PENGEMBANGAN SIFAT MEKANIK DAN KETANGGUHAN BAJA AISI P20 DENGAN PELAPISAN ALUMINIUM CELUP PANAS

(Skripsi)

Oleh

Rd. TOMMY RIZA PAMEKAS T. A



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR LAMPUNG 2017

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF MECHANICAL PROPERTIES AND IMPACT TOUGHNESS OF AISI P20 STEEL By HOT DIP ALUMINIZING COATING

By:

Rd. TOMMY RIZA PAMEKAS T. A

AISI P20 Steel is low alloy steel with carbon content of ~0.419 wt.% and can be used as the engineering material for boilers, heat exchenger, and hot steam pipes in geothermal power plants (PLTP) and coal-fired plants (PLTU). However, for application at higher temperatures, the steel experiences a decrease in the mechanical strength and impact properties. the coating process Al-dye hot (hot dipping) is applied on the surface of steel with steel dip into a tub of molten Al-Si on 700 °C for 2 minutes. All specimens are given heat treatment at temperature of 750 °C for 1-49 hours (diffusion treatment) to know the change of mechanical properties of steel after the coating process. mechanical properties and toughness (impact) AISI steel tensile testing performed P20 (ASTM E-8 m) and the impact test (ASTM E-23). Observation through the cross-section surface diffusion aluminide coating process after treatment carried out using SEM (Scanning Electron Microscopy) and characterization of diffusion of results to find out the phases of the intermetalik done using spectral analysis of EDS.

Tensile test results and impact, indicating the length of time diffusion treatment effect of tensile strength and the price impact is generated. The longer diffusion treatment done then getting down the tensile strength (time 1 hour = 1740.109 Mpa and 49 hours = 1375.758 Mpa) and price impact (time 1 hour = 23.0 J and 49 hours = 13.7 J). Phases of the intermetalik formed in layers of aluminide based on test results showed the dominant phase EDS spectrum formed at a time of 1 hour is FeAl₃ and Fe₂Al₅ that have a high level of violence whereas the phase formed at the time of 49 hours is (Al,Si)₅Fe₃, where at the time of 49 hours of the occurrence of the phase transformation causes the formation of voids and voids-void formed expands forming defects cavities (pores). Cavity defects in the formation phase contribute to a decrease in the tensile strength and the impact of Steel AISI P20 that has coated Al dye hot.

Keywords: Hot Dipping, Steel AISI P20, Diffusion Treatment, Tensile Strength, Price Impact, Phase Intermetalik

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SIFAT MEKANIK DAN KETANGGUHAN BAJA AISI P20 DENGAN PELAPISAN ALUMINIUM CELUP PANAS

Oleh:

Rd. TOMMY RIZA PAMEKAS T. A

Baja AISI P20 merupakan baja paduan rendah dengan kadar karbon (~0.419 wt.%) dan dapat diaplikasikan untuk komponen-komponen boiler, heat exchenger, dan pipa uap panas pada pembangkit listrik panas bumi (PLTP) atau pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara (PLTU). Namun, selama aplikasi pada temperatur lebih tinggi, kekuatan baja akan menurun baik kekuatan mekaniknya maupun ketangguhannya. Untuk meningkatkan ketahanan baja pada temperatur tinggi, proses pelapisan Al-celup panas (hot dipping) diterapkan pada permukaan baja dengan mencelupkan baja ke dalam bak Al-Si cair pada 700 °C selama 2 menit. Semua spesimen diberi perlakukan panas pada temperatur 750 °C selama 1-49 jam (diffusion treatment) untuk mengetahui perubahan sifat mekanik baja setelah proses pelapisan. sifat mekanik dan ketangguhan (impact) baja AISI P20 dilakukan pengujian tarik (ASTM E-8M) dan uji impact (ASTM E-23). Pengamatan melalui penampang permukaan lapisan aluminide setelah proses (Scanning diffusion treatment dilakukan menggunakan SEM Microscopy) dan karakterisasi hasil difusi untuk mengetahui fasa-fasa intermetalik dialkukan menggunakan EDS analisis spektrum.

Hasil pengujian tarik dan *impact*, menunjukkan lamanya waktu *diffusion treatment* berpengaruh besar terhadap kekuatan tarik dan harga *impact* yang dihasilkan. Semakin lama *diffusion treatment* dilakukan maka semakin turun kekuatan tarik (waktu 1 jam = 1740,109 Mpa dan 49 jam = 1375,758 Mpa) dan harga *impact* (waktu 1 jam = 23,0 J dan 49 jam = 13,7 J). Fasa-fasa intermetalik yang terbentuk dalam lapisan aluminide berdasarkan hasil uji spectrum EDS menunjukkan fasa dominan yang terbentuk pada waktu 1 jam adalah FeAl₃ dan Fe₂Al₅ yang memiliki tingkat kekerasan yang tinggi sedangkan fasa yang terbentuk pada waktu 49 jam adalah (Al,Si)₅Fe₃, dimana pada waktu 49 jam terjadinya transformasi fasa menyebabkan terbentuknya void dan void-void yang terbentuk mengembang membentuk cacat rongga (pores). Cacat rongga yang masuk ke dalam pembentukan fasa berkontribusi dalam penurunan kekuatan tarik dan impak baja AISI P20 yang telah dilapisi Al celup panas.

Kata Kunci: *Hot dipping*, Baja AISI P20, *Diffusion Treatment*, Kekuatan tarik, Harga *Impact*, Fasa Intermetalik

PENGEMBANGAN SIFAT MEKANIK DAN KETANGGUHAN BAJA AISI P20 DENGAN PELAPISAN ALUMINIUM CELUP PANAS

Oleh

Rd. TOMMY RIZA PAMEKAS T. A

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK

Pada

JurusanTeknikMesin Fakultas TeknikUniversitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG 2017

PENGEMBANGAN SIFAT MEKANIK DAN Judul Skripsi

KETANGGUHAN BAJA AISI P20 DENGAN PELAPISAN ALUMINIUM CELUP PANAS

: Rd. Tommy Riza Pamekas T. A Nama Mahasiswa

Nomor Pokok Mahasiswa : 1015021049

: Teknik Mesin

1. Komisi Pembimbing

Dr. Mohammad Badaruddin, S.T., M.T.

NIP. 19721211 199803 1 002

Zulhanif, S.T., M.T. NIP. 19730402 200003 1 002

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ahmad Suudi, S.T., M.T. NIP. 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Dr. Mohammad Badaruddin, S.T., M.T.

Anggota Penguji : Zulhanif, S.T., M.T.

Penguji Utama : Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.

Dekan Fakultas Te<mark>knik Univers</mark>itas Lampung

Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 13 Januari 2017

PERNYATAAN PENULIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir yang berjudul PENGEMBANGAN SIFAT MEKANIK DAN KETANGGUHAN BAJA AISI P20 DENGAN PELAPISAN ALUMINIUM CELUP PANAS. Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik Mesin, bukan merupakan tiruan ataupun duplikasi dari tuga akhir yang pernah dipublikasi dari Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan dalam daftar pustaka. Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sangsi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Yang Membuat Pernyataan

165AEF402195835

Rd. Tommy Riza Pamekas T. A NPM. 1015021049

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kab. Muara Enim, Sumatera Selatan pada tanggal 14 Januari 1992 sebagai anak ke tiga dari pasangan suami istri Rd. Wahyu Sumirat Soeradhipradja dan Husnal Hayati.

Pendidikan penulis diawali dari Sekolah Tingkat Dasar (SD Xaverius Immanuel Tanjung Enim), Sumatera

Selatan dari tahun 1998 diselesaikan pada tahun 2004, kemudian pada tahun 2004 penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Pertama (SMPN 1 Tanjung Agung), Sumatera Selatan dan diselesaikan pada tahun 2007, kemudian pada tahun 2007 penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Atas (SMAN 1 Unggulan Muara Enim), Sumatera Selatan dan diselesaikan pada tahun 2010. Kemudian tahun 2010 penulis melanjutkan kuliah di Universitas Lampung dengan jalur SNMPTN jurusan Teknik Mesin. Tahun 2013 penulis melakukan kerja praktek di PT. PLN (PERSERO) PEMBANGKIT SUMATERA BAGIAN SELATAN SEKTOR PEMBANGKIT TARAHAN – Kec. Katibung, Lampung Selatan dengan judul Perbandingan Variasi *Load Setter* Terhadap Hasil Produksi *Raw Water* di *Desalination Plant*.

Selama kuliah penulis mengikuti organisasi ekstrakulikuler UKM Basket dan terakhir HIMATEM (Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin). Selama mengikuti

HIMATEM, penulis diamanahkan menjadi Kepala Divisi Kreativitas periode 2012-2013. Penulis juga menjadi asisten Laboratorium Material. Pada bulan Januari tahun 2015, penulis mulai melakukan Tugas Akhir (TA) di bidang Material, dengan judul PENGEMBANGAN SIFAT MEKANIK DAN KETANGGUHAN BAJA AISI P20 DENGAN PELAPISAN ALUMINIUM CELUP PANAS. Proses tugas akhir diselesaikan pada bulan Januari 2017. Penulis dinyatakan Lulus Sidang Sarjana pada tanggal 13 Januari 2017.

PERSEMBAHAN

Puji Syukur Saya Panjatkan Atas Kehadirat Allah SWT

Dengan Rahmat dan Karunia-Nya

Serta Rasa Syukur dan Terima Kasih ku,

Kupersembahkan Karya Ku Ini Kepada :

Ayah dan Ibu Ku Tercinta

Atas Segala Perhatian, Keikhlasan, Serta Motivasi, Doa,

Cinta, dan Kasih Sayang Yang Telah Di Berikan Kepada ku

Kakak-kakak Ku

Atas Doa, Dukungan, Dan Motivasinya

Keluarga Besar Ku

Teman Hidup Ku

Teman-teman dan Almamater Tercinta

Angkatan 2010 Teknik Mesin Unila

Bangsa dan Negara Ku Republik Indonesia Tercinta

MOTTO

"Kesuksesan hanya dapat diraih dengan segala upaya dan usaha yang disertai dengan doa, karena sesungguhnya nasib seseorang manusia tidak akan berubah dengan sendirinya tanpa berusaha"

"Kerjakanlah, Wujudkanlah, Raihlah citacitamu dengan memulainya dari bekerja bukan hanya menjadi beban didalam impianmu"

"Untuk mendapatkan Kesuksesan, Keberanianmu harus lebih besar daripada Kekuatanmu"

"Ora Et Labora"

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan mengucapkan Alhamdulillah penulis panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW yang telah membimbing dan mengantarkan kita menuju zaman yang lebih baik seperti sekarang, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "PENGEMBANGAN SIFAT MEKANIK DAN KETANGGUHAN BAJA AISI P20 DENGAN PELAPISAN ALUMINIUM CELUP PANAS". Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini, penulis bnayak mendapatkan bantuan dan sumbangan pikiran dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Orang tua tercinta, Papa tercinta Rd. Wahyu Sumirat Soeradhipradja (Alm)
dan Mama Husnal Hayati, terimakasih atas do'a, nasihat dan dukungannya
dalam moril maupun materil serta semangat yang tiada henti selalu
diberikan kepadaku, Aku sayang Papa dan Mama.

- Saudara tersayang dan selalu aku banggakan A'Faisal, A'Yogi, Mbak Dewi, dan Mbak Ayu serta keponakanku yang cerewet Dzakira. Terima kasih banyak yang selama ini selalu mendo'akan dan memberikan motivasi.
- Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- 4. Bapak Ahmad Suudi, S.T.,M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung atas segala arahan dan motivasinya selama ini.
- 5. Bapak Dr. Mohammad Badaruddin, S.T.,M.T. Selaku dosen pembimbing utama dengan memberikan pengetahuan, saran, serta nasehat selama proses penyelesaian skripsi.
- 6. Bapak Zulhanif, S.T.,M.T. Selaku dosen pembimbing pendamping atas kesediaan dan keikhlasannya untuk memberikan bimbingan, motivasi dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
- 7. Bapak Dr. Irza Sukmana, S.T.,M.T. Selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan sebagai penyempurnaan penulisan skripsi.
- 8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin atas ilmu yang telah diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik materi akademik dan motivasi untuk masa yang akan datang. Tak lupa juga terima kasih kepada staff dan karyawan Gedung H Teknik Mesin Universitas Lampung.
- 9. Kepada teman-teman seperjuangan yang selalu aku banggakan Mario Salimor dan Angga Roby, terima kasih atas bantuan, kebersamaan, dan sumbangan fikiran serta motivasi selama menyelesaikan tugas akhir ini. "Solidrity Forever"

10. Kepada rekan-rekan Teknik Mesin 2010, yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas persahabatannya dan juga bantuannya tetap "Solidrity Forever"

11. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan, yang telah ikut serta membantu dalam penulisan skripsi ini.

"Tiada gading yang tak retak" begitu pula dengan penelitian tugas akhir ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih banyak kekurangan serta ketidaksempurnaan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 13 Januari 2017
Penulis,

Rd. Tommy Riza Pamekas T. A

DAFTAR ISI

Halaman	L
DAFTAR ISIi	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBARv	
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	
1.2. Tujuan Penelitian	
1.3. Batasan Masalah	
1.4. Sistematika Penulisan	
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Baja 5	
2.2. Diagram Fasa (Fe-Fe ₃ C)	
2.3. Aluminium	
2.4. Proses Celup Panas (<i>Hot Dipping</i>)	

	2.5. Proses Pelapisan Aluminium Pada Baja Karbon Rendah	. 15
	2.6. Pertumbuhan Fasa Intermetalik Fe-Al	16
	2.7. Sifat Mekanik dan Sifat Ketangguhan	. 17
	2.8. Difusi	20
BA	B 3. METODE PENELITIAN	
	3.1. Tempat Penelitian	. 23
	3.2. Alat dan Bahan Kimia yang Digunakan	. 23
	3.3. Prosedur Penelitian	. 23
	1. Studi Literatur	. 23
	2. Persiapan Benda Uji	. 24
	3. Pemotongan Spesimen Uji	. 24
	4. Cleaning	. 25
	5. Fluxing	28
	6. Aluminizing Coating	. 28
	7. Proses Pendinginan (cooling)	. 29
	8. Perlakuan Difusi	30
	3.4. Pengujian Sifat Mekanik dan Ketangguhan	. 30
	Kekuatan Tarik (sifat mekanik)	30

2. Pengujian <i>Impact</i> (sifat ketangguhan)	1
3.5. Karakterisasi	2
3.6. Komposisi Kimia Baja AISI P2033	3
3.7. Alur Proses Pelaksanaan Pengujian	4
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Uji <i>Impact</i>	6
4.2. Hasil Uji Tarik39	9
4.3. Observasi Transformasi Fasa	2
BAB 5. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Simpulan	8
5.2 Saran	8

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Data hasi uji komposisi	33
Tabel 4.1. Hasil uji impact baja AISI P20 tidak dilapisi dan dilapisi Al	
celup panas	37
Tabel 4.2. Hasil Uji Tarik	39
Tabel 4.3. Komposisi dan fasa yang terbentuk pada baja AISI P20	
setelah dipanaskan pada temperatur 750 °C	44

DAFTAR GAMBAR

	Halamar
Gambar 2.1. Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	11
Gambar 2.2. Aluminium	12
Gambar 2.3. Instalasi Pipa	14
Gambar 2.4. Proses Hot Dipping	15
Gambar 2.5. Diagram fasa binary Fe-Al	16
Gambar 2.6. Materials testing system MTS Landmark 100 kN	18
Gambar 2.7. Ilustrasi skematis pengujian <i>impact</i>	19
Gambar 2.8. Standar ASTM Uji Impact	20
Gambar 2.9. Difusi Vacancy	22
Gambar 2.10.Difusi intersisi	22
Gambar 3.1. Spesimen uji tarik standar ASTM E 8 M	24
Gambar 3.2. Spesimen uji tarik sebelum proses hot dipping	25

Gambar 3.3. Spesimen uji impact sebelum proses hot dipping
Gambar 3.4. Mesin <i>grinding</i>
Gambar 3.5. Larutan aceton, etanol dan NaOH 10%
Gambar 3.6. Air aquadhes
Gambar 3.7. Larutan H ₃ Po ₄ 5%
Gambar 3.8. Larutan Flux
Gambar 3.9. Proses pelapisan baja Al-celup panas
Gambar 3.10. Proses pendinginan
Gambar 3.11. Furnace
Gambar 3.12. Alat uji impact
Gambar 3.13. Pengujian SEM
Gambar 3.14. Diagram alir proses pelaksanaan penelitian
Gambar 4.1. Spesimen impact Baja AISI P20 sebelum (1) dan setelah (2 dan
3) dipanaskan pada temperatur 750 °C
Gambar 4.2. Diagram batang hasil uji <i>Impact</i> baja AISI P20 lapis Al-celup
panas yang mengalami proses diffusion treatment pada temperatur
750 °C selama 1-49 jam

Gambar 4.3.	Spesimen tarik Baja AISI P20 sebelum (1) dan setelah (2 dan 3)	
	dipanaskan pada temperatur 750 °C	39
Gambar 4.4.	Grafik perbandingan kekuatan tarik rata-rata baja AISI P20 lapis	
	Al-celup panas yang mengalami proses diffusion treatment pada	
	temperatur 750 °C selama 1-49 jam	41
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan Yield Strength rata-rata baja AISI P20 lapis	
	Al-celup panas yang mengalami proses diffusion treatment pada	
	temperatur 750 °C selama 1-49 jam	41
Gambar 4.6.	Grafik nilai elongasi rata-rata baja AISI P20 lapis Al-celup panas	
	yang mengalami proses diffusion treatment pada temperatur 750	
	°C selama 1-49 jam	42
Gambar 4.7.	SEM baja AISI P20 as-coated sebelum diffusion treatment pada	
	temperatur 750 °C	43
Gambar 4.8.	SEM baja AISI P20 setelah dipanaskan pada temperatur 750 $^{\rm 0}{\rm C}$	
	selama 9 jam	43
Gambar 4.9.	SEM baja AISI P20 setelah dipanaskan pada temperatur 750 $^{\rm 0}{\rm C}$	
	selama 49 jam	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baja AISI P20 merupakan jenis baja karbon sedang yang sangat penting untuk aplikasi berbagai kebutuhan dalam bidang teknik. Kandungan krom dalam baja ini sekitar 2.0 wt.%. Demikian pula unsur karbonnya sebesar 0.419 wt.%, sedangkan element pembentuk lainnya seperti $Mn \le 1.5$, $Si \le 0.3$ dan $Ni \sim 1.1$ (dalam wt.%).

Aplikasi baja paduan AISI P20 dalam bidang manufaktur bahan teknik, misalnya: *heat exchenger*, pipa boiler, serta sistem saluran pipa uap panas yang dapat digunakan pada pembangkit listrik panas bumi (PLTP) dan pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara (PLTU). Kandungan Cr ~2.00 wt.% pada baja AISI P20, memungkinan untuk direkomendasikan penggunaannya sebagai komponen teknik pada temperatur kerja cukup tinggi (~500 °) (Al-Mazrouee and Raman, 2006).

Selama aplikasi pada temperatur lebih tinggi, kekuatan baja akan menurun, baik kekuatan mekaniknya maupun kekuatan fatik (Dryepondt and Pint, 2010). Untuk meningkatkan ketahanan baja pada temperatur yang lebih tinggi, salah satu teknik yang dilakukan adalah dengan proses pelapisan. Teknik pelapisan yang ekonomis dan dapat dilakukan pada komponen yang besar adalah pelapisan Al celup panas (hot dipping) (Wang and Chen, 2006). Proses pelapisan dilakukan dengan cara mencelupkan baja kedalam bak Al cair selama waktu tertentu untuk menghasilkan lapisan aluminide.

Pada proses pelapisan celup panas (hot dipping), peningkatan temperatur logam cair akan meningkatkan laju difusi atom-atom besi dalam baja dan atom-atom aluminium dalam bak Al cair, sehingga ketebalan lapisan

meningkat seiring peningkatan temperatur logam cair dan waktu pencelupan (Kim dkk., 2014). Penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa ketebalan lapisan Al dan interaksi difusi antara atom Al dan Fe yang membentuk fasa intermelakik Fe-Al pada permukaan baja, diperngaruhi oleh komposisi kandungan elemen-elemen pada substrat baja dan larutan fluksing yang digunakan (Badaruddin dan Alfurkhan, 2014).

Ketebalan lapisan intermetalik Fe-Al-Si yang terbentuk pada permukaan baja tergantung oleh banyaknya jumlah deposisi Al atom dalam lapisan intermetalik. Oleh karena itu, tingginya kandungan aluminium dalam fasa intermetalik akan mempengaruhi sifat mekanik baja (Kobayashi and Yakou, 2002). Besarnya laju difusi aluminium kedalam substrat baja menghasilkan beberapa fasa intermetalik Fe-Al-Si-Cr yang berkontribusi terhadap perubahan sifat mekanik baja pada temperatur tinggi. Ketergantungan transformasi fasa selama proses difusi elemen Fe, Al, Si dan Cr yang masuk kedalam perubahan sifat mekanik belum pernah dilakukan penelitian. Oleh sebab itu, penting dilakukan penelitian pengaruh transformasi fasa pada baja AISI P20 lapis Al-celup panas terhadap perubahan sifat mekanik.

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian yang dilakukan dengan topik mengenai.

"PENGEMBANGAN SIFAT MEKANIK DAN KETANGGUHAN BAJA AISI P20 DENGAN PELAPISAN ALUMINIUM CELUP PANAS"

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui perubahan sifat mekanik dan ketangguhan baja AISI P20 yang telah dilapisi dengan Al celup panas setelah perlakuan difusi pada temperatur 750 °C selama 1-49 jam.
- 2. Mempelajari mekanisme perubahan sifat mekanik (kekuatan tarik dan ketangguhan *impact*) baja AISI P20 terhadap perubahan fasa intermetalik yang terbentuk setelah *diffusion treatment* (Kobayashi and Yakou, 2002).

3. Mengetahui fasa-fasa intermetalik yang terbentuk pada baja AISI P20 setelah *diffusion treatment* dengan mengobservasi penampang lapisan aluminide dengan pengamatan SEM dan EDS spectrum analisis.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian diatas agar penelitian bisa berjalan dengan sesuai maka peneliti membatasi masalah penelitiannya sebagai berikut :

- 1. Substrat atau *bare steel* yang digunakan adalah baja AISI P20 dan logam pelapis adalah Al-7.0Si (wt.%).
- Pembuatan spesimen tidak mempertimbangkan arah pengerolan baja AISI P20 dan tegangan sisa yang terbentuk akibat proses pengerolan sebelumnya dalam pembahasan.

1.4. Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori-teori dasar baja, diagram fasa (Fe-Fe3C), aluminium, proses hot dipping, proses pelapisan aluminium pada baja karbon rendah, pertumbuhan fasa intermetalik Fe-Al, sifat mekanik dan sifat ketangguhan, dan difusi dalam tugas akhir ini.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Menjelaskan mengenai metode-metode yang dilakukan dalam mengumpulkan data dan menjabarkan tahapan-tahapan kegiatan yang dilakukan selama penelitian berlangsung sampai pada penyusunan laporan serta menjabarkan pengukuran dan pengujian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil dan data dari penelitian yang telah dilakukan serta pembahasan dari hasil-hasil penelitian.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari pembahasan pengujian selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian tersebut.

LAMPIRAN

Berisikan data-data yang mendukung pada penelitian ini

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja

Baja merupakan logam paduan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon pada baja berkisar antara 0.2 hingga 2.1 (wt.%). Fungsi utama karbon dalam baja sebagai unsur pengeras. Unsur paduan lain selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan nikel. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, untuk mendapatkan jenis kualitas baja yang ingin didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), akan tetapi di sisi lain dapat membuat bahan menjadi getas (*brittle*) dan dapat menurunkan tingkat keuletannya (*ductility*).

Baja karbon bukan hanya terdiri dari unsur selain besi (Fe) dan karbon (C). Baja karbon tetap mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batasbatas tertentu yang tidak mempengaruhi sifatnya seperti Si, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu dan Al. Pengaruh utama dari kandungan karbon pada baja berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, dan tingkat kekerasannya. Kandungan karbon yang cukup tinggi pada baja dapat meningkatkan kekerasannya akan tetapi baja akan menjadi getas dan tidak mudah untuk dibentuk (Davis, 1998).

1. Jenis-jenis Baja

Baja merupakan paduan antara besi dengan karbon dan beberapa elemenelemen lainnya seperti Cr, Mn, S, Cu, dan Si dalam jumlah tertentu. Baja dapat dibedakan berdasarkan komposisi kimia kadungan karbon dan elemen paduan lainnya. Berdasarkan komposisi kimia kandungan karbon, baja dapat diklasifikasikan (Callister dan Rethwisch, 2009) sebagai berikut:

a. Baja karbon

Baja karbon dengan paduan antara besi dan karbon yang mengandung sedikit unsur tambahan Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon tergantung pada kadar karbonnya. Kadar karbon semakin tinggi maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Dengan demikian baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan tingakat kadar karbonnya (Wiryosumarto, 2004).

• Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kandungan karbon < 0.3 wt.%. Baja karbon rendah biasanya disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Baja tersebut memiliki sifat dapat dimesin yang sangat baik, sehingga mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Sifat ini merupakan kelebihan baja karbon rendah dibandingkan baja karbon jenis lainnya. Kelebihan lainnya baja ini mudah didapat dipasar material logam dan harganya cukup murah.

• Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0.30-0.60 (wt.%). Baja ini banyak digunakan untuk pemnuatan poros, pengerjaan rel kereta api, roda gigi, pembuatan pegas, serta baut, dan komponen mesin yang membutuhkan kekuatan yang tinggi. Baja karbon sedang ini memiliki kekuatan lebih tinggidibandingkan dengan baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas tinggi, akan tetapi tidak mudah dibentuk oleh mesin, dan lebih sulit digunakan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik.

Baja Karbon Tinggi

Baja ini memiliki unsur karbon paling tinggi dibandingkan dengan baja karbon yang lain yaitu 0.60-1.7 (wt.%) dan memiliki ketahanan panas yang lebih tinggi, kekerasan yang tinggi, akan tetapi tingkat keuletannya lebih rendah dibandingkan baja yang lainnya. Baja karbon tinggi ini memiliki nilai kekuatan tarik paling tinggi dari baja yang lain. Biasanya baja karbon ini digunakan untuk pembuatan alat-alat kontruksi yang berhubungan dengan panas tinggi, pembuatan mata gergaji, pembuatan mata bor, mata pahat,dan salah satu pengaplikasian baja ini adalah untuk pembuatan kawat baja dan kabel baja.

b. Baja paduan

Menurut Amanto dan Daryanto (1999) bahwa baja paduan merupakan baja yang memiliki unsur campuran satu atau lebih unsur paduan seperti nikel, mangan, Sulfur, krom, dan silikon. Unsur-unsur tersebut digunakan untuk mendapatkan sifat-sifat baja yang diinginkan meliputi sifat kekuatan, kekerasannya serta keuletannya. Unsur-unsur paduan ini memberikan sifat-sifat khas yang berbeda dari baja. Contohnya baja yang diberi unsur paduan Ni dan Cr akan menghasilkan sifat baja yang keras dan ulet. Berdasarkan kadar unsur paduannya, baja paduan ini dibedakan menjadi tiga macam yaitu:

• Baja Paduan Rendah (Low Alloy Steel)

Baja paduan rendah ini merupakan baja paduan yang memiki unsur paduannya kurang dari 2.5 wt.% misalnya unsur krom, mangan, nikel, sulfur, silikon, dan lain-lain. Baja ini memiliki unsur kadar karbon yang sama seperti baja karbon, akan tetapi baja tersebut memiliki sedikit unsur paduan didalamnya. Dengan penambahan unsur paduan didalamnya, kekuatan baja dapat dinaikkan tanpa mengurangi tingkat keuletannya, kekuatan fatik, dan daya tahan terhadap korosi. Kebanyakan baja paduan rendah, unsur paduannya

berfungsi untuk menambah kekerasan yang diinginkan dan untuk meningkatkan kemampuan mekanik serta keuletannya yang dilakukan pada proses perlakuan panas. Penggunaan baja rendah ini banyak diaplikasikan pada pembuatan kapal, jembatan, tangki gas, pipa gas dan lain sebagainya.

• Baja Paduan Menengah (Medium Alloy Steel)

Baja paduan ini merupakan baja paduan yang memiliki unsur paduannya sebesar 2.5-10 (wt.%) misalnya unsur nikel, krom, mangan, sulfur, silikon dan lain sebagainya. Baja paduan menengah ini biasanya digunakan dalam proses pembuatan mesin cetak cor atau pipa-pipa uap panas.

• Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi ini memgandung >10 wt.% unsur paduan didalamnya. Biasanya baja paduan tinggi ini memiliki sifat baja tahan karat dan kuat. Sehingga baja tersebut biasa diaplikasinya pada bearing, bejana tekan, baja pegas, alat potong, dan lain sebagainya.

2. Fungsi unsur-unsur paduan yang terkandung dalam baja adalah sebagai berikut:

a. Unsur karbon (C)

Kandungan karbon ini merupakan unsur yang terpenting untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada baja. Kandungan unsur karbon yang terdapat pada baja biasanya sekitar 0.1-1.7 (wt.%), sedangkan unsur lainnya dibatasi sesuai kegunaan baja yang diinginkan. Unsur paduan yang dicampurkan kedalam lapisan baja berfungsi untuk membuat baja tahan terhadap pengerjaan panas dan menghasilkan sifatsifat khusus yang terdapat pada baja. Kandungan karbon dalam baja memberikan kekuatan dan kekerasan pada baja itu sendiri akan tetapi jika berlebihan akan menurunkan sifat ketangguhannya.

b. Unsur mangan (Mn)

Semua jenis baja pasti memiliki kandungan mangan, karena unsur tersebut sangat dibutuhkan untuk proses pembuatan baja. Biasanya kandungan mangan yang terdapat pada baja ±0.6 wt.% akan tetapi kandungan mangan tersebut tidak merubah sifat baja itu sendiri, karena unsur mangan ini tidak memberikan pengaruh besar pada struktur baja dalam jumlah yang rendah. Fungsi mangan itu sendiri pada baja adalah untuk menaikkan kuat tarik baja tanpa mengurangi regangannya (sedikit mengurangi regangannya), sehingga baja tersebut memiliki sifat kuat dan ulet.

c. Unsur Silikon (Si)

Biasanya unsur silikon ini terkandung dalam baja sebesar >0.4 wt.%. Yang berpengaruh untuk menaikkan tegangan tarik dan menurunkan laju pendinginan kritis. Unsur silikon yang terkandung dalam baja juga dapat meningkatkan nilai kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan meningkatkan ketahanan terhadap panas serta tahan karat. Unsur silikon ini yang terkandung dalam baja membuat sementit tidak stabil, sehingga memisahkan sementit dan membentuk grafit.

d. Unsur Nikel (Ni)

Unsur nikel ini mempunyai fungsi yang sama dengan mangan, yaitu untuk memperbaiki kekuatan tarik baja dan menaikkan sifat ulet, serta tahan terhadap panas. Jika unsur paduan nikel ~25 wt.% yang terkandung dalam baja biasanya baja tersebut tahan terhadap korosi, karena unsur nikel ini juga memiliki sifat yang tahan karat (korosi), dimana nikel menjadi lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja.

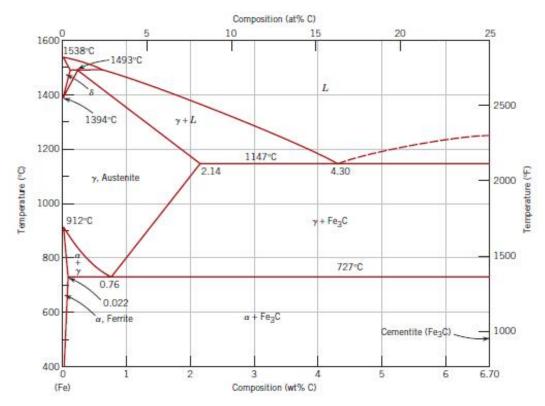
e. Unsur Kromium (Cr)

Unsur krom ini berfungsi untuk menurunkan laju pendinginan kritis, yang biasanya kandungan krom 1.5 wt.% dalam baja cukup untuk meningkatkan kekerasannya didalam minyak. Penambahan unsur krom pada baja biasanya menghasilkan struktur baja yang lebih halus dan membuat sifat kekerasannya lebih baik, karena unsur kromium dan unsur karbon ini dapat membentuk karbida. Unsur krom yang terdapat pada baja dapat menambahkan nilai kekuatan tarik dan keplastisan baja itu sendiri, serta dapat melindungi baja dari korosi dan tahan terhadap temperatur kerja yang tinggi.

2.2. Diagram Fasa (Fe-Fe₃C)

Diagram Fasa (Fe–Fe₃C) memperlihatkan perubahan fasa pada laju pemanasan dan laju pendinginan yang cukup lambat. Dari diagram fasa ini dapat diamati pengaruh temperatur terhadap perubahan struktur. Struktur baja dapat ditentukan oleh kandungan unsur didalam baja dan kadar unsur karbonnya. Pada Gambar 2.1 menunjukkan jika kadar karbon baja yang melebihi 0.20 wt.% dimana pada temperatur 760 °C ferrite mulai terbentuk dan mengendap dari austenit turun. Baja dengan kadar karbon 0.80 wt.% biasanya disebut baja eutectoid dan struktur baja eutectoid ini terdiri dari ferit (α) dan pearlite (α +Fe₃C), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Temperatur eutectoid merupakan temperatur terendah pada logam, dimana pada logam terjadi perubahan struktur didalam keadaan padat dan merupakan temperatur kesetimbangan terendah dimana austenit berubah menjadi ferrite dan sementit. Jika kadar karbon baja lebih besar dari temperatur eutectoid, harus diperhatikan garis yang berada pada diagram besi karbida yang bertanda *Acm*. Dimana garis ini menyatakan bahwa karbida besi mulai terpisah dari austenit. Karbida besi dengan rumus Fe₃C biasa disebut sementit.



Gambar 2.1. Diagram fasa Fe-Fe₃C (Callister and Rethwisch, 2009)

Baja yang memiliki kadar karbon kurang dari komposisi eutectoid (~0.76 wt.%) di sebut dengan baja hipoeutectoid, dan baja yang berkadar karbon lebih dari komposisi eutectoid disebut baja hypereutectoid. Pada temperatur antara 723-1130 (°C) terdapat satu fasa yang terbentuk yaitu fasa austenit dan sementit. Pada temperatur 723 °C butiran fasa tunggal bertransformasi dibawah keseimbangan bentuk dan Fe₃C dalam satu butiran yang besatu dengan baik, dan lapisan serat-serat bajanya yang terbentuk disebut pearlite (Van Vlack, 2000).

2.3. Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai massa jenis 2.7 g cm⁻³. Aluminium ini memiliki titik lebur mencapai 660 °C dan biasanya aluminium ini berwarna perak (Gambar 2.2). Aluminium termasuk salah satu logam *non ferrous* yang memiliki peran penting di dunia industri. Aluminium biasanya banyak digunakan menjadi salah satu komponen pada bidang konstruksi, alat-

alat elektronik, komponen alat transportasi, badan pesawat, serta perabotan rumah tangga. Aluminium memiliki beberapa sifat-sifat antara lain:

- a. Tahan terhadap korosi, ringan, dan tidak beracun. Karena itu aluminium banyak digunakan untuk alat dapur rumah tangga.
- b. Reflektif, seperti aluminium foil yang biasa digunakan untuk pembungkus makanan.
- c. Daya hantar listriknya > dari Cu dua kali lipat, sehingga aluminium biasa untuk pembuatan kabel listrik.
- d. Campuaran unsur paduan aluminium dengan logam lainnya dapat menghasilkan logam yang kuat. Contohnya campuran Al, Cu, dan Mg menjadi duralium. Biasanya duralium ini untuk dalam pembuatan badan pesawat.



Gambar 2.2. Aluminium

Aluminium banyak terdapat pada lapisan dalam kulit bumi, yaitu sekitar 7.6 wt.%. Dengan begitu maka aluminium merupakan unsur paling banyak ketiga setelah oksigen dan silikon di Bumi. Akan tetapi, aluminium termasuk logam

yang mahal karena cara pengolahannya yang begitu rumit. Satu-satunya sember Mineral aluminium yang memiliki nilai ekonomis adalah bauksit.

2.4. Proses Celup Panas (*Hot Dipping*)

Pelapisan celup panas adalah pelapisan logam yang dilakukan dengan cara mencelupkan suatu material kedalam bak atau tangki yang berisi material lain yang terlebih dahulu dilembur menjadi cairan dengan menggunakan energi dari gas pembakaran atau energi panas listrik. Titik lebur pelapisan material ini biasaanya hanya beberapa ratus derajat celcius (<1000 °C). Pengaplikasian pelapisan Al-celup panas pada komponen, contoh seperti ditampilkan pada Gambar 2.3. Pada pengerjaan proses *hot dipping* perlu dilakukan persiapan permukaan, dengan komposisi kimia yang berhubungan dengan material logam dan temperatur (Badaruddin dan Alfurkhan, 2014). Sebelum baja dilapisi dalam proses celup panas, permukaan benda kerja harus bersih dari oksida dan kotoran lain yang menempel pada benda kerja. Dalam pelaksanaan proses *hot dipping* beberapa syarat yang harus dipenuhi antara lain:

- a. Permukaan benda kerja yang akan dilapisi harus bersih dan bebas dari kotoran yang menempel dipermukaan benda kerja. Oleh karena itu harus dibersihkan terlebih dahulu dengan larutan pembersih.
- b. Jumlah cairan logam yang akan melapisi permukaan benda kerja hendaknya dapat merendam penuh permukaan benda kerja yg akan dilapisi.
- c. Benda kerja yang akan dilapisi harus mempunyai titik lebur yang lebih tinggi dari titik lebur pelapisnya. Biasanya material pelapis yang digunakan adalah timah, seng atau aluminium yang mempunyai titik lebur yang lebih rendah.



Gambar 2.3 Instalasi pipa (Duksan Industrial, 2010)

Dalam pemanfaatan aluminium untuk bahan pelapisan, terdapat dua jenis pelapisan celup panas aluminium yang digunakan yaitu:

1. Pelapisan aluminium type 1 (Pelapisan Al-Si).

Pelapisan Al-Si ini memiliki lapisan yang tipis menurut ketebalan kelasnya. Biasanya kandungan silikon yang terdapat pada type 1 sebesar 5-11 (wt.%) yang berfungsi untuk mencegah terjadinya terbentunya lapisan tebal antara logam Fe-Al, dimana akan merusak perekatan lapisan antar besi dan aluminium.

2. Pelapisan aluminium type 2 (Al Murni).

Pelapisan aluminium *type* 2 ini menggunakan jenis aluminium murni. Biasanya metode *type* 2 ini digunakan pada kontruksi luar ruangan yaitu: lapisan pembuatan material atap rumah, pipa air bawah tanah dan menara yang biasanya memerlukan ketahanan korosi udara lebih tinggi. Dimana pada ketahan oksidasi Al-murni ini lebih baik.

2.5. Proses Pelapisan Aluminium Pada Baja Karbon Rendah

Proses pelapisan Baja karbon rendah dengan cara Al-celup panas setelah aluminium (tipe 1) yang dicairkan dengan menggunakan berbagai waktu pencelupan dengan titik lebur aluminium 660 °C, akan menambah kekuatan pada baja karbon rendah. Pada hasil penelitian Cheng dan Wang (2010), menunjukan bahwa lapisan aluminium terdiri dari lapisan luar yaitu FeAl₃ dan lapisan utamanya Fe₂Al₅. Baja karbon rendah yang telah menjalani proses celup panas dengan aluminium biasanya menggunakan bak pada temperatur lingkungan, dimana pada lapisan permukaan baja karbon terbentuk lapisan Al₂O₃ yang baik sebagai pelapis. Dimana Al₂O₃ ini berguna untuk mencegah proses oksidasi ketika baja digunakan pada temperatur yang tinggi.



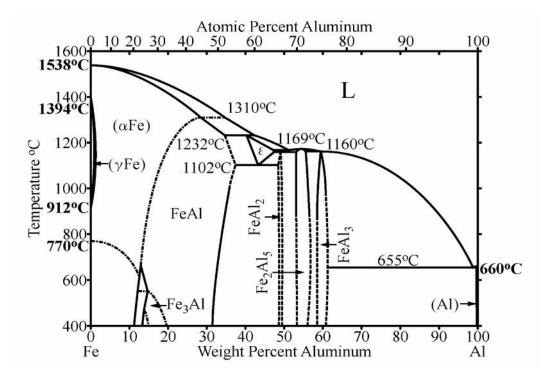
Gambar 2.4. Proses Hot Dipping

Struktur mikro terbentuk yang melindungi baja karbon rendah terdiri dari komposisi kimia yang terbentuk pada saat proses pencelupan baja dan aluminium yang mengalami interdifusi sepanjamg proses pencelupannya. Pengujian terhadap pelapisan aluminium baja karbon rendah bertujuan untuk mengetahui ketebalan lapisan dari proses Al-celup panas dengan waktu tahan

yang telah ditentukan akan mendapatkan tebal lapisan oksida. Dari ketebalan lapisan yang terbentuk diperoleh ketahanan baja terhadap oksidasi yang terjadi.

2.6. Pertumbuhan Fasa Intermetalik Fe – Al

Pada baja karbon yang telah diproses melalui Al-celup panas terdapat lapisan aluminium dan substrat baja yang telah dipengaruhi oleh larutan komposisi aluminium cair bahkan struktur mikro dari substrat bajanya. Laju pertumbuhan fasa lapisan intermetalik mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kadar karbon di dalam substrat baja walaupun dihambat oleh atom-atom silikon.



Gambar 2.5. Diagram fasa binary Fe-Al (Kobayashi and Yakou, 2002)

Pada waktu pencelupan baja karbon kedalam bak Al sampai Al melapisi seluruh baja karbon hingga merata, seiring dengan berjalannya proses Alcelup panas terjadi kontak antara Al cair dengan substrat baja. Yang dapat dilihat dengan jelas menurut diagram fasa binary Fe-Al (Gambar 2.5.) proses

terjadinya almunisasi paduan besi antara 873-1323 K, sehingga menghasilkan fasa intermetalik Fe-Al yaitu FeAl₃ dan Fe₂Al₅. Dalam proses difusi spesimen yang telah dicelupkan kedalam bak Al cair, lapisan Fe₂Al₅ yang terbentuk diatas permukaan substrat baja dan lapisan tersebut hanya mengandung fasa tunggal Fe₂Al₅ pada kondisi temperatur yang lebih rendah. (Kobayashi and Yokou, 2002)

2.7. Sifat Mekanik dan Sifat Ketangguhan

Sifat mekanik merupakan sifat atau kemampuan yang dimiliki oleh benda terhadap pembebanan yang diberikan secara fisik sedangkan sifat ketangguhan adalah kemampuan suatu benda terhadap energi benturan secara tiba-tiba untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan. Adapun cara pengujian untuk mengetahui sifat mekaniknya dengan cara melakukan pengujian kekerasan dan pengujian tarik, sedangkan untuk mengetahui sifat ketangguhan suatu bahan maka dilakukan pengujian *impact*.

a. Sifat kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan bahan menahan kehausan atau cakaran dengan ketahanan suatu material terhadap deformasi atau perubahan bentuk yang permanen. Jika semakin tinggi kekuatan maka semakin keras benda tersebut dan semakin kecil kekuatan maka semakin lunak benda tersebut dan biasanya keadaan tersebut disebut dengan kekerasan linier dengan kekuatan.

b. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik dapat diukur dari beban atau gaya maksimum yang berbanding terbalik dengan luas penampang spesimen uji, dan biasanya hasil kekuatan tarik ini memiliki satuan Mega Pascal (MPa) atau N/mm² atau Kgf/mm² atau Psi. Pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban pada kedua ujung sisi spesimen uji yang secara perlahan-lahan ditarik hingga spesimen uji tersebut putus. Dari pengujian tarik ini dapat

diketahui kekuatan tarik, tegangan luluh dan modulus elastisitas, dan regangan. Pengujian tarik dapat dilakukan menggunakan mesin uji tarik MTS Landmark 100 kN (Gambar 2.6). Pengujian tarik ini juga bertujuan untuk mengetahui besar tegangan dan regangan dari spesimen yang diuji. Hasil dari pengujian ini adalah grafik beban terhadap perpanjangan (*elongasi*).



Gambar 2.6. Materials testing system MTS Landmark 100 kN

c. Sifat ketangguhan (Impact)

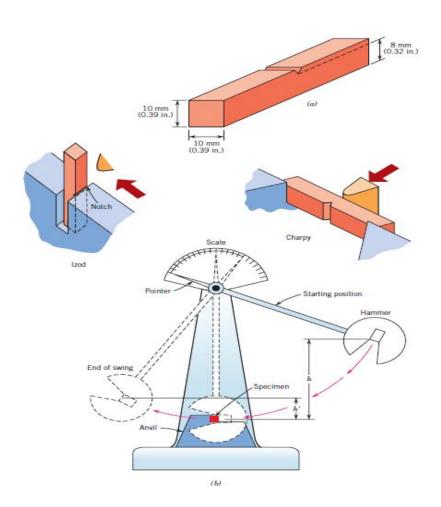
Sifat ketangguhan merupakan kemampuan suatu bahan atau material dalam menyerap energi atau gaya yang diberikan, yang biasa dilakukan dengan alat uji *impact* (Gambar 2.7). Energi yang diserap dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Secara umum metode pengujian *impact* terdiri dari 2 jenis, yaitu:

1) Metode Charpy

Pengujian benturan yang diberikan dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal atau mendatar, dan arah pembebanan berada berlawanan dengan arah takikannya.

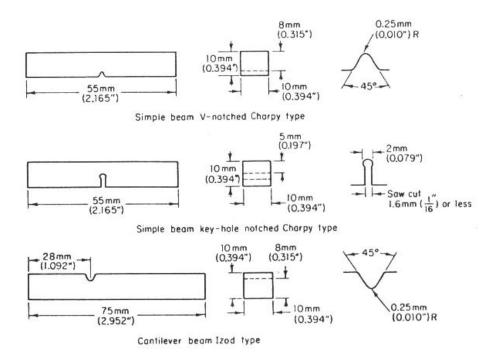
2) Metode *Izod*

Pengujian benturan yang diberikan dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi vertikal atau berdiri dan arah pembebanan searah dengan arah takikan.



Gambar 2.7. Ilustrasi skematis pengujian *impact* (Callister and Rethwisch, 2009)

Perbedaan *charpy* dan *izod* adalah dari perletakkan spesimen (Gambar 2.7a). Pengujian dengan menggunakan metode *charpy* dapat dikatakan lebih akurat dibandingkan dengan metode *izod* karena pada pengujian *impact* menggunakan metode *izod* ini pemegang spesimen juga turut menyerap energi yang diberikan, sehingga energi yang terukur pada alat uji bukanlah energi yang mampu diserap oleh material seutuhnya. Proses pengujian impak secara skematik dapat dilihat pada Gambar 2.7b. Bentuk dan ukuran specimen uji *impact* mengacu pada standar ASTM E23 (Gambar 2.8).



Gambar 2.8. Standar ASTM Uji *Impact* (ASTM E-23, 2005)

2.8. Difusi

Difusi adalah suatu peristiwa berpindahnya suatu zat yang berkonsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Pada proses difusi ini dapat terjadi pada gas, benda cair dan benda padat, seperti proses difusi yang terjadi pada baja dan logam lainnya. Difusi atom pada logam biasanya berdifusi dalam bentuk atom tunggal bukan dalam bentuk molekul, hal ini terjadi dikarenakan

mobilitas atom tunggal jauh lebih tinggibila dibandingkan dengan molekul. Secara umum proses difusi yang terjadi pada baja karena adanya perpindahan struktur atom akibat pergerakan energi yang terjadi pada baja, yang mengakibatkan pergerakan atom-atom tersebut dipercepat pada saat baja dipanaskan ditemperatur tinggi.. Temperatur dan tingkat difusi memiliki hubungan satu sama lain, laju difusi akan meningkat dengan naiknya suhu. Baja pada temperatur tinggi akan mengakibatkan adanya peregangan dan pergerakan pada struktur atom sehingga terjadinya kekosongan antara atom utama dengan atom-atom disekitarnya (Callister and Rethwisch, 2009).

Laju Difusi

$$D = D_0 \exp(-Q_d/RT)$$
(1)

Dimana D_0 = koefisien difusi awal (m²/s)

Q_d = energi aktivasi difusi (J/mol)

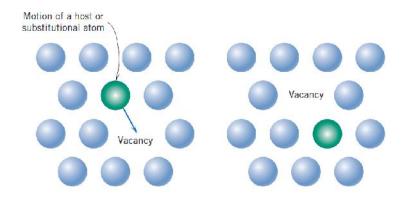
R = gas konstan (8,31 J/mol.k)

T = Temperatur mutlak (K)

Mekanisme difusi atom diklasifikasikan menjadi 2 jenis berdasarkan cara perindahan atom-atom terhadap posisi dari proses difusi atom tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Difusi Vacancy

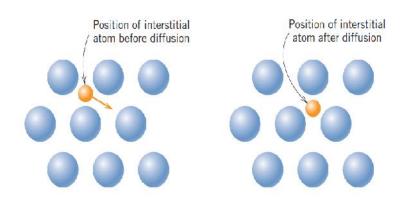
Difusi vacancy merupakan perpindahan atom yang terjadi karena adanya kekosongan tempat dalam struktur atom. Kekosongan inilah yang aka diisi oleh atom-atom yang mengalami pergerakan akibat adanya pergerakan energi pada temperatur tinggi.



Gambar 2.9. Difusi Vacancy (Callister and Rethwisch, 2009)

2. Difusi intersisi

Difusi intersisi merupakan perpindahan atom yang terjadi karena adanya pergerakan atom dalam rongga atom. Difusi intersisi ini terjadi jika atom yang mengalami pergerakan memiliki ukuran atom yang lebih kecil dibandingkan atom induknya. Atom-atom inilah yang akan bergerak masuk kedalam rongga yang terbentuk oleh atom-atom besar.



Gambar 2.10. Difusi intersisi (Callister and Rethwisch, 2009)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian uji tarik dan uji *impact* ini dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung dan pengujian SEM dilakukan di LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia). Pembentukan spesimen uji dilakukan di BLK (Balai Latih Kerja) Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan kimia yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1. Baja paduan AISI P20
- 2. Alumunium Al-7.0Si wt.%
- 3. Larutan Pembersih (ethanol dan aceton)
- 4. Ultrasonik cleaner
- 5. Gelas ukur dan gelas reaksi
- 6. Furnace
- 7. SEM (Scanning *Electron Microscopy*) dan EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*)
- 8. Jangka sorong
- 9. Alat Uji Impact
- 10. Alat Uji Tarik

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

1. Studi literatur

Pada penelitian ini, proses yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data awal sebagai studi literatur. Studi literatur bertujuan untuk mengenal

masalah yang dihadapi, serta untuk menyusun rencana kerja yang akan dilakukan.

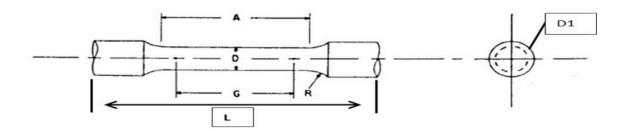
2. Persiapan benda uji

Material yang akan diuji pada penelitian ini adalah baja paduan AISI P20. Sedangkan banyaknya benda uji adalah 12 potong untuk pengujian *impact* dan 12 potong pengujian tarik.

3. Pemotongan spesimen uji

a. Spesimen uji tarik

Proses pembuatan spesimen untuk benda uji tarik dibuat sesuai dengan standar ASTM E 8 M (Gambar 3.1)



Gambar 3.1. Spesimen uji tarik standar ASTM E 8 M (ASTM E 8M, 2004)

 $G(Gage\ length) = 40\ mm$

A (length of reduced section) = 48 mm

D (diameter dalam) = 8 mm

D1 (diameter luar) = 10 mm

L (panjang keseluruhan) = 140 mm

Setelah baja karbon sedang melalui proses pemotongan serta pembentukan spesimen uji tarik ini yang dilakukan dengan menggunakan gergaji besi dan mesin CNC dapat dilihat hasilnya pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Spesimen uji tarik sebelum proses hot dipping

b. Spesimen uji Impact

Pembuatan spesimen uji impact disesuaikan dengan standar ASTM E-23 sebagaiman dapat dlihat pada Gambar 2.10. Setelah material baja karbon sedang melalui proses pemotongan serta pembentukan menggunakan gergaji besi dan pembentukan spesimen menggunakan mesin *scrap*, spesimen uji impact dapat dilihat hasilnya pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Spesimen uji impact sebelum proses hot dipping

4. Cleaning

Cleaning adalah prose pembersihan permukaan logam untuk menghilangkan kontaminasi, kotoran dan membentuk struktur permukaan spesimen yang baik. Dalam hal ini ada beberapa proses yang dilakukan antara lain:

a. Proses grinding

Proses *pengamplasan* pada spesimen menggunakan amplas ukuran 500 dan 1200 dilakukan dengan mesin grinding (Gambar 3.4).



Gambar 3.4. Mesin grinding

b. Proses pencucian lemak

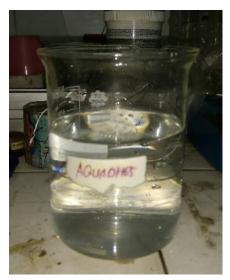
Pencucian lemak dengan menggunakan aceton, etanol, dan NaoH 10 vol.% dimaksudkan agar benda kerja bebas dari lemak atau minyak yang dapat mengganggu daya rekat hasil pelapisan yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Larutan aceton, etanol dan NaOH 10%

c. Proses pembilasan

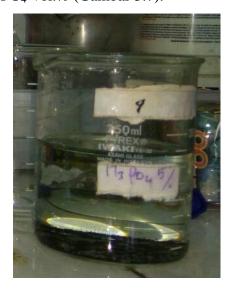
Proses pembilasan dengan menggunakan air aquades (Gambar 3.6) yang berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa etanol yang masih ada pada permukaan benda kerja. Digunakannya *aquades* karena mempunyai daya hantar listrik yang kecil daripada air biasa dan mengandung anion dan kation rendah.



Gambar 3.6. Air aquadhes

d. Pickling

Proses pickling adalah proses pembersihan material setelah proses cleaning dengan menggunakan bahan kimia yang mengandung asam yaitu larutan H_3PO_4 vol.% (Gambar 3.7).



Gambar 3.7. Larutan H₃Po₄ 5%

5. Fluxing

Proses dimana baja sebelum dicelupkan ke aluminium cair terlebih dahulu dilumuri dengan aluminium flux (Gambar 3.8) yang bertujuan agar logam dapat tertutupi semua bagian luarnya sehingga oksidasi dengan udara luar tidak terjadi. Tahapan akhir perlakukan awal ini adalah pengeringn baja tersebut di dalam udara dengan temperatur kamar selama 10 menit.



Gambar 3.8. Larutan Flux

6. Aluminizing Coating

Proses *dipping* adalah proses akhir dilaksanakannya pencelupan baja dalam Al cair (Gambar 3.9). Untuk pencelupan yang dilakukan dalam proses pelapisan adalah 2 menit dengan temperatur yang digunakan 750 °C. Pelapis baja digunakan adalah Al-7.0Si (wt.%) (tipe-I hot-dip aluminizing coating). Al dengan kandungan 7.0 wt.% Si dipilih supaya lapisan intermetalik pada permukaan baja yang dihasilkan lebih tipis dibandingkan Al 99% (tipe-II hot-dip aluminizing coating), dengan tujuan untuk menghindari terbentuknya retak pada lapisan intermetaliknya. Umumnya rekomendasi dalam proses pelapisan baja Al-celup panas selalu dipertimbangkan melalui komposisi kimia paduan baja yang akan dilapisi.



Gambar 3.9. Proses pelapisan baja Al-celup panas (hot-dipping)

7. Proses pendinginan (cooling)

Proses ini adalah proses pendinginan material yang telah melalui proses dipping dengan cara digantung menggunakan kawat diudara terbuka hingga dingin dengan temperatur kamar (\sim 30 °C) (Gambar 3.10).



Gambar 3.10. Proses pendinginan

8. Perlakuan Difusi

Perlakuan difusi dilakukan dengan memanaskan specimen ke dalam furnace pada temperatur 750°C selama 1 jam, 4 Jam, 9 Jam, dan 49 Jam. Pengambilan rentang waktu penahanan ini bertujuan untuk memudahkan observasi fasa-fasa intermetalik yang terbentuk pada lapisan aluminide pada permukaan substrat baja AISI P20. Perbedaan rentang waktu yang terpendek 3 jam (rentang waktu 1 dan 4 jam) dan terlama 40 jam (rentang waktu 9 dan 49 jam) menghasilkan fasa-fasa intermetalik yang stabil karena difusi atom-atom Fe ke dalam lapisan aluminium dan difusi keluar atom-atom Al ke substrat baja memerlukan waktu yang tepat untuk membentuk fasa intermetalik yang stabil. Sehingga rentang waktu penahanan spesimen dalam *furnace* (Gambar 3.11) dianggap sudah tepat.



Gambar 3.11. Furnace

3.4. Pengujian Sifat Mekanik dan Ketangguhan

a. Kekuatan tarik (sifat mekanik)

Kekuatan tarik dihitung menggunakan persamaan (2). Pengujian ini dilakukan dengan mesin uji tarik MTS Landmark 100 kN (Gambar 2.8). Hasil pengujian tarik diperoleh data-data: kekuatan tarik maksimum (MPa)

(ultimate strength), kekuatan luluh (MPa) (yield strength) dan nilai elongasi (dalam %) (Persamaan (4).

Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A_0}....(2)$$

$$A_0 = d^2$$
....(3)

Dimana = tegangan (Mpa)

F = beban yang diberikan (N)

A₀ = luas penampang bahan sebelum dibebani (m²)

d = diameter bahan (m)

Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0}....(4)$$

$$L = l_1 - l_0$$
....(5)

Dimana = regangan (%)

L = pertambahan panjang

 l_1 = panjang akhir

 $l_0 = panjang awal$

b. Pengujian *impact* (sifat ketangguhan)

Pengujian *impact* dilakukan untuk mendapatkan besar gaya atau energi *impact* (persamaan 6 dan 7) yang diserap oleh material (dalam Joule) yang diberikan pada material tersebut hingga patah. Dengan pengujian ini akan dapat diketahui: deformasi plastis, efek *hysteresis* dan efek inersia. Gambar alat uji impak dapat dilihat pada Gambar 3.11.

$$EI = Ep1 - Ep2$$

= mgh1 - mgh2(6)

$$EI = Ep + Ek$$

$$= mgh + \frac{1}{2} mV^{2} (7)$$

Dimana : EI = Energi impact (J)

Ep1 = Energi potensial awal (J),

Ep2 = Energi potensial akhir (J),

Ek = Energi kinetik

h1 = Ketinggian bandul sebelum dilepas (m)

h2 = Ketinggian bandul sesudah dilepas (m)

V = kecepatan bandul (m/s)

m = berat bandul (kg)

 $g = gaya gravitasi (m/s^2)$

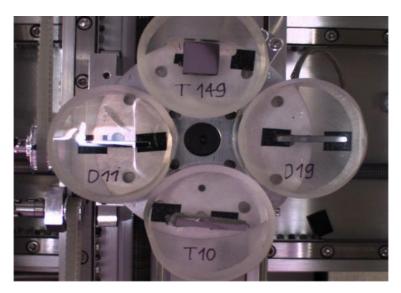


Gambar 3.12. Alat uji impact

3.5. Karakterisasi

Setelah melalui proses pengujian tarik dan *impact* maka spesimen akan melalui tahapan pengujian karakterisasi. Proses yang akan dilakukan adalah

SEM (*Scanning Elektron Microscopy*) atau EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*) untuk mengetahui fasa dan struktur mikro baja (Gambar 3.12).



Gambar 3.13. Pengujian SEM

3.6. Komposisi Kimia Baja AISI P20

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan cara menembakkan gas argon pada titik yang berbeda yang kemudian akan memberikan hasil pembacaan secara otomatis komposisi kimia pada spesimen uji. Dari data-data yang didapat kemudian dihitung kandungan rata-rata dari setiap titik baja karbon sehingga didapat hasil pengujian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 dan hasil uji komposisi.

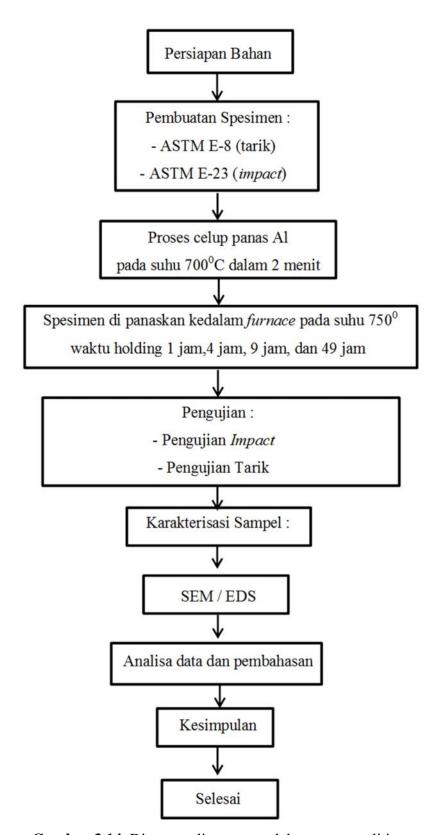
Pada pengujian komposisi kimia seperti pada Tabel 3.1 unsur yang paling dominan pada baja karbon tersebut adalah Fe (besi) yaitu 94.3 wt.%. Dengan mengamati persentase karbon yaitu 0.419 wt.%, sehingga baja ini termasuk baja karbon sedang dengan kadar karbon 0.30-0.60 (wt.%) dan sisanya adalah unsur paduannya. Unsur pada baja karbon sedang ini total kurang dari 5 wt.%, sehingga baja ini digolongkan dalam baja paduan sedang.

Tabel 3.1. Data hasi uji komposisi

No	Elements	Kadar Unsur	No	Elements	Kadar Unsur
		(wt.%)			(wt.%)
1.	Fe	94.3	12.	Sn	0.0120
2.	Si	0.243	13.	As	0.0098
3.	Mn	1.34	14.	Zr	0.0044
4.	P	0.0190	15.	Ca	0.0019
5.	Cu	0.182	16.	Ce	0.0032
6.	Cr	2.07	17.	Sb	0.0050
7.	Mo	0.199	18.	Se	0.0027
8.	Ni	1.05	29.	Te	0.0062
9.	Al	0.0121	20.	Ta	0.0386
10.	Co	0.0245	21.	В	0.00062
11.	Ti	0.0178	22.	C	0.419

3.7. Alur proses pelaksanaan pengujian

Dari semua penjabaran mulai proses persiapan alat dan bahan sampai akhir proses pengujian hingga didapat kesimpulannya, semua tahapan-tahapan proses itu ditabulasikan dalam bentuk diagram alir proses pelaksanaan pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.14. Diagram alir proses pelaksanaan penelitian

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil pengujian tarik dan pengujian impact baja AISI P20 yang dilapisi Al-celup panas dan diberi perlakuan difusi, beberapa kesimpulan diperoleh sebagai berikut:

- Pelapisan Al-celup panas meningkatkan kekuatan tarik baja. Namun setelah diffusion treatment temperatur 750 °C diberikan pada baja AISI P20 lapis Al-celup panas, kekuatan tarik dan luluh menurun mengikuti lamanya waktu ekspos dalam furnace.
- 2. Ketangguhan baja AISI P20 dari hasil uji *impact* sebesar 21.5 J. Namun setelah pelapisan Al-celup panas pada baja dilakukan, kekuatan *impact*nya ditingkatkan menjadi 95.3 J.
- 3. Penurunan kekuatan tarik (*ultimate* dan *yield strength*) dan ketangguhan baja (energi *impact*) baja AISI P20 lapis Al-celup panas dipengaruhi secara langsung oleh transformasi fasa selama perlakuan panas, yang memicu terbentuknya cacat rongga (pores) dalam lapisan intermetalik Fe-Al-Si.
- 4. Fasa-fasa intermetalik yang terbentuk pada baja AISI P20 adalah Fe₂Al₈Si, FeAl₃, Fe₂Al₅, Fe(Al,Si), Fe(Al,Si)₂, Fe₂(Al,Si)₃, Fe₃(Al,Si), dan (Fe,Si)Al. Sedangkan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan lapisan intermetalik adalah hanya Al₂O₃.

5.2 Saran

 Penelitian lanjutan mengenai kekuatan tarik baja AISI P20 lapis Al-celup panas harus dilakukan pada kondisi *steady state* dan transien pada temperatur 750 °C.

- 2. Perlu dilakukan lagi penelitian pengaruh lama waktu pencelupan terhadap ketebalan lapisan aluminide dan perubahan sifat mekaniknya (tarik dan *impact*).
- 3. Perlu dilakukan penelitian yang sama namun paduan Al pelapisnya adalah Al 99 wt.% (pure Al).

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mazrouee. A, and Raman. R.K.S, 2007, High Temperature Oxidation of Cr-Mo Steels in the Context of Accelerated Rupture Testing for Creep Life Prediction, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 129, pp. 454-459.
- Amanto. H, dan Daryanto, 1999, Ilmu Bahan, Jakarta, Bumi Aksara.
- ASTM E-23, 2005, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, West Conshohocken, United States.
- ASTM E8, 2004, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, West Conshohocken, United States
- Badaruddin, M, dan Alfurkhan, 2014, Pengaruh kadar karbon dalam baja pada proses pelapisan Aluminium celup panas, Jurnal Fema. Vol. 2, No. 1
- Callister. W.D, and Rethwisch. D.G, Jr., 2009, *Materials science and engineering: an introduction.* 8th Ed., John Wiley & Sons, Inc. USA, pp. 122-126, 252–319.
- Chang. Y.Y, Tsaur. C.C, and Rock. J.C, 2009, Microstructure studies of an aluminide coating on 9Cr-1Mo steel during high temperature oxidation, Surface & Coatings Technology, pp 6588–6593
- Cheng. W.J, and Wang. C.J, 2010, Observation of high-temperature phase transformation in the Si-modified aluminide coating on mild steel using EBSD, Materials characterization, Vol. 61, pp. 467–473
- Cheng. W.J, and Wang. C.J, 2011, Study of microstructure and phase evolution of hot-dipped aluminida mild steel during high-temperature diffussion using electron bacscatter diffraction. Applied SurficeScience, Vol. 257, pp. 4663-4668.32
- Davis. H.E, Troxell. G.E, and Hauck. G.F.W, 1998, *The Testing of Engineering Materials Ed 4*, Penerbit Mc Graw Hill, New York
- Dryepondt. S, dan Pint, B.A, 2010, Determination of the ductile to brittle temperature transition of aluminide coatings and its influence on the mechanical behavior of coated specimens, Surface & Coatings Technology, Vol. 205, pp. 1195–1199.

- Kim. J.H, Kim. S.Y, and Kang. C.Y, 2014, Effect of phase difference on growth kinetic of alloy layer in aluminized and diffusion-treated 12% Cr heating resistant steels, Surface and Coating Technology, Vol. 240, pp. 387–392.
- Kobayashi. S, and Yakou. T, 2001, Control of Intermetallic Compound Layers at Interface Between Steel and Aluminum by Diffusion Treatment, Materials Science and Engineering. Vol. 338, pp. 44-53.
- Maitra. T, and Gupta. S.P, 2003, Intermetallic compound formation in Fe–Al–Si ternary system: Part II. Materials Characterization. Vol. 49, pp. 293–311
- Sudaryanto. S., dan Utari. N, 2011, Mengenal Sifat-Sifat Material. Pada eecafedotnet.files.wordpress.com/2011/08/oksidasi-dan-korosi.pdf (diakses Februari 2015)
- Van Vlack. L.H, 2000. Elemen-elemen dan Rekayasa Material. Edisi keenam. Erlangga: Jakarta.
- Wang. C.J, and Chen. S.M, 2006, The high-temperature oxidation behavior of hot-dipping Al–Si coating on low carbon steel, Surface and Coatings Technology, Vol. 200, pp. 6601–6605
- Wang. Q, Leng. X.S, Yang. T.H, and Yan, J.C, 2014. Effects of Fe_Al intermetallic compounds on interfacial bonding of clad materials. Vol. 24, pp. 279-284
- Wiryosumarto. H, and Okumura. T, 2004, Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan 9, Penerbit Pradya Paramita, Jakarta.