



**ANALISIS STATIS KONSTRUKSI DAN *LANCE TUBE*
SOOTBLOWER TIPE MOTORISED ROTARY
MENGUNAKAN *SOFTWARE SOLIDWORKS 2016***

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Program studi teknik mesin**

Oleh

Ahmad Felani

NIM.5212414036

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Ahmad Felani

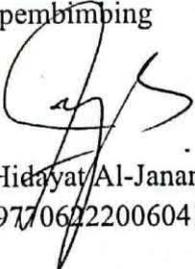
NIM : 5212414036

Program Studi : Teknik Mesin S1

Judul : Analisis Statis Konstruksi Dan *Lance Tube Sootblower* Tipe
Motorised Rotary Menggunakan *Software Solidworks 2016*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 07 November 2019
Dosen pembimbing


Dony Hidayat Al-Janani ST, MT, Ph.D.
NIP. 197706222006041001

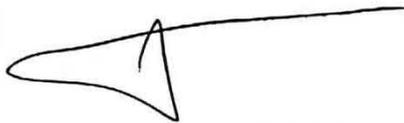
PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Analisis Statis Konstruksi Dan Lance Tube Sootblower Tipe Motorised Rotary Menggunakan Software Solidworks 2016” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 27 bulan November tahun 2019

Oleh

Nama : Ahmad Felani
NIM : 5212414036
Program Studi : Teknik Mesin

Ketua



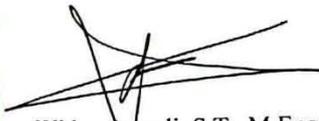
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Panitia:
Sekretaris



Samsudin Anis S.T., M.T.Ph.D
NIP. 197601012003121002

Penguji 1



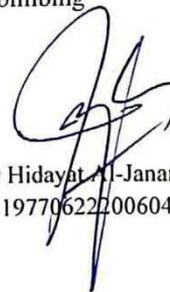
Widya Aryadi, S.T., M.Eng.
NIP. 197209101999031001

Penguji 2



Kriswanto, S.Pd., M.T.
NIP. 198609032015041001

Pembimbing



Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197706222006041001

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Indus, M.T., I.P.M.
NIP. 19611301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 27 Desember 2019

Yang membuat pernyataan,



Ahmad Felani

NIM. 5212414036

MOTTO

- Kesempatan tidak datang dua kali, namun kesempatan datang kepadanya yang tidak pernah berhenti mencoba (Dzawin Nur).
- Hal-hal hebat hanya bisa dilakukan dengan tindakan, bukan dengan banyak bicara (Deddy Corbuzier).
- A little progress each day adds up to big result (Joker).

RINGKASAN

Felani, A. 2019. Analisis Statis Konstruksi Dan *Lance Tube Sootblower* Tipe *Motorised Rotary* Menggunakan *Software Solidworks* 2016. Dony Hidayat Al-Janan. S.T., M.T., Ph.D. Teknik Mesin.

Sootblower merupakan peralatan penunjang *boiler* yang berfungsi untuk membersihkan jelaga. *Sootblower* memerlukan konstruksi yang kuat untuk menopang komponen-komponennya agar dapat bekerja secara optimal. *Sootblower* juga tidak lepas dari beberapa kegagalan pada komponennya, komponen utama yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *sootblower* yaitu *lance tube*. Penelitian ini bertujuan menganalisis statis konstruksi dan *lance tube sootblower* jenis *motorized rotary sootblower* menggunakan *software solidworks*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu simulasi berbasis metode elemen hingga. Material yang diaplikasikan pada konstruksi yaitu St 37 dan material pada *lance tube* yaitu ASTM A213 T92.

Hasil simulasi statis menunjukkan desain konstruksi dari besi siku ukuran 35×35×6 mm mempunyai nilai *max stress* 57,50 N/mm² yang terjadi pada lubang baut, nilai *max displacement* 0,0146 mm pada batang yang menopang *bearing* dan nilai *factor of safety* 2,75 sehingga aman digunakan. Simulasi statis pada desain *lance tube* diameter 40 NB dengan empat variasi ketebalan menunjukkan nilai *max stress* tertinggi, *max displacement* tertinggi dan *factor of safety* terendah terjadi pada *lance tube* ketebalan 10,2 mm, yang mempunyai nilai *max stress* 276,24 N/mm², *max displacement* 335,53 mm dan *factor of safety* 1,59. *Lance tube* ketebalan 10,2 mm dapat dinyatakan aman karena nilai *factor of safety* sudah memenuhi batas minimal untuk pembebanan statis.

Kata Kunci: Simulasi; *Sootblower*; Konstruksi; *Lance Tube*.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Statis Konstruksi Dan *Lance Tube Sootblower Tipe Motorised Rotary* Menggunakan *Software Solidworks 2016*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Selama penulisan skripsi ini tentunya penyusun mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak yang telah mendukung dan membimbing penulis. Kasih yang tulus serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, MT, Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Samsudin Anis, S.T., M.T, Ph.D., Koordinator Program Studi Teknik Mesin S1 atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dony Hidayat Al-Janan, ST, MT, Ph.D., selaku pembimbing, terima kasih atas segala bimbingan, ajaran, dan ilmu-ilmu baru yang penulis dapatkan dari selama penyusunan skripsi ini.
4. Widya Aryadi, S.T., M.Eng. dan Kriswanto, S.Pd, M.T., selaku penguji yang telah memberi masukan dan saran yang sangat bermanfaat untuk kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT. UNNES yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
6. PT PLN (Persero) Pembangkitan Tanjung Jati B yang sudah memberikan izin untuk melakukan observasi.
7. Kedua Orang tua beserta adik yang telah memberikan doa dan dukungan selama proses pembuatan skripsi.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu memberikan dukungan.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat sebagai rujukan penelitian selanjutnya.

Semarang, 27 Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi masalah.....	3
1.3. Pembatasan masalah.....	3
1.4. Rumusan masalah.....	4
1.5. Tujuan penelitian	4
1.6. Manfaat penelitian	4
BAB II	
KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1. Kajian Pustaka	5
2.2. Landasan Teori	8
2.2.1. <i>Sootblower</i>	8
2.2.2. Fluida Bertekanan	14
2.2.3. Perpindahan Panas Konveksi	15
2.2.4. Torsi atau Momen	17

2.2.5.	Ilmu Konstruksi Mesin.....	18
2.2.6.	Spesifikasi Material.....	18
2.2.7.	<i>SOLIDWORKS</i>	20
2.2.8.	Analisis Statis.....	24
BAB III		
METODE PENELITIAN.....		28
3.1.	Desain Pemodelan	28
3.2.	Prosedur Pemodelan	29
3.2.1.	Tahap Pengumpulan Data	29
3.2.2.	Tahap Pemodelan	29
3.2.3.	Pemasukan Data Material	29
3.2.4.	Eksekusi / Komputasi.....	29
3.2.5.	Evaluasi	30
3.2.6.	<i>Output</i>	30
3.3.	Validasi Desain Pemodelan.....	32
BAB IV		
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1.	Hasil Desain Pemodelan.....	33
4.1.1.	Perhitungan Desain	33
4.1.2.	Simulasi.....	42
4.2.	Hasil Validasi Desain Pemodelan	54
4.2.1.	Validasi Desain Konstruksi <i>Sootblower</i>	54
4.2.2.	Validasi Desain <i>Lance Tube Sootblower</i>	55
BAB V		
KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
5.1.	Kesimpulan.....	59
5.2.	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA		61

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

Singkatan Teknis

ASTM = *American Standard Testing and Material*

ST = *Stahl/Steel*

DIN = *Deutsche Industrie Norm*

SS = *Stainless Steel*

Lambang

P = Tekanan (N/m^2)

F = Gaya (N)

A = Area atau luas penampang (m^2)

Q = Fluks panas (watt / m^2)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (watt / $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

T_1 = Temperatur permukaan pelat ($^\circ\text{C}$)

T_2 = Temperatur fluida yang mengalir ($^\circ\text{C}$)

T_f = Temperatur rata-rata ($^\circ\text{C}$)

Pr = Bilangan Prandtl

Re = Bilangan Rayleigh

Nu = Bilangan Nusselt

Gr = Bilangan Grashof

l = Panjang yang signifikan (m); untuk tabung atau pipa, ini adalah diameter; untuk pelat datar, panjang dalam arah aliran

u = Kecepatan fluida (m/s)

ρ	= Density (kg/m^3)
μ	= Viskositas dinamis ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)
ν	= μ/ρ = Viskositas kinematik (m^2/s)
k	= Konduktivitas termal ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)
c_p	= Spesifik panas pada tekanan constant ($\text{J}/\text{Kg}\cdot\text{K}$)
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
g	= Percepatan gravitasi (m/s^2)
ΔT	= Suhu perbedaan antara permukaan dan aliran bebas ($^{\circ}\text{C}$)
β	= Koefisien ekspansi kubik (K^{-1})
τ	= Torsi (Nm)
r	= Jarak radial dari sumbu ke titik penerapan gaya (m)
F	= Gaya (N)
L	= Jarak (m)
M	= Momen gaya (Nmm)
R	= Resultan gaya reaksi (N)
y	= Jarak titik berat (mm)
I	= Momen area (mm^4)
σ	= Tegangan atau gaya per satuan luas (N/mm^2)
P	= Beban (<i>Newton</i>)
A	= Luas penampang (mm^2)
n	= Nilai faktor keamanan
σ_{ijin}	= Tegangan yang diijinkan (N/mm^2)
σ	= Tegangan yang bekerja (N/mm^2)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kegagalan Komponen <i>Sootblower</i> Unit 1-4 PLTU Suralaya	6
Gambar 2.2 Komponen <i>Motorised Rotary Sootblower</i>	10
Gambar 2.3 Proses Penyemprotan Uap.....	13
Gambar 2.4. Gaya Torsi.....	18
Gambar 2.5 <i>Solidworks Simulation Capabilities</i>	21
Gambar 3.1 <i>Motorised Rotary Sootblower</i>	28
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 4.1 <i>Sootblower</i>	33
Gambar 4.2 Konstruksi <i>Sootblower</i>	34
Gambar 4.3 Instalasi <i>Sootblower</i>	34
Gambar 4.4 Gaya Yang Bekerja Dari <i>Feed Tube</i> Dan <i>Lance Tube</i>	35
Gambar 4.5 Asumsi Gaya Pada Dua Bearing	36
Gambar 4.6 Batang A–C.....	36
Gambar 4.7 Gaya Yang Bekerja Pada Batang A–C.....	37
Gambar 4.8 <i>Lance Tube</i>	39
Gambar 4.9 <i>Input Material</i> Konstruksi	43
Gambar 4.10 <i>Input Fix Geometry</i> Pada Konstruksi	43
Gambar 4.11 Pembagian Gaya Pada Konstruksi	44
Gambar 4.12 <i>Create Mesh</i> Pada Konstruksi	45
Gambar 4.13 Tegangan Hasil Simulasi Statis Konstruksi	45
Gambar 4.14 Perpindahan Hasil Simulasi Statis Konstruksi	46
Gambar 4.15 Faktor Keamanan Hasil Simulasi Statis Konstruksi	47
Gambar 4.16 <i>Input Material Lance Tube</i>	48
Gambar 4.17 <i>Input Fix Geometry</i> Pada <i>Lance Tube</i>	48
Gambar 4.18 Input <i>External Load</i> Pada <i>Lance Tube</i>	49
Gambar 4.19 <i>Create Mesh</i> Pada <i>Lance Tube</i>	49
Gambar 4.20 Tegangan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 3,7 mm.....	50
Gambar 4.21 Perpindahan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 3,7 mm.....	50

Gambar 4.22 Faktor Keamanan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 3,7 mm	50
Gambar 4.23 Tegangan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 5,08 mm	51
Gambar 4.24 Perpindahan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 5,08 mm	51
Gambar 4.25 Faktor Keamanan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 5,08 mm	51
Gambar 4.26 Tegangan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 7,14 mm	52
Gambar 4.27 Perpindahan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 7,14 mm	52
Gambar 4.28 Faktor Keamanan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 7,14 mm	52
Gambar 4.29 Tegangan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 10,2 mm	53
Gambar 4.30 Perpindahan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 10,2 mm	53
Gambar 4.31 Faktor Keamanan <i>Lance Tube</i> Ketebalan 10,2 mm	53
Gambar 4.32 Nilai <i>Stress</i> Berdasarkan Ketebalan <i>Lance Tube</i>	55
Gambar 4.33 Nilai <i>Displacement</i> Berdasarkan Ketebalan <i>Lance Tube</i>	56
Gambar 4.34 Nilai <i>Factor Of Safety</i> Berdasarkan Ketebalan <i>Lance Tube</i>	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Motorised Rotary Sootblower</i>	10
Tabel 2.2 Spesifikasi Material St 37 / DIN17100	19
Tabel 2.3 Spesifikasi Material ASTM A213 T92 / UNS K92460	20
Tabel 2.4 <i>SOLIDWORKS Products For Windows</i>	24
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Statis Pada Variasi Ketebalan <i>Lace Tube</i>	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. NB Size Pipes, Steel Pipe Dimension	64
Lampiran 2. Tabel Data Equal Angle Bars	65
Lampiran 3. Tabel Properties Of Air At 1 Atm Pressure	66
Lampiran 4. Tabel Rumus Bilangan Nusselt Perpindahan Panas Konveksi.....	67
Lampiran 5. Pemberitahuan Ijin Pengambilan Data	69
Lampiran 6. Desain Sootblower	70
Lampiran 7. Desain Konstruksi	71
Lampiran 8. Desain Lance tube 3,7 mm	72
Lampiran 9. Desain Lance tube 5,08 mm	73
Lampiran 10. Desain Lance tube 7,14 mm	74
Lampiran 11. Desain Lance tube 10,2 mm	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan bahan bakar batu bara, *boiler* memainkan peranan yang penting untuk suatu proses produksi. *Boiler* berguna untuk mengubah air menjadi uap *superheat* yang mempunyai temperatur dan tekanan tinggi. Proses produksi uap disebut *steam raising* (pembuat uap). Unit yang digunakan untuk menciptakan uap yang disebut *boiler* atau *steam generator*. *Boiler* merupakan salah satu komponen utama pada PLTU, namun pada *boiler* mempunyai satu masalah yang mengurangi tingkat efisiensinya. Salah satu masalahnya yaitu *ash* atau sisa abu dari hasil pembakaran pada *furnace*, dimana sisa abu ini tidak jarang menempel di permukaan pipa – pipa pada elemen *boiler*, seperti *reheater* , *economizer*, *superheater*, dan *evaporator*. Masalah tersebut perlu ditanggulangi melalui pemakaian pembersih abu (*sootblower*).

Sootblower membantu *transfer* panas di pipa-pipa *wall tube*, *superheater*, *reheater*, *economizer*, dan *air heater* tetap dilangsungkan secara baik dan efektif. Sebagai media pembersih yang memakai uap, suplai uap ini didapat dari *primary superheater* melewati suatu penataan tekanan yang diatur pada tekanan maksimal 21 kgf/cm². Setiap *sootblower* dibekali dengan katup popet untuk mengatur persyaratan uap dari *sootblower* (Jabbar, *et al.*, 2008:89).

Sootblower di PLTU memakai *control panel* pengendali yang terintegrasi dengan PLC (*Programmable Logic Controller*) untuk menata lama durasi proses

blowing dan *emergency stop sootblower* saat terjadi *failure*. PLC pun terintegrasi dengan *Poppet valve* yang dipakai untuk memblokir dan membuka aliran uap yang akan dipakai untuk proses *blowing*. *Sootblower* mempunyai beberapa jenis, tetapi untuk pengembangan ini peneliti melakukan penelitian pada *sootblower* jenis *motorized rotary*. *Motorized rotary sootblower* desainnya mudah menyesuaikan situasi lokasi penempatannya. Pada penerapan desain struktur beban dipisahkan menjadi dua yakni beban mati dan beban hidup. Beban mati ialah beban statis yang didapatkan gaya verikal disebabkan gravitasi, yaitu berat kerangka struktur dan seluruh material yang secara permanen ditempatkan pada struktur serta andalan yang menopang struktur (Basori dan Rudianto, 2014:89).

Pemodelan *motorized rotary sootblower* ini menggunakan *software Solidworks 2016*, yaitu salah satu perangkat lunak atau *software* yang sangat membantu dalam proses penyelesaian desain, simulasi dan analisis. Penggunaan *software Solidworks 2016* ini tergolong mudah, mulai dari pemodelan hingga analisis komponen atau konstruksi dapat dilakukan. *Software Solidworks 2016* ini digunakan untuk pembuatan desain *motorized rotary sootblower 3D*.

Sootblower tidak lepas dari beberapa kegagalan pada komponennya yang menyebabkan kinerjanya tidak optimal. Purnama (2017:189) menyatakan bahwa, “Komponen utama yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *sootblower* yaitu *lance tube*”. *Lance tube* merupakan komponen *sootblower* yang letaknya berada di dalam boiler, sehingga terpapar langsung dengan panas.

Pada penelitian ini pemodelan dan simulasi dilakukan pada konstruksi dan *lance tube* yang divariasikan diameter dalamnya. Hal ini dilakukan untuk

mengetahui hasil analisis statis, sehingga dapat meminimalisir kemungkinan terjadinya kegagalan pada *sootblower* pada saat beroperasi.

1.2. Identifikasi masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka identifikasi masalah yang muncul adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan konstruksi *motorized rotary sootblower* dengan desain yang sederhana, kuat, dan bahannya mudah dicari.
2. Sering terjadi kegagalan pada *motorized rotary sootblower* dibagian komponen *lance tube* yang menyebabkan kinerjanya menjadi tidak optimal.

1.3. Pembatasan masalah

Untuk lebih memfokuskan penelitian maka penulis perlu memberikan batasan masalah, batasan masalahnya antara lain sebagai berikut:

1. Pemodelan konstruksi *sootblower* yang akan dibuat yaitu jenis *motorized rotary sootblower*.
2. Pemodelan menggunakan *software Solidworks 2016*.
3. Konstruksi *sootblower* menggunakan besi siku dengan ukuran 35×35×6 mm dengan material baja karbon rendah St 37.
4. Panjang komponen *lance tube* 6.000 mm dengan jumlah *nozzle* 20.
5. Diameter *lance tube* 40 NB (*Outer Diameter* = 48,26 mm) dengan divariasikan ketebalan 3,7 mm, 5,08 mm, 7,14 mm dan 10,2 mm.
6. Material yang diaplikasikan untuk *lance tube* yaitu ASTM A213 T92.
7. Penempatan *sootblower* di *economizer* dengan temperatur 390°C.

1.4. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang dan beberapa studi literatur yang ada maka peneliti membuat rumusan masalah seperti berikut:

1. Bagaimana analisis statis pada konstruksi *sootblower* jenis *motorized rotary sootblower* menggunakan *software Solidworks*?
2. Bagaimana analisis statis pada komponen *lance tube* menggunakan *software solidworks*?

1.5. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis statis konstruksi *sootblower* jenis *motorized rotary sootblower* menggunakan *software Solidworks*.
3. Menganalisis statis komponen *lance tube* menggunakan *software solidworks*.

1.6. Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat:

1. Desain konstruksi dapat digunakan untuk referensi pembuatan konstruksi *sootblower* jenis *mortised rotary*.
2. Dengan hasil analisis statis pada *lance tube*, dapat memberikan referensi untuk pemilihan ketebalan *lance tube* yang di minim kegagalan untuk *motorised rotary sootblower*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

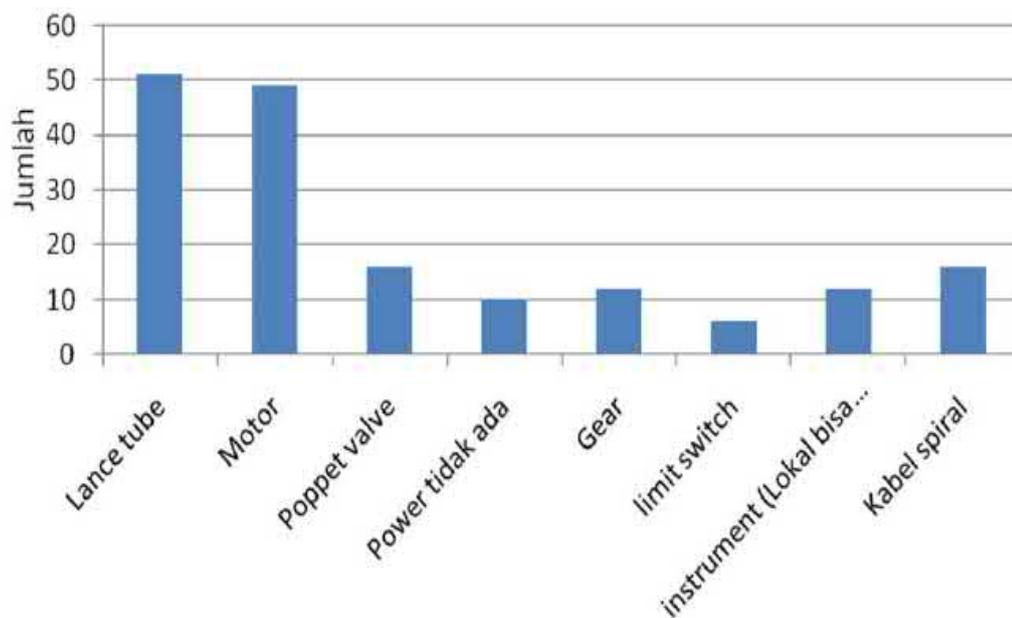
Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan analisis statis konstruksi *prototype sootblower* dan variasi material lance tube adalah sebagai berikut:

Penelitian sehubungan dengan konstruksi mesin yang dikerjakan oleh Setiawan dan Jumari (2014:1) itu menyatakan kelebihan dari besi siku (*equal angle bar*) yang berasal dari bahan baja karbon ternyata harganya murah serta mudah didapat. Konstruksi mesin yang memakai besi siku (*equal angle bar*) lumayan kuat menahan gaya, momen dan beban yang didapatkan dari berat motor bakar penggerak, poros, gearbox dan proses kerja mesin. Desain dan Gambar yang sudah direncanakan pada konstruksi mesin sangatlah dominan terhadap perhitungan kekuatan beban rangka yang akan direncanakan.

Dari jurnal Wibowo, *et al.*, (2014:68) didapat informasi mengenai pengujian konstruksi menggunakan *software solidworks*. Pengujian dilaksanakan pada bagian krusial konstruksi yakni bagian *punch*, *die bending* dan juga rangka mesin tekuk plat. Pada bagian krusial konstruksi mesin seperti *die bending*, *punch* dan rangka mesin tekuk plat akan dilakukan pengujian. Pengujiannya yaitu analisis statis menggunakan *software solidworks 2012* dengan metode elemen hingga. Pengujian mengacu pada hasil *von misses stress* yang digunakan untuk mengetahui batas keamanan dalam pemilihan ukuran, bentuk dan jenis material

pada konstruksi mesin tekuk plat. Dari pengujian dapat diketahui besar deformasi yang terjadi pada konstruksi saat mengalami pembebanan. Pada bagian *punch* diketahui *von misses stress* maksimum yaitu $259,950 \times 10^6$ N/m². Karena kemampuan luluh material yang diaplikasikan pada *punch* sebesar 1.750×10^6 N/m², maka hasil dari pengujian menunjukkan kalau deformasi pada konstruksi masih menunjukkan batas aman dan deformasi dalam bentuk elastis.

Penelitian yang dilakukan oleh Purnama (2017:189) tentang kegagalan *sootblower* yang dilaksanakan di PLTU Suralaya tepatnya pada unit 1-4, dapat diketahui bahwa kegagalan *sootblower* paling sering terjadi pada komponen *lance tube*.



Gambar 2.1 Kegagalan Komponen *Sootblower* Unit 1-4 PLTU Suralaya
Sumber: (Purnama, 2017)

Dari hasil penelitian tersebut mendapat kesimpulan untuk mengoptimalkan *sootblower* secara maksimal maka sebaiknya bahan yang digunakan untuk *lance*

tube yaitu *chrome molly* (AISI 4130). Defleksi 1,05 m dan memiliki tegangan *Von Mises* sebesar 276 N/m², itu masih jauh dibawah tegangan luluh 460 N/m² sehingga membuat pengoperasian *sootblower* menjadi optimal.

Menurut Sivakumar, *et al.* (2016:41) efisiensi fungsi peralatan atau mesin terjamin ketika dipasang di industri dan dioperasikan menurut desain kondisi yang dirumuskan setelah mencermati dan pemeriksaan kinerja yang cukup lama. Masalah yang terjadi di *sootblower* dari *chemical recovery boilers* dianalisis untuk mencari solusi bagaimana mengatasi kegagalan yang terjadi di *sootblower*. Solusi terbaik adalah dengan mengganti bagian *nozzle* terbuat dari *stainless steel* (SS310) ke *magnesium alloy* (AZ91D) dan diameter luar *lance tube* meningkat dari 101,6 mm menjadi 106 mm. Hal ini membantu untuk mengurangi deformasi hingga 55,12% dari *lance tube* yang terbuat dari *stainless steel*.

Aprilianto (2015:48) telah melakukan penelitian untuk menganalisa kerusakan pada material *lance tube* dan membandingkan material *lance tube* yang dipergunakan dengan standar ASTM A106 *grade B*. Hasil penelitian komposisi kimia material *lance tube* didapatkan bahwa tersedia beberapa unsur kimia yang lumayan jauh berlainan bersama standar ASTM A106 *grade B*, maka terjadinya perubahan sifat atau karakteristik dari material yang dipergunakan. Pengujian tarik spesimen *lance tube* mempunyai kemampuan tarik sebesar 32,81 kg/mm² atau 328,1 MPa. Dari standart ASTM baja karbon A106 B mempunyai kemampuan tarik sebesar 420 MPa namun material dari *lance tube* hanya mempunyai kemampuan tarik 328,1 MPa. Jadi material yang digunakan belum sesuai standart material yang selayaknya dipergunakan di dalam *lance tube*.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sootblower

Sootblower adalah salah satu bagian yang terdapat pada *boiler*, digunakan untuk mengurangi sedimen endapan yang dihasilkan dari pembakaran batu bara, karena apabila tidak dibersihkan atau dihilangkan maka endapan tersebut dapat mempengaruhi panas pada kerja *boiler* itu sendiri (Sivakumar, *et al.* 2016:31). Cara kerja *sootblower* dimulai dari penyemprotan uap yang diarahkan ke pipa-pipa yang terdapat endapan (Sihombing, 2009:53).

Pada *boiler* dengan bahan bakar batu bara terdapat pipa *reheater*, pipa *superheater*, pipa *economizer* dan *air reheater*. Karena proses pembakaran maka pada pipa tersebut melekat debu dan jelaga, untuk membersihkan kotoran atau sisa pembakaran tersebut digunakan *sootblower*. Menurut Bergemann (2010) berdasarkan bentuk dan fungsinya *sootblower* dibedakan menjadi:

1. *Wall blower*
2. *Long retractable sootblower*
3. *Axial sootblower*
4. *Motorised rotary sootblower*
5. *Helical sootblower*
6. *Oscillating sootblower*
7. *Rake sootblower*

2.2.1.1. Motorised Rotary Sootblower

Tujuan *motorized rotary sootblower* dirancang yaitu untuk membersihkan permukaan konveksi serta penukar panas dengan sedikit suhu *fouling* dan gas buang

<932° F. Pada *sootblower* jenis ini *lance tube* selalu berada di dalam *boiler* dan *lance tube* ditahan oleh bantalan yang menempel pada dinding boiler. *Nozzle* selalu dirancang khusus untuk setiap instalasi pada *lance tube* karena menyesuaikan kebutuhan. Ada beberapa media yang bisa digunakan untuk tiupan, seperti uap jenuh atau *superheater* dan udara terkompresi.

Motorized rotary sootblower beroperasi dalam waktu tertentu untuk menghilangkan jelaga dan kerak. *Sootblower* beroperasi hanya beberapa menit pada jangka waktu tertentu saat *boiler* aktif. Saat *sootblower* beroperasi, *lance tube* berputar dan menyemburkan uap bertekanan melalui *nozzle* mengarah ke pipa-pipa. Perangkat seperti ini sangat menguntungkan karena untuk beroperasi dimulai dengan tombol atau sinyal yang berasal dari perangkat otomatis dan akan berhenti secara otomatis (Johnson, *et al.*, 1968:1).

Dengan menggunakan *Motorised rotary sootblower* ada beberapa keuntungan yang bisa didapat, yaitu bisa dikonfigurasi untuk menghasilkan sudut tiup antara 30° dan 360°, untuk satu kali siklus operasional biasanya *blower* diputar satu sampai enam kali. Mencegah *fouling* dan penyumbatan pada *superheater*, *economizer* dan *air heater* sehingga dapat meningkatkan efisiensi *boiler*. Efisiensi termal menjadi maksimal dan temperature gas keluar menjadi berkurang. Pembersihan menjadi optimal, meminimalkan konsumsi uap, tahan lama dan mudah dipelihara.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Motorised Rotary Sootblower*
 Sumber : (Ahmednagar, 2008)

<i>Type Of Soot Retractable</i>	<i>Rotary Motorise Sootblower</i>
<i>Location</i>	<i>Boiler Bank / Economiser</i>
<i>Type</i>	<i>Motorised</i>
<i>Gas Temperature °C</i>	<i>< 750</i>
<i>Length of lance Element mm</i>	<i>Normally 6.000 in one piece construction</i>
<i>Effective Cleaning Radius mm</i>	<i>1.800</i>
<i>Blowing Angle °</i>	<i>Adjustable up to 360</i>
<i>Blowing medium</i>	<i>Steam</i>
<i>Pressure Kgf / cm² (Recommended)</i>	<i>21 max</i>
<i>Blowing Time Min</i>	<i>3</i>
<i>Rotary Speed RPM</i>	<i>3</i>
<i>Size of Steam Inlet Connection</i>	<i>40 NB (Outer Diameter = 48,26 mm)</i>
<i>Motor Rating (HP)</i>	<i>0,25</i>

2.2.1.2. Komponen Utama Sootblower Tipe Motorised Rotary



Gambar 2.2 Komponen *Motorised Rotary Sootblower*
 Sumber: cbpg.com

1. Motor Elektrik

Motor elektrik pada sootblower digunakan untuk memutar gear yang terhubung pada *lance tube sootblower* supaya *lance tube* berputar ketika proses *blowing*.

2. *Gear box*

Gear box berfungsi sebagai transmisi energi putaran dari motor elektrik untuk memutar *lance tube* dan mengkonversi putaran dari motor elektrik menjadi lebih rendah RPMnya.

3. *Poppet Valve*

Poppet valve berfungsi untuk membuka dan menutup aliran uap ke *sootblower* dan tekanan hembusan *sootblower* dapat disesuaikan.

4. *Feed Tube*

Feed tube adalah tabung stasioner yang dihubungkan ke *poppet valve* dengan fungsi utama adalah untuk mengirim uap ke *lance tube*. Bahan standar untuk *feed tube* adalah *stainless steel 304*.

5. *Lance Tube*

Lance tube adalah komponen utama yang memasok ke *nozzle sootblower* dengan uap tekanan tinggi dan mengarahkan jet ke tabung boiler. *Lance tube* harus dirancang untuk memiliki kekuatan yang cukup untuk mendukung beratnya sendiri dalam lingkungan bersuhu tinggi.

6. *Nozzle*

Fungsi utama dari *nozzle sootblower* adalah untuk mengubah uap tekanan tinggi di dalam *lance tube* ke jet berkecepatan tinggi. Sebuah *nozzle* ideal didefinisikan sebagai *nozzle* yang sepenuhnya memperluas media tiupan dari tekanan di dalam *lance tube* ke tekanan ambient luar sehingga mengubah tekanan *lance* sepenuhnya menjadi kecepatan (Jagadeesh, *et al.*, 2017:1171).

7. *Limit Switch*

Limit switch berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik ke motor elektrik, sehingga dapat membatasi putaran *sootblower* pada saat proses *blowing*.

8. *Power Supply*

Power supply digunakan mensuplai listrik untuk motor listrik dengan tegangan 230/460 volt.

9. *Control Panel*

Control panel adalah alat yang terintegasi dengan sistem PLC untuk mengawasi serta mengendalikan *sootblower* saat beroperasi. Seperti *emergency stop* saat terjadi kegagalan dan mengatur durasi proses *blowing*.

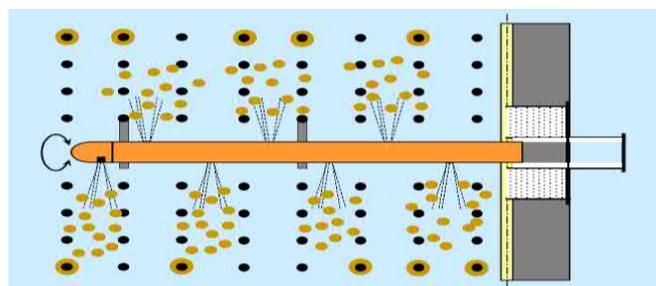
2.2.1.3. Proses Kerja *Motorised Rotary Sootblower*

Tahap awal yaitu *boiler set-up* untuk proses awal dari *sootblower*. Dimulai dari proses pembakaran di *furnace*, kemudian air dipompa dari *water tank* menuju *steam drum* namun terlebih dahulu melewati *economizer* untuk sampai pada *steam*

drum supaya dapat dipanaskan hingga menghasilkan uap bertekanan. Uap yang dihasilkan dari *steam drum* akan menjadi media *blowing* untuk *sootblower* (Shaleh, 2014).

Ketika uap dari *steam drum* sudah memenuhi target tekanan yang sudah ditentukan, maka uap tersebut akan dialirkan ke *sootblower*. Tekanan uap tinggi dikirimkan ke *lance tube sootblower* melalui katup uap masuk yang dikenal sebagai *poppet valve* (Jameel, *et al.*, 2004:1). Uap harus memenuhi tekanan yang sudah ditentukan yaitu bertujuan agar ketika *sootblower* beroperasi uap yang disemprotkan memiliki tekanan yang stabil dan cukup untuk melakukan penyemprotan.

Proses selanjutnya yaitu *blowing* atau penyemprotan uap terhadap jelaga. Pada proses ini *power supply* menjadi posisi *ON* dan akan mengalirkan listrik ke *limit switch* dan motor elektrik. Motor elektrik akan bergerak secara mekanik memutar *gear box* dan *lance tube* yang dihubungkan dengan rantai. Uap akan menyembrot melalui *nozzle* yang ada pada *lance tube*. *Sootblower* bekerja menyembrotkan *steam* ke *wall tube* hingga *slagging* luruh selama waktu yang sudah ditentukan (Wijayanti dan Sutopo, 2017:26). Seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Penyemprotan Uap
Sumber: (Bergemann, 2010)

Gambar 2.3. menunjukkan proses penyemprotan uap. Setelah sistem penyemprotan selesai, *poppet valve* langsung menutup secara *automatic*, bersamaan bersama motor elektrik yang berhenti sehingga *lance tube* berhenti berputar, dan sistem *blowing* selesai. *Ash* atau abu yang melekat pada pipa-pipa menjadi bersih dan sisa abu dari pembersihan dapat terbawa aliran gas menuju *stack* dan beberapa menuju *precipitator*.

2.2.2. Fluida Bertekanan

Tekanan fluida adalah gaya yang diberikan oleh fluida per satuan luas. Tekanan fluida ditransmisikan dengan intensitas yang sama disemua arah dan bertindak normal untuk setiap bidang. Pada bidang horizontal yang sama, intensitas tekanan dalam suatu cairan adalah sama. Dalam sistem SI unit tekanan fluida adalah Newton / m² atau Pascals, di mana 1 N / m² = 1 Pa (Al-Shemmeri, 2012:20).

Adapun untuk mencari besaran sebuah tekanan dapat menggunakan rumus (Al-Shemmeri, 2012:20):

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Banyak unit tekanan lain yang biasa ditemui dan berikut konversi satuan tekanan yang biasa digunakan:

1 bar	= 10 ⁵ N/m ²
1 <i>atmosphere</i>	= 101.325 N/m ²
1 psi	= 6.895 N/m ²
1 Torr	= 133,3 N/m ²

2.2.3. Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi, kadang-kadang diidentifikasi sebagai mode pemindahan panas yang terpisah, berhubungan dengan transfer panas dari permukaan pembatas ke fluida yang bergerak, atau perpindahan panas ke seluruh bidang aliran di dalam bagian dalam cairan yang mengalir. Jika gerakan fluida diinduksi oleh pompa, blower, kipas, atau perangkat sejenis, proses ini disebut konveksi paksa. Jika gerakan fluida terjadi sebagai akibat dari perbedaan densitas yang dihasilkan oleh perbedaan suhu, proses ini disebut konveksi bebas atau alami.

Pemeriksaan rinci dari proses perpindahan panas dalam kasus ini mengungkapkan bahwa, meskipun gerakan massa dari fluida menimbulkan perpindahan panas, mekanisme perpindahan panas dasar adalah konduksi, yaitu transfer energi dalam bentuk transfer panas dengan konduksi di dalam cairan bergerak. Lebih khusus lagi, bukan panas yang sedang konveksi tetapi energi internal. Namun di samping ada proses konveksi, ada juga pertukaran panas laten. Pertukaran panas laten ini umumnya dikaitkan dengan perubahan fasa antara cairan dan keadaan uap dari fluida. Dua kasus khusus mendidih dan kondensasi (Rohsenow, *et al.*, 1998:1.4).

Untuk memudahkan perhitungan perpindahan panas antara permukaan yang lebih panas dengan temperatur T_1 dan fluida yang mengalir dengan temperatur T_2 , laju aliran panas didefinisikan sebagai (Jotho, 2010:2):

$$q = h (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Akan tetapi kebalikannya untuk perpindahan panas dari fluida yang lebih panas dengan temperatur T_2 dan permukaan pelat yang lebih dingin T_1 didefinisikan sebagai (Jotho, 2010:2):

$$q = h (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (2.3)$$

Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya adalah efek permukaan, yang dirumuskan pertama kali oleh Newton (Kinsky, 1989 dalam Ananda, 2017:46):

$$Q = h A (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (2.4)$$

Karena variabel yang mempengaruhi koefisien perpindahan panas cukup banyak, maka jumlah formula yang diperlukan akan sangat besar, kecuali variabel dikelompokkan sehingga menghemat persamaan. Hal ini dapat dicapai dengan teknik yang dikenal sebagai analisis dimensi, di mana variabel yang relevan dibentuk menjadi kelompok berdimensi. Hubungan antara kelompok kemudian dapat ditentukan secara eksperimental. Dua dari kelompok berdimensi penting telah didefinisikan (Kinsky, 1989 dalam Ananda, 2017:48):

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Re = \frac{vl\rho}{\mu} = \frac{vl}{\nu} \dots\dots\dots (2.6)$$

Kelompok lain yang penting dalam perpindahan panas adalah:

$$Nu = \frac{hl}{k} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta T l^3}{\nu^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Rumus mengungkapkan hubungan antara berbagai kelompok berdimensi secara umum dapat ditulis dalam salah satu bentuk berikut (Kinsky, 1989 dalam Ananda, 2017:49):

$$Nu = A Re^a Pe^b \text{ (Untuk konveksi paksa)}$$

$$Nu = (Gr Pr)^c \text{ (Untuk konveksi bebas)}$$

di mana A, B, a, b dan c adalah konstanta untuk jenis tertentu aliran.

Catatan: Jumlah Grashof kadang-kadang dikombinasikan dengan jumlah Prandtl dan nomor Rayleigh ditetapkan oleh $Ra = Pr.Gr$

2.2.4. Torsi atau Momen

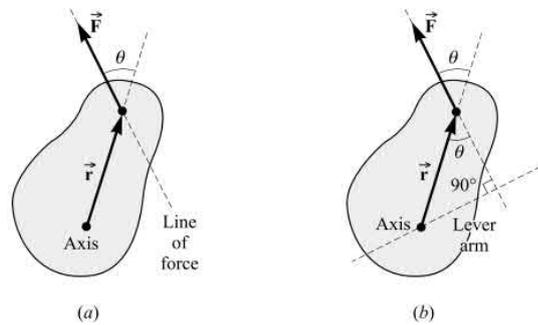
Torsi atau momen suatu sumbu karena suatu gaya, adalah ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan rotasi terhadap sumbu itu. Didefinisikan dengan cara berikut (Bueche, 1976:56):

$$\text{Torsi} = \tau = r F \sin \theta \dots\dots\dots (2.9)$$

Di mana r adalah jarak radial dari sumbu ke titik penerapan gaya, dan θ adalah sudut antara garis aksi r dan F , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 (a). Seringkali definisi ini ditulis dalam istilah lengan tuas gaya, yang merupakan jarak tegak lurus dari sumbu ke garis gaya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 (b). Karena lengan tuas hanya $r \sin \theta$, torsi menjadi (Bueche, 1976:56):

$$\tau = F (\text{Lengan Tuas}) \dots\dots\dots (2.10)$$

Satuan torsi adalah newton-meter (Nm). Tanda plus dan minus dapat ditetapkan untuk torsi, misalnya, torsi yang cenderung menyebabkan rotasi berlawanan arah jarum jam tentang positif, sedangkan yang menyebabkan rotasi searah jarum jam adalah negatif.



Gambar 2.4. Gaya Torsi
Sumber: (Bueche, 1976:56)

2.2.5. Ilmu Konstruksi Mesin

Pengertian dari ilmu konstruksi mesin yaitu suatu ilmu yang mendalami tentang bagaimana sebuah pemodelan, perancangan, pembuatan, percobaan, penyusunan dan cara pemeliharaan mesin. Pemodelan yang dimaksud adalah yang mengedepankan faktor-faktor penting seperti pemilihan material, daya yang dapat dikeluarkan, kemampuan menahan beban serta ongkos dan estetika untuk sebuah konstruksi mesin yang akan dibuat (Nurdian, 2014).

2.2.6. Spesifikasi Material

Berikut adalah spesifikasi material yang diaplikasikan pada konstruksi *sootblower* dan komponen *lance tube*.

2.2.6.1. Material konstruksi *Sootblower*

Baja karbon adalah material yang paling banyak digunakan untuk dunia industri, karena mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup baik. Di dalam perdagangan baja karbon dibagi menjadi tiga jenis, yaitu baja karbon tinggi, sedang dan rendah. Kalau untuk digunakan pada konstruksi umumnya yang paling banyak digunakan adalah baja karbon rendah, itu dikarenakan jumlah produksi baja karbon

rendah yang lebih banyak dibandingkan jenis lain sehingga harganya menjadi murah. Selain itu baja karbon rendah juga mudah *dimachining*, dilas serta mempunyai keuletan dan ketangguhan yang tinggi. Akan tetapi baja karbon rendah mempunyai kekurangan yaitu kekerasan rendah dan tak tahan aus (Haryono, *et al.*, 2013:65).

Pengaplikasian pada konstruksi mesin, baja karbon lebih banyak digunakan jika dibandingkan dengan jenis lain, itu dikarenakan harganya yang murah dan kemampuan *machiningnya* yang baik. Sifat tersebut yang menjadi dasar baja karbon rendah dipilih untuk material konstruksi mesin. Oleh sebab itu konstruksi sootblower menggunakan material Baja St 37. Kekuatan tarik baja St 37 yaitu antara 37 Kg/mm² sampai 45 Kg/mm². Kekuatan tarik tersebut adalah maksimum kemampuan material sebelum mengalami patah (Kuswanto, 2010:14). Salah satu *equivalent grade* dari material St 37 yaitu DIN17100 *steel number* St 37-2 (1.0037).

Tabel 2.2 Spesifikasi Material St 37 / DIN17100

Sumber : (DIN17100 specification, 2018)

St 37	
Kekuatan luluh	360 MPa
Kekuatan tarik	235 MPa
Elastic modulus	200 - 210 GPa
Shear modulus	79 GPa
Density	7,8 g/cm ³
Specific heat capacity	440 J/(kg·K)
Thermal conductivity	14 W/(m·K)
Coefficient of thermal expansion	1,1×10 ⁻⁵ /K

2.2.6.2. Material Lance Tube

Lance tube sebagai komponen aliran uap dan penempatan *nozzle – nozzle* dengan uap tekanan tinggi yang mengarahkan penyemprotan ke pipa di boiler dan

selama proses pembersihan *lance tube* dalam boiler perlu diperhatikan pemilihan materialnya. *Lance tube* terbuat dari *alloy steel* seperti T11 yang memiliki kekuatan yang cukup untuk mendukung *lance tube* di suhu tinggi ketika di dalam boiler (Jameel, *et al.*, 2004:1). T11 yang dimaksud yaitu jenis material ASTM A213 dengan kode *grade* T11. Pada penelitian ini *lance tube* menggunakan material ASTM A213 T92 yang mana mempunyai *grade* material lebih tinggi dari T11. Salah satu *equivalent grade* dari material ASTM A213 T92 adalah UNS K92460. Berikut adalah spesifikasi dari material tersebut:

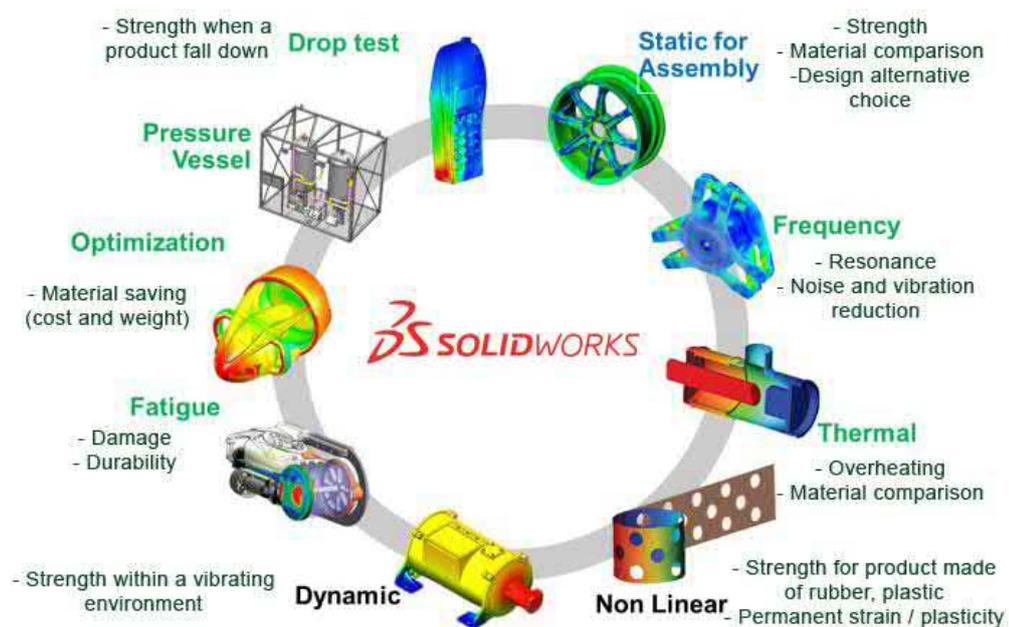
Tabel 2.3 Spesifikasi Material ASTM A213 T92 / UNS K92460
Sumber : (Nippon Steel dan Sumitomo Metal, 2015:16)

ASTM A213 T92	
<i>Ultimate Strength</i>	620 MPa
<i>Yield strength</i>	440 MPa
<i>Elastic modulus</i>	190 GPa
<i>Shear modulus</i>	76 Gpa
<i>Density</i>	7,9 g/cm ³
<i>Specific heat capacity</i>	470 J/(kg·K)
<i>Coefficient of thermal expansion</i>	1,3×10 ⁻⁵ /K
<i>Thermal conductivity</i>	26 W/m.K

2.2.7. SOLIDWORKS

Dalam merancang suatu benda, betapa baiknya sebelum benda tersebut diciptakan nyata, diprediksi terlebih dahulu kualitas dari benda tersebut. Apakah mampu menerima beban tertentu, apakah pemodelan benda tersebut sudah baik, apakah benda tersebut aman, dan sebagainya. *Solidworks* dipakai untuk memperdiksi kualitas dari benda yang sudah dirancang sebelum diciptakan secara nyata maka dilakukanlah *analysis*. Rangka konstruksi yang sudah diciptakan akan dilaksanakan proses *static analysis* pada *solidworks*.

Solidworks adalah aplikasi buatan *Dassault Systemes* yang berfungsi untuk mendesain atau merancang suatu benda baik untuk dunia industri pemesinan atau industri lain sebelum benda tersebut dibuat secara nyata yang berupa gambar 2D maupun 3D. *Solidworks* bisa digunakan untuk menganalisis kekuatan suatu produk sebelum produk tersebut diproduksi massal sehingga dapat meminimalisir kesalahan saat produk dibuat dalam jumlah banyak. Seperti yang terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Solidworks Simulation Capabilities*

Sumber: arismadata.com

Gambar 2.5 menunjukkan kapasitas simulasi yang dapat dilakukan pada *solidworks*. Hasil desain yang dilakukan pada *solidworks* langsung dapat dianalisis, salah satunya yaitu analisis kekuatan produk apabila dikenai beban statis maupun dinamis, sehingga produk dapat sesuai dengan fungsi pengaplikasiannya. Dengan *solidworks* bisa mengurangi jumlah pengujian terhadap *prototype* dan dapat

meningkatkan suatu kualitas produk yang tentunya tetap mengutamakan sistem keamanan saat produk itu digunakan.

2.2.7.1. Kelebihan dari *software solidworks*

Berikut adalah kelebihan yang dimiliki *solidworks* (Hidayah, 2017):

1. *Solidworks* mempunyai kemampuan parametric modeling, yaitu kemampuan untuk melakukan desain serta pengeditan dalam wujud *solid* model dengan data yang sudah tersimpan dalam *data base*. Dengan kemampuan ini, desain dapat diedit tanpa harus mengulang desain.
2. *Assembly* pada *solidworks* mempunyai *fiture animation (montion study)* yang memungkinkan untuk membuat simulasi *explode part, collapse part* dan *analysis*. Hasil dari animasi ini dapat disimpan dan dapat diputar di *software-software* pemutar video.
3. *Solidworks* dilengkapi dengan *automatic create technical 2D drawing*. Proses penyajian *drawing*, tidak usah lagi menggambar beberapa tampilan lagi (tampak depan, atas, samping, *explode view*, dan *collaps view*), dengan kemampuan ini *solidworks* dapat menyajikan secara otomatis tampilan tampilan tersebut hanya dengan model 3D yang kita buat sebelumnya.
4. *Solidworks* dilengkapi dengan kemampuan *rendering image* yang cukup baik sehingga dapat menghasilkan model yang lebih halus.
5. *Solidworks* dilengkapi dengan *analysis* model, digunakan untuk menghitung hambatan model, kekuatan model, dan *fatigue* model tersebut dengan metode *finite elemen analysis*.

6. *Solidworks* menyediakan material yang cukup lengkap, mulai dari metal, plastik, dan kayu. Jika susah untuk realisasi model yang dibuat, material ini bisa saja membantu dalam merealisasikan warna, bentuk material, dan visual material dalam bentuk hampir menyerupai nyata.
7. Pada permodelan metal, *solidworks* sudah dilengkapi dengan *figure sheet metal*. Fitur ini membantu untuk melihat bagaimana bentuk model jika dijadikan plat datar sebelum ditekuk.
8. *Weldment, Solidworks* mempunyai fitur permodelan pengelasan yang digunakan untuk menggambar pengelasan.

2.2.7.2. Kekurangan dari *software solidworks*

Berikut adalah kekurangan yang dimiliki *solidworks* (Ramadhan, 2013):

1. Spesifikasi komputer yang diperlukan minimum mempunyai RAM 4 GB
2. Direkomendasikan untuk *graphic card* NVIDIA QUadro, atau ATI Firepro.
3. Jika digunakan untuk simulasi lebih direkomendasikan untuk menggunakan ANSYS atau Catia yang *high end*, dikarenakan level dari *solidworks ini* hanya *mid end*.
4. *Maximum* panjang lebar garis pada *solidworks* adalah 1.000 m.

2.2.7.3. Spesifikasi laptop untuk pemasangan *solidworks*

Tabel 2.4 *SOLIDWORKS Products For Windows*

Sumber : (Dassault, 2016)

Operating Systems	SOLIDWORKS 2016 (EDU 2016-2017)	SOLIDWORKS 2017 (EDU 2017-2018)	SOLIDWORKS 2018 (EDU 2018-2019)
Windows 10, 64-bit	✓	✓	✓
Windows 8.1, 64-bit	✓	✓	✓
Windows 7 SP1, 64-bit	✓	✓	✓
Hardware			
RAM	8GB or more recommended		
Video Card	Certified cards and drivers		
Processor	Intel or AMD with SSE2 support. 64-bit operating system required		
Install Media	DVD drive or broadband internet connection		
Microsoft Products			
Internet Explorer	IE 10,11	IE 11	IE 11
Excel and Word	2010, 2013, 2016 (SW2016 SP3)	2010, 2013, 2016	2010, 2013, 2016
Other			
Anti-Virus	Supported anti-virus products		
Network	Microsoft Windows networking. Novell networks and non-Windows network storage devices are not supported		
Virtual environments	Supported virtual environments		

2.2.8. Analisis Statis

Banyak hal yang menyebabkan suatu konstruksi dan komponen mesin mengalami kegagalan, diantaranya yaitu tegangan yang bekerja pada konstruksi melebihi tegangan yang diijinkan. Pemilihan material yang mempunyai sifat

mekanik kurang baik dan desain yang kurang maksimal juga mempunyai pengaruh untuk menyebabkan kegagalan. Perlu dilakukan suatu analisis statis untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang terjadi pada sebuah komponen. Tujuan dari analisis statis adalah untuk menjamin kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur yang mengalami pembebanan statis eksternal dan respon struktural sehingga dapat meminimalisir kegagalan (Khelifi dan Ferroudji, 2016:2009).

Analisis statis dapat dilakukan dengan cara manual ataupun *numeric*. Pada penelitian ini dilakukan secara *numeric* untuk mempermudah analisis, yaitu dengan bantuan *software solidworks*. Hasil dari *solidworks simulation* yang dapat dianalisa yaitu nilai tegangan (*stress*), perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan (*factor of safety*).

2.2.8.1. Tegangan (*stress*)

Tegangan yaitu intensitas gaya yang bekerja untuk tiap satuan luas bahan. Tegangan yang terjadi saat suatu material diberi beban oleh gaya aksial dinamakan dengan tegangan normal. Nilai dari tegangan normal untuk sekian banyak luas lokasi irisan secara simpel dapat didekati dengan gaya yang bekerja dipecah dengan luas lokasi irisan. Secara matematis tegangan dirumuskan sebagai berikut (Shigley, 1991 dalam Fauzi, 2013:10):

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Ketika material dibebani, maka bakal menghasilkan bending stress (tegangan tekuk). *Bending stress* adalah tipe dari normal stress akan tetapi sedikit lebih spesifik. Ketika material dibebani maka akan menghasilkan apa yang disebut

sebagai tegangan kompresif normal tegangan pada arah horizontal adalah nol (Fauzi, 2013:10). Pada aplikasi *solidworks* tegangan terbesar diperlihatkan pada gradasi warna paling merah, terkecil ialah paling biru. Sedangkan lokasi dengan tegangan sedang ialah area warna kuning hijau hingga biru muda.

2.2.8.2. Perpindahan (*displacement*)

Analisa ini untuk mengindikasikan pergeseran atau perubahan bentuk yang dialami setelah menerima beban dalam satuan millimeter (mm). Bagian yang mengalami *displacement* sangat besar ialah daerah berwarna paling merah, dan bagian yang mengalami *displacement* paling kecil ialah bagian yang paling berwarna biru (Fauzi, 2013:12).

2.2.8.3. Faktor keamanan (*factor of safety*)

Berdasarkan dari Akbar, *et al.* (2015:3) faktor keamanan (*n*) ialah faktor yang dipakai untuk mengevaluasi keamanan dari sebuah elemen mesin. Analisis hal keamanan tidak sedikit digunakan pada proses mencocokkan antara tegangan dengan kekuatan guna menaksir angka keamanannya. Cara menentukan faktor keamanan yaitu (Harahap, 2000 dalam Akbar, *et al.*, 2015:4):

$$n = \frac{\sigma_{ijin}}{\sigma} \dots\dots\dots(2.12)$$

Nilai faktor keamanan untuk pembebanan statis yaitu antara 1,25 – 2 (*Machine element* oleh Dobrovolsky dalam Setyono, 2016:45). Faktor keamanan dipilih guna meyakinkan tegangan yang diijinkan tidak melebihi ukuran batas

tegangan untuk material, namun pertimbangan secara umum akan mempengaruhi nilai hal keamanan tersebut (Akbar, *et al*, 2015:4). Yang mempengaruhi ialah:

- a. Sifat dari material itu sendiri dan spesifikasi keandalannya.
- b. Sifat pembebanan (sifat mampu beban).
- c. Sifat ketahanan material dari korosi.
- d. Kemungkinan dampak dari pengerjaan pemesinan.
- e. Akibat kegagalan (kelelahan) material pada waktu proses pembentukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil pembahasan dari simulasi menggunakan *software solidworks* 2016 pada konstruksi dan *lance tube sootblower* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Simulasi statis pada desain konstruksi dari besi siku ukuran 35×35×6 mm material St 37 menunjukkan bahwa: (a) *stress* maksimal pada konstruksi sebesar 57,50 N/mm², terjadi pada bagian lubang baut karena adanya konsentrasi tegangan dari pembebanan komponen-komponen *sootblower*; (b) *displacement* maksimal pada konstruksi sebesar 0,0146 mm, terjadi pada batang yang menopang *bearing*; (c) *factor of safety* hasil simulasi pada konstruksi sebesar 2,75, sehingga dapat dinyatakan aman karena melebihi standar *factor of safety* untuk pembebanan statis sebesar 1,25.
2. Simulasi statis pada desain *lance tube* dengan material ASTM A213 T92 ukuran 40 NB (*Outer Diameter* = 48,26 mm) yang mempunyai panjang 6.000 mm dan divariasikan ketebalan 3,7 mm, 5,08 mm, 7,14 mm dan 10,2 mm menunjukkan bahwa: (a) *max stress* tertinggi ada pada *lance tube* ketebalan 10,2 mm dengan nilai 276,24 N/mm², terjadi di bagian bawah *lance tube* yang terdekat dari tumpuan; (b) *max displacement* tertinggi ada pada *lance tube* ketebalan 10,2 mm dengan nilai 335,53 mm, terjadi di bagian ujung *lance tube* yang jauh dari tumpuan; (c) variasi *lance tube* yang

mempunyai nilai *factor of safety* terendah yaitu ketebalan 10,2 mm dengan nilai 1,59, nilai tersebut dinyatakan aman, karena batas minimal nilai *factor of safety lance tube* yaitu 1,25 untuk pembebanan statis.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka pada penelitian selanjutnya sebaiknya memperhatikan saran berikut ini:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk hasil penyemprotan uap dari *sootblower*.
2. Melakukan observasi pada tempat yang ada *sootblower* sesuai spesifikasi yang akan diteliti.
3. Pada penelitian yang berkaitan dengan simulasi menggunakan *software solidworks*, disarankan menggunakan komputer atau laptop dengan spesifikasi yang mumpuni untuk *solidworks*, sehingga tidak menghambat proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmednagar. 2008. *Soot Blower*. <https://www.trustwellindia.com/sb.html> info@trustwellindia.com. 24 Januari 2018 (11:52).
- Akbar, P., Iqbal dan W. Marthiana. 2015. Analisis Statis Struktur Rangka Mesin Pengereng Kotoran Ternak. *Jurnal Teknik Mesin*: 1-10.
- Al-Shemmeri, T. 2012. *Engineering Fluid Mechanics*. Ventus Publishing ApS.
- Ananda, P. R. 2017. Analisa Perancangan Economizer Untuk Menaikan Efisiensi Boiler Pipa Api Di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan. *Skripsi*. Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area. Medan.
- Aprilianto, T. 2015. Analisa Kerusakan Material Lance Tube Pada Sootblower Di Pltu 1 Jawa Tengah, Rembang. *Tugas Akhir*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Basori dan Rudianto. 2014. Analisis Konstruksi Rangka Alat Pengujian Pompa Menggunakan Program Catia V5. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur II*: 88-93.
- Bergemann, C. 2010. *Sootblower Solutions*. www.clydebergemann.de. 18 November 2018 (21:35).
- Bueche, F. J. dan E. Hecht. 1976. *Theory and Problems of College Physics*. 9th ed. United States: McGraw-Hill.
- Dassault. 2016. *Solidworks And Sw Pdm System Requirements*. <http://www.solidworks.com/sw/support/SystemRequirements.html>. 18 November 2018 (20:40).
- DIN17100 specification. 2018. *DIN17100 specification St37-2 low carbon equal angle steel sizes*. Shanghai Katalor Enterprises. Shanghai.
- Fauzi, H. 2013. Analisis Tegangan Pada *Frame* Mobil Listrik Sinosi Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Skripsi*. Program Studi Strata I Universitas Jember. Jember.
- Fauzi, Z. *Tutorial Solidworks : Stress Analysis Pada Rangka Meja*. https://www.slideshare.net/zulfabidin9/tutorial-solidworks-stress-analysis-pada-rangka-meja?from_action=save zero_seven82@ymail.com. 08 Mei 2018 (21:16).

- Haryono, I., A. Tarkono, dan Zulhanif. 2013. Effect Of Slab Thickness On Weld Distortion Results In Medium Carbon Steel AISI 1045 By SMAW Method. *Jurnal Fema* 1 (3): 65-78.
- Hidayah, T. 2017. *Apa Sih Kelebihan Solidworks*. <https://taufiqdrafting13.blogspot.co.id/2017/11/apa-sih-kelebihan-solidworks.html>. 14 Mei 2018 (14:19).
- Jabbar, A. 2008. *Buku Alat Bantu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Dari Kelas 5j Teknik Konverensi Energi*. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.
- Jagadeesh, D., T. Karthi, R. Karthik, R. M. Raj, P.J. Raja. 2017. Root Cause Analysis of Performance Anomalies in Soot Blowers of Chemical Recovery Boiler. *International Journal for Scientific Research & Development* 5(1). 1168-1175.
- Jameel, M. I., H. Tran, A. C. Lovo, N. Oliveira. 2004. Soot Blower Lance Tube Corrosion In Recovery Boilers. *International Chemical Recovery Conference*. 1-11.
- Johnson, B. L. dan R. P. Gillette. 1968. Rotary Soot Blower. *United States Patent Office*: 1-20.
- Jotho, J. 2010. Uji Eksperimental Pengaruh Perubahan Temperatur Lorong Udara Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Pelat Datar. *Jurnal Teknik Mesin* : 1-9.
- Khelifi, Ch. dan F. Ferroudji. 2016. Stress and fatigue analyses under wind loading of the dual axis sun tracking system via finite element analysis. *Journal of Mechanical Engineering and Science* 10 (2): 2008-2015.
- Kuswanto, B. 2010. Perubahan Harga Tegangan Tarik Yield Material Baja Karbon Rendah Setelah Melalui Proses Pack Carburizing. *Jurnal teknik mesin*: 14-19.
- Nippon Steel dan Sumitomo Metal. 2015. *Seamless Steel Tubes and Pipes for Boilers*. Nippon Steel & Sumitomo Metal corporation. Tokyo.
- Nurdian. 2014. *Materi Pendahuluan Konstruksi Mesin*. <https://nurdian25dhee.wordpress.com/2014/10/11/materi-pendahuluan-konstruksi-mesin/>. 26 Oktober 2018 (11:11).
- Purnama C. A. 2017. Analisis Kegagalan *Sootblower* Terhadap Perpindahan Panas Di Pipa Boiler. *Jurnal Teknik Mesin* 6 (3): 187-190.

- Ramadhan, A. 2013. *Solidworks, Mengenal program CAD yang user friendly*. <https://www.afrizalr.com/2013/06/solidworks-mengenal-program-cad-yang.html> Afrizalr@Gmail.com. 14 Mei 2018 (14:47).
- Rohsenow, W.M., J.P. Hartnett, dan Y.I. Cho. 1998. *Handbook Of Heat Transfer*. 3rd ed. United States: McGraw-Hill.
- Setiawan, I. dan Jumari. 2014. Perencanaan Kontruksi Mesin Penggiling Dengan Sistem Roda Gigi. *Jurnal teknik mesin*: 1-11.
- Setyono, B., Mrihrenaningtyas dan A. Hamid. 2016. Perancangan Dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hibrid “Trisona” Menggunakan Software Autodesk Inventor. *Jurnal IPTEK* 20(2): 37-47.
- Shaleh, R. 2014. Analisa Proses Kerja Soot Blower tipe Fixed Rotary pada Prototype Mini Steam Power Plant Di Pt. Nw Industries. *Penulisan ilmiah*. Universitas Gunadarma. Depok.
- Sihombing, H. 2009. Mekanisme Proses Pemanasan Air Di Dalam Boiler Dengan Mempergunakan Heater Tambahan Untuk Efisiensi Pembakaran. *Karya Akhir*. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Sivakumar, E.R., M. Gowshikan, dan V.P. Krishnamurthy. 2016. Root Cause Identification And Elimination Of Problems In Soot Blowers Of Chemical Recovery Boilers. *South Asian Journal of Engineering and Technology* 2(22): 31-41.
- Sulardjaka, D.F. Fitriyana, dan A. Budiman. 2017. Kajian Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Shield Metal Arc Welding dan Friction Stir Welding Baja Karbon St 37. *Jurnal Teknik Mesin* 19 (4): 193-200.
- Wibowo, T. A., W. P. Raharjo dan B. Kusharjanta. 2014. Perancangan Dan Analisis Kekuatan Konstruksi Mesin Tekuk Plat Hidrolik. *Mekanika* 12 (2):63-70.
- Wijayanti, C. I. dan W. Sutopo. 2017. Analisis Kelayakan Penggantian Nozzle SootBlower Pada PT Pjb Up Paiton Unit 1 Dan 2. *Performa* 16(1). 26-35.