat menurun cukup banyak dari variasi sebelumnya. Pada variasi temperatur 480°C rata-rata ketebalan lapisannya adalah 134.68 µm terlihat perbedaan yang signifikan dari variasi temperatur yang sebelumnya dan terjadi penurunan, hal ini juga berbanding lurus dengan hasil penimbangan yang dilakukan sebelumnya sebesar 8.586 gram, dimana hasil penimbangan pada variasi temperatur 480°C lebih kecil daripada variasi temperatur yang lain dan begitu juga hasil ketebalan lapisannya.

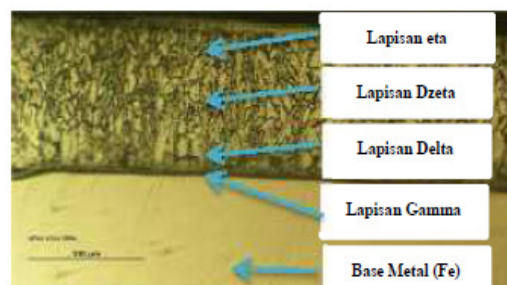
#### Hasil Foto Struktur Mikro



**Gambar 12. Struktur Mikro Raw material**

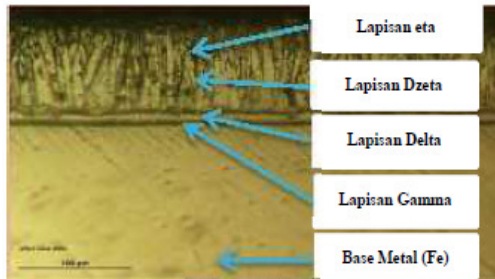


**Gambar 13. Struktur Mikro Dengan Variasi Temperatur Pencelupan 420 C 200X**

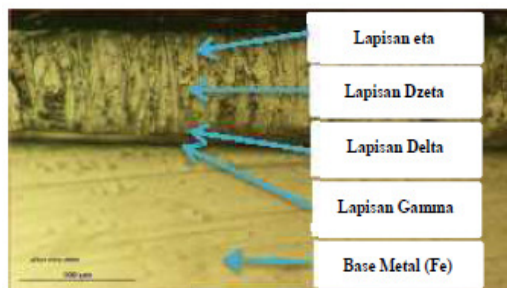


**Gambar 14. Struktur Mikro Dengan Variasi Temperatur Pencelupan 440°C 200X**





Gambar 15. Struktur Mikro Dengan Variasi Temperatur Pencelupan 460 °C 200X



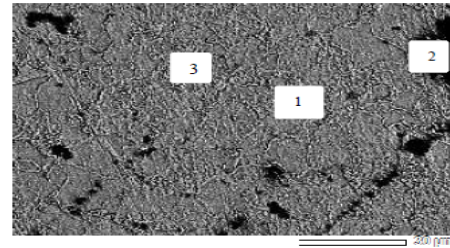
Gambar 16. Struktur Mikro Dengan Variasi Temperatur Pencelupan 480 °C 200X

Gambar 12 Menunjukkan hasil foto foto struktur mikro *Raw Material* bahwa dominasi Kristal *Ferrite* yang tampak berwarna putih (terang) terhadap Kristal *Pearlite* yang berwarna hitam (gelap). Dominasi ini menunjukkan bahwa *Raw Material* merupakan logam yang tidak terlalu keras dalam hal ini berupa baja karbon rendah Pada Gambar 13 spesimen yang telah mengalami *Pre-Treatment* dicelupkan kedalam bak yang berisi seng cair dengan temperatur 420°C selama 6 menit sehingga terjadi difusi Zn ke Fe atau sebaliknya dan terbentuklah paduan Fe-Zn secara berlapis. Pada Gambar 14 variasi temperatur 440 °C. Hasil lapisan yang terbentuk lebih tebal bila dibandingkan dengan yang di *Hot dip Galvanizing* dengan temperatur 420°C. Selanjutnya pada variasi temperatur 460 °C dan 480 °C hasil lapisan yang terbentuk lebih tipis dan tidak merata dibandingkan dengan variasi temperatur 420 °C dan 440 °C.

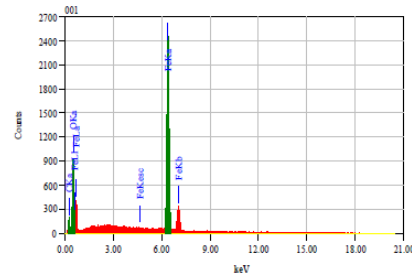
#### Pengamatan *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Berdasarkan hasil pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* pada material dasar dan material yang telah dilapisi didapat tiga titik pengujian. Pengujian pada titik nomor 1 (satu) dilakukan pada material bagian yang lebih halus, pada pengujian titik kedua (dua) dilakukan pada material yang berwarna lebih gelap (hitam) dan pengujian titik nomor 3 (tiga) pada permukaan material yang lebih kasar seperti pada Gambar 17 berikut ini.

#### a. SEM Pada Material Dasar



Gambar 17. Foto Uji SEM Pada Material Dasar

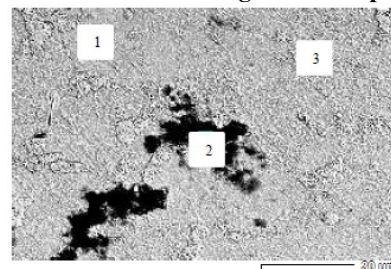


Gambar 18. Kurva Uji SEM Pada Material Dasar

Tabel 4. Hasil Pengamatan Pengujian SEM Pada Material Dasar

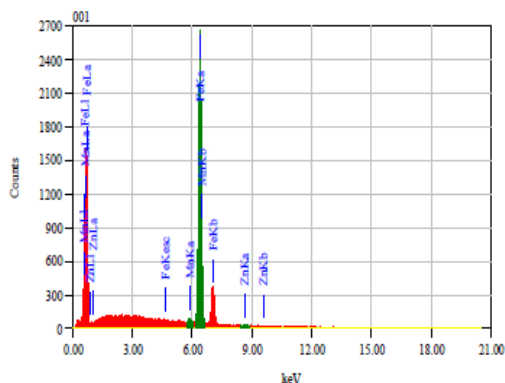
Uji Scanning Electron Microscope (SEM)						
Titik	Elemen	keV	massa %	error %	atom	K
1	C	0.27	7.75	0.17	22.69	18.67
	O	0.52	12.24	0.14	26.92	150.85
	K	6.39	80.01	0.35	50.39	830.46
Total			100.0		100.0	
2	Fe	6.39	100.0	0.42	100.0	100.0
	Total			100.0		100.0
3	Mn	5.89	0.37	0.39	0.37	0.35
	Fe	6.39	99.63	0.40	99.63	996.41
	Total			100.0		100.0

#### b. SEM Pada Material Yang Telah Dilapisi



Gambar 19. Foto Uji SEM Pada Material Yang Telah Dilapisi





**Gambar 20. Kurva Uji SEM Pada Material Yang Telah Dilapisi**

**Tabel 5. Hasil Pengamatan Pengujian SEM Pada Material Yang Telah Dilapisi**

Uji Scanning Electron Microscope (SEM)						
Titik	Elemen	keV	massa %	error %	atom	k
1	Mn	5.89	0.60	0.44	0.61	0.589
	Fe	6.39	99.08	0.45	99.12	99.131
	Zn	8.63	0.31	1.28	0.27	0.278
	Total		100.00		100.00	
2	C	0.27	7.41	0.17	22.27	1.779
	O	0.52	11.09	0.14	25.03	13.694
	Fe	6.39	81.50	0.35	52.70	84.531
	Total		100.00		100.00	
3	Fe	6.39	100.00	0.44	100.00	100.00
	Total		100.00		100.00	

## 5. SIMPULAN

1. Pada nilai kekerasan terjadi fluktuatif, yaitu terjadi peningkatan dan penurunan sehingga mendapatkan hasil yang berbeda-beda. Nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada variasi temperatur 480°C sebesar 76.51 HRB
2. Pada nilai ketebalan lapisan juga terjadi fluktuatif, yaitu terjadinya peningkatan dan penurunan. Nilai ketebalan lapisan yang paling tinggi terdapat pada variasi temperatur 440°C sebesar 200.09 µm
3. Struktur mikro pada material dasar terdapat Kristal ferrite dan Kristal pearlite, akan tetapi pada material dasar didominasi Kristal ferrite. Pada variasi temperatur 420°C bahwa lapisan Zn nya tidak melapisi secara merata. Pada variasi temperatur 440°C lapisan Zn nya terlihat semakin tebal, namun pada variasi

temperatur 460°C dan 480°C lapisan Zn nya terlihat semakin tipis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustami, B. (2013). *Pengaruh Variasi Komposisi Fluxing Dan Waktu Celup Terhadap Nilai Laju Korosi, Tebal Lapisan Dan Struktur Mikro Hot Dip Galvanizing Baja Karbon Rendah SSPC-SD* (Tesis). Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Aengentirtayasa. Banten.
- Anggara, T. (2007). *Pengaruh Variasi Temperatur Proses Pelapisan Metode Hot Dip Galvanizing Terhadap Tebal Lapisan, Struktur Mikro Korosi* (Tesis). Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Anonim. (2002). *Standar Specification For Zinc (HDG) Coating On Iron And Steel Product*. ASTM A 123. Annual Book ASTM Standard.
- Asosiasi Galvanizing Indonesia (AGI). (2002). *Desain Manual Hot Dip Galvanizing*. Jakarta.
- Bicao Peng, dkk (2007). *Effects Of Zinc Bath Temperatur On The Coating Of Hot Dip Galvanizing*. China
- Efendi, Z. (2010). *Jurnal Kekerasan Material Dengan Metode Rockwell* (Tesis). Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Femiana, G.M.F., Putu, H.S., dan Fikrul, A.A. (2012). *Pengaruh Kekasaran Pada Permukaan Terhadap Porositas Hasil Hot Dipped Galvanizing (HDG)* (Tesis). Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Malang
- Permadi, A.R dan Kurniawan. (2012). *Pengaruh Temperatur dan Lama Celup Pada Proses Hot Dip Galvanizing Elemen Pemanas Cold End Layer Air Heater* (Tesis). Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Saragih, K.K. (2008). *Degradasi Lapisan Galvaniz Baja Ressing Pada Menara SUTET Di Jawa Barat Akibat Korosi Dan Kemungkinan untuk Diregalvanisasi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Saripudin, A. (2007). *Pengaruh Waktu Galvanis Terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik Fe-Zn Pada Permukaan Ulir Baut Baja* (Tesis). Fakultas Teknik Mesin, Universitas Diponegoro. Semarang
- Suratman R. dan Widyanto, B. (1997). *Metode Pengendalian Korosi Dengan Proses Galvanizing* (Diktat). Universitas Diponegoro. Semarang
- Standar Nasional Indonesia. (2007). *Kandungan Zn (SNI) 07-1353*, Indonesia.
- Sulistijono. (2003). *Korosi dan Analisa Kegagalan* (skripsi). Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Yeomans, S.R. (2004). *Galvanized Steel Reinforcement In Concrete*. Elsevier