

## PENGARUH WAKTU DAN TEMPERATUR HOT DIP GALVANIZING TERHADAP KETEBALAN DAN KEKUATAN BENDING PADA BAJA ST 41

**Muhammad Wahyu Nugroho**

S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [muhammadnugroho4@mhs.unesa.ac.id](mailto:muhammadnugroho4@mhs.unesa.ac.id)

**Arya Mahendra Sakti**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [aryamahendra@unesa.ac.id](mailto:aryamahendra@unesa.ac.id)

### Abstrak

baja ST 41 yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan sering digunakan pada komponen tiang listrik yaitu komponen penyangga lampu, travo, dan kabel, akan tetapi tidak ditunjang dengan sifat mekaniknya yaitu kekuatan bending. Hal ini diperlukan perlindungan dengan cara melapisi menggunakan metode pelapisan *hot dip galvanizing*. Proses *hot dip galvanizing* adalah memanaskan logam pelapis hingga mencair kemudian celupkan baja St 41 sesuai temperatur dan waktu pencelupan yang diinginkan hingga terlapisi dengan sempurna. Proses pencelupan ini dilakukan dengan melapisi baja St 41 dengan seng (*zinc*) sebagai perlindungannya. Untuk mengetahui pengaruh terhadap hasil ketebalan lapisan dengan standar ISO 1461 : 1999 perlu adanya variasi temperatur dan waktu pencelupan pada proses *hot dip galvanizing*, variasi temperatur yang digunakan adalah 420 °C dan 450 °C dan waktu pencelupan sebesar 15, 30, dan 45 detik. Hasil pengujian ketebalan lapisan dan kekuatan bending tertinggi yang diperoleh spesimen bentuk plat pada variasi suhu 420 °C dengan lama waktu pencelupan selama 45 detik dihasilkan ketebalan lapisan sebesar 77,5 µm dan peningkatan kekuatan bending sebesar 1133,33 Mpa, sedangkan lapisan terendah pada suhu 450 °C dengan waktu pencelupan 15 detik sebesar 66,5 µm dan peningkatan bending sebesar 346,6 Mpa. Pada spesimen silinder diperoleh pada waktu pencelupan 45 detik dan suhu 420 °C dihasilkan ketebalan lapisan sebesar 57,16 µm serta peningkatan kekuatan bending sebesar 1097,679 Mpa, , sedangkan lapisan terendah pada suhu 450 °C dengan waktu pencelupan 15 detik sebesar 43,6 µm dan peningkatan bending sebesar 252,75 Mpa.

**Kata kunci :** *hot dip galvanizing*, Baja St 41, temperatur pencelupan, waktu pencelupan, uji ketebalan.

### Abstract

ST 41 steel which has a high economic value and is often used in electric pole components, namely components supporting the lights, travel, and cables, but is not supported by mechanical properties namely bending strength. This protection is required by coating using the hot-dip galvanizing coating method. The hot-dip galvanizing process is heating the coating metal to melt then dipping the St 41 steel according to the desired temperature and dipping time until it is completely coated. This dyeing process is done by coating St 41 steel with zinc (*zinc*) as protection. To determine the effect on the results of the coating thickness with ISO 1461: 1999 standard, it is necessary to vary the temperature and time of immersion in the hot-dip galvanizing process, the temperature variations used are 420 °C and 450 °C and the dyeing time is 15, 30, and 45 seconds. The test results of the highest layer thickness and bending strength obtained by plate form specimens at a temperature variation of 420 °C with 45 seconds of immersion time resulted in a layer thickness of 77.5 µm and an increase in bending strength of 1133.33 MPa, while the lowest layer at a temperature of 450 °C with a 15 second immersion time of 66.5 µm and an increase in bending of 346.6 MPa. In the cylinder specimens obtained at 45 seconds darkening time and temperature 420 °C produced a layer thickness of 57.16 µm and an increase in bending strength of 1097.679 MPa, while the lowest layer at a temperature of 450 °C with a 15 second immersion time of 43.6 µm and increased bending by 252.75 MPa.

**Keywords:** hot dip galvanizing, St 41 steel, dying temperature, dipping time, thickness test.

### PENDAHULUAN

Kemajuan dan perkembangan teknologi dalam bidang pelapisan logam semakin berkembang mulai dari jenis pelapisan, bahan pelapisan yang digunakan, hingga hasil pelapisannya. Pelapisan logam bukan saja untuk menambah nilai estetika logam saja pelapisan juga bertujuan untuk meningkatkan kekuatan, keindahan, serta nilai ekonomis pada logam.

Pada umumnya bahan yang dilapisi merupakan bahan yang memiliki tingkat korosi tinggi seperti baja. Salah satu baja yang sering digunakan yaitu ST 41, baja ini merupakan baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,25 % dalam penggunaannya biasa digunakan untuk kepentingan otomotif, industry, konstruksi maupun bidang-bidang kerja lain.

Ada beragam bahan yang digunakan untuk melapisi Baja ST-41 pada proses plapisan logam, salah satunya yaitu zing. Pelapisan dengan menggunakan logam zing ini biasa disebut dengan hot dip galvanizing. Hot dip galvanizing banyak diaplikasikan pada rangka-rangka tower listrik, jembatan, bangunan, pipa-pipa dan atap bangunan didalam industry. Pada tiang ataupun tower listrik ada bagian bagian yang dilapisi galvanis diantaranya penyangga kabel dan penyangga travo bagian-bagian ini biasanya mendapatkan beban bending yang terus menerus.

Hot dip galvanizing (HDG) merupakan proses pelapisan logam menggunakan seng (zinc) sebagai logam pelapis. Proses pelapisan dilakukan dengan cara mencelupkan logam yang akan dilapisi kedalam cairan seng (zinc) yang sebelumnya telah dicairkan dengan suhu  $440^{\circ}\text{C}$ - $460^{\circ}\text{C}$ .

Dalam pelapisan logam nilai dari ketebalana lapisan sangat berpengaruh terhadap ketahanan dan kekuatan logam dari korosi maupun beban kejut dan tekan. Semakin lama waktu pelapisan menggunakan proses hot dip galvanizing maka pertambahan berat semakin meningkat, yang berarti ketebalan lapisan zinc pada base metal semakin tebal. Berbanding terbalik dengan temperature pencelupan, dimana semakin tinggi temperature yang digunakan maka pertambahan berat pada base metal semakin menurun (Tompal Ojahan R, dkk. 2017).

Semakin lama waktu pelapisan menggunakan proses hot dip galvanizing maka kekuatan impact semakin meningkat, bahkan dengan waktu 12menit kekuatan impactnya melebihi kekuatan row materialnya. Berbanding terbalik dengan waktu pelapisan dimana semakin tinggi temperatur yang digunakan kekuatan impactnya semakin menurun tetapi kekuatan impactnya melebihi kekuatan row materialnya (Tompal Ojahan R, dkk. 2017).

Proses hot dip galvanizing mengubah sifat fisik dan mekanik. Salah satu contoh perubahan fisik ketika material dilapis dengan zing adalah bertambahnya daya tahan material terhadap korosi, serta bertambahnya kapasitas konduktivitasnya. Adapun dalam sifat mekanik terjadi perubahan mekanik, terjadi perubahan kekuatan Tarik, impec maupun tekan dari suatu material sesudah mengalami pelapisan dibandingkan sebelumnya. Karena itu, tujuan pelapisan logam tidak luput dari tiga hal, yaitu untuk meningkatkan sifat mekanis pada substrat, melindungi substrat dari korosi dan memperindah tampilan (decorative). (Anton J. Hartomo dan Tomijiro Kaneko, 1992). Salah satu pengujian untuk melihat sifat mekanik dari logam adalah pengujian bending. Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui mutu material secara visual dan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan.

Berdasarkan permasalahan dan uraian diatas, proses plapisan tidak luput dari permasalahan, baik masalah dari logam yang dilapisi maupun proses plapisan itu sendiri, sehingga mutu atau kualitas pelapisan logam salah satu perhatian adalah ketebalan lapisan pada pelapisan hot dip galvanizing terhadap nilai uji mekanik dari besi yang sudah dilapisi.

## Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- Bagaimana pengaruh waktu celup terhadap ketebalan dan kekuatan bending pelapisan hotdip galvanizing ?
- Bagaimana pengaruh temperatur cairan seng (zinc) terhadap ketebalan dan kekuatan bending pelapisan hot dip galvanizing ?

## Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

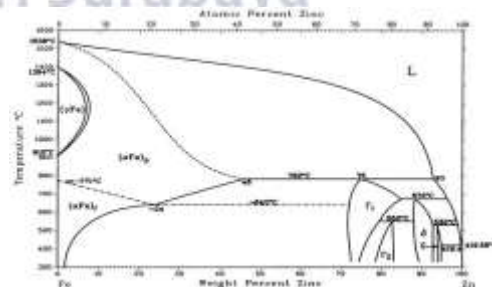
- Untuk mengetahui pengaruh waktu celup terhadap ketebalan dan kekuatan bending pelapisan hot dip galvanizing
- Untuk mengetahui pengaruh temperatur cairan seng (zinc) terhadap ketebalan dan kekuatan bending pelapisan hot dip galvanizing

## Pelapisan Hot Dip Galvanizing

*Hot dip galvanizing* adalah suatu proses pelapisan dimana logam pelapisnya yaitu *zinc* dileburkan terlebih dahulu didalam bak galvanis ataupun dapur peleburan dengan suhu berkisar antara  $420^{\circ}\text{C}$ - $480^{\circ}\text{C}$ , kemudian logam yang akan dilapisi yang biasa disebut dengan logam dasar dicelupkan ke dalam bak galvanis yang berisi cairan logam pelapis, selanjutnya benda kerja untuk beberapa saat tetap dalam bak galvanis agar terbentuk lapisan *zinc*. (Gapsari, dkk, 2012: 329).

Lapisan seng (Zn) yang diperoleh dengan metode *hot dip galvanizing* lebih tahan lama, relatif tangguh dan mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi. Setiap lapisan pada metode *hot dip galvanizing* memiliki sifat yang berbeda baik komposisi kimia maupun tingkat kekerasan. Lapisan paling atas yang terbentuk antara Fe dengan Zn (*eta layer*) akan lebih murni dan lunak. Sedangkan lapisan paling bawah (*gamma layer*) mempunyai paduan baja paling tinggi dibandingkan lapisan lainnya (Permadi dan Kurniawan, 2012. 3)

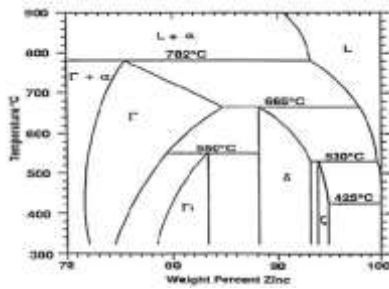
Pada diagram kesetimbangan Fe-Zn, terdapat dua daerah fasa cair yang terpisah dimana dibatasi oleh campuran fasa gas dan fasa padatan (campuran Fe dan Zn) dengan uap yang berkadar zinc tinggi sebagaimana tergambar pada gambar 2.4. Pada gambar 2.4 memperlihatkan secara global, fase paduan Fe-Zn pada komposisi tertentu dan temperature tertentu adalah sebagai berikut:



**Gambar 1** Diagram fase Fe-Zn

Adapun pada diagram fasa di atas, zinc mempunyai daerah yang disebut sebagai daerah rich zinc.

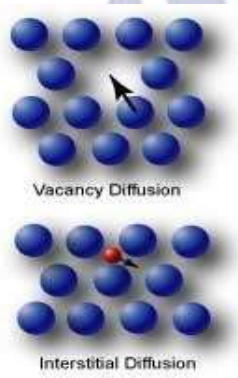




**Gambar 2** Daerah *Rich Zinc* dari Fe-Zn

Menurut Fikrul Akbar Alamsyah,dkk (2012). Pada diagram kesetimbangan Fe-Zn seperti gambar 1 dan gambar 2, ada empat fasa intermetalik yang terbentuk dari reaksi antara Fe dan Zn cair yaitu fasa eta ( $\eta$ ), fasa zeta ( $\zeta$ ), fasa delta ( $\delta$ ) dan fasa gamma ( $\gamma$ ) dimana masing-masing fasa memiliki struktur kristal yang berbeda.

Mekanisme yang terjadi pada HDG yaitu mekanisme difusi, mekanisme difusi dapat terjadi dengan dua cara yaitu interstisi dan substitusi. Pada proses hot-dipped galvanizing, pembentukan dan pertumbuhan lapisannya merupakan proses difusi dengan mekanisme kekosongan (vacancy) dimana prinsip dari mekanisme kekosongan ini adalah jika suatu atom mengisi kekosongan yang terdapat pada susunan atom-atomnya maka akan terjadi kekosongan baru pada susunan atom tersebut seperti pada Gambar 2.2.



**Gambar 3** Mekanisme difusi pada atom

Sumber: Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 2 Tahun 2012 : 327-336

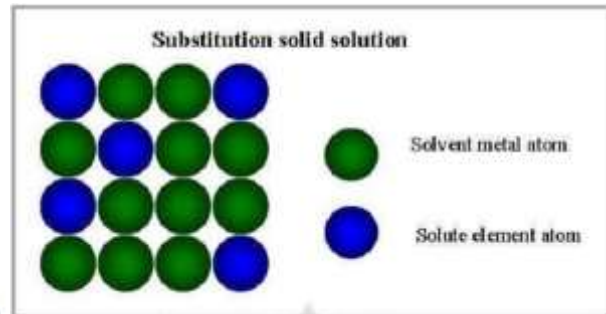
Kekosongan baru ini dapat diisi oleh atom lain yang letaknya berdekatan dengan lubang yang ditinggalkan oleh atom yang pertama tadi. Gerakan keseluruhan dari atomatom disebut sebagai difusi dengan mekanisme kekosongan. Atom mampu bergerak didalam kisi-kisi kristal dari satu atom ke atom lainnya apabila:

- Memiliki cukup energi aktivasi.
- Memiliki agitasi panas yang cukup dari atom-atom.
- Terdapat kekosongan atau cacat kristal lainnya pada kisi kristalnya.
- Ukuran atom dimana perbedaan atom terlarut dan pelarut kurang dari 15%.

Hal tersebut menyebabkan atom dapat bergerak pada kisi kristalnya. Kekosongan dalam logam atau paduan akan menghasilkan ketidakstabilan yang mengakibatkan terjadinya pergerakan dari atom-atom untuk mengisi kekosongan itu dengan mekanisme substitusi. Mekanisme

difusi kekosongan dalam benda padat merupakan loncatan atom-atom dari suatu posisi tertentu didalam strukturnya menuju posisi yang berdekatan padanya didalam strukturnya.

Substitusi Solid Solution terjadi jika atom dari logam terlarut dan logam pelarut memiliki ukuran yang hampir sama (tidak lebih dari 15%). Bagian dari atom pelarut akan disubstitusi oleh atom dari elemen paduan seperti pada gambar



**Gambar 4** Substitusion Solid Solution

Sumber: Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 2 Tahun 2012 : 327-336

Ada beberapa syarat dimana atom dapat bersubstitusi menggantikan atom dari logam dasarnya, antara lain :

- Ukuran atom  
Ukuran jari-jari atom antara kedua atom tidak lebih dari 15%. Selain itu, atom pelarut akan membentuk distorsi lattice substansial dan akan membentuk fasa baru.
- Struktur kristal  
Struktur kristal untuk logam dari kedua atom tersebut harus sama.
- Keelektronegatifan  
Jika salah satu elemen lebih elektropositif dan yang lain lebih elektronegatif maka akan membentuk ikatan intermetalik.
- Valensi  
Logam akan cenderung larut ke logam lainnya yang memiliki valensi yang lebih tinggi daripada ke valensi yang lebih rendah.

Semakin tinggi kekasaran permukaan baja maka ketebalan lapisan yang dihasilkan semakin tinggi. (Fikrul Akbar Alamsyah, 2012)

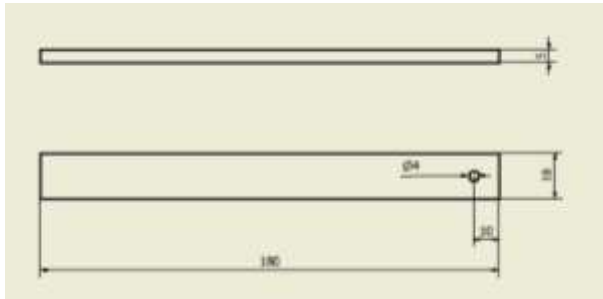
### Pengaruh Temperatur *Galvanizing*

Temperatur adalah salah satu hal yang sangat berpengaruh dalam proses pelapisan dengan metode Hot Dip Galvanizing. Zinc pelapis yang dilebur di bak galvaniz dengan temperatur tertentu akan menyebabkan perubahan komposisi pada logam dasar. Kenaikan temperatur larutan menyebabkan *viskositas* jadi berkurang sehingga endapan ion logam pada katoda akan lebih cepat sirkulasinya. Kenaikan temperatur dapat meningkatkan reaktifitas larutan sehingga dapat berakibat pada ketebalan lapisan.

### Pengaruh Waktu Pencelupan

Waktu pencelupan pelapisan adalah lamanya proses yang diperlukan dalam pelapisan. Waktu pencelupan pada pelapisan umumnya antara 1 – 5 menit. Pada menit awal pelapisan ketebalan lapisan meningkat dengan cepat, kemudian laju pertumbuhan lapisan menurun dengan berjalannya waktu sampai akhirnya sangat lambat (Permadi dan Kurniawan, 2012: 3).

### Spesimen Uji



Gambar 5 Spesimen Baja St 41 Bentuk Plat



Gambar 6 Spesimen Baja St 41 Bentuk Silinder

## METODE

### Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen. Peneliti sengaja membangkitkan timbulnya suatu kejadian atau keadaan yang kemudian diteliti bagaimana akibatnya. Dengan kata lain, penelitian eksperimen adalah metode untuk mencari adanya hubungan sebab akibat (hubungan kausal) antara beberapa faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti dengan mengeliminasi ataupun menyisihkan beberapa faktor yang mengganggu eksperimen. Eksperimen ini selalu dilakukan dengan maksud untuk melihat akibat suatu perlakuan.

### Tempat dan Waktu Penelitian

#### - Tempat Penelitian

Proses pelapisan *hot dip galvanizing* dilakukan di laboratorium pengecoran Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik di laboratorium pengecoran Universitas Negeri Surabaya sedangkan pengujian ketebalan dilakukan di Laboratorium pengujian bahan, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya. Proses pengujian bending dilakukan di laboratorium pengujian bahan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

#### - Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan, mulai bulan Oktober 2019 sampai dengan bulan Desember 2019.

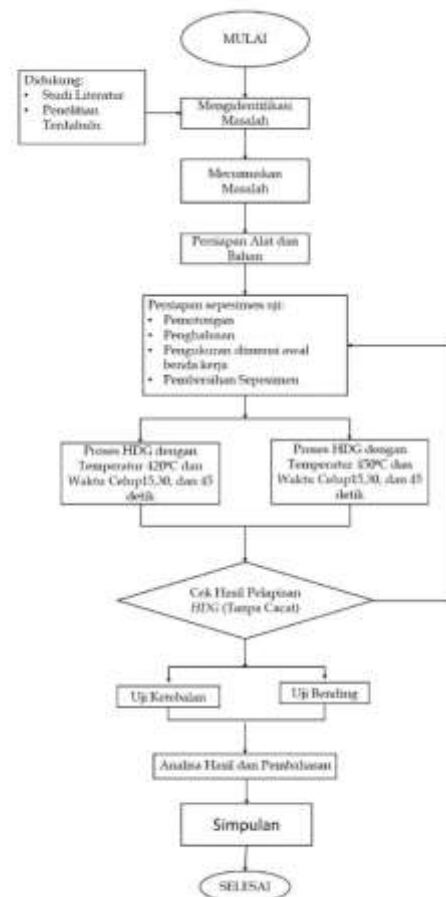
### Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah suatu atribut atau sifat atau nilai dari orang, obyek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk mempelajari variasi tertentu yang diterapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2013).

- Variabel Terikat
  - Nilai Ketebalan
- Variabel Bebas
  - Variasi temperatur pencelupan sebesar 420 °C dan 450 °C.
  - Variasi waktu pencelupan sebesar 15 detik, 30 detik, dan 45 detik.
- Variabel kontrol
  - Material yang digunakan yaitu baja St 41 bentuk plat dan silinder.
  - Pembersihan spesimen dengan HCl
  - Larutan *fluxing* dengan *zinc aluminium chloride*
  - Quenching dengan air
  - Zinc pelapis dengan *zinc ingot*.

### Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian adalah langkah-langkah pengumpulan data yang dilakukan oleh peneliti. Berikut diagram alir proses penelitian yang dilakukan.



Gambar 7 Flowchart Proses Penelitian

### Alat dan Bahan Penelitian

- Alat yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:
  - Gerinda Potong
  - Bor Duduk
  - Bak Galvaniz
  - Kawat besi
  - Penjepit
- Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:
  - *Zinc Ingot* (Zn)
  - Baja St 41 Bentuk Plat dan Silinder
  - Larutan HCl
  - Gas LPG
  - Air
  - Kertas Grit

### Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode eksperimen. Eksperimen yang digunakan pada penelitian ini adalah perlakuan temperatur pemanasan dan waktu pencelupan yang kemudian diambil nilai ketebalan dengan bentuk tabel dan digambarkan dalam bentuk diagram. Kemudian dibandingkan dengan bentuk grafik.

### Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis statistik inferensial kuantitatif dengan mengumpulkan data-data atau informasi dari setiap hasil perubahan yang terjadi melalui eksperimen secara langsung dan dapat ditarik kesimpulan. Dalam penelitian ini maka akan dapat dibangun suatu teori yang dapat berfungsi untuk menjelaskan, meramalkan, dan mengontrol suatu gejala (Sugiono, 2014:55).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

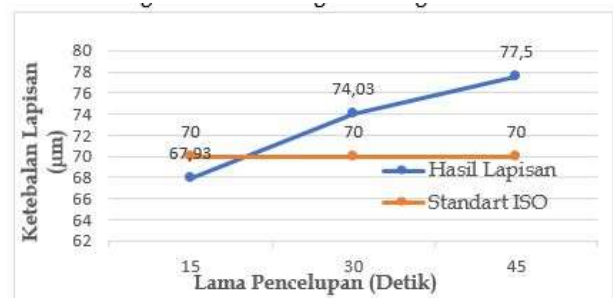
### Uji Ketebalan

Pengujian ketebalan dilakukan di laboratorium pengujian bahan Universitas Negeri Surabaya. Pengujian ketebalan menggunakan satuan  $\mu\text{m}$  yang menggunakan 36 spesimen. 36 spesimen terdiri dari 18 spesimen bentuk plat dan 18 bentuk silinder. Pengujian uji ketebalan pada spesimen dilakukan sebanyak 3 titik. Sensor diletakkan pada titik tertentu untuk mengetahui hasil nilai ketebalan. Setelah itu dari 3 titik kemudian dirata-rata. Habis dirata-rata masing-masing spesimen kemudian dirata-rata 3 spesimen.

**Tabel 1** Hasil Uji Ketebalan Spesimen Bentuk Plat dengan Temperatur 420 °C dan 450 °C

| No<br>Spesimen | Waktu<br>Pencelupan | Temperatur<br>(°C) | Ketebalan Lapisan(m) |      |      | Rata-<br>rata<br>(um) |
|----------------|---------------------|--------------------|----------------------|------|------|-----------------------|
|                |                     |                    | Titik                |      |      |                       |
|                |                     |                    | 1                    | 2    | 3    |                       |
| A1             | 15                  | 420                | 64,9                 | 66,4 | 72,5 | 67,93                 |
| A2             |                     |                    | 66,2                 | 69,9 | 75,4 | 70,50                 |
| A3             |                     |                    | 68,6                 | 70,2 | 76,7 | 71,83                 |
| A4             |                     | 450                | 64,7                 | 66,9 | 71,3 | 67,63                 |
| A5             |                     |                    | 62,4                 | 66,3 | 70,8 | 66,50                 |
| A6             |                     |                    | 65,2                 | 68,8 | 72,2 | 68,73                 |
| B1             | 30                  | 420                | 69,6                 | 73,8 | 78,7 | 74,03                 |
| B2             |                     |                    | 69,9                 | 74,2 | 77,3 | 73,80                 |
| B3             |                     |                    | 69,1                 | 75,9 | 78,6 | 74,53                 |
| B4             |                     | 450                | 68,1                 | 70,6 | 74,5 | 71,07                 |
| B5             |                     |                    | 67,4                 | 70,1 | 74,3 | 70,60                 |
| B6             |                     |                    | 69,1                 | 70,4 | 74,8 | 71,43                 |
| C1             | 45                  | 420                | 73,3                 | 77,6 | 79,7 | 76,87                 |
| C2             |                     |                    | 74,2                 | 78,1 | 80,2 | 77,50                 |
| C3             |                     |                    | 73,8                 | 77,9 | 80,7 | 77,47                 |
| C4             |                     | 450                | 69,7                 | 73,6 | 77,9 | 73,73                 |
| C5             |                     |                    | 70,2                 | 75,1 | 78,3 | 74,53                 |
| C6             |                     |                    | 70,5                 | 75,3 | 77,7 | 74,50                 |

Dari tabel 1 hasil uji ketebalan diolah dan dijadikan grafik untuk mengetahui perbandingan antara hasil nilai ketebalan lapisan dengan standar ISO 1461 : 1999. Berikut adalah grafik dari perbandingan antara hasil pelapisan spesimen bentuk plat dengan standar ketebalan.



**Gambar 8** Grafik Perbandingan Nilai Ketebalan Pada Temperatur 420 °C dengan Standar ISO 1461 : 1999.



**Gambar 9** Grafik Perbandingan Nilai Ketebalan pada Temperatur 450 °C dengan Standar ISO 1461 : 1999.

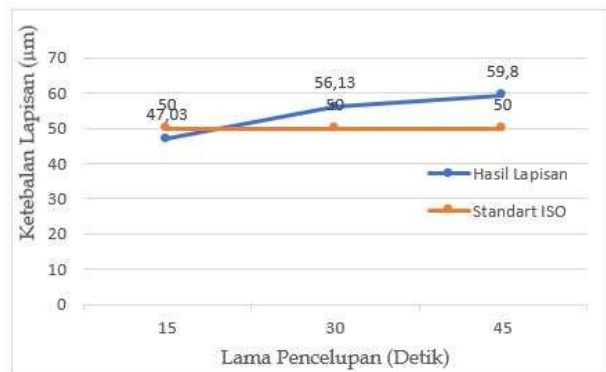


Nilai ketebalan rata-rata tertinggi pada spesimen uji bentuk plat didapatkan pada temperature pelapisan 420 °C dan waktu pelapisan 45 detik dengan nilai ketebalan 77,50  $\mu\text{m}$ , sedangkan ketebalan terendah pada waktu pelapisan 15 detik dengan nilai ketebalan 67,93  $\mu\text{m}$ . Ketebalan lapisan tertinggi pada temperatur 450 °C didapatkan pada waktu pencelupan 45 detik dengan nilai ketebalan 74,53  $\mu\text{m}$ , sedangkan ketebalan terendah pada waktu pelapisan 15 detik dengan nilai ketebalan 66,50  $\mu\text{m}$ . Perbedaan ketebalan yang terlihat menunjukkan bahwa waktu pelapisan berbanding lurus dengan ketebalan lapisan, hal ini terjadi karena adanya proses difusi pada logam yang terlapsi. sedangkan suhu spesimen berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan, hal ini dikarenakan celah atom dari baja yang membesar dan atom zing yang mengecil menyebabkan pelapisan melambat.

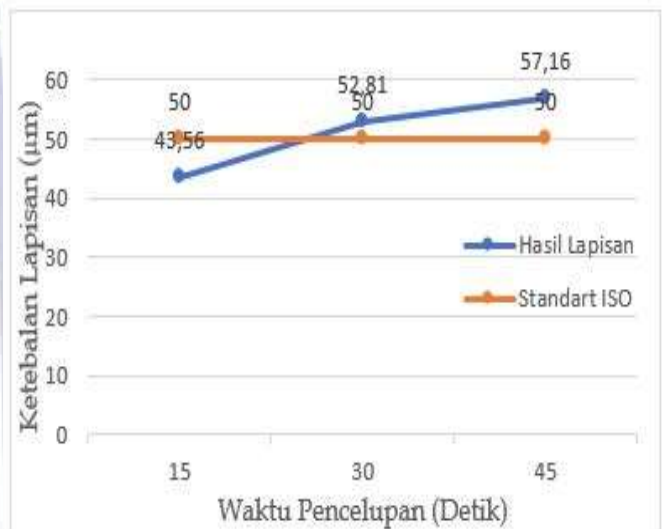
**Tabel 2** Hasil Uji Ketebalan Spesimen Bentuk Silinder dengan Temperatur 420 °C dan 450 °C

| No<br>Spesimen | Waktu<br>Pencelupan<br>(detik) | Temperat<br>ur<br>(°C) | Ketebalan<br>Lapisan (μm) |      |      | Rata-<br>rata<br>(μm) |
|----------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|------|------|-----------------------|
|                |                                |                        | Titik                     |      |      |                       |
|                |                                |                        | 1                         | 2    | 3    |                       |
| A1             | 15                             | 420 °C                 | 43,5                      | 45,7 | 49,7 | 46,3                  |
| A2             |                                |                        | 45,3                      | 46,1 | 49,3 | 46,9                  |
| A3             |                                |                        | 42,9                      | 49,1 | 51,8 | 47,9                  |
| A4             |                                | 450 °C                 | 40,5                      | 43,7 | 46,6 | 43,6                  |
| A5             |                                |                        | 40,3                      | 42,0 | 46,1 | 42,8                  |
| A6             |                                |                        | 41,4                      | 43,2 | 48,3 | 44,3                  |
| B1             | 30                             | 420 °C                 | 53,2                      | 56,9 | 59,8 | 56,63                 |
| B2             |                                |                        | 52,8                      | 55,8 | 58,3 | 55,63                 |
| B3             |                                |                        | 53,8                      | 55,9 | 58,7 | 56,13                 |
| B4             |                                | 450 °C                 | 50,3                      | 52,8 | 55,4 | 52,83                 |
| B5             |                                |                        | 49,7                      | 52,3 | 54,9 | 52,3                  |
| B6             |                                |                        | 49,3                      | 53,9 | 56,8 | 53,3                  |
| C1             | 45                             | 420 °C                 | 55,3                      | 59,6 | 63,0 | 59,3                  |
| C2             |                                |                        | 56,9                      | 60,0 | 62,5 | 59,8                  |
| C3             |                                |                        | 53,4                      | 58,8 | 63,9 | 58,7                  |
| C4             |                                | 450 °C                 | 54,3                      | 56,9 | 59,1 | 56,76                 |
| C5             |                                |                        | 53,9                      | 56,3 | 58,7 | 56,3                  |
| C6             |                                |                        | 55,2                      | 57,1 | 59,2 | 57,16                 |

Dari tabel 2 hasil uji ketebalan diolah dan dijadikan grafik untuk mengetahui perbandingan antara hasil nilai ketebalan lapisan dengan standar ISO 1461 : 1999. Berikut adalah grafik dari perbandingan antara hasil pelapisan spesimen bentuk silinder dengan standar ketebalan.



**Gambar 10** Grafik Perbandingan Nilai Ketebalan pada Temperatur 420 °C dengan Standar ISO 1461 : 1999.



**Gambar 11** Grafik Perbandingan Nilai Ketebalan pada Temperatur 450 °C dengan Standar ISO 1461 : 1999.

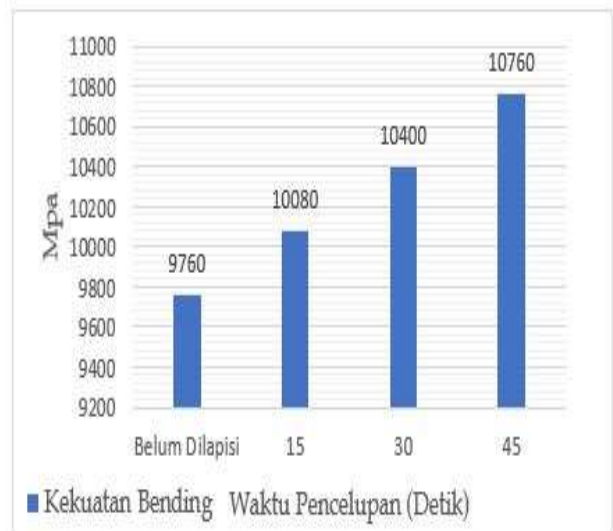
Nilai ketebalan rata-rata tertinggi pada spesimen uji bentuk plat didapatkan pada temperature pelapisan 420 °C dan waktu pelapisan 45 detik dengan nilai ketebalan 59,8  $\mu\text{m}$ , sedangkan ketebalan terendah pada waktu pelapisan 15 detik dengan nilai ketebalan 46,3  $\mu\text{m}$ . Ketebalan lapisan tertinggi pada temperatur 450 °C didapatkan pada waktu pencelupan 45 detik dengan nilai ketebalan 57,16  $\mu\text{m}$ , sedangkan ketebalan terendah pada waktu pelapisan 15 detik dengan nilai ketebalan 42,8  $\mu\text{m}$ . Perbedaan ketebalan yang terlihat menunjukkan bahwa waktu pelapisan berbanding lurus dengan ketebalan lapisan, hal ini terjadi karena adanya proses difusi pada logam yang dilapsi. sedangkan suhu spesimen berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan, hal ini dikarenakan celah atom dari baja yang membesar dan atom zing yang mengecil menyebabkan pelapisan melambat.

### Uji Bending

Pengujian bending dilakukan pada laboratorium pengujian bahan Universitas Brawijaya. Pengujian bending menggunakan satuan  $\mu\text{m}$  yang menggunakan 36 spesimen. 36 spesimen terdiri dari 18 spesimen bentuk plat dan 18 bentuk silinder. Pengujian uji ketebalan pada spesimen dilakukan pada 3 spesimen kemudian dirata-rata.

**Tabel 3** Hasil Uji Bending Spesimen Bentuk Plat dengan Temperatur 420 °C dan 450 °C

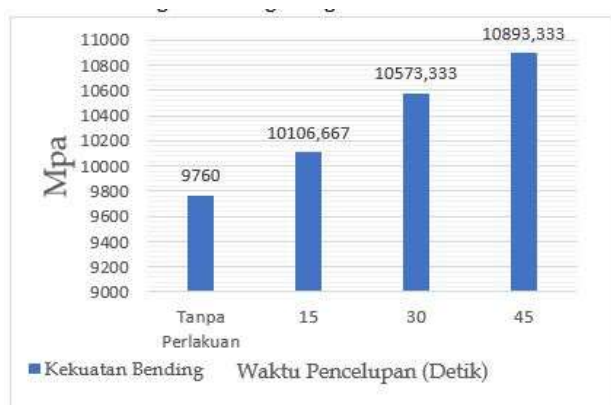
| No. Spesimen | Waktu Pencelupan (detik) | Temperatur (° C) | Dimensi Spesimen (mm) |       | Jarak Tumpuan (mm) | Patah |               | Kekuatan Penangas (Mpa) |
|--------------|--------------------------|------------------|-----------------------|-------|--------------------|-------|---------------|-------------------------|
|              |                          |                  | Panjang               | Tebal |                    | F (N) | Rata-rata (N) |                         |
| A1           | 15                       | 420              | 180                   | 5     | 100                | 25500 | 25266,667     | 10106,667               |
| A2           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 25300 |               |                         |
| A3           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 25000 |               |                         |
| A4           |                          | 450              | 180                   | 5     | 100                | 25000 | 25200,000     |                         |
| A5           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 25200 |               |                         |
| A6           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 25400 |               |                         |
| B1           | 30                       | 420              | 180                   | 5     | 100                | 26300 | 26433,333     | 10573,333               |
| B2           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 26600 |               |                         |
| B3           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 26400 |               |                         |
| B4           |                          | 450              | 180                   | 5     | 100                | 26000 | 26000,000     |                         |
| B5           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 25800 |               |                         |
| B6           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 26200 |               |                         |
| C1           | 45                       | 420              | 180                   | 5     | 100                | 27200 | 27233,333     | 10893,333               |
| C2           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 27500 |               |                         |
| C3           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 27000 |               |                         |
| C4           |                          | 450              | 180                   | 5     | 100                | 26800 | 26900,000     |                         |
| C5           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 27000 |               |                         |
| C6           |                          |                  | 180                   | 5     | 100                | 26900 |               |                         |



**Gambar 13** Diagramn Nilai Bending Spesimen Plat pada Temperatur 450 °C

**Tabel 4** Hasil Uji Bending Spesimen Bentuk Silinder dengan Temperatur 420 °C dan 450 °C

| No. Spesimen | Waktu Pencelupan (detik) | Temperatur (° C) | Dimensi Spesimen (mm) |       | Jarak Tumpuan (mm) | Patah |               | Kekuatan Bending (Mpa) |
|--------------|--------------------------|------------------|-----------------------|-------|--------------------|-------|---------------|------------------------|
|              |                          |                  | Panjang               | Tebal |                    | F (N) | Rata-rata (N) |                        |
| A1           | 15                       | 420              | 180                   | 10,5  | 100                | 63500 | 65850,000     | 28532,432              |
| A2           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 63500 |               |                        |
| A3           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 66000 |               |                        |
| A4           |                          | 450              | 180                   | 10,5  | 100                | 65000 | 65066,667     |                        |
| A5           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 65300 |               |                        |
| A6           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 64900 |               |                        |
| B1           | 30                       | 420              | 180                   | 10,5  | 100                | 63800 | 65966,667     | 28582,983              |
| B2           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 66000 |               |                        |
| B3           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 66100 |               |                        |
| B4           |                          | 450              | 180                   | 10,5  | 100                | 63700 | 65566,667     |                        |
| B5           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 65600 |               |                        |
| B6           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 65400 |               |                        |
| C1           | 45                       | 420              | 180                   | 10,5  | 100                | 66700 | 66733,333     | 28915,175              |
| C2           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 66600 |               |                        |
| C3           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 66900 |               |                        |
| C4           |                          | 450              | 180                   | 10,5  | 100                | 66000 | 66100,000     |                        |
| C5           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 65900 |               |                        |
| C6           |                          |                  | 180                   | 10,5  | 100                | 66400 |               |                        |

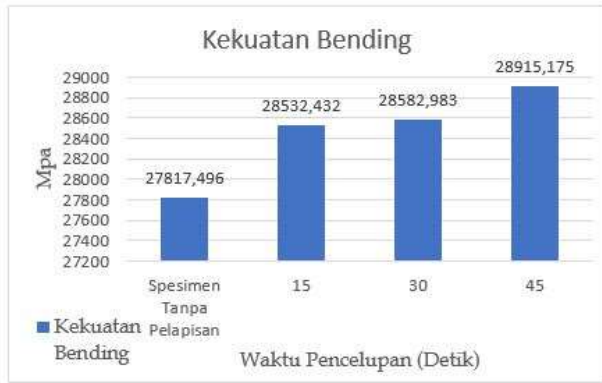


**Gambar 12** Diagramn Nilai Bending Spesimen Plat pada Temperatur 420 °C

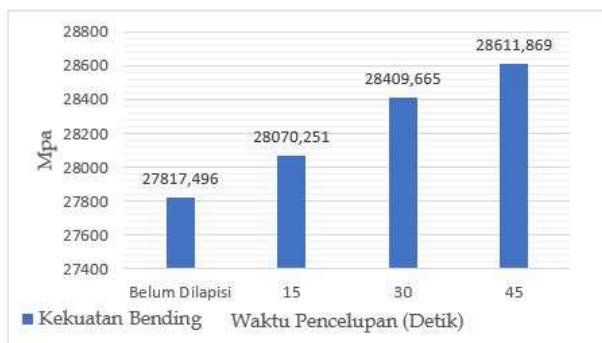
Nilai peningkatan kekuatan bending tertinggi pada spesimen uji bentuk plat didapatkan pada temperature pelapisan 420 °C dan waktu pelapisan 45 detik dengan peningkatan sebesar 1133,33 Mpa, sedangkan peningkatan kekuatan bending terendah pada waktu pelapisan 15 detik dengan peningkatan sebesar 346,667 Mpa. Peningkatan kekuatan bending tertinggi pada temperatur 450 °C didapatkan pada waktu pencelupan 45 detik dengan peningkatan sebesar 1000 Mpa, sedangkan peningkatan terendah pada waktu pelapisan 15 detik dengan peningkatan 320 Mpa. Perbedaan peningkatan kekuatan bending yang terlihat menunjukkan bahwa waktu pelapisan berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan bending hal ini terjadi karena adanya proses difusi pada logam yang terlapisi. sedangkan suhu spesimen berbanding terbalik dengan peningkatan kekuatan bending, hal ini dikarenakan suhu tinggi menyebabkan celah atom dari baja yang membesar dan atom zing yang mengecil menyebabkan pelapisan melambat.

**Tabel 5** Hasil Uji Bending Spesimen Bentuk Silinder dengan Temperatur 420 °C dan 450 °C

| No. Spesimen | Waktu Pencelupan (detik) | Temperatur (°C) | Dimensi Spesimen (mm) |       | Jarak Tumpuan (mm) | Patah |               | Kekuatan Bending (Mpa) |
|--------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|-------|--------------------|-------|---------------|------------------------|
|              |                          |                 | Panjang               | Tebal |                    | F (N) | Rata-rata (N) |                        |
| A1           | 15                       | 420             | 180                   | 10,5  | 100                | 63500 | 65850,000     | 28532,432              |
| A2           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 63500 |               |                        |
| A3           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 66000 |               |                        |
| A4           |                          | 450             | 180                   | 10,5  | 100                | 63000 | 65066,667     |                        |
| A5           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 63300 |               |                        |
| A6           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 64900 |               |                        |
| B1           | 30                       | 420             | 180                   | 10,5  | 100                | 63800 | 65966,667     | 28582,983              |
| B2           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 66000 |               |                        |
| B3           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 66100 |               |                        |
| B4           |                          | 450             | 180                   | 10,5  | 100                | 63700 | 65566,667     |                        |
| B5           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 65600 |               |                        |
| B6           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 65400 |               |                        |
| C1           | 45                       | 420             | 180                   | 10,5  | 100                | 66700 | 66733,333     | 28915,175              |
| C2           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 66600 |               |                        |
| C3           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 66900 |               |                        |
| C4           |                          | 450             | 180                   | 10,5  | 100                | 66000 | 66100,000     |                        |
| C5           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 65900 |               |                        |
| C6           |                          |                 | 180                   | 10,5  | 100                | 66400 |               |                        |



**Gambar 14** Diagramn Nilai Bending Spesimen Silinder pada Temperatur 420 °C



**Gambar 15** Diagramn Nilai Bending Spesimen Silinder pada Temperatur 450 °C

Nilai peningkatan kekuatan bending tertinggi pada spesimen uji bentuk plat didapatkan pada temperature pelapisan 420 °C dan waktu pelapisan 45 detik dengan peningkatan sebesar 1097,679 Mpa, sedangkan peningkatan kekuatan bending terendah pada waktu pelapisan 15 detik dengan peningkatan sebesar 324,971 Mpa. Peningkatan kekuatan bending tertinggi pada temperatur 450 °C didapatkan pada waktu pencelupan 45 detik dengan peningkatan sebesar 794,373 Mpa, sedangkan peningkatan terendah pada waktu pelapisan 15 detik dengan peningkatan 252,755 Mpa. Perbedaan peningkatan kekuatan bending yang terlihat menunjukkan bahwa waktu pelapisan berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan bending hal ini terjadi karena adanya proses difusi pada logam yang terlapisi. Sedangkan suhu spesimen berbanding terbalik dengan peningkatan kekuatan bending, hal ini dikarenakan suhu tinggi menyebabkan celah atom dari baja yang membesar dan atom zing yang mengecil menyebabkan pelapisan melambat.

#### Analisa Data

Analisa Pengaruh Waktu Pencelupan pada Spesimen Uji Bentuk Plat dan Silinder terhadap Ketebalan dan Kekuatan Bending Lapisan

Salah satu hal yang dapat mempengaruhi nilai ketebalan lapisan dan kekuatan bending pada proses Hot Dip Galvanizing adalah variabel waktu pencelupan. Waktu

pencelupan yang semakin lama berbanding lurus dengan ketebalan lapisan hal ini disebabkan zing yang melapisi spesimen semakin bertambah tebal karena adanya proses difusi pada logam, hal tersebut ditunjukkan pada hasil uji ketebalan pada dua spesimen dimana pada waktu pencelupan 15 belum mencapai setandar ISO 1461 : 1999 sebaliknya pada waktu pencelupan 30 dan 45 detik dapat mencapai dan melebihi setandar ISO.

Kekuatan bending berbanding lurus dengan ketebalan lapisan hal tersebut dibuktikan dengan hasil dari penelitian dimana waktu 15, 30, dan 45 memiliki memiliki kekuatan bending yang terus meningkat berdasarkan ketebalan lapisan pada spesimen yang terus meningkat juga. Proses difusi dengan waktu lama mempengaruhi hasil ketebalan dari lapisan zing hal ini dikarenakan atom dari zing menggantikan atom-atom dari besi yang kosong ataupun terlepas. Perbedaan pertambahan kekuatan bending yang berbeda pada dua bentuk spesimen dipengaruhi ketebalan dari spesimen yang berbeda. Selain ketebalan dari spesimen, bentuk serat dari kedua spesimen mempengaruhi pergerakan turunya cairan zing dan masuknya elektron.

Pengaruh lama waktu pencelupan terhadap ketebalan dan kekuatan bending dibuktikan pada hasil penelitian dengan terus naiknya ketebalan dari waktu 15, 30, dan 45 yang terus meningkat, tapi dengan waktu yang terlalu lama dalam pencelupan akan menyebabkan matrial utama justru akan berkurang dan berpengaruh pada kekuatan lapisan.

Analisa Pengaruh Temperatur Pencelupan pada Spesimen Uji terhadap nilai Ketebalan dan Kekuatan Bending.

Hal yang dapat mempengaruhi nilai ketebalan dan kekuatan bending pada proses pelapisan Hot Dip Galvanizing adalah temperatur pencelupan. Kenaikan temperatur menyebabkan viskositas cairan zing menurun dan dapat menyebabkan ikatan atom yang akan melapisi spesimen terpecah dan membuat rongga atom pada spesimen semakin besar serta zing lebih lambat melapisi permukaan spesimen.

Pada penelitian yang sudah dilakukan dengan perbedaan bentuk spesimen antara dua spesimen yaitu spesimen bentuk plat dan silinder dengan suhu 420 °C dan 450 °C. Hasil yang diperoleh dari nilai kekuatan bending menghasilkan penurunan kekuatan bending dan ketebalan lapisan, hal ini disebabkan karena zing yang menggantikan atom pada suhu tinggi lebih banyak dan menyebabkan matrial utama berkurang jumlah atomnya dan digantikan atom zing yang lebih kecil hal tersebut membuat ikatan atom tidak solid yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan dari spesimen. Dengan itu temperatur pencelupan berbanding terbalik dengan kekuatan bending dan ketebalan lapisan. Selain dari suhu, permukaan dari spesimen juga berpengaruh terhadap ketebalan lapisan.





**Gambar 16** Spesimen Bentuk Plat



**Gambar 17** Spesimen Bentuk Silinder

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

- Proses Hot Dip Galvanizing pada baja ST 41 dengan waktu pencelupan 15, 30, dan 45 detik berpengaruh terhadap ketebalan lapisan permukaan dan kekuatan bending. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada ketebalan dan kekuatan bending, hal tersebut disebabkan oleh atom Fe dan Zn yang saling bereaksi membentuk sebuah struktur ikatan yang solid.
- Proses Hot Dip Galvanizing dengan variasi suhu 420 °C dan 450 °C juga berpengaruh pada nilai kekuatan bending dan tebal lapisan, dimana nilai kekuatan bending dan tebal lapisan pada spesimen terjadi peningkatan pada penelitian ini. Hal tersebut menunjukkan bahwa suhu pencelupan berpengaruh pada atom dari zing dan lubang atom pada baja, kejadian ini menyebabkan atom zing semakin kecil dan lubang dari baja membesar, menyebabkan atom zing lambat untuk memenuhi lubang atom dari baja. Maka semakin tinggi suhu pencelupan semakin rendah pertambahan ketebalan lapisan dan kekuatan bending. Tapi suhu yang semakin rendah juga dapat menyebabkan atom dari zing tidak dapat masuk kedalam rongga atom baja.
- Pada suhu pelapisan 420 °C dan 450 °C dengan waktu pencelupan 30 dan 45 detik memenuhi batas minimum standart ISO 1461 : 1999 untuk ketebalan lapisan Hot Dip Galvanizing.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka diberikan saran sebagai berikut:

- Sebaiknya lebih memperhatikan teknik untuk proses pencelupan hot dip galvanizing dengan benar.
- Diharapkan penelitian selanjutnya untuk meneliti pengaruh media quenching pada proses hot dip galvanizing terhadap ketebalan lapisan dan kekuatan bendingnya.
- Diperlukan untuk menambah referensi keilmuan tentang hot dip galvanizing.
- Penelitian selanjutnya diharapkan untuk meneliti pengaruh media fluxing pelapisan hot dip galvanizing terhadap kekerasan permukaan lapisan.
- Diharapkan penelitian selanjutnya untuk menaikkan suhu dan waktu pencelupan untuk mengetahui penurunan kekuatan bending dari lapisan..

## DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, Fikrul Akbar, dkk. 2012. "Pengaruh kekasaran permukaan terhadap ketebalan lapisan hasil Hot Dipped Galvanizing (HDG)". Malang: Universitas Brawijaya, Jurnal Rekayasa Mesin Vol 3, Nomor 2.
- Association of Australia. 1993. Hot Dip Galvanizing. Melbourne : D&D printing
- Desmukh. B. D dan A. P. Patil. 2012. "Optimization of Exposure Tme for Hot Dip Galvanizing and Study of Preflux Bath Additives on The Microstructure of Galvanized Steel". International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Volume 2. Nomor 7
- Permadi, A.R. dan Kurniawan, B.A, 2012, Pengaruh Temperatur Dan Lama Celup Pada Proses Hot dip Galvanizing Elemen Pemanas Cold End Layer Air Heater Pt Pjb Up Gresik Unit1, Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1. ITS Surabaya.
- Pujiantono, Achmad Najib. 2016. Pengaruh Variasi Waktu Pelapisan Baja Karbon Rendah Dengan Seng Melalui Metode Hot Dip Galvanizing. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Rahman, La Ode Arif, dkk. 2016. Analisa Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah Yang Dilapisi Seng Dengan Metode Hot Dip Galvanizing. Kendari : Universitas Halu Oleo.
- Rajagukguk, Tumpal Ojahan, dkk. 2017. Variasi Waktu dan Temperatur Pelapisan Hot Dip Galvanizing Terhadap Laju Korosi Serta Uji Impact Material Baja Karbon Rendah (0,02%C). Lampung: Universitas Malahayati.
- Suarsana, I Ketut. 2008. Pengaruh Waktu Pelapisan Nikel pada Tembaga dalam pelapisan Chrom Dekoratif terhadap tingkat kecerahan dan ketebalan lapisan. Bali : Universitas Udayana.
- Sugiono. 2011. Metode Penelitian. Bandung: Alfabeta.
- Tim Penyusun Buku Pedoman Penulisan Skripsi. 2014. Pedoman Penulisan Skripsi. Surabaya: University Press.
- Trenggono, Adhitya. 2016. Pengaruh Waktu dan Media

Quenching Pada Metode Hot Dipped Galvanizing Terhadap Kualitas Produk Lapisan, Struktur Mikro, dan Sifat Kekerasan Baja Karbon Rendah. Banten: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Widodo, Tri. 2014. Analisa Waktu Penahanan Celup Terhadap Ketebalan Permukaan dan Kilap Pada Proses Elektroplating Baja Karbon Tinggi. Solo: Unuversitas Muhammadiyah Surakarta.

Yulianto, Sulis dan Irvan Aryawidura. 2012. Pengaruh Waku Tahan Hot Diped Galvanizing Terhadap Sifat Mekanik, Tebal Lapisan, Struktur Mikro Baja Rendah. Jakarta: Universitas Muhammadiyah.

