

**PENGARUH TEKANAN OKSIGEN *FLAME SPRAY*
WELDING PADA PELAPISAN TITANIUM Ti6Al4V
DENGAN METODE *THERMAL BARRIER COATING*
UNTUK APLIKASI FIKSASI INTERNAL
TULANG MANDIBULA**



JURNAL

**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana S-1 Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang**

disusun oleh

MUHAMAD LUTFIL HAKIM

C2A215012

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG
2018**

PENGARUH TEKANAN OKSIGEN *FLAME SPRAY WELDING* PADA PELAPISAN TITANIUM Ti6Al4V DENGAN METODE *THERMAL BARRIER COATING* UNTUK APLIKASI FIKSASI INTERNAL TULANG MANDIBULA

Muhamad Lutfil Hakim

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Semarang

Email : muhamadlutfilhakim@yahoo.com

ABSTRAK

Fraktur mandibula adalah putusnya kontinuitas tulang mandibula. Salah satu penanganan pada fraktur mandibula adalah dengan dilakukan fiksasi internal, material yang digunakan salah satunya yaitu titanium. Akan tetapi bahan titanium juga menimbulkan efek samping seperti reaksi alergi ngilu, kandungan metal dalam darah dan lain – lain. Untuk mengurangi berbagai efek samping tersebut dilakukan pelapisan pada titanium menggunakan bahan tertentu seperti *hydroxyapatite* yang dapat meningkatkan percepatan pembentukan tulang. Proses pelapisan titanium dengan bahan *hydroxyapatite* dilakukan dengan metode *thermal barrier coating*. Pada proses ini dilakukan dengan variabel beberapa tekanan oksigen yaitu 4, 5 dan 6 bar, setelah itu dilakukan pengujian terhadap spesimen tersebut. Uji SEM untuk mengetahui struktur morfologi, uji makro untuk mengetahui difusi dari pelapisan, uji kerekatan untuk mengetahui kekuatan rekat lapisan dan uji konduktivitas thermal untuk mengetahui nilai konduktivitas thermal dari *hydroxyapatite*. Dari hasil uji SEM, tekanan 6 bar memiliki porositas yang lebih kecil dibandingkan tekanan 4 dan 5 bar, selain itu lapisannya juga terlihat lebih homogen. Untuk uji makro, lapisan pada tekanan 6 bar terlihat lebih terdifusi dibandingkan tekanan 4 dan 5 bar yang masih terlihat porositas pada bagian lapisannya. Pada uji kerekatan, tekanan 6 bar memiliki nilai kerekatan yang paling baik yaitu 4B dengan presentase 5 %. Sedangkan untuk uji konduktivitas thermal bahan, didapat nilai konduktivitas thermal dari *hydroxyapatite* sebesar, $k_{HA} = 0,7739 \text{ W/mK} = 0,18496 \text{ cal/msK}$.

Kata kunci : coating, hydroxyapatite, tekanan oksigen, titanium

I. PENDAHULUAN

Fraktur mandibula adalah putusnya kontinuitas tulang mandibula. Hilangnya kontinuitas pada rahang bawah (mandibula), dapat berakibat fatal bila tidak ditangani dengan benar. Mandibula adalah tulang rahang bawah pada manusia dan berfungsi sebagai tempat menempelnya gigi geligi. Faktor etiologi utama terjadinya fraktur mandibula bervariasi berdasarkan lokasi geografis, namun kecelakaan kendaraan bermotor menjadi penyebab paling umum. Beberapa penyebab lain berupa kelainan patologis seperti keganasan pada mandibula,

kecelakaan saat kerja, dan kecelakaan akibat olahraga. Pada perkembangan selanjutnya oleh para klinisi menggunakan oklusi sebagai konsep dasar penanganan fraktur mandibula dan tulang wajah (maksilofasial) terutama dalam diagnostik dan penatalaksanaannya. Hal ini diikuti dengan perkembangan teknik fiksasi mulai dari penggunaan pengikat kepala (*head bandages*), pengikat rahang atas dan bawah dengan kawat (*intermaxilari fixation*), serta fiksasi dan imobilisasi fragmen fraktur dengan menggunakan plat tulang (*plate and screw*). Material yang digunakan untuk

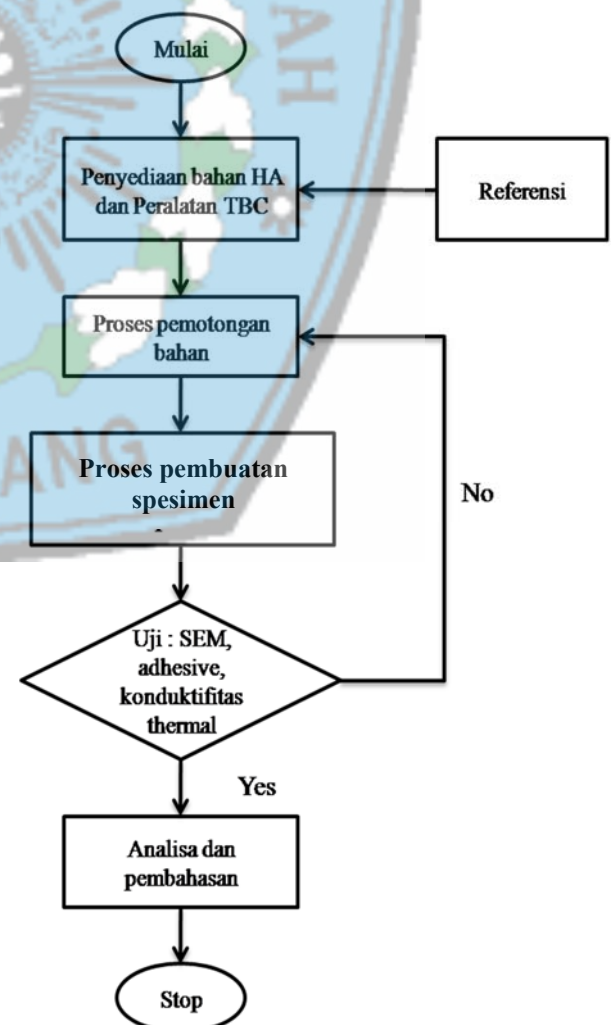
fiksasi internal menggunakan material biokompatibel yang *rigid*, seperti stainless steel, kobalt kromium, titanium dan material komposit (Ali M.S, 1990).

Stainless steel, kobalt kromium, titanium untuk fiksasi internal memiliki kekuatan mekanis yang handal, tetapi memiliki kekurangan pada migrasi implan, ketidaknyamanan, dan nyeri pada pasien (Böstman O, et al, 1996). Titanium dipercaya lebih baik dan lebih sedikit efek sampingnya dibandingkan dengan bahan stainless steel, bahan titanium juga menimbulkan efek samping seperti reaksi alergi ngilu, kandungan metal dalam darah dan lain – lain (www.alodokter.com). Untuk mengurangi berbagai efek samping tersebut dilakukan pelapisan pada titanium menggunakan bahan tertentu seperti *hydroxyapatite* yang dapat meningkatkan percepatan pembentukan tulang (Bora dan Cuneit, 2000). Teknik dip coating yang dilakukan Bora dan Cuneit (2000), teknik ini sangat bagus hasil pelapisannya dengan menghasilkan daya rekat pada permukaan lebih dari 30 Mpa, memerlukan peralatan spesial dip dan di Indonesia sangat jarang dan mahal harganya, dari penelitian tersebut tidak diketahui seberapa tebal lapisan yang dilakukan untuk menghasilkan daya rekat sebesar itu. Dengan mempertimbangkan berbagai hal, seperti peralatan yang tidak terlalu mahal, bahan implan, serbuk untuk pelapisan, teknik yang digunakan, dan masih jaranganya penelitian yang menggunakan metode *thermal barrier coating* di Indonesia. Maka peneliti melakukan penelitian tentang karakteristik dan sifat mekanik implan titanium (Ti6Al4V) untuk tulang mandibula menggunakan proses *flame spray welding* metode *thermal barrier coating* dengan bahan pelapis *hydroxyapatite*.

Pada penelitian yang sudah dilakukan, untuk metode thermal spray untuk proses pelapisan pada baja AISI 4140 dengan serbuk lapisan

paduan antara FeCrBMnSi dan Ni-Al penggunaan tekanan gas pada 6 bar menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan variabel tekanan dibawahnya (Putu Ditha Pratama, 2017). Berdasarkan hasil tersebut penulis menggunakan variabel tekanan 4 bar, 5 bar dan 6 bar pada penelitian ini dengan metode lain yaitu *flame spray* pada material titanium dan serbuk lapisan *hydroxyapatite*. Dengan referensi sebelumnya diharapkan mendapatkan variabel tekanan oksigen yang tepat. Sehingga menghasilkan hasil pelapisan yang optimal dengan pelapisan *hydroxyapatite* ini. Dengan hasil pelapisan yang baik diharapkan dapat menciptakan implan titanium yang dapat mengurangi rasa ngilu dan efek samping lain yang ditimbulkan oleh implan titanium tanpa pelapisan.

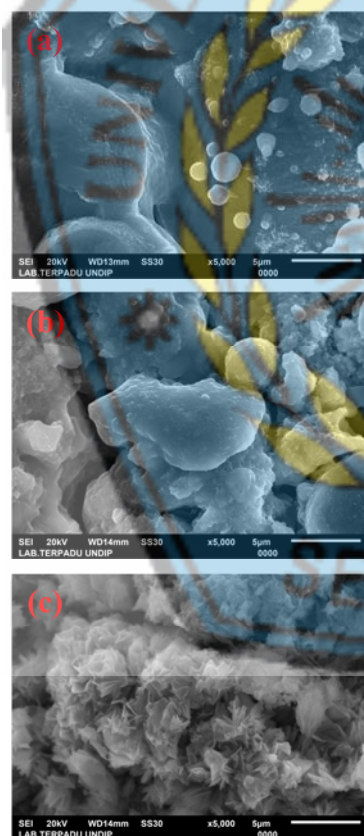
II. METODE PENELITIAN



III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. UJI SEM

Pengujian *scanning electron microscope* (SEM) untuk mengetahui struktur morfologi dari lapisan *hydroxyapatite* pada titanium. Hasil dari titanium yang dilapisi dengan *hydroxyapatite* dipilih bagian yang merata penuh dan dipotong dengan ukuran maximum 8 x 8 mm. Dilakukan pemotongan dengan ukuran ini dimaksudkan untuk menyesuaikan dengan peralatan uji *scanning electron microscope* agar dapat dilakukan pengambilan data. Pengujian *scanning electron microscope* dilakukan dengan menggunakan tiga spesimen antara lain, variabel tekanan oksigen 4 bar, 5 bar dan 6 bar, seperti dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 2 Hasil Uji SEM (a) 4 bar, (b) 5 bar, (c) 6 bar

Penyebab porositas pada *thermal spray* menurut Irawan, (2016) terdapat oksigen yang terjebak pada lapisan coating dikarenakan jarak spray yang terlalu jauh

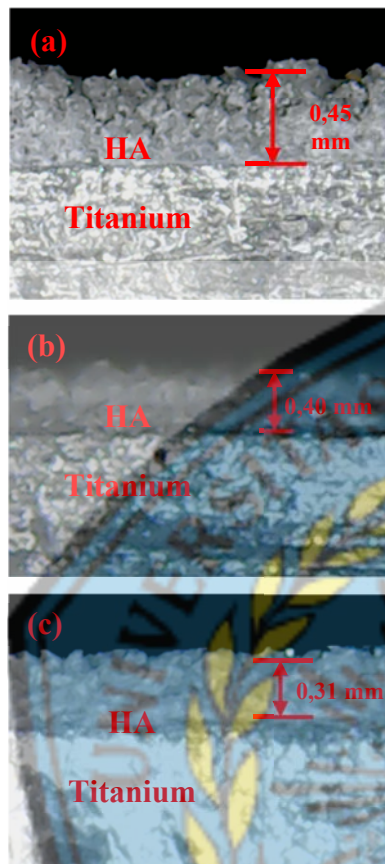
menyebabkan oksida terbentuk prematur sebelum ke substrate menyebabkan material coating unmelt yang cenderung diikuti dengan adanya porositas, dan juga dikarenakan terdapat kotoran pada permukaan substrat sebelum di coating. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Daengmol (2006) diketahui jarak *nozzle* dan tekanan gas memberikan pengaruh terhadap ukuran *splat*. Semakin besar jarak *nozzle* dan tingginya tekanan gas memperkecil ukuran *splat*.

Berdasarkan Fitrianova, (2014) dengan meningkatnya tekanan gas mengurangi porositas, hal ini dikarenakan dengan meningkatnya tekanan gas akan mempercepat kecepatan lelehan partikel yang lebih kecil ke substrat. Diketahui setiap kenaikan variasi tekanan gas akan mengurangi luas area yang mengalami porositas yang ini disebabkan karena meningkatnya tekanan gas yang digunakan mempercepat kecepatan *impact* dari lelehan partikelnya yang lebih kecil ke permukaan substrat. Sehingga peningkatan tekanan gas akan memperkecil ukuran *splat* dan membuat partikel coating yang disemprotkan melebur secara sempurna, dengan berkurangnya ukuran rongga, maka porositas pada lapisan coating menurun dengan ditandai makin halusya lapisan coating (Wang, 1999). Sehingga dari ketiga variabel tersebut, untuk hasil pengujian *Scanned Electron Microscope* variabel tekanan oksigen 6 bar memiliki hasil yang paling baik dibandingkan variabel tekanan oksigen 4 bar dan tekanan oksigen 5 bar.

B. UJI STRUKTUR MAKRO

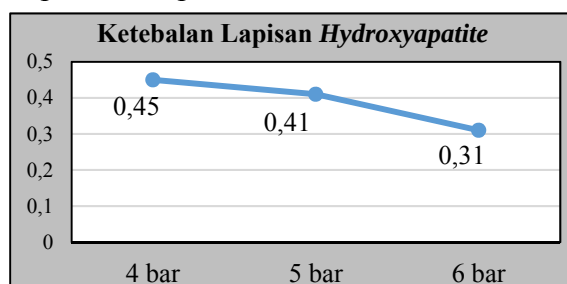
Pengujian dengan menggunakan mikroskop makro dimaksudkan untuk melihat struktur makro antar muka apakah terjadi difusi atau tidak hasil dari pelapisan yang dilakukan. Pengujian dilakukan pada hasil pemotongan melintang spesimen sehingga dapat dilihat substrat dan

lapisannya dengan pembesaran 50 kali. Selain untuk melihat antar muka, pengujian ini untuk melihat ketebalan dari pelapisan yang dilakukan pada ketiga spesimen, dapat dilihat pada **Gambar 3** berikut.



Gambar 3 Hasil Uji Struktur Makro (a) 4 bar, (b) 5 bar, (c) 6 bar

Dari ketiga variabel tersebut, untuk hasil pengujian struktur makro variabel tekanan oksigen 6 bar memiliki hasil yang paling baik dibandingkan variabel tekanan oksigen 4 bar dan tekanan oksigen 5 bar, tetapi untuk ketebalan dari lapisan *hydroxyapatite* yang dihasilkan lebih kecil, dapat dilihat pada **Gambar 4** berikut.



Gambar 4 Grafik Ketebalan Lapisan *Hydroxyapatite*

Dari hasil **Gambar 4** dengan variasi tekanan oksigen dari 3 bar hingga 6 bar. Didapat hasil penurunan ketebalan *coating*. Pada variasi tekanan 3 bar dengan tebal 0,45 mm, 4 bar 0,41 mm, dan 6 bar 0,31 mm. Dari hasil pengukuran ketebalan *coating*, ketebalan *coating* pada pengujian ini masih termasuk di dalam ketebalan dengan menggunakan metode *thermal spray* yaitu berkisaran di antara 100 – 1000 μm (Pawlowski, 2008). Peningkatan tekanan gas meningkatkan kecepatan *droplet* sehingga memperbanyak jumlah *droplet* yang mencapai *substrat* (Daengmol, 2006). Menurut Wang, (1999) semakin tinggi tekanan maka partikel *coating* akan melebur secara sempurna dan rongga yang terbentuk antar partikel menjadi sedikit. Peningkatan tekanan gas dengan memperkecil ukuran splat dan membuat partikel *coating* yang disemprotkan melebur secara sempurna, dengan berkurangnya ukuran rongga, maka porositas pada lapisan *coating* menurun dengan ditandai makin halusya lapisan *coating*.

Dengan berkurangnya porositas pada lapisan *coating* maka ukuran *coating* akan semakin menipis dikarenakan sedikit terdapat rongga pada lapisan *coating* yang menyebabkan lapisan *coating* semakin padat. Selain itu dengan adanya tekanan yang lebih besar akan menekan lapisan *coating* sehingga lapisan *coating* semakin padat. Dengan peningkatan tekanan gas mempengaruhi morfologi pada lapisan *coating* yang semakin halus, semakin halusya morfologi disebabkan karena porositas pada lapisan *coating* menurun yang menyebabkan peurunan lapisan *coating*.

C. UJI KEREKATAN

Pengujian kerekatan menggunakan standar ASTM D 3395-09, dilakukan pengujian kerekatan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan lapisan

hydroxyapatite menempel pada permukaan titanium. Pengujian kerekatan dilakukan pada 3 spesimen, variabel tekanan oksigen 4 bar dengan ketebalan lapisan 0,45 mm, tekanan oksigen 5 bar dengan ketebalan lapisan 0,41 mm dan tekanan oksigen 6 bar dengan ketebalan lapisan 0,31 mm. Hasil dari uji kerekatannya seperti pada **Gambar 5** berikut.



Gambar 5 Hasil Uji Kerekatan (a) 4 bar, (b) 5 bar, (c) 6 bar

Untuk pengujian kerekatan pada spesimen dengan variabel tekanan oksigen 4 bar, tekanan oksigen 5 bar dan tekanan oksigen 6 bar didapatkan hasil pada **Tabel 1**. Untuk nilai rating dan presentasinya berdasarkan standar ASTM D 3395-09 mengenai uji kerekatan.

Tabel 1 Hasil Pengujian Kerekatan

Variabel		Spesimen		
		1	2	3
Tekanan oksigen 4 bar	Rating	2B	2B	2B
	Presentase	15%	20%	15%
Tekanan oksigen 5 bar	Rating	3B	3B	3B
	Presentase	8%	7%	6%
Tekanan oksigen 6 bar	Rating	4B	4B	4B
	Presentase	5%	4%	5%

Setiap peningkatan variasi tekanan terjadi kenaikan daya rekat dimana pada tekanan oksigen 3 bar memiliki rating 2B, 4 bar memiliki rating 3B, dan 6 bar memiliki rating 4B. Peningkatan ini dikarenakan karena pengaruh hasil morfologi dari setiap kenaikan variasi tekanan oksigen semakin halus, dengan ditandai dengan berkurangnya porositas. Setiap variasi kenaikan tekanan gas akan mengurangi jumlah *grey lamellar* (oksida) yang ada pada lapisan *coating*. Menurut Davis, (2004) oksida terbentuk dipengaruhi oleh kecepatan *splat* ke *substrat*. Semakin lama *splat* berada pada *dwel times* (ruang terbuka antara sumber panas *gun coating* dengan *substrat*) akan meningkatkan terbentuknya oksida pada lapisan *coating*. Kecepatan *splat* ditingkatkan dengan cara meningkatkan tekanan pada *gun coating*. Jadi peningkatan tekanan oksigen akan meningkatkan kecepatan *splat* dan mengurangi terbentuknya oksida pada lapisan *coating*.

Menurut Davis, (2014) oksida yang terdapat lapisan *coating* mempengaruhi daya lekat pada lapisan *coating*, semakin banyak oksida yang terbentuk mengurangi daya lekat dari lapisan *coating*. Dari ketiga variabel tersebut, variabel tekanan oksigen 6 bar memiliki ketebalan lapisan yang paling kecil akan tetapi untuk hasil pengujian kerekatan variabel tekanan oksigen 6 bar memiliki hasil yang paling baik dibandingkan variabel tekanan oksigen 4 bar

dan tekanan oksigen 5 bar, yaitu dengan hasil rating 4B dan presentase 5%.

D. UJI KONDUKTIVITAS PANAS

Pengujian konduktivitas *thermal* ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai dari konduktivitas *thermal* bahan dari *hydroxyapatite*. Untuk nilai laju konduksi dapat dilakukan perhitungan dengan pendekatan perhitungan konduksi pada dinding komposit. Pengujian konduktivitas *thermal* ini menggunakan standar ASTM C 177-1997 menggunakan *less method*. Dimana data yang diperoleh perbedaan suhu bagian atas yang dilapisi dengan bagian bawah yang tidak dilapisi, waktu yang ditentukan 20 *second*. Proses pengujian konduktivitas *thermal* dengan cara pemanasan spesimen tersebut, dan tiap sisi dilakukan pengukuran suhu menggunakan alat ukur suhu (*thermocouple* atau *thermo gun*). Dari pengujian didapat nilai temperatur T_1 pada dinding yang dipanaskan secara langsung, T_2 dinding antara logam dan lapisan, dan T_3 yaitu dinding terluar dari lapisan.

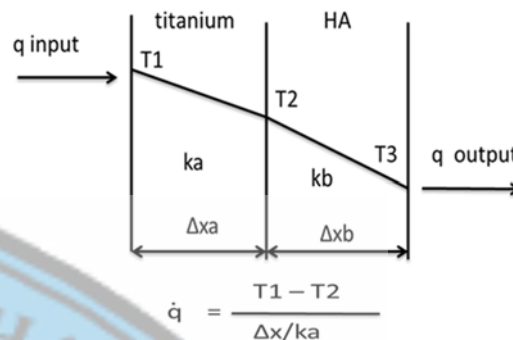
Dari hasil pengujian konduktivitas *thermal*, didapat data temperatur pada **Tabel 2** berikut,

Tabel 2 Data Temperatur Hasil Pengujian Konduktivitas Thermal

VARIABEL	PENGUJIAN	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)
4	I	110,5	106,4	96,7
	II	122,2	118,4	109,2
	III	131,2	128,2	118,4
5	I	110,2	105,8	95,2
	II	121,8	118,4	109,2
	III	131,2	127,8	119,6
6	I	110,4	106,2	97,8
	II	122	117,8	110,2
	III	131,6	128,4	121,6

Dari data temperatur diatas dilakukan perhitungan konduksi pada dinding komposit untuk memperoleh nilai dari konduktivitas *thermal* dari *hydroxyapatite*.

Untuk pengujian konduktivitas *thermal* pada spesimen dengan variabel tekanan oksigen didapat data temperatur, kemudian dilakukan perhitungan dengan metode konduksi pada dinding komposit, seperti pada **Gambar 7** berikut.



Gambar 7 Metode Konduksi Pada Dinding Komposit

Dengan perhitungan tersebut didapat nilai laju konduksi tiap spesimen dan nilai konduktivitas *thermal* dari dari *hydroxyapatite*. Laju konduksi dipengaruhi oleh nilai konduktivitas *thermal* bahan, perbedaan temperatur dan ketebalan material. Semakin besar beda temperatur akan meningkatkan laju konduksi, sedangkan semakin besar ketebalan material akan menurunkan laju konduksi (Lienhard, 2008). Dengan pemberian lapisan *hydroxyapatite* pada logam titanium dapat mengurangi besarnya temperatur yang diterima oleh logam titanium seperti pada data temperatur **Tabel 2**. Hal ini dipengaruhi oleh nilai konduktivitas *thermal* dari *hydroxyapatite* yang kecil, sehingga menyebabkan nilai laju konduksi pada lapisan *coating hydroxyapatite* menjadi kecil juga (Lienhard, 2008). Dengan kemampuan menahan panas yang cukup baik ini, maka *hydroxyapatite* sesuai sebagai bahan pelapis untuk material fiksasi internal.

Untuk konduktivitas *thermal* dari *hydroxyapatite* didapat nilai rata – rata untuk konduktivitas *thermal* dari *hydroxyapatite* yaitu sebesar, $k_{HA} = 0,7739 \text{ W/mK} = 0,18496 \text{ cal/msK}$. Dan nilai rata – rata untuk tahanan

thermal dari dari *hydroxyapatite* yaitu sebesar, $R_{HA} = 0,0005 \text{ m}^2\text{K/W} = 0,0021 \text{ m}^2\text{sK/cal}$.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada sample benda uji proses thermal barrier coating dengan variabel tekanan oksigen, didapat,

1. Peningkatan tekanan oksigen menghasilkan struktur morfologi yang lebih baik, porositas dan ikatan butiran yang didapat lebih homogen pada proses thermal barrier coating dengan tekanan 6 bar.
2. Tekanan oksigen 6 bar menghasilkan ketebalan lebih rendah yaitu 0,31 mm, akan tetapi difusi antara lapisan dan *substrat* lebih baik.
3. Pada pengujian *adhesive*, peningkatan tekanan oksigen menghasilkan kekuatan rekat yang lebih baik, nilai rating 4B dan kerusakan lapisan sekitar 5% pada tekanan 6 bar.
4. Hasil pengujian konduktivitas thermal didapat nilai konduktivitas thermal dari *hydroxyapatite* yaitu sebesar, $k_{HA} = 0,7739 \text{ W/mK} = 0,18496 \text{ cal/msK}$.

V. DAFTAR PUSTAKA

- (1) ASTM C 177 – 1997 Standart Uji Konduktifitas *Thermal*
- (2) ASTM D 3359 – 02 *Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test*
- (3) ASTM F 1372 – 93 (Reapproved 2005) *Standard Test Method for Scanning Electron Microscope (SEM) Analysis of Metallic Surface Condition for Gas Distribution System Components*
- (4) Pratama, Putu Ditha. 2017. “Pengaruh Tekanan Gas Terhadap Sifat Mekanik Dan Morfologi Lapisan Coating Pencampuran *Fecrbmnsi* Dan Ni-Al Pada Baja Aisi 4140 Dengan Metode

Twin Wire Arc Spray”. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November.

- (5) Larasati, Fitrianova dan Yuli Setiyorini. 2013. “Pengaruh Jarak Nozzle Dan Tekanan Gas Pada Proses Pelapisan Ni-20cr Dengan Metode Wire Arc Spray Terhadap Ketahanan Thermal”. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November.
- (6) Lienhard IV, John N. and John N. Lienhard V. 2008. ” *A Heat Transfer Textbook*”. USA. Philogiston Press.
- (7) Pawlowski, L. 2008. “*The Science And Engineering Of Thermal Spray Coatings*”. France. Willey.
- (8) Daengmool, Reungruthai, Sitichai Wirijanupathum, Sukanda J., Apicat Sopadang.. *Effect of Spray Parameter on Stainless Steel Arc Sprayed Coating*. MP03 (2006).
- (9) Davis, J.R. 2004. *Handbook of Thermal Spray Processing*. ASM International and the Thermal Spray Society
- (10) Wang, X., Heberlein, J., Pfender, E., Gerberich, W., *Effect of Nozzle Configuration, Gas Pressure, and Gas Type on Coating Properties in Wire Arc Spray*, JTTEE5 8:565-575 (1999)