

DESAIN ALAT PIROLISIS DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR 2016

Muhammad Cahya Kumala Putra
Program Vokasi, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Email: cahya.kumala09@gmail.com

Andika Wisnu Jati
Program Vokasi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
awjati83@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain alat pirolisis menggunakan software autodesk inventor 2016, serta mengetahui tekanan, tegangan, dan beban maksimum pada alat pirolisis menggunakan software autodesk inventor 2016. Alat yang digunakan dalam penelitian adalah laptop dan software autodesk inventor 2016. Sedangkan bahan yang digunakan dalam desain menggunakan steel dan stainless steel. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, perancangan desain menggunakan autodesk inventor 2016, pengujian desain menggunakan stress analysis autodesk inventor 2016, analisis dan pembahasan, serta kesimpulan. Hasil dari penelitian ini antara lain sebuah desain alat pirolisis yang terdiri reaktor dengan diameter 30 cm, tinggi, 36 cm berat, 3,375 kg, dua buah kondensor yang terdiri dari kondensor udara berdiameter 15 cm, tinggi 20 cm, berat 0,975 kg dan kondensor air berdiameter 15 cm, tinggi, 15 cm, berat 0,750 kg, yang dirangkai pada sebuah rangka berukuran 76 cm x 39 cm x 17 cm. Melalui stress analysis autodesk inventor 2016 diperoleh tekanan yang mampu ditahan alat pirolisis sebesar 476,85 MPa. Selain itu, tegangan maksimum yang dapat dibebankan adalah 444,9 MPa dengan beban maksimum 48 kg.

Kata kunci: pirolisis, desain alat pirolisis, autodesk inventor 2016, *stress analysis*.

ABSTRACT

This study aims to produce a pyrolysis tool design using Autodesk Inventor 2016 software, as well as knowing the pressure, voltage, and maximum load on the pyrolysis tool using the autodesk inventor 2016 software. The tools used in the study were laptops and autodesk inventor 2016 software. While the materials used in the design used steel and stainless steel. The research methods used included literature studies, preparation of tools and materials, design design using autodesk inventor 2016, design testing using autodesk inventor 2016 stress analysis, analysis and discussion, and conclusions. The result of this study include a pyrolysis design consisting of a reactor with diameter 30 cm, height, 36 cm, weight 3,375 kg, two condenser consist of a air condenser which have diameter 15 cm, height 20 cm, weight 0,975 kg, and water condenser which have diameter 15 cm, height 15 cm, weight 0,750 kg, which is arranged in a frame measuring 76 cm x 39 cm x 17 cm. Through the 2016 stress analysis autodesk inventor, the pressure that can be held by the pyrolysis device is 476.85 MPa. In addition, the maximum voltage that can be charged is 444.9 MPa with a maximum load of 48 kg.

Keywords: *pyrolysis, pyrolysis tool design, autodesk inventor 2016, stress analysis.*

Acc. Mas MZ
27/10/16

1. PENDAHULUAN

Sampah adalah benda yang sudah dibuang dan tidak diinginkan lagi, terutama sampah plastik yang susah diuraikan dan terus meningkat jumlahnya dari tahun ketahun. Tempat pembuangan Sampah Terpadu (TPST) telah disiapkan untuk menampung sampah. Di Yogyakarta terdapat TPST Piyungan yang menampung buangan sampah kiriman dari Jogja, Sleman dan Bantul. Menurut data dari surat kabar Harian Jogja pada tanggal 28 Agustus 2018, disebutkan bahwa volume sampah di Jogja yang dibuang ke TPST Piyungan menembus 700 ton per hari. Jumlah tersebut melebihi kapasitas TPST Piyungan baik dari segi peralatan dan lokasi pengumpulan sampah. Sampah yang didatangkan ke TPST Piyungan secara umum dapat di proses oleh industri dalam berbentuk pecahan, biji maupun butiran. meski demikian sampah yang telah didaur ulang tetapi masih ada saja sampah yang berdatangan.

Salah satu solusi efektif dalam mengolah dan mendaur ulang sampah kantong plastik adalah mengubah sampah kantong plastik menjadi bahan bakar. Pengolahan sampah kantong plastik menjadi bahan bakar merupakan solusi tepat untuk mengatasi jumlah sampah plastik yang *overload*. Mengingat kebutuhan bahan bakar menjadi kebutuhan yang sangat urgent di masyarakat. Kebutuhan bahan bakar masyarakat terus bertambah dari hari ke hari. Namun cadangan bahan bakar minyak bumi yang menjadi sumber bahan bakar utama masyarakat terus berkurang dan memerlukan proses yang sangat lama untuk menghasilkannya kembali.

Selain itu, dalam proses perubahan kantong plastik menjadi bahan bakar diperlukan 10kg sampah plastik untuk menghasilkan 3 liter bahan bakar. Jumlah tersebut akan memberikan sumbangan yang besar dalam mengurangi jumlah sampah plastik. Pengolahan sampah kantong plastik akan lebih efektif apabila dapat dilakukan dalam lingkup rumah. Oleh karena itu, dikembangkan sebuah desain alat untuk menghasilkan bahan bakar dari sampah kantong plastik yang dapat digunakan di rumah.

Untuk menghasilkan sebuah bahan bakar diperlukan serangkaian proses pirolisis yang meliputi pembakaran dan pendinginan. Proses pirolisis memerlukan beberapa komponen yaitu

reaktor, pipa, kondensor udara, dan kondensor air. Semua komponen tersebut perlu dirangkai sedemikian rupa agar menghasilkan alat pirolisis pengubah limbah plastik menjadi minyak bahan bakar yang efektif dan efisien. Untuk menghasilkan alat pirolisis yang baik diperlukan perancangan yang matang mengenai desain alat. Salah satu *software* yang digunakan untuk perancangan desain tersebut adalah menggunakan *software* Autodesk Inventor 2016. Melalui *software* tersebut, desain alat pirolisis tersebut dapat dibuat secara 2D dan 3D dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran sesungguhnya serta dapat menguji kekuatan desain tersebut.

Dalam proses desain alat pirolisis ditetapkan batasan sebagai berikut pembuatan alat untuk menghasilkan bahan bakar dari sampah kantong plastik dilakukan di Bengkel UMY kampus Wirobrajan, desain alat pirolisis menggunakan material yang mudah didapat di lingkungan masyarakat yaitu stainless steel dan steel serta memiliki batas tegangan, tekanan, dan faktor keamanan yang baik dalam skala rumah tangga, desain alat untuk menghasilkan bahan bakar dari sampah kantong plastik dibuat menggunakan Autodesk Inventor Professional 2016, analisis pada desain dilakukan dengan stress analysis Autodesk Inventor.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil desain dari alat untuk menghasilkan bahan bakar dari sampah kantong plastik menggunakan *software* Autodesk Inventor 2016, tekanan dari alat pirolisis dengan *software* Autodesk Inventor 2016, kekuatan tegangan dan beban maksimal desain alat pirolisis menggunakan *software* Autodesk Inventor 2016.

Untuk mendesain alat pirolisis, dilakukan studi literatur mengenai proses pirolisis dan alat pirolisis yang telah ada. Pirolisis berasal dari dua kata yaitu yang berarti panas dan lisis berarti penguraian atau degradasi, sehingga pirolisis berarti penguraian biomassa karena panas pada suhu lebih 150°C (Kamaruddin, dkk, 1999).

Sedangkan menurut Merza, M. M. (2014) pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan volatile matters pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk pirolisis pada sampah berupa cair yang menguap mengandung tar dan

polyaromatichydrocarbon. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar (*pyrolytic oil*), dan arang. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda (Trianna, N. W., 2002).

Selain komposisi gas yang dihasilkan juga perlu disesuaikan dengan kriteria standar emisi yang telah ditentukan. Berdasarkan Keputusan Menteri LHK No 20/2017 menetapkan bahan bakar bensin harus memenuhi standar emisi gas buang setara dengan Euro IV. Euro IV adalah sebuah standar baku emisi gas buang motor kendaraan bermotor yang digunakan untuk mengurangi dampak polusi udara yang bersumber dari kendaraan bermotor. Untuk memenuhi standar tersebut, bahan bakar yang dihasilkan harus memiliki kadar sulfur dibawah 50 ppm, Cetane Number minimum 51, dan Ash Content maksimal 0,01.

Nasrun, dkk(2015) telah melakukan penelitian proses pirolisis untuk pengolahan limbah yang berupa kantong plastik kresek. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa nilai titik nyala yang diperoleh semakin menurun seiring dengan peningkatan suhu pirolisis. Namun hal tersebut tidak mengganggu mutu bahan bakar minyak yang masih mendekati standar. Apabila suhu pirolisis semakin tinggi akan mengakibatkan api semakin cepat menyambar saat disulut akibat pengaruh kandungan air dalam minyak.

Selain itu, nasrun, dkk(2015) juga melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu dan waktu pirolisis terhadap kadar abu yang menghasilkan kesimpulan bahwa kadar abu semakin naik seiring dengan peningkatan suhu pirolisis. Abu merupakan hasil reaksi oksidasi dari atom c yang tidak terkonversi. Semakin tinggi suhu pemanasan selama proses pirolisis maka proses penguraian zat-zat yang terkandung dalam plastik akan semakin sempurna. Zat-zat tersebut akan terurai menjadi gas dan cair (minyak) (tjokrowisastro dkk, 1990).

Rafli, R., dkk (2017) juga melakukan penelitian serupa mengenai penerapan pirolisis untuk mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar minyak. Penelitian tersebut menghasilkan

sebuah alat pirolisis dengan komponen yang terdiri dari bagian utama berupa mesin pirolisis yang terintegrasi dengan burner berbahan bakar cangkang nyamplung. alat pirolisis ini juga mengolah gas hasil pirolisis yang masih tersisa akibat belum terkondensasi dengan menyalurkannya ke ruang pembakaran di bawah reaktor untuk tambahan proses pemanasan. Hasil pengujian alat pirolisis tersebut dapat bekerja dengan baik dengan kapasitas 14kg/jam.

Darlami, H. B., dkk (2017) juga merancang sebuah alat pirolisis. Alat pirolisis tersebut terdiri dari dua bagian yaitu reaktor pirolisis dan kondensor. Reaktor pirolisis yang dirancang memiliki penampang silindris vertikal, yang disebut shell. Kepala, yang merupakan penutup ujung reaktor, dipilih agar tetap rata untuk mengurangi biaya pembuatan, untuk memastikan perawatan yang mudah dan untuk memungkinkan tingkat perpindahan panas yang lebih besar. Cangkang dan tabung kondensor dengan kecenderungan sangat kecil terhadap horizontal dirancang untuk digunakan dalam percobaan untuk memfasilitasi dukungan yang tepat dan agar minyak cair mengalir secara alami di bawah aksi gravitasi untuk pengumpulan yang mudah dalam labu.

Suatu desain memerlukan uji untuk mengetahui kualitas atau mutu desain tersebut. Dalam melakukan pengujian tersebut diperlukan suatu kriteria untuk mengukur apakah desain tersebut layak atau tidak. Dewobroto, W. (2015) mengemukakan terdapat code atau standard yang dikemukakan asosiasi profesi berdasarkan penelitian dan analisis kelalaian yang belum bisa diduga sebelumnya. Salah satu kriteria yang digunakan pada desain ini adalah AISC (*America Institute of Steel Construction*). Kriteria AISC ini kemudian juga diadaptasi Indonesia dalam SNI 1729:2015 dengan cara menerjemahkan AISC (2010).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini terdiri dari studi literatur, persiapan alat dan bahan, perancangan desain menggunakan Autodesk Inventor 2016, pengujian desain menggunakan stress analysis Autodesk Inventor 2016, analisis data, pembahasan, dan kesimpulan. Dalam perancangan desain alat pirolisis digunakan software Autodesk inventor dengan urutan prosedur sebagai berikut (1) menggambar desain

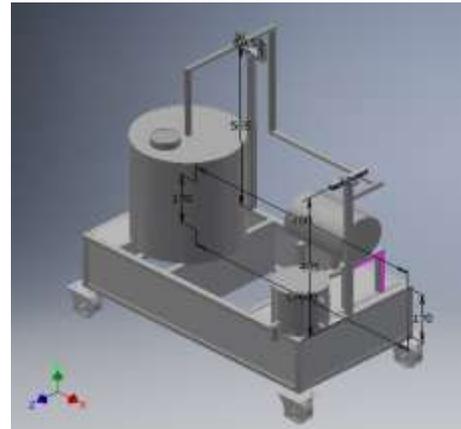
alat pirolisis, (2) menyetel mode stress analysis, (3) menetapkan material, (4) memilih batasan, (5) menetapkan simulasi beban sesuai keadaan nyata, (6) menetapkan kontak batasan, (7) menetapkan the finite element analysis mesh, dan (8) melakukan pengujian stress analysis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Desain Alat Pirolisis

Desain alat pirolisis ini dirancang untuk kebutuhan rumah tangga dengan kapasitas limbah kantong plastik sebesar 2 kg. Dengan kapasitas limbah tersebut dibutuhkan reaktor dengan ukuran diameter 30 cm dan tinggi 36 cm. Untuk mendinginkan hasil pirolisis digunakan dua buah kondensor, yaitu kondensor udara dan kondensor air. Ukuran kondensor tersebut adalah berdiameter 15 cm dengan tinggi 20 cm untuk kondensor udara dan berdiameter 15 cm dan tinggi 15 cm untuk kondensor air. Pada kondensor air terdapat pipa berbentuk huruf Z. Sedangkan ukuran dan bentuk pipa penghubung menyesuaikan letak dan posisi komponen alat pirolisis yang compact. Alat pirolisis ini diletakkan di atas sebuah rangka yang juga didesain menyesuaikan letak komponen alat pirolisis yang terdiri dari reaktor, kondensor udara, kondensor air, pipa penghubung, pompa air dan burner. Desain alat ini juga dibuat portable dengan menambahkan roda pada setiap kaki rangka. Selain itu, untuk menghindari hembusan angin dan api yang menyebar ke komponen lainnya, ditambahkan plat sebagai penyekat.

Alat pirolisis ini menggunakan dua macam bahan untuk disimulasi yaitu steel dan stainless steel. Penggunaan simulasi berbahan stainless steel dilakukan pada komponen alat pirolisis berupa reaktor, kondensor udara, kondensor air, dan pipa. Sedangkan bahan steel diterapkan pada rangka yang menopang semua komponen alat pirolisis. Adapun desain 3d alat pirolisis tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Desain 3D Alat Pirolisis [1]

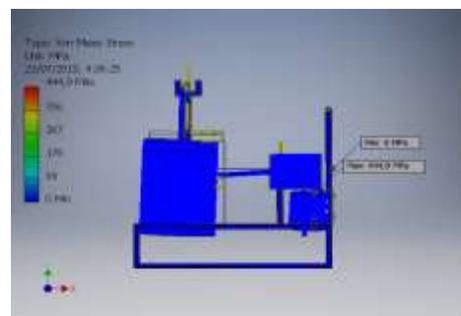
3.2 Pengujian Desain Alat Pirolisis

Desain alat pirolisis yang telah dibuat kemudian diuji menggunakan Autodesk Inventor 2016. Pengujian tersebut memperoleh *stress analysis report* sebagai berikut

Tabel 1. Stress Analysis Report

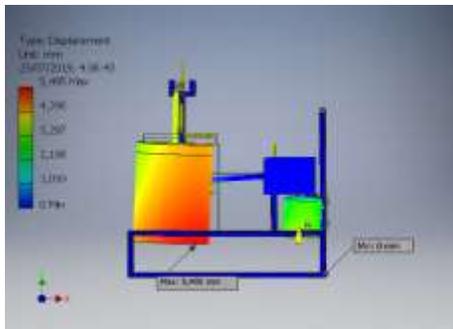
Name	Von Misses Stress	Displacement	Safety Factor
Min	0,00208749 MPa	0 mm	0,561865
Max	444,947 MPa	5,4951 mm	15

Nilai tegangan maksimal terjadi di pipa input kondensor air dengan nilai tegangan *equivalent* maksimum sebesar 444,9 Mpa. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada tiang di samping kondensor yang berfungsi sebagai penarik alat pirolisis. Deformasi terbesar terjadi pada reaktor dengan nilai displacement sebesar 5,495 mm. Hasil stress analysis secara gambar simulasi dapat dilihat sebagai berikut

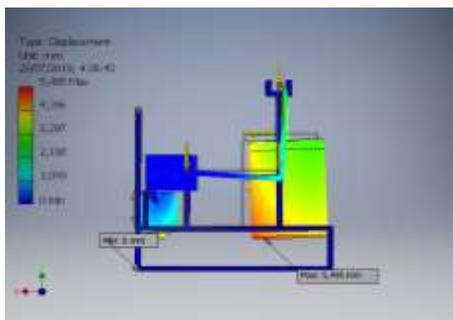


Gambar 2. Von Misses Stress Desain 3D Alat Pirolisis [2]

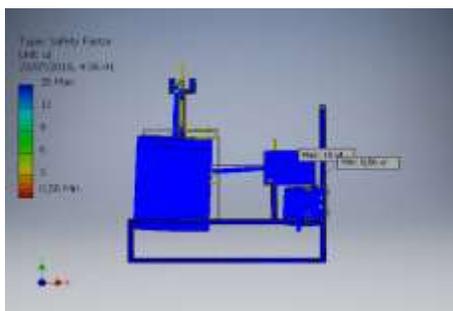
Displacement atau adanya perubahan bentuk desain saat diberikan beban dapat dilihat pada gambar [3] dan [4]. Displacement terbesar terjadi pada reaktor dengan besar displacement maksimum sebesar 5,495 mm.



Gambar 3. Displacement Desain 3D Alat Pirolisis(Depan) [3]



Gambar 4. Displacement Desain 3D Alat Pirolisis(Belakang) [4]



Gambar 5. Safety Factor Desain 3D Alat Pirolisis [5]

Dari stress analysis report tersebut, alat pirolisis yang berbahan stainless steel memiliki modulus young sebesar 193 Gpa, *poisson's ratio* sebesar 0,3, *shear modulus* sebesar 74,2308 GPa, *yield strength* sebesar 250 MPa, dan ultimate tensile strength sebesar 540MPa.

Dari stress analysis report diketahui bahwa desain alat pirolisis yang menggunakan material steel memiliki modulus young sebesar 210 GPa. sedangkan nilai *poisson's ratio* sebesar 0,3, *shear modulus* sebesar 80,7692 GPa, *yield strength* sebesar 207 MPa, dan ultimate tensile strength sebesar 345MPa. Menurut kriteria yang telah ditetapkan AISC, terdapat standar kondisi yang harus dipenuhi agar desain dinyatakan layak serta memenuhi nilai allowable span dan allowable stress yang diijinkan, dengan persamaan allowable span berikut

$$allowable\ span = \frac{length}{200} \quad (1)$$

Sedangkan untuk nilai allowable stress dapat diperoleh dengan persamaan berikut

$$Allowable\ stress = 0,75 \times Yield\ Strength \quad (2)$$

Setelah nilai allowable span dan allowable stress telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai tersebut dengan nilai yang diperoleh dari hasil simulasi. Apabila nilai dari hasil simulasi tidak melebihi nilai allowable span dan allowable stress maka desain tersebut dinyatakan lolos. Standar kondisi yang harus dipenuhi antara lain Von Mises gagal jika nilai maksimum von mises stress material melebihi kekuatan bahan (*strength of the material*). Beban yang terjadi harus lebih kecil dari tegangan yang diijinkan.

Selain *allowable span* dan *allowable stress* terdapat *safety factor* yang juga digunakan dalam penelitian ini. *Safety factor* ditujukan untuk membatasi kemungkinan runtuh sesuai pertimbangan variabel yang diperhitungkan. Nilai beban sebenarnya melampaui beban kerja sebesar S dan daya tahan sebenarnya lebih kecil dari daya tahan yang dihitung sebesar R, struktur yang tepat harus memenuhi persamaan

$$safety\ factor = \frac{daya\ tahan}{beban\ kerja} \quad (3)$$

Adapun standar kondisi yang harus dipenuhi *safety factor* adalah *safety factor* minimum diperoleh harus melebihi *poisson ration*. Apabila kondisi tersebut dipenuhi maka desain dinyatakan lolos.

3.3 Pembahasan

Pada komponen alat pirolisis yang berbahan *stainless steel* nilai *allowable stress* yang diijinkan adalah 187,5 MPa. Menurut hasil pengujian menggunakan stress analysis diperoleh nilai tegangan equivalent maksimum masing-masing sebesar 17,72 MPa untuk reaktor, 0,004559 MPa untuk kondensor udara, dan 30,81 MPa untuk kondensor air. Melalui stress analysis report tersebut diketahui bahwa nilai tegangan equivalent maksimum komponen alat pirolisis yang menggunakan bahan *stainless steel* memiliki nilai lebih kecil dari *allowable stress* yang diijinkan. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa desain alat pirolisis yang berbahan *stainless steel* dinyatakan lolos menurut kriteria AISC.

Setelah simulasi pemberian tegangan maksimal telah dinyatakan lolos, langkah selanjutnya menganalisis perpindahan atau perubahan bentuk alat pirolisis saat dikenai tegangan maksimum. Dari perhitungan *allowable span* yang telah dilakukan untuk masing-masing komponen, dapat dianalisis apakah desain alat pirolisis ini lolos menurut kriteria AISC. Menurut AISC *displacement* yang dinyatakan lolos apabila nilai yang diperoleh saat simulasi tidak melebihi *allowable span* yang dihitung. Masing-masing komponen alat pirolisis tersebut diperoleh 0,0239 mm untuk reaktor dengan *allowable span* sebesar 1,5 mm, 2,576e-007 mm untuk kondensor udara dengan *allowable span* sebesar 1 mm, dan 0,007072 mm untuk kondensor air dengan *allowable span* sebesar 0,75 mm. Masing-masing komponen alat pirolisis tersebut memenuhi kriteria karena memiliki nilai *displacement* di bawah *allowable span* sehingga bahwa desain alat pirolisis yang berbahan *stainless steel* dinyatakan lolos pengujian *displacement*.

Von mises ketika disimulasikan pada elemen menunjukkan angka 42,56 MPa dan *allowable stress* yang diijinkan adalah 155,25 Mpa. Jadi von mises stress pada desain ini dinyatakan lolos. Ketika diberi beban, desain akan mengalami *displacement* sebesar 0, 4478 mm. Nilai *allowable span* yang diijinkan adalah 3,8 mm sehingga dapat dinyatakan bahwa desain ini lolos sesuai kriteria AISC. Sedangkan untuk tegangan tarik dan tegangan tekan diperoleh sebesar 38,3784 Mpa dan 15,9965 MPa. Dengan nilai *allowable stress* hasil perhitungan yang didapat sebesar 155,25 MPa, desain ini dinyatakan lolos kriteria AISC.

Safety factor desain ini mendapatkan nilai 4,86 untuk komponen alat pirolisis berbahan *steel*. Sedangkan alat pirolisis yang berbahan *stainless steel* memiliki nilai *safety factor* 14,108 untuk reaktor, 15 untuk kondensor udara 8,11 untuk kondensor air. Nilai *safety factor* yang diperoleh lebih dari *possession's ratio* yaitu 0,3. Selain itu nilai ratio dari *maximum allowable stress* dengan *equivalent stress* diperoleh nilai lebih dari 1 yaitu 3,64. Jadi desain ini dinyatakan lolos *safety factor*.

Setelah desain alat pirolisis dinyatakan lolos menurut kriteria AISC, selanjutnya adalah mengetahui tekanan, tegangan, dan beban maksimum alat pirolisis melalui stress analysis. Dari hasil stress analysis diketahui bahwa tegangan maksimal terjadi di pipa input kondensor air dengan nilai tegangan equivalent maksimum sebesar 444,9 MPa. Sedangkan nilai tekanan maksimum yang diperoleh adalah 476,85 MPa dengan beban seberat 48,086 Kg

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan suatu desain alat pirolisis untuk rumah tangga dengan sebuah reaktor dengan diameter 30 cm, tinggi, 36 cm berat, 3,375 kg, dua buah kondensor yang terdiri dari kondensor udara berdiameter 15 cm, tinggi 20 cm, berat 0,975 kg dan kondensor air berdiameter 15 cm, tinggi, 15 cm, berat 0,750 kg, serta rangka dengan ukuran panjang 76cm, tinggi 17cm, lebar 39cm berat 10,4757 kg. Desain alat ini telah diuji menggunakan software autodesk inventor 2016 dan memperoleh nilai tekanan maksimum sebesar 476,85 MPa serta nilai tegangan maksimum sebesar 444,9 MPa dengan berat maksimum 48kg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Jika memang ada, dapat dituliskan Ucapan Terima Kasih sebelum DAFTAR PUSTAKA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darlami, H. B. (2017). Design, Fabrication and Testing of Waste Plastic Pyrolysis Plant. In Proceedings of IOE Graduate Conference (pp. 1-8). Andi Aladin, dkk (2017) American Institute of Physics. "Jurnal Design of Pyrolysis Reactor for Production of Bio-Oil and Bio-Char Simultaneously"

- [2] Kamaruddin, R. (1999). A naturally ventilated crop protection structure for tropical conditions.
- [3] Merza, M. M. (2014). U.S. Patent No. 8,826,434. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [4] Nasrun, N. (2017). PENGOLAHAN LIMBAH KANTONG PLASTIK JENIS KRESEK MENJADI BAHAN BAKAR MENGGUNAKAN PROSES PIROLISIS. *Jurnal Energi Elektrik*, 4 (1).
Ricki Rafli, dkk (2017) “Penerapan Teknologi Pirolisis untuk Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak di Kabupaten Bantul”
- [5] Rafli, R. (2017). Penerapan Teknologi Pirolisis Untuk Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak di Kabupaten Bantul. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, 2(1), 1-5.
- [6] Tjokrowisastro, E. H. (1990). *Teknik Pembakaran Dasar dan Bahan Bakar*. ITS, Surabaya.
- [7] Trianna, N. W. (2002). Model Kinetika Reaksi Heterogen pada Pirolisis. *Prosiding Rekayasa Kimia dan Proses*, ISSN, 1411-4216.