

**SIMULASI PENGARUH ANGIN PADA BANGUNAN DI KALIMANTAN SELATAN
MENGGUNAKAN SOFTWARE THUNDERHEAD PYROSIM**

***SIMULATION OF WIND EFFECTS ON BUILDINGS IN SOUTH KALIMANTAN USING
THUNDERHEAD PYROSIM SOFTWARE***

**Darmansyah Tjitradi^{1*}, Eliatun², Ida Barkiah³, Abdul Karim⁴, Irfan Prasetya⁵,
Della Dwi Lestari⁶, Aeron Tjitradi⁷**

^{1,3}Dosen, Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, FT. ULM, Banjarmasin

^{2,4}Dosen, Program Studi S1 Teknik Sipil, FT. ULM, Banjarbaru

⁵Dosen, Program Studi Magister Teknik Sipil, FT. ULM, Banjarmasin

⁶Mahasiswa, Program Studi Magister Teknik Sipil, FT. ULM, Banjarmasin

⁷Mahasiswa, Program Studi S1 Teknologi Informasi, FT. ULM, Banjarmasin

Korespondensi: *tjitradi_syah@ulm.ac.id

ABSTRAK

Kalimantan Selatan memiliki iklim tropis dengan curah hujan yang tinggi dan kelembaban yang tinggi. Cuaca di daerah ini juga dapat berubah-ubah secara cepat, dengan angin yang kuat dan hujan yang lebat, sehingga berpotensi dapat merusak bangunan dan infrastruktur. Dalam beberapa dekade terakhir, telah terjadi peningkatan signifikan dalam desain dan konstruksi bangunan, terutama dalam hal kekuatan dan keselamatan. Namun, masih banyak bangunan yang rentan terhadap kerusakan akibat angin, terutama di daerah yang rawan badai atau angin kencang.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi pengaruh angin terhadap bangunan rumah tinggal sederhana di Kalimantan Selatan yang berukuran 6.0 m x 6.0 m, dengan variasi sudut kemiringan atap pelana 15°, 30°, 35°, 40° dengan menggunakan *Software Thunderhead Pyrosim Version 6.9.1 (Academic License)*.

Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat diketahui bahwa menurut data BMKG online kecepatan angin maksimum yang terjadi di Kalimantan Selatan adalah sebesar 21 m/det, dan berdasarkan hasil simulasi software dapat diketahui bahwa semakin besar sudut kemiringan atap maka semakin besar juga Cd (koefisien drag) /hambat bangunan, hal ini berarti bangunan akan memiliki kemungkinan yang lebih tinggi terbawa angin. Dan sebaliknya semakin rendah nilai koefisien drag menunjukkan bahwa atap akan lebih tahan terhadap tekanan aliran angin, atau dengan kata lain lebih aerodinamis, sehingga rumah-rumah di daerah berangin dapat menggunakan atap dengan sudut kemiringan yang kecil (15° - 35°) atau atap dengan model lekukan agar lebih aerodinamis, dan memberikan penghalang di bagian arah datangnya angin.

Kata Kunci: Kecepatan angin, Koefisien hambat, *Thunderhead Pyrosim*, Kalimantan Selatan

ABSTRACT

South Kalimantan has a tropical climate with high rainfall and high humidity. The weather in this area can also change rapidly, with strong winds and heavy rain, potentially damaging buildings and infrastructure. In recent decades, there have been significant improvements in building design and construction, especially in terms of strength and safety. However, many buildings are still vulnerable to wind damage, especially in areas prone to storms or strong winds.

This research aims to simulate the effect of wind on a simple residential building in South Kalimantan measuring 6.0 m x 6.0 m, with varying roof slope angles of 15, 30, 35, and 40 degrees, using Thunderhead Pyrosim Software Version 6.9.1 (Academic License)..

Based on the results of this study, it can be known that according to online BMKG data, the maximum wind speed that occurs in South Kalimantan is 21 m/det, and based on the results of software simulation, it can be known that the greater the slope angle of the roof, the greater the C_d (drag coefficient) / resistance of the building, which means that the building will have a higher possibility of being carried away by the wind. Conversely, a lower drag coefficient value indicates that the roof will be more resistant to wind flow pressure, or in other words, more aerodynamic, so that houses in windy areas can use roofs with a small slope angle (15° - 35°) or concave roofs for better aerodynamics, and provide a barrier in the direction of the wind.

Keywords: Wind speed, Drag coefficient, Thunderhead Pyrosim, South Kalimantan

PENDAHULUAN

Kalimantan Selatan memiliki iklim tropis dengan curah hujan yang tinggi dan kelembaban yang tinggi. Cuaca di daerah ini juga dapat berubah-ubah secara cepat, dengan angin yang kuat dan hujan yang lebat, sehingga berpotensi dapat merusak bangunan dan infrastruktur.

Bangunan adalah struktur yang dirancang untuk melindungi penghuninya dari berbagai faktor lingkungan, termasuk cuaca, gempa bumi, dan angin. Namun, angin merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap kestabilan dan keselamatan bangunan. Angin dapat menyebabkan tekanan pada dinding dan atap bangunan, sehingga dapat mempengaruhi struktur dan kekuatan bangunan. Dalam beberapa dekade terakhir, telah terjadi peningkatan signifikan dalam desain dan konstruksi bangunan, terutama dalam hal kekuatan dan keselamatan. Namun, masih banyak bangunan yang rentan terhadap kerusakan akibat angin, terutama di daerah yang rawan badai atau angin kencang.

Penelitian tentang pengaruh angin terhadap bangunan telah banyak dilakukan. Aliran udara pada bangunan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: bangunan itu sendiri, vegetasi di sekitar bangunan, pagar di sekitar bangunan, dan bangunan sekitarnya. Konfigurasi dan orientasi bangunan terhadap arah datangnya angin mempengaruhi pola pergerakan aliran udara dan

kecepatan angin. Adapun pada bangunan itu sendiri, terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pola aliran udara dan kecepatan angin, seperti konfigurasi, orientasi, tinggi, teritis, bentuk atap, dan bentuk-bentuk arsitektural lainnya (Boutet, T., 1987).

Posisi tekanan udara yang rendah di permukaan atap berubah-ubah sesuai dengan sudut bangunan. Atap dengan sudut yang besar (atap runcing) dapat dikategorikan sebagai bangunan dengan gaya aerodinamis terendah atau merupakan jenis bangunan yang beresiko tinggi mengalami kerusakan akibat angin (Siti Belinda Amri, dkk., 2017). Selain itu konfigurasi, orientasi, ketinggian, overhang, bentuk atap dan bentuk arsitektur lainnya, dengan tanpa pengaruh faktor lingkungan dapat memberikan efek pada pola dan kecepatan pergerakan udara (Abdul, R. Z. A., 2019)

Menurut hasil penelitian M. Rizki Ikhwan, dkk. (2024) terhadap bentuk atap rumah banjar bubungan tinggi menggunakan simulasi CFD dapat diketahui bahwa akumulasi kecepatan udara yang lebih tinggi pada variasi angin dari depan dapat dijelaskan oleh perbedaan panjang dan kemiringan atap bagian depan rumah. Atap yang melandai dan lebih panjang pada bagian depan cenderung menghasilkan peningkatan kecepatan udara.

Penelitian pengaruh bentuk-bentuk atap terhadap angin dengan menggunakan metode Wind Tunnel ataupun dengan simulasi CFD telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya;

penelitian yang dilakukan oleh Guirguis, et al. (2007) yang menganalisis static force pada bentuk atap pelana dengan sudut-sudut berbeda, penelitian Driss, et al. (2014) menganalisis berdasarkan bentuk atap sederhana, datar, dan arched, serta penelitian Tominaga, et al. (2015) yang menganalisis aliran angin berdasarkan sudut dari perbandingan antara ketinggian dan lebar atap.

Salah satu masalah yang dihadapi dalam desain dan konstruksi bangunan adalah memprediksi perilaku bangunan terhadap beban angin. Beban angin dapat menyebabkan tekanan pada dinding dan atap bangunan, sehingga dapat mempengaruhi struktur dan kekuatan bangunan. Namun, masih banyak ketidakpastian dalam memprediksi perilaku bangunan terhadap beban angin, terutama dalam hal kekuatan dan keselamatan. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan simulasi pengaruh angin terhadap bangunan rumah tinggal sederhana di Kalimantan Selatan yang berukuran 6.0mx6.0m dengan variasi sudut kemiringan atap pelana 15°, 30°, 35°, dan 40° dengan menggunakan *Software Thunderhead Pyrosim Version 6.9.1 (Academic License)* (2025).

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Kecepatan Angin di Kalimantan Selatan

Kecepatan angin akan diolah menggunakan data BMKG di Kalimantan Selatan selama 10 tahun terakhir melalui online website <https://dataonline.bmkg.go.id/data-ekstrem>. (BMKG, 2025), dan tingkat kecepatan angin akan ditentukan menggunakan **Tabel 1**.

Tabel 1. Tingkat kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah

Kelas Angin	Kecepatan Angin (m/det)	Kondisi alam di daratan
1.	0.00 – 0.02	-
2.	0.30 – 1.50	Angin tenang, asap lurus ke atas
3.	1.60 – 3.30	Asap bergerak mengikuti arah angin
4.	3.40 – 5.40	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5.	5.50 – 7.90	Debu jalan, kertas

Kelas Angin	Kecepatan Angin (m/det)	Kondisi alam di daratan
6.	8.00 – 10.70	beterbangan, ranting pohon bergoyang
7.	10.80 – 13.80	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
8.	13.90 – 17.10	Ranting pohon besar bergoyang, air plumpang berombak kecil
9.	17.20 – 20.70	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
10.	20.80 – 24.40	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
11.	24.50 – 28.40	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah roboh
12.	28.50 – 32.60	Dapat merobohkan pohon, menimbulkan kerusakan
13.	32.70 – 36.90	Menimbulkan kerusakan parah
		Tornado

Sumber: (Stewart, 2008)

Sudut Kemiringan Atap

Atap memiliki kemiringan tertentu yang sudah ditentukan. Standar kemiringan harus disesuaikan dengan bentuk atap, dan material penutup atap.

Sudut kemiringan atap disesuaikan dengan material penutup yang sering digunakan (lihat **Tabel 2**) (Kawruh Jiwo, 2025, Rani Maharani., 2016).

Tabel 2. Kemiringan atap berdasarkan jenis penutup atap

No	Jenis Penutup Atap	Sudut Kemiringan Atap (derajat)
1	Atap Asbes	15 s.d. 25
2	Bergelombang/ Seng	
2	Atap Genteng Metal/ Multiroof/ Sirap	25 s.d. 40
3	Atap Genteng Tanah Liat	30 s.d. 35
4	Atap Alang-Alang dan Ijuk	> 40
5	Atap Cor/ Dak beton	1 s.d. 2

No	Jenis Penutup Atap	Sudut Kemiringan Atap (derajat)
6	Atap Polycarbonat	> 2° atau kemiringan minimal 1,5% dari panjang bentang
7	Atap Spandek	5 s.d. 60
8	Atap Kaca	10 s.d. 20

Sumber: (Kawruh J., 2025, Rani M., 2016)

Analisis Tekanan Beban Angin Menurut SNI 1727:2020

Tekanan beban angin pada bangunan dianalisis menggunakan SNI 1727:2020 (BSN., 2020), yaitu:

1. Kecepatan Angin Dasar, V (m/s) (SNI 1727:2020 pasal 26.5.1).
 $V = 21$ m/det (Data BMKG online 10 tahun terakhir)
2. Koefisien Faktor Arah Angin, K_d (SNI 1727:2020 Tabel 26.6-1).
 $K_d = 0.85$ (Sistem Penahan Beban Angin Utama)
3. Kategori Eksposur (B,C,D) (SNI 1727:2020 pasal 26.7.2).
Eksposur B
4. Koefisien Faktor Topografi, K_{zt} (SNI 1727:2020 pasal 26.8.2).
 $K_{zt} = (1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2$ (1)
Jika kondisi yang dipersyaratkan tidak terpenuhi, nilai $K_{zt} = 1.0$.
5. Koefisien Faktor Efek Tiupan Angin, G (SNI 1727:2020 pasal 26.11.1).
Untuk bangunan gedung dan struktur lain yang kaku, nilai $G = 0.85$.
6. Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi}) (SNI 1727:2020 Tabel 26.13-1)
Untuk bangunan tertutup dan tekanan internal sedang, nilai $GC_{pi} = \pm - 0.18$.
7. Faktor elevasi permukaan tanah, K_e (SNI 1727:2020 Tabel 26.9-1).
Dalam semua kasus nilai $K_e = 1.00$
8. Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_z atau K_h (SNI 1727:2020 Tabel 27.3-1).
Nilai koefisien K_z atau K_h bervariasi tergantung jenis eksposur dan nilai ketinggian bangunan.
9. Tekanan Kecepatan, q_z (SNI 1727:2020 persamaan 26.10-1.si)
 $q_z = 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot K_e \cdot V^2$ (N/m²) (2)
10. Koefisien Tekanan Eksternal, C_p (SNI 1727:2020 Gambar 27.3-1).

Nilai koefisien tekanan eksternal dipengaruhi oleh rasio dimensi bangunan (L/B dan h/L).

11. Tekanan Beban Angin, p (SNI 1727:2020 persamaan 27.3-1).

$$p = q_z \cdot [G \cdot C_p - GC_{pi}] \quad (N/m^2) \quad (3)$$

Analisis Koefisien Penghambat (Drag Coefficient)

Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial, yang berupa tekanan atau hisapan pada bangunan. Berhubung beban angin akan menimbulkan tekanan dan hisapan, maka berdasarkan percobaan-percobaan, telah ditentukan koefisien-koefisien bentuk tekanan dan hisapan untuk berbagai tipe bangunan dan atap.

Salah satu koefisien untuk menentukan nilai hambatan pada suatu bangunan adalah nilai *drag coefficient* (C_d), yang terjadi apabila gaya berada searah dengan aliran angin, dan apabila gaya tegak lurus terhadap arah aliran angin maka koefisien non dimensional akan disebut sebagai *lift coefficient* (C_l) (Bhandari NM, et. al., 2011).

Adapun persamaan yang digunakan adalah untuk menghitung nilai *drag coefficient* (Haris, I. F., 2023), yaitu:

$$C_d = \frac{2 \cdot F_d}{\rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (4)$$

Dimana:

C_d = *drag coefficient*

F_d = *drag force*, yaitu gaya yang bekerja searah aliran fluida (N)

ρ = massa jenis udara = 1.2 kg/m³ dalam kondisi NTP (Normal Pressure Temperature air)

v = kecepatan angin (m/det)

A = luas bidang atap (m²)

Dalam ilmu fluida, *drag coefficient* sering diasosiasikan dengan gaya aerodinamis dan hidrodinamis. Jika nilai koefisien hambat suatu bangunan rendah, maka nilai hambatan aerodinamisnya juga rendah. Bentuk yang aerodinamis membuat pergerakan aliran udara di sekitar bangunan menjadi lancar. Dengan kata lain, untuk membuat bangunan yang aerodinamis, maka sebuah bangunan harus memiliki nilai *drag coefficient* yang rendah.

METODE

Penelitian ini akan melakukan kajian pengaruh angin terhadap bangunan rumah tinggal sederhana berukuran 6.0 m x 6.0 m yang memiliki variasi sudut kemiringan atap di Kalimantan Selatan. Pengaruh angin akan disimulasikan dengan menggunakan *Software Thunderhead Pyrosim Version 6.9.1 (Academic License)*.

Tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

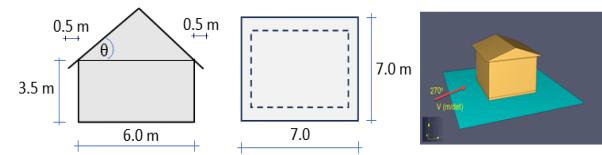
1. Analisis Kecepatan Angin di Kalimantan Selatan
2. Menentukan Sudut Kemiringan Atap
3. Permodelan Kecepatan Angin pada Bangunan Menggunakan *Software Thunderhead Pyrosim Version 6.9.1 (Academic License)*.

Simulasi pengaruh angin ini dilakukan dengan menggunakan *Software Thunderhead Pyrosim Version 6.9.1 (Academic License)*. Lamanya waktu simulasi untuk analisis diambil selama 10 detik, karena hasil simulasi sudah bisa terlihat walaupun dalam kondisi simulasi yang belum stabil, agar proses iterasi simulasi tidak memerlukan waktu yang sangat lama.

Diambil kasus sebuah bangunan rumah tinggal berukuran luas bangunan 6.0 m x 6.0 m, dan jenis penutup atap Seng/ Genteng/ Multiroof/

Sirap, yang akan disimulasikan berdasarkan sudut kemiringan atapnya dengan kecepatan angin maksimum yang bekerja pada arah samping bangunan (sudut 270°) sesuai data BMKG online di Kalimantan Selatan selama 10 tahun terakhir, lihat **Gambar 1**, dan **Tabel 3**.

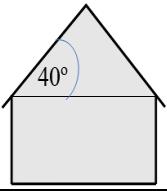
4. Analisis Tekanan Beban Angin Menurut SNI 1727:2020
5. Analisis Koefisien Penghambat (*Drag Coefficient*)
6. Hasil dan Pembahasan
7. Kesimpulan



Gambar 1. Model bangunan rumah tinggal di lahan basah Kalimantan Selatan
Sumber: Data Penelitian (2025)

Tabel 3. Model 4 buah benda uji bangunan rumah tinggal di Kalimantan Selatan

No	Kemiringan Atap (θ) (derajat)	Arah Angin (derajat)	Tinggi Atap (m)	Gambar Benda Uji
1	15	270	0.938	
2	30	270	2.021	
3	35	270	2.451	

No	Kemiringan Atap (θ) (derajat)	Arah Angin (derajat)	Tinggi Atap (m)	Gambar Benda Uji
4	40	270	2.937	

Sumber: Data Penelitian (2025)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Kecepatan Angin di Kalimantan Selatan

Hasil dari analisis data kecepatan angin selama 10 tahun terakhir di Kalimantan Selatan yang dibuat secara online dengan menggunakan website <https://dataonline.bmkg.go.id/data-ekstrem> dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Berdasarkan **Tabel 4** dapat diketahui bahwa kecepatan angin rata-rata adalah sebesar 13.50 m/det dan kecepatan angin maksimum adalah sebesar 21 m/det, sehingga kecepatan angin yang akan digunakan untuk simulasi adalah sebesar 21 m/det (dengan tingkat kecepatan angin menurut **Tabel 1** dapat mematahkan ranting pohon, rumah roboh).

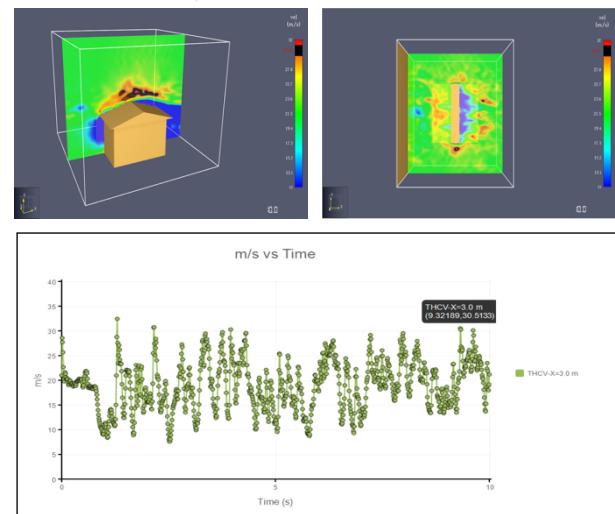
Tabel 4. Data kecepatan angin di Kalimantan Selatan

No	Tahun	Kecepatan	
		Angin (m/det)	Tanggal Kejadian
1.	2015	10	15 Januari 2015
2.	2016	10	23 Nopember 2016
3.	2017	8	19 Juni 2017
4.	2018	21	30 November 2018
5.	2019	12	22 Desember 2019
6.	2020	13	14 Januari 2020
7.	2021	15	25 Februari 2021
8.	2022	15	22 Oktober 2022
9.	2023	10	24 September 2023
10.	2024	21	10 Juni 2024
11.	2025	10	15 Januari 2025
Rerata		13.50	
Max		21.00	

Sumber: <https://dataonline.bmkg.go.id/data-ekstrem>

Hasil Simulasi Kecepatan Angin

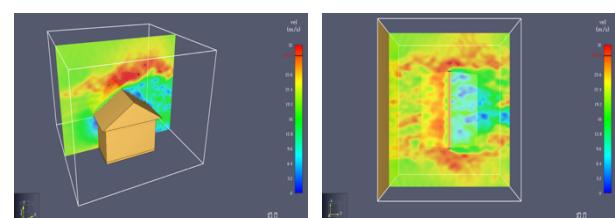
Berdasarkan hasil simulasi kecepatan angin pada **Gambar 2** dapat diketahui kecepatan angin maksimum yang terjadi pada atap dengan sudut kemiringan 15° adalah sebesar 30.51 m/det yang lokasinya terjadi pada bagian atas atap di arah angin datang dan angin pergi (garis *contour* berwarna hitam).

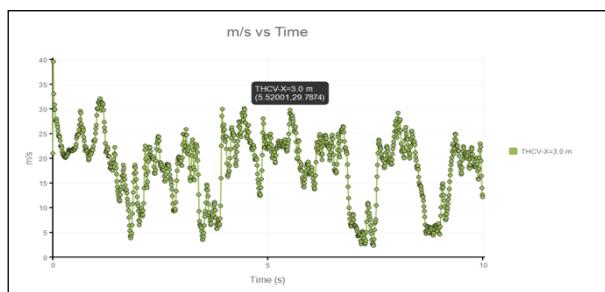


Gambar 2. Hasil analisis kecepatan angin sudut kemiringan atap 15°

Sumber: *Thunderhead Pyrosim* (2025)

Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui kecepatan angin maksimum yang terjadi pada atap dengan sudut kemiringan 30° adalah sebesar 29.79 m/det yang lokasinya terjadi pada bagian atas atap di arah angin datang dan pergi (garis *contour* berwarna hitam).

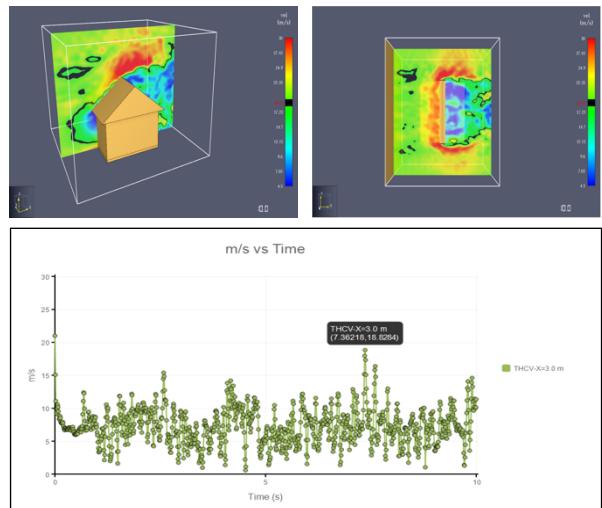




Gambar 3. Hasil analisis kecepatan angin sudut kemiringan atap 30°

Sumber: *Thunderhead Pyrosim (2025)*

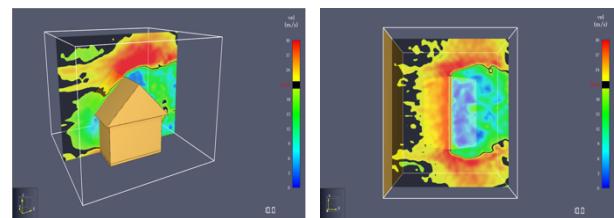
Berdasarkan **Gambar 4** dapat diketahui kecepatan angin maksimum yang terjadi pada atap dengan sudut kemiringan 35° adalah sebesar 18.83 m/det yang lokasinya terjadi pada bagian atas atap di arah angin datang dan pergi (garis contour berwarna hitam).



Gambar 4. Hasil analisis kecepatan angin sudut kemiringan atap 35°

Sumber: *Thunderhead Pyrosim (2025)*

Berdasarkan **Gambar 5** dapat diketahui kecepatan angin maksimum yang terjadi pada atap dengan sudut kemiringan 40° adalah sebesar 20.94 m/det yang lokasinya terjadi pada bagian atap di arah angin datang dan pergi.



Gambar 5. Hasil analisis kecepatan angin sudut kemiringan atap 40°

Sumber: *Thunderhead Pyrosim (2025)*

Hasil Analisis Tekanan Beban Angin Menurut SNI 1727:2020

Dengan menggunakan persamaan (1) s.d. (3) pada prosedur analisis tekanan beban angin menurut SNI 1727:2020 diperoleh hasil seperti pada **Tabel 5** s.d. **6**. Tinggi bangunan bervariasi berdasarkan sudut kemiringan atap, semakin besar sudut kemiringan atap maka semakin tinggi bangunan dan semakin besar juga luas bidang atap yang bersentuhan dengan angin.

Berdasarkan **Tabel 5** dapat diketahui bahwa tekanan beban angin pada bagian dinding disisi angin datang adalah sama untuk seluruh sudut kemiringan atap, yaitu sebesar $+10.70 \text{ kg/m}^2$ (tanda + menunjukkan tekanan angin yang mendorong ke dalam struktur). Sedangkan tekanan beban angin pada bagian dinding disisi angin pergi, adalah sama untuk sama untuk seluruh sudut kemiringan atap, yaitu sebesar -3.05 kg/m^2 (tanda - menunjukkan hisapan atau tekanan angin yang menarik ke luar struktur).

Tabel 5. Hasil analisis tekanan beban angin pada dinding menurut SNI 1727:2020 dengan variasi sudut kemiringan atap

Arah Angin	Tinggi Bangunan (m)	Tekanan Beban Angin (p) (kg/m^2)			
		15°	30°	35°	40°
Dinding	0.00	+10.70	+10.70	+10.70	+10.70

Arah Angin	Tinggi Bangunan (m)	Tekanan Beban Angin (p) (kg/m ²)			
		15°	30°	35°	40°
Di sisi angin datang	1.50	+10.70	+10.70	+10.70	+10.70
	2.00	+10.70	+10.70	+10.70	+10.70
	3.50	+10.70	+10.70	+10.70	+10.70
Dinding Di sisi angin pergi	0.00	-3.05	-3.05	-3.05	-3.05
	1.50	-3.05	-3.05	-3.05	-3.05
	2.00	-3.05	-3.05	-3.05	-3.05
	3.50	-3.05	-3.05	-3.05	-3.05

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Berdasarkan **Tabel 6** dapat diketahui bahwa nilai tekanan beban angin yang terjadi pada bagian atap disisi angin datang, untuk atap dengan kemiringan sudut 15°, 30°, 35°, dan 40° adalah sebesar +1.12 kg/m², +4.74 kg/m², +5.21 kg/m², dan +6.52 kg/m² (tanda + menunjukkan tekanan angin yang mendorong ke dalam struktur). Nilai tekanan beban angin yang diperoleh akan

digunakan untuk menghitung nilai C_d (*drag coefficient*). Sedangkan tekanan beban angin pada bagian atap disisi angin pergi, untuk atap dengan kemiringan sudut 15°, 30°, 35°, dan 40° adalah sebesar -3.67 kg/m², -4.47 kg/m², -4.47 kg/m², dan -4.47 kg/m² (tanda - menunjukkan hisapan atau tekanan angin yang menarik ke luar struktur).

Tabel 6. Hasil analisis tekanan beban angin pada atap menurut SNI 1727:2020 dengan variasi sudut kemiringan atap

Arah Angin	Tinggi Bangunan (m)	Tekanan Beban Angin (p) (kg/m ²)			
		15°	30°	35°	40°
Atap	4.44	+1.12	+4.36	+4.79	+5.63
	5.52		+4.74	+5.21	+6.13
	5.95			+5.21	+6.13
Disisi Angin Datang	6.44				+6.52
	4.44	-3.67	-4.11	-4.11	-4.11
	5.52		-4.47	-4.47	-4.47
Disisi Angin Pergi	5.95			-4.47	-4.47
	6.44				-4.47

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Hasil Analisis *Drag Coeffisient* (C_d)

Berdasarkan **Tabel 7** dapat diketahui bahwa

nilai *drag coefficient* terendah terjadi pada sudut kemiringan atap 15° sebesar 0.02 dan nilai *drag*

coefficient tertinggi terjadi pada sudut atap 40° sebesar 0.25. Semakin besar sudut kemiringan atap maka luas bidang atap akan semakin besar yang akan menghambat/ menahan aliran beban angin dan akan menaikkan nilai C_d (*drag coefficient*). Jika bangunan tersebut tidak mampu menahan aliran beban angin, maka dapat mengakibatkan kerusakan bangunan seperti terangkatnya atau bergesernya bangunan tersebut. Beberapa kerusakan yang diakibatkan oleh tekanan dan hisapan angin diantaranya adalah atap akan terangkat atau melayang, badan bangunan akan menjadi miring, dan bangunan dengan struktur sambungan dinding dan atap yang kuat akan membuat bangunan terangkat/ terbanting.

Untuk meminimalkan nilai *drag coefficient*, beberapa hal dapat dilakukan diantaranya meminimalkan luas bidang atap yang bersentuhan langsung dengan angin yaitu dengan memperkecil sudut kemiringan atap (15° s.d. 35°) atau atap dengan model lekukan agar lebih aerodinamis. Selain itu jika suatu bangunan harus tetap menggunakan atap dengan sudut kemiringan yang besar, dapat dilakukan dengan mengurangi kecepatan angin (V) yang akan mengenai bangunan dengan cara memberikan penghalang di bagian arah datangnya angin, seperti menggunakan dinding solid, tanaman, pagar, atau struktur lain yang fungsinya untuk menghalangi angin (kanopi, teras, atau atap yang menjorok).

Tabel 7. Hasil simulasi dan analisis *Drag Coefficient* (C_d)

Sudut Kemiringan Atap (θ)	Hasil Pyrosim Kecepatan Angin (V) (m/det)	SNI 1727:2020 Tekanan Angin (p) (kg/m ²)	Luas Atap (A) (m ²)	Drag Force (F _d) (N)	Massa jenis udara ρ (kg/m ³)	Drag Coefficient (C _d)
15	30.51	1.12	50.73	568.16	1.20	0.02
30	29.79	4.74	56.58	2,681.91	1.20	0.09
35	18.83	5.21	59.82	3,116.52	1.20	0.24
40	20.94	6.52	63.96	4,170.52	1.20	0.25

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi pengaruh angin terhadap bangunan rumah tinggal sederhana di Kalimantan Selatan yang berukuran $6.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$ dengan variasi sudut kemiringan atap pelana 15° , 30° , 35° , 40° dengan menggunakan *Software Thunderhead Pyrosim Version 6.9.1 (Academic License)* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Kecepatan angin maksimum selama 10 tahun terakhir yang terjadi di Kalimantan Selatan berdasarkan data BMKG online adalah sebesar 21 m/det, yang berarti termasuk kategori dapat mematahkan ranting pohon, dan menyebabkan rumah roboh.
- 2) Semakin besar sudut kemiringan atap, maka tekanan angin tertinggi terjadi pada bagian yang searah angin, dan akan berpindah secara perlahan-lahan kebagian belakang arah angin yang memiliki tekanan angin paling rendah.

3) Semakin besar sudut kemiringan atap, maka luas bidang atap akan semakin besar yang akan menghambat aliran udara dan akan menaikkan nilai C_d (*drag coefficient*) yang berakibat semakin besar kemungkinan bangunan mengalami kerusakan akibat angin.

4) Untuk meminimalkan kerusakan bangunan akibat angin dilakukan dengan cara memperkecil sudut kemiringan atap (15° - 35°) atau atap dengan model lekukan agar lebih aerodinamis, dan memberikan penghalang di bagian arah datangnya angin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat ULM yang telah memberikan bantuan dana melalui hibah penelitian PDWM 2025 dan Thunderhead Engineering Consultant, Inc. yang telah memberikan ijin penggunaan *Software Thunderhead Pyrosim*

Version 6.9.1 (Academic License).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rachmad Zahrial Amin, (2019). Simulasi Aliran Angin Pada Gedung Yoseph, Kampus Unika Musi Charitas Palembang, Jurnal Arsitektur Komposisi, Vol 14 No. 2, April 2021, P-ISSN: 1411-6618 & E-ISSN: 2656-551X.
- Bhandari NM, Krishna P., (2011). An Explanatory handbook on proposed IS-875 (Part 3): Wind loads on buildings and structure. IITK-GSDMA Project on Building Codes.
- BMKG online, (2025). Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Data Online, <https://dataonline.bmkg.go.id/data-ekstrem>, diakses pada 01 Maret 2025.
- Boutet, T. ,1987, Controlling Air Movement. New York: McGraw Hill.
- BSN., (2020). SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
- Driss, S., Driss, Z., & Kammoun, I. K., (2014). Impact of Shape of Obstacle Roof on the Turbulent Flow in a Wind Tunnel. American Journal of Energy Research, 90-98.
- Guirguis, N., El-Aziz, A. A., & Nassief, M., (2007). Study of wind effects on different buildings of pitched roofs. Desalination, 190–198.
- Haris Ilman Fiqih, (2023). Analisis Koefisien Drag terhadap Konsumsi Bahan Bakar pada Bus Normal Deck dan Double Decker Menggunakan Metode CFD, Jurnal Penelitian Transportasi Multimoda, 21 (1): 43-55.
- Kawruh Jiwo., (2025). Standar Kemiringan Atap, <https://kmsgroups.com/standar-kemiringan-ata-p/info-news/>, diakses pada 01 Maret 2025.
- M. Rizki Ikhsan, Muhammad Rizali, Bayu Nugraha, (2024). Simulasi CFD Udara Di Sekitar Rumah Tradisional Banjar Tipe Bubungan Tinggi, JTAM ROTARY, Vol. 6, No 1, 2024, ISSN: 2721-6225 (print), ISSN: 2745-6331 (online).
- Rani Maharani., (2016). Standar Kemiringan Atap Rumah Yang Ideal, <https://rumahpu.blogspot.com/2016/10/kemiringan-atap.html>, diakses pada 01 Maret 2025.
- Siti Belinda Amri, La Ode Abdul Syukur, (2017). Analisis Aliran Angin Pada Atap Miring Melalui Uji Simulasi Flow Design, Langkau Betang: Jurnal Arsitektur, P-ISSN 2355-2484, E-ISSN 2550-1194 , Vol. 4, No. 2, 2017.
- Stewart, R. H., (2008). Introduction To Physical Oceanography. Texas: Department of Oceanography Texas A & M University.
- Thunderhead Engineering Consultant, Inc., (2025). PyroSim 2024 Tutorials, https://support.thunderheadeng.com/tutorials/p_yrosim/, diakses 01 Maret 2025.
- Tominaga, Y., Akabayashi, S., Kitahara, T., & Arinami, Y., (2015). Air flow around isolated gable-roof building with different roof pitches: Wind Tunnel experiments and CFD Simulation. Building and Environment, 204-213.