



## Analisis Komparatif Pengaruh Pelapisan HVOF 86WC-10Co-4Cr dan 73WC-20Cr-7Ni Terhadap Ketahanan Abrasi Baja ASTM CA6NM Pada PLTM Karai 7

Maydiva Thessalonica Virginie dan Anthon de Fretes

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik IndoNesia Atma Jaya

E-mail: [maydivav@gmail.com](mailto:maydivav@gmail.com)

### ABSTRAK

Erosi menjadi salah satu masalah yang dihadapi pada *runner* turbin pembangkit listrik tenaga air. Dalam kondisi dimana bangunan sudah berdiri, metode yang dapat digunakan untuk mengurangi erosi adalah dengan mengaplikasikan *coating* pada permukaan *runner* untuk meningkatkan kekerasannya sehingga ketahanannya dapat menjadi lebih baik. Lapisan dengan metode HVOF (*High Velocity Oxy-Fuel*) dan material pelapis *tungsten carbide* menjadi pilihan yang paling efektif dalam memberikan ketahanan abrasi. Material pelapis 86WC-10Co-4Cr dan 73WC-20Cr-7Ni menjadi dua pilihan pelapis *tungsten carbide* yang dapat memberikan ketahanan paling baik. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai jenis lapisan yang dapat menawarkan ketahanan abrasi tertinggi serta jarak pengaplikasian yang paling optimal. Dari hasil eksperimen dapat disimpulkan bahwa jenis material pelapis 86WC-10Co-4Cr dengan jarak pengaplikasian 250mm dapat menawarkan ketahanan abrasi yang lebih baik dibandingkan 73WC-20Cr-7Ni.

#### Kata kunci :

Baja CA6NM; HVOF; Pelapisan; *Runner*; *Tungsten carbide*

### ABSTRACT

*Erosion became one of the problems faced by hydro turbine runners. In a condition where civil buildings are already built, the only method feasible to reduce the erosion effect is by applying thin coatings on the surface of the runner to increase the hardness, therefore the abrasion resistance of the runner is elevated. HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) with tungsten carbide material is one of the effective choices on elevating the abrasion resistance. 86WC-10Co-4Cr and 73WC-20Cr-7Ni are two best choices of tungsten carbide coatings which offer the best abrasion resistance. This research will discuss the coating that offers the best abrasion resistance to ASTM A743 CA6NM steel and the optimum application distance. In the experiments conducted, the conclusions are as follows: 86WC-10Co-4Cr coating with standoff distance of 250mm offers the best abrasion resistance compared to 73WC-20Cr-Ni coating.*

#### Keywords :

CA6NM Steel; *coating*; HVOF; *runner*; *tungsten carbide*

### 1. PENDAHULUAN

Pada PLTM (Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro) Karai 7 yang berlokasi di Simalungun, Sumatera Utara, ditemukan bahwa fenomena erosi yang paling menyebabkan degradasi pada *runner* adalah adanya sedimen yang memiliki kemampuan abrasi cukup tinggi. Satu-satunya metode preventif yang dapat dilakukan adalah mengaplikasikan *coating* pada permukaan

*runner* tersebut, untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan abrasinya. Pada Gambar 1.1, terlihat kondisi *runner* yang harus melalui penggantian yang kedua kalinya karena tererosi secara masif oleh sedimen pada air yang mengalir.



**Gambar 1.1** Kondisi Runner PLTM Karai 7

Proses produksi runner memiliki variasi dari waktu ke waktu, namun untuk menjanjikan kekuatan yang lebih baik umumnya menggunakan metode pengecoran karena rentang beban dan kemampuannya untuk memanufaktur sebuah komponen dengan profil yang kompleks dan komposisi material yang bervariasi serta biaya alat yang rendah [1]. CNC Milling kemudian digunakan untuk memperhalus permukaan runner karena kehalusannya dapat berpengaruh ke keseimbangan runner [2] juga pada potensinya untuk mengalami erosi karena kavitasi, yang umum dikenal dengan nama *cavitation corrosion* [3].

Pelapisan dengan metode HVOF (*High Velocity Oxy Fuel*) dan *plasma spray* menjadi metode pelapisan yang umum digunakan dalam industri fabrikasi turbin air. Dalam pengaplikasiannya, metode pelapisan yang paling umum dilakukan adalah *thermal spray*, dengan metode HVOF menggunakan *tungsten carbide*. Terjadi peningkatan ketahanan abrasi dengan penggunaan HVOF yang memakai material pelapis *tungsten carbide* [4]. Jenis *tungsten carbide* cukup bervariasi, dua jenis *tungsten carbide* yang umum digunakan adalah 86WC-10Co-4Cr dan 73WC-20Cr-7Ni. Lapisan karbida umumnya menggunakan pengikat metalik seperti Co, Ni dan Fe, dengan jenis yang paling umum digunakan adalah Co dan Ni. Wood et. al., (1997), dan Hawthorne et. al., (1999), menunjukkan bahwa umumnya kekuatan pengikat material Co lebih tinggi sehingga mampu memberikan ketahanan erosi yang lebih tinggi.

Beranjak dari kondisi tersebut, maka solusi peningkatan ketahanan abrasi dengan pelapisan menarik untuk diteliti, yang

diharapkan hasilnya dapat dijadikan acuan dalam *predictive maintenance runner*.

ASTM A743 CA6NM merupakan jenis Baja Tahan Karat Martensitik yang umum digunakan pada industri fabrikasi runner untuk PLTM. ASTM A743 memiliki sifat mekanik yang tertera pada Tabel 1.1, serta komposisi kimia yang tertera pada Tabel 1.2.

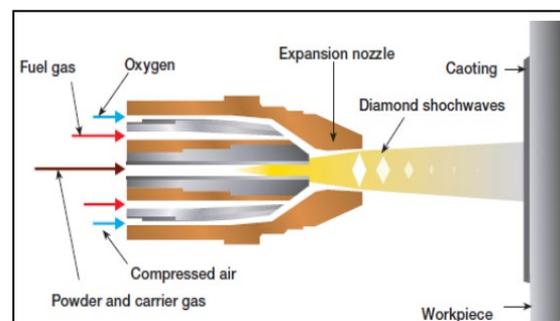
**Tabel 1.1** Sifat Mekanik ASTM A743 CA6NM [5]

Properti	Nilai
Kekuatan Tarik (MPa)	827
Kekuatan Luluh (MPa)	689
Regangan pada 50mm	24
Pengurangan Luas	60
Permukaan (%)	
Kekerasan (HV)	284
Ketangguhan Charpy "V" (J)	94,9

**Tabel 1.2** Komposisi Unsur pada ASTM A743 CA6NM [5]

Unsur	Komposisi (%)
C	0,06 (maks)
Mn	1,00 (maks)
Si	1,00 (maks)
P	0,04 (maks)
S	0,03 (maks)
Cr	11,50 – 14,00
Ni	3,50-4,50
Mo	0,40-1,00

Metode *thermal spray* yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah HVOF. Gambaran proses pelapisan dengan metode HVOF dapat dilihat pada Gambar 1.2.



**Gambar 1.2** Mekanisme Pelapisan HVOF pada Material [6]

Pelapisan metode HVOF dilakukan dengan pemanasan *feedstock material* mendekati atau diatas titik leburnya oleh gas pembakaran berkecepatan tinggi yang alirannya terdapat dari pembakaran konstan

bahan bakar yang mengandung propilen, propana, metana atau hidrogen. Bahan bakar tersebut kemudian dicampur dengan oksigen dan dibakar dalam sebuah ruang bakar, yang kemudian hasil dari pembakaran tersebut mengalami ekspansi dengan bantuan *nozzle*, sehingga partikel gas memiliki kecepatan yang mencapai *supersonic*. Partikel *feedstock* umumnya sepenuhnya atau sebagian meleleh dan mencapai kecepatan mendekati 540 m/s [6].

Dalam proses HVOF, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan.

1) Kecepatan gas oksigen

Jika kecepatan aliran gas oksigen dibawah 240 lpm, jumlah bahan bakar yang terbakar menjadi lebih rendah karena partikel *feedstock material* berada di temperatur yang lebih rendah, sehingga pelelehan partikel material menjadi buruk. Jika kecepatan aliran gas oksigen di atas 260 lpm, bahan bakar terbakar di kondisi temperatur yang lebih tinggi dan partikel material meleleh pada temperatur yang lebih tinggi, sehingga dapat menyebabkan permukaan substrat terlalu panas serta pembentukan *crack*.

2) Kecepatan aliran bahan bakar

Jika kecepatan aliran bahan bakar di bawah 50 lpm, terdapat porositas yang lebih tinggi pada hasil pelapisan. Jika kecepatan aliran bahan bakar di atas 70 lpm, partikel yang belum meleleh terlihat lepas dari permukaan substrat.

3) Jarak pengaplikasian

Jika jarak pengaplikasian kurang dari 200mm, terdapat struktur mikro yang kurang baik seperti munculnya pori-pori dan pola percikan. Jika jarak pengaplikasian lebih dari 260mm, terjadi pendinginan kembali pada partikel material.

4) Kecepatan aliran *feedstock material*

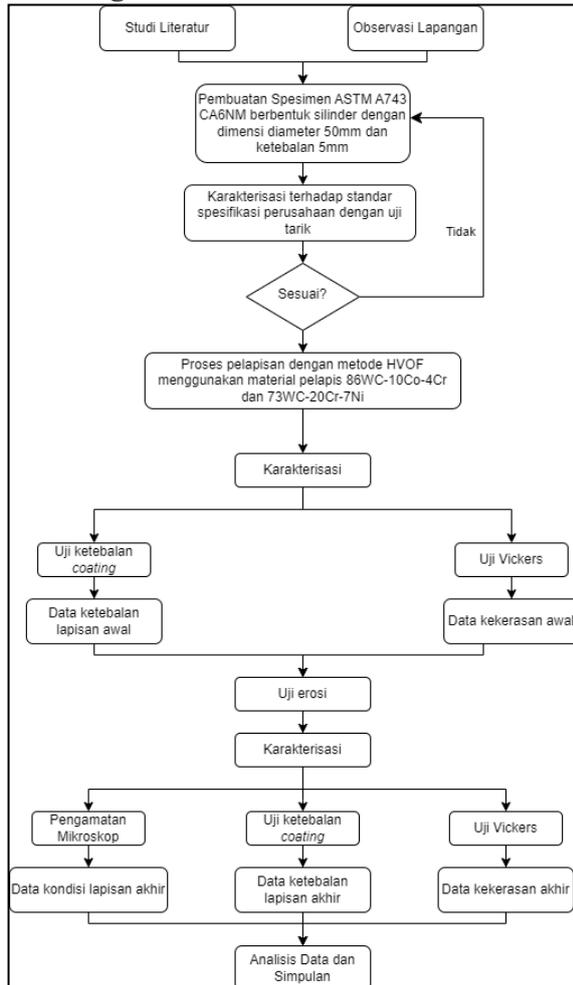
Jika aliran *feedstock material* di bawah 24 gpm, hanya sedikit material yang ditembakkan sehingga deposisi pelapisannya menjadi lebih tipis. Jika alirannya di atas 48 gpm, terdapat partikel yang belum meleleh serta pola percikan dalam kondisi meleleh, yang menyebabkan porositasnya menjadi tinggi.

5) Kecepatan aliran gas pembawa

Jika kecepatan aliran gas pembawa kurang dari 10 lpm, material akan mengalir lebih lambat menuju gas pembakaran. Jika kecepatan aliran gas pembawa lebih dari 14 lpm, material bergerak lebih cepat dalam gas pembakaran dan akan mengalami pelelehan yang lebih lama, sehingga menyebabkan pelelehan yang buruk pada material [7], [8]. Cui *et al.* (2017) meneliti karakteristik tribologi antara metode *plasma spray* dan HVOF dengan *feedstock material* WC-10Co-4Cr pada *base material* baja Q235. Hasil yang diperoleh adalah metode HVOF memberikan ketahanan yang lebih tinggi, kekuatan adhesi yang lebih baik serta kekerasan yang lebih tinggi dibanding *plasma spray*, dikarenakan metode *plasma spray* menyebabkan dekomposisi dekarburisasi WC yang lebih tinggi dibanding HVOF. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan mekanisme keausan abrasif dan oksidasi. Dalam aus abrasif, kehilangan material umumnya disebabkan oleh pemotongan skala mikro, partikel yang hancur, serta pengelupasan mikro partikel getas. Lapisan HVOF lebih mengalami keausan karena oksidasi, yang terjadi karena pengujian yang menimbulkan friksi membuat lapisan memanas dan mempercepat terbentuknya lapisan oksida. Dalam gesekan, partikel WC terekspos ke oksigen atmosfer dan membentuk lapisan oksida yang getas. Retakan *subsurface* pada fasa getas binder menyebabkan kehilangan material [9]. Kedua mekanisme ini menjadi bahan pertimbangan yang sangat penting, mengingat bahwa dalam aplikasinya turbin akan dialiri air sehingga kedua mekanisme tersebut dapat terjadi. Penelitian tentang pelapisan pada *runner* bertujuan untuk menentukan jenis material pelapis HVOF yang dapat memberikan ketahanan abrasi tertinggi pada Baja ASTM A743 CA6NM sebagai material pelapis *runner*, serta memberikan rekomendasi pada *predictive maintenance runner* untuk meminimalkan penggantian *runner*.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

Gambaran alur penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.1.

### 2.2. Lokasi Penelitian

Eksperimen dalam rangka penelitian Tugas Akhir dilakukan pada beberapa tempat. Pembuatan spesimen awal berupa Baja ASTM A743 CA6NM dilakukan di *workshop* milik PT Trieka Aimex yang berlokasi di Karang Asem Barat, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Pelapisan material dengan metode HVOF dilakukan pada *workshop* milik PT Matco Prima Indonesia yang berlokasi di Cikarang, Jawa Barat, dengan menggunakan bubuk komersial milik PT Dura Metal Indonesia. Karakterisasi untuk ketahanan abrasi dengan metode *grinding*, uji keras *Vickers*, metalografi, dilakukan pada Laboratorium Karakterisasi Rekayasa dan Material, Prodi Teknik Mesin, UNIKA Atma Jaya.

### 2.3. Material Spesimen

Material yang digunakan dalam eksperimen adalah baja ASTM A743 CA6NM, yang diperoleh dari PT Java Pratama Energi. Spesimen dalam eksperimen diperoleh dari PT Java Pratama Energi yang diproduksi di PT Trieka Aimex. Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk memastikan bahwa baja hasil pengecoran adalah benar merupakan Baja ASTM A743 CA6NM, dengan hasil pengujian tertera pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia pada Spesimen

Unsur	Komposisi (%) Hasil Uji	Komposisi (%) ASTM
C	0,059	0,06
Mn	0,53	1,00
Si	0,27	1,00
P	0,016	0,04
S	0,043	0,03
Cr	12,81	11,50-14,00
Ni	0,78	0,40-1,00
Mo	4,46	3,50-4,50

Hasil pengujian selanjutnya dibandingkan terhadap kadar Baja A743 CA6NM menurut ASTM, yang dapat dinyatakan bahwa spesimen tersebut benar merupakan Baja ASTM A743 CA6NM, ditinjau dari unsur karbon, krom dan nikel.

Material merupakan hasil pengecoran yang diproduksi pada PT Trieka Aimex dengan dimensi sebesar Ø50mm dan tebal 5mm, Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Spesimen Baja ASTM A743 CA6NM

### 2.4. Pelapisan Spesimen

Proses pelapisan HVOF menggunakan material pelapis 86WC-10Co-4Cr dan 73WC-20Cr-7Ni milik PT Dura Metal Indonesia. Terdapat beberapa tahapan proses yang perlu dilalui dalam melakukan pelapisan.

Spesimen dari Baja ASTM A743 CA6NM dengan dimensi Ø50mm dengan tebal 5mm digunakan sebagai substrat, dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan metode *Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grit blasting* sebelum dilakukan pelapisan. Tujuan dari proses ini untuk meningkatkan kekuatan adhesi lapisan. Pelapisan dilakukan dengan menggunakan serbuk 86WC-10C-4Cr sebagai spesimen 1-3, dan bubuk 73WC-20Cr-7Ni sebagai spesimen 4-6. Kedua jenis serbuk tersebut memiliki kekerasan diperkirakan 1250 HV, sesuai dengan spesifikasi produk yang tertera pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Deskripsi Material Pelapis Milik PT Dura Metal Indonesia

Kode	Material	Kekerasan
H 1388 A	86WC-10Co-4Cr	1250 HV
H 1380	73WC-20Cr-7Ni	1250 HV

Proses pelapisan HVOF *spray* (MEC MP-2100), diatur sedemikian rupa agar memiliki ketebalan lapisan tidak lebih dari 500µm sesuai dengan ketebalan optimal lapisan *thermal spray* [8]. Spesimen mula-mula dipasang pada mesin bubut, kemudian alat HVOF dioperasikan. Di dalam *thermal spray gun* pada alat HVOF, propana sebagai bahan bakar dicampurkan dengan oksigen, yang akan menghasilkan pembakaran di dalam ruang bakar. Hasil gas pembakaran akan mengalir melalui *nozzle* pada *thermal spray gun*, bubuk material pelapis yang dibawa oleh gas pembawa akan masuk ke dalam aliran gas pembakaran tersebut. Bubuk material akan meleleh dan terbawa oleh aliran gas pembakaran dengan kecepatan mendekati 1029 m/s. *Thermal spray gun* selanjutnya diarahkan pada spesimen, sehingga bubuk material yang sudah meleleh akan menumbuk permukaan spesimen dan melapisi substrat.

Dalam proses pelapisan, parameter jarak penyemprotan divariasikan dengan parameter lainnya diatur konstan, yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Parameter Pengaplikasian Lapisan pada Spesimen

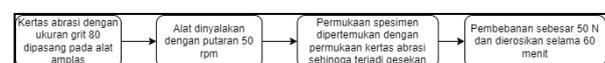
Parameter	Spesimen					
	1	2	3	4	5	6
HVOF						

Tekanan oksigen, bar	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
Tekanan propana, kg/cm <sup>2</sup>	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Tekanan gas pembawa, psi	75	75	75	75	75	75
Laju aliran gas nitrogen, l/min	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Jarak penyemprotan, mm	230	240	250	230	240	250
Sudut penyemprotan, °	90	90	90	90	90	90

## 2.5. Proses Pengujian

Pengujian ketahanan abrasi disimulasikan pada mesin *grinding* (mesin ampelas) dengan cara mengabrasikan permukaan spesimen dengan kertas abrasif yang berputar pada kecepatan tertentu.

Aliran air yang sesungguhnya pada *runner* akan dianalogikan sebagai gesekan antara partikel kertas abrasif dengan permukaan *coating*. Spesimen diberikan pembebanan 50 N dan dierosikan selama 60 menit, beban 50 N dianalogikan sebagai tekanan sedimen yang menghantam *runner* ketika sedang bekerja. Digunakan kertas ampelas dengan ukuran 80# sesuai dengan ukuran butiran pasir yang umum ada dalam sungai tempat PLTM Karai 7 beroperasi. Tahapan pengujian diberikan dalam diagram alir pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Diagram Alir Proses Pengujian

Adapun alat pengujian menggunakan mesin ampelas yang ada di laboratorium Karakterisasi dan Rekayasa Material, Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Mesin Ampelas [Laboratorium KRM UAJ]

## 2.6. Variabel Pengujian

Dalam eksperimen yang dilakukan variabel bebas adalah jenis material *coating* HVOF serta jarak pengaplikasiannya. Kedua adalah variabel terikat merupakan variabel yang berubah sesuai dengan perubahan pada variabel bebas. Dalam eksperimen variabel terikat yang muncul adalah ketebalan *coating* yang berkurang karena pengujian abrasi pada spesimen.

Variabel kontrol yang muncul dalam penelitian ini adalah pembebanan spesimen saat dierosikan, putaran mesin ampelas, ukuran kertas abrasif serta waktu pengujian.

## 2.7. Metode Karakterisasi

### a. Pengukuran Ketebalan Lapisan

Pengukuran ketebalan lapisan dilakukan dengan menggunakan alat *coating thickness gauge*, Gambar 2.5. Tujuan pengukuran untuk mengetahui ketebalan awal lapisan hasil proses pelapisan. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik untuk mendapatkan hasil yang akurat.



**Gambar 2.5** *Coating Thickness Gauge* [Properti: PT Matco Prima Indonesia].

### b. Uji Keras *Vickers*

Uji keras dilakukan untuk mengetahui kekerasan lapisan. Masing-masing spesimen melalui uji kekerasan terlebih dahulu sebelum diuji ketahanan abrasinya. Spesimen mula-mula dibersihkan dan kemudian ditandai sebanyak 10 titik untuk pengambilan beberapa data uji. Uji *Vickers* dilakukan dengan menggunakan Alat Uji *Vickers* yang tertera pada Gambar 2.6, dengan cara mengindentasi spesimen dengan piramida intan, waktu indentasi 10 detik dan

pembebanan 2 kgf. Uji *Vickers* dilakukan sebelum dan sesudah pengujian abrasi.



**Gambar 2.6** Alat Uji *Vickers* [Properti: Laboratorium KRM-UAJ].

### c. Pengamatan Mikroskop



**Gambar 2.7** Diagram Alir Metalografi.

Spesimen dengan diameter 50mm akan dipotong secara membujur, kemudian akan dilakukan pengampelasan agar permukaan spesimen bersih dari cacat dan goresan. Pemolesan kemudian dilakukan untuk memastikan seluruh cacat telah hilang dan permukaan sudah rata, sehingga dapat diamati di bawah mikroskop. Secara ringkas diberikan pada Gambar 2.7. Pengamatan mikroskop dilakukan dengan menggunakan mikroskop stereo, Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Mikroskop Stereo [Properti: Lab KRM UNIKA Atma Jaya]

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kondisi Awal

Sebelum dilakukan pengujian abrasi, lapisan dan material CA6NM diuji terlebih dahulu ketebalan lapisan dan kekerasannya, yang dapat dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

**Tabel 3.1** Hasil Uji Ketebalan *Coating* Spesimen Awal.

No. Spesimen	Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )
1	220
2	239
3	241
4	218
5	222
6	251

**Tabel 3.2** Kekerasan CA6NM Awal

Titik	Kekerasan (HV)
1	460,8
2	455,3
3	487,1
4	474,4
5	485,4
6	490,5
7	455,2
8	476,3
9	449,9
10	467,8
Rata-rata	470,27

**Tabel 3.3** Kekerasan Lapisan Awal

Bahan	No. Spesimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
86WC-	1	788,9	1091,4	860,0	585,5	1210,8	892,0	2822,4	993,1	1388,9	2242,3	1287,53
10Co-	2	757,2	593,4	792,4	1013,6	1060,8	1058,6	2099,5	1776,6	1577,0	1201,2	1193,03
4Cr	3	1517,6	1506,3	2788,4	2206,3	1287,6	2540,3	4786,9	1088,4	2390,3	1416,2	2152,83
73WC-	4	1175,7	1073,6	1059,5	990,9	815,1	938,0	1076,7	843,0	622,9	913,3	950,87
20Cr-	5	1220,3	1498,5	1231,2	1686,1	1598,0	1959,5	2233,5	650,3	2212,2	646,0	1493,56
7Ni	6	1700,2	2585,4	2563,7	1150,4	2440,9	1915,7	2425,9	4859,9	1377,7	1963,6	2298,34

Berdasarkan uji kekerasan Vickers yang telah dilakukan pada Laboratorium Karakterisasi dan Rekayasa Material UNIKA Atma Jaya dan tertera pada Tabel 4.3, terlihat bahwa spesimen 86WC-10Co-4Cr memiliki kecenderungan untuk kekerasan yang lebih tinggi, di rentang 1100-2100 HV, dengan rata-rata dari ketiga hasil spesimen yang menggunakan jenis lapisan 86WC-10Co-4Cr adalah 1544,463 HV. 3 Spesimen 73WC-20Cr-7Ni memiliki rata-rata kekerasan 1580,923 HV. Dari hasil pengujian kekerasan ini dapat terlihat bahwa kekerasan antara dua jenis lapisan tersebut tidak berbeda jauh, dengan 73WC-20Cr-7Ni sedikit lebih keras dibandingkan dengan 86WC-10Co-4Cr.

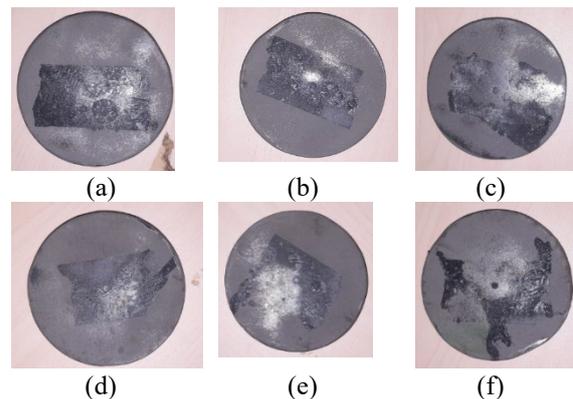
### 3.2. Kondisi Akhir



**Gambar 3.1** Kondisi Akhir Baja ASTM A743 CA6NM

Uji erosi juga dilakukan pada material baja ASTM A743 CA6NM sebagai pembandingan. Material Baja ASTM A743 CA6NM

menunjukkan ketahanan abrasi yang cukup rendah, terlihat dari keausan permukaan yang terjadi dengan lebih cepat serta kondisi akhir permukaan yang lebih terabrasi. Permukaan material Baja ASTM A743 CA6NM yang telah melalui uji erosi dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.2** Kondisi Akhir Spesimen

(a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2, (c) Spesimen 3, (d) Spesimen 4, (e) Spesimen 5, (f) Spesimen 6

Pengamatan pada permukaan dari *coating* setelah dilakukan uji abrasi dapat dilihat pada Gambar 3.2. Terlihat bahwa permukaan lapisan sudah tidak rata, yang disebabkan oleh pengujian abrasi yang telah dilakukan. Pengikisan pada spesimen tidak terjadi secara merata.

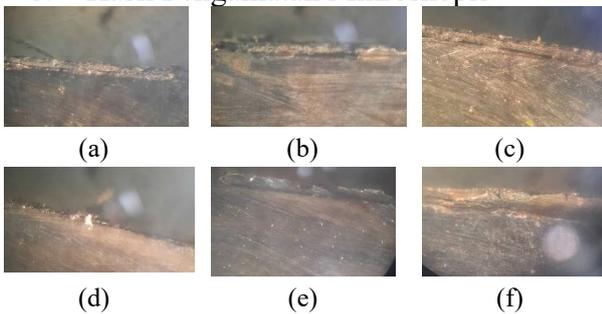
#### a. Hasil Uji Ketebalan *Coating*

**Tabel 3.4** Ketebalan Lapisan Akhir

No. Spesimen	Ketebalan (µm)
1	218
2	237
3	240
4	209
5	219
6	250

Hasil pengujian ulang ketebalan *coating* yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa spesimen 3 dengan jenis lapisan 86WC-10Co-4Cr dan jarak pengaplikasian 250mm serta spesimen 6 dengan jenis lapisan 73WC-20Cr-7Ni dan jarak pengaplikasian 250mm dapat menawarkan ketahanan abrasi tertinggi. Lapisan 86WC-10Co-4Cr dengan jarak pengaplikasian 230mm dan 240mm menawarkan ketahanan abrasi kedua tertinggi. Spesimen 73WC-20Cr-7Ni dengan jarak pengaplikasian 230mm menawarkan ketahanan abrasi terendah. Perbedaan ketebalan lapisan ini sesuai dengan hipotesis, dimana 86WC-10Co-4Cr dapat menawarkan ketahanan abrasi tertinggi karena Co *binder* yang memiliki kekuatan ikat yang lebih tinggi dibandingkan Ni. Data pada Tabel 3.4 diambil dengan satu sampel dimana terlihat terjadi pengikisan, namun pengikisan tersebut tidak terjadi secara merata seperti yang sudah terlihat pada Gambar 3.2.

b. Hasil Pengamatan Mikroskopis



**Gambar 3.3**

Hasil Pengamatan Spesimen

(a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2, (c) Spesimen 3, (d) Spesimen 4, (e) Spesimen 5, (f) Spesimen 6

Dapat terlihat dari Gambar 3.3 bahwa spesimen 1 dengan jenis material 73WC-20Cr-4Ni memiliki ketebalan *coating* paling tipis dibandingkan spesimen lain. Spesimen 3 dari dua jenis material pelapis juga memiliki penampang dengan kecacatan yang lebih minim jika dibandingkan dengan spesimen lainnya.

c. Hasil Uji *Vickers*

**Tabel 3.5** Kekerasan CA6NM Akhir

Titik	Kekerasan (HV)
1	412,5
2	422,2
3	409,3
4	456,5
5	432,2
6	445,0
7	431,6
8	444,8
9	420,9
10	416,2
Rata-rata	429,12

Setelah dilakukan pengujian abrasi, spesimen melalui uji kekerasan untuk melihat apakah terdapat pengaruh dari keausan lapisan *coating* terhadap kekerasannya. Pada Tabel 3.5 terlihat adanya perbedaan kekerasan yang terjadi pada material Baja ASTM A743 CA6NM setelah dilakukan uji erosi. Pada Tabel 3.6 terlihat perbedaan kekerasan yang ada pada spesimen yang dilapisi setelah dilakukan pengujian.

**Tabel 3.6** Kekerasan Lapisan Akhir

Bahan	No. Spesimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata
86WC-10Co-4Cr	1	788,9	1091,4	860,0	585,5	1210,8	892,0	2822,4	993,1	1388,9	2242,3	1287,53
	2	757,2	593,4	792,4	1013,6	1060,8	1058,6	2099,5	1776,6	1577,0	1201,2	1193,03
	3	1517,6	1506,3	2788,4	2206,3	1287,6	2540,3	4786,9	1088,4	2390,3	1416,2	2152,83
73WC-20Cr-7Ni	1	1175,7	1073,6	1059,5	990,9	815,1	938,0	1076,7	843,0	622,9	913,3	950,87
	2	1220,3	1498,5	1231,2	1686,1	1598,0	1959,5	2233,5	650,3	2212,2	646,0	1493,56
	3	1700,2	2585,4	2563,7	1150,4	2440,9	1915,7	2425,9	4859,9	1377,7	1963,6	2298,34

Hasil dari uji *Vickers* setelah pengujian menunjukkan bahwa kekerasan spesimen 3 dengan jenis lapisan 86WC-10Co-4Cr dan

jarak pengaplikasian 250mm mengalami perubahan kekerasan yang lebih kecil dibandingkan dengan yang lainnya.

Perbedaan kekerasan akhir ini walaupun signifikan, tetap dapat memberikan ketahanan abrasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan permukaan CA6NM yang tidak dilapisi dengan *coating* 86WC-10Co-4Cr dan 73WC-20Cr-7Ni, terlihat pada perbedaan kekerasan baik awal yang akhir yang sangat jauh antara CA6NM tanpa lapisan dengan CA6NM yang dilapisi.

Dengan perbedaan laju erosi tersebut serta hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa pengadaaan *coating* pada baja ASTM A743 CA6NM dapat memberikan efek signifikan dalam menahan korosi erosi yang dapat terjadi pada *runner* turbin. Jenis *coating* yang dapat memberikan efek ketahanan abrasi paling signifikan adalah 86WC-10Co-4Cr dengan jarak pengaplikasian 250mm. Pelapisan HVOF dengan menggunakan material 86WC-10Co-4Cr kemudian dapat dijadikan sebagai metode untuk *preventive maintenance* yang dapat dilakukan pada PLTM Karai 7 untuk menangani masalah korosi erosi akibat sedimen.

### SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Pemberian lapisan 86WC-10Co-4Cr dan 73WC-20Cr-7Ni dapat menawarkan ketahanan abrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pelapisan.
2. Secara keseluruhan, jenis lapisan 86WC-10Co-4Cr dapat menawarkan ketahanan abrasi yang lebih baik dibandingkan 73WC-20Cr-7Ni.
3. Jarak pengaplikasian paling optimal untuk kedua jenis lapisan adalah 250mm.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kafle, N. Sapkota, R. Silwal, P. L. Shrestha, N. Sharma, and B. Thapa, "Determination of Casting Parameters for Affirmative Directional Solidification in 750 KW Francis Runner," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2022. doi: 10.1088/1755-1315/1037/1/012010.
- [2] M. Massaguni, P. Pitriadi, and M. Izzat Jauhari, "RANCANG BANGUN DISK RUNNER TURBIN CROSS FLOW KAPASITAS 20 KW MENGGUNAKAN MESIN CNC MILLING 3 AXIS." [Online]. Available: <https://journal.atim.ac.id/>
- [3] S. Hong *et al.*, "Microstructure and cavitation erosion behavior of HVOF sprayed ceramic-metal composite coatings for application in hydro-turbines," *Renew Energy*, vol. 164, pp. 1089–1099, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.08.099.
- [4] P. Senapati, M. Padhy, and T. Sahu, "Coating Materials and Methodologies For The Protection of Hydro Turbine Runner," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 8, no. 7, pp. 524–536, 2017, [Online]. Available: <http://iaeme.com/Home/issue/IJMET?Volume=8&Issue=7http://iaeme.com/Home/journal/IJMET525http://iaeme.com>
- [5] M. T. Santos, P. V. Muterlle, and G. C. de Carvalho, "Thermographic and microstructural analysis of martensitic stainless steel ASTM A743 CA6NM arising out of layered GMA welding process using AWS 410 NiMo welding wire," in *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publications Ltd, 2014, pp. 1303–1311. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.936.1303.
- [6] R. Chandra Yadaw, S. Kumar Singh, S. Chattopadhyaya, S. Kumar, and R. C. Singh, "Tribological behavior of thin film coating-a review," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 3, p. 1656,

- Aug. 2018, doi:  
10.14419/ijet.v7i3.11788.
- [7] S. Vignesh, K. Shanmugam, V. Balasubramanian, and K. Sridhar, "Identifying the optimal HVOF spray parameters to attain minimum porosity and maximum hardness in iron based amorphous metallic coatings," *Defence Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 101–110, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.dt.2017.03.001.
- [8] M. Walidi, E. A. Basuki, and B. Prawara, "Quality characterization of HVOF thermal spray coating with NiCr matrix composite for protection application of coal fired boiler tubes," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2018. doi: 10.1088/1757-899X/432/1/012011.
- [9] S. Cui, Q. Miao, W. Liang, Y. Xu, and B. Li, "Comparative analysis of tribological behavior of plasma-and high-velocity oxygen fuel-sprayed WC-10Co-4Cr coatings," *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 69, no. 2, pp. 325–332, 2017, doi: 10.1108/ILT-09-2015-0129.