

# Analisis dan Evaluasi Data pada Kerangka Penerapan *Digital Twin*

1<sup>st</sup> Vika Ristiana Putri  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

vikaristianaputri@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Reza Fauzi Iskandar  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

rezafauzii@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Indra Wahyudin Fathonah  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

indrafathonah@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — *Digital twin* adalah konsep di mana suatu objek fisis direpresentasikan secara digital melalui penggunaan data, model, dan informasi terkini. Ide di balik *digital twin* adalah menciptakan duplikat virtual yang mendekati realitas untuk menyajikan informasi yang berguna, mengoptimalkan kinerja, dengan simulasi serta analisis tanpa harus berinteraksi langsung dengan objek fisis yang sebenarnya. Dalam penelitian ini melakukan analisis data dan evaluasi data pada kerangka penerapan *digital twin*, selanjutnya dari hasil akhir perhitungan metrik evaluasi kinerja yang didapatkan pada akhir sistem memiliki performa yang baik dikarenakan nilai error MSE pada SoC sebesar 0,0083, nilai RMSE pada SoC sebesar 0,0915 dan nilai MAPE menunjukkan model memiliki kesalahan prediksi yg rendah SoC sebesar 0,41%. Namun, pada hasil pengujian perhitungan nilai error ini masih menggunakan data yang belum setara antara data digital dan data fisis. Sistem ini hanya digunakan sebagai uji coba dari kerangka *digital twin*, sehingga hasil yang didapatkan memerlukan langkah-langkah lebih lanjut untuk menyempurnakan kerangka *digital twin*.

**Kata kunci**— *digital twin*, MSE, RMSE, MAPE

## I. PENDAHULUAN

Pada era di mana teknologi terus berkembang pesat Ada sejumlah perangkat elektronik baru yang tidak terpisahkan dari aktivitas sehari-hari. Beberapa perangkat elektronik ini memerlukan daya yang disimpan dalam baterai, misalnya baterai lithium-ion [1], Baterai merupakan alat penyimpan energi yang saat ini mengalami banyak tahapan pengembangan [2]. Sistem manajemen baterai berbasis *digital twin* telah muncul sebagai solusi inovatif dalam mengoptimalkan kinerja dan umur baterai. Dalam upaya mengoptimalkan kinerja dan umur baterai, pendekatan inovatif telah muncul dalam bentuk sistem berbasis *digital twin*. Konsep digital twin, yang melibatkan representasi virtual yang akurat dari objek fisik dalam lingkungan digital, telah membuka peluang baru dalam memahami dan mengelola baterai dengan lebih efektif.

Dalam penelitian ini melakukan kerangka percobaan (framework) dalam *digital twin* tertuju kepada struktur atau pendekatan yang digunakan untuk merancang, mengembangkan, mengimplementasikan, dan menguji model *digital twin* serta integrasinya dengan dunia fisik yang sesungguhnya. *Digital twin* merupakan konsep di

mana terdapat replika digital dari objek fisik, proses, atau sistem yang ada dalam dunia nyata. Kerangka percobaan digunakan untuk memfasilitasi eksperimen, validasi, dan pengujian dari konsep *digital twin* sebelum diimplementasikan secara penuh.

Pada penelitian ini, kami berfokus pada analisis dan evaluasi data pada kerangka penerapan *digital twin*, yang akan membuat kerangka *digital twin* untuk meningkatkan efisiensi operasional, meramalkan potensi kerusakan, serta menjaga keandalan baterai secara keseluruhan. Melalui pendekatan ini, diharapkan penelitian ini akan memberikan wawasan baru yang berharga dalam pengembangan teknologi baterai yang lebih canggih dan berkelanjutan.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Digital twin

*Digital twin* merupakan representasi virtual yang akurat dari objek fisik di dunia digital [3], memungkinkan untuk pemantauan, analisis, dan simulasi real-time yang mendalam. Konsep ini pertama kali muncul sebagai bagian dari industri manufaktur dan desain produk, tetapi sekarang telah meluas. Konsep *digital twin* memungkinkan iterasi cepat dan pengujian simulasi tanpa risiko terhadap objek fisik asli. Dengan adanya hubungan erat antara model virtual dan objek fisik, penyesuaian dan optimalisasi dapat dilakukan dengan lebih efisien.

Di sektor energi, *digital twin* baterai dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang siklus pengisian ulang, degradasi, dan efisiensi, yang pada gilirannya membantu dalam pengembangan teknologi baterai yang lebih baik. *Digital twin* bukanlah teknologi khusus, tetapi sebuah konsep yang dapat dicapai melalui banyak teknologi canggih. Oleh karena itu, diperlukan kejelasan yang cukup dan konsep spesifik untuk bidang penelitian yang berbeda [4].

### B. Analisis Data

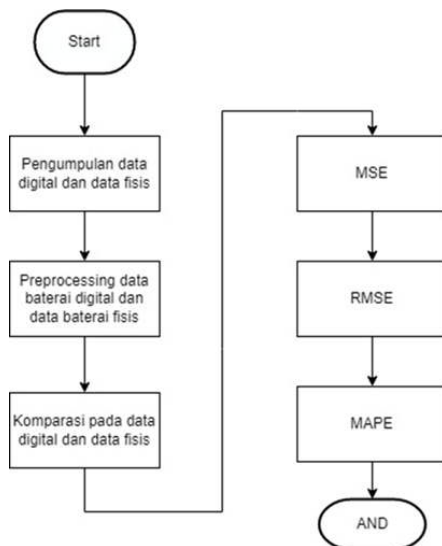
Analisis data adalah proses sistematis untuk menggali informasi berharga, pola, hubungan, dan wawasan yang terkandung dalam kumpulan data. Tujuan utama dari analisis data adalah untuk mengubah data mentah menjadi pemahaman yang lebih mendalam, yang pada gilirannya dapat digunakan untuk membuat keputusan yang lebih baik.

Analisis data pada jurnal ini menggunakan google colab dengan Bahasa pemrograman python, Google Colab adalah platform cloud berbasis Python yang memungkinkan untuk menulis dan mengeksekusi kode Python dalam lingkungan Jupyter Notebook. Ini memungkinkan kolaborasi secara real-time dan memberikan akses ke sumber daya komputasi yang kuat.

### III. METODE

Dalam metode analisis data pada kerangka penerapan digital twin. Digital twin adalah proses analitik data yang mengarah pada pengambilan keputusan melalui simulasi dan model, analisis data. *digital twin* melibatkan perbandingan dan analisis antara objek fisik dan objek digital untuk mendapatkan hasil pemahaman yang lebih baik tentang hubungan dan perbedaan antara keduanya. Dalam penelitian ini kami membuat kerangka kerja *digital twin* dengan percobaan memasukkan data digital dan data fisiknya yang akan menggambarkan penerapan sesungguhnya pada sistem *digital twin*.

Cara kerja analisis data *digital twin* dapat di jelaskan sebagai berikut:



GAMBAR 3.1

Flowchart Analysis Data dan evaluasi data pada penerapan Digital Twin

Dalam flowchart di atas analisis data pada jurnal ini menggunakan google colab dengan Bahasa pemrograman python.

#### A. Pengumpulan data

Tahap pertama dalam analisis data digital twin adalah mengumpulkan dua data fisis dan data digital yang diperlukan. Data yang di kumpulkan berupa tegangan, arus dan SoC yang diperoleh dari real baterai dan digital baterai pada baterai lithium ion NMC.

#### B. Preprocessing pada data fisis dan data digital

Data preprocessing dalam hal ini berperan penting untuk meningkatkan data menjadi lebih bersih dan akurat sebelum diproses. [5]. dilakukan untuk mempersiapkan data sebelum dilakukan analisis data lebih lanjut. Tujuan utama dari preprocessing adalah untuk meningkatkan kualitas data,

mengurangi noise, dan mempersiapkan data agar lebih cocok untuk model atau analisis.

#### C. Komparasi data digital dan data fisis

Dengan membandingkan data digital dengan data fisis, dapat dilakukan verifikasi dan validasi untuk memastikan bahwa model digital twin secara akurat merepresentasikan kondisi dan perilaku sistem fisik yang sesungguhnya. Pada komparasi ini untuk mendeteksi adanya ketidaksesuaian antara data digital dan data fisis.

#### D. Menghitung nilai error

Menghitung nilai error MSE (*Mean Squared Error*), RMSE (*Root Mean Squared Error*), dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) untuk dapat memahami sejauh mana model digital twin cocok atau tidak cocok dengan data fisik yang sebenarnya.

##### 1. Mean Squared Error (MSE)

Pada MSE dapat mengukur seberapa dekat atau jauhnya data digital dengan data fisik yang sebenarnya dan juga memperhitungkan besarnya selisih antara data digital dan data fisik, dengan selisih yang lebih besar memiliki pengaruh yang lebih signifikan pada perhitungan. Pada nilai MSE yang lebih kecil menunjukkan tingkat akurasi yang lebih tinggi antara data digital dan data fisik. Kekurangan penggunaan MSE adalah bahwa MSE cenderung menonjolkan deviasi yang besar karena adanya pengkuadratan. Berikut adalah rumus MSE [6]:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (1)$$

##### 2. Root Mean Squared Error (RMSE)

Pada RMSE adalah besarnya hasil tingkat kesalahan prediksi, dimana semakin kecil nilai RMSE (mendekati 0) semakin akurat hasil prediksinya [7]. Mengukur tingkat kesalahan rata-rata dalam data digital dengan data fisik. RMSE memberikan gambaran tentang sejauh mana data digital menyimpang dari data fisik yang sebenarnya. Memiliki kegunaan yang serupa dengan MSE, tetapi RMSE memberikan angka yang lebih mudah diinterpretasikan karena dalam satuan yang sama dengan data fisik.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

##### 3. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Pada MAPE mengukur persentase kesalahan rata-rata dalam data digital dibandingkan dengan data fisik. Berguna dalam memahami tingkat kesalahan relatif dalam data digital, terlepas dari besarnya data fisik yang dikaitkan. Nilai MAPE antara 20% sampai 50% dapat dikatakan prediktif terhadap hasil menunjukkan tingkat akurasi yang lebih tinggi antara model dan data fisik [8].

$$MAPE = \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{\hat{y}_t} \right| \times 100 \% \quad (3)$$

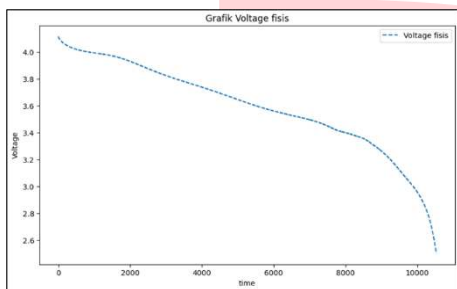
Dalam analisis data digital twin, menghitung MSE, RMSE, dan MAPE dapat mengetahui secara kuantitatif mengevaluasi performa model digital twin dalam mereplikasi data fisik. Metrik ini membantu dalam membandingkan model yang berbeda dan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Analisis data fisis

Data fisis di dapatkan dari data yang di hasilkan langsung oleh alat yang terdiri dari data voltage, current dan SoC lalu data terbut di olah dan di analisis menggunakan 3 grafik pada data fisis sebagai berikut:

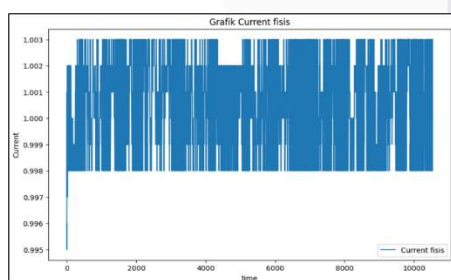
###### 1. Grafik voltage data fisis



GAMBAR 4.1  
Hasil grafik voltage pada data fisis

Grafik voltage terhadap waktu pada data fisis awalnya, saat proses discharging dimulai, tegangan yang terukur pada baterai atau sumber daya tersebut memiliki nilai yang tinggi. Hal ini karena baterai memiliki kapasitas yang penuh. Selama proses discharging, tegangan secara bertahap menurun seiring dengan penggunaan energi. Tegangan menurun karena energi baterai atau sumber daya lainnya berkurang dan tidak lagi mampu menjaga tegangan pada level yang tinggi. perubahan laju penurunan tegangan pada grafik tegangan terhadap waktu pada data fisis tidak konstan sepanjang waktu.

###### 2. Grafik current data fisis

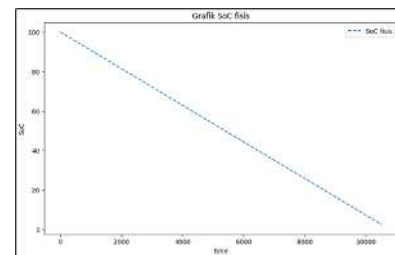


GAMBAR 4.2  
Hasil grafik current pada data fisis

Grafik current terhadap waktu pada data fisis memiliki grafik naik turun secara kelipatan menunjukkan adanya fluktuasi arus yang berulang dalam proses discharging. Fluktuasi arus dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk respon dinamis baterai terhadap perubahan tuntutan beban atau perubahan resistansi internal baterai seiring dengan penggunaan energi. pengoperasian nilai arus discharge baterai tidak selalu memiliki nilai konstan, hal ini dipengaruhi oleh nilai tegangan pada baterai. Semakin lama baterai digunakan, semakin rendah penurunan tegangan

baterai, yang mengakibatkan berkurangnya arus pelepasan dibandingkan dengan keadaan semula. [9].

###### 3. Grafik SoC data fisis



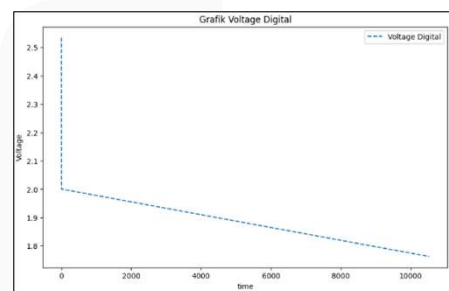
GAMBAR 4.3  
Hasil grafik SoC pada data fisis

Grafik SoC terhadap waktu pada data fisis memiliki grafik saat discharge dengan pola turun yang linear [10]. menunjukkan penurunan secara konsisten. laju penurunan energi dalam baterai tersebut relatif stabil. Ini menandakan bahwa energi yang tersisa dalam baterai tersebut digunakan secara konsisten.

##### B. Analisis data digital

Data digital di dapatkan dari hasil modelling yang di buat menyerupai data fisis pada konsep *digital twin* data digital terdiri dari voltage, curren dan SoC lalu data tersebut di olah dan di analisis menggunakan 3 grafik pada data digital sebagai berikut:

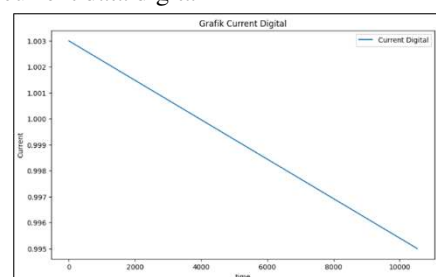
###### 1. Grafik voltage data digital



GAMBAR 4.4  
Hasil grafik voltage pada data digital

Grafik voltage terhadap waktu pada data digital, waktu merupakan variabel independen yang menunjukkan durasi atau interval waktu, sedangkan tegangan adalah variabel dependen yang berubah seiring berjalannya waktu. tegangan baterai akan menurun secara bertahap seiring dengan pengosongan baterai dan pada grafik voltage data digital tegangan pada awal discharging turun secara drastis pada nilai tegangan 2.5 hingga 2.0 lalu pada nilai tegangan 2.0 turun secara konstan lurus mengikuti waktu.

###### 2. Grafik current data digital

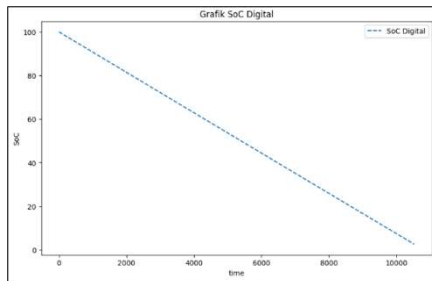


GAMBAR 4.5

Hasil grafik current pada data digital

Grafik current terhadap waktu pada data digital memiliki garis grafik yang akan menunjukkan bagaimana arus berkurang seiring waktu saat baterai terdischarge pada grafik current tersebut arus terus menurun secara konstan mengikuti waktu.

### 3. Grafik SoC data digital



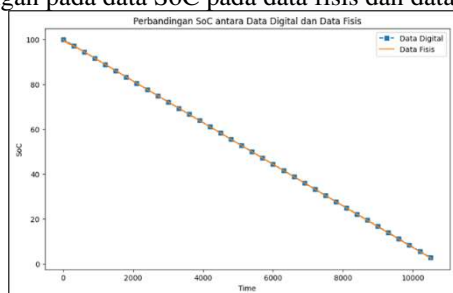
GAMBAR 4.6

Hasil grafik SoC pada data digital

Grafik SoC terhadap waktu pada data digital, dari grafik yang didapatkan dari grafik SoC dapat dilihat bahwa grafik menurun secara konstan, karena diketahui bahwa hubungan nilai SoC dengan waktu dalam siklus discharge berbanding terbalik. Semakin lama baterai bertahan, semakin banyak pengisiannya, sehingga SoC baterai akan berkurang.

### C. Analisis Komparasi data digital dan data fisis

Pada analisis komparasi antara data fisis dan data digital dalam digital twin melibatkan perbandingan antara data fisis dan data digital yang di modelkan. Analisis komparasi memberikan wawasan tentang kinerja sistem, pemantauan kondisi, dan evaluasi terhadap objek fisis dan digital. Membandingkan data fisik dengan data digital, dapat membuat prediksi yang lebih akurat, dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi. Pada analisis komparasi data digital dan data fisis di butuh kan dua data yang sama dengan jumlah data yang sama yaitu 10.532 data dan terdapat 4 kolom. Berikut grafik perbandingan pada data SoC pada data fisis dan data digital:

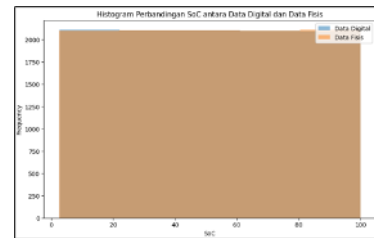


GAMBAR 4.7

komparasi pada perbandingan SoC data digital dan data fisis

Pada grafik komparasi data SoC di dapatkan grafik yang konsistensi, konsistensi adalah sifat yang diinginkan dalam *digital twin*, yang berarti data yang diperoleh dari model *digital twin* secara tepat mencerminkan data aktual dari objek atau sistem fisik yang sedang dimodelkan. di dapatkan hasil grafik yang sama juga karena hasil yang di dapatkan dari data digital dan data fisis tidak jauh berbeda.

Pada komparasi di dapatkan juga Histogram perbandingan SoC sebagai berikut:



GAMBAR 4.8

Proses komparasi dengan grafik histogram pada SoC data fisis dan data digital

Grafik perbandingan histogram pada data SoC memiliki nilai SoC yang tidak jauh berbeda, untuk nilai frekuensi pada data fisis memiliki rentang frekuensi yang sama begitu pula dengan data digital memiliki frekuensi yang sama pula.

### D. Analisis hasil nilai error MSE, RMSE dan MAPE

Pada analisis *Mean Squared Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *Root Mean Squared Error* (RMSE) Ketiga metrik ini untuk mengukur tingkat kesalahan atau perbedaan antara nilai yang diprediksi dan nilai yang sebenarnya dalam suatu model atau estimasi. Berdasarkan hasil yang di dapatkan nilai MSE pada SoC di dapatkan nilai yaitu 0,0083 dari nilai tersebut cukup bagus karena mendekati 0, Selanjutnya pada RMSE untuk nilai SoC di dapatkan nilai 0,0915 nilai tersebut juga cukup bagus karna mendekati 0. Selanjutnya pada nilai error MAPE apabila di bawah 50% maka nilai di katakana cukup baik berdasarkan hasil yang di dapat nilai error MAPE untuk nilai SoC di dapatkan nilai MAPE 0,41% untuk nilai MAPE SoC yang di dapatkan memiliki hasil peramalan sangat baik. oleh karna itu hasil modelling batrai dikatakan cukup baik karena hasil MSE, RMSE dan MAPE pada data SoC memiliki hasil pengujian yang bagus. Namun pada hasil pengujian perhitungan nilai error ini masih menggunakan data yang belum setara antara data digital dan data fisis. Sistem ini hanya digunakan sebagai uji coba dari kerangka *digital twin*, sehingga hasil yang didapatkan memerlukan langkah-langkah lebih lanjut untuk menyempurnakan kerangka digital twin.

## V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini kami berfokus untuk membuat kerangka kerja *digital twin* dengan melakukan komparasi pada data SoC yang dihasilkan dari proses pemodelan data objek fisis dan objek digital. Dari hasil akhir perhitungan metrik evaluasi kinerja yang didapatkan pada akhir sistem memiliki performa yang baik dikarenakan nilai error MSE pada SoC sebesar 0,0083, nilai RMSE pada SoC sebesar 0,0915 dan nilai MAPE menunjukkan model memiliki kesalahan prediksi yg rendah SoC sebesar 0,41%. Namun, dalam proses pengembangan kerangka kerja digital twin ini, terdapat beberapa hal yang perlu dikembangkan lebih mendalam kedepannya, seperti penggunaan data yang setara antara data digital dan data fisis. Data setara yang dimaksud merupakan data digital yang memiliki parameter sama dengan data fisis yaitu penggunaan parameter baterai lithium. Hal tersebut penting untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan tepat dalam merepresentasikan sistem *digital twin* yang dibuat.

## REFERENSI

- [1] F. A. Perdana, "BATERAI LITHIUM," *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, vol. 9, pp. 103-109, 2020.
- [2] H. N. A, "Pemodelan Dan Analisis Baterai Lithium Ion 3, 2V LiFePO4 Single Cells," *Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya*, 2018.
- [3] S. "A. Digital Twin Design, Simulation, and Analytics for Scaling Up Electric Vehicle Battery Production Using Robots".
- [4] W. Wang, J. Wang, J. Tian, J. Lu and R. Xiong, "Application of digital twin in smart battery management systems. Chinese Journal of Mechanical Engineering," pp. 1-19, 2021.
- [5] S. Shevira, Suarjaya and B. P, "Pengaruh Kombinasi dan Urutan Pre-Processing pada Tweets Bahasa Indonesia," *ITTER-Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer*, 2022.
- [6] U. Azmi, Z. N. Had and . S. Soraya, "ARDL METHOD: Forecasting Data Jumlah Hari Terjadinya," vol. 3, pp. 73-82, 2020.
- [7] M. M. and S. I, "Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (ZST)," *Doctoral dissertation, Riau University*, 2014.
- [8] N. I and R. I, "Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut.," *Journal of Information System*, pp. 250-255, 2020.
- [9] R. Z, "Estimasi State of Charge (SOC) pada Baterai Lead-Acid dengan Menggunakan Metode Coulomb Counting pada PV Hybrid," *Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2018.
- [10] F. A. F and A. D. A, "Desain Sistem Monitoring State Of Charge Baterai Pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature," *Jurnal Teknik ITS*, 2018.