

## Analisis Pengaruh Curah Hujan dan Kecepatan Angin Terhadap Konstruksi Papan Reklame Single Pole Tipe Sumbu Tengah

Norman Iskandar\*, Wahyu Damarjati, M.S.K. Tony Suryo Utomo

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudarto, SH – Tembalang, Semarang 50275 Telp. (024) 7460059

\*E-mail: norman.undip@gmail.com

### Abstract

Cases of billboards collapsing are still quite common. The inability to withstand the burden is thought to be the cause. This is the reason for the need to review security standards that have been determined by the government as the party authorized to give permission. In this article, we will discuss the results of the analysis of billboards that have been given permission to be installed by the Semarang city government with FEM-based software simulation methods. The analyzed billboards have a size of 4 x 6 m with a schedule 40 steel pipe with a 12inch diameter as support, elbow steel 40 x 40 x 4 mm as a truss structure, and galvanized steel plate with an area of 4 x 6 m as thick as 0.2 mm. Wind speed and rainfall data used are sourced from the BMKG of Semarang City, with variations in wind speed of 15 m/s, 25 m/s and the volume of rainfall is 736 mm/day. From the simulation results obtained a maximum stress value of  $1.025 \times 10^8$  Pa at wind speeds of 15 m/s, and  $2.754 \times 10^8$  Pa at wind speeds of 25 m/s for loading conditions in the form of wind. While the maximum stress value is  $1.029 \times 10^8$  Pa at wind speeds of 15 m/s, and  $2.762 \times 10^8$  Pa at wind speeds of 25 m/s for a combination of wind loads and rainfall. The two maximum stress values are still below the yield strength of the structure forming material, which is 235 MPa. So that the structure is safely used in these loading conditions. But at a speed of 25 m/s, the maximum stress is at  $\pm 30$  Mpa above yield strength, meaning that the structure is not safe if it experiences such a large load continuously and is risky by fatigue stress. The force due to rainwater in the structure is not too significant. The magnitude of the difference in force between the rain drag force and the water drag force and rain is always smaller than 50 N. So for general calculations, the magnitude of the force due to rainwater can be neglected.

**Keywords:** Billboards, FEM, von Mises, rainfall, wind speed

### Abstrak

Kasus robohnya papan reklame masih cukup sering terjadi. Ketidakmampuan menahan beban diduga menjadi penyebabnya. Hal ini menjadi alasan perlunya dikaji ulang standarisasi keamanan yang telah ditentukan oleh pemerintah selaku pihak yang berwenang memberikan ijin. Pada artikel ini akan dibahas tentang hasil analisis terhadap papan reklame yang telah diberikan ijin untuk dipasang oleh pemerintah Kota Semarang dengan metode simulasi software berbasis FEM. Papan reklame yang dianalisis berukuran 4 x 6 m dengan pipa baja *schedule* 40 berdiameter 12in sebagai penumpu, baja siku 40 x 40 x 4 mm sebagai struktur *truss*, dan plat baja galvanis dengan luas 4 x 6 m setebal 0,2 mm. Data kecepatan angin dan curah hujan yang digunakan bersumber dari BMKG Kota Semarang, dengan variasi kecepatan angin adalah 15 m/s, 25 m/s dan volume curah hujan adalah 736 mm/hari. Dari hasil simulasi didapatkan nilai *stress* maksimal  $1,025 \times 10^8$  Pa pada kecepatan angin 15 m/s, dan  $2,754 \times 10^8$  Pa pada kecepatan angin 25 m/s untuk kondisi pembebanan berupa angin. Sedangkan nilai *stress* maksimal  $1,029 \times 10^8$  Pa pada kecepatan angin 15 m/s, dan  $2,762 \times 10^8$  Pa pada kecepatan angin 25 m/s untuk kombinasi beban angin serta curah hujan. Kedua nilai tegangan maksimum masih dibawah *yield strength* dari material pembentuk struktur, yaitu 235 MPa. Sehingga struktur aman digunakan pada kondisi pembebanan tersebut. Namun pada kecepatan 25 m/s, tegangan maksimum berada pada  $\pm 30$  Mpa diatas *yield strength*, artinya struktur tidak aman apabila mengalami beban sebesar itu secara terus menerus dan riskan oleh tegangan *fatigue*. Gaya akibat air hujan pada struktur tidak terlalu signifikan. Besarnya selisih gaya antara gaya *drag* hujan dengan gaya *drag* air dan hujan selalu lebih kecil dari 50 N. Sehingga untuk perhitungan secara umum, besarnya gaya akibat air hujan bisa diabaikan.

**Kata kunci:** Papan reklame, FEM, von Mises, curah hujan, kecepatan angin

### 1. Pendahuluan

Papan reklame atau *billboard* merupakan salah satu bentuk media promosi diluar ruangan. Papan reklame biasa digunakan sebagai sarana kampanye, himbauan sosial atau sebagai sarana membujuk calon konsumen terkait

penjualan produk barang atau jasa. Ciri khas papan reklame adalah bentuknya yang besar dan tinggi serta biasa dipasang dilokasi ramai dan strategis.

Papan reklame memiliki rentang ukuran dari yang kecil (1x2m) hingga besar (5x10m). Ukuran papan reklame yang semakin besar juga meningkatkan resiko terjadinya papan reklame roboh semakin besar, mengingat penempatan papan reklame sendiri berada diluar ruangan (*outdoor*). Hal Ini tentu bisa menimbulkan kerugian jiwa dan materi. Terhitung dari tahun 2012 s/d tahun 2014 terjadi beberapa kasus robohnya reklame ditengah air. Pada tanggal 16 Maret 2012 sebuah papan reklame berukuran 6x4m roboh menimpa sebuah warnet didaerah Jl Teuku Umar Semarang di depan kantor PT PLN (Persero) Distribusi Jateng dan DIY [1]. Pada tanggal 14 Maret 2013 terjadi kembali di Kota Bandung sebuah reklame berukuran 5x10m roboh [2]. Pada tanggal 20 April 2014 didaerah Jakarta Barat sebuah baliho roboh menipa pengendara bermotor [3]. Bahkan ditahun 2016 tercatat beberapa kasus papan reklame roboh diberbagai daerah seperti Jakarta, Palembang, dan Jawa Tengah. Sebagai langkah pencegahan maka pembuatan dan pemasangan reklame harus diperhitungkan dengan matang sehingga faktor keamanan terjamin [4].

Kerusakan dan kegagalan struktur papan reklame besar akibat angin topan atau jenis angin kencang lainnya telah sering dijadikan bahan kajian di berbagai wilayah dan belahan dunia [5, 6]. Kerusakan pada papan reklame dapat dikategorikan menjadi tiga tipe yaitu kerusakan pada pelat/papan, kerusakan pada struktur penopang dan kerusakan keseluruhan struktur akibat kegagalan pada pondasi [7, 8, 9]. Kasus kerusakan yang sering terjadi adalah karena kerusakan pada tiang penyangga, maka perlu dikaji ulang standarisasi yang dibuat oleh Pemerintah karena mereka yang berhak memberikan ijin pengadaan papan reklame diwilayahnya. Kinerja sistem struktur papan reklame dapat dievaluasi dengan mempertimbangkan respon searah angin dan respon torsional, sedangkan respons pada arah angin melintang dapat diabaikan [9].

Tujuan dari kajian ini adalah untuk melakukan konfirmasi perhitungan pembebanan menggunakan Metode Elemen Hingga, pada salah satu tipe papan reklame yang dimiliki oleh sebuah perusahaan advertising dan telah mendapatkan ijin dari PEMKOT Semarang.

## 2. Material dan metode penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode simulasi dengan menggunakan *software* ANSYS FLUENT dan SolidWork. Parameter kecepatan angin maksimum dari data kecepatan angin selama periode 2011-2015 adalah 15 m/s menurut BMKG Kota Semarang dan 25 m/s untuk kecepatan angin minimum sesuai standar pembangunan Indonesia [10]. ANSYS FLUENT digunakan untuk mensimulasikan gaya *drag* akibat angin dan hujan angin dari kedua parameter kecepatan angin. Hasil simulasi tersebut kemudian diaplikasikan ke struktur menggunakan *SolidWork* untuk mengetahui besarnya tegangan, regangan, dan *displacement* dari struktur akibat pembebanan angin dan hujan angin, sehingga diperoleh tegangan maksimum yang diperbolehkan, besarnya nilai keamanan (*safety factor*), dan posisi tegangan maksimum berada secara spesifik.

### 2.1 Drag Force

Gaya *drag* adalah gaya total yang diberikan oleh fluida pada bodi di dalam arah aliran karena efek gabungan dari gaya geser dinding dan tekanan. Bagian dari *drag* yang disebabkan langsung oleh tegangan geser dinding disebut *friction drag* dan bagian *drag* yang disebabkan oleh tekanan disebut dengan *pressure drag*. *Friction drag* dan *pressure drag* didefinisikan pada persamaan 1.

$$C_{d,friction} = \frac{F_{d,friction}}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad \text{dan} \quad C_{d,pressure} = \frac{F_{d,pressure}}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad (1)$$

dimana:

- $C_D$  = Koefisien *drag*
- $F_D$  = Gaya *drag* (N)
- $\rho$  = Masa jenis udara ( $kg/m^3$ )
- $v$  = Kecepatan fluida (m/s)
- $A$  = Luas permukaan benda ( $m^2$ )

Pada kasus plat datar yang memiliki posisi normal terhadap aliran, *drag* adalah hasil dari ketidakseimbangan distribusi tekanan. Untuk lebih jelasnya, besarnya koefisien *drag* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini [11]:

**Tabel 1.** Koefisien *drag* pada bidang 3 Dimensi (L = Panjang, D = Diameter) [*aircraft perf analysis*]

No.	Body	Laminar/Turbulent	Keterangan	CD
1	Kubus	Re > 10000		1,05
2	Lepeng lingkaran tipis	Re > 10001		1,1
3	Kerucut ( $\theta = 30^\circ$ )	Re > 10002		0,5

4	Bola	Laminar $Re \leq 2 \times 10^5$ Turbulent $Re \geq 2 \times 10^6$		0,5 0,2
5	Kapsul	Laminar $Re \leq 2 \times 10^5$ Turbulent $Re \geq 2 \times 10^6$		0,3-0,5 0,1-0,2
6	Setengah lingkaran	$Re > 10000$ $Re > 10001$	Bagian cembung Bagian datar	0,4 1,2
7	Plat persegi	$Re > 10002$	$L/D = 1$ $L/D = \infty$	1,1-1,3 0,6
8	Silinder vertikal	$Re \leq 2 \times 10^5$	$L/d = 0,5$ $L/d = 8$	1,2 1,1
9	Silinder horizontal	$Re > 10001$		1
10	Parasut	Laminar $Re \leq 2 \times 10^5$		1,3

### 2.2 Metode Mononobe

Untuk perhitungan intensitas curah hujan digunakan rumus *Mononobe* pada persamaan 2:

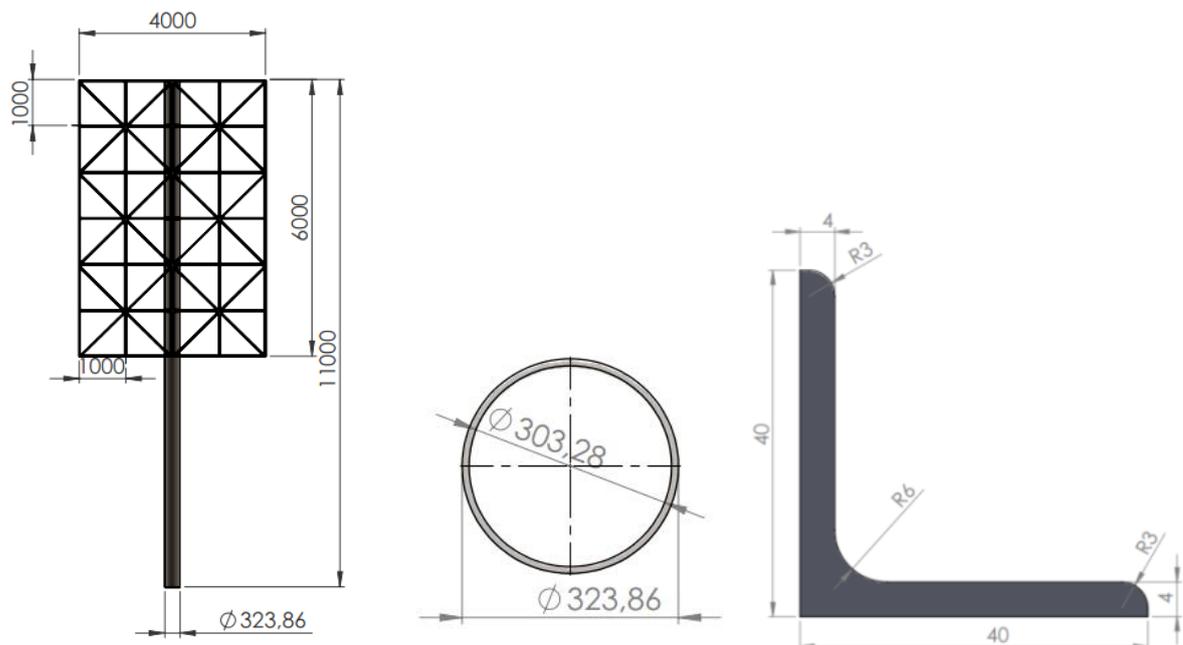
$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{2/3} \tag{2}$$

dimana

- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- R24 = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm/jam)
- t = Lama hujan (t)

### 2.3 Spesifikasi Papan Reklame

Pada percobaan papan reklame untuk material yang digunakan adalah Baja ST37 dengan diameter tiang 14inch dan 40x40x4mm untuk dimensi siku pada *frame* papan reklame tersebut. Dengan kecepatan angin 15m/s dengan sudut tembak angin pada posisi 90°. Adapun papan reklame yang digunakan memiliki spesifikasi seperti terlihat pada Gambar 1 dan Tabel 2 serta Tabel 3.



Gambar 1. Struktur papan reklame

Tabel 2. Tabel spesifikasi material dari struktur *truss* (ST37)

Yield Stress (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Modulus Elasticity (GPa)	Mass Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Poisson's Ratio
235	360	210	7800	0.28

Tabel 3. Tabel spesifikasi material dari plat baja *galvanis*

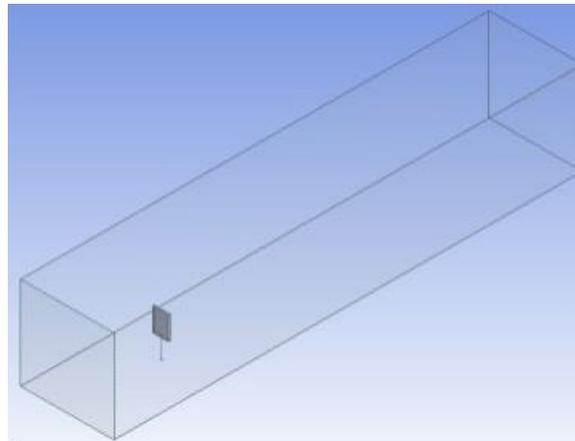
Yield Stress (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Modulus Elasticity (GPa)	Mass Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Poisson's Ratio
204	357	200	7870	0.29

### 2.4 Penetapan Pembuatan Enclosure dan Menentukan Ukuran Mesh

Pembuatan enclosure dibuat sesuai dengan metode *ahmed's body*. Namun untuk sekaligus mempelajari pola aliran yang dibentuk, panjang *wind tunnel* dibuat 2 kali lipat dari ketentuan. Dimensi *enclosure* adalah 4L untuk tinggi *enclosure*, 4L untuk lebar *enclosure*, dan 16L untuk panjang *enclosure* dengan L adalah tinggi *billboard*, yaitu 6m. Kondisi batas pada tiap sisi enclosure seperti dijelaskan pada Tabel 4 dan divisualkan pada Gambar 2.

**Tabel 4.** Kondisi batas *enclosure*

Jenis kondisi batas	Sisi <i>enclosure</i>
<i>Inlet</i>	Sisi pada sumbu $-Z$ didepan muka <i>billboard</i>
<i>Outlet</i>	Sisi pada sumbu $+Z$ dibelakang muka <i>billboard</i>
<i>Sym</i>	Bagian atas, sisi kiri dan kanan <i>billboard</i>
<i>Wall</i>	Seluruh sisi <i>billboard</i> dan bagian bawah <i>enclosure</i>



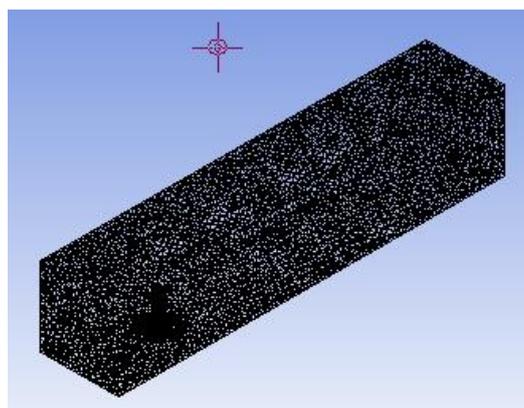
**Gambar 2.** *Enclosure* udara untuk simulasi

*Meshing* untuk *enclosure* didapat dengan memberikan ukuran yang tepat untuk menghasilkan meshing dengan *skewness* yang baik, yaitu  $\leq 80$ . Pengaturan konfigurasi mesh seperti tercantum pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Konfigurasi mesh

Jenis Konfigurasi	Konfigurasi
<i>Use Advanced Size Function</i>	<i>On proximity and curvature</i>
<i>Relevance Center</i>	<i>Fine</i>
<i>Smoothing</i>	<i>High</i>
<i>Transition</i>	<i>Slow</i>
<i>Curvature Normal Angle</i>	12°
<i>Num Cells Across Gap</i>	5

Kemudian, berikan *face sizing* pada permukaan billboard sebesar 20mm untuk meningkatkan keakuratan perhitungan pada seluruh sisi papan reklame. Hasil yang didapat dari konfigurasi tersebut adalah mesh dengan *skewness* maksimum 0,797330917591936 seperti pada Gambar 3.



(a)

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	888459
<input type="checkbox"/> Elements	4830140
Mesh Metric	
<input type="checkbox"/> Min	1,73862761566612E-05
<input type="checkbox"/> Max	0,797330917591936
<input type="checkbox"/> Average	0,233720729367323
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,120400884883659

(b)

**Gambar 3.** (a) Hasil *mesh* dan (b) ukuran statistik *mesh*

### 3. Hasil dan pembahasan

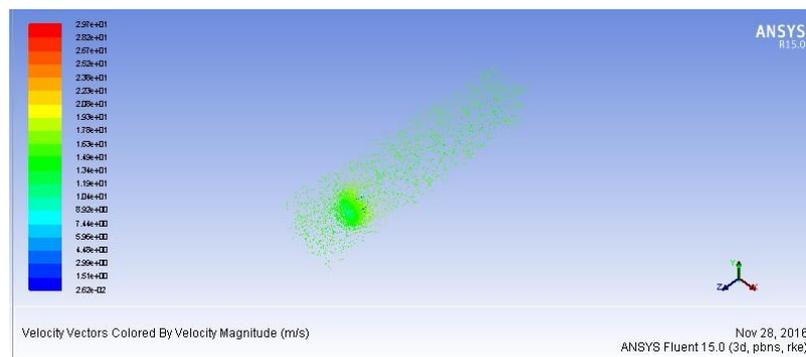
#### 3.1 Simulasi Hujan Angin Pada Struktur

Untuk mencari besaran gaya akibat air hujan, digunakan kondisi batas seperti pada Tabel 6.

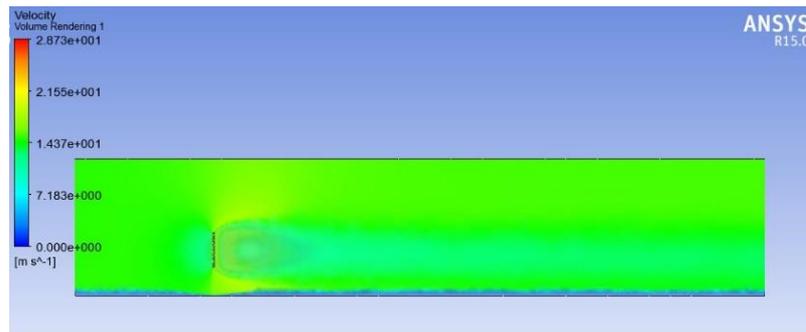
**Tabel 3.1** Tabel sifat air hujan

Parameter	Nilai
$v_{angin}$	15 m/s
$\dot{m}$	0.070877 kg/s untuk setiap 1 m <sup>2</sup> area hujan
T	25° C
$\rho$	1000 kg/m <sup>3</sup>
$\mu_{droplet}$	0,89 kg/ms
$\sigma_{droplet}$	0,07197 n/m
$D_{droplet}$	1-5 mm

Simulasi dilakukan menggunakan *software* ANSYS™ FLUENT dengan menggunakan data pada Tabel 6. Udara digunakan sebagai material pengisi *enclosure*. Untuk memodelkan aliran, digunakan pemodelan *viscous k-epsilon realizable* dengan *scallable wall function* untuk *near-wall treatment*. Sedangkan untuk mensimulasikan *droplet*-nya, digunakan pemodelan *Discreet Phase Modelling (DPM)* dengan *continuous phase* dan *stochastic collision* serta *coalescent* aktif pada tab *physical models*. Kondisi *droplet* air hujan diinjeksikan pada pemodelan DPM. Hasil yang didapat dari simulasi aliran seperti terlihat pada Gambar 4 dan 5.



**Gambar 4.** Persebaran kecepatan *droplet*



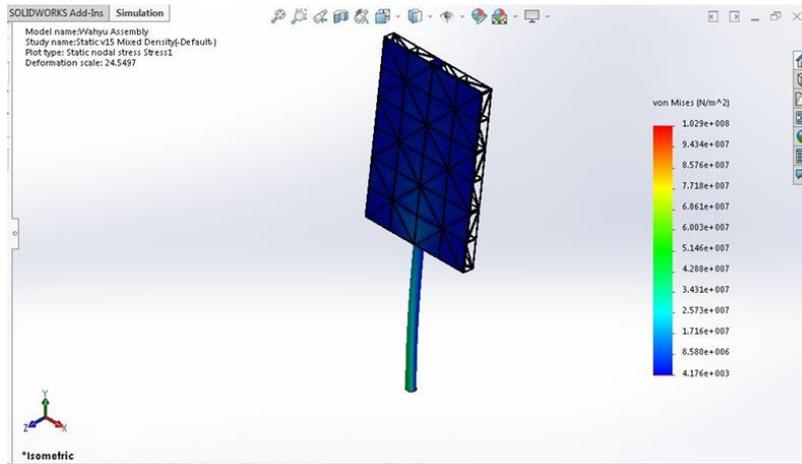
**Gambar 5.** Pola kecepatan aliran

Forces - Direction Vector (0 0 -1)			
Forces (n)			
Zone	Pressure	Viscous	Total
billboardplate	2701.2813	0	2701.2813
billboardstructure	1712.9933	3.4620152	1716.4553
earth	0	713.91809	713.91809
-----			
Net	4414.2745	717.38011	5131.6546

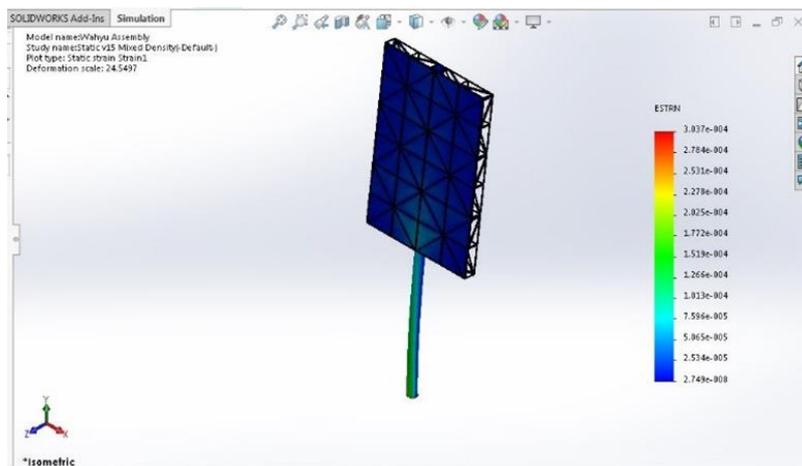
**Gambar 6.** Gaya yang dihasilkan oleh hujan angin

#### 3.2 Simulasi Pembebanan Statis Pada Struktur

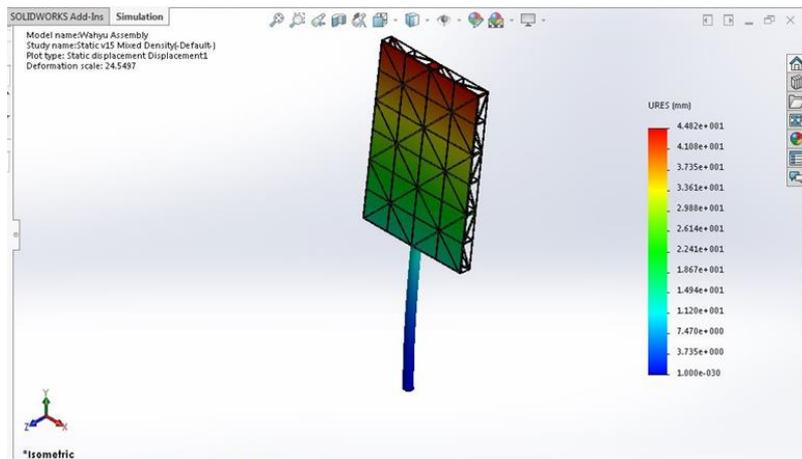
Metode pembebanan yang digunakan adalah metode pembebanan statis pada *Solidwork's simulation*. Beban yang digunakan adalah *drag force* yang terjadi pada aliran angin yang bercampur butiran air hujan yang nilainya 4414,3N seperti pada Gambar 6. Sedangkan bentuk *meshing* adalah *based curved* dan ukuran *meshing* 10mm dan 0,2mm Hasil yang didapat dari simulasi pembebanan statis adalah nilai *stress*, *displacement*, dan *strain* dari struktur, seperti pada Gambar 7 hingga 9 berikut ini:



Gambar 7. Nilai *stress* maksimum pada struktur setelah diberi beban



Gambar 8. Nilai *strain* maksimum pada struktur setelah diberi beban



Gambar 9. Nilai *displacement* maksimum pada struktur setelah diberi beban

Menurut Peraturan Pembangunan di Indonesia tahun 1983 untuk suatu bangunan yang mengalami beban angin, kecepatan angin yang digunakan adalah 25 m/s. Dengan metode yang sama, pada Tabel 7 disajikan perbandingan antara gaya akibat hembusan angin dan gaya akibat hujan angin pada struktur untuk masing – masing kecepatan (15m/s dengan massa jenis 1,225 kg/m<sup>3</sup> dan 25 m/s dengan massa jenis 1,2297 kg/m<sup>3</sup>)

Tabel 7. Hasil Pembebanan Statik dengan SolidWorks

Parameter	Nilai			
Massa jenis	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1,2297 kg/m <sup>3</sup>	1,2297 kg/m <sup>3</sup>
Kecepatan aliran	15 m/s	25 m/s	15 m/s	25 m/s

Gaya pada struktur	4414,2 N	11851,2 N	4430,3 N	11896,0 N
Stress maksimal	$1,025 \times 10^8$ Pa	$2,754 \times 10^8$ Pa	$1,029 \times 10^8$ Pa	$2,762 \times 10^8$ Pa
Strain maksimal	$3,024 \times 10^4$ Pa	$8,1260 \times 10^4$ Pa	$3,037 \times 10^4$ Pa	$8,156 \times 10^4$ Pa
<i>Displacement max.</i>	44,62 mm	119,99 mm	44,82 mm	120,30 mm

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dengan ANSYS dan solidworks didapatkan nilai *stress* maksimal  $1,025 \times 10^8$  Pa pada kecepatan angin 15 m/s, dan  $2,754 \times 10^8$  Pa pada kecepatan angin 25 m/s untuk kondisi pembebanan berupa angin. Sedangkan nilai *stress* maksimal  $1,029 \times 10^8$  Pa pada kecepatan angin 15 m/s, dan  $2,762 \times 10^8$  Pa pada kecepatan angin 25 m/s untuk kombinasi beban angin serta curah hujan. Kedua nilai tegangan maksimum untuk kecepatan angin 15 m/s yang didapat masih dibawah *yield strength* dari material pembentuk struktur, yaitu 235 MPa. Sehingga struktur aman digunakan pada kondisi pembebanan tersebut. Namun pada kecepatan 25 m/s, tegangan maksimum berada pada  $\pm 30$  Mpa diatas *yield strength*, artinya struktur tidak aman apabila mengalami beban sebesar itu secara terus menerus dan riskan oleh tegangan *fatigue*. Hasil pengujian menunjukkan gaya akibat air hujan pada struktur tidak terlalu signifikan. Besarnya selisih gaya antara gaya *drag* hujan dengan gaya *drag* air dan hujan selalu lebih kecil dari 50 N. Sehingga untuk perhitungan secara umum, besarnya gaya akibat air hujan bisa diabaikan.

#### Daftar Pustaka

- [1] <http://news.detik.com/berita/d-1869270/-braak-papan-reklame-robok-timpa-warnet-di-semarang>, diakses pada tanggal 10 November 2016.
- [2] <http://www.pikiran-rakyat.com/bandung- raya/2013/03/27/228628/lima-papan-reklame-robok-saat-hujan-deras>, diakses pada tanggal 10 November 2016.
- [3] [http://transvertising.com/news.php?title=4\\_kendaraan\\_tertimpa\\_baliho\\_raksasa\\_yang\\_robok\\_di\\_slipi](http://transvertising.com/news.php?title=4_kendaraan_tertimpa_baliho_raksasa_yang_robok_di_slipi), diakses pada tanggal 10 November 2016.
- [4] Peraturan Daerah Kota Semarang no. 14 Tahun 2012 Tentang Penyelenggaraan Reklame.
- [5] An, S., 2009. Wind Disaster Vulnerability Study of Single-column Billboard Structure. *Ph.D. Dissertation. Harbin Institute of Technology*, Harbin, China (In Chinese).
- [6] Tamura, Y., Cao, S., 2009. Climate change and wind-related disaster risk reduction. *In: Proceedings of the APCWE-VII*, Taipei, Taiwan.
- [7] Song, F., Ou, J., 2009. Study on the dynamic causes of damage of large billboard by typhoon. *In: 14th National Conference of Structural Wind Engineering*, Beijing (In Chinese).
- [8] Wang, X., Cheng, J., Wang, Q., 2010. The causes analysis and counter measures of billboard collapse under the strong wind load. *Construction & Design for Project 11*, 47–51 (In Chinese).
- [9] Li, Z., Wang, D., Chen, X., Liang, S., Li, J., 2018. Wind load effect of single-column-supported two-plate billboard structures. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics* 179: 70–79.
- [10] BMKG Kota Semarang, 2016, “Data Kecepatan Angin dan Curah Hujan Maksimum Bulanan Tahun 2010-2015”, BMKG, Semarang.
- [11] Sadraey M., 2009, “Aircraft Performance Analysis”, VDM Verlag Dr. Müller, Berlin.