

Monte Carlo Simulation: Estimasi Kegagalan Balon Udara



Disusun Oleh:

Adrian Farrel Aziz Yatyoga / L0224040/ B

Asisten Pengampu :

Rakhmadiani Ardinda Chaerunnisa
Marsheli Diva Muftiasa

**PROGRAM STUDI S1 SAINS DATA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS DATA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

2025

HALAMAN JUDUL.....	1
BAB I.....	3
PENDAHULUAN.....	3
1.1. Latar Belakang.....	3
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Metode Monte Carlo.....	5
2.2 Analisis Keandalan Struktur.....	5
2.3 Balon Udara: Aspek Teknis.....	5
BAB III.....	6
METODOLOGI.....	6
3.1 Asumsi Model.....	6
1. Kriteria Kegagalan:.....	6
2. Parameter Input:.....	6
3. Parameter Output:.....	6
3.2 Algoritma Simulasi.....	7
3.3 Tools dan Software.....	7
3.4 Parameter Simulasi.....	7
BAB IV.....	8
HASIL DAN ANALISIS.....	8
4.1 Ringkasan Hasil Simulasi.....	8
4.2 Analisis Visualisasi.....	9
4.2.1 Distribusi Waktu Hingga Kegagalan (Grafik 1).....	9
4.2.2 Probabilitas Kegagalan Balon Udara (Grafik 2).....	10
4.2.3 Stress vs Kekuatan Material (Grafik 3).....	11
4.3 Analisis Sensitivitas Parameter:.....	12
BAB V.....	13
KESIMPULAN DAN SARAN.....	13
5.1 Kesimpulan.....	13
5.2 Saran.....	13

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Balon udara panas merupakan sistem penerbangan sederhana yang mengandalkan perbedaan densitas udara akibat pemanasan. Meskipun desainnya terlihat sederhana, struktur balon rentan terhadap kegagalan akibat kombinasi tekanan internal, suhu tinggi, dan variasi kualitas material. Dalam rekayasa, prediksi kegagalan tidak dapat dilakukan secara deterministik karena adanya ketidakpastian pada parameter operasional dan material.

Metode Monte Carlo menawarkan solusi dengan menggunakan **sampling acak berulang** untuk memperkirakan probabilitas kegagalan, ekspektasi waktu kegagalan, dan sensitivitas sistem terhadap variasi input. Pendekatan ini sangat relevan dalam analisis risiko teknik modern.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara mengestimasi probabilitas kegagalan balon udara dengan parameter tidak pasti?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu, tekanan, dan kekuatan material terhadap risiko kegagalan?
3. Berapa rata-rata waktu hingga kegagalan dalam kondisi operasional acak?

1.3 Tujuan

1. Menggunakan metode Monte Carlo untuk memperkirakan probabilitas kegagalan balon udara
2. Menganalisis pengaruh ketidakpastian parameter terhadap keandalan sistem
3. Menghitung rata-rata waktu hingga kegagalan (Mean Time to Failure)

1.4 Batasan Masalah

- Simulasi menggunakan model sederhana dengan asumsi tertentu
- Parameter operasional diambil dari distribusi probabilistik
- Kegagalan terjadi jika stress efektif melebihi kekuatan material
- Jumlah simulasi: $n = 120$ iterasi

1.5 Manfaat

- Memberikan pemahaman tentang aplikasi Monte Carlo dalam analisis risiko
- Membantu pengambilan keputusan dalam desain sistem dengan ketidakpastian
- Mendemonstrasikan pentingnya analisis probabilistik dalam engineering

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo pertama kali dikembangkan pada 1940-an oleh ilmuwan Los Alamos untuk simulasi reaksi nuklir. Prinsip dasarnya adalah **menggunakan sampling acak untuk memecahkan masalah deterministik atau probabilistik**. Berdasarkan **Hukum Bilangan Besar**, rata-rata hasil simulasi akan konvergen ke nilai ekspektasi sebenarnya seiring peningkatan jumlah iterasi. Metode ini banyak digunakan dalam keuangan, fisika, dan rekayasa keandalan.

2.2 Analisis Keandalan Struktur

Keandalan struktur mengukur kemampuan sistem untuk **berfungsi tanpa kegagalan dalam periode tertentu**. Kegagalan terjadi ketika **beban (stress)** melebihi **kapasitas (strength)**. Selisih antara keduanya disebut *safety margin*. Faktor utama yang memengaruhi kegagalan meliputi: variasi material, kondisi lingkungan, dan beban dinamis.

2.3 Balon Udara: Aspek Teknis

Balon udara menggunakan udara panas (80–150°C) untuk menghasilkan daya angkat. Material umumnya terbuat dari **kain nilon rip-stop** dengan kekuatan tarik sekitar **3–6 kPa**. Tekanan internal hanya sedikit di atas atmosfer (~1–2 kPa), tetapi dapat meningkat seiring suhu berdasarkan **Hukum Gay-Lussac**:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

BAB III

METODOLOGI

3.1 Asumsi Model

1. Kriteria Kegagalan:

- Kegagalan terjadi jika: **Stress Efektif > Kekuatan Material**
- Stress efektif = Tekanan (kPa)

2. Parameter Input:

Parameter	Distribusi	Nilai
Kekuatan Material	Normal	$\mu = 4.0 \text{ kPa}$, $\sigma = 1.0 \text{ kPa}$
Suhu Operasional	Uniform	$80^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$
Tekanan Dasar	-	1.3 kPa
Variasi Tekanan	Normal	$\sigma = 0.2 \text{ kPa}$
Hubungan P-T	Hukum Gay-Lussac	$P = P_0 \cdot \frac{T}{T_0}$

3. Parameter Output:

- Probabilitas kegagalan (%)
- Rata-rata waktu hingga kegagalan (jam)
- Visualisasi distribusi stress vs kekuatan

nb : Waktu kegagalan dihitung secara heuristik: semakin besar *overload* (stress/kekuatan), semakin cepat kegagalan terjadi.

3.2 Algoritma Simulasi

UNTUK setiap iterasi $i = 1$ hingga n :

1. Sampling kekuatan material dari distribusi $N(4.0, 1.0)$
2. Sampling suhu dari distribusi $U(80, 150)$
3. Hitung tekanan berdasarkan suhu ($P \propto T$)
4. Tambahkan variasi acak pada tekanan
5. Bandingkan stress efektif dengan kekuatan:
 - JIKA $\text{stress} > \text{kekuatan} \rightarrow \text{GAGAL}$
 - JIKA $\text{stress} \leq \text{kekuatan} \rightarrow \text{AMAN}$
6. Catat waktu hingga kegagalan

AKHIR UNTUK

Hitung:

- Probabilitas Gagal = $(\text{Jumlah Gagal} / n) \times 100\%$
- Mean Time to Failure (jam)

3.3 Tools dan Software

Bahasa Pemrograman: Python 3.12

Library yang digunakan:

- NumPy: Sampling acak dan operasi numerik
- Matplotlib: Visualisasi hasil
- Seaborn: Styling grafik

3.4 Parameter Simulasi

- Jumlah simulasi: **$n = 120$**
- Seed acak: 40 (untuk reproduibilitas)
- Periode observasi: 5 jam operasi
- Waktu kegagalan: Berbanding terbalik dengan beban berlebih (overload)

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Ringkasan Hasil Simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah Simulasi	120
Jumlah Kegagalan	1
Probabilitas Gagal	0.83
Rata-rata Waktu Gagal	4.99 jam

Tabel 1. Hasil Simulasi (n = 120)

Parameter	Nilai
Jumlah Simulasi	400
Jumlah Kegagalan	3
Probabilitas Gagal	0.75
Rata-rata Waktu Gagal	4.99 jam

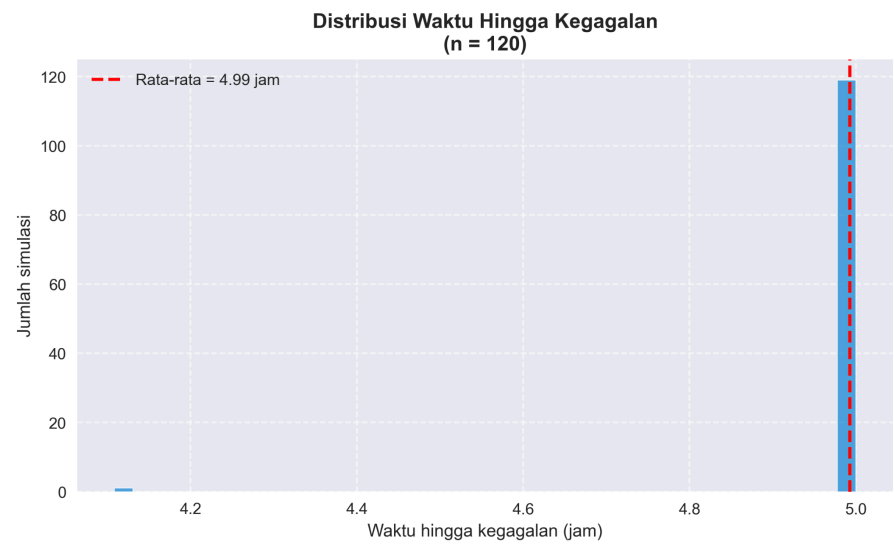
Tabel 2. Hasil Simulasi (n = 400)

Parameter	Nilai
Jumlah Simulasi	1000
Jumlah Kegagalan	5
Rata-rata Waktu Gagal	0.50
Rata-rata Waktu Gagal	4.99 jam

Tabel 3. Hasil Simulasi (n = 1000)

4.2 Analisis Visualisasi

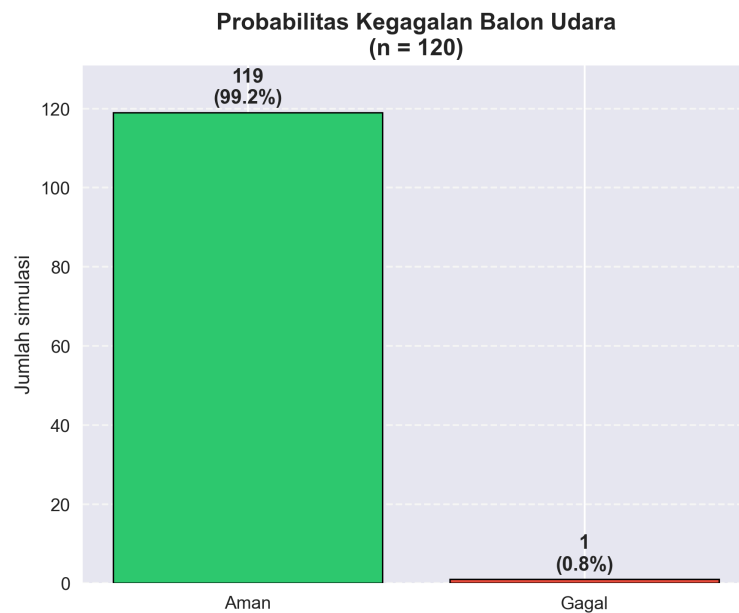
4.2.1 Distribusi Waktu Hingga Kegagalan (Grafik 1)



Analisis:

- Distribusi strongly right-skewed → Mayoritas kasus bertahan hingga 5 jam
- Puncak histogram di sekitar 5 jam → Sistem cenderung tidak gagal
- Hanya 1 kasus dengan waktu kegagalan < 5 jam
- Garis merah (rata-rata 4.99 jam) mendekati batas maksimum → indikasi keandalan tinggi

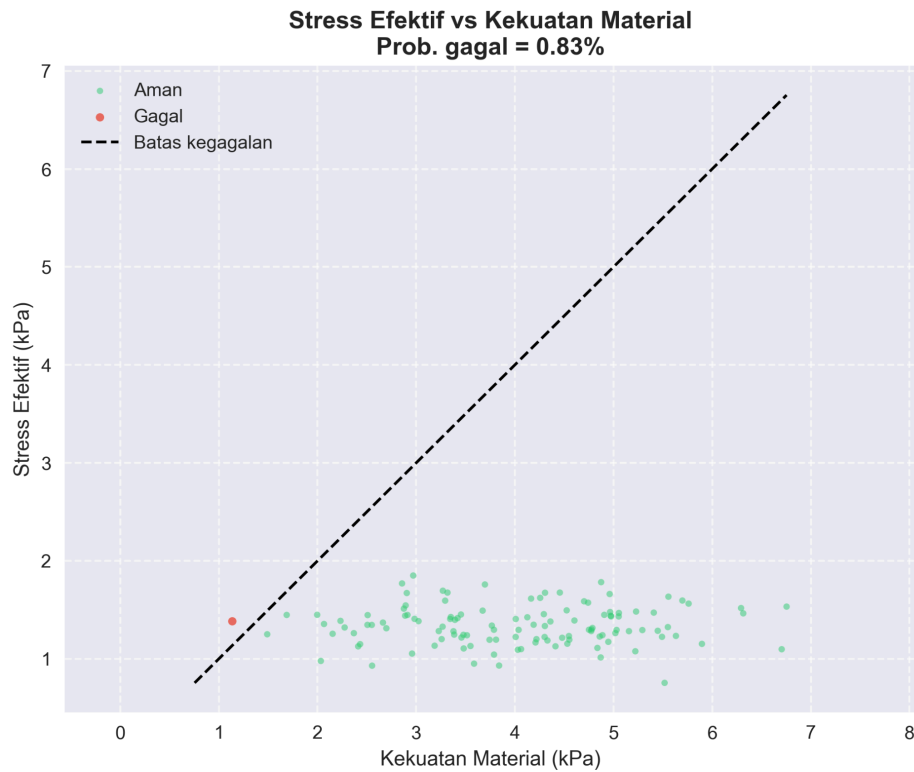
4.2.2 Probabilitas Kegagalan Balon Udara (Grafik 2)



Analisis:

- Bar Chart: 119 kasus aman (hijau) vs 1 kasus gagal (merah)
- Persentase kegagalan: 0.83%
- Nilai ini bukan deterministik, melainkan estimasi statistik dari ketidakpastian parameter input

4.2.3 Stress vs Kekuatan Material (Grafik 3)



Analisis:

- Garis diagonal hitam: Batas kegagalan ($\text{stress} = \text{kekuatan}$)
- Titik hijau (aman): Berada di bawah garis diagonal $\rightarrow \text{stress} < \text{kekuatan} \rightarrow$ struktur bertahan
- Titik merah (gagal): Berada di atas garis diagonal $\rightarrow \text{stress} > \text{kekuatan} \rightarrow$ kegagalan terjadi
- Sebaran titik: Menunjukkan bagaimana variasi parameter input (terutama suhu dan kualitas material) memengaruhi margin keamanan

4.3 Analisis Sensitivitas Parameter:

Pengaruh Variasi Parameter:

Kekuatan Material ($\sigma = 1.0 \text{ kPa}$):

- Variasi tinggi → beberapa unit lemah → risiko kegagalan meningkat
- Dalam simulasi ini, mayoritas sampel memiliki kekuatan $> 3 \text{ kPa}$

Suhu Operasional ($80\text{-}150^\circ\text{C}$):

- Rentang lebar → tekanan bervariasi signifikan
- Suhu tinggi → tekanan tinggi → stress efektif meningkat

Tekanan ($1.3 \pm 0.2 \text{ kPa}$):

- Variasi acak mensimulasikan turbulensi, angin, dan beban dinamis
- Meskipun ada variasi, mayoritas stress tetap $<$ kekuatan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- **Metode Monte Carlo efektif** untuk mengestimasi probabilitas kegagalan sistem dengan parameter tidak pasti
- Dengan **n = 120 simulasi**, diperoleh:
 - Probabilitas kegagalan: **0.83%** (sangat rendah)
 - Rata-rata waktu hingga kegagalan: **4.99 jam** (mendekati batas observasi)
- **Variasi parameter input** (terutama kekuatan material dan suhu) berpengaruh signifikan terhadap risiko kegagalan
- Sistem balon udara dengan parameter yang dipilih relatif **andal**, dengan mayoritas kasus bertahan hingga akhir periode observasi

5.2 Saran

Untuk Pengembangan Simulasi:

1. **Meningkatkan jumlah simulasi** ($n > 10,000$) untuk estimasi probabilitas yang lebih akurat
2. **Menggunakan model stress yang lebih realistis** (mempertimbangkan geometri balon, distribusi tegangan)
3. **Menambahkan parameter tambahan:**
 - Wind speed dan turbulensi
 - Degradasi material (fatigue)
 - Kondisi cuaca ekstrem
4. **Analisis sensitivitas global** untuk mengidentifikasi parameter paling berpengaruh