

PENGARUH JUMLAH LAPISAN TBC DARI MATERIAL HA PADA FIKSASI INTERNAL *PLATE* TITANIUM (Ti-6Al-4V) TERHADAP KARAKTERISTIK DAN SIFAT

AGUNG PUJIYONO

Fakultas Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Semarang

e-mail : agungadacihara@gmail.com

ABSTRAK

Patah tulang femur (fraktur femur), teknik yang digunakan untuk penyambungan sebagai implan menggunakan titanium. Kekurangan titanium adalah ketika suhu dingin akan terasa ngilu. Salah satu cara yang sekarang ini banyak diteliti adalah dengan cara pelapisan. Teknik pelapisan dengan metode *thermal barrier coating* banyak digunakan didunia penerbangan khususnya untuk pembuatan turbin. Pada penelitian ini, *hydroxyapatite* telah berhasil dilapiskan pada permukaan substrat titanium menggunakan metode *thermal barrier coating* dengan alat *flame spray*. Untuk melihat karakteristik dan sifat mekanik dilakukan pengujian Scanning elctron microscope (SEM) untuk melihat struktur permukaan lapisan, struktur makro untuk melihat penampang samping, uji kerekatan untuk mengetahui tingkat kerekatan lapisan dan uji konduktifitas thermal untuk mengetahui sejauh mana lapisan mampu menahan suhu. Hasil pengujian menunjukkan pelapisan dengan ketebalan 0,47 mm mempunyai struktur mikro yang bagus, difusi secara merata, tingkat kerekatan yang bagus dan konduktifitas thermal rendah serta mampu menahan panas cukup baik. Nilai resistant thermal yang dihasilkan sebesar 9,54 K/w.

Kata kunci : Fraktur, Femur, hydroxyapatite, Flame Spray, coating.

1. PENDAHULUAN

World Health Organization (WHO) mencatat pada tahun 2011-2012 terdapat 5,6 juta orang meninggal dunia dan 1,3 juta orang menderita *fraktur* akibat kecelakaan lalu lintas (WHO, 2011). Penyebab terbanyak *fraktur* adalah kecelakaan, baik itu kecelakaan kerja, kecelakaan lalu lintas dan sebagainya. Tetapi *fraktur* juga bisa terjadi akibat faktor lain seperti proses degeneratif dan patologi (Depkes RI, 2005). Tulang *femur* yang retak untuk pemulihan diperlukan perangkat stabilisasi berupa fiksasi internal plate dan sekrup (Alisdair dkk, 2012). Fungsi utama *fiksasi internal* untuk mempertahankan pengurangan fraktur selama penyembuhan tulang (Gaston dan Simpson, 2007). Material yang digunakan untuk fiksasi internal menggunakan material biokompatibel yang *rigid*, seperti stainless steel, kobalt kromium, titanium dan material komposit (Ali, 1990, Saidpour, 2006). 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).

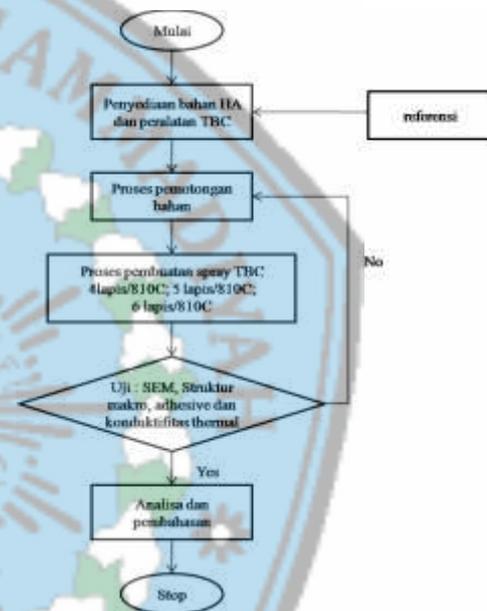
Teknik pelapisan pada titanium implan (Ti-6Al-4V) yang saat ini digunakan ada berbagai macam teknik. Teknik pelapisan dengan menggunakan pelapis *hydroxyapatite* ada berbagai cara seperti teknik pelapisan yang dilakukan oleh Jie Weng dan kawan – kawan (2001) menggunakan *plasma spray* dengan serbuk Ca-P, hasilnya partikel – partikel Ca-P yang tadinya individual dapat menyatu antar partikel Ca-P dan partikel yang disemprot dengan *plasma* meningkatkan formasi *apatite*, namun tidak diketahui berapa ketebalan lapisan yang digunakan. Teknik *thermal barrier coating* menggunakan *plasma spray*, teknik ini mempunyai kelebihan hasil pelapisan yang

bagus dan teknik pelapisan paling banyak digunakan di dunia industri (raftquality.blogspot.co.id thermal spray diakses pada 15 Juli 2017). Menggunakan alat *plasma spray* ini mempunyai kelemahan dari segi harga sangat mahal, harus menggunakan berbagai macam gas seperti asitelin, oksigen dan nitrogen. Teknik metode *hydrothermal*, seperti yang dilakukan oleh A. Vanaleshad dan teman – teman pada tahun (2010), teknik ini cukup mahal, hasil pelapisannya mempunyai daya rekat lebih dari 2.9 Mpa dengan *zinc phosphate* yang paling sukses diantara yang lain namun dari penelitian ini tidak diketahui berapa ketebalan lapisan yang digunakan untuk memperoleh hasil kerekatan tersebut. Teknik *dip coating* yang dilakukan Bora dan cuneyt (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 jarangnyanya penelitian yang menggunakan metode *thermal barrier coating* di Indonesia. Maka peneliti melakukan penelitian tentang karakteristik dan sifat mekanik implan titanium (Ti-6Al-4V) untuk tulang femur menggunakan metode *thermal barrier coating* dengan bahan pelapis *hydroxyapatite*. Melakukan penelitian ini dimaksudkan untuk dapat mengetahui tahapan pelapisan dengan *flame spray*, dapat memperoleh ketebalan lapisan yang tepat.

2. METODE PENELITIAN

Hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, HA) merupakan *biomaterial* anorganik penting yang menarik perhatian peneliti terkait bidang *biomaterial* dalam beberapa tahun terakhir, karena kesamaan kimia dan struktural dengan fase mineral tulang dan gigi, *hydroxyapatite* secara luas digunakan untuk memperbaiki jaringan keras, akibatnya

fosfat anorganik ini telah dipelajari secara ekstensif untuk aplikasi berupa serbuk, komposit atau bahan pelapis (Weng, 2000). Penelitian ini menggunakan metode *thermal barrier coating* dengan alat *flame spray*. Plat titanium (Ti-6Al-4V) dengan ukuran 3 mm x 4 mm x 1,44 mm dan material HA dengan ukuran 30 μm . Tahap pertama plat dilakukan abrasi dengan silica carbida (SiC) dengan grid 600, selanjutnya dicuci dengan aquades. Alat flame dirangkai, tekanan oksigen diatur pada 5 bar dan tekanan asitelin diatur pada 0,4 bar.

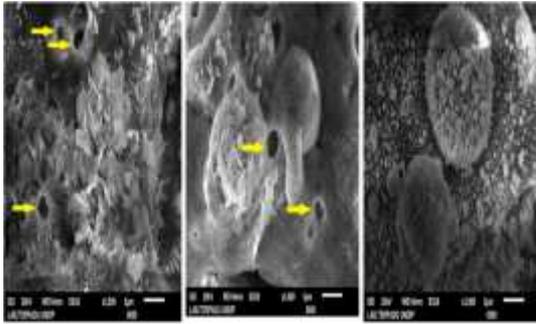


Gambar 1. Alur Penelitian

Tahap awal pelapisan, plat titanium dipanaskan dengan suhu $810^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$. Selanjutnya dilakukan spray HA pada plat titanium, dengan variabel pelapisan sebanyak 4 kali pelapisan, 5 kali pelapisan dan 6 kali pelapisan. Setelah pelapisan selesai, untuk menganalisa data dilakukan uji SEM, struktur makro, uji kerekatan dan uji konduktifitas thermal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

HA yang di *coating* pada plat titanium, setelah proses pelapisan dilakukan uji SEM untuk melihat struktur mikro dari *hydroxyapatite*. Hasil pengujian dari ketiga spesimen terlihat pada **Gambar 2**.

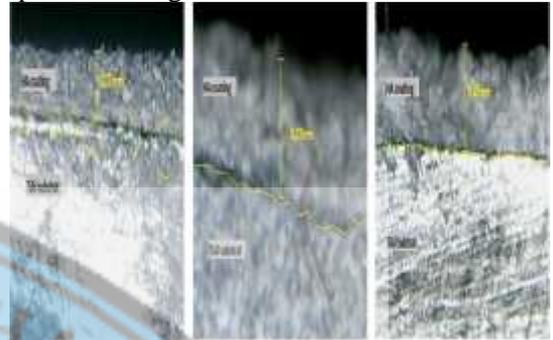


Gambar 2. Hasil uji SEM 3000x spesimen pertama, kedua dan ketiga

Selama proses penyemprotan serbuk yang berukuran kecil benar – benar meleleh dan sedangkan yang berukuran besar tidak meleleh secara merata sehingga bentuknya tidak beraturan (Tong, 1996). Lapisan yang meleleh membentuk fasa kaca saat pendinginan cepat (Chen et al, 2005). Pada hasil uji *scanning electron microscope* seperti yang ditunjukkan pada pelapisan dengan 4 kali pelapisan dan 5 kali terjadi bentuk yang tidak beraturan dan berongga, hal ini disebabkan pelapisan proses penyemprotan serbuk yang disemprotkan tidak meleleh atau melebur secara sempurna hal ini diakibatkan pada saat serbuk keluar dari *flame spray* terjadi perbedaan ukuran yang diakibatkan dari serbuk yang menggumpal antara partikel satu dengan yang lain. Sementara pada pelapisan dengan 6 kali pelapisan serbuk dapat meleleh dengan sempurna, hal ini disebabkan serbuk yang keluar dari *flame spray* tidak ada yang menggumpal sehingga serbuk dapat meleleh dengan sempurna, hasilnya bentuk dari hasil lapisan berbentuk beraturan dan tanpa ada rongga.

Persyaratan lapisan yang berfungsi sebagai lapisan proteksi adalah homogen, daya lekat tinggi, tidak ada kerusakan mikro maupun makro baik yang berupa retak atau terkelupas, akibat retak mikro maupun makro oksigen akan masuk kedalam lapisan (Jones, 1992). Selain dari ukuran serbuk yang tidak sama yang mengakibatkan hasil lapisan yang berongga, kerusakan secara mikro yang tidak dapat dilihat dengan mata juga berakibat oksigen dapat masuk kedalam lapisan sehingga lapisan yang dihasilkan berongga.

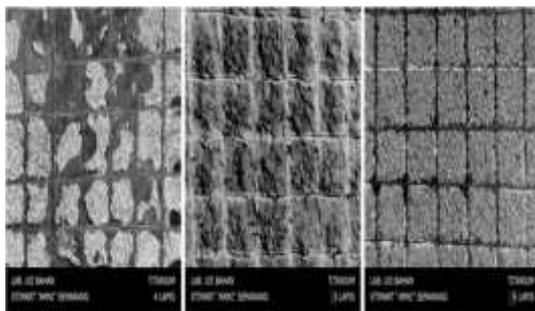
Hasil uji struktur makro dari ketiga spesimen terlihat pada **Gambar 3**. Dengan ketebalan lapisan pada spesimen pertama 0,17 mm, spesimen kedua 0,27 mm dan spesimen ketiga 0,47 mm.



Gambar 3. Hasil Uji Ketiga Spesimen Pembesaran 50x

Pelapisan menghasilkan pencapaian adhesi yang baik apabila pelapis masuk ke substrat (Chen dkk, 2005). Kestabilan termo mekanik lapisan protektif yang digunakan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ketebalan lapisan pertumbuhan tekanan (*scale growth stress*) dan pembentukan void disepanjang interface *TGO bond coat* (haynes, 1998). Dengan ketebalan yang berbeda – beda pada pelapisan dengan 6 kali pelapisan mempunyai ketebalan yang paling besar. Pada spesimen ketiga dan kedua difusi merata. Penyebabnya pada saat proses penyemprotan yang pertama ukuran serbuk dapat meleleh dengan baik dan masuk ke dalam *substrat*, hasilnya terjadi difusi secara merata. Serbuk yang meleleh dan masuk ke dalam *substrat* membentuk difusi lapisan untuk mengikat pelapis dengan *substrat*. Pada ketiga spesimen tidak terjadi void – void dalam substrat hal ini ditunjukkan pada gambar ketiga spesimen diatas hanya terjadi difusi lapisan dengan kedalaman yang tidak terlalu besar. Terjadi void apabila serbuk *hydroxyapatite* masuk kedalam titanium denagan bentuk bintik – bintik.

Hasil Uji kerekatan dari ketiga spesimen ditunjukkan pada **Gambar 4**, **Tabel 1**, **Tabel 2** dan **Tabel 3**.



Gambar 4. Hasil uji kerekatan spesimen pertama, kedua dan ketiga

Tabel 1. Hasil Uji *Adhesive* Spesimen Pertama

Spesimen	Hasil	Hasil	Hasil
	Uji 1	Uji 2	Uji 3
4 kali pelapisan	1B	1B	1B
Prosentase	63%	65%	65%

Tabel 2. Hasil Uji *Adhesive* Spesimen Kedua

Spesimen	Hasil	Hasil	Hasil
	Uji 1	Uji 2	Uji 3
5 kali pelapisan	2B	2B	2B
Prosentase	15%	30%	20%

Tabel 2. Hasil Uji *Adhesive* Spesimen Ketiga

Spesimen	Hasil	Hasil	Hasil
	Uji 1	Uji 2	Uji 3
6 kali pelapisan	4B	4B	4B
Prosentase	5%	4%	5%

Dari hasil uji ketiga spesimen dapat dianalisa, pelapis dengan 6 kali lapisan mempunyai adhesive yang paling bagus dibandingkan dengan spesimen 4 kali lapisan dan 6 kali lapisan. Penyebabnya adalah berdasarkan pengujian *scanning electron microscope*, pada spesimen ketiga dengan 6 kali pelapisan partikel serbuk dapat meleleh dengan baik serta hasilnya seragam tanpa ada kerusakan baik mikro maupun makro ketimbang spesimen yang lainnya. Selama proses penyemprotan serbuk yang berukuran kecil

benar – benar meleleh dan sedangkan yang berukuran besar tidak meleleh secara merata sehingga bentuknya tidak beraturan (Tong, 1996).

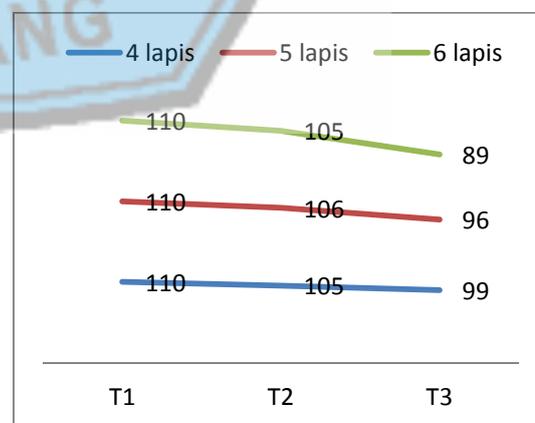
Dengan melelehnya serbuk dengan baik seperti pada spesimen dengan 6 kali pelapisan, pelapis *hydroxyapatite* dapat masuk kedalam substrat secara merata dan hasilnya mempunyai adhesi yang baik dibandingkan dengan spesimen yang lain. Pelapisan menghasilkan pencapaian adhesi yang baik apabila pelapis masuk ke substrat (Chen dkk, 2005).

Hasil uji konduktifitas thermal dari ketiga spesimen hasil *coating* ditunjukkan pada **Gambar 5** dan **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil uji konduktifitas thermal

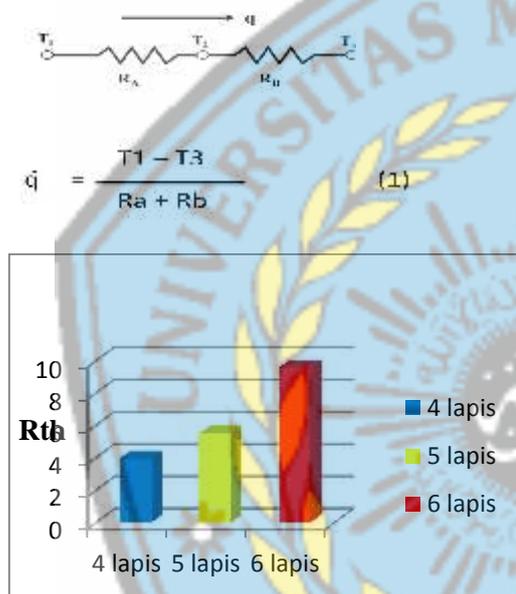
	T1	T2	T3	time
tanpa lapisan	110	106		20
4 lapis	110	105	99	20
5 lapis	110	106	96	20
6 lapis	110	105	89	20

Berdasarkan penghitungan untuk mencari konduktifitas *thermal* dari berbagai ketebalan lapisan diperoleh nilai $kb_1 = 1,723$ w/m.K, $kb_2 = 1,642$ w/m.K dan $kb_3 = 1,786$ w/m.K sehingga dapat dirata – rata nilai dari kb *hydroxyapatite* adalah $1,717$ w/m.K. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengembangan sistem *thermal barrier coating* salah satunya adalah lapisan *thermal barrier coating* secara *thermal* harus mempunyai konduktifitas panas yang rendah (Sudiro dkk, 2007).



Gambar 5. Grafik penurunan suhu

Semakin pendek sampel uji semakin besar konduktifitas panasnya, perbedaan suhu terlihat dimana bagian atas sample suhunya lebih rendah dibanding bagian bawah karena bagian bawah langsung menerima panas dari kompor (Mirdyanto et al, 2000). Analisa dari hasil uji konduktifitas panas adalah semakin tebal lapisan yang menempel pada permukaan spesimen maka penurunan suhunya juga semakin besar. **Gambar 6.** adalah grafik resistant thermal. Untuk menghitung resistant thermal menggunakan rumus laju perpindahan panas.



Gambar 6. Grafik resistant thermal

Berdasarkan rumus tersebut resistant yang terjadi pada titanium dan hydroxyapatite dijumlahkan karena tersusun seri. Dari penghitungan tersebut diperoleh resistant pada spesimen pertama 3,95047 K/w, spesimen kedua 5,49147 K/w dan spesimen ketiga 9,54689 K/w. **Gambar 4.17** adalah grafik resistant thermal yang terbentuk. Semakin besar volume partikel semakin besar resistant yang ditimbulkan karena volume ini menghalangi panas yang masuk ke material (Pringgo, 2014). Berdasarkan data tabel dan hitungan resistant dapat dianalisa bahwa semakin tebal lapisan yang terbentuk semakin besar juga *resistant* yang

ditimbulkan untuk menghalangi panas yang masuk ke *substrat*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari ketiga spesimen yang telah diteliti, pelapisan menggunakan *hydroxyapatite* dengan 6 kali pelapisan dengan ketebalan pelapis 470 μ m mempunyai struktur mikro yang paling bagus, tingkat kerekatan yang paling bagus (kategori 4B), dan terjadi difusi permukaan secara merata.
2. Dari ketiga spesimen yang telah diteliti, pelapis menggunakan *hydroxyapatite* dengan 6 kali pelapisan dengan ketebalan pelapis 470 μ m mampu menurunkan panas yang diterima oleh substrat dan paling signifikan dan resistant untuk menghalangi panas yang masuk ke substrat yang paling besar.

Berdasarkan penelitian pelapisan hydroxyapatite pada permukaan titanium yang telah dilakukan, saran untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut :

1. Perhatikan ukuran butir serbuk untuk alat *flame spray* hanya compatible dengan serbuk ukuran micron, usahakan serbuk *hydroxyapatite* tidak ada yang menggumpal atau lakukan penyaringan dengan penyaring yang bagus sehingga ketika serbuk disemprotkan dengan *flame spray* dapat meleleh dengan sempurna.
2. Sebaiknya untuk melakukan pelapisan permukaan titanium dilakukan dengan ketebalan minimum 0,27mm atau semakin tebal lebih bagus seperti pada spesimen ketiga dengan ketebalan 0,47mm karena semakin tebal lapisan semakin bagus untuk menahan suhu yang akan diterima oleh substrat.

5. REFERENSI

1. Depkes RI tahun 2005. Infodatin-kesja.pdf. Diakses pada 20 Juni 2017. <http://www.depkes.go.id/resources/download/pusdatin/>
2. Alisdair R. Mac Leod, Pankaj Pankaj, Hamish A., Simpson R.W., 2012, Does

- Screwbone interface modeling matter in finite element analyses, *Journal of Biomechanics*, vol. 45, pp. 1712-1716.
3. Gaston M.S., Simpson A.H.R.W., 2007, *Inhibition of fracture healing*, *The Journal of Bone and Joint Surgery, British* vol. 89-B, pp. 1553-1560.
 4. Ali M.S., French T.A., Hastings G.W., Rae T., Rushton N., Ross E.R., et al, 1990 "Carbon fiber composite bone plate. Development, evaluation and early clinical experience", *Journal of Bone and Joint Surgery*, vol.72,pp. 586-591.
 5. dr Eunike Kiki M Sitompul. Efek Titanium Ditulang Femur. Diakses pada 20 Juni 2017. www.alodokter.com.
 6. Weng Jie, Wang Min, Chen Jiyong, 2001, *Plasma-sprayed calcium phosphate particles with high bioactivity and their use in bioactive scaffolds*, *Biomaterial* ;23: 2623-2629.
 7. Valanezhad. A, Tsuru. K, Maruta. M, Kawachi. G, Matsuya. S, Ishikawa. K, 2010, "Novel Ceramic Coating on Titanium with High Mechanical Properties", *Bioceramics Development and Applications*, Vol. 1, Article ID D110124.
 8. Bora Mavis and A. Cüneyt Tas, 2000, *Dip Coating of Calcium Hydroxyapatite on Ti-6Al-4V Substrates*, *J. Am. Ceram. Soc.*, 83, 989–91.
 9. W. Weng, G. Shen, G. Han, 2000, "Low temperature preparation of hydroxyapatite coatings on titanium alloy by a sol-gel route", *Materials Science Letters*, Vol. 19, pp.2187- 2188.
 10. Tong W, Chen J, Li X, Cao Y, Yang Z, Feng J, Zhang X. 1996. "Effect of particle size on molten states of starting powder and degradation of the relevant plasma-sprayed hydroxyapatite coatings". *Biomaterials*;17:1507–1513.
 11. Chun-Cheng Chen, Tsui-Hsien Huang, Chia-Tze Kao, Shinn-Jyh Ding. *Characterization of Functionally Graded Hydroxyapatite/Titanium Composite Coatings Plasma-Sprayed on Ti Alloys*. Published online 16 November 2005 in Wiley InterScience (www.interscience.com). DOI : 10.1002/jbm.b.30465.
 12. Denny A, Jones. 1992. *Principle and prevention of Corrosion*. Macmillan Publishing Company. USA.
 13. Haynes J. A., dkk., "Effect of Platinum Additions and Sulfur Impurities on the Microstructure and Scale Adhesion Behavior of Single-Phase CVD Aluminide Bond Coatings", In Press : *Elevated Temperature Coatings: Science and Technology III*, Ed. J. M. Hampikian (TMS, Warrendale, PA, 1998).
 14. Sudiro, Toto. Tetuko, Anggito P. Kusnandar. Izzudin, Hubby. Thozin, K A Z. 2007. *Pelapisan Thermal Barrier Coating (TBC) NiAl pada Paduan Logam Berbasis Co*. *Journal fisika dan aplikasinya*, Volume 3, Nomor 2.
 15. Mirdyanto, Bogiva. Nailazzulfa, Kunti. Abdillah, Setiawan. Narsisca, Yovanita. 2000. *Uji Konduktifitas Thermal Semen Putih*. Laporan Resmi Laboratorium Bahan.