

Analisis Kualitas *Blade Rotor Turbin Uap* dengan Metode NDT *Penetrant Testing*

Novriyanti¹, Indra Chandra Setiawan¹, Riki Sukma Umbara¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: novriyanti.19@gmail.com, indracs@univpancasila.ac.id, rs.umbara@gmail.com

ABSTRAK

Turbin Uap banyak digunakan pada Industri bidang pembangkit listrik. *Rotor Turbin Uap* seringkali mengalami kerusakan dan diperlukan penggantian secara berkala. Pada penelitian ini, dilakukan analisis kualitas *Rotor Turbin* yang diproduksi dengan mesin CNC 5-Axis oleh PT XYZ sebagai salah satu bentuk *Preventive Maintenance*. Untuk memastikan *Rotor* yang diproduksi sesuai dengan spesifikasi, maka digunakan dua tipe pengujian NDT metode *Penetrant Testing* Dengan Tipe 1 *Fluorescent Dye* dan Tipe 2 *Visible Dye*. Adapun *Remover* yang digunakan dengan Metode A *Water Washable* dan Metode B *Solvent Removable*. Analisis dilakukan pada 35 *Blade Rotor* yang di inspeksi dalam 1 *batch*. Berdasarkan hasil pengujian, ditemukan 1 dari 35 *Rotor* yang menunjukkan *nonrelevant indication* dan diperlukan tambahan proses *mechanical polishing* untuk perbaikan yang di akibatkan permukaan yang kasar karena pisau pemotong mesin CNC yang tumpul. Dari hasil pengujian juga didapatkan rekomendasi dari segi lokasi bahwa untuk pengujian dalam ruangan *Penetrant Testing* Tipe 1 *Fluorescent Dye* Metode A *Water Washable* dapat direkomendasikan, dan untuk luar ruangan *Penetrant Testing* dengan Tipe 2 *Visible Dye* Metode C *Solvent Removable* yang dapat direkomendasikan.

Kata Kunci: *Blade Rotor, NDT, Penetrant Testing, Fluorescent Dye, Visible Dye.*

ABSTRACT

Steam turbines are widely used in industries that have power plants. Steam turbine Rotors often fail and require periodic replacement. In this research, an analysis of the quality of the turbine Rotor produced with a 5-axis CNC machine by PT XYZ was carried out as a form of preventive maintenance. To ensure that the Rotors produced are in accordance with specifications, two types of NDT testing are used, namely the Penetrant Testing method with Fluorescent Dye type 1 and the visible test type 2, and the remover method with Water Washable method A and solvent washable method B. The analysis was carried out on 35 Rotor Blades, which were inspected in one batch. Based on the test results, it was found that 1 out of 35 Rotors showed irrelevant indications and required additional mechanical polishing processes for repairs caused by rough surfaces due to blunt CNC machine cutting Blades. From the test results, we also obtained recommendations in terms of location: for indoor testing, Penetrant Testing Type 1 Fluorescent Dye Method A Water Washable can be recommended, and for outdoor testing, Type 2 Visible Dye Method C Solvent Removable can be recommended.

Keywords: *Blade Rotor, NDT, Penetrant Testing, Fluorescent Dye, Visible Dye*

PENDAHULUAN

Pada era ini produsen pembuatan *Blade Rotor Turbin Uap* sudah sangat mudah ditemui karena permintaan pasar yang cukup besar. Turbin Uap banyak digunakan industri pembangkit. Turbin sendiri memiliki banyak jenis, seperti Turbin Uap, turbin air, turbin angin dan sebagainya. Turbin Uap sendiri memiliki beberapa komponen utama dan salah satu komponen utama pada Turbin Uap yaitu *Blade Rotor*. Penting nya *Blade Rotor* dalam komponen Turbin Uap, membuat proses pembuatan *Blade Rotor* sangat diperhatikan, salah satu bentuk penjaminan mutu pada proses pembuatan *Blade Rotor* dapat

menggunakan metode NDT. Mesin CNC memiliki kemampuan untuk meningkatkan efisiensi sebuah mesin dalam pembuatan benda kerja secara 3D. Mesin ini memiliki tingkat presisi yang cukup akurat. Mesin CNC 5 Axis ini bekerja pada sumbu linear X, Y, Z dan memutar pada sumbu A dan B [1]. Untuk material *Blade Rotor* sendiri menggunakan jenis AISI 410 ini termasuk kedalam jenis baja tahan karat *martensitic* dan memiliki kadar karbon yang menengah, jumlah kadar karbon yang terdapat dalam suatu baja dapat mempengaruhi sebuah karakteristik dan sifat benda, Baja tersebut menggunakan sebuah perlakuan panas dalam pemrosesannya guna mendapatkan karakteristik khusus yang

dibutuhkan. Sifat dan karakteristik yang diinginkan akan keluar melalui proses perlakuan panas.

NDT memiliki kemampuan untuk mendeteksi diskontinuitas pada *Blade Rotor Turbin Uap* tanpa merusak permukaan *Blade Rotor*. Apabila ditemukan adanya diskontinuitas atau ketidaksesuaian lainnya, maka cairan *Penetrant* akan muncul ke permukaan benda dan dengan jelas memperlihatkan adanya garis yang menandakan adanya diskontinuitas, hal ini yang menyebabkan tidak diperlukan nya uji SEM (*Scanning Electron Microscope*). NDT memiliki beberapa metode seperti *Eddy Current Testing*, *Magnetic Particle Inspection*, *Penetrant Testing*, *Radiography Testing*, *Ultrasonic Testing* [2].

Xu Guirong, Guan Xuesong, Qiao Yuliang, Gaoyan Melakukan analisis dan inovasi untuk pengujian salah satu komponen pesawat dengan *Penetrant Testing* yang bertujuan sebagai salah satu bentuk penjaminan kualitas pada proses pembuatan komponen [3]. Dara Noer Aini Melakukan pengujian pada RIB Airbus A320 dengan material aluminium alloy 2024 menggunakan metode NDT *Penetrant Testing* Tipe 1 *Fluorescent* Metode A *Water Washable* dengan menggunakan parameter waktu tunggu penetrant 5, 25, 25, 65 menit (per 20 menit), dan parameter suhu cairan penetrant 26, 31, 36, 41 derajat. Didapatkan hasil pengujian adanya crack yang ukurannya berbeda-beda yang menyebabkan lamanya waktu tunggu mempengaruhi pendeteksian diskontinuitas [4]. Novriyanti Melakukan penelitian perbandingan hasil inspeksi pada stator Turbin Uap repair menggunakan material AISI 410 dengan membandingkan metode NDT *Penetrant Testing* tipe 1 *Fluorescent* 3 dan tipe 2 *Visible Dye* Metode A *Water Washable* dan Metode C *Solvent Removable*. Dengan *Dwell Time* penetrant dan developer 5, 10, 15 menit (per 5 menit), hasil inspeksi di temukan diskontinuitas pada stator Turbin Uap repair yang melebihi batas toleransi, dengan hasil diskontinuitas pada tipe 1 metode A 2.58mm dan Metode C 2.31 mm serta tipe 2 metode A 2.14 mm dan Metode C 2.14 mm dan disimpulkan bahwa tipe 1 metode A memiliki akurasi paling tinggi. Selanjutnya stator Turbin Uap repair tersebut akan dilakukan proses repair Kembali dengan tahapan engineering process, repair process, dan inspection process [5]. Y Kong, CJ Bennett, CJ Hyde Melakukan analisis dan fakta mengenai kelelahan pada suatu benda yang mengakibatkan crack dengan melakukan pengujian metode NDT untuk mendapatkan lokasi dan besar crack pada benda [6]. Novriyanti Melakukan perbandingan hasil inspeksi pada *Rotor Turbin Uap manufacture* menggunakan

material A565-616 dengan membandingkan metode NDT *Penetrant Testing* tipe 1 *Fluorescent* Metode A *Water Washable* dan Metode C *Solvent Removable* dengan *Dwell Time* penetrant dan developer 5, 10, 15 menit (per 5 menit). Hasil inspeksi pada 10 *Blade Rotor Turbin Uap manufacture* tidak ditemukan adanya diskontinuitas, hanya saja ditemukan *Nonrelevant indication* yang terjadi pada saat *Dwell Time* developer akibat Surface pada *Blade Rotor* yang kurang halus saat proses Machining sehingga membuat cairan penetrant terjebak di cekungan *Blade*. Setelah ditemukan *Nonrelevant indication* selanjutnya *Blade Rotor* tersebut di perbaiki [7]. Susilawati, Masri Bin Ardin, Rafi Anwar Syarif Melakukan Pengujian pada *Screw Tail Rotor Drive Super puma* dengan metode NDT *Penetrant Testing* Metode D Post Emulsifiable, Hydrophilic, tanpa menggunakan *Dwell Time*. Serta pengeringan dilakukan dengan proses oven, pada pengujian ini tidak ditemukan adanya diskontinuitas, hanya ditemukan non relevant indication karena desain [8]. S. Deivanai, Manoj Soni Telah melakukan Pengujian pada Aluminium las paduan 2024 dengan menggunakan NDT metode *Radiography Inspection* dan tidak ditemukan adanya cacat [9]. Kyungil Kong, Kirsten Dyer, Christopher Payne, Ian Hamerton, Paul M. Weaver Mengamati adanya crack pada *Blade Turbin*, dengan teknik monitoring menggunakan NDT *Visual testing*, *ultrasonic testing*, *Radiographic Testing*, *Electromagnetic testing* untuk melakukan komparasi antara metode tersebut [10]. Mirjana Opacic, Aleksandar Sedmak, Gordana Bakic, Nenad Milosevic, 4 Nikola Milovanovic Melakukan observasi pada sambungan las dengan metode NDT, tahapan pertama yang dilakukan dengan menggunakan metode *Ultrasonic Testing* untuk mengetahui letak adanya cacat, ukuran, dan kedalaman cacat [11].

Masalah yang ditemukan yaitu dalam beberapa proses pengujian tidak merujuk pada dokumen ASTM E165 mengenai *Dwell Time penetrant* dan *Dwell Time developer* serta tidak dijelaskan mengenai proses pembuatan *Blade Rotor* dan proses perbaikan apabila ditemukan diskontinuitas, sering kali konsumen sulit menentukan tipe dan metode mana yang akan dipilih karena kurangnya pemberian informasi mengenai aspek biaya terbaik dalam maupun luar ruangan.

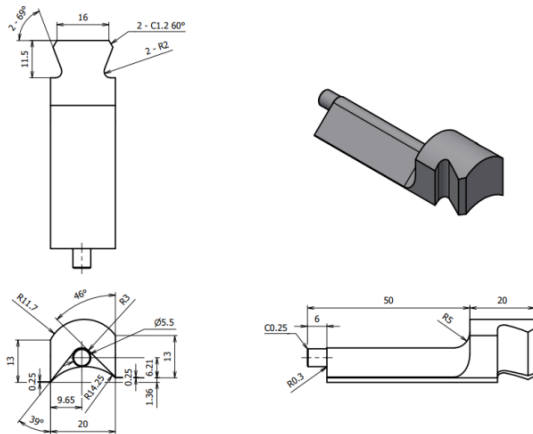
Hal tersebut mengakibatkan hasil inspeksi yang tidak optimal karena tidak merujuk standar, dan kerugian ekonomi apabila kurang tepatnya pengambilan keputusan untuk tipe dan metode yang terbaik.

Hasil penelitian yang akan berupa rekomendasi tipe dan metode mana yang terbaik serta pengujian merujuk standar akan bermanfaat bagi konsumen dan produsen dari segi teknis dan ekonomi.

METODE PENELITIAN

Turbin Uap memiliki banyak komponen yang diantaranya seperti *Bearing* yang berfungsi untuk dapat menopang *Blade*, *casing* yang berfungsi untuk melindungi bagian utama Turbin, *Shaft* dengan fungsi menjadi poros utama pada sebuah Turbin, *stator* memiliki fungsi mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dengan cara menerima dan mengarahkan uap untuk selanjutnya masuk kedalam *Stator* dan *Rotor* sendiri adalah sebuah komponen yang dapat berputar serta memiliki fungsi untuk menerima sebuah gaya dari energi kinetik uap yang melewati *Nozzle* dan selanjutnya akan berubah menjadi energi mekanik[12].

Blade Rotor merupakan salah satu komponen utama pada sebuah Turbin Uap. Maka dari itu Komponen *Blade Rotor* harus dipastikan dalam keadaan baik untuk digunakan, pada penelitian ini dilakukan pembuatan 1 *Batch Blade Rotor* Turbin Uap sebanyak 35 buah *Blade*, yang selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan metode NDT. Gambar 1 Merupakan Desain *Blade Rotor* yang akan diproduksi menggunakan Mesin CNC 5 Axis.



Gambar 1 Desain *Blade Rotor Manufacture*

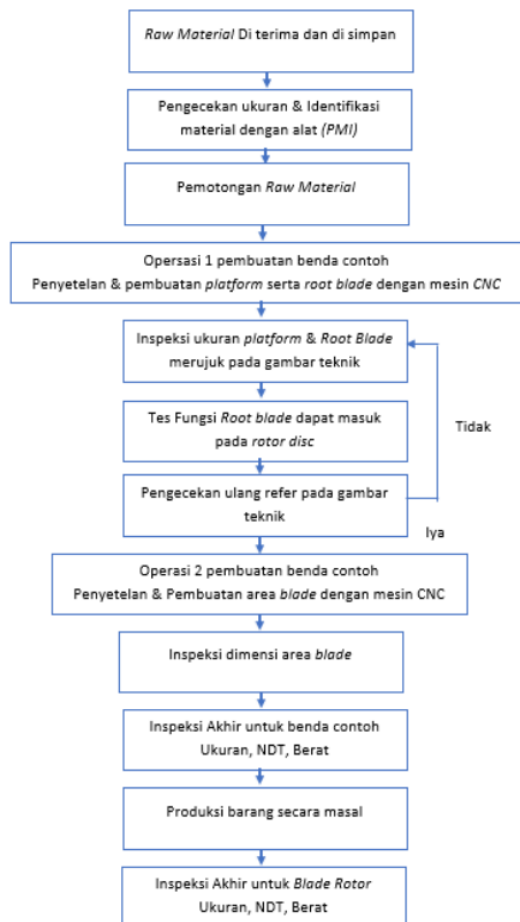
Tahapan pembuatan *Blade Rotor* ditunjukkan pada Gambar 2 menjelaskan tahap demi tahap proses pembuatan *Blade Rotor* seperti:

- Penerimaan dan penyimpanan bahan dalam bentuk *raw material* merupakan tahapan dimana perusahaan menerima material sesuai dengan spesifikasi pemesanan, jumlah serta ukuran dalam bentuk *ron bar* material, dalam

proses penerimaan barang akan dilakukan *UT test* untuk memastikan bahwa tidak ada cacat di dalam *ron bar* material tersebut.

- Proses selanjutnya adalah proses pengukuran, hal ini bertujuan sebagai bentuk penjaminan kualitas *ron bar* material tersebut bahwa ukuran yang datang itu sama dengan ukuran yang diminta, serta untuk mengecek kandungan yang ada di dalam *ron bar* material itu bahwa unsur kimia tersebut dapat menegaskan bahwa material tersebut merupakan AISI 410 dengan menggunakan alat PMI (*positif material identification*).
- Pemotongan *Raw Material* yang biasanya berupa *Ron bar* berukuran per 12m, lalu nantinya akan dipotong sesuai dengan settingan mesin CNC. Pemotongan harus dilebihkan sebesar 5- 10 mm sebagai gap dari ukuran jadi, hal ini bertujuan untuk memastikan potongan material tersebut dapat di jepit di dalam mesin CNC. Proses pemotongan dapat menggunakan gergaji atau mesin gergaji otomatis
- Pemrograman Contoh Benda bagian platform Yang akan dibuat menggunakan Mesin CNC 5 Axis dilakukan untuk membuat platform atau dudukan *Blade Rotor* agar bisa di cengkam oleh mesin cnc pada saat pemrosesan bagian area *Blade Rotor*, seperti penyetulan mesin, pembuatan dudukan *Blade* dan bagian *root Blade* menggunakan mesin CNC.
- Inspeksi dimensi benda kerja Proses pengecekan disini menggunakan *vernier caliper*.
- Test fungsi dudukan *Blade Rotor* terhadap disc dilakukan untuk memastikan ukuran yang dihasilkan oleh mesin CNC sesuai atau disebut juga dengan *tap fit* dengan cara memasukan *Rotor* kedalam disk dengan cara dipukul menggunakan bronch untuk memastikan *Rotor* dapat menempel pada disk dan tidak boleh *lost* atau terlalu kecil. Adapun gambaran penempelan *Rotor* pada disk yaitu posisi *root* menempel di disk, platform bertujuan sebagai tempat dudukan saat proses CNC, *Blade airfoil leading* yang memiliki ukuran lebih pendek dari *trailing edge*.
- Koreksi diperlukan apabila *root* tidak dapat masuk kedalam disk Pembuatan contoh benda bagian *Blade* Pada tahapan ini akan di buat program untuk *test piece*, pembuatan *test piece* bertujuan untuk memastikan bahwa setelah mesin CNC sudah baik dan benar sesuai dimensi dan bentuk yang diminta, apabila salah atau tidak sesuai maka akan dilakukan *test piece* kembali sebelum pembuatan mass production. Proses gambar menggunakan 2D yang selanjutnya diubah ke program CNC.

- Proses pengecekan ukuran disini menggunakan *vernier caliper* sebagai bentuk inspeksi dimensi.
- Inspeksi akhir, NDT, Dimensi benda, Berat Benda, sebelum produksi masal yang diantaranya Pengecekan ukuran, lalu proses pengujian dengan NDT, lalu penimbangan, penimbangan disini merupakan hal yang penting karena Berat sangat berpengaruh pada pemasangan *Blade* yang akan menimbulkan ketidak stabilan, max berat +- 1% dari berat.
- Produksi masal *Blade* melalui tahapan 11 dan 13
- Final Inspeksi akhir, NDT, Dimensi benda, Berat Benda untuk memastikan bahwa mass production tersebut benar benar sudah baik dan dapat digunakan.



Gambar 2 Alur Pembuatan *Blade Rotor*

NDT adalah sebuah metode pengujian dengan cara tanpa merusak suatu benda untuk mendeteksi adanya diskontinuitas atau ketidaksesuaian lain nya guna menjamin kualitas suatu produk yang baru dibuat maupun yang sudah digunakan. NDT dapat digunakan sebagai bentuk penjaminan mutu dalam suatu perusahaan sebelum mengirimkan barang kepada konsumen,

perusahaan wajib memastikan barang yang sudah dibuat atau diperbaiki dalam keadaan terbaiknya dengan salah satu cara menggunakan proses inspeksi NDT *Penetrant Testing* [13].

Penetrant Testing ini adalah salah satu metode NDT untuk meguji suatu benda tanpa merusak benda tersebut, proses ini dapat meilait apabila adanya diskontinuitas pada sebuah permukaan benda. *Penetrant Testing* ini menggunakan cairan dalam proses kerjanya dengan cara menyemprotkan cairan pada permukaan benda uji lalu dilakukan proses *Dwell Time* agar cairan dapat meresap sempurna apabila adanya sebuah diskontinuitas pada benda uji. Apabila waktu tunggu atau *Dwell Time* telah terpenuhi untuk sebuah cairan dapat masuk kedalam diskontinuitas Langkah selanjutnya adalah pembersihan benda uji. Proses kapiler pada sebuah benda uji berguna untuk menimbulkan dan menarik cairan penetrant ke permukaan benda uji apabila adanya diskontinuitas

Adapun beberapa Tipe dan Metode yang dapat digunakan dalam *Penetrant Testing* seperti dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 Jenis Metode pada *Penetrant Testing*

Type 1 – Fluorescent Dye	
Method A	Water washable
Method B	Post Emulsifiable, Lipophilic
Method C	Solvent removable
Method D	Post Emulsifiable, Hydrophilic
Type 2 – Visible Dye	
Method A	Water washable
Method C	Solvent removable

Penelitian kali ini menggunakan Tipe 1 *Fluorescent Dye* dan Tipe 2 *Visible Dye* dengan metode yang digunakan yaitu Metode A *Water Washable* dan Metode B *Solvent Removable*. Gambar 3 dan 4 menjelaskan mengenai Tahapan pengujian komponen ini merujuk dari standar ASTM E-165[13] serta menggunakan standar rekomendasi API 687[14] pada Gambar 3 untuk mengetahui Batasan komponen yang disebut cacat atau diskontinuitas.

8.2.1.4 Refer to ASTM E 1316 for standard terminology used in nondestructive examinations.

8.2.2 Radiography
Radiography is generally not used to evaluate rotor components due to the complex geometry. The other techniques as outlined in this section are more suitable to evaluate the component.

8.2.3 Ultrasonic Inspection
8.2.3.1 Ultrasonic inspection shall be in accordance with Section V, Articles 5 and 23, of the ASME Code.
8.2.3.2 The acceptance criteria used for Ultrasonic Inspection shall be per MIL-STD-2154 Table 6 Class AA.

8.2.4.3 Liquid penetrant inspection shall be in accordance with Section V, Article 6, of the ASME Code, Ref. ASTM E 1417. The sensitivity is to be Level 3 per ASTM E 1417.

8.2.4.4 Generalized acceptance criteria used for magnetic particle and liquid penetrant inspections shall be used in accordance with Table 1.8-1. This table lists the maximum acceptable size and distribution of indications.

Note: The criteria in Table 1.8-1 is applicable to many different components of the rotating equipment. Refer to Chapters 2 through 7 for specific application of the criteria.

8.2.4.5 All non-magnetic components shall be unrescint dye penetrant inspected. All ferro-magnetic components shall be wet magnetic particle inspected.

Table 1.8-1—Generalized NDE Acceptance Criteria

Inspection Method	Type Indication	Severity		
		A	B	C
Magnetic Particle	non linear	1.6 mm (1/16 in.)	2.4 mm (3/32 in.)	3.2 mm (1/8 in.)
	linear	0.8 mm (1/32 in.)	1.2 mm (1/16 in.)	1.6 mm (1/16 in.)
and				
Liquid Penetrant	Number of indications per 645 mm (in. ²)	2	2	3

General:
1. Crack like linear indications are cause for rejection
2. Two or more indications within 3D (where D is the length or maximum diameter of the larger of the indications) shall be considered a single indication whose size is the smallest diameter that can contain all indications in that group.
3. All indications greater than 0.4mm (0.015 in.) shall be reported.

Severity:
A: Applicable to rotating components with critical stress regions such as shaft journals, coupling hub regions, integral thrust collars, and fit regions of the shafts and fit bolts.
B: High stressed rotating components such as tie bolts, coupling hubs, and shaft fit shafts.
C: Moderately stressed areas of rotating components or high to moderately stressed stationary components such as shaft/notor main bodies.

Gambar 3 Standar pada API 687

Sebelum melakukan tahap pengujian, dibutuhkan beberapa pengecekan yang diantaranya:

- Pengecekan *UV-Light (Black Light)* Dalam pengujian menggunakan Tipe 1 dibutuhkan Langkah ini dalam pengecekan *UV light* ini dibutuhkan untuk memastikan nilai intensitas cahaya dari alat minimal 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ sesuai yang tertuang dalam ASTM E-165. Dan setelah dilakukan pengujian *black light*, didapatkan hasil intensitas cahaya pada *UV light* sebesar 1570 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ seperti pada Gambar 4 Yang artinya *UV Light* dapat digunakan dalam proses pengujian tipe 1 *Fluorescent Dye*.



Gambar 4 Pengujian *Black Light*

- Pengecekan *Ambient Light* Dalam pengujian menggunakan tipe 1 juga selain mengecek *Black light* maka diharuskan mengecek terlebih dahulu *ambient light* atau dengan kata lain mengetes seberapa banyak atau seberapa besar nilai intensitas cahaya putih yang ada dalam ruangan gelap sesuai dengan ketentuan pada ASTM E-165 tidak boleh melebihi dari 21,5 lx atau 2 fc, karena dampaknya apabila nilainya lebih besar dari yang ditentukan, akan menyulitkan dalam proses pengecekan menggunakan tipe 1. Pada pengujian kali ini di dapatkan hasil *ambient light* atau intensitas

cahaya berwarna putih dalam ruangan gelap sebesar 1 lx seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 yang artinya ruangan gelap ini cocok untuk dilakukan pengujian



Gambar 5 Pengujian *Ambient Light*

- Pengecekan *White Light* ini dilakukan untuk menunjang pengujian menggunakan tipe 2 karena sesuai yang tertuang dalam ASTM E-165 bahwa suatu ruangan yang akan digunakan untuk pengujian tipe 2 harus memiliki nilai *white light* minimum sebesar 1000 lx agar mampu memberikan cahaya yang optimal untuk melihat hasil dari pengujian. Pada pengujian kali ini, didapatkan nilai *white light* sebesar 1282 lx seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, yang artinya intensitas lampu putih mencukupi untuk dilakukan pengujian Tipe 2



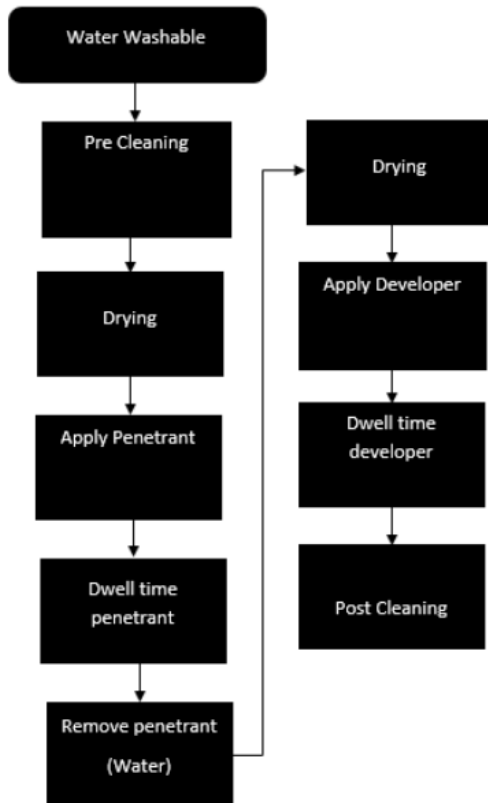
Gambar 6 Pengujian *White Light*

- Pengecekan *Ambient White Light* Pengecekan ini bertujuan untuk melihat seberapa nilai cahaya normal yang digunakan dalam pengujian, dengan hasil pengujian didapatkan nilai 431 lx seperti pada Gambar 3.11.

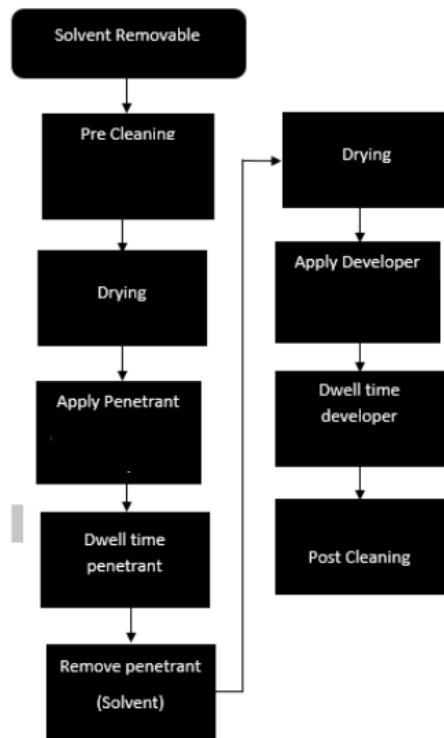


Gambar 7 Pengecekan Ambient White Light

Lalu masuk kedalam tahapan pengujian menggunakan Pada Gambar 8 untuk Metode A dan Gambar 9 untuk Metode C untuk Tipe 1 dan Tipe 2 [13].



Gambar 8 Alur Pengujian Metode A



Gambar 9 Alur Pengujian Metode A

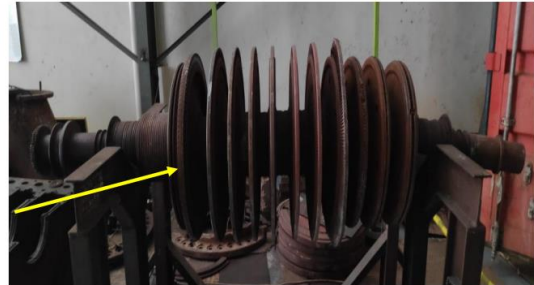
- Pembersihan benda uji sebelum pengujian Ini merupakan tahapan awal yang harus dilakukan sebelum proses inspeksi benar benar dimulai, hal ini perlu diperhatikan dalam pemilihan metodenya dilihat dari seberapa kotor dan jenis kotoran apa yang menempel pada benda uji, Pembersihan awal ini menentukan cairan penetrant dapat masuk dengan baik atau tidak.
- Pengeringan Benda Uji Setelah dilakukan pembersihan maka selanjutnya benda uji dikeringkan menggunakan kain yang benar benar bersih dan dipastikan benda uji benar benar kering.
- Pemberian Penetrant Pada tahapan ketiga ini cairan penetrant dapat diaplikasikan dengan beberapa metode tergantung tipe mana yang diambil, dapat di semprotkan, dioles kuas, atau dicelupkan terhadap cairan penetrant dengan merata yang selanjutnya diberikan waktu tunggu agar penetrant dapat masuk kedalam diskontinuitas.
- Dwell Time Penetrant Setelah benda uji di berikan penetrant, Maka benda uji tersebut di diamkan selama 5 menit sesuai dengan rujukan pada standar diiringi dengan observasi apakah keluar diskontinuitas atau indikasi lain nya atau tidak. Saat melakukan observasi Dwell Time penetrant tipe 1 *Fluorescent Penetrant Testing* harus menggunakan alat *UV light* dan di arahkan kepada benda uji untuk melihat apabila

terjadinya diskontinuitas namun untuk tipe 2 tidak usah menggunakan alat tersebut.

- Pembersihan Cairan Penetrant Pembersihan cairan penetrant pada proses ini menggunakan metode A yaitu *Water Washable* pembersihan ini dilakukan dengan cara menyemprotkan air untuk tipe A yang tekanan dan sudut nya sesuai dengan yang di syarat kan oleh standar, pembersihan cairan ini harus benar benar dipastikan benar agar benda uji benar benar bersih yang membuat tahapan selanjutnya menjadi baik tanpa kendala serta harus dilakukan secara hati hati agar cairan yang telah 35 masuk kedalam diskontinuitas tidak ikut terbuang dan untuk metode C *Solvent Removable*, dilakukan dengan cara menyemprotkan cairan solvent kepada benda uji.
- Pengeringan Benda Uji Pengeringan pada tahapan ini sama dengan pengeringan pada tahapan awal dengan baik dan optimal.
- Pemberian Developer Setelah dilakukan pengeringan, maka selanjutnya masuklah ke tahapan pemberian developer, developer ini berwarna putih dengan jenis wet. Hal ini bertujuan agar apabila adanya diskontinuitas yang artina cairan penetrant sudah masuk ke bagian yang terdapat diskontinuita, setelah diberikan developer maka akan dapat dengan mudah tampak dipermukaan dengan menggunakan mata telanjang.
- *Dwell Time Developer* Waktu tunggu developer ini memiliki tujuan agar apabila adanya diskontinuitas pada benda uji, maka diskontinuitas tersebut akan terlihat dan tampak pada permukaan benda uji dengan menggunakan waktu tunggu sesuai standar yaitu 10 menit. Observasi ini pun dilakukan menggunakan UV Light untuk tipe 1 *Fluorescent Dye* agar apabila adanya diskontinuitas dapat terlihat kepermukaan dengan jelas dan dengan mata telanjang untuk tipe 2 *Visible Dye*.
- Proses Inspeksi Setelah 8 tahapan diatas dilakukan maka selanjutnya masuk kepada proses inspeksi, proses ini sendiri harus benar benar dilakukan secara teliti untuk menentukan komponen tersebut memiliki diskontinuitas atau tidak, dan jangan sampai ada sisi yang terlewatkan.
- Post Cleaning Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dalam proses inspeksi yang berfungsi untuk mengembalikan kondisi semula benda uji sebelum di uji, 36 dipastikan tidak ada cairan apapun yang masih menempel pada benda uji karena akan membuat benda uji korosi apabila masih ada cairan yang tertinggal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Blade Rotor Turbin Uap yang diproduksi menggunakan Mesin CNC 5 Axis sejumlah 1 batch *Blade Rotor* seperti pada Gambar 10 sejumlah 35 buah *Blade Rotor* seperti yang di tunjukkan ada Gambar 11.



Gambar 10 Menunjukkan posisi Batch 1



Gambar 11 Satu Batch Rotor

Setelah dilakukan pengujian menggunakan NDT ditemukan sebuah indikasi pada satu diantara 35 *Blade Rotor* yang baru dibuat saat dilakukan aplikasi developer di kedua tipe dan kedua metode pembersihan, Setelah di observasi lebih lanjut ternyata indikasi tersebut adalah *nonrelevant indication* seperti pada Gambar 12, Hal ini dapat terjadi karena permukaan *Rotor* yang kurang halus sehingga menyebabkan cairan penetrant terjebak di dalam permukaan yang kasar, selanjutnya *Blade Rotor* dilakukan proses pemolesan dan kemudian tidak ditemukan Kembali *nonrelevant indication*.



Gambar 12 *Blade Rotor Nonrelevant Indication*

Setelah dilakukan observasi bahwa ada bagian yang kurang halus yang menimbulkan *nonrelevant indication* maka selanjutnya *Blade* tersebut mendapatkan perlakuan *polishing* untuk

penghalusan tanpa mengurangi dimensi *Blade Rotor* dan setelah dilakukan *polishing* dengan *wool wheel* seperti pada Gambar 13 maka dilakukan kembali proses pengujian NDT dan didapatkan hasil yang baik dan lolos kriteria sesuai yang tertera pada Gambar 3.



Gambar 13 Proses pemolesan

Adapun proses *polishing* ini dilakukan untuk bagian yang terdapat non relevant indication dengan menggunakan *wool wheel* yang di pasangakan pada mesin gerinda, dengan kecepatan keliling roda gerinda seperti yang dijelaskan pada Persamaan 1 [14]

$$POS = n \times \frac{\pi \cdot d}{1000 \cdot 60} \quad m/s$$

$$POS = 2850 \times \frac{22}{7} \cdot \frac{200}{1000 \cdot 60} \quad m/s$$

$$POS = 29,85 \text{ m/s}$$

Keterangan:

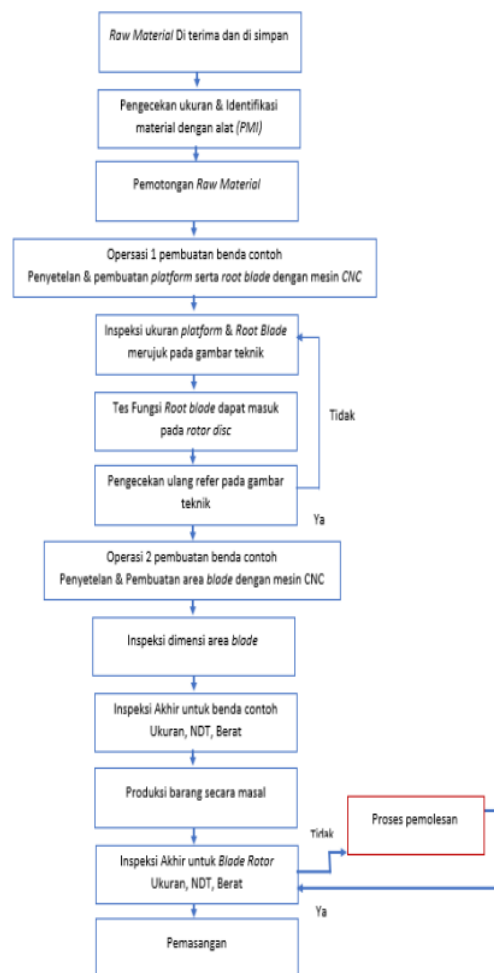
- POS = Peripheral operating speed atau kecepatan keliling roda gerinda dalam satuan meter/detik
- n = Kecepatan putar roda gerinda/menit (rpm)
- d = Diameter roda gerinda dalam satuan milimeter.
- 60 = Konversi satuan menit ke detik
- 1000 = Konversi satuan meter ke milimeter

Nonrelevant indication ini karena ada bagian yang kurang halus pada permukaan yang menimbulkan *nonrelevant indication* sehingga perlu perbaikan dan pengujian ulang, namun pada kasus ini ada sedikit perbedaan bahwa hanya ada 1 diantara 35 *Blade Rotor* yang ditemukan *nonrelevant indication*, besar kemungkinan hal ini terjadi karena pisau pemotong didalam mesin CNC yang sudah tumpul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan berdampak pada *Blade Rotor* terakhir.



Gambar 14 Pisau Pemotong Tumpul

Maka dari itu didapatkan hasil bahwa harus adanya tambahan dalam tahapan dalam proses pembuatan *Blade Rotor* yaitu *polishing* Seperti pada Gambar 15 setelah proses NDT apabila ditemukan adanya *nonrelevant indication* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

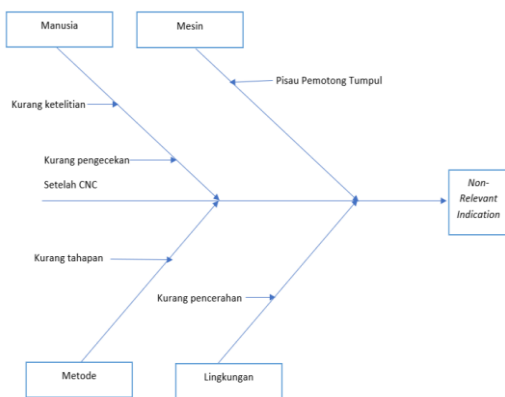


Gambar 15 Revisi Alur pembuatan *Blade Rotor*

Hal ini bertujuan untuk memberikan gambaran apabila terjadinya *nonrelevant indication* akan berdampak pada waktu pengerjaan dan biaya yang dikeluarkan. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi adanya *nonrelevant*

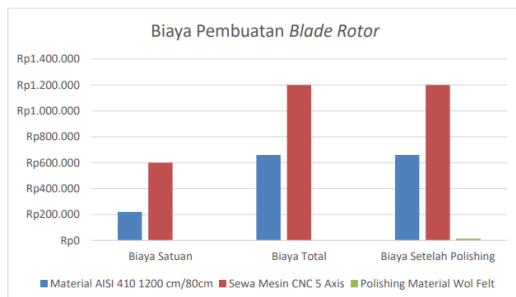
indication pada 1 Blade Rotor diantara 35 yang diantaranya yaitu karena faktor manusia, mesin, metode, serta lingkungan. Faktor pertama adalah manusia yang memiliki tanggung jawab untuk menyetel semua yang ada di mesin CNC agar sesuai bentuk dan ukurannya, namun tenaga kerja masih terkadang kurang ketelitian dalam memasukan data yang di haruskan, Faktor kedua yaitu pisau pemotong pada mesin CNC yang tumpul saat proses pembuatan Blade Rotor terakhir.

Faktor yang ketiga adalah faktor metode yang dirasa masih kurang dipahami oleh tenaga manusia serta faktor terakhir adalah lingkungan yang memiliki pencahayaan kurang. Adanya nonrelevant indication ini bukan lah cacat yang dapat merusak benda, namun tetap harus dilakukan proses selanjutnya agar nonrelevant indication ini tidak muncul kembali, hal ini menjadi salah satu bentuk penjaminan kualitas perusahaan. Penjelasan di atas di buat dalam diagram sebab akibat pada Gambar 16.



Gambar 16 Metode Sebab Akibat

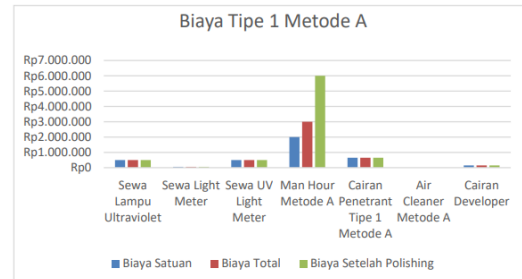
Gambar 17 menjelaskan Total Biaya produksi untuk 1 row atau 35 buah Blade Rotor membutuhkan biaya sebesar Rp. 1.860.000 namun karena adanya proses polishing maka di butuhkan Kembali biaya tambahan sebesar Rp.15.000 untuk 1 Blade Rotor yang ditemui nonrelevant indication.



Gambar 17 Biaya Produksi Blade Rotor

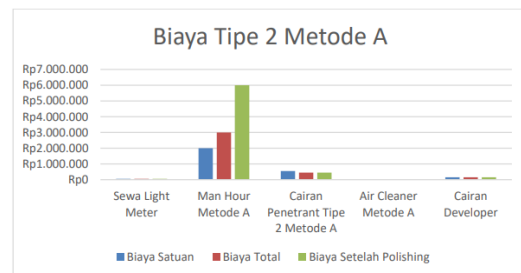
Gambar 18 menjelaskan Total biaya pengujian untuk 35 Blade Rotor menggunakan

Tipe 1 Fluorescent Dye dengan Metode A Water Washable sejumlah Rp. 4.850.000, namun dikarenakan terjadi nonrelevant indication pada salah satu Blade Rotor maka harus dilakukan pengujian ulang yang membuat bertambahnya biaya man hour sebesar dua kali lipat dengan total biaya Rp. 7.850.000



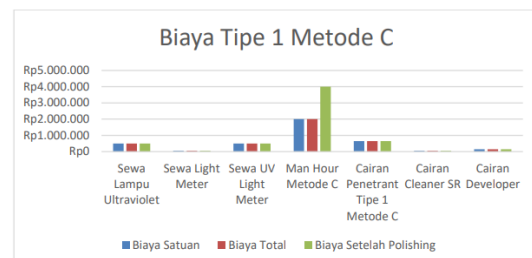
Gambar 18 Biaya Pengujian Tipe 1 Metode A

Gambar 19 menjelaskan Total biaya pengujian untuk 35 Blade Rotor menggunakan Tipe 2 Visible Dye dengan Metode A Water Washable sejumlah Rp. 3.650.000, namun dikarenakan terjadi nonrelevant indication pada salah satu Blade Rotor maka harus dilakukan pengujian ulang yang membuat bertambahnya biaya man hour sebesar dua kali lipat dengan total biaya Rp. 6.650.000



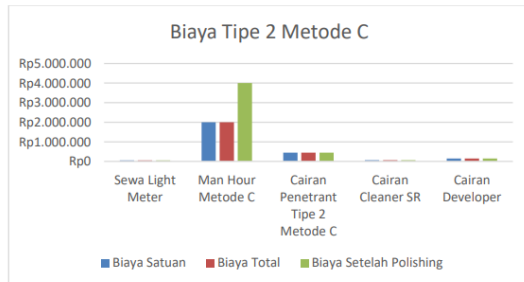
Gambar 19 Biaya Pengujian Tipe 2 Metode A

Gambar 20 menjelaskan Total biaya pengujian untuk 35 Blade Rotor menggunakan Tipe 1 Fluorescent Dye dengan Metode C Solvent Removable sejumlah Rp.3.906.000 namun dikarenakan terjadi nonrelevant indication pada salah satu Blade Rotor maka harus dilakukan pengujian ulang yang membuat bertambahnya biaya man hour sebesar dua kali lipat dengan total biaya Rp. 5.906.000



Gambar 20 Biaya Pengujian Tipe 1 Metode C

Gambar 21 menjelaskan Total biaya pengujian untuk 35 *Blade Rotor* menggunakan Tipe 2 *Visible Dye* dengan Metode C *Solvent Removable* sejumlah Rp.2.706.000 namun dikarenakan terjadi *nonrelevant indication* pada salah satu *Blade Rotor* maka harus dilakukan pengujian ulang yang membuat bertambahnya biaya man hour sebesar dua kali lipat dengan total biaya Rp. 4.706.000



Gambar 21 Biaya Pengujian Tipe 2 Metode C

Perbandingan biaya dari 4 proses pengujian, Tipe 1 Metode A membutuhkan biaya paling besar dan Tipe 2 Metode C membutuhkan biaya paling rendah. Maka dari itu Pilihan tipe dan metode terbaik dari segi biaya yaitu Tipe 2 Metode C

KESIMPULAN

Dari pengujian ini ditemukan 1 diantara 35 *Blade Rotor* pada 1 *Batch* yang masuk dalam kategori *nonrelevant indication* yang selanjutnya dilakukan observasi lanjutan dan ditemukan adanya kekasaran pada bagian permukaan akibat pisau pemotong mesin CNC yang tumpul.

Biaya yang dikeluarkan untuk membuat *Blade Rotor* sebanyak 1 *batch* adalah sebesar Rp. 1.860.000 namun karena ada proses tambahan *polishing* maka ada penambahan biaya produksi Rp. 15.000.

Dengan pengujian NDT *Penetrant Test* dengan Tipe 1 *Fluorescent Dye* akan lebih mudah terlihat apabila adanya diskontinuitas, namun memiliki biaya yang lebih besar dibandingkan Tipe 2 *Visible Dye*. Metode pembersihan tipe A *Water Washable* akan lebih baik dibandingkan metode C *Solvent Removable* karena tidak akan meninggalkan sisa cairan *penetrant* yang membuat *non relevant indication* namun apabila tidak bersih akan menyebabkan korosi.

Solusi yang dapat dilakukan Maka dari itu dilakukan proses *polishing* dengan metode *mechanical polishing* menggunakan wool wheel secara manual, dan setelah dilakukan proses *polishing* lalu di uji kembali tidak ditemukan adanya *nonrelevant indication*. Maka penulis menambahkan 1 tahapan yaitu proses pemolesan, sebelum pengujian akhir NDT apabila ditemukan

adanya *non relevant indication*. Perlu ditambahkan pengecekan menggunakan *Visual inspection* setelah benda keluar dari mesin CNC sebelum pengujian NDT agar tidak terjadi dua kali proses pengujian. Dapat diberikan informasi kepada konsumen bahwa biaya Tipe 1 Metode C lebih unggul untuk dilakukan pengujian secara dalam lab Rp.3.906.000. Untuk luar lab Tipe 2 Metode C lebih unggul karena bahan dan material pengujian dapat digunakan di lokasi outdoor yang minim listrik maupun air, serta biaya yang dibutuhkan sebesar Rp. 2.706.000. Untuk waktu pengujian tercepat dapat dilakukan dengan Tipe 2 Metode C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Muslih, M. A. Shidiq, and R. Hidayat, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling 5 Axis Tipe 5570 berbasis Software Mach3" Universitas Pancasakti Tegal, 2019
- [2] W ing Hendropasetyo "Training Hand Out Liquid *Penetrant Testing*." Institut Sepuluh Nopember Surabaya, 2009
- [3] X. Guirong, G. Xuesong, Q. Yuliang, and G. Yan, "Analysis and Innovation for *Penetrant Testing* for Airplane Parts," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2015, pp. 1438–1442. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.681.
- [4] D. N. Aini, "Pengaruh Waktu Diam dan suhu penetrant terhadap hasil pengujian RIB Airbus A320 Menggunakan Metoda *Fluorescent Penetrant Test*." Tugas Akhir, Politeknik Negeri Bandung, 2016
- [5] Novriyanti "Analisa Perbandingan hasil inspeksi pada perbaikan *Blade* stator Turbin Uap dengan prosedur non destructive testing menggunakan tipe *Fluorescent* dan *Visible Dye Penetrant Test*". Tugas Akhir, Politeknik Negeri Bandung, 2017
- [6] Y. Kong, C. J. Bennett, and C. J. Hyde, "A review of non-destructive testing techniques for the in-situ investigation of fretting fatigue cracks," *Materials and Design*, vol. 196. Elsevier Ltd, Nov. 01, 2020. doi: 10.1016/j.matdes.2020.109093.

- [7] Novriyanti “Analisa perbandingan dua metode pada pembuatan *Blade Rotor* Turbin Uap dengan pengujian *Penetrant Test*”. Skripsi, Universitas Jayabaya 2021 <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/rot>
- [8] M. Bin Ardin and R. Anwar Syarif, “Pages 68-76 Susilawati, Masri Bin Ardin, Rafi Anwar Syarif 69 | VANOS,” *VANOS Journal Of Mechanical Engineering Education*, vol. 68, no. 1, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/vanos>
- [9] S. Deivanai and M. Soni, “Non destructive testing and analysis of friction stir welded aluminium alloy 2024 pipes,” *Mater Today Proc.*, vol. 56, pp. 3721–3726, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.470.
- [10] K. Kong, K. Dyer, C. Payne, I. Hamerton, and P. M. Weaver, “Progress and Trends in Damage Detection Methods, Maintenance, and Data-driven Monitoring of Wind Turbine *Blades* – A Review,” *Renewable Energy Focus*. Elsevier Ltd, 2022. doi: 10.1016/j.ref.2022.08.005.
- [11] M. Opačić, A. Sedmak, G. Bakić, N. Milošević, and N. Milovanovic, “Application of advanced NDT methods to assess structural integrity of pressure vessel welded joints,” *Procedia Structural Integrity*, vol. 42, pp. 1185–1189, 2022, doi: 10.1016/j.prostr.2022.12.151.
- [12] “Mustangin_buku turbin uap_Politeknik Perkebunan”.
- [13] “Standard Practice for Liquid *Penetrant Testing* 1”, doi: 10.1520/E1417_E1417M-16. [14] “Rotor Repair API RECOMMENDED PRACTICE 687 FIRST EDITION, SEPTEMBER 2001.”
- [14] M. Ikhsan Almadani, R. Siswanto, and P. Studi Teknik Mesin, “PROSES MANUFAKTUR MESIN POLES DAN AMPELAS UNTUK PROSES METALOGRAFI,” vol. 2, 2020, [Online]. Available: