# ANALISIS KEGAGALAN STRUKTUR PIPA ELBOW 90° SUPER HEATER TERHADAP PERLAKUAN *BENDING* MENGGUNAKAN *HYDRAULIC PIPE BENDER* DI PT. BEST PLTU 3X10 UNIT TANJUNG ENIM

## LAPORAN SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan**
**Sarjana Terapan Program Studi Teknik Mesin Produksi Dan Perawatan**

**Oleh:**

**Surya Ramadhan**
**061940211904**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**
**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA**
**PALEMBANG**
**2023**

# FAILURE ANALYSIS OF THE ELBOW 90° SUPERHEATER PIPE STRUCTURE TO BENDING TREATMENT USING A HYDRAULIC PIPE BENDER AT PT. BEST PLTU 3X10 MW UNIT TANJUNG ENIM

## FINAL PROJECT REPORT

**Submitted to Comply with Terms of Study Completion in Mechanical Engineering Production and Maintenance Study Program**

**by:**

**Surya Ramadhan**
**061940211904**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT**
**STATE POLYTECHNIC SRIWIJAYA**
**PALEMBANG**
**2023**

# ANALISIS KEGAGALAN STRUKTUR PIPA ELBOW 90° SUPERHEATER TERHADAP PERLAKUAN *BENDING* MENGGUNAKAN *HYDRAULIC PIPE BENDER* DI PT. BEST PLTU 3X10 UNIT TANJUNG ENIM

**LAPORAN SKRIPSI**

**Disetujui oleh Dosen Pembimbing Laporan Skripsi**
**Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan**

| Pembimbing Utama | Pembimbing Pendamping |
|---|---|
| **Fenoria Putri, S.T.,M.T.** | **Hendradinata, S.T.,M.T.** |
| **NIP 197202201998022001** | **NIP 198603102019031016** |

**Mengetahui,**
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Ir. Sairul Effendi, M.T.**
**NIP 196309121989031005**



Dipindai dengan CamScanner

# HALAMAN PENGESAHAN
# LAPORAN SKRIPSI

Laporan skripsi ini diajukan oleh:

| | |
|---|---|
| Nama | : Surya Ramadhan |
| NIM | : 061940211904 |
| Program Studi | : Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan |
| Rencana judul | : **ANALISIS KEGAGALAN STRUKTUR PIPA ELBOW 90° SUPER HEATER TERHADAP PERLAKUAN *BENDING* MENGGUNAKAN *HYDRAULIC PIPE BENDER* DI PT. BEST PLTU 3X10 UNIT TANJUNG ENIM** |

Telah selesai diuji dalam Sidang Sarjana Terapan
dihadapan Tim Penguji pada tanggal 10 Agustus 2023 dan diterima sebagai
bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan
Pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya

## TIM PENGUJI

| No | Nama | Posisi Penguji | Tanda Tangan | Tanggal |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Fenoria Putri, S.T.,M.T.<br>NIP. 197202201998022001 | Ketua | | 21/8-'23 |
| 2. | Ir. Sailon, M. T.<br>NIP. 196005041993031001 | Anggota | | 15/8/23 |
| 3. | Mardiana, S.T.,M.T<br>NIP. 196402121993032001 | Anggota | | 18/08/23 |

Palembang, agustus 2023
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Sairul Effendi, M.T
NIP.196309121989231005



Dipindai dengan CamScanner

# ABSTRAK


**ANALISI KEGAGALAN STRUKTUR PIPA ELBOW 90° SUPERHEATER TERHADAP PERLAKUAN BENDING MENGGUNAKAN HYDRAULIC PIPE BENDER DI PT. BEST PLTU 3X10 MW UNIT TANJUNG ENIM**

**Surya**
xvi + 60 halaman, 12 tabel, 4 lampiran

Pembangkit listrik tenaga uap merupakan pembangkit listrik yang paling banyak digunakan. Uap yang dihasilkan tersebut akan dialirkan menggunakan pipa *superheater*. Komponen yang sering mengalami kegagalan adalah pipa *elbow superheater*, Metode yang digunakan *purposive sampling*, metode pengujian adalah pengujian kekerasan, uji metalografi dan simulasi ansys dimana untuk pengujian berdasarkan ASTM. Setelah dilakukan proses pengujian didapatkan hasil kekerasan *vickers* dengan rata-rata Hv pipa *elbow superheater* pabrikan dengan nilai 241,76 Hv, untuk sampel *pipa elbow bending* dengan nilai 204,07 Hv, sampel pipa *elbow* bocor 235,1 Hv. Untuk hasil pembacaan kandungan struktur mikro didapatkan persentase fasa struktur mikro dari sampel yang diuji adalah pipa *elbow super heater* pabrikan dengan persentase *perlit* 53,50% dan *ferrit* 27,50%, sampel pipa *elbow superheater bending* kandungan *perlit* 43,00% dan *ferrit* 36,00%, sampel pipa *elbow superheater* bocor kandungan *perli*t 37,50% dan *ferrit* 43,00%. jadi kesimpulannya pipa *elbow superheater* yang memiliki kekerasan tinggi dan kandungan *perlit* dan *ferrit* yang bagus terdapat pada sampel pipa *ebow superheater* pabrikan, pipa *elbow superheater bending* manual mengalami pengurangan fasa *perlit* dan penambahan fasa *ferri*t dapat disimpulkan sampel ini ketahanan dan kekerasan berkurang, sampel pipa *elbow superheater* bocor mempunyai kekerasan yang tinggi dikarenakan terjadinya proses *heat treatment* dan timbul fasa *martensit* akibat pemanasan, adapun persentase *perlit* berkurang dan bertambahnya *ferrit*, dan jika material semakin banyak *ferrit* maka pipa dalam menahan *pressure* berkurang.



**Kata kunci**: analisis kegagalan, uji kekerasan vickers, uji metalografi, *elbow super heate*r, *bending*.

# ABSTRACT


**FAILURE ANALYSIS OF THE ELBOW 90° SUPERHEATER PIPE STRUCTURE TO BENDING TREATMENT USING A HYDRAULIC PIPE BENDER AT PT. BEST PLTU 3X10 MW UNIT TANJUNG ENIM**

**SURYA**

xvi + 60 pages, 12 tables, 4 appendices

Steam power plants are the most widely used power plants. The steam produced will be channeled using a superheater pipe. The component that often fails is the superheater elbow pipe. The method used is purposive sampling. The test method is hardness testing, metallographic testing and ansys simulation where testing is based on ASTM. After the testing process was carried out, the Vickers hardness results obtained with an average Hv of the manufacturer's superheater elbow pipe with a value of 241.76 Hv, for elbow bending pipe samples with a value of 204.07 Hv, leaky elbow pipe samples 235.1 Hv. For the results of reading the microstructure content, the percentage of the microstructure phase of the sample tested was the factory elbow super heater pipe with a percentage of 53.50% pearlite and 27.50% ferrite, the superheater bending elbow pipe sample contained 43.00% perlite and 36,00% ferrite. samples of leaking superheater elbow pipes contain 37.50% perlite and 43.00% ferrite. so in conclusion superheater elbow pipes that have high hardness and good pearlite and ferrite content are found in factory ebow superheater pipe samples, manual bending elbow superheater pipes experience a reduction in pearlite phase and addition of ferrite phase it can be concluded that this sample has reduced resistance and hardness, superheater elbow pipe samples Leaking has a high hardness due to the heat treatment process and a martensite phase arises due to heating, while the percentage of pearlite decreases and ferrite increases, and if there is more ferrite in the material, the pressure in the pipe will decrease.



**Keywords:** failure analysis, vickers hardness testing, metalograpgy testing, elbow super heater, bending

# HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

| | |
|---|---|
| Nama | : Surya Ramadhan |
| NIM | : 061940211904 |
| Program Studi | : Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan |
| Rencana judul | : **ANALISIS KEGAGALAN STRUKTUR PIPA ELBOW 90° SUPER HEATER TERHADAP PERLAKUAN *BENDING* MENGGUNAKAN *HYDRAULIC PIPE BENDER* DI PT. BEST PLTU 3X10 UNIT TANJUNG ENIM** |

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya sendiri dan didampingi oleh tim dosen pembimbing dan **bukan hasil penjiplakan/plagiat.** Apabila dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan /plagiat dalam skripsi yang saya buat, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari politeknik negeri sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dala keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Palembang, Juli 2023

Surya Ramadhan
NIM. 061940211904

Dipindai dengan CamScanner

# PRAKATA

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,*
Salam sejahtera untuk kita semua
Alhamdulillahirobbil'alamin, puji dan syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya

Selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini mendapatkan banyak bimbingan serta bantuan dari awal sampai selesai dari berbagai pihak untuk itu, dari ketulusan hati penulisan menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Tuhan yang Maha Esa, karena dengan izinnya dapat menyelesaikan rangkaian kegiatan kerja praktek dan menyusun Laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Orangtua dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan secara moral dan materi serta nasihat sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan lancar.
3. Bapak Ir. Sairul Effendi, S,T.,M.T., selaku ketua jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
4. Ibu Ella Sundari, S.T.,M.T, selaku Ketua Program Studi D-IV TMPP Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Ibu Fenoria Putri, S.T.,M.T., selaku Pembimbing utama Laporan Tugas Akhir
6. Bapak Hendradinata, S.T.,M.T., selaku pembimbing pendamping Laporan Tugas Akhir
7. Sahabat-sahabatku tercinta semua yang telah banyak berbagi keceriaan, kebersamaan dan kesulitan yang kita lalui bersama

Ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah menjadi *support system* tidak bisa dijelaskan satu persatu. Akhir kata, menyampaikan permohonan maaf atas kesalahan yang terdapat dalam Laporan Tugas Akhir. Semoga laporan ini dapat menjadi bahan pembelajaran khususnya bagi penulis, umumnya bagi pembaca dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi dunia Industri maupun Pendidikan di Indonesia.
Terimakasih
*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Palembang , juli 2023

Penulis

# DAFTAR ISI

**HALAMAN JUDUL** ..... **i**
**HALAMAN PERSETUJUAN** ..... **ii**
**HALAMAN PENGESAHAN** ..... **iii**
**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN SKRIPSI** ..... **iv**
**ABSTRAK** ..... **v**
**ABSTRACT** ..... **vi**
**HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS** ..... **vii**
**PRAKATA** ..... **viii**
**DAFTAR ISI** ..... **ix**
**DAFTAR GAMBAR** ..... **x**
**DAFTAR TABEL** ..... **xii**
**DAFTAR SIMBOL** ..... **xiii**
**DAFTAR LAMPIRAN** ..... **xiv**

**BAB I PENDAHULUAN** ..... **1**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Tujuan dan manfaat ..... 5
1.2.1 Tujuan ..... 5
1.2.2 Mafaat ..... 5
1.3 Rumusan dan batasan masalah ..... 6
1.4 Sistematika Penulisan ..... 7

**BAB II TINJAUAN UMUM** ..... **9**
2.1 Landasan Teori ..... 9
2.1.1 Pembangkit listrik tenaga uap ..... 9
2.1.2 Komponen-komponen utama PLTU ..... 10
2.1.3 Boiler ..... 11
2.1.4 Unit boiler pada PLTU 3x10 unit Tanjung Enim ..... 11
2.1.5 Super heater ..... 12
2.1.6 Jenis pipa *super heater* pada PLTU PT.BEST 3x10 MW ..... 12
2.1.7 Elbow super heater ..... 14
2.1.8 Jenis-jenis penyebab kegagalan pada pipa elbow ..... 14
2.1.9 Korosi ..... 15
2.1.10 Erosi ..... 15
2.1.11 Korosi Erosi ..... 16
2.1.12 Aliran Turbulen ..... 16
2.1.13 *Solid Particle Impengement* ..... 17
2.1.14 *Liquid Droplet Impengement* ..... 18
2.1.15 *Air bubble Impengement* ..... 19
2.1.16 Kavitasi ..... 19
2.1.17 Uji Kekerasan Vickers (Hardness Test) ..... 20

2.1.18 Uji Metalografi ..... 20
2.1.19 Simulasi Software (Ansys) ..... 22
2.1.20 Pengamatan Visual ..... 22
2.2. Kajian Pustaka ..... 22

**BAB III METODOOLOGI PENELITIAN ..... 28**
3.1 Diagram Alir ..... 28
3.2 Objek Penelitian ..... 30
3.3 Metode Pengambilan Sampel ..... 31
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian ..... 31
3.5 Metode Pengumpulan Data ..... 32
3.6 Metode Analisis Data ..... 33
3.6.1 Parameter Penelitian ..... 33
3.6.2 Pengolahan Data ..... 35

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 36**
4.1 Hasil Penelitian ..... 36
4.1.1 Uji Kekerasan ..... 36
4.1.2 Uji Metalografi ..... 45
4.1.3 Simulasi aliran pipa *elbow* 90° *superheater* ..... 49
4.1.4 Pengamatan Visual ..... 51
4.2 Pembahasan ..... 55
4.2.1 Pembahasan Uji Validitas Data ..... 55
4.2.3 Pembahasan Uji Kekerasan ..... 56
4.2.4 Pembahasan Uji Metalografi ..... 58
4.2.4 Pembahasan Simulasi Software Ansys ..... 60

**BAB V KESIMPULAN ..... 61**
5.1 Kesimpulan ..... 61
5.2 Saran ..... 62

**DAFTAR PUSTAKA ..... xv**

**LAMPIRAN**

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 rekapitulasi kerusakan boiler unit 3 periode januari-februari ..... 2
Gambar 1.2 rekapitulasi kerusakan boiler unit 3 periode november-desember..... 3
Gambar 1.3 rekapitulasi kerusakan boiler unit 3 periode januari-februari ..... 4
Gambar 2.1 *Boiler* CFB ..... 11
Gambar 2.2 Pipa *Super Heater* ..... 14
Gambar 2.3 Aliran Turbulen ..... 16
Gambar 2.4 Proses *Solid Particle Impengement* ..... 17
Gambar 2.5 Contoh Kerusakan Akibat Proses *Solid Particle Impengement* ..... 17
Gambar 2.6 Proses Terjadinya *Liquid Droplet Impengement* ..... 18
Gambar 2.7 proses terjadinya kavitasi ..... 19
Gambar 2.9 Prinsip Kerja Mesin Uji *Vickers* ..... 20
Gambar 2.10 Kotak-Kotak Pembantu Perhitungan ..... 21
Gambar 3.1 Diagram Alir ..... 29
Gambar 3.2 PLTU PT. BEST 3x10 MW unit Tanjung Enim ..... 30
Gambar 3.3 Sampel Pipa *Elbow Super Heater* 90° ..... 30
Gambar 4.1 Sampel Uji Kekerasan *Vickers* Pabrikan ..... 35
Gambar 4.2 hasil indentor lokasi titik 1 sampel pipa *elbow* pabrikan ..... 35
Gambar 4.3 hasil indentor lokasi titik 2 sampel pipa *elbow* pabrikan ..... 36
Gambar 4.4 hasil indentor lokasi titik 3 sampel pipa e*lbow* pabrikan ..... 37
Gambar 4.5 Sampel Uji Kekerasan *Vickers Bending* ..... 37
Gambar 4.6 hasil indentor lokasi titik 1 sampel pipa *elbow* bending ..... 38
Gambar 4.7 hasil indentor lokasi titik 2 sampel pipa *elbow bending* ..... 39
Gambar 4.8 hasil indentor lokasi titik 3 sampel pipa *elbow bending* ..... 40
Gambar 4.9 Sampel Uji Kekerasan *Vickers* Pecah/Bocor ..... 39
Gambar 4.10 hasil indentor lokasi titik 1 sampel pipa *elbow* bocor ..... 41
Gambar 4.11 hasil indentor lokasi titik 2 sampel pipa *elbow* bocor ..... 42
Gambar 4.12 hasil indentor lokasi titik 3 sampel pipa *elbow* bocor ..... 43
Gambar 4.13 Pengujian Struktur Mikro Pembesaran 1000x ..... 44
Gambar 4.14 Hasil Struktur Mikro Pembesaran 200x *Elbow* Pabrikan ..... 44
Gambar 4.15 Perhitungan Struktur Mikro Metode *Hillard* ..... 45
Gambar 4.16 Hasil Struktur Mikro Pembesaran 1000x *elbow bending* ..... 45
Gambar 4.17 Perhitungan Fasa Struktur Mikro Dengan Metode *Point Count* ..... 46
Gambar 4.18 Perhitungan Butir Dengan Metode *Hillard* ..... 46
Gambar 4.19 Hasil Struktur Mikro Pembesaran 1000x *Elbow* Bocor ..... 47
Gambar 4.20 Perhitungan Fasa Struktur Mikro Dengan Metode *Point Count* ..... 47
Gambar 4.21 Hasil perhitungan *gran size* struktur mikro metode *hillard* ..... 48
Gambar 4.22 QR CODE Video Simulasi Pipa *Elbow* 90° *Super heater* ..... 49
Gambar 4.23 contur simulasi steam volume ..... 49
Gambar 4.24 contur simulasi water volume ..... 49
Gambar 4.25 Grafik $HV_{rata\text{-}rata}$ Uji Kekerasan *Vickers* ..... 55

Gambar 4.26 Grafik Hasil Kandungan Persentase Fasa Uji Metalografi ..... 57

# DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 kelebihan dan kekurangan PLTU ..... 9
Tabel 2.2 spesifikasi boiler di PLTU PT. BEST ..... 12
Tabel 2.3 Data Operasional *Super Heater* ..... 12
Tabel 2.4 Kandungan Penyusun Pipa ..... 13
Tabel 2.5 Sifat Mekanik Pipa Baja 12Cr1MoVG ..... 13
Tabel 2.6 Jenis-Jenis Penyebab Kegagalan Pipa *Elbow* ..... 14
Tabel 4.1 hasil pengujian kekerasan sampel pipa elb*ow super heater* pabrikan .. 37
Tabel 4.2 hasil pengujian kekerasan sampel pipa *elbow super heater bending*.... 39
Tabel 4.3 hasil pengujian kekerasan sampel pipa *elbow super heater* bocor ..... 41
Tabel 4.4 data simulasi ansys ..... 46
Tabel 4.5 hasil pengamatan visual sampel pipa *elbow* 90° *super heater* ..... 48
Tabel 4.6 hasil pengujian validitas hasil uji kekerasan *vickers* spesimen pipa *elbow* pabrikan, spesimen pipa *elbow bending* manual, spesimen pipa *elbow* bocor ..... 54

# DAFTAR SIMBOL

| | | Satuan |
|---|---|---|
| ° | : Melambangkan sudut atau kemiringan | ° |
| $d_1$ | : diagonal 1 jejak indentor uji kekerasan vickers | mm |
| $d_2$ | : diagonal 2 jejak indentor uji kekerasan vickers | mm |
| D | : panjang rata-rata jejak indentasi uji kekekerasan vickers | mm |
| *Hv* | : *Hardness Vickers* | $kgf/mm^2$ |
| F | : Beban dalam penekanan uji kekerasan *vickers* | Kgf |
| LT | : Keliling Lingkaran | mm |
| P | : Total Jumlah Butiran | |
| M | : Perbesaran Mikroskop | |
| G | : Gran Size atau Ukuran Butir Fasa | |

# DAFTAR LAMPIRAN

1. Gambar hasil titik pengujian vickers
2. Lembar rekomendasi bimbingan
3. Hasil pengujian kekerasan vickers
4. Hasil pengujian struktur mikro