

Evaluasi Hasil Lasan pada Runner Blade PLTA 175 MW

IMAM NUR FAIZIN¹, MEILINDA NURBANASARI¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Itenas Bandung

Email : imamnurfaizin07@gmail.com

Received 21 08 2021 | *Revised* 01 09 2021 | *Accepted* 01 09 2021

ABSTRAK

Salah satu PLTA di Indonesia menggunakan turbin francis dengan kapasitas 175 MW yang telah beroperasi selama kurang lebih 30 tahun. Runner blade pada turbin francis ini menggunakan material berjenis JIS SCS-5 baja tahan karat tipe mertensitik. Dalam penggunaannya turbin francis ini mengalami degradasi material berupa pitting corrosion, dan erosi kavitasi yang mengakibatkan perubahan dimensi dan menurunnya performansi pada pembangkit tersebut. Untuk Mengatasi hal tersebut dilakukan pengelasan agar runner blade memiliki dimensi dan sifat mekanis yang memenuhi standar dan berfungsi kembali. Metode penelitian yang dilakukan meliputi pengujian pengujian komposisi kimia, uji kekerasan dan metalografi replika. Pemeriksaan NDT sebelum proses pengelasan pada runner blade dilakukan dengan metode dye penetrant, eddy current, dan PAUT. Pada hasil pemeriksaan lasan runner blade dinyatakan baik didasarkan pada tidak adanya cacat luar maupun dalam dan kekerasan pada weld metal tidak melebihi harga kekerasan maksimum pada weld metal untuk baja tahan karat jenis martensitik.

Kata kunci: *PLTA 175 MW, Runner blade, pitting corrosion, Erosi kavitasi, Evaluasi Hasil Lasan.*

ABSTRACT

One of the hydropower plants in Indonesia use a Francis turbine with a capacity of 175 MW which has been operating for approximately 30 years. The runner blade on this Francis turbine use a JIS SCS-5 type of mertensitic stainless steel. In operation of francis turbine experiences material degradation in the form of pitting corrosion, and cavitation erosion which results in dimensional changes and decreased performance at the plant. To overcome this, welding is carried out that the runner blade has dimensions and mechanical properties that meet the standards and function again. The research methods carried out include chemical composition testing, hardness testing and replica metallography. The NDT inspection before the welding process on the runner blade was carried out using the dye penetrant, eddy current, and PAUT methods. The results of the welds inspection are declared to be good based on the absence of external and internal defects and the hardness of the weld metal does not exceed the maximum hardness value of the weld metal for martensitic stainless steels.

Keywords: *hydropower, Runner blade, pitting corrosion, Cavitation erosion, Weld Evaluation*

1. PENDAHULUAN

Salah satu (PLTA) pembangkit listrik tenaga air di Indonesia menggunakan turbin francis dengan kapasitas 175 mega watt (MW) dan telah beroperasi kurang lebih selama 30 tahun. Turbin francis adalah turbin yang termasuk pada jenis turbin reaksi yang dimana memiliki prinsip kerja yaitu air masuk ke sudu pengarah (guide vane) memiliki tekanan tinggi, kemudian dirubah menjadi energi kinetik, perubahan dari energi tekanan menjadi energi kinetik secara keseluruhan terjadi pada sudu pengarah (guide vane). Dari sudu pengarah air melewati sudu gerak. Pada sudu gerak (runner blade) karena fluida menumbuk dan menggerakkan sudu gerak (runner blade) yang selanjutnya memutar poros turbin, yang juga merupakan poros sudu gerak. **(Bawono dan Aginoto, 2016)**

Selama pengoperasian, faktor degradasi yang dapat terjadi pada komponen sistem pembangkitk khususnya turbin francis adalah erosi yang dimana erosi ini diakibatkan oleh kavitasi yang sering terjadi selama pengoperasian dari turbin francis itu sendiri. **(Arifin, 2017)** Degradasi tersebut bergantung pada sistem operasi/kerja alat, lingkungan dan beban yang diterima komponen. Degradasi yang terjadi pada komponen akan menyebabkan menurunnya performansi dan pada kondisi tertentu dapat menyebabkan kegagalan yang berakibat terhentinya pembangkit beroperasi, maka dari itu sering dilakukan proses perbaikan untuk mengatasi degradasi yang terjadi pada turbin tersebut, perbaikan dilakukan dengan proses pengelasan. Turbin yang sudah beroperasi sekitar 30 tahun (melewati umur disain) dan saat ini dalam kondisi overhaul perlu dilakukan pemeriksaan pada runner blade untuk mengetahui kondisi terkini. Hal ini mengingat tubin akan digunakan kembali dalam kondisi aman. Turbin francis yang akan di periksa dapat dilihat pada gambar 1. (Turbin Francis)



Gambar 1. Turbin Francis

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu, turbin yang digunakan turbin francis, melakukan pemeriksaan kondisi kelayakan dan mengevaluasi kualitas lasan runner blade pada turbin francis. Antara lain : verifikasi material hanya dilakukan pada 2 runner blade yang menggunakan uji kekerasan, metalografi, dan uji komposisi kimia. Pemeriksaan NDT pada runner blade dengan menggunakan metode dye penetrant, PAUT, dan eddy curent. Pemeriksaan kualitas lasan dilakukan pada 3 runner blade menggunakan beberapa metode pengujian diantaranya : Metalografi, uji kekerasan, uji ketebalan, uji komposisi kimia, dan PAUT pada area weld metal, (HAZ) dan base metal. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemeriksaan kondisi runner blade dan mengevaluasi kualitas lasan runner blade, untuk dapat dioperasikan kembali.

2. METODOLOGI

2.1. Verifikasi Material

Tahap verifikasi material dalam proses penelitian ini bertujuan untuk membandingkan material runner blade (JIS SCS 5 baja tahan karat). Verifikasi material ini menggunakan beberapa pengujian diantaranya : uji komposisi kimia, Metalografi (replika) dan uji kekerasan. Pengujian pada tahap verifikasi material ini hanya dilakukan pada runner blade nomor 16 dan 17.

2.2. Pemeriksaan NDT

Pemeriksaan NDT (non destructive test) dalam pada proses penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya indikasi cacat luar maupun cacat dalam dari runner blade sebelum dilakukan pengelasan, yang diakibatkan oleh kondisi kerja dan lingkungan sekitar. Metode NDT (non destructive test) yang dilakukan diantaranya dye penetrant, Phased Array Ultrasonic Test (PAUT), dan eddy current. Pemeriksaan NDT (non destructive test) ini dilakukan pada runner blade nomor 16 dan 17.

2.3. Pemeriksaan Lasan

Pemeriksaan lasan ini hanya dilakukan di weld metal, Heat Affected Zone (HAZ) dan base metal pada runner blade pada turbin francis yang telah dilakukan perbaikan pada daerah yang telah terjadi kerusakan. Uji kualitas lasan ini menggunakan metode uji kekerasan, metalografi (replika), Uji komposisi kimia dan Phased Array Ultrasonic Test (PAUT).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

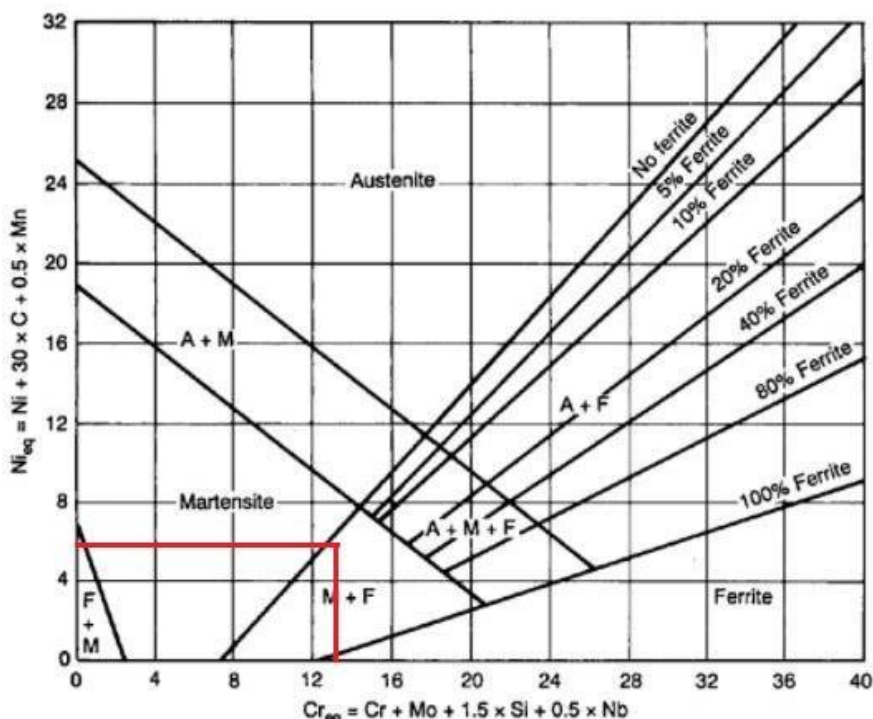
3.1 Hasil Uji Komposisi Kimia

Tahap verifikasi material yang pertama dilakukan yaitu pengujian komposisi kimia pada base metal di runner blade dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia

	Unsur Kimia %Wt						
	C	Mn	P	S	Ni	Cr	Si
Runner Blade	0,05	0,56	0,02	0,01	3,74	12,40	0,33
JIS SCS5 (steeljis.com/ 2021)	< 0,06	< 1	< 0,04	< 0,04	3,50 - 4,50	11,50 - 14,00	< 1,00

Setelah dilakukan verifikasi komposisi kimia, dilakukan perhitungan Cr equivalent dan Ni equivalent masing-masing didapatkan 13 % Wt dan 5,56 % Wt. Lalu dihubungkan dengan diagram schaffler dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Diagram Schaffler (Dustin Arvola, 2018)

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Verifikasi harga kekerasan pada material runner blade dibandingkan dengan material standarnya. Dapat ditunjukkan pada tabel 2 untuk hasil pengujian kekerasan runner blade.

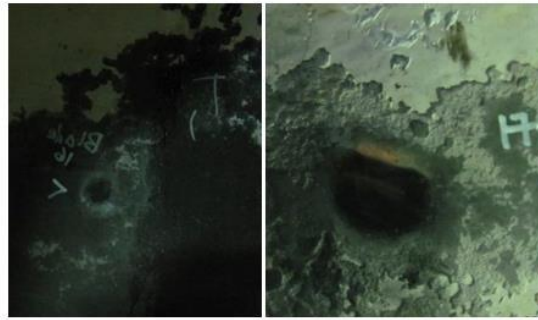
Tabel 2 Hasil Pengujian Kekerasan Runner Blade

NO	KOMPONEN	HV	Standar JIS SCS 5 (Iron and Steel Handbook, 1983)
1	Blade No 16	264	227-291 (Vickers HV)
2	Blade No 17	226	

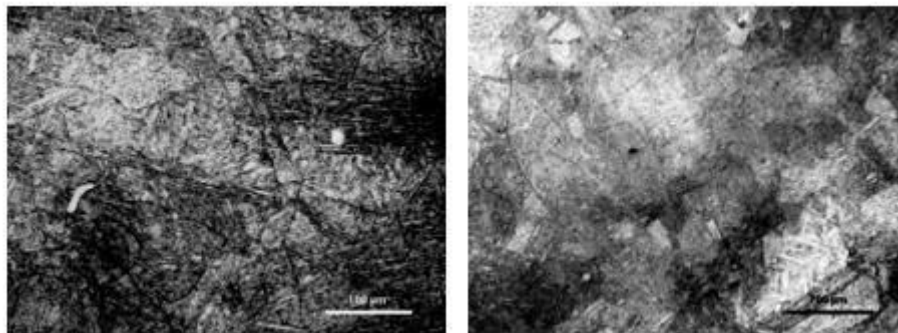
Setelah dilakukan verifikasi harga kekerasan material runner blade, dengan standar materialnya. Dapat dilihat bahwa harga kekerasan runner blade masuk dalam range kekerasan material standarnya, hal ini menunjukkan bahwa harga kekerasan runner blade sudah memenuhi spesifikasi sesuai dengan standar JIS SCS-5.

3.2 Hasil Metalografi Replika

Analisa struktur mikro dengan menggunakan metode metalografi (replika) yang dilakukan yaitu pada runner blade, untuk melihat struktur mikro dan fasa yang terjadi. Namun sebelumnya telah dipastikan fasa yang terbentuk pada material runner blade ini yaitu martensit dengan sedikit ferit pada hasil uji komposisi kimia, namun untuk lebih memastikan fasa yang terbentuk pada material runner blade ini dilakukan dengan analisa metalografi replika. lokasi metalografi replika dapat dilihat pada gambar 3 dan hasil dari metalografi replika dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3. Lokasi Metalografi (replika)



Gambar 4. Hasil Metalografi (replika)

dapat dilihat pada gambar 4 hasil dari metalografi (replika) pada runner blade ini fasa yang dimiliki blade yaitu martensit. Dengan bekas batas butir austenit. Hal ini sejalan dengan diagram schaffler yaitu fasa yang dimiliki blade ini martensit dan sesuai dengan baja tahan karat tipe martensitik dengan 13%Cr-5,56%Ni atau ekuivalenNya dengan JIS-SCS 5. Dan terlihat fasa martensit diatas relatif homogen, tidak ada indikasi perubahan fasa yang mengakibatkan perubahan sifat mekanik dari runner blade ini.

3.5 Hasil Dye Penetran

Pengujian dye penetrant ini dilakukan untuk melihat cacat pada permukaan runner blade, hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 5.



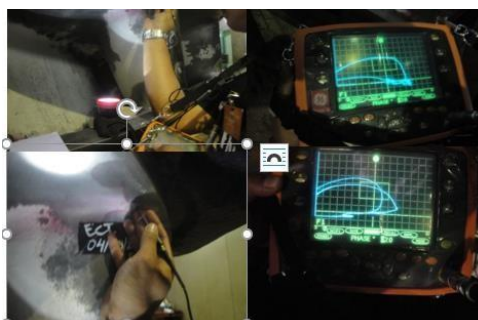
Gambar 5. Hasil Dye Penetrant Pada Runner Blade

Terlihat pada gambar 5 terdapat pengikisan pada runner blade, yang menjadi indikasi adanya erosi kavitas dan pitting corrosion pada permukaannya. Hal ini diduga efek dari kavitas yang dimana diakibatkan oleh bukaan sudut guide vane yang kecil yang menyebabkan aliran fluida cair yang bekerja pada runner blade memiliki kecepatan dan tekanan yang relatif lebih tinggi, fluida cair ini mengalami penurunan tekanan hingga berada dibawah uap jenuh cair ketika

menyentuh runner blade mengakibatkan fasa fluida cair ini berubah menjadi fasa uap yang mengakibatkan adanya gelembung gelembung pada runner blade, ketika runner blade berputar tekanan sekitar gelembung ini relatif tinggi dan menyebabkan gelembung pecah lalu terjadi shock wave atau gelombang kejut pada permukaan runner blade yang mengakibatkan terjadinya pengikisan pada permukaan runner blade.

3.6 Hasil Eddy Current

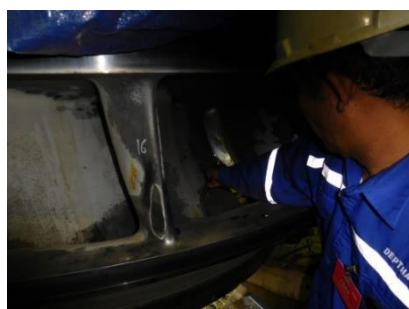
Pengujian eddy current ini bertujuan untuk memverifikasi kedalaman dari cacat yang ada pada runner blade. Dapat dilihat pada gambar 6 hasil eddy current . hasil dari eddy current test ini menunjukkan bahwa kedalaman dari pitting corrotion sedalam 1 mm dari permukaan runner blade.



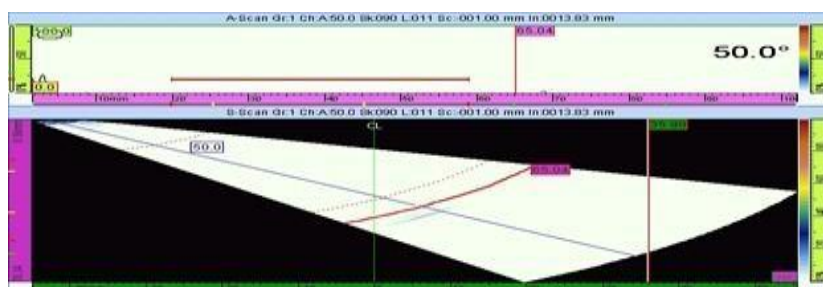
Gambar 6. Hasil eddy current pada runner blade

3.7 Hasil Phased Array Ultrasonic Test (Paut)

PAUT dilakukan untuk melihat adanya cacat luar dan dalam pada runner blade. Dapat dilihat pada gambar 7 proses pengujian PAUT pada runner blade dan gambar 8 untuk hasil dari pengujian PAUT tersebut



Gambar 7. Proses pengujian PAUT

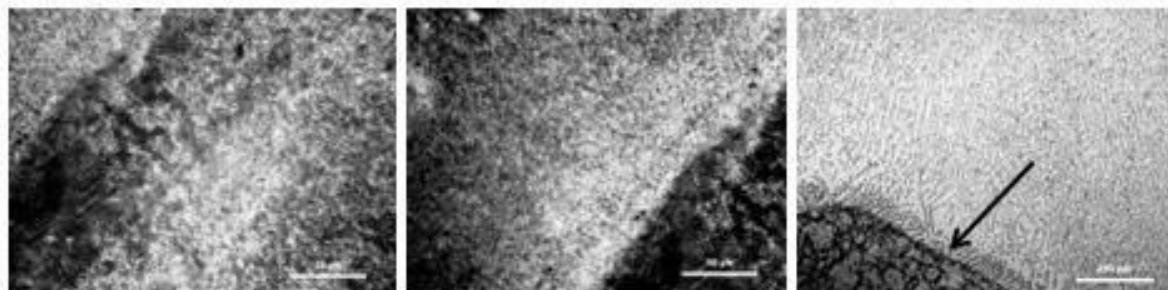


Gambar 8. Hasil pengujian PAUT

Berdasarkan hasil pengujian PAUT ini tidak ada indikasi cacat dalam pada runner blade.

3.8. Hasil Metalografi (Replika) Setelah Pengelasan

Metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari daerah base metal, heat affected zone (HAZ), dan weld metal dari runner blade. Adapun hasil dari metalografi replika dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini.



Base metal

HAZ

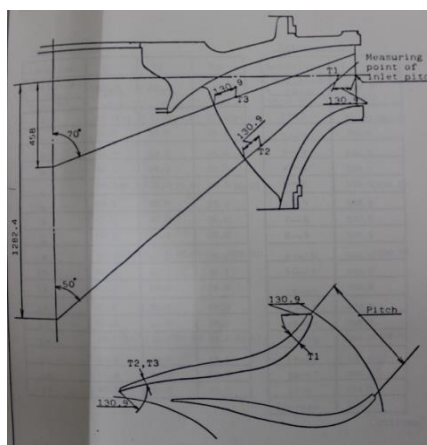
Weld metal

Gambar 9. Hasil metalografi (replika) setelah pengelasan

Pada hasil metalografi (replika) ini tidak memberikan informasi mengenai struktur mikro maupun fasa yang terjadi pada area yang diuji dikarenakan proses etsa yang dilakukan dengan menggunakan cairan nital 5% dan vilellas tidak memberikan respon yang baik. Namun pada area weld metal menunjukkan lokasi fusion line yaitu batas antara logam yang mencair dengan area HAZ.

3.9 Hasil Uji Ketebalan Setelah Pengelasan

Pengujian ketebalan ini dilakukan pada runner blade yang telah mengalami proses pengelasan, yang dimana lokasi pengujiannya dapat dilihat pada gambar 10 dan hasil dari pengujian ketebalan ini dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 10. Lokasi Pengujian Ketebalan ditunjukan dengan T1, T2 dan T3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Ketebalan runner blade

Hasil Pengujian Ketebalan Runner Blade (mm)			
Runner Blade No 2			
Lokasi Pengujian		Sebelum Proses Pengelasan	Sesudah Proses Pengelasan
	T1	64	63,28
	T2	27	28,48

Hasil Pengujian Ketebalan Runner Blade (mm)			
	T3	27	30,72
Runner Blade No 11			
Lokasi Pengujian		Sebelum Proses Pengelasan	Sesudah Proses Pengelasan
	T1	64	63,45
	T2	27	32,31
	T3	28	28,85
Runner Blade No 14			
Lokasi Pengujian		Sebelum Proses Pengelasan	Sesudah Proses Pengelasan
	T1	62	63,90
	T2	29	29,07
	T3	31	33,58
data ukuran sebelum pengelasan di ambil dari manufaktur turbin			

Dapat dilihat pada tabel 3 ketebalan pada runner blade no 2, 11, dan 14 pada lokasi pengujian T1, T2, dan T3 setelah proses pengelasan relatif lebih tebal dari kondisi awal runner blade sebelum proses pengelasan dilakukan hal ini, dikarenakan adanya tambahan material filler atau logam pengisi dari efek pengelasan.

3.10 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Setelah Pengelasan

pengujian komposisi kimia dilakukan pada runner blade no 14, yang dimana untuk melihat komposisi kimia pada runner blade yang telah mengalami proses pengelasan. Dapat dilihat hasil dari pengujian komposisi kimia ini pada tabel 4.

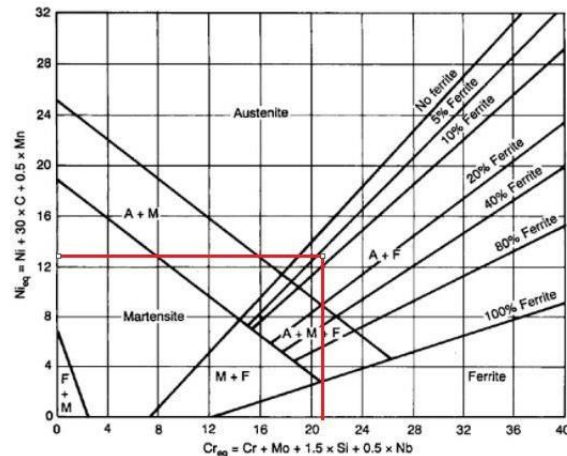
Tabel 4. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Setelah Pengelasan

Area Uji	Unsur Kimia %Wt							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
Runner Blade No.14	0,02	0,60	1,07	18,30	13,40	2,19	0,04	0,04

Dapat dilihat pada hasil pengujian komposisi kimia, adanya penambahan unsur kimia pada weld metal yang diakibatkan oleh penambahan unsur kimia logam pengisi pada saat pengelasan, hal ini mengakibatkan kenaikan Cr equivalent dan Ni equivalent sebesar 21,4 % Wt dan 14,5 % Wt. Lalu dihubungkan terhadap diagram schaffler dapat dilihat pada gambar 11

Kenaikan Cr equivalent dan Ni equivalent mengakibatkan terbentuknya fasa austenit + ferit (A+F) namun dominan austenit, yang dimana berpengaruh pada kekerasan di area weld metal ini lebih rendah dari pada kekerasan di area base metal dan HAZ.

Evaluasi Hasil Lasan pada Runner Blade PLTA 175 MW



Gambar 11. Lokasi Pengujian Ketebalan (Dustin Arvola, 2018)

3.11 Pengujian Kekerasan Setelah Pengelasan

Uji kekerasan ini dilakukan pada runner blade nomor 2, 11 dan 14 yang sudah dilakukan proses pengelasan, dan dilakukan pada daerah base metal, heat affected zone (HAZ), dan weld metal. Hasil pengujian kekerasan ini dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekerasan Setelah Pengelasan

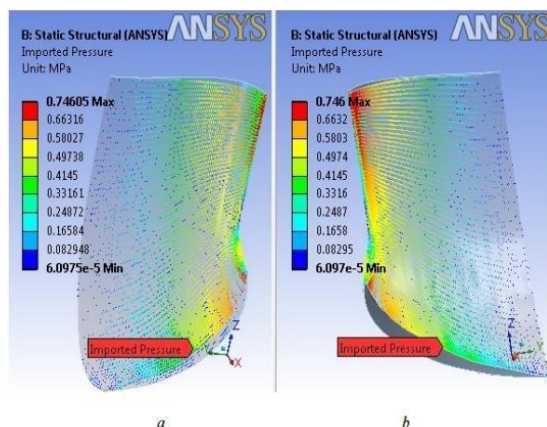
Hasil Pengujian Kekerasan Runner Blade (HV)		
Runner Blade No 2		
No	Lokasi	HV
1	Base Metal	261
2	HAZ	245
3	HAZ	256
4	Weld Metal	187
5	Weld Metal	187
Runner Blade No 11		
No	Lokasi	HV
1	Base Metal	293
2	HAZ	223
3	HAZ	184
4	Weld Metal	144
5	Weld Metal	179
Runner Blade no 14		
No	Lokasi	HV
1	Base Metal	180
2	HAZ	180
3	HAZ	199
4	Weld Metal	196
5	Weld Metal	190

Pada hasil pengujian kekerasan, runner blade no 2 dan 11 memiliki karakteristik yang sama yaitu kekerasan paling rendah pada area weld metal hal ini diakibatkan terbentuknya fasa austenit dan ferit akibat dari Cr equivalent yang tinggi dan pendinginan yang lambat pada saat proses pengelasan. Diikuti oleh kekerasan paling tinggi yaitu base metal hal ini dipengaruhi fasa pada base metal yang merupakan baja tahan karat berjenis martensitik yang dimana memiliki fasa martensit halus dan ferit, lalu tidak mengalami siklus termal dalam hal ini proses pengelasan dan pendinginan cepat, sehingga harga kekerasannya cenderung tinggi, sedangkan pada daerah HAZ, fasa yang diperoleh yaitu martensit tempered, yang kekerasannya lebih rendah dari pada fasa martensit pada base metal, transformasi fasa yang terjadi ini dikarenakan pada daerah HAZ ini mengalami proses temper sebagai pengaruh dari efek panas pada proses pengelasan berlangsung. Berbeda halnya dengan runner blade no 14 kekerasan pada area HAZ dan weld metal ini cenderung sama hal ini diduga titik yang di uji kekerasannya masih pada area HAZ. Kekerasan weld metal pada pengelasan baja tahan karat martensitik ini dibatasi maksimum 253 HV. **(Gooch, 1995)** Hal ini Hal ini dikarenakan jika semakin tinggi harga kekerasan pada weld metal maka semakin mudah terkena stress corrosion cracking.

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dapat diuraikan sebagai berikut :

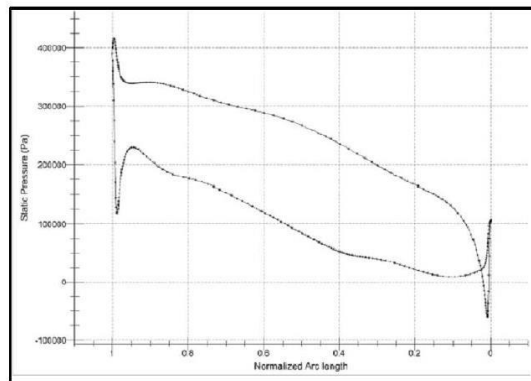
- a. Harga kekerasan pada area weld metal lebih rendah daripada base metal dan HAZ, hal ini tidak menjadi persoalan dikarenakan pembebanan yang terjadi pada daerah tersebut tidak dominan.
- b. Jenis pembebanan yang bekerja pada runner blade ini diantaranya.
 - Steady loading (fluid pressure, centrifugal force, dan runner own weight).
 - Unsteady loading (high frequency pressure fluctuations akibat interaksi antara rotor dan stator dan juga fenomena vortex rope. **(Negru, 2011)**)

Untuk membantu analisa pembebanan yang terjadi, analisa pembebanan pada turbin francis dilakukan dengan bantuan software ANSYS **(Negru, 2011)** dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 12 hasil simulasi pembebanan pada software ANSYS.



Gambar 12. Hasil Analisa Tegangan statik software ANSYS (Negru, 2011)

Pada gambar 12 menunjukkan distribusi tegangan statik yang diterima pada sisi trailing edge pada runner blade turbin francis yakni yang dilakukan proses pengelasan tidak terlalu besar. Berdasarkan hasil penelitian yang lainnya, juga memperlihatkan bahwa pembebanan statik yang bekerja pada area runner blade ini semakin kecil. (Chenje, 2004) hal ini dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik Static Pressure vs Normalized Arc Length (Chenje, 2004)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil verifikasi material yang didasarkan pada uji kekerasan, uji komposisi kimia, dan metalografi (replika) menunjukkan bahwa material dari runner blade masuk dalam range standar JIS SCS 5.
2. Pada hasil pemeriksaan NDT (non destructive test) yang meliputi: Dye penetrant test, PAUT, dan eddy current test, terhadap runner blade sebelum dilakukan proses pengelasan ditemukan adanya indikasi erosi kavitasi dan cavitation pitting damage pada permukaan runner blade.
3. Hasil kualitas lasan dinyatakan baik yang didasarkan pada :
 - a. Hasil pemeriksaan PAUT terhadap kualitas lasan tidak menunjukkan adanya cacat luar dan dalam.
 - b. Pengujian kekerasan pada weld metal runner blade no 2,11, dan 14 setelah pengelasan didapatkan harga kekerasan masing-masing weld metal sebesar 187 HV, 179 HV, dan 196 HV. Harga kekerasan ini tidak melebihi harga kekerasan maksimum weld metal untuk baja tahan karat jenis martensitik.

Saran

Perlu dibuat Welding Procedure Specification (WPS) agar parameter-parameter sebelum dan sesudah pengelasan tersimpan, lalu dapat kembali digunakan ketika proses pengelasan runner blade selanjutnya. Proses pengetsaan pada pengujian metalografi (replika) disarankan menggunakan jenis larutan etsa lain untuk menampilkan struktur mikro yang lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Biantoro, & Siswantoro. (2016). Analisa Kavitasi yang Terjadi Pada Turbin Francis di PLTA PB SOEDIRMAN. Repository UGM. Tugas Akhir, teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada.
- Universitas Gadjah Mada.
- Chenje, T. W.et al. (2004). Relationship between Microstructure, Hardness, Impact Toughness and Wear Performance of Selected Grinding Media for Mineral Ore Milling operations. Materials and Design, vol. 25, (pp. 11-18).

- Gooch, T. G. (1995). Heat Treatment of Welded 13%Cr-4%Ni Martensitic Stainless Steels for Sour Service. *Welding Research: Supplement to the Welding Journal*, (pp. 213-223).
- Iron and Steel Handbook, (1983). SAE J 417 Hardness Tests and Hardness Number Conversions.
- Negru, R. et al. (2011). Analysis of Flow Induced Stress Field in a Francis Turbine Runner Blade. *Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi. din Iași Tomul LVII (LXI)*, vol. 6, (pp. 335-342).
- Steel JIS. (2021). Japanese Steels and Alloy. Retrieved from [www. Steeljis.com](http://www.Steeljis.com)
- Arifin Moh Zaenal. (2017). "Analisa Unjuk Kerja Dan Tingkat Kavitasasi Pada Turbin Francis Di PT PJB Unit Pembangkit Brantas Unit PLTA Sutami". Repository ITS. Tugas Akhir, Departemen Teknik Mesin Industri, Institut Teknologi Sepuluh November.