MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN
VOL.6 NO.1, FEBRUARI 2025

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

ANALISA SIMULASI PADA KEKUATAN MATERIAL *MINI BOILER* MENGGUNAKAN METODE *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Eko Setiawan[1)], Ahmad Zamheri[2)*], Mardiana[2)]
[1)] Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit besar, Palembang, 30139, Indonesia
[2)]Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139, Indonesia
[*]email korespondensi: zamheri@polsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Received:
22/08/24

Received in revised:
14/11/24

Accepted:
18/11/24

Online-Published:
28/02/25

©2025 The Authors. Published by Machinery: Jurnal Teknologi Terapan (Indexed in SINTA)

doi:
http://doi.org/10.5281/zenodo.15234205

ABSTRAK

Perkembangan ilmu teknologi saat ini dapat mendukung perkembangan alat-alat produksi pada industri tahu. Salah satunya teknologi dalam bidang konversi energi yang memunculkan banyak ide-ide kreatif untuk memanfaatkannya pada dunia industri. Salah satu mesin konversi energi adalah mini boiler atau ketel uap. Mini boiler mampu megubah air menjadi uap air yang dapat dimanfaatkan tekanan maupun panas dari uap air tersebut. Pada beberapa industri tahu sudah menggunakan peralatan produksi penghasil uap. Mesin uap konvensonal ini terbuat dari drum yang berfungsi sebagai penangkap uap. Pada proses produksi tahu ini mini boiler memiliki fungsi yang sangat vital. Mini boiler menghasilkan uap air yang memiliki tekanan tinggi. Oleh karena itu perlu adanya Simulasi dan analisis struktur untuk meningkatkan efisiensi mini boiler menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA). Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah stainless steel. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis simulasi pada mini boiler dalam upaya meningkatkan efisiensi design, dimana suatu metode yang digunakan untuk memodelkan, menganalisis, dan fenomena terkait di dalam sistem menggunakan pendekatan numerik. Metodologi penelitian yang digunakan yaitu analisis elemen hingga (Finite Element Analysis) dengan bantuan software ansys 2023 R1.

***Kata Kunci** : FEA (Finite Element Analysis), Mini Boiler, Kekuatan Material, Tekanan Uap, Konversi Energi*

ABSTRACT

The advancement of technology today supports the development of production tools in the tofu industry. One such technology in the field of energy conversion has sparked many creative ideas for its application in the industrial world. One of the energy conversion machines is the mini boiler or steam boiler. The mini boiler is capable of converting water into steam, which can be utilized for its pressure and heat. Some tofu industries have already adopted steam-generating production equipment. These conventional steam machines are made of drums that function as steam collectors. In the tofu production process, the mini boiler plays a very vital role. The mini boiler produces high-pressure steam. Therefore, it is necessary to simulate and conduct a structural analysis to improve the efficiency of the mini boiler using the Finite Element Analysis (FEA) method. The material used in this study is stainless steel. This study aims to perform a simulation analysis on the mini boiler in an effort to improve design efficiency, using a method that models and analyzes phenomena related to the system through a numerical approach. The research methodology employed is Finite Element Analysis (FEA) with the assistance of ANSYS 2023 R1 software.

***Keywords**: FEA (Finite Element Analysis), Mini Boiler, Material Strength, Steam Pressure, Energy Conversion*

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

1 PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara yang menghasilkan tahu. Tahu sangat disukai oleh orang-orang karena rasanya yang enak dan kaya akan nutrisi dan tinggi protein. Selain itu, tahu memiliki harga yang terjangkau, sehingga dapat diakses oleh semua orang [1]. Tahu adalah salah satu produk usaha kecil menengah berbahan baku kedelai yang banyak ditemukan di beberapa wilayah. Pemerintah memberikan ruang bagi masyarakat untuk membuka dan mengembangkan usaha produksi tahu skala kecil maupun menengah untuk meningkatkan makanan bergizi tinggi, terutama protein, dengan harga yang relatif murah [2].

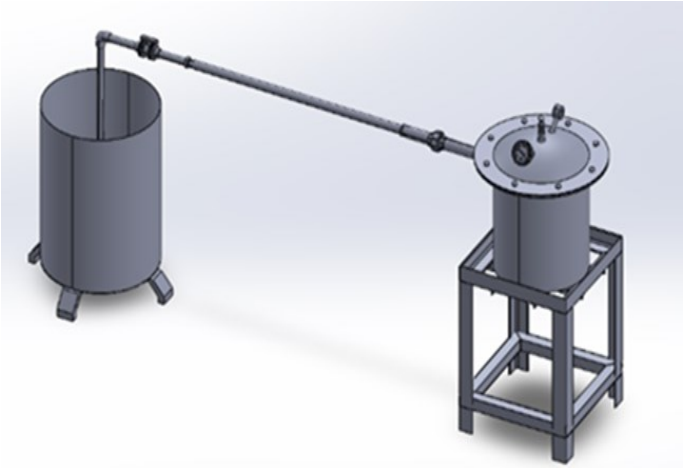
Proses pembuatan tahu masih dibuat secara tradisional, perebusan langsung dengan bahan bakar kayu. Kelemahannya dengan metode ini adalah mengeluarkan banyak asap, yang dapat menyebabkan rasa tahu menjadi sangit. Selain itu, proses memerlukan waktu yang lama. [3]. *Mini boiler* merupakan Bagian dari teknologi tepat guna. Teknologi madya adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan teknologi tepat guna [4]. *Boiler* adalah bejana/wadah yang berisi dengan air atau cairan lain untuk dipanaskan. Panas yang diterima fluida di dalam *boiler* berasal dari proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Kebutuhan bahan bakar *boiler* harus memiliki nilai kalor yang tinggi agar dapat mengubah air menjadi uap, dan efisiensi *boiler* dipengaruhi oleh nila dari pemakaian bahan bakar yang [5]. Studi ini menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mengoptimalkan profil dan dimensi *mini boiler* khusus untuk industri tahu. Penerapan FEA pada *boiler* dalam konteks industri tahu merupakan pendekatan baru yang belum banyak diterapkan, Teknologi ini dapat menghasilkan *boiler* dengan efisiensi panas lebih tinggi, daya tahan yang lebih lama, dan sesuai dengan kebutuhan produksi tahu.

Boiler ini menawarkan solusi untuk mengurangi bau sangit serta meningkatkan efisiensi proses produksi tahu. Penerapan *boile*r yang memisahkan ruang pembakaran dari bahan tahu merupakan inovasi penting untuk mengurangi kontaminasi rasa dan meningkatkan kualitas produk. *Boiler* ini juga dapat mendukung proses produksi yang lebih bersih dan ramah lingkungan, menjawab tantangan polusi akibat pembakaran langsung yang sebelumnya menjadi masalah utama pada pengusaha tahu. FEA memungkinkan analisis mendalam terkait distribusi tekanan, panas, dan deformasi pada berbagai komponen *mini boiler* sehingga dapat mendesain *boiler* yang lebih kuat dan efisien [6].

2. BAHAN DAN METODA

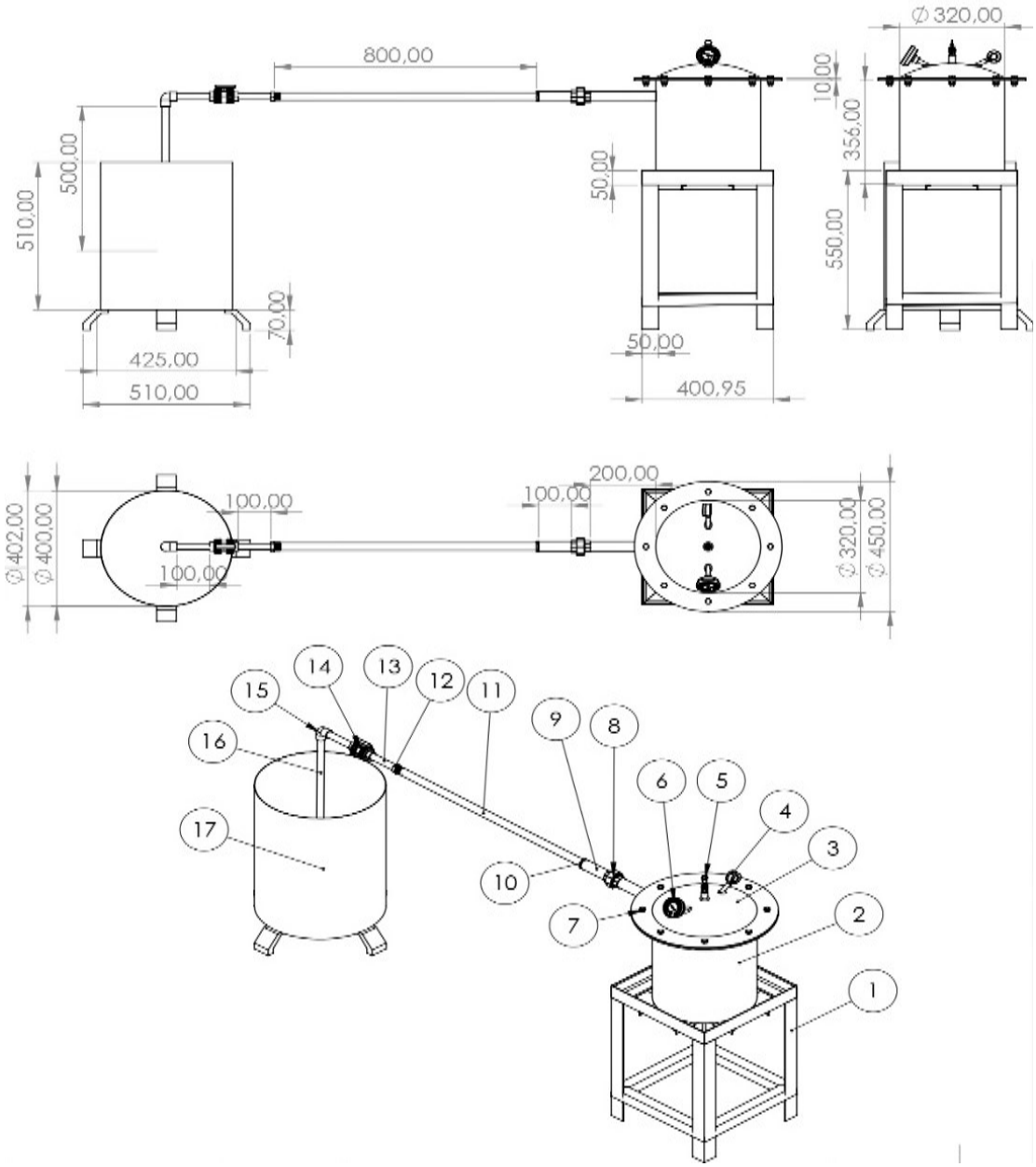
2.1 Mini *Boiler*

Mini *boiler* atau ketel uap adalah mesin berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam* dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Tujuan dari ketel uap adalah untuk menghasilkan atau memindahkan kalor dari sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar [7]. Mini *boiler* memiliki manometer dan katup pengaman tekanan untuk memastikan bahwa ia bekerja pada batas aman dan mencegah kerusakan [8]. Mini *boiler* adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan uap. Mini *boiler* menghasilkan dua bagian terpenting yaitu sistem yang mengubah air menjadi uap dan sistem pemanas yang menghasilkan panas dari pembakaran bahan bakar [9]. Biaya operasional *mini boiler* terdiri dari biaya bahan bakar serta biaya listrik untuk sistem kontrol dan penyalaan pompa dan blower. Oleh karena itu, satu-satunya cara untuk mengurangi biaya operasional adalah dengan menggunakan bahan bakar yang murah atau gratis yang tersedia bagi UKM yang menggunakan mini *boiler* [10].



Gambar 1. Desain *Mini Boiler*

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)



Gambar 2. Gambar Teknik *Assembly Mini Boiler*

2.2 Material Properties

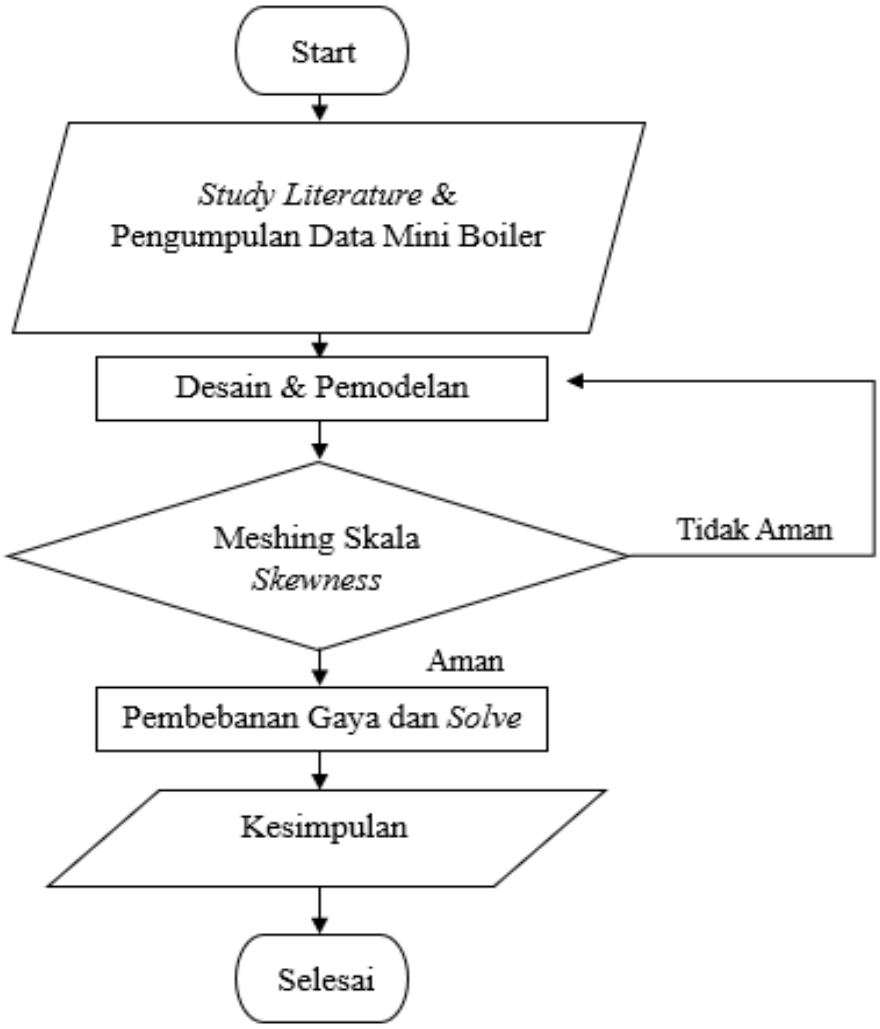
Baja tahan korosi (*stainless steel*) adalah baja yang mengandung kromium dan sangat tahan terhadap korosi dan oksidasi dalam kondisi tertentu [11]. *Stainless steel* banyak digunakan dalam peralatan industri karena tingkat keasaman tingginya, yang membuatnya sangat tahan korosi. Selain itu, *stainless steel* dapat menahan korosi yang disebabkan oleh banyak zat kimia [12].

2.3 Metode Numerik

Dalam penelitian ini, analisis *stress* dan *strain* dilakukan melalui simulasi pengujian menggunakan perangkat lunak *Ansys* 2023 R2. *Ansys* adalah perangkat lunak komputer yang memiliki kemampuan untuk menangani persoalan persoalan elemen dari pemodelan hingga analisis [16].

Dengan perangkat lunak *Ansys workbench* 2023 R2, metode elemen hingga digunakan untuk melakukan analisis tegangan dan regangan. Metode ini digunakan untuk menghitung kekuatan struktur komponen teknik dengan membagi objek menjadi bentuk jala (*mesh*), suatu elemen yang lebih kecil [13]. Untuk melakukan simulasi, *mesh* harus dibuat. Untuk mengetahui seberapa baik *mesh* akhir, kontrol kualitas *mesh* ditambahkan. [14]. *Software Ansys* adalah salah satu program perancangan yang paling umum [15].

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)



Gambar 3. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi menggunakan analisis *stress* dengan perangkat lunak *software Ansys 2023* R2 sebagai simulasi pengujian.

3.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian berisi uraian material yang diuji menggunakan aplikasi *software Ansys 2023 R2*.

3.1.1 Analisa Simulasi *Mini Boiler* Material *Stainless Steel* 304

1) *Properties Stainless Steel* 304

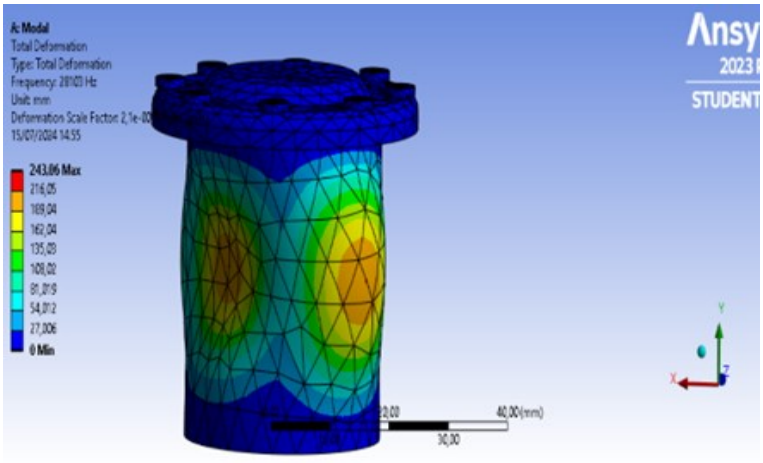
Tabel 1. *Properties Stainless Steel* 304

Nama Material	*Stainless Steel* 304	
Sifat Umum	*Density*	7.850 mg/m^3
	Yield Strength	205 Mpa
	Ultimate Tensile Strength	510 Mpa
Tegangan	*Modulus Young*	2003 Gpa
	Rasio Poisson	0,27 Null
	Thermal Expansion	16 x 10^{-6}/K
	Shear Modulus	74 GPA

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

2) Total *Deformation* Material *Stainless Steel* 304

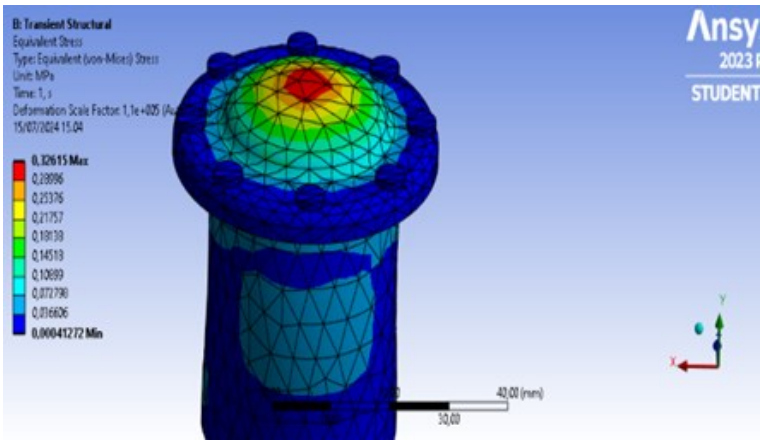
Regangan minimum dengan nilai sebesar δ = 0. Nilai maksimum sebesar δ = 243,06 max . dapat diketahui bahwa stuktur *mini boiler* mengalami regangan (deformasi total). seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Total *Deformation Stainless Steel* 304

3) Tegangan Luluh (*Equivalent Von-Mises Stress*) *Stainless Steel* 304

Tegangan luluh minimum nilai sebesar ϵy= 0,00041272 min. Nilai maksimum sebesar ϵy = 0,32615 max, Seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, *mini boiler* yang terbuat dari baja tahan karat 304 mengalami tegangan.



Gambar 5. *Equivalent Von-Mises Stress Stainless Steel* 304

3.1.2 Analisa Simulasi *Mini Boiler* Material *Stainless Steel* 316

1) Properties *Stainless Steel* 316

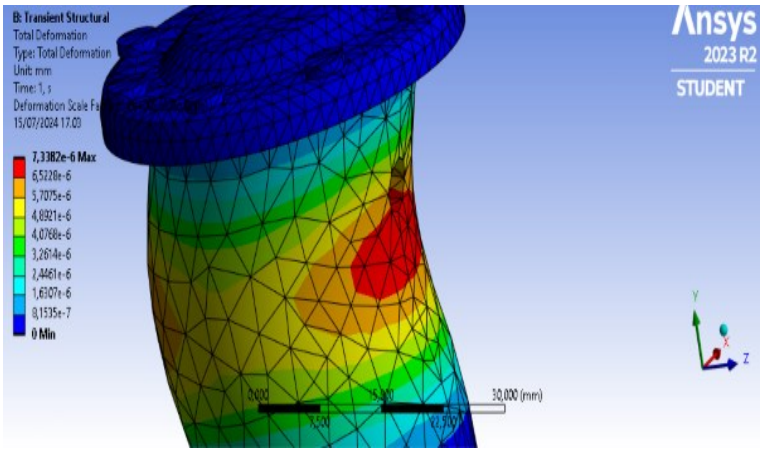
Tabel 2. *Properties Stainless Steel* 316

Nama Material	*Stainless Steel* 316	
Sifat Umum	*Density*	7.870 mg/m^3
	Yield Strength	170 Mpa
	Ultimate Tensile Strength	480 Mpa
Tegangan	*Modulus Young*	205 Gpa
	Rasio Poisson	0,27 Null
	Thermal Expansion	15 x 10^{-6}/K
	Shear Modulus	74 GPA

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

2) Total *Deformation* Material *Stainless Steel* 316

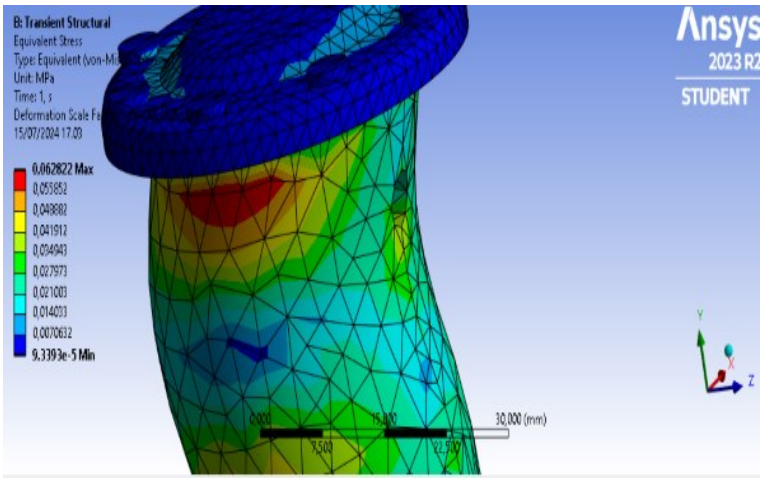
Regangan minimum nilai sebesar δ = 0 min. Nilai maksimum dengan nilai sebesar δ= 7,3382e-6 max. Dapat diketahui Area dengan mengalami kerusakan atau kegagalan material.



Gambar 6. *Equivalent Von-Mises Stress) Stainless Steel* 316

3) Tegangan Luluh (*Equivalent Von-Mises Stress) Stainless Steel* 316

Tegangan luluh minimum dengan nilai sebesar ϵy= 9,3393e-5 min mengalami tegangan yang sangat rendah. Nilai maksimum sebesar ϵy = 0,062822 max mengalami tegangan paling tinggi di bawah beban yang diterapkan.



Gambar 7. *Equivalent Von-Mises Stress Stainless Steel* 316

3.1.3 Analisa Simulasi *Mini Boiler* Material *Stainless Steel* 321

1) *Properties* Material *Stainless Steel* 321

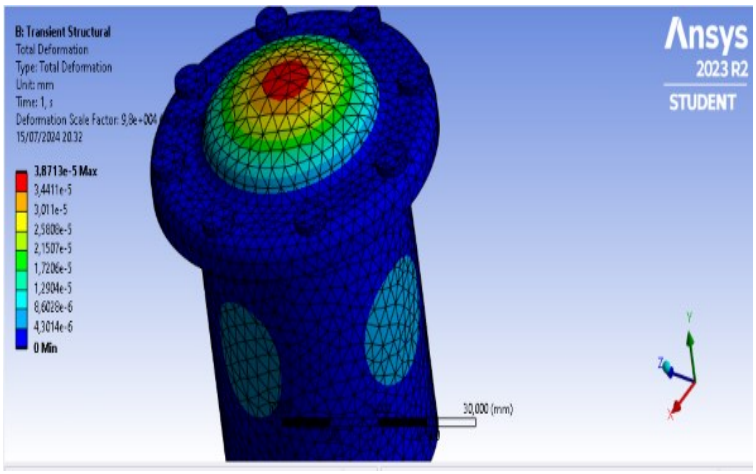
Tabel 3. *Properties Stainless Steel* 321

Nama Material	*Stainless Steel* 304	
Sifat Umum	*Density*	7.850 mg/m^3
	Yield Strength	210 Mpa
	Ultimate Tensile Strength	510 Mpa
Tegangan	*Modulus Young*	205 Gpa
	Rasio Poisson	0,27 Null
	Thermal Expansion	16 x 10^{-6}/K
	Shear Modulus	74 PA

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

2) Total *Deformation Material Stainless Steel* 321

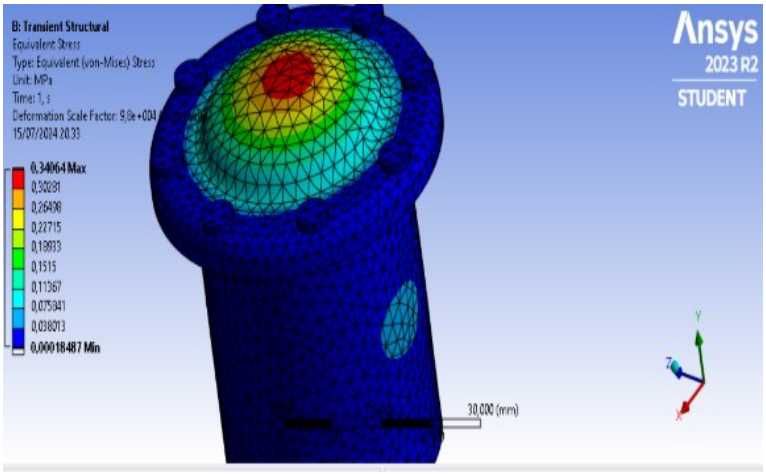
Regangan minimum dengan nilai sebesar δ = 0 min. Nilai maksimum dengan nilai sebesar δ = 3,8713e-5 max.



Gambar 8. Total *Deformation Stainless Steel 321*

3) Tegangan Luluh (*Equivalent Von-Mises Stress*) *Stainless Steel* 321

Tegangan luluh minimum dengan nilai sebesar ϵy= 0,00018487 min. Nilai maksimum struktur pada boiler sebesar ϵy = 0,34064 max



Gambar 9. *Equivalent Von-Mises Stress) Stainless Steel* 321

Pada masing-masing simulasi menggunakan material *stainless steel* yang diperoleh setelah melakukan analisa simulasi FEA (*Finite Element Analysis*) dapat dilihat material yang sedikit terjadi regangannya dan cocok untuk digunakan sebagai material untuk *mini boiler* perebusan santan tahu. Perbedaan diantaranya untuk deformasi *stainless steel* 304 adalah sebesar δ = 243,06 max, sedangkan *stainless steel* 316 dengan nilai deformasi sebesar δ = 3,8713e-5 max, *Stainless steel* 321 dengan nilai deformasi sebesar δ = 7,3382e-6 max dengan sama-sama diberikan temperatur 100 ℃, tekanan sebebar 20 Psi, sehingga memiliki perbedaan nilai regangan yang hanya berbeda sedikit , tetapi *stainlees steel* 304 membuktikan layak untuk digunakan dan cocok untuk menjadi material *mini boiler* perebusan santan tahu. Seperti yang ditunjukkkan pada tabel. 4 Hasil Deformation Mini Boiler.

Tabel 4. Hasil *Deformation Mini Boiler*

NO.	Material	Hasil Min Deformasi	Hasil Max Deformasi
1	*Stainless Steel* 304	δ = 0 min	δ = 243,06 max
2	*Stainless Steel* 316	δ = 0 min	δ = 3,8713e-5 max
3	*Stainless Steel* 321	δ = 0 min	δ = 7,3382e-6 max

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

Stainless Steel 304 dengan tegangan luluh minimum yang terjadi pada struktur *mini boiler* dengan nilai sebesar ϵy=0,00041272 min dengan nilai ϵy = 0,32615 max. *Stainless steel* 316 dengan tegangan luluh minimum yang terjadi pada struktur *mini boiler* dengan nilai sebesar ϵy=9,3393e-5 min mengalami tegangan yang sangat rendah. Nilai maksimum struktur pada *boiler* sebesar ϵy = 0,062822 max mengalami tegangan paling tinggi di bawah beban yang diterapkan. *Stainless steel* 321 dengan tegangan luluh minimum yang terjadi pada struktur *mini boiler* dengan nilai sebesar ϵy=0,00018487 min mengalami tegangan yang sangat rendah. Nilai maksimum struktur pada *mini boiler* sebesar ϵy = 0,34064 max. Dari kesimpulan tegangan luluh pada simulasi *mini boiler stainless steel* 316 dengan mendapatkan nilai tegangan luluh maksimum terendah dari yang lain, tetapi *stainless steel* 304 juga mengalami tegangan luluh yang cukup rendah dan tetap layak untuk diterapkan pada *mini boiler* perebusan santan tahu.

Tabel 5. Hasil *Tegangan Luluh Mini Boiler*

NO.	Material	Hasil min Tegangan Luluh	Hasil max Tegangan Luluh
1	*Stainless Steel* 304	ϵy= 0,00041272 min	ϵy = 0,32615 max
2	*Stainless Steel* 316	ϵy= 9,3393e-5 min	ϵy = 0,062822 max
3	*Stainless Steel* 321	ϵy= 0,00018487 min	ϵy = 0,34064 max

Stainless steel 304 memiliki deformasi terbesar dibandingkan dengan *stainless steel* 316 dan 321, namun masih layak digunakan sebagai material untuk *mini boiler* perebusan santan tahu karena meskipun mengalami tegangan yang lebih besar, masih berada dalam batas aman untuk penggunaannya. *Stainless steel* 316 menunjukkan nilai deformasi dan tegangan luluh paling rendah, menjadikannya material yang sangat stabil dan kuat di bawah kondisi yang diuji. Namun, meskipun lebih baik dari segi deformasi dan tegangan, perbedaannya relatif kecil dibandingkan *stainless steel* 304. *Stainless steel* 321 juga menunjukkan performa yang baik dengan deformasi dan tegangan luluh yang cukup rendah, namun sedikit lebih tinggi dibandingkan *stainless steel* 316.

Secara keseluruh dari data yang telah didapat melalui *software ansys*, *stainless steel* 304 dinilai tetap cocok dan layak digunakan untuk *mini boiler* perebusan santan tahu, meskipun *stainless steel* 316 memberikan performa yang lebih baik dalam hal deformasi dan tegangan luluh. *Stainless steel* 304 umumnya digunakan dalam industri makanan seperti industri tahu. Memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dalam berbagai lingkungan, kekuatan mekanis yang baik, serta dapat menahan suhu tinggi yang umumnya terjadi dalam proses pembuatan santan tahu. *Stainless steel* 304 tahan terhadap korosi pada berbagai lingkungan, termasuk kondisi basah dan asam lemah yang dapat muncul dari bahan santan. Ini penting untuk menjaga kebersihan dan keamanan dalam pengolahan makanan. Meskipun mengalami deformasi lebih besar dibandingkan jenis *stainless steel* lain, *Stainless steel* 304 tetap cukup kuat dan tahan lama untuk menangani tekanan dan suhu tinggi yang terjadi selama proses perebusan. Dibandingkan dengan *stainless steel* 316 dan 321, *stainless steel* 304 umumnya lebih murah, sehingga menjadi pilihan yang lebih ekonomis tanpa mengorbankan terlalu banyak performa. *Stainless steel* 304 mudah dibentuk, dilas, dan dibersihkan. Dalam proses pengolahan makanan, kebersihan adalah faktor penting, dan bahan ini sangat cocok karena tidak mudah menempelkan residu makanan. Material ini dapat menahan suhu hingga 870°C tanpa kehilangan sifat mekanisnya, sehingga cocok untuk proses yang memerlukan pemanasan seperti perebusan santan tahu.

3.1.4 Analisa Pengujian Secara Langsung

Pengujian *mini boiler* dengan kapasitas air 5 liter dilakukan secara langsung. Hasilnya mencapai suhu 370 °C selama 10 menit, 750 °C selama 20 menit, 1000 °C selama 30 menit, dan 110 °C selama 40 menit. Pada menit 30, hasilnya mencapai tekanan 18 psi atau 2 bar.



Gambar 10. Hasil Pengujian pada *Mini Boiler*

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)



(a) (b)

Gambar 11. Hasil Pengukuran (a) suhu *Mini Boiler*, (b) tekanan *Mini Boiler*

Hasil dari pengujian secara langsung pada *pressure gauge* dengan hasil hampir 200 ^{0}C dan tekanan sebesar 2 bar tetap bisa bertahan dengan beban yang telah diterima, tetapi terjadi kebocoran pada bagian tutup *mini boiler* bagian atas di tempat pengelasannya, untuk itu salah satu kebocoran yang memicu pada material *stainless steel* 304 ini ada di pengelasannya sendiri.

4. KESIMPULAN

Material yang digunakan pada *mini boiler* perebusan santan tahu adalah *stainless steel* 304. *Stainless steel* 304 tahan terhadap korosi pada berbagai lingkungan, termasuk kondisi basah dan asam lemah yang dapat muncul dari bahan santan. Ini penting untuk menjaga kebersihan dan keamanan dalam pengolahan makanan. Meskipun mengalami deformasi lebih besar dibandingkan jenis *stainless steel* lain, *Stainless steel* 304 tetap cukup kuat dan tahan lama untuk menangani tekanan dan suhu tinggi yang terjadi selama proses perebusan. Dibandingkan dengan *stainless steel* 316 dan 321, *stainless steel* 304 umumnya lebih murah, sehingga menjadi pilihan yang lebih ekonomis tanpa mengorbankan terlalu banyak performa. *Stainless steel* 304 mudah dibentuk, dilas, dan dibersihkan. Dalam proses pengolahan makanan, kebersihan adalah faktor penting, dan bahan ini sangat cocok karena tidak mudah menempelkan residu makanan. Material ini dapat menahan suhu hingga 870°C tanpa kehilangan sifat mekanisnya, sehingga cocok untuk proses yang memerlukan pemanasan seperti perebusan santan tahu.

Spesifikasi ukuran 300 x 350 mm, dengan bantuan kerangka, pipa dan panci yang terbuat dari *stainless steel* didapat hasil deformasi *stainless steel* 304 adalah sebesar δ = 243,06 max, sedangkan *stainless steel* 316 dengan nilai deformasi sebesar δ = 3,8713e-5 max, *Stainless steel* 321 dengan nilai deformasi sebesar δ = 7,3382e-6 max, seluruhnya sama-sama diberikan temperatur 100 ℃ dan tekanan sebesar 29 Psi atau 2 bar. Hasil pengujian *mini boiler* yang dilakukan secara langsung pada menit ke 10 dengan suhu 37^0 C, pada menit 20 dengan suhu 75^0 C, pada menit 30 dengan suhu 100^0 C, pada menit 400 dengan suhu 110^0 C. Pada menit 20 dengan tekanan 18 Psi dan menit 40 dengan tekanan 30 psi atau 2 bar. Total deformasi *stainless steel* 304 sebesar δ = 243,06 max, sedangkan *stainless steel* 316 dengan nilai deformasi sebesar δ = 3,8713e-5 max, *Stainless steel* 321 dengan nilai deformasi sebesar δ = 7,3382e-6 max dengan sama-sama diberikan temperatur 100 ℃, dan tekanan sebesar 20 Psi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Fitriana and I. P. Sari, “Peningkatan Kualitas Proses Produksi Tahu Menggunakan Metode Fmea Dan Fta (Studi Kasus: Pabrik Tahu Dn),” *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 33, no. 3, pp. 277–289, 2023, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2023.33.3.277.

[2] M. Munir and S. Jaya, “Usulan Perancangan Ulang Mesin *Boiler* Produksi Tahu Menggunakan Pendekatan *Value Engineering* Sebagai Upaya Untuk Meminimalkan Waktu Produksi (Studi Kasus : UD. Sumber Jaya),” *J. Matrik*, vol. 18, no. 1, pp. 21–30, 2017.

[3] Sudarman, Suwahyo, and Sunyoto, “Penerapan Ketel Uap (*Steam Boiler*) Pada Industri Pengolahan Tahu Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Kualitas Produk,” *Sainteknol*, vol. 13, no. 1, pp. 71–78, 2015.

[4] S. Sakuri, H. Hartono, N. Supriyana, Y. Nurfaizal, and R. A. N. Al Hakim, “Rancangan dan penerapan teknologi *boiler vertikal fire tube* untuk perebusan bubur kedelai tahu Kalisari Banyumas,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 39–46, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i1.2284.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

[5] N. M. Pratama, Danial, and M. Taufiqurrahman, "Analisa Efisiensi *Water Tube Boiler* Dengan Menggunakan Metode Langsung," *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 105–110, 2021, [Online]. Available: https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/48393

[6] M. N. Rajić, M. S. Banić, D. S. Živković, M. M. Tomić, and M. V. Mančić, "*Construction optimization of hot water fire-tube boiler using thermomechanical finite element analysis," Therm. Sci.*, vol. 22, pp. S1511–S1523, 2018, doi: 10.2298/TSCI18S5511R.

[7] F. Feri, H. B. I. Yahaya, A. A. Aleihydro, and B. Prakoso, "Rancang Bangun *Boiler* untuk Modernisasi pada Industri Tahu dengan Menggunakan *Autodesk Inventor*," *J. Inov. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.15294/jim.v5i1.69995.

[8] S. Sakuri, H. Hartono, N. Supriyana, Y. Nurfaizal, and R. A. N. Al Hakim, "Rancangan dan penerapan teknologi *boiler vertikal fire tube* untuk perebusan bubur kedelai tahu Kalisari Banyumas," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i1.2284.

[9] J. Syalsabila, Hendradinata, F. Putri, Safe'i, Siproni, and I. HB, "Anaslisa Efisiensi *Thermal Boiler Tipe Circulation Fluidized* BED Di PLTU 3x10MW," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 4, no. 3, pp. 159–166, 2023, [Online]. Available: https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/machinery/article/download/7107/2921/22753

[10] U. Hanifah, N. D. Susanti, and M. Andrianto, "Kinerja *Mini Boiler* Tipe Pipa Api 3 Pass Berbahan Bakar Biomassa Pelet Kayu dan Tempurung Kelapa," *Agritech*, vol. 39, no. 3, pp. 200–206, 2019.

[11] M. Prof. Dr. Tjokorda Gde Tirta Nindha, ST, "Diktat Material dan Proses *Stainless Steel*," p. 72, 2017, [Online].Available:https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_1_dir/d5a56d04e2d28a918dbcd1a09000b011.pdf

[12] D. A. A. Ritonga and M. Idris, "Karakteristik bahan *steel* 304 terhadap kekuatan impak benda jatuh bebas," *Wahana Inov.*, vol. 6, no. 2, pp. 207–215, 2017.

[13] M. F. Walidina, K. Kardiman, and I. Nugraha Gusniar, "Analisis Tegangan Von Mises pada Poros Mesin Penggiling Sekam Padi Menggunakan *Software Ansys*," *J. METTEK*, vol. 8, no. 1, p. 35, 2022, doi: 10.24843/mettek.2022.v08.i01.p05.

[14] M. Tian Setiazi, Mohammad Tauviqirrahman, "Analisis Elemen Hingga Karakteristik Suhu *Solid Disc Brake* Mobil," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, no. 4, pp. 7548–7555, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.437.

[15] A. Ardiawan and D. Adi Walujo, "Perancangan Mesin Penyaringan Dalam Proses Pembuatan Tahu Guna Meningkatkan Hasil Produktivitas Dalam Skala *Home Industry*," *WAKTU J. Tek. UNIPA*, vol. 14, no. 2, pp. 39–42, 2016, doi: 10.36456/waktu.v14i2.133.

[16] A. Sofyan, J. Glusevic, A. J. Zulfikar, and B. Umroh, "Analisis Kekuatan Struktur Rangka Mesin Pengering Bawang Menggunakan Perangkat Lunak *Ansys* Apdl 15.0," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 3, no. 1, p. 20, 2019, doi: 10.31289/jmemme.v3i1.2417.