

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

*Putra Yudha Pratama¹, 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: putrayudha2103@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 dampak akibat tabrakan sepatu, beban dampak akibat tabrakan bola besi dan *negative pressure*. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan simulasi pembebanan 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*. Pada pembebanan statis, digunakan 6 variasi material yaitu *Aluminum Alloy Cast 383*, *Stainless Steel 304*, *Brass C26800*, *Polycarbonate*, *Acrylic* dan *PVC*. Sedangkan pada pembebanan dampak, digunakan 2 variasi material yaitu *Stainless Steel 304* dan *Polycarbonate*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material *siphonic roof outlet* yang paling baik menahan pembebanan statis yang diterapkan adalah material *Stainless Steel 304* dengan nilai *equivalent von-mises stress* sebesar 40,309 MPa, nilai *total deformation* sebesar 0,034537 mm, dan nilai *safety factor* sebesar 5,0113. Material yang paling baik menahan pembebanan dampak tabrakan sepatu adalah *Stainless Steel 304* dengan nilai *equivalent von-mises stress* sebesar 74,12 MPa, nilai *total deformation* sebesar 0,075735 mm, dan nilai *safety factor* sebesar 2,7253. Selain itu material yang paling baik menahan pembebanan dampak tabrakan bola besi adalah *Stainless Steel 304* dengan nilai *equivalent von-mises stress* sebesar 562,33 MPa, nilai *total deformation* sebesar 2,1103 mm, dan nilai *safety factor* sebesar 0,35922.

Kata Kunci: *finite element method (fem); negative pressure; siphon; siphonic roof outlet*

Abstract

The *siphonic roof outlet* has become an efficient option for addressing the problem of rainwater drainage from commercial building roofs. This system is based on the *siphon* principle, which allows rainwater to be sucked through the drainage pipe at high speed, enabling a larger water flow using smaller pipe diameters. This research was conducted to determine the best material for *siphonic roof outlets* in resisting external loads such as static loads, impact loads from shoe collisions, impact loads from steel ball collisions, and negative pressure. The methodology used in this research involves loading simulations with the *Finite Element Method* (FEM) on a *siphonic roof outlet* geometry to determine the values and distribution of *equivalent von-Mises stress*, *total deformation*, and *safety factor*. For static loading, six material variations were used: *Aluminum Alloy Cast 383*, *Stainless Steel 304*, *Brass C26800*, *Polycarbonate*, *Acrylic*, and *PVC*. For impact loading, two material variations were used: *Stainless Steel 304* and *Polycarbonate*. The results showed that the best material for resisting the applied static load was *Stainless Steel 304*, with an *equivalent von-mises stress* value of 40.309 MPa, a *total deformation* value of 0.034537 mm, and a *safety factor* value of 5.0113. The best material for resisting impact loads from shoe collisions was *Stainless Steel 304*, with an *equivalent von-mises stress* value of 74.12 MPa, a *total deformation* value of 0.075735 mm, and a *safety factor* value of 2.7253. Additionally, the best material for resisting impact loads from steel ball collisions was *Stainless Steel 304*, with an *equivalent von-mises stress* value of 562.33 MPa, a *total deformation* value of 2.1103 mm, and a *safety factor* value of 0.35922..

Keywords: *finite element method (fem); negative pressure; siphon; siphonic roof outlet*

1. Pendahuluan

Pada sebuah gedung baik bertingkat atau tidak, curah hujan ekstrem dapat menyebabkan penumpukan air pada bagian atap gedung yang secara tidak langsung dapat menambah beban operasional dari struktur maupun material dari atap tersebut[1]. Masalah pengelolaan air hujan juga dapat dioptimalisasi sehingga air hujan yang jatuh tidak terbuang sia-sia dan dapat digunakan kembali untuk keperluan-keperluan yang sebenarnya tidak perlu penggunaan air bersih seperti sistem sanitasi, irigasi, bahkan mencegah kandungan air berlebih dalam tanah yang dapat menyebabkan longsor pada

bidang tanah yang memiliki elevasi berlebih. Maka dari itu sebagai langkah preventif, penting bagi seorang perencana untuk memikirkan drainase air hujan dengan baik[2].

Beban temperatur dengan fluktuasi suhu ekstrem dapat mempengaruhi performa dan integritas material sistem siphonic roof outlet. Perubahan suhu dapat menyebabkan ekspansi atau kontraksi termal pada air baffle SRO dan komponen lainnya, menyebabkan ketidakcocokan dan merusak sistem secara keseluruhan. Selain itu, suhu tinggi dapat menyebabkan perubahan pada karakteristik aliran siphonic dan risiko kondensasi[3].

Beban negative pressure terjadi ketika ada perubahan tekanan udara di dalam pipa saluran yang dapat menyebabkan deformasi pada bagian bawah air baffle SRO. Hal ini bisa terjadi akibat naiknya kecepatan aliran air di bawah air baffle SRO sehingga tekanan di bawah air baffle SRO lebih rendah dari tekanan atmosfer. Deformasi pada bagian bawah air baffle SRO dapat mengganggu fungsi sistem siphonic roof outlet[4].

Maka dari itu diperlukan simulasi pembebanan pada geometri air baffle SRO berupa pembebanan statis dengan 6 variasi material yaitu Aluminum Alloy Cast 383, Stainless Steel 304, Brass C26800, Polycarbonate, Acrylic dan PVC. Pembebanan impact tabrakan sepatu dan pembebanan impact tabrakan bola besi dengan 2 variasi material yaitu Stainless Steel 304 dan Polycarbonate[5]. Sehingga didapatkan hasil berupa equivalent von-mises stress, total deformation, dan safety factor yang dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pemilihan material air baffle SRO yang kuat menahan beban eksternal dan sesuai dengan kebutuhan sistem siphonic roof outlet[6].

2. Geometri dan Karakteristik Material

Gambar teknik *air baffle* SRO tersebut diperoleh dari PT. Siphonic Flow Mandiri. Gambar teknik *air baffle* SRO ini digunakan untuk membuat 3D modelling *air baffle* SRO dengan software Solidworks 2020 yang selanjutnya disimulasi dengan software Ansys. Jenis *Siphonic siphonic roof outlet* yang dipakai adalah tipe *Non-bowl Finless Laminar Agitating Flow*. Terdapat tiga model geometri yang digunakan untuk simulasi, yaitu simulasi pembebanan statis, simulasi pembebanan impact tabrakan sepatu, dan simulasi pembebanan impact tabrakan bola besi. Pada penelitian ini, Dalam penelitian ini kami menggunakan variasi 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
<i>Aluminium alloy cast 383</i>	71 GPa	0,33	149,8 MPa	325,1 MPa
<i>Stainless Steel 304</i>	195,1 GPa	0,27	202 MPa	532,7 MPa
<i>Brass, C26800</i>	102,9 GPa	0,345	124,9 MPa	332,4 MPa
<i>Polycarbonate</i>	2,379 GPa	0,4	62,08 MPa	67,38 MPa
<i>Acrylic</i>	2,694 GPa	0,39	62,35 MPa	62,35 MPa
<i>PVC</i>	2,726 GPa	0,364	55,44 MPa	55,44 MPa

3. Kondisi Batas

Kondisi batas dari penelitian ini. Pada simulasi statis, Beban yang di terapkan berupa *Force* sebesar 600N pada bagian atas *air baffle siphonic roof outlet* dan *Pressure* sebesar 0,01325 Mpa pada bagian bawah *air baffle siphonic roof outlet* lalu *Fix Support* pada kedudukan baut *air baffle SRO*. Pada simulasi impact tabrakan sepatu, beban yang diterapkan berupa *Pressure* sebesar 0,01325 Mpa pada bagian bawah *air baffle siphonic roof outlet* dan *Velocity* sebesar 1614,7 mm/s pada sepatu *safety 3002H* dengan material *Stainless Steel 440* dan *Rubber Polyurethane* [7][8] lalu *Fix Support* pada kedudukan baut *air baffle SRO*. Pada simulasi impact tabrakan bola besi, beban yang diterapkan berupa *Pressure* sebesar 0,01325 Mpa pada bagian bawah *air baffle siphonic roof outlet* dan *Velocity* sebesar 4400 mm/s pada bola besi[9]. dengan material *Structural Steel*[10] dan berat bola sebesar 4,23 Kg[9]. *Fix Support* pada kedudukan baut *air baffle SRO*.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pembebanan Statis

Pengujian statis menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk mengetahui tegangan (*Von-Mises*) maksimum dan gaya maksimum yang diterima oleh *siphonic roof outlet* akibat pembebanan berupa *Force* sebesar 600N pada bagian atas *air baffle siphonic roof outlet* dan *Pressure* sebesar 0,01325 Mpa pada bagian bawah *air baffle siphonic roof outlet*.

a. Equivalent Stress

Equivalent stress tertinggi dimiliki oleh material PVC dengan nilai *equivalent stress* sebesar 59,25 Mpa.

b. Total Deformation

Total deformation tertinggi dimiliki oleh material *Polycarbonate* dengan nilai *total deformation* sebesar 2,7437 mm.

c. Safety Factor

Safety factor tertinggi dimiliki oleh material *Stainless Steel 304* dengan nilai *safety factor* sebesar 5,0113.

4.2 Pembebanan Impact Tabrakan Sepatu

Pengujian impact menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk mengetahui tegangan (*Von-Mises*) maksimum dan gaya maksimum yang diterima oleh *siphonic roof outlet* akibat 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

Equivalent stress tertinggi dimiliki oleh material *Stainless Steel 304* dengan nilai *equivalent stress* sebesar 74,12 Mpa.

b. Total Deformation

Total deformation tertinggi dimiliki oleh material *Polycarbonate* dengan nilai *total deformation* sebesar 3,5609 mm.

c. Safety Factor

Safety factor tertinggi dimiliki oleh material *Stainless Steel 304* dengan nilai *safety factor* sebesar 2,7253.

4.3 Pembebanan Impact Tabrakan Bola Besi

Pengujian impact menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk mengetahui tegangan (*Von-Mises*) maksimum dan gaya maksimum yang diterima oleh *siphonic roof outlet* akibat pembebanan 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

Equivalent stress tertinggi dimiliki oleh material *Stainless Steel 304* dengan nilai *equivalent stress* sebesar 562,33 Mpa.

b. Total Deformation

Total deformation tertinggi dimiliki oleh material *Polycarbonate* dengan nilai *total deformation* sebesar 12,589 mm.

c. Safety Factor

Safety factor kedua material tersebut sudah dibawah 1 atau telah dikatakan *failure* tapi *safety factor* tertinggi dimiliki oleh material *Polycarbonate* dengan nilai *safety factor* sebesar 0,093579.

5. Kesimpulan

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

1. Dari hasil simulasi pembebanan statis berupa force sebesar 600 N, pressure sebesar $-1,325 \times 10^4$ Pa 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 negative pressure adalah Stainless Steel 304. Walaupun memiliki nilai maximum equivalent von-mises stress terbesar yaitu 40,309 MPa, Stainless Steel 304 memiliki nilai minimum safety factor terbesar yaitu 5,0113 dan memiliki nilai maximum total deformation terkecil yaitu 0,034537 mm.
2. Dari hasil simulasi pembebanan impact tabrakan sepatu dengan velocity sebesar 1614,7 mm/s pada sepatu, pressure sebesar $-1,325 \times 10^4$ Pa dengan variasi material, yaitu : Stainless Steel 304 dan Polycarbonate pada geometri *siphonic roof outlet*. Menunjukkan bahwa material yang paling baik menahan beban impact tabrakan sepatu dan negative pressure adalah Stainless Steel 304. Walaupun memiliki nilai maximum equivalent von-mises stress terbesar yaitu 74,12 MPa, Stainless Steel 304 memiliki nilai minimum safety factor terbesar yaitu 2,7253 dan memiliki nilai maximum total deformation terkecil yaitu 0,075735 mm.
3. Dari hasil simulasi pembebanan impact tabrakan bola besi dengan velocity sebesar 4400 mm/s pada bola besi, pressure sebesar $-1,325 \times 10^4$ Pa dengan variasi material, yaitu : Stainless Steel 304 dan Polycarbonate pada geometri *siphonic roof outlet*. Menunjukkan bahwa material yang paling baik menahan beban impact tabrakan bola dan negative pressure adalah Stainless Steel 304. Walaupun kedua material ini dikatakan telah gagal karena memiliki nilai safety factor dibawah satu, Stainless Steel 304 memiliki nilai maximum total deformation yang lebih rendah yaitu 2,1103 mm.

6. Daftar Pustaka

- [1] A. Pytel and F. L. Singer, *Strength of Materials*. Harper & Row, 1987. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?id=_o59QgAACAAJ
- [2] A. J. Syahbana *et al.*, "REKAYASA HIDRAULIKA KESTABILAN LERENG DENGAN SISTEM SIPHON : STUDI KASUS DI DAERAH KARANGSAMBUNG , JAWA TENGAH," vol. 24, no. 2, pp. 103–114, 2014.
- [3] H. T. Rathod, K. V. Nagaraja, and B. Venkatesudu, "Numerical integration of some functions over an arbitrary linear tetrahedra in Euclidean three-dimensional space," *Appl. Math. Comput.*, vol. 191, no. 2, pp. 397–409, 2007, doi: 10.1016/j.amc.2007.02.104.
- [4] J. M. Rattenbury, "BAFFLE INSERT FOR DRAINS," vol. 1, no. 19, 2003.
- [5] E. Oñate, *Structural Analysis with the Finite Element Method Linear Statics*, 2nd ed. USA: Springer Dordrecht, 2013. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8743-1>.

-
- [6] P. J. Pritchard, *Fluid Mechanics*. 2011.
 - [7] H. N. Firmansyah, “Kajian Awal Material Pembuat Toe Cap (Safety Shoes) Menggunakan Metode Elemen Hingga.” 2021.
 - [8] Osha, Dr. *OSHA Safety Shoes*. 2019.
 - [9] A. Arriaga, “Impact testing and simulation of a polypropylene component. Correlation with strain rate sensitive constitutive models in ANSYS and LS-DYNA,” 2009.
 - [10] Bheemaraya, “Impact analysis of spiral cellular structured hybrid sandwiched panel using ANSYS explicit dynamics,” 2021.