

”Studi Komparasi Nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂) Sebagai Gas Pendorong pada *Flame Spray Coating* Fe-Al dengan Substrat *Low Carbon Steel*”

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana FISIKA



Disusun Oleh :

Irman Syahdiar

NIM 15620029

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2018

”Studi Komparasi Nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂) Sebagai Gas Pendorong pada *Flame Spray Coating* Fe-Al dengan Substrat *Low Carbon Steel*”

Irman Syahdiar
15620029

INTISARI

Telah dilakukan pelapisan material menggunakan paduan intermetallik FeAl yang dideposisikan ke permukaan substrat dengan teknik *Flame Spray* menggunakan N₂ dan O₂ sebagai gas pendorong. Penelitian ini bertujuan untuk Melapisi substrat *Low Carbon Steel* dengan paduan intermetallik FeAl menggunakan gas pendorong N₂ dan O₂, mengkarakterisasi hasil pelapisan substrat *Low Carbon Steel* menggunakan OM dan XRD, Mengkaji pengaruh penggunaan N₂ dan O₂ sebagai gas pendorong pada pelapisan Fe-Al pada substrat *Low Carbon Steel*. Tahapan penelitian ini adalah dimulai dari penyiapan substrat *Low Carbon Steel*, kemudian pelapisan intermetallik FeAl melalui teknik *Flame Spray*, karakterisasi XRD dan OM terhadap *Low Carbon Steel* yang dilapisi paduan intermetallik FeAl, dan terakhir melakukan perbandingan kinerja antara gas O₂ dan N₂ sebagai gas pendorong. Dari hasil *Optical Microstructure* didapat ketebalan rata – rata dari pelapis pada substrat *Low Carbon Steel* sebelum oksidasi dengan gas pendorong O₂ lebih baik dari substrat lainnya yaitu sebesar 414.18 μm. Setelah proses oksidasi, celah rata – rata antara substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi dengan paduan intermetallik FeAl dengan N₂ sebagai gas pendorong lebih baik daripada substrat lainnya yaitu sebesar 114.26 μm. Pada kurva penambahan massa terlihat bahwa substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi dengan paduan intermetallik FeAl dengan N₂ sebagai gas pendorong lebih baik dari substra lainnya. Pada karakterisasi XRD, substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi dengan paduan intermetallik FeAl dengan N₂ sebagai gas pendorong lebih baik dari pada substrat lainnya yang ditandai dengan terbentuknya fasa FeAl yang lebih banyak jika dibanding fasa Fe-O yaitu Fe₅Al₈ dan Fe_{1,5}Al_{0,5}, sehingga substrat ini memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik.

Kata Kunci : *Low Carbon Steel, Flame Spray Coating, Intermetallik FeAl, MK 74 Spray System, Gas Pendorong*

” Comparative Study of Nitrogen (N₂) and Oxygen (O₂) as a Booster Gas in Fe-Al Flame Spray Coating with Low Carbon Steel Substrate”

Irman Syahdiar
15620029

ABSTRACT

A coating has been done using the FeAl intermetallic alloy deposited onto the surface of the substrate with the Flame Spray technique using N₂ and O₂ as a gas booster. The launching of Low Carbon Steel substrates with FeAl intermetallic alloys using N₂ and O₂ gas boosters, characterizes the results of Low Carbon Steel substrate coatings using OM and XRD, examines the use of N₂ and O₂ as gas boosters on Fe-Al coatings on Low Carbon Steel substrates. The stages of this research are starting from the preparation of Low Carbon Steel substrate, then coating the FeAl intermetallic through Flame Spray technique, XRD and OM characterization of Low Carbon Steel coated with FeAl intermetallic alloy, and finally doing a performance comparison between O₂ and N₂ gas as a booster gas. From the results of Optical Microstructure obtained an average thickness of the coating on the Low Carbon Steel substrate before oxidation with O₂ booster gas is better than the other substrate that is equal to 414.18 μm. After the oxidation process, the average gap between the Low Carbon Steel substrate attached to the FeAl intermetallic alloy with N₂ as a gas booster is better than other substrates which is 114.26 μm. On the curve that can be seen the mass is shown below. Low Carbon Steel supported by FeAl intermetallic alloy with N₂ as a gas booster is better than other substrates. In XRD characterization, Low Carbon Steel substrate which chooses with FeAl intermetallic alloy with N₂ as a gas booster is better than other substrates which are characterized by the formation of more FeAl phase compared to Fe-O phase namely Fe₅Al₈ dan Fe_{1.5}Al_{0.5}, and this substrate is increasingly questioned for the safety well .

Key words : *Low Carbon Steel, Flame Spray Coating, Intermetallic FeAl, MK 74 Spray System, Booster Gas.*

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irman Syahdiar

NIM : 15620029

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Studi Komparasi Nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂) Sebagai Gas Pendorong pada *Flame Spray Coating* Fe-Al dengan Substrat *Low Carbon Steel***" merupakan hasil penelitian saya sendiri. Tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 15 Juni 2020

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Irman Syahdiar

NIM. 15620029

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Irman Syahdiar

NIM : 15620029

Judul Skripsi : Studi Komparasi Nitrogen (N_2) dan Oksigen (O_2) Sebagai Gas Pendorong pada *Flame Spray Coating* Fe-Al dengan *Substrat Low Carbon Steel*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 05 Juni 2020

Pembimbing



Anis Yuniati, Ph.D.,

NIP. 19830614 200901 2 009



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1656/Un.02/DST/PP.00.9/07/2020

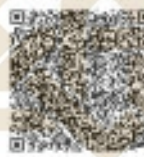
Tugas Akhir dengan judul : Studi Komparasi Nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂) Sebagai Gas Pendorong pada Flame Spray Coating FeAl dengan Substrat Low Carbon Steel

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : IRMAN SYAHDIAR
Nomor Induk Mahasiswa : 15620029
Telah diajukan pada : Jumat, 10 Juli 2020
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

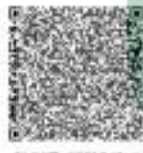
dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



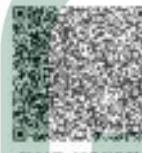
Ketua Sidang
Aris Yuzanti, S.Si., M.Si., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 5f168667066



Penguji I
Dr. Wulayanti, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 5f168667066



Penguji II
Frida Agung Raichmadi, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 5f168667066



Yogyakarta, 10 Juli 2020
UIN Sunan Kalijaga
Pdt. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Murtono, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 22069642066

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini adalah persembahan kecil untuk dua orang yang paling berharga dan paling berarti bagi saya di dunia ini. tanpa mereka, saya tidak akan bisa sampai di titik ini. Mereka adalah Bapak dan Ibu saya. Ketika dunia menutup pintunya pada saya, mereka membuka lengannya untuk saya. Ketika semua orang menutup mata dan telinga pada saya, mereka membuka hatinya untuk saya. Terimakasih atas segalanya yang pernah kalian berikan kepada saya. Saya tahu saya tidak akan pernah bisa membalas jasa kalian sampai kapanpun. Tapi izinkan saya mempersembahkan skripsi ini untuk kalian. Karena sampai saat ini mungkin skripsi inilah yang bisa saya berikan untuk kalian, dan semoga skripsi ini bisa sedikit membuat kalian bangga kepada saya.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



MOTTO HIDUP

الرَّجِيمِ الشَّيْطَانِ مِنَ اللَّهِ أَعُوذُ

...الدُّنْيَا الْحَيَاةُ تَغُرَّنَكُمُ فَلَا...

aku berlindung kepada Allah Subhanahu wa ta'ala dari setan yang terkutuk

...maka sekali-kali janganlah kehidupan dunia memperdayakan kamu... Q.S. Fatir

Ayat 35

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah kepada umat-Nya, khususnya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) dengan judul **"Studi Komparasi dan Analisa Kristalinitas pada *Flame Spray Coating Fe-Al* dengan Substrat *Low Carbon Steel*"**. TA ini dilaksanakan di Kelompok Penelitian Teknologi *High Resistant Material*, Pusat Penelitian Fisika LIPI Serpong pada tanggal 25 Juni 2018 hingga 22 September 2018.

Penulisan laporan ini tidak lepas dari dukungan beberapa pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Atas kerjasama dan bantuan dari pihak-pihak terkait, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rizki sehat dan sehingga penulis bisa melakukan Tugas Akhir.
2. Orang tua dan keluarga yang memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
3. Ibu Anis Yuniati M.Si., Ph.D. dosen Pembimbing Skripsi.
4. Bapak Gerald Ensang Timuda M.Si., M.Eng. selaku Pembimbing Lapangan.
5. Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niryatama, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Seluruh dosen dan jajarannya yang telah memberikan ilmu untuk bekal melakukan Tugas Akhir.

7. Rekan-rekan yang bergabung dalam penelitian yang saling berbagi ilmu dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Pusat Penelitian Fisika LIPI yang telah memberikan izin untuk melaksanakan Tugas Akhir, serta seluruh pimpinan staff yang telah membantu selama Tugas Akhir.
9. Seluruh teman-teman Program Studi Fisika, Saintek Musik, Futsal UIN Jogja yang memberi semangat dalam penyusunan laporan Tugas Akhir.
10. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebut satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari para pembaca. Penulis mengharapkan agar laporan ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Serpong, 22 September 2018

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	1
INTISARI	2
<i>ABSTRACT</i>	3
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	4
HALAMAN PERSEMBAHAN	7
MOTTO HIDUP	8
KATA PENGANTAR	9
DAFTAR ISI.....	11
BAB I PENDAHULUAN.....	13
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Rumusan Masalah.....	18
1.3 Tujuan Penelitian	18
1.4 Batasan Penelitian.....	18
1.5 Manfaat Penelitian	19
BAB V KESIMPULAN.....	20
5.1 Kesimpulan	20
5.2 Saran.....	21
DAFTAR PUSTAKA.....	23

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi diperlukan bahan atau material yang digunakan untuk mendukung hal tersebut salah satunya adalah baja. Baja banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti di bidang pembangunan, transportasi, dan industri. Ada beberapa jenis baja salah satunya yaitu baja tahan karat (*stainless steel*). Jenis baja ini kerap digunakan dalam lingkungan bersuhu tinggi karena memiliki sifat mekanik dan ketahanan terhadap oksidasi yang baik sehingga sangat cocok diaplikasikan pada lingkungan bersuhu tinggi, tetapi karena harganya yang mahal, baja jenis ini sangat terbatas pemakaiannya. Alternatif lain dari baja yang banyak digunakan pada lingkungan bersuhu tinggi ialah baja karbon. Baja karbon merupakan paduan antara baja dan karbon dengan komposisi karbon yang dibatasi antara 0,1% - 1,7% (Tjahjono, 2013).

Baja karbon juga sudah banyak digunakan pada dunia industri. Selain memiliki sifat mekanik yang baik, baja karbon juga memiliki harga yang relatif rendah jika dibandingkan dengan *stainless steel*. Akan tetapi baja karbon memiliki kelemahan yaitu sifat ketahanan terhadap oksidasi yang cukup rendah apabila diaplikasikan dalam lingkungan bersuhu tinggi. Sehingga perlu diupayakan agar kelemahan baja

karbon dapat diatasi yaitu dengan melakukan pelapisan. Baja karbon rendah selama penggunaannya selalu berinteraksi dengan lingkungan bersuhu tinggi dimana baja karbon rendah akan mengalami degradasi atau penurunan fungsi yang dapat menyebabkan korosi. Melihat kerugian yang mungkin terjadi, maka perlu dilakukan *surface treatment* untuk melindungi baja dari serangan korosi dengan cara melapisi baja dengan paduan intermetalik.

Paduan intermetalik adalah bahan yang menarik untuk aplikasi industri pada suhu sedang sampai tinggi karena sifatnya yang unik. Paduan intermetalik besi dan aluminium (Fe-Al) menunjukkan sifat mekanik yang relatif baik, kepadatan relatif rendah yaitu $5,56 \text{ g/cm}^3$, ketahanan terhadap korosi yang sangat baik, dan harga yang relatif murah (Stoloff, 1998). Berdasarkan keunggulan sifat yang dimiliki oleh Fe Al tersebut maka paduan intermetalik Fe Al ini dapat digunakan untuk melapisi substrat *low carbon steel* ST 41 untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi pada substrat tersebut.

Dalam Al Quran Surah Al Kahfi ayat 96 diceritakan tentang Raja Zukarnain yang pernah membuat tembok raksasa untuk menghalangi kaum Ya'juj dan Ma'juj ketika hendak menyerang kaum dari Raja Zulkarnain. Pembuatan tembok raksasa ini dilakukan dengan cara menuangkan tembaga (Cu) ke atas besi (Fe) seperti yang dijelaskan pada ayat berikut

ءَاتُوْنِي زُبْرَ الْحَدِيْدِ حَتَّىٰ إِذَا سَاوَىٰ بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ قَالَ أَنْفُخُوْا حَتَّىٰ إِذَا
 جَعَلَهُ نَارًا قَالَ ءَاتُوْنِي أُفْرِغْ عَلَيْهِ قِطْرًا ﴿٩٦﴾

Artinya: “berilah aku potongan - potongan besi!”. Hingga apabila besi itu telah sama rata dengan kedua (puncak) gunung itu, berkatalah Dzulkarnain: "Tiuplah (api itu)". Hingga apabila besi itu sudah menjadi (merah seperti) api, diapun berkata: "Berilah aku tembaga (yang mendidih) agar aku kutuangkan ke atas besi panas itu".

Imam Jalaluddin Al-Mahalli dan Imam Jalaluddin As-Suyuthi menafsirkan ayat ini pada Tafsir Jalalain Jilid 3, ءَاتُوْنِي زُبْرَ الْحَدِيْدِ (“berilah aku potongan – potongan besi!”) sebesar batu kecil yang akan dijadikan sebagai bahan bangunan

tembok lalu Dzulkarnain membangun tembok penghalang itu daripadanya, dan dia memakai kayu dan batu bara yang dimasukkan di tengah – tengah tembok besi itu,

حَتَّىٰ إِذَا سَاوَىٰ بَيْنَ الصَّدَفَيْنِ (Hingga apabila besi itu telah sama rata dengan kedua

(puncak) gunung itu) lafaz *Shadafaini* dapat dibaca *Shudfaini*, artinya sisi bagian puncak kedua bukit itu itu telah rata dengan bangunan, kemudian dibuatkannya

peniup – peniup dan api sepanjang bangunan tembok itu, قَالَ أَنْفُخُوْا (berkatalah

Dzulkarnain: "Tiuplah (api itu)", lalu api itu mereka tiup, حَتَّىٰ إِذَا جَعَلَهُ (Hingga

apabila besi itu sudah menjadi) berubah bentuknya menjadi, نَارًا (merah) seperti

api, قَالَ آتُونِي أُفْرِغَ عَلَيْهِ قِطْرًا (diapun berkata: "Berilah aku tembaga (yang mendidih) agar aku kutuangkan ke atas besi panas itu"), maksudnya tembaga yang dilebur, lalu tembaga tersebut dituangkan ke atas besi yang merah membara, sehingga masuklah tembaga itu ke dalam partikel – partikel potongan besi, akhirnya kedua logam itu menjadi menyatu. Dari tafsir ayat tersebut dapat diambil pelajaran yang bisa dikaitkan dengan bahan material yang dapat digunakan sebagai substrat serta bahan pelapisnya.

Beberapa metode pelapisan bahan yang dapat digunakan untuk menghantarkan paduan intermetalik menuju permukaan substrat diantaranya *electroplating*, *hot dipping*, *mechanical alloying*, dan *Thermal Spray*. *Thermal Spray* adalah teknik pelapisan pada permukaan suatu material dengan cara menyemprotkan atau mendeposisikan padatan, cairan atau semi cairan ke permukaan suatu logam (Aprilia, 2009). Ada beberapa jenis proses *Thermal Spray* yaitu *Arc Spray*, *HVOF (High Velocity Oxy-Fuel Spray)*, *Plasma Spray*, dan *Flame Spray*. *Flame Spray* adalah penyemprotan dengan memanfaatkan nyala api bertekanan tinggi yang berisikan padatan panas (*semi molten*). *Flame Spray* juga merupakan salah satu metode *Thermal Spray* yang banyak digunakan untuk melindungi suatu logam dari oksidasi.

Dari berbagai macam proses *Thermal Spray*, penelitian ini menggunakan metode *Flame Spray* karena merupakan salah satu metode yang paling sedikit biaya *maintenance*, mudah preparasi, dan dapat menghasilkan lapisan dengan ketebalan

sesuai dengan yang diinginkan (Roberge, 2008). Teknik *Flame Spray* ini menggunakan paduan intermetallik FeAl sebagai bahan pelapis substrat *Low Carbon Steel*. Bahan ini memiliki sifat yang baik, kepadatan yang rendah, dan juga biaya yang murah (Stoloff, 1998). Paduan intermetallik FeAl akan dideposisikan ke permukaan substrat menggunakan alat MK 74 *Spray System* menggunakan N₂ dan O₂ sebagai gas pendorong. Gas pendorong O₂ memiliki kemungkinan berdampak pada hasil karakterisasi XRD yaitu terbentuknya fasa FeO yang akan menghambat ketahanan substrat terhadap oksidasi selama paparan pada suhu tinggi (Timuda. G. E, 2019). Sedangkan penggunaan gas N₂ sebagai gas pendorong adalah untuk meminimalisir atau menghilangkan fasa oksida yang terbentuk setelah proses pelapisan (Timuda. G. E, 2019). Ketebalan lapisan, kondisi substrat dan pelapis, dan fasa – fasa yang terbentuk setelah proses pelapisan dan oksidasi belum diketahui. Pengaruh pelapisan pada penambahan massa substrat setelah oksidasi sangatlah penting guna mengetahui variasi pelapisan mana yang menghasilkan ketahanan terhadap oksidasi yang lebih baik, namun hal itu belum diketahui. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini dilakukan pelapisan menggunakan metode *Flame Spray* dengan serbuk FeAl pada substrat *Low Carbon Steel* menggunakan gas pendorong N₂ dan O₂ untuk selanjutnya substrat akan diuji oksidasi untuk mengetahui ketahanan lapisan FeAl terhadap paparan suhu tinggi. Kondisi dan ketebalan lapisan akan dikarakterisasi menggunakan OM. Sedangkan fasa - fasa yang terbentuk pada substrat *low carbon steel* yang terlapisi Fe-Al setelah proses penyemprotan dan oksidasi akan dikarakterisasi menggunakan XRD.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah hasil pelapisan paduan intermetallik FeAl pada substrat *Low Carbon Steel* yang menggunakan gas pendorong N_2 dan O_2 ?
2. Bagaimanakah hasil karakterisasi dari pelapisan paduan intermetallik FeAl pada substrat *Low Carbon Steel* yang menggunakan gas pendorong N_2 dan O_2 ?
3. Gas manakah diantara N_2 dan O_2 yang paling baik untuk dijadikan gas pendorong pada pelapisan substrat *Low Carbon Steel*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melapisi substrat *Low Carbon Steel* dengan paduan intermetallik FeAl menggunakan gas pendorong N_2 dan O_2 .
2. Mengkarakterisasi hasil pelapisan substrat *Low Carbon Steel* menggunakan OM dan XRD.
3. Mengkaji pengaruh penggunaan N_2 dan O_2 sebagai gas pendorong pada pelapisan Fe-Al pada substrat *Low Carbon Steel*.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Substrat yang digunakan adalah *Low Carbon Steel* ST 41.

2. Pelapisan substrat *Low Carbon Steel* dengan menggunakan Fe 50 at% dan Al 50 at%.
3. Ukuran *Low Carbon Steel* yang digunakan adalah 10 x 10 x 3 mm³.
4. Metode pelapisan menggunakan *Flame Spray* dengan alat MK 74 *Spray System*.
5. Gas pendorong menggunakan O₂ dan N₂.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

1. Meningkatkan ketahanan substrat *Low Carbon Steel* terhadap korosi.
2. Mengetahui lapisan yang terbaik dari ketebalan lapisan dan celah antara substrat dan pelapis, dan dari fasa – fasa yang terbentuk setelah proses pelapisan.
3. Mengetahui gas mana yang terbaik untuk digunakan sebagai gas pendorong pada proses pelapisan menggunakan metode *Flame Spray*.
4. Mengetahui kondisi optimal dari parameter – parameter dalam penelitian untuk mendapatkan hasil pelapisan terbaik dari metode *Flame Spray*.
5. Menambah referensi penelitian terkait gas yang terbaik antara N₂ dan O₂ untuk digunakan dalam proses pelapisan material dengan metode *Flame Spray* yang menggunakan serbuk Fe Al sebagai pelapis substrat *Low Carbon Steel* sehingga bermanfaat bagi penelitian selanjutnya.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Ditinjau dari hasil *Optical Microstructure* (OM) dapat disimpulkan bahwa ketebalan rata - rata lapisan substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi paduan intermetallik Fe-Al dengan O₂ sebagai gas pendorong sebelum oksidasi lebih baik dari substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi paduan intermetallik Fe-Al dengan N₂ sebagai gas pendorong. Namun jika dilihat dari celah rata – rata antara substrat dan lapisan setelah proses oksidasi, substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi dengan paduan intermetallik Fe-Al dengan N₂ sebagai gas pendorong lebih baik dari substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi dengan paduan intermetallik Fe-Al dengan O₂ sebagai gas pendorong. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan lapisan tidak berpengaruh terhadap besar kecilnya celah yang terjadi antara substrat dengan lapisan.
2. Dari tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa ketahanan substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi paduan intermetallik Fe-Al dengan N₂ sebagai gas pendorong terhadap oksidasi lebih lebih baik daripada substrat *Low Carbon Steel* yang dilapisi dengan paduan intermetalik Fe-Al dengan O₂ sebagai gas pendorong

ataupun dengan substrat *Low Carbon Steel* yang tidak dilapisi oleh paduan intermetallik Fe-Al.

3. Setelah proses oksidasi, substrat yang tidak dilapisi paduan intermetallik Fe-Al menunjukkan bahwa tidak ada senyawa Fe-Al. Hal ini mengartikan bahwa tidak ada perlindungan terhadap oksidasi sama sekali. Sedangkan pada substrat yang dilapisi paduan intermetallik Fe-Al dengan O_2 sebagai gas pendorong menunjukkan bahwa terdapat paduan Fe-Al yang terbentuk dan beberapa senyawa Fe_2O_3 . Pada substrat yang dilapisi paduan intermetallik Fe-Al dengan N_2 sebagai gas pendorong menunjukkan bahwa terdapat senyawa Fe_5Al_8 dan $Fe_{1.5}Al_{0.5}$, dan juga terdapat Fe_2O_3 . Dari analisa di atas dapat disimpulkan bahwa substrat yang dilapisi dengan paduan intermetallik Fe-Al dengan N_2 sebagai gas pendorong memiliki ketahanan terhadap korosi yang lebih baik jika dibandingkan dengan 2 substrat sebelumnya. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya fasa Fe-Al yang terbentuk pada substrat tersebut.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut untuk menentukan kekerasan lapisan menggunakan *Vickers Hardness*.
2. Perlu dilakukan oksidasi lanjutan untuk melihat kelanjutan penambahan massa pada substrat *Low Carbon Steel* terutama untuk melihat penambahan pada substrat *Low Carbon Steel* yang terlapisi paduan intermetallik Fe-Al.

3. Perlu dilakukan karakterisasi SEM untuk mengetahui topografi dan komposisi unsur dan senyawa yang terkandung pada substrat *Low Carbon Steel*. Perlu juga dilakukan karakterisasi TEM untuk mengetahui kristalografi dari hasil pelapisan pada substrat *Low Carbon Steel*.



DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani. P. F. 2018. *Difraksi Oleh Kisi Kristal*. Diakses pada tanggal 26 Oktober 2019, dari www.academia.edu/21351926/Difraksi_Oleh_Kisi_Kristal
- Aprilia. 2009. *Mikrostruktur permukaan Baja JIS S45C hasil difusi paska pelapisan HVOF-Thermal Spray Coating*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.
- Aryanto. D, 2016. *Structure and high temperature oxidation of mechanical alloyed Fe-Al coating*. Research Center for Physics, Indonesian Institute of Sciences, Serpong 15314, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia
- Ashby M. F. 2005. *Materials Selection in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann: Burlington, MA; 2005
- Athur. 2017. *Karakterisasi Pembentukan Lapisan Fe-Cr dan Fe-Cr-Al yang Dideposisikan Pada Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan Teknik Flame Spray*.
- Basariya M. I. R., & Mukhopadhyay, N. K. 2018. *Structural and Mechanical Behaviour of Al-Fe Intermetallics. Intermetallic Compounds - Formation and Applications*.
- Bohn R, Hanbold T, Birringer R, Gleiter H. 1991. *Nanocrystalline intermetallic compounds-an approach to ductility?* Scripta Metallurgica et Materialia. 1991;25:81.
- Bose, Sundhangshu. 2007. *High Temperature coatings*. Oxford : Elsevier.
- Brady, James E. 2000. *Descriptive Chemistry of The Elements*, New York : John Wiley & Sons Inc.
- Calister Jr., William D, & Rethwisch. D. G. 2014. *Material Science and Engineering*, New York : John Wiley & Sons Inc.
- Canacki A, Erdemir F, Varol. T, Ozkaya. S. (2013). *Formation of Fe-Al intermetallic coating on low-carbon steel by a novel mechanical alloying technique*. Trazbon. Elsevier B.V.
- Cook, Gerhard A, Lauer. Carol M. 1968. "Oxygen". *The Encyclopedia of the Chemical Elements*. New York: Reinhold Book Corporation. hlm. 499–512. LCCN 68-29938
- Corby RN, Black PJ. 1973. *The Structure of FeAl₂ by Anomalous Dispersion Methods*. Acta Crystallographica B. 1973;29:2669

- Darolia R. 1991. *NiAl alloys for high temperature structure applications*. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*. 1991; 43 (3) : 44.
- Datu-Maki. 2018. *Deposisi dan Karakterisasi Lapisan Fe-Ni-Al Dipreparasi Dengan Teknik Flame Spray pada Baja Karbon Rendah*. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Emsley, J. 2001. "Oxygen". *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford, England: Oxford University Press. hlm. 297–304. ISBN 978-0-19-850340-8
- Farosyd. 2018. *Prinsip Kerja dan Proses Terjadinya Sinar-X*. Diakses pada 20 Oktober 2019, dari katapengetahuan.wordpress.com/2018/05/18/prinsip-kerja-dan-proses-trjdinya-sinar-x-xrd/amp/
- Haghighi, Janghorban. K, & Izadi. S. 2010. *Alloy Compd.* 495, 260-264 (2010).
- Imam Jalaluddin Al-Mahalli & Imam Jalaluddin As-Suyuthi. 2006. *Tafsir Jalalain Jilid 3*. Bandung: SINAR BARU ALGESINDO.
- Krasnowski M, Kulik T. 2009. *Nanocrystalline and Amorphous Al-Fe Alloys Containing 60-85% of Al Synthesised by Mechanical Alloying and Phase Transformations Induced by Heating of Milling Products*. *Materials Chemistry and Physics*. 2009;116:631.
- Krasnowski M, Kulik T. 2010. *Nanocrystalline Al-Fe Intermetallics—Lightweight Alloys with High Hardness*. *Intermetallics*. 2010;18:47.
- Li. X, Scherf. A, Heilmaier. A, Stein. F. 2016. *The Al-Rich Part of the Fe-Al Phase Diagram*. *JPEDAV* (2016) 37:162–173.
- Li. Y, Chen. C, Deng. R, Feng. X, and Shen. Y. 2013. *Powder Technol.* 268, 165-172.
- Massalski TB. 1968. *Binary Phase Diagram*. OH, USA: American Society for Metals, Metals Park; 1986: 1 & 2.
- Meija J, et al. 2016. *Atomic Weight of the Elements 2013 (IUPAC Technical Report)*. *Pure Applied Chemistry* 88 (3) : 265 – 91.
- Mhadhbi, Suñol. J. J, and Khitouni. M. 2013. *Phys Procedia* 40, 38-44 (2013).
- Mihalkovic M, Wisdom M. 2012. *Structure and stability of Al₂Fe and Al₅Fe₂: First Principles Total Energy and Phonon Calculations*. *Physical Review B*. 2012;**85**:014113.

- Redjald .O, Zaid. B, Tabti. M. S, Henda. K, Lacaze. P. C. 2012. *Characterization of Thermal Flame Sprayed Coatings Prepared from Fe Cr Mechanically Milled Powder*.
- Roberge, Pierre R. 2008. *Corrosion Engineering: Principles and Practice*. San Francisco. Mc Graw Hill.
- Shi. H, Guo. D, and Ouyang. Y. 2008. *Alloys Compd.* 455, 207-209 (2008).
- Shen. P. Z, He. Y. H, Gao. H .Y, Zou. J, Xu. N. P, Jiang. Y, Huang. B. Y, and Liu. C. T. 2009. *Desalination* 249, 29 – 33.
- Stoloff. 1998. *Iron Aluminides: Present Status and Future Prospects*, Mater. Sci. Eng. A, 1998, 258, p 1-14.
- Sudiro. T. Hia. A.IJ, Ciswandi , Aryanto. A, Hermanto. A, Wismogroho. A.S, Sebayang. P. 2017. *High temperature cyclic oxidation resistance of 50Cr-50Al coatings mechanically alloyed on low carbon steel*. Tangerang Selatan. Elsevier B.V.
- Surdia, Prof. Ir. Tata dan Prof. Dr. Shinroku Saito. 2013. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Balai Pustaka.
- Tim Aeromac. *Advantages of Various Thermal Spray Processes*. Diakses pada 06 September 2018, dari aeromac.com.sg/thermalsprayadv.html.
- Tim Kompasiana. 2015. *Sejarah Penemuan Mikroskop*. Diakses pada 07 November 2018, dari kompasiana.com/alatlabor/54f90feca33311ae068b456b/sejarah-penemuan-mikroskop.
- Tim Metallisaion. 2013. *Metallisation : MK 74 Flame Spray System Operation Manual & Spare Part List*. Pear Tree Lane, West Midlands. United Kingdom.
- Tim Wikipedia. 2019. *Asetilena*. Diakses pada 06 November 2019, dari id.m.wikipedia.org/wiki/Asetilena.
- Tim Wikipedia. 2019. *Aluminium Oksida*. Diakses pada 14 Mei 2020, dari id.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oksida.
- Timuda. G. E, Hermanto. B, Sudiro. T. 2019. *Study of Flame-Spray Coated Fe-Al Using N₂ as a Gas Carrier*. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series **1191** (2019) 012054.
- Tjahjono, Arif. 2013. *Fisika Logam dan Alloy*. Jakarta : UIN Jakarta Press.

Totemeier. T.C, Richard N. Wright, W. David Swank. 2004. *FeAl and Mo-Si-B Intermetallic Coatings Prepared by Thermal spraying*. Idaho Fall. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA