

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)

Pembangkit listrik tenaga uap adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal dan karena efisiensinya yang cukup tinggi pembangkit listrik tenaga uap paling banyak digunakan karena menghasilkan listrik dengan nilai yang ekonomis (Rakhman, 2013)

Pembangkit listrik Tenaga Uap merupakan pembangkit yang mempunyai 3 tahapan konversi energi :

1. Pertama, energi kimia yang dimana bahan bakar diubah menjadi energi uap yang memiliki tekanan dan temperatur suhu yang tinggi.
2. Kedua, energi panas (uap) kemudian diubah menjadi energi mekanik yang dimana hasil keluaran energi ini berupa putaran
3. Ketiga, energi mekanik diubah lagi menjadi energi listrik.

Adapun kelebihan dan kekurangan PLTU dirangkum dalam bentuk tabel sebagai berikut (rizal, 2023) :

Tabel 2.1 kelebihan dan kekurangan PLTU
(Rizal, 2023)

Kelebihan	Kekurangan
Dapat dioperasikan menggunakan berbagai jenis bahan bakar (padat, cair, gas) .	Sangat tergantung pada persediaan stok bahan bakar.
Dapat dibangun dengan kapasitas bervariasi .	Tidak dapat dioperasikan (start) tanpa pasokan listrik dari luar.
Dapat dioperasikan dengan berbagai mode pembebanan.	Memerlukan tersediaan air pendingin yang sangat banyak dan kontinyu.
Kontinuitas operasi tinggi.	Investasi awalnya mahal.
Usia pakai (life time) relatif lama.	

2.1.2 Komponen-komponen utama pltu

Pada suatu unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap terdapat suatu rangkaian komponen-komponen pendukung yang bertujuan sebagai penunjang jalannya Pembangkit Listrik Tenaga Uap tersebut, disini ada beberapa komponen penting PLTU sebagai berikut:

a. Boiler

Merupakan komponen yang berbentuk bejana tertutup yang dimana panas hasil pembakaran dialirkan ke air sehingga terjadinya proses penguapan atau proses terbentuk nya *steam*. yang dimana air demin dipanaskan menggunakan bahan bakar hingga menghasilkan uap. (andreas, 2022) .

b. Turbin

Turbin merupakan komponen yang berfungsi sebagai penggerak yang dimana cara kerjanya mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. dimana uap panas yang ditunjukkan gradien temperatur yang dikonversikan oleh turbin menjadi energi kinetik yang nantinya menuju sudu-sudu turbin yang nantinya energi kinetik itu dikonversi menjadi energi mekanik, bertujuan menggerakkan generator (Apriandi, 2016)

c. Kondensor

Kondensor merupakan komponen yang dimana digunakan untuk merubah uap panas dari turbin menjadi air dialirkan menuju kondensor dengan sistem kondensasi. Dalam instalasi yang terdapat didalam kondensor menggunakan sistem *shell and tube* yang dimana air dingin mengalir didalam *tube* dan uap panas dari turbin dialirkan diluar *tube* (Ariyanto, 2019)

d. Generator

Generator merupakan komponen yang berfungsi mengkonversi energi mekanik yang diakibatkan berputarnya sudu-sudu turbin, dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan istilah memanfaatkan gaya gerak listrik (Nuraffi, 2023)

2.1.3 Boiler

Boiler merupakan yang dimana berfungsi sebagai komponen yang digunakan untuk merubah air menjadi uap. *Boiler* juga memiliki susunan komponen komponen penting didalamnya seperti *furnace*, *steam drum*, *super heater*, *economizer*. Uap yang dihasilkann boiler sendiri adalah uap *superheated* dengan temperatur dan *pressure* yang tinggi *Boiler* atau dapat menghasilkan uap sampai tekanan 1 atmosfer lebih, sehingga energi kalor yang dihasilkan dalam sistem kerja boiler memiliki *pressure* yang tinggi, temperature yang tinggi dan laju aliran yang mennentukan pemanfaatan *steam* atau uap kering yang digunakan (Ariyanto, 2019)

2.1.4 Unit boiler pada pltu 3x10 mw unit tanjung enim

Unit boiler yang digunakan di PLTU PT. BEST 3X10 MW berjenis *boiler CFB*. *Boiler CFB* memiliki cara kerja dengan menginjeksikan udara ke pembakaran primer menggunakan *bed* material yang berupa pasir. Udara yang dimasukan pada kecepatan tertentu akaan menyebabkan bed material terangkat dan terjadinya fluidisasi yang memudahkan dalam proses pencampuran antara bahan bakar dan udara sehingga memepercepat proses pembakaran (Wijayanto, 2018)



Gambar 2.1 *boiler CFB*

Adapun spesifikasi dari pada *boiler* CFB yang berada di PLTU PT. BEST Unit Tanjung Enim dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 2.2 spesifikasi boiler di PLTU PT. BEST
(PT. BEST, 2023)

No	Nama	Keterangan
1	Tipe	Circulation fluidized bed
2	<i>Rated Evaporation Capacity</i>	56 T/H
3	<i>Rated Steam Pressure</i>	5,4 Mpa
4	<i>Rated Steam Temperature</i>	485°C
5	<i>Feed Water Temperature</i>	150°C
6	<i>Gas Exhaust Temperature</i>	140°C
7	<i>Continous Blow Down Efficiency</i>	2%
8	<i>Cold Air Temperature</i>	30°C
9	<i>Hot Air Temperature</i>	150°C
10	<i>Boiler Desain Heat Efficiency</i>	90,27%
11	<i>Manufacture</i>	Jiangxi Jiangliang Energy China

2.1.5 Superheater

Super heater adalah salah satu komponen pada *boiler* yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh sampai menjadi uap panas atau uap kering (*superheated steam*). Pipa *super heater* memiliki perananan penting atau vital, karena jika terjadi masalah atau gangguan maka dapat terjadinya penurunan kinerja, maka tingkat temperatur keadaan uap yang dihasilkan akan menjadi lebih rendah yang nantinya berdampak ke daya yang dihasilkan oleh turbin (Endriyana, 2013).

Adapun data operasional untuk pipa *super heater* yang berada di PLTU PT. BEST 3x10 MW Unit Tanjung Enim dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.3 Data operasional *superheataer*
(PT. BEST, 2023)

No	Nama	Keterangan
1	<i>Pressure Superheater</i>	4.81 Mpa
2	<i>Velocity</i>	5900.0 m/s
3	Suhu	497°C
4	<i>Capacity Superheater</i>	36.65 t/h

2.1.6 Jenis pipa superheater pada pltu pt. Best 3x10 mw

Jenis pipa *super heater* yang digunakan di PLTU PT. BEST 3x10 MW unit Tanjung Enim menggunakan pipa *super heater* berjenis pipa baja paduan rendah. Pipa baja paduan rendah atau disebut pipa baja karbon rendah merupakan komponen pipa baja dengan kandungan unsur karbon yang kurang dari 0,25% C, pipa baja dengan jenis ini tidak dapat dikeraskan dikarenakan kandungan karbonnya tidak mencukupi untuk terbentuknya *martensit* (Nofri, 2018)

Adapun kandungan kimia pipa baja yang digunakan di PLTU TE 3X10 MW tersebut adalah 12Cr1MoVG, adapun kandungan penyusun kimia pipa baja paduan tersebut seperti tabel dibawah berikut:

Tabel 2.4 kandungan penyusun pipa
(PT. BEST, 2022)

Chemical Composition (%)											
Al	Cu	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Cu	P	S
										Max	
0.01	0.00	0.1	0.2	0.5	1.0	0.2	0.1	0.0	≤0.2	0.01	0.000
0	2	1	3	4	0	7	7	2	0	1	7

Tabel 2.5 sifat mekanik pipa baja 12Cr1MoVG
(PT. BEST, 2022)

Steel Pipe	Tensile properties					Impact energy (Ak _v), J
	Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Elongation %		Potrait	Landscape
			Potrait	landscape		
	Max					
12Cr1MoVG	502~518	397~413	29.5	28.0	40	27



Gambar 2.2 pipa *super heater*

2.1.7 Elbow superheater

Elbow itu sendiri komponen perpipaan yang memiliki tujuan membelokan arah aliran dalam instalasi sistem perpipaan, kerusakan yang paling sering terjadi pada pipa *elbow* atau penyambung disebabkan karena adanya faktor perubahan sudut yang dimana akibatnya kecepatan aliran yang berlebihan dan aliran yang dihasilkan tidak menentu akibatnya mengenai dinding pipa *elbow* (Rofiq, 2022)

2.1.8 Jenis-jenis penyebab kegagalan pada pipa elbow

Kegagalan pada pipa *elbow* sangat banyak faktor seperti pengoperasian yang tidak standar, temperatur tinggi, lingkungan yang *abrasif* dan *pressure* yang tinggi dari faktor tersebut dapat memunculkan variasi kegagalan lainnya seperti *overheating*, *pitting corrosion*, *creep*, *thermal fatigue*, *erosion*, *stress corrosion cracking*, dan *corrosion fatigue*. Berikut penjelasan masalah kegagalan tersebut dijelaskan di dalam tabel dibawah ini (Ariyanto, 2019)

Tabel 2.5 jenis-jenis penyebab kegagalan pipa *elbow*
(Ariyanto, 2019)

Jenis kegagalan	Penjelasan
<i>Overheating</i>	Yaitu pengoperasian unit yang terlalu berlebihan atau diluar batas penggunaan yang menyebabkan timbulnya panas berlebih.
<i>Pitting corrosion</i>	Korosi yang memiliki bentuk seperti sumur atau lubang-lubang kecil yang terjadi di lapisan logam.
<i>Creep</i>	Adalah proses terjadinya deformasi permanen kegagalan pada logam saat temperatur tinggi

Jenis kegagalan	Penjelasan
<i>Erosion</i>	Pengikisan yang disebabkan oleh aliran <i>fluida/steam</i> yang memiliki tekanan tinggi.
<i>Thermal fatigue</i>	Adanya terjadinya perubahan siklus tegangan dan regangan yang tidak merata pada benda akibat gradien temperatur pada benda. Seperti temperatur yang tinggi, seringnya terjadi siklus pemanasan dan pendinginan
<i>Corrosion fatigue</i>	Korosi yang disebabkan logam mendapatkan beban dengan siklus yang terus berulang-ulang sehingga logam mengalami patah.
<i>Stress corrosion cracking</i>	Korosi yang disebabkan logam mengalami perubahan bentuk dengan cara ditarik, di bending dll, sehingga dari aktivitas tersebut menyebabkan butiran retakan.

2.1.9 Korosi

Korosi adalah proses pengikisan atau degradasi pada sebuah logam yang terjadi adanya akibat interaksi dengan lingkungan disekitarnya. Maka interaksi tersebut terjadi karena adanya reaksi kimia ataupun elektrokimia yang nantinya mengakibatkan korosi. Faktor yang paling banyak mempengaruhi korosi adalah kontak langsung logam dengan oksigen dan air, keberadaan elektrolit, suhu, ph, dan jenis logam (Ariyanto, 2019)

2.1.10 Erosi

Erosi dan korosi memiliki pengertian yang hampir sama yaitu kegagalan atau penurunan kualitas atau mutu suatu material akibat adanya reaksi dengan lingkungan. Jika korosi terjadi adanya keterlibatan unsur kimiawi maka berbeda dengan erosi dimana terjadi akibat secara fisik. Proses kegagalan pada suatu material sangat jarang ditemukan yang terjadi akibat erosi murni, biasanya ada campur tangan korosi meskipun keterlibatan korosi sangat sedikit jumlahnya. Sehingga proses kegagalan ini disebut kegagalan korosi erosi material (Ariyanto, 2019)

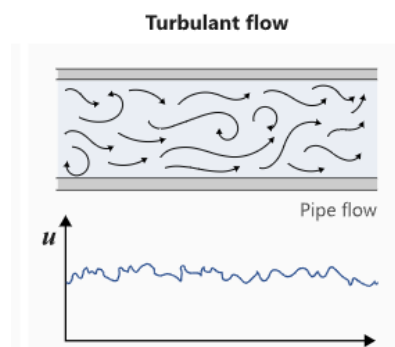
2.1.11 Korosi erosi

Korosi erosi adalah korosi yang terjadi pada sebuah permukaan material logam yang disebabkan aliran fluida yang sangat cepat sehingga merusak permukaan logam dan lapisan pelindung logam. Ada beberapa macam penyebab terjadinya korosi erosi pada logam, diantaranya (Ariyanto, 2019)

- Aliran turbulen, tekanan geser berfluktuasi dan dampak tekanan.
- Adanya dampak partikel padat tersuspensi.
- Adanya dampak *Liquid Droplet* yang tersuspensi dalam aliran berbentuk uap dengan kecepatan tinggi.
- Adanya dampak gelembung uap gas yang tersuspensi dalam aliran berbentuk cair.
- Terjadinya proses pecahnya gelembung udara yang menggumpal pada proses kavitasi.

2.1.12 Aliran turbulen

Aliran turbulen memiliki cara untuk mengalirkan partikel-partikelnya yaitu dengan 2 cara dengan penambahan gaya fluida dan penurunan tekanan lokal ketika pusat dari turbulen itu sedang berjalan.

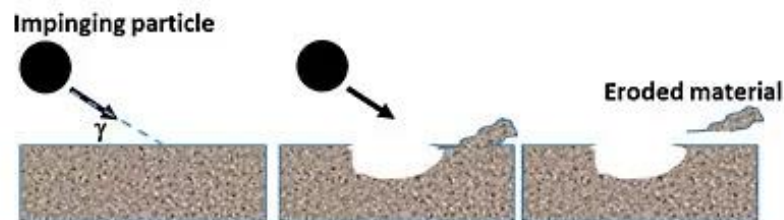


Gambar 2.3 aliran turbulen
(Altair, 2021)

Aliran turbulen memiliki pola fluktuasi kecepatan yang acak atau kacau. Garis aliran antar partikel terjadi silang menyilang, sedangkan aliran turbulen memiliki pola gelombang yang serupa tetapi dengan fluktuasi yang saling berinteraksi (Ariyanto, 2019)

2.1.13 *Solid particle impingement*

Sebuah proses kegagalan yang terjadi pada material dimana kegagalan ini terjadi akibat terjadi antara partikel *solid* saling berbenturan, dari benturan tersebut menyebabkan kerusakan terhadap kedua jenis lapisan pelindung (hambatan difusi tebal dan lapisan pasif) yang nantinya menyebabkan terjadinya korosi erosi. Partikel-partikel *solid* jika terjadi benturan seperti ini dan hal itu terjadi pada logam dapat mengikis logam dan permukaan logam secara keseluruhan. Dimana tingkat erosi yang terjadi merupakan fungsi dari energi kinetik dimana kecepatan dan sudut dampak benturan ditentukan oleh hasil kerapatan dan ukuran partikel.



Gambar 2.4 proses *Solid Particle Impingement*
(Ansys, 2017)

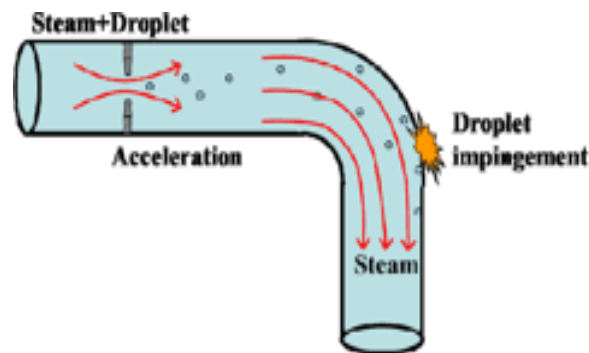
Bentuk dari partikel dan kekerasan mikro dari permukaan partikel dapat mempengaruhi kekuatan efektif yang dihasilkan saat terjadi benturan, dengan begitu partikel dengan bentuk pasir bulat menghasilkan tingkat erosi dua kali lebih besar dari erosi yang disebabkan manik-manik kaca dalam sistem yang sama (Ariyanto, 2019)



Gambar 2.5 contoh kerusakan akibat proses solid particle impingement

2.1.14 *Liquid droplet impingement*

Liquid Droplet Impingement adalah kegagalan yang terjadi akibat proses pengikisan yang berlangsung secara terus menerus terhadap material. Adapun mekanisme kegagalan dari proses *Liquid Droplet Impingement* yaitu terjadi adanya hantaman *Liquid Droplet* yang dibawa aliran uap atau gas berkecepatan tinggi, hantaman ini melibatkan material yang *solid* dengan tetesan cairan yang membuat terbentuknya tekanan implusif dan destruktif. Erosi ini jika terjadi pada aliran turbulen dampak hasilnya jauh lebih tinggi dan fatal. Sehingga pipa sering mengalami kerusakan dan bahkan kebocoran akibat benturan dari *droplet*.



Gambar 2.6 proses terjadinya *Liquid Droplet Impingement* (Fujisawa, 2012)

Pada proses terjadinya erosi *Liquid Droplet Impingement* dimulai dari tahap awal, dimana tahap ini permukaan pada material hanya mengalami *deformasi* elastis. Pada tahap selanjutnya yaitu percepatan, erosi mulai terjadi di permukaan yang disebabkan konsentrasi tegangan yang disebabkan akibat melebihi batas *fatigue* material, dan dengan cepat. Tahap selanjutnya terjadinya penipisan dinding material menuju tahap maksimum (erosi tingkat maksimum). Ketika permukaan material menjadi kasar dan rusak oleh akibat deformasi plastik, akibatnya tingkat penipisan material pun menurun karena adanya efek bantalan oleh kehadiran pelapis cair yang berada diatas permukaan kasar atau disebut juga tahap deselerasi, setelah itu proses dari penipisan dinding sampai di tingkat akhir, dimana tingkat erosi nantinya konstan terhadap waktu (Ariyanto, 2019)

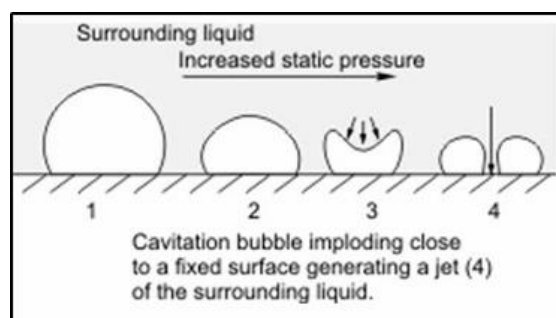
2.1.15 Air bubble impingement

Proses erosi ini terjadi akibat adanya hantaman antara gelembung udara dengan kecepatan yang sangat tinggi, jika semakin tinggi nilai dari kecepatan gelembung udara tersebut maka dampak dari erosi yang dihasilkan atau berdampak maka semakin besar. Disini kecepatan gelembung udara yang tinggi dan aliran yang tidak stabil sehingga saat terjadi hantaman antara gelembung udara menjadi lebih besar dan menyebar (Ariyanto, 2019)

2.1.16 Kavitasasi

Adalah proses terbentuknya gelembung-gelembung uap didalam cairan yang dipompa yang diakibatkan turunnya tekanan cairan sampai dibawah tekanan uap jenuh cairan, seperti contoh air pada tekanan 1 ATM akan mendidih dan menjadi uap pada suhu 100°C , tetapi jika tekanan di rendahkan maka air dapat mendidih dengan temperatur yang lebih rendah, bahkan jika tekanan cairan diturunkan sampai yang lebih rendah maka air dapat mendidih disuhu kamar (Ariyanto, 2019).

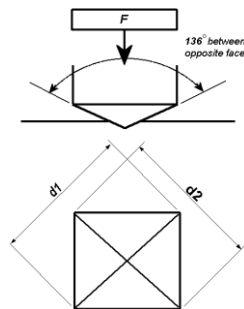
Proses terbentuknya gelembung sampai gelembungnya pecah hanya memerlukan waktu 0,003 detik. Gelembung ini akan terbawa fluida menuju daerah yang mempunyai tekanan yang lebih besar dari pada tekanan uap jenuh cairan. Pada daerah tersebut gelembung akan mengalami pecah dan gelembung akan memberikan *shock* pada dinding terdekat tersebut. Sehingga cairan akan masuk secara serentak ke daerah yang mengalami pecah akibat kavitasasi sehingga akibatnya terjadi tumbukan. Gejala kavitasasi pada umumnya terjadinya getaran, peforma menurun, dan terjadinya suara berisik (Karassik, 1987)



Gambar 2.7 proses terjadinya kavitasasi (Dayat, 2019)

2.1.17 Uji Kekerasan (*hardness Test*)

pengujian *hardness test* atau uji kekerasan sebuah pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai atau hasil tingkat kekerasan yang terdapat pada spesimen yang akan diuji, dengan standar ASTM E92. Pengujian *hardness test* sendiri masuk kedalam pengujian yang tak merusak atau *Non Destructive Test* (Antono, 2018)



Gambar 2.9 prinsip kerja mesin uji *vickers* (Novotest,2023)

Berikut rumus mencari diagonal rata rata sebagai berikut :

$$D = \frac{d1 + d2}{2} \quad \text{Persamaan 2.1}$$

Keterangan :

d1 = diagonal 1

d2 = diagonal 2

kemudian berikut rumus untuk menghitung nilai kekerasan *vickers* (HV)

menurut *Groover* dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut: Persamaan 2.2

$$Hv = \frac{1.854 \cdot F}{D^2}$$

Keterangan

Hv = *Hardness vickers*

F = beban yang diterapkan

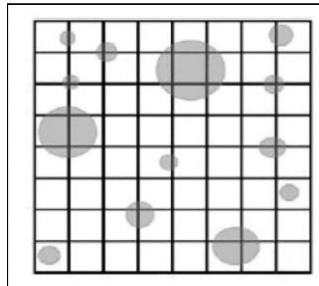
D = panjang rata rata diagonal jejak indentasi (mm)

2.1.18 Uji Metalografi (struktur mikro)

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui fasa struktur mikro dari material pipa *elbow* 90° masalah *elbow* terletak pada akibat setelah dilakukan *bending*, dan akibat pemanasan. pengujian metalografi ini dilakukann berdasarkan pada ASTM E562, yang merupakan satandar pengujian yang nantinya digunakan untuk menentukan fraksi volume dengan sistem perhitungan manual (*Point Count*) dan menghitung rata-rata butir yang berdasarkan pada ASTM E112 dengan menggunakan metode *Hilliard* (Nurmalasari, 2017)

Adapun cara menentukan jumlah fasa struktur mikro pada material sebagai berikut:

1. Metode *Point Count* (Nurmalasari, 2017)



Gambar 2. Kotak-kotak pembantu perhitungan (Metallurgical facts, 2021)

$$P_{Ms} = \frac{Q_{Ms}}{Q_o} \times 100\% = \%$$

Persamaan 2.3

Keterangan:

P_{Ms} = Presentase Mikrostruktur Tertentu

Q_{Ms} = Jumlah Titik Mikrostruktur Tertentu

Q_o = Jumlah Titik Total

2. Metode *Hilliard* (Imami, 2018)

$$G = -10 - 6,64 \log \frac{LT}{P.M}$$

Persamaan 2.4

Keterangan:

G = besaran butir ASTM

LT = total keliling lingkaran

P = total jumlah perpotongan lingkaran dengan butiran

M = perbesaran

2.1.19 Simulasi software (ansys)

Ansys merupakan salah satu perangkat lunak yang berbasis CAE yang memiliki beberapa fitur analisis, diantaranya adalah CFD, DPM, analisis static structural yang banyak digunakan untuk menganalisis aliran dan kekuatan struktur benda terhadap proses fisik sebuah gaya. Adapun penelitian ini menggunakan ANSYS mempersingkat waktu dan memperkecil biaya yang dikeluarkan (Octavianus, 2022)

2.1.20 Pengamatan visual

Pada tahap pengamatan visual, pada proses ini dilakukan dengan melakukan pengamatan visual fisik spesimen material, adapun hasil dari pengamatan ini bertujuan untuk melihat kondisi fisik material berupa ketebalan spesimen, kerusakan spesimen, perubahan warna spesimen dan dalam spesimen, perubahan deformasi pipa *elbow super heater*, serta melihat adanya kecacatan material spesimen tanpa menggunakan alat bantu. Semua pengamatan visual ini digunakan sebagai cara untuk mengetahui kondisi fisik spesimen yang dilakukan tanpa alat bantu apapun (Ariyanto, 2019)

2.2 Kajian Pustaka

Pada saat melakukan penelitian atau pembuatan tugas akhir dan pengamatan ilmiah, diperlukan beberapa referensi ilmu dan literasi dan sumber bacaan sebagai acuan atau referensi dalam pembuatan tugas akhir ini yang dimana literasi yang diambil cukup berkaitan. Adapun judul yang diangkat ialah “ANALISIS KEGAGALAN PIPA ELBOW 90° SUPERHEATER TERHADAP PERLAKUAN *BENDING* MENGGUNAKAN *HYDRAULIC PIPE BENDER* DI PT. BEST PLTU 3X10 UNIT TANJUNG ENIM”. Berikut adalah beberapa referensi yang diambil dalam penelitian ini ialah:

(Lubis dan Tanti, 2010) melakukan penelitian mengenai Analisis Limit Momen Pipa Elbow Dengan Beban *In-Plane Bending* penelitian ini berisi mengenai elbow yang mengalami bending pada bidang (*in-plane bending*) lebih kaku untuk *opening* dari pada untuk *closing*, ditandai dengan limit momen yang tinggi untuk

kasus *opening bending*. Hal ini di karenakan pada *in-plane opening bending* sumbu mayor ovaliasi ada pada bidang *bending*, sedangkan pada kasus *in-plane closing bending* sumbu mayor tegak lurus bidang *bending*. Arah sumbu ni mempengaruhi momen inersia penampang dan kekakuan pipa elbow.

(Renatasari et.al., 2017) melakukan penelitian mengenai Analisis Kekuatan Pipa Elbow 90° Dengan Variasi D/T Pada Pipeline Akibat Momen Bending penelitian ini berisi mengenai fenomena *buckling* pada pipa *elbow* yang disebabkan oleh momen *bending* yang dimana dilakukan terhadap pipa lurus kemudian ditekuk dengan mempertimbangkan variasi kondisi pembebanan yang diberikan pada pipa. Berdasarkan hasil penelitian dengan variasi D/t dan modulus penampang semakin naik sehingga momen terjadi semakin besar dengan *yield stress* tetap pada setiap variasi kondisi pembebanan yaitu D/t 79.96 dengan nilai momen $4,5 \times 10^6 \text{ Nm}$ pada kondisi pembebanan *outplane*, namun dengan semakin besarnya nilai D/t pipa elbow 90° maka semakin kecil nilai deformasi oval yang terjadi pada tiap variasi kondisi pembebanan. Yang dimana jika nilai D/t pada pipa elbow 90° maka nilai modulus penampang semakin naik sehingga momen yang terjadi semakin besar dengan *yield stress* tetap pada setiap variasi kondisi pembebanan yaitu *inplane* , *outplane* dan *in-outplane*.

(Vendy Antono et.al., 2018) melakukan penelitian dengan judul Kegagalan Platen Tube Superheater PLTU Teluk Sirih penelitian ini berisi mengenai penyebab kerusakan tube disebabkan akibat pengaruh bagian tube yang terkena panas terus-menerus dari uap *boiler* yang menyebabkan perubahan fasa dari lebih kuat (*perlite*) menjadi fasa lebih rendah (*ferrit*). Oleh karena itu, bagian mudah korosi terkena uap panas yang kandungannya bukan 100% murni air , lalu rontok tersapu pada akhirnya tube menjadi berlubang. Terlebih lubang terjadi dibagian yang merupakan bagian dengan gesekan tertinggi di saluran. Uap panas dapat menyebabkan pemuaiian dan *elbow* menyebabkan rongga-rongga ini akan membentuk retakan-retakan kecil, lalu bergabung dengan retakan retakan kecil lainnya lalu, menjadi besar menjadi retakan besar.

(Sasongko dan Nugroho,2016) melakukan penelitian dengan judul Analisi Kegagalan Pipa Elbow 180° Pada Furnace dari penelitian ini berisi tentang

pengukuran sampel terdapat 3 metode pengujian yaitu pengujian metalografi , pengujian rockwell dan vickers, terakhir untuk menunjang hasil pengujian laboratorium dilakukan pengujian pada laboratorium pada permukaan patahan dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*). Dari hasil pengujian tadi ditemukan penyebab kegagalan pipa elbow 180° tersebut yang dimana disebabkan oleh *decarburization* yang terjadi pada permukaan material dan mekanisme awal terjadinya Kegagalan disebabkan inisiasi retakan yang dipercepat lajunya oleh pengaruh erosi *fluida crude oil* sehingga terjadinya patahan . inisiasi retakan sendiri timbul karena adanya *thermal fatigue* yang disebabkan beban panas yang bersifat fluktuatif yang diterima material.

(Adrian et.al., 2016) melakukan penelitian dengan judul Analisa Kerusakan Superheater Tube Boiler Tipe ASTM A213 Grade T11 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada penelitian berisi mengenai kerusakan pipa *super heater* yang mengalami kerusakan berupa pecah keluar (*burst*) dikarenakan penipisan pipa, pada penelitian ini menggunakan 3 cara pengujian yaitu pengujian metalografi, kemudian pengujian *hardness* dan pengujian SEM. Dari ketiga hasil pengujian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut: hasil metalografi menunjukkan struktur mikro pada material ini adalah *ferrit* dengan ukuran butir pada daerah yang rusak lebih besar dari pada daerah yang masih baik pada hasil metalografi ditunjukkan juga adanya *void* atau *crack* yang muncul pada batas butir. Pada pengujian *hardness* diketahui bahwa daerah masih baik memiliki kekerasan rata-rata 52 HRB dan pada daerah yang mengalami kerusakan memiliki hasil uji kekerasan 25,5 HRB. Dari data SEM diketahui bekas patahan ulet dan terdapat *intergranular crack* pada permukaan.

(Sutowo,2019) melakukan penelitian dengan judul Analisa Kegagalan Retak Pada Pipa *Fitting* Baja Karbon Jenis TEE.Jurnal ini membahas analisis kegagalan pada pipa fitting baja karbon yang retak. Studi ini menginvestigasi penyebab kerusakan melalui observasi visual, analisis komposisi kimia, metalografi, pengujian kekerasan, dan fraktografi menggunakan SEM. Hasilnya menunjukkan bahwa retakan disebabkan oleh tegangan sisa dan dekarburisasi yang disebabkan oleh pengontrolan temperatur yang tidak tepat selama proses manufaktur. Hal ini

menyebabkan ketidak homogenan butir dan perbedaan struktur pada komponen, yang mengakibatkan konsentrasi tegangan tinggi. Temuan ini dapat digunakan untuk menerapkan langkah-langkah pencegahan dan perawatan untuk menghindari kegagalan serupa.

(Wicaksono dan Ilman,2018) melakukan penelitian dengan judul Investigasi kebocoran Pipa Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap 65 MW Jurnal ini membahas penyelidikan kebocoran pipa dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap berkekuatan 65 MW. Studi ini bertujuan untuk menentukan penyebab kegagalan pipa dan memberikan rekomendasi untuk pencegahan dan perbaikan. Berbagai tes dilakukan, termasuk pengamatan visual, pengujian tarik, pengujian komposisi, pengujian kekerasan, dan analisis struktur mikro. Hasilnya menunjukkan bahwa kegagalan pipa disebabkan oleh korosi oksidasi. Jurnal ini menyimpulkan bahwa tindakan segera diperlukan untuk mengatasi masalah kebocoran pipa. Untuk mencegah korosi oksidasi, beberapa langkah dapat dilakukan seperti pengaturan excess air, pengoperasian dan pemeliharaan boiler yang baik, serta pemeriksaan rutin terhadap kondisi pipa boiler. Jurnal ini juga merekomendasikan retubing pipa karena diprediksi ketebalan pipa waterwall boiler akan menipis menjadi 71% dari ukuran desain awal pada tahun 2019.

(Nofri dan Fardiaansyah,2018) melakukan penelitian dengan judul Analisis Sifat Mekanik Pipa *Carbon Steel* Grade A A106 Dan Grade B A53 Untuk Proses Produksi Pada Kilang LNG Studi ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik pipa baja karbon (Grade A A106 dan Grade B A53) yang digunakan dalam proses produksi di pabrik gas alam cair. Studi ini membandingkan sifat mekanik dan struktur mikro pipa sebelum dan setelah 10 tahun penggunaan. Parameter yang dianalisis meliputi komposisi kimia, kekerasan, kekuatan tarik, dan struktur mikro. Hasilnya menunjukkan penurunan kekerasan dan kekuatan tarik pada pipa setelah 10 tahun penggunaan, menunjukkan penipisan dinding pipa akibat korosi. Studi ini menyimpulkan bahwa pipa perlu diganti setelah 10 tahun penggunaan. Penelitian ini difokuskan pada sifat-sifat pipa baja karbon, khususnya grade A A106 dan grade B A53. Studi ini mencakup pengujian komposisi kimia, kekuatan tarik, struktur mikro, dan kekerasan material. Hasilnya menunjukkan bahwa kedua grade baja

karbon memiliki kandungan karbon rendah dan terutama terdiri dari mangan. Kekuatan tarik grade A lebih tinggi daripada grade B karena adanya Molibdenum. Struktur mikro kedua grade menunjukkan struktur pearlitik dengan jenis grafit lamel yang berbeda. Kekerasan grade A lebih tinggi daripada grade B karena kandungan Kromium yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa kedua grade baja karbon memenuhi standar yang diperlukan dan memiliki sifat yang sesuai untuk aplikasi yang dimaksudkan. Dalam pengujian kekuatan tarik baja karbon grade A dan grade B, ditemukan bahwa baja karbon grade A memiliki kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon grade B. Perbedaan ini disebabkan oleh jenis material, perlakuan yang diberikan, dan komposisi yang berbeda. Selain itu, terdapat juga perbedaan dimensi antara kedua.

(Darmawan,2018) melakukan penelitian dengan judul Pengujian Ketangguhan Dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Yang Telah Mengalami Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatmen*). Dalam jurnal ini, dibahas hasil dari proses perlakuan panas pada baja karbon rendah. Ketangguhan impak dan mikrostruktur baja tersebut diuji setelah mengalami proses pemanasan dan pendinginan yang berbeda. Nilai ketangguhan impak rata-rata tertinggi diamati pada baja yang dipanaskan hingga suhu 500°C dan didinginkan dengan minyak. Analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa baja tersebut mengandung persentase yang tinggi dari ferit, yang berkontribusi pada kelembutan baja tersebut. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa proses perlakuan panas dan media pendinginan secara signifikan mempengaruhi ketangguhan impak dan mikrostruktur baja. Dalam jurnal ini, dibahas hasil dari studi tentang perlakuan panas pada baja. Dikemukakan nilai rata-rata ketahanan panas untuk suhu dan media pendinginan yang berbeda. Juga dibahas mikrostruktur baja dan efek dari perlakuan panas yang berbeda terhadap sifat-sifatnya.

(Fadhli dan Iltek,2017) melakukan penelitian dengan judul Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Belokan Pipa (Elbow) Terhadap Kecepatan Aliran Fluida Dan Kerugian Tekanan, Jurnal ini membahas tentang pengaruh belokan pipa (elbow) terhadap kecepatan aliran fluida dan kerugian tekanan. Penelitian

dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerugian tekanan dan kecepatan aliran fluida dipengaruhi oleh ukuran dan sudut belokan pipa. Studi ini memberikan wawasan bagi industri dan rumah tangga yang terlibat dalam desain dan analisis sistem perpipaan. Selain itu, jurnal ini juga menyebutkan pentingnya penggunaan alat ukur digital yang lebih canggih untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Saran yang diberikan adalah melakukan penelitian selanjutnya dengan menggunakan fluida lain sebagai pembanding.