

ANALISIS KEKUATAN SIPHONIC ROOF OUTLET (SRO) DENGAN PENGUJIAN BEBAN DAN MONITORING REGANGAN MENGGUNAKAN STRAIN GAUGE

*Bagus Setiawan¹, Achmad Widodo², Ojo Kurdi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: bagoessetiawan076@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menganalisis kekuatan struktural *Siphonic Roof Outlet* (SRO) tipe *non-bowl finless laminar agitating flow* (NOFMIF) yang menerima beban mekanis operasional. Analisis dilakukan melalui pendekatan simulasi *Finite Element Method* (FEM) menggunakan material *Light Metal 6* dan divalidasi dengan pengujian eksperimental berbasis standar DIN EN 1253. Pengujian eksperimental menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan pembebanan tekan statis sebesar 1,5 kN, didukung instrumen pengukuran strain gauge dan *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) untuk memonitor regangan dan deformasi. Hasil komparasi menunjukkan kesesuaian yang baik antara simulasi dan eksperimen, dengan error rata-rata di bawah 10%. Pada titik beban sentral (Titik 1), regangan hasil eksperimen tercatat sebesar 0,00036 dengan selisih 8,88% dari simulasi. Nilai deformasi sisa (permanen set) setelah penahanan beban 5 menit terukur sebesar 0,06 mm, jauh di bawah ambang batas toleransi standar DIN EN 1253 sebesar 1 mm. Penelitian ini menyimpulkan bahwa desain dan material SRO yang diuji memiliki integritas mekanik yang memadai dan aman untuk diaplikasikan.

Kata Kunci: *finite element method* (fem); pengujian beban tekan statis; *siphonic roof outlet* (sro); *strain gauge*

Abstract

This study analyzes the structural strength of a non-bowl finless laminar agitating flow (NOFMIF) Siphonic Roof Outlet (SRO) subjected to operational mechanical loads. The analysis was conducted using a Finite Element Method (FEM) simulation approach using Light Metal 6 material and validated with experimental testing based on the DIN EN 1253 standard. The experimental testing used a Universal Testing Machine (UTM) with a statistical compressive load of 1.5 kN, supported by strain gauge and Linear Variable Differential Transformer (LVDT) measurement instruments to monitor strain and drying. The comparative results show good agreement between simulation and experiment, with an average error below 10%. At the central load point (Point 1), the experimental strain was recorded at 0.00036 with a difference of 8.88% from the simulation. The value above the residual (permanent set) after 5 minutes of load removal was measured at 0.06 mm, far below the DIN EN 1253 standard tolerance threshold of 1 mm. This study concludes that the tested SRO design and materials have adequate mechanical integrity and are safe for application.

Keywords: *finite element method* (fem); *siphonic roof outlet* (sro); *statistical compressive load measurement*; *strain gauge*

1. Pendahuluan

Sistem drainase atap merupakan komponen penting dalam perancangan bangunan modern yang berfungsi untuk mengalirkan air hujan secara efektif dari permukaan atap menuju sistem pembuangan. Perancangan yang kurang baik dapat menyebabkan genangan air yang meningkatkan beban struktur serta berpotensi merusak komponen bangunan. Salah satu teknologi yang berkembang adalah *siphonic roof drainage system*, yaitu sistem yang memanfaatkan tekanan negatif untuk menghasilkan aliran penuh di dalam pipa sehingga kapasitas aliran lebih tinggi dibandingkan sistem gravitasi konvensional. Sistem ini memungkinkan penggunaan diameter pipa yang lebih kecil dan lebih efisien, terutama pada bangunan dengan luas atap besar [1-2].

Komponen utama dalam sistem tersebut adalah *Siphonic Roof Outlet* (SRO) yang berfungsi sebagai penghubung antara permukaan atap dan jaringan pipa drainase serta mencegah masuknya udara agar efek *siphonic* dapat bekerja optimal. Desain outlet dan karakteristik aliran memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi sistem dalam mengalirkan air hujan [3-4]. Selain itu, pengembangan desain outlet terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi aliran serta meminimalkan gangguan udara dalam sistem perpipaan [5].

Dalam kondisi operasional maupun instalasi, komponen SRO dapat mengalami pembebanan mekanis yang menyebabkan tegangan, regangan, dan deformasi. Oleh karena itu, analisis kekuatan struktur menjadi penting untuk memastikan komponen tidak mengalami kegagalan. Metode yang umum digunakan adalah *Finite Element Method* (FEM) untuk menganalisis distribusi tegangan dan deformasi [8-10], serta divalidasi melalui pengujian eksperimen menggunakan *strain gauge* [11-12] dan *Universal Testing Machine* (UTM) sesuai standar seperti ASTM E8/E8M dan DIN EN 1253-2 [13-14]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur komponen air baffle pada SRO melalui simulasi dan validasi eksperimen.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kekuatan struktur komponen *air baffle pada Siphonic Roof Outlet* (SRO) melalui pendekatan simulasi numerik dan pengujian eksperimen. Analisis numerik dilakukan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) untuk memperoleh distribusi tegangan, regangan, dan deformasi pada struktur akibat pembebanan statis. Simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak analisis elemen hingga yang memungkinkan pemodelan geometri, penentuan sifat material, serta penerapan kondisi batas dan pembebanan sesuai dengan kondisi pengujian.

2.1 Properti Material

Material yang digunakan pada komponen *air baffle Siphonic Roof Outlet* (SRO) dalam penelitian ini adalah *Light Metal 6*, yaitu material logam ringan yang umum digunakan pada komponen mekanik karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang baik serta ketahanan terhadap korosi. Pemilihan material ini didasarkan pada kebutuhan struktur yang memerlukan kekuatan yang cukup tinggi namun tetap memiliki bobot yang relatif ringan agar tidak memberikan beban berlebih pada sistem drainase.

Dalam proses simulasi menggunakan metode elemen hingga, diperlukan beberapa parameter sifat mekanik material untuk mendefinisikan perilaku material terhadap pembebanan. Parameter tersebut meliputi modulus elastisitas (*Young's modulus*), rasio *Poisson*, densitas material, serta tegangan luluh (*yield strength*). Parameter ini digunakan oleh perangkat lunak simulasi untuk menghitung distribusi tegangan, regangan, serta deformasi yang terjadi pada struktur akibat pembebanan.

Tabel 1. Karakteristik Material

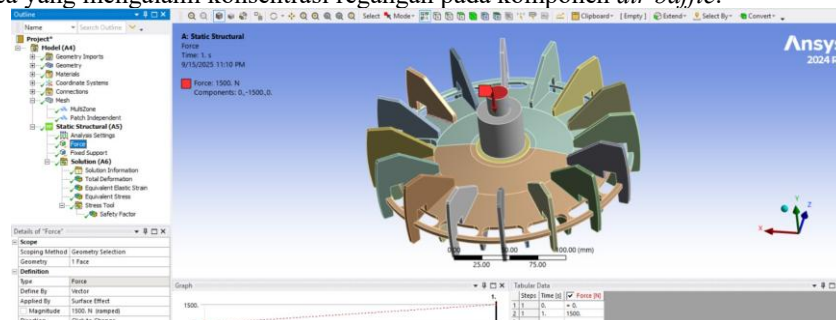
Material	Modulus Elastisitas	<i>Poisson Ratio</i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Tensile Strength</i>
<i>Light Metal 6</i>	71 GPa	0,33	90 MPa	170 MPa
<i>Stainless Steel</i>	200-210 GPa	0.30	250 MPa	400-550 MPa
<i>Natural Rubber</i>	1–10 MPa	0.49	Sangat rendah (elastis)	20 MPa

2.2 Simulation Setup

Simulasi numerik pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS *Workbench* dengan pendekatan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*). Simulasi bertujuan untuk menganalisis respons struktur komponen *air baffle pada Siphonic Roof Outlet* (SRO) terhadap pembebanan statis yang diberikan selama proses pengujian.

boundary condition dan kondisi pembebanan yang sesuai dengan kondisi pengujian eksperimen. Pada simulasi ini, bagian tertentu dari struktur diberikan kondisi *fixed support* untuk merepresentasikan bagian yang ditahan selama proses pengujian. Sementara itu, pembebanan diberikan pada bagian atas komponen menggunakan model pembebanan statis yang merepresentasikan gaya tekan dari alat uji.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan analisis statik struktural untuk memperoleh distribusi *equivalent stress* (*von Mises stress*), *strain*, dan total *deformation* pada struktur komponen. Hasil simulasi kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi area yang mengalami konsentrasi regangan pada komponen *air baffle*.

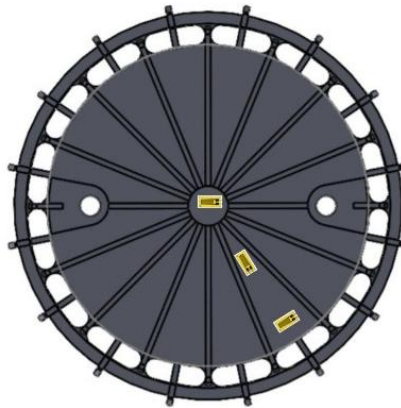


Gambar 1. Set Up Pembebanan

2.3 Experiment Setup

Pengujian eksperimental dilakukan untuk memverifikasi hasil simulasi numerik yang diperoleh dari analisis metode elemen hingga. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respons aktual struktur komponen *air baffle pada Siphonic Roof Outlet* (SRO) terhadap pembebanan statis serta membandingkan nilai regangan yang dihasilkan dengan hasil simulasi.

Untuk mengukur regangan yang terjadi pada permukaan spesimen selama proses pembebanan, dipasang *strain gauge* pada beberapa titik kritis pada struktur *air baffle*. Titik pemasangan strain gauge dipilih berdasarkan hasil analisis awal simulasi yang menunjukkan area dengan potensi konsentrasi tegangan yang tinggi. *Strain gauge* dihubungkan dengan sistem akuisisi data untuk merekam perubahan regangan yang terjadi selama proses pengujian berlangsung.



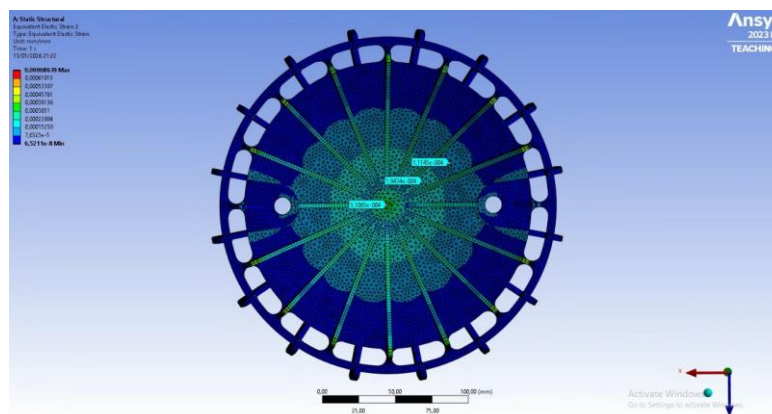
Gambar 2. Skema Penempatan *Strain Gauge*

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan analisis kekuatan struktur komponen *air baffle pada Siphonic Roof Outlet* (SRO) menggunakan metode elemen hingga serta pengujian eksperimental untuk memverifikasi hasil simulasi. Analisis dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan, serta deformasi yang terjadi pada struktur akibat pembebanan statis yang diberikan. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian eksperimen untuk mengevaluasi kesesuaian model numerik terhadap kondisi aktual.

3.1 Distribusi *Equivalent Strain*

Berdasarkan hasil simulasi distribusi *equivalent elastic strain*, tiga titik pengamatan ditentukan sebagai lokasi pemasangan *strain gauge* untuk mewakili variasi tingkat deformasi pada spesimen, yaitu daerah deformasi tertinggi, rata-rata, dan minimum. Titik tengah spesimen yang menerima beban secara langsung menunjukkan deformasi tertinggi dengan nilai regangan sebesar $3,3065 \times 10^{-4}$ mm/mm (setara $0,00033065$ mm/mm atau $330,65 \mu\epsilon$), sehingga mencerminkan respons struktur yang paling besar terhadap pembebanan. Titik yang berada sedikit bergeser dari pusat merepresentasikan deformasi rata-rata dengan nilai $1,8434 \times 10^{-4}$ mm/mm (setara $0,00018434$ mm/mm atau $184,34 \mu\epsilon$), sedangkan titik paling tepi menunjukkan deformasi minimum sebesar $1,1145 \times 10^{-4}$ mm/mm (setara $0,00011145$ mm/mm atau $111,45 \mu\epsilon$) akibat pengaruh beban yang semakin berkurang. Seluruh nilai tersebut masih berada dalam rentang elastis material sehingga responsnya masih bersifat linier. Oleh karena itu, ketiga titik tersebut dinilai representatif sebagai acuan pemasangan strain gauge dan sebagai dasar perbandingan antara hasil simulasi numerik dengan hasil pengujian eksperimental.



Gambar 3. *Equivalent Von-Mises Strain*

3.2 Perbandingan Hasil Eksperimental Dan Simulasi

Untuk mengevaluasi keakuratan model simulasi yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan antara hasil simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga dengan hasil pengujian eksperimental menggunakan *strain gauge* pada komponen *air baffle*. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana model simulasi mampu merepresentasikan perilaku struktur yang sebenarnya ketika menerima pembebanan.

3.2.1 Analisis Perbandingan *Equivalent von-mises strain*

Tabel 2. Perbandingan *Equivalent von-mises strain*

Strain	Hasil Eksperimental	Hasil Simulasi	Nilai Selisih	Galat (Error)
Strain Titik 1	0,00036	0,00033065	0,00002935	8,88%.
Strain Titik 2	0,00020–0,00021	0,00018434	0,00002566	13,92%
Strain Titik 3	0,000125–0,00013	0,0001145	0,0000155	13,54%,

Berdasarkan data pada tabel, titik 1 menunjukkan galat sebesar 8,88% sehingga masih berada dalam batas toleransi 10% dan dapat dinyatakan memiliki kesesuaian yang baik antara hasil eksperimen dan simulasi. Sementara itu, titik 2 dan titik 3 memiliki galat masing-masing sekitar 13–15%, yang sedikit melebihi batas toleransi, namun selisih nilainya masih relatif kecil dan pola respons regangan tetap mengikuti kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi. Perbedaan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh faktor pemasangan *strain gauge* selama pengujian serta perbedaan karakteristik material aktual dibandingkan dengan asumsi material ideal pada model simulasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga serta pengujian eksperimental pada komponen *air baffle Siphonic Roof Outlet* (SRO), maka dapat disimpulkan bahwa perbandingan antara hasil simulasi numerik dan hasil pengujian eksperimen menunjukkan kecenderungan yang serupa, sehingga metode *Finite Element Method* (FEM) dapat digunakan sebagai pendekatan yang efektif dalam menganalisis kekuatan struktur komponen air baffle pada sistem *Siphonic Roof Outlet*.

5. Daftar Pustaka

- [1] R. Fuick dan M. Rucka, “*Siphonic drainage system for roof rainwater*,” *Journal of Civil Engineering and Architecture*, vol. 13, pp. 123–131, 2019.
- [2] J. López-Patiño, J. Fernández, dan M. Sánchez, “*Optimization of siphonic roof outlets for efficient drainage*,” *Building and Environment*, vol. 232, 110090, 2023.
- [3] A. Zikri dan O. Kurdi, “*Desain non-bowl finless laminar agitating flow pada siphonic roof outlet untuk meningkatkan efisiensi aliran*,” *Jurnal Teknologi Konstruksi dan Drainase*, vol. 8, no. 2, pp. 77–89, 2023.
- [4] P. Y. Pratama, *Analisis kinerja sistem siphonic roof drain terhadap beban statis dan dinamis*. Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, 2024.
- [5] DIN, *DIN EN 1253-2:2015-03 Gullies for buildings – Part 2: Test methods*. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2015.
- [6] B. Setiawan dan Djunaedi, “*Deformasi pada material dan pengaruh beban terhadap sifat mekanis*,” 2023.
- [7] A. Pytel dan F. L. Singer, *Strength of Materials*, 4th ed. New York: Harper & Row, 1987.
- [8] D. L. Logan, *A First Course in the Finite Element Method*, 6th ed. Stamford: Cengage Learning, 2016.
- [9] J. N. Reddy, *An Introduction to the Finite Element Method*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [10] Hamzah, *Metode Elemen Hingga dan Penerapannya dalam Analisis Struktur*. Jakarta: Penerbit Teknik, 2021.
- [11] R. S. Figliola dan D. E. Beasley, *Theory and Design for Mechanical Measurements*, 6th ed. Hoboken: Wiley, 2015.
- [12] E. O. Doebelin dan D. Manik, *Measurement Systems: Application and Design*. New York: McGraw-Hill, 2007.
- [13] ASTM International, *ASTM E8/E8M: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. ASTM International, 2014.
- [14] S. Ginting, “*Penerapan metode elemen hingga dalam analisis struktur*,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 45–53, 2014.