

ANALISIS PENGARUH BEBAN MEKANIS DAN BEBAN TEMPERATUR PADA AIR BAFFLE SIPHONIC ROOF OUTLET TIPE NON-BOWL FINLESS LAMINAR AGITATING FLOW (NOFLAF) DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

*Adit Rizqi Suarno Putera¹, Ojo Kurdi², Achmad Widodo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: aditrizqi707@gmail.com

Abstrak

Siphonic roof outlet telah menjadi pilihan yang efisien dalam mengatasi permasalahan pembuangan air hujan dari atap bangunan komersial. Sistem ini berbasis pada prinsip *siphon* yang memungkinkan air hujan dihisap dengan kecepatan tinggi melalui pipa saluran, sehingga memungkinkan aliran air yang lebih besar dengan menggunakan diameter pipa yang lebih kecil. Penelitian ini dilakukan agar dapat mengetahui material *siphonic roof outlet* yang paling baik menahan beban eksternal berupa beban statis, beban impak akibat tabrakan sepatu, beban impak akibat tabrakan bola besi dan beban temperatur. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan simulasi pembebahan dengan *Finite Element Method* (FEM) pada sebuah geometri *siphonic roof outlet* untuk mengetahui nilai dan distribusi *equivalent von-mises stress*, *total deformation* dan *safety factor*. Dalam penelitian ini, material yang disimulasikan adalah *Aluminum Alloy Cast 383*, *Stainless Steel 304*, *Brass C26800*, *Polycarbonate*, *Acrylic*, dan *PVC* pada pembebahan statis dan *Stainless Steel 304* serta *Polycarbonate* pada pembebahan impak. Dari hasil simulasi tersebut didapatkan material terbaik untuk *siphonic roof outlet* yang mampu menahan beban eksternal adalah *Stainless Steel 304*. Material ini menunjukkan *safety factor* terbaik, yaitu 13,06 pada pembebahan statis dan beban temperatur. Selain itu, *safety factor* terbaik pada pembebahan impak akibat tabrakan sepatu dan beban temperatur sebesar 2,8325 dan *total deformation* terkecil yang dicapai adalah 2,2025 mm pada pembebahan impak akibat tabrakan bola dan beban temperatur.

Kata Kunci: beban temperature; *finite element method* (fem); *siphon*; *siphonic roof outlet*

Abstract

The siphonic roof outlet has become an efficient choice in addressing rainwater drainage issues from commercial building roofs. This system is based on the siphon principle, allowing rainwater to be suctioned at high speeds through the drainage pipes, thus enabling a larger water flow using smaller pipe diameters. This research aims to determine the best material for siphonic roof outlets that can withstand external loads, including static loads, impact loads from shoe collisions, impact loads from steel ball collisions, and thermal load. The methodology used in this research involves load simulation using the Finite Element Method (FEM) on a siphonic roof outlet geometry to determine the equivalent von-mises stress, total deformation, and safety factor values and distributions. The materials simulated in this research include Aluminum Alloy Cast 383, Stainless Steel 304, Brass C26800, Polycarbonate, Acrylic, and PVC for static loading, and Stainless Steel 304 and Polycarbonate for impact loading. The simulation results indicate that the best material for siphonic roof outlets to withstand external loads is Stainless Steel 304. This material demonstrated the best safety factor, which was 13.06 under static loading and temperature loads. Additionally, the best safety factor for impact loading due to shoe collision and thermal load was 2.8325, and the smallest total deformation achieved was 2.2025 mm under impact loading due to steel ball collision and temperature load.

Keywords: *finite element method* (fem); *siphon*; *siphonic roof outlet*; *thermal load*

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara tropis dengan curah hujan tahunan yang tinggi dan jumlah hari hujan yang signifikan setiap tahunnya. Menurut data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dari tahun 1981 hingga 2018, rata-rata curah hujan di Indonesia berkisar antara 2000 hingga 3000 mm per tahun. Curah hujan tertinggi tercatat di Sumatera Barat dengan 4950 mm per tahun, sementara jumlah hari hujan terbanyak terjadi di Maluku dengan 244 hari hujan per tahun.[1][2].

Ada dua jenis sistem drainase yang umum digunakan yaitu sistem drainase gravitasi dan sistem drainase sifonik. Sistem drainase sifonik memiliki perbedaan signifikan dengan sistem gravitasi. Pada sistem sifonik, meskipun area drainasenya sama dengan sistem gravitasi, kapasitasnya jauh lebih tinggi [3].

Siphon telah dikenal sejak lama sebagai alat sederhana yang mampu mengalirkan cairan dari ketinggian yang lebih tinggi ke ketinggian yang lebih rendah. Oleh karena itu, *siphon* dianggap sebagai bagian dari perangkat drainase [4]. Penting untuk memastikan bahwa saluran *siphon* selalu terisi penuh dengan air (bebas dari udara), agar sistem drainase berfungsi optimal [5][2]. Sistem *siphonic roof outlet* (SRO) telah menjadi pilihan yang efektif untuk menangani pembuangan air hujan dari atap bangunan komersial. Sistem ini didasarkan pada prinsip *siphon* yang memungkinkan air hujan disedot dengan cepat melalui pipa saluran, sehingga memungkinkan aliran yang lebih besar menggunakan diameter pipa yang lebih kecil. Keunggulan dari *siphonic roof outlet* meliputi kapasitas aliran yang lebih besar, pengurangan biaya pemasangan, dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan sistem pembuangan air hujan konvensional. Namun, dalam merancang dan mengoperasikan *siphonic roof outlet*, perlu mempertimbangkan berbagai faktor beban yang dapat memengaruhi kinerja dan kehandalan sistem secara keseluruhan. Tiga faktor utama yang harus diperhatikan adalah beban mekanis, beban temperatur, dan beban *negative pressure*.

2. Geometri dan Karakteristik Material

Permodelan *air baffle* SRO diperoleh dari gambar teknik *air baffle* SRO yang diberikan oleh PT. Siphonic Flow Mandiri menggunakan *software* Solidworks 2020 untuk mengubah gambar 2D menjadi 3D, yang selanjutnya disimulasikan dengan *software* Ansys.

Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah 3 material logam dan 3 material polimer agar bisa melihat perbedaan dampak yang dihasilkan akibat beban yang diterapkan. Karakteristik material dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik Material

Material	Young Modulus	Poisson Ratio	Yield Strength	Tensile Strength
Aluminium alloy cast 383	71 GPa	0,33	149,8 MPa	325,1 MPa
Stainless Steel 304	195,1 GPa	0,27	202 MPa	532,7 MPa
Brass, C26800	102,9 GPa	0,345	124,9 MPa	332,4 MPa
Polycarbonate	2,379 GPa	0,4	62,08 MPa	67,38 MPa
Acrylic	2,694 GPa	0,39	62,35 MPa	62,35 MPa
PVC	2,726 GPa	0,364	55,44 MPa	55,44 MPa

3. Kondisi Batas

Pembebanan statis berupa *Force* sebesar 600N pada permukaan atas *air baffle* SRO yang diasumsikan seperti orang dengan berat badan 60kg berdiri pada permukaan *air baffle* SRO pada siang hari, yang diterapkan juga kondisi batas berupa beban temperatur dengan intensitas radiasi matahari sebesar 197,92 W/m² dengan suhu lingkungan sebesar 34°C, lalu diberikan *Fix Support* pada permukaan dudukan baut *air baffle* SRO. Pembebanan impak yang dihasilkan oleh tabrakan sepatu dengan kecepatan sebesar 1614,7 mm/s pada sepatu *safety 3002H Stainless Steel 440* dan *Rubber Polyurethane* [6][7] dengan beban temperatur berupa intensitas radiasi matahari sebesar 197,92 W/m² dengan suhu lingkungan sebesar 34°C, lalu diberikan *Fix Support* pada permukaan dudukan baut *air baffle* SRO. Pembebanan impak yang dihasilkan oleh tabrakan bola besi dengan kecepatan sebesar 4400 mm/s pada bola besi [8]. Dengan, material *Structural Steel* [9] dan berat bola sebesar 4,23 Kg [8]. Lalu, ditambahkan beban temperatur berupa intensitas radiasi matahari sebesar 197,92 W/m² dengan suhu lingkungan sebesar 34°C, serta diberikan *Fix Support* pada permukaan dudukan baut *air baffle* SRO.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pembebanan Statis

Pembebanan berupa *Force* sebesar 600N pada bagian atas *air baffle siphonic roof outlet* dan intensitas radiasi matahari sebesar 197,92 W/m² [10] dengan suhu lingkungan sebesar 34°C pada bagian atas *air baffle siphonic roof outlet*.

a. Equivalent Stress

Nilai *equivalent stress* tertinggi dimiliki oleh material PVC dengan nilai *equivalent stress* sebesar 23,29 Mpa.

b. Total Deformation

Nilai *total deformation* tertinggi dimiliki oleh material *Polycarbonate* dengan nilai *total deformation* sebesar 1,1102 mm.

c. Safety Factor

Nilai *safety factor* tertinggi dimiliki oleh material *Stainless Steel 304* dengan nilai *safety factor* sebesar 13,06.

4.2 Pembebanan Impak Tabrakan Sepatu

Pembebanan berupa tabrakan sepatu *safety* pada bagian pinggir *air baffle siphonic roof outlet* dengan *Velocity* sebesar 1614,7 mm/s dan *Pressure* sebesar 0,01325 Mpa pada bagian bawah *air baffle siphonic roof outlet*.

a. Equivalent Stress

Nilai *equivalent stress* tertinggi dimiliki oleh material *Stainless Steel 304* dengan nilai *equivalent stress* sebesar 71,316 Mpa.

b. Total Deformation

Nilai *total deformation* tertinggi dimiliki oleh material *Polycarbonate* dengan nilai *total deformation* sebesar 3,0024 mm.

c. ***Safety Factor***

Nilai *safety factor* tertinggi dimiliki oleh material *Stainless Steel 304* dengan nilai *safety factor* sebesar 2,8325.

4.3 Pembebaan Impak Tabrakan Bola Besi

Pembebaan berupa tabrakan bola besi Pada bagian atas *air baffle siphonic roof outlet* dengan *Velocity* sebesar 4400 mm/s dan *Pressure* sebesar 0,01325 Mpa pada bagian bawah *air baffle siphonic roof outlet*.

a. ***Equivalent Stress***

Nilai *equivalent stress* tertinggi dimiliki oleh material *Stainless Steel 304* dengan nilai *equivalent stress* sebesar 545,68 Mpa.

b. ***Total Deformation***

Nilai *total deformation* tertinggi dimiliki oleh material *Polycarbonate* dengan nilai *total deformation* sebesar 15,419 mm.

c. ***Safety Factor***

Nilai *safety factor* tertinggi dimiliki oleh material *Polycarbonate* dengan nilai *safety factor* sebesar 0,93659.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari proses simulasi numerik, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil simulasi pembeban statis berupa *force* sebesar 600 N dan intensitas radiasi 197,92 W/m² dan suhu 34 °C, dengan variasi material, yaitu : *Aluminium Alloy Cast 383.0*, *Stainless Steel 304*, *Brass C26800*, *Polycarbonate*, *Acrylic*, dan *PVC* pada geometri *siphonic roof outlet*. Menunjukkan bahwa material yang paling baik menahan beban statis dan beban temperatur adalah *Stainless Steel 304*. Walaupun memiliki nilai *maximum equivalent von-mises stress* terbesar yaitu 15,467 MPa, tetapi material *Stainless Steel 304* memiliki nilai *minimum safety factor* terbesar yaitu 13,06 dan memiliki nilai *maximum total deformation* terkecil yaitu 0,013743 mm.
2. Dari hasil simulasi pembebanan impak tabrakan sepatu berupa *velocity* sebesar 1,614.746 mm/s pada sepatu, intensitas radiasi 197,92 W/m², dan suhu 34 °C dengan variasi material, yaitu : *Stainless Steel 304* dan *Polycarbonate* pada geometri *siphonic roof outlet*. Dengan nilai *maximum equivalent von-mises stress* sebesar 71,316 MPa, nilai *maximum total deformation* sebesar 0,06763 mm, dan nilai *minimum safety factor* sebesar yaitu 2,8325. Walaupun memiliki nilai *maximum equivalent von-mises stress* terbesar yaitu 71,316 MPa, tetapi material *Stainless Steel 304* memiliki nilai *minimum safety factor* terbesar yaitu 2,8325 dan memiliki nilai *maximum total deformation* terkecil yaitu 0,06763 mm.
3. Dari hasil simulasi pembeban impak bola besi dengan variasi material, yaitu : *Stainless Steel 304* dan *Polycarbonate* pada geometri *siphonic roof outlet*. Nilai *maximum equivalent von-mises stress* sebesar 545,68 MPa, nilai *maximum total deformation* sebesar 2,2025 mm, dan nilai *minimum safety factor* sebesar yaitu 0,37018. Meskipun memiliki *safety factor* yang lebih kecil dibandingkan dengan material *Polycarbonate* dengan *minimum safety factor* sebesar 0,93659. Namun, dalam hal ini *safety factor* bukan menjadi hal yang dapat dibandingkan, karena nilai dari *minimum safety factor* nya sudah dibawah nilai 1. Maka, dapat dilihat dari faktor lain yaitu *maximum total deformation* pada material *Stainless Steel 304* dengan nilai sebesar 2,2025 mm. Jika dibandingkan dengan material *Polycarbonate* dengan nilai *maximum total deformation* sebesar 11,739 mm, Maka dapat disimpulkan bahwa material *Stainless Steel 304* lebih baik menahan beban impak tabrakan sepatu.

6. Daftar Pustaka

- [1] BMKG, *Laporan Tahunan 2019 BMKG*, vol. 2017, no. 1. 2019. [Online]. Available: <http://190.119.145.154/handle/20.500.12773/11756>
- [2] R. E. Garrett, “Principles of Siphons,” 1991.
- [3] D. Fucik and J. A. N. Rucka, “Tinjauan sistem drainase atap sifonik,” pp. 3683–3694, 2019.
- [4] K. Subagja, “EVALUASI KINERJA DRAINASE SIPHON MENGGUNAKAN MODEL PERCOBAAN LABORATORIUM DAN PENDEKATAN ANALITIKAL,” pp. 1–4, 2020.
- [5] A. J. Syahbana *et al.*, “REKAYASA HIDRAULIKA KESTABILAN LERENG DENGAN SISTEM SIPHON : STUDI KASUS DI DAERAH KARANGSAMUNG , JAWA TENGAH,” vol. 24, no. 2, pp. 103–114, 2014.
- [6] H. N. Firmansyah, “Kajian Awal Material Pembuat Toe Cap (Safety Shoes) Menggunakan Metode Elemen Hingga.” 2021.
- [7] Osha, *Dr. OSHA Safety Shoes*. 2019.
- [8] A. Arriaga, “Impact testing and simulation of a polypropylene component. Correlation with strain rate sensitive constitutive models in ANSYS and LS-DYNA,” 2009.

- [9] Bheemaraya, "Impact analysis of spiral cellular structured hybrid sandwiched panel using ANSYS explicit dynamics," 2021.
- [10] G. L. Morrison and Sudjito, "Solar radiation data for indonesia," *Sol. Energy*, vol. 49, no. 1, pp. 65–76, 1992, doi: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(92\)90128-W](https://doi.org/10.1016/0038-092X(92)90128-W).