

SKRIPSI

**KAJIAN PENGARUH *PREVENTIVE MAINTENANCE*
PADA AHU TERHADAP BIAYA PERAWATAN DAN
KONSUMSI ENERGI DI BANDARA I GUSTI
NGURAH RAI**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I MADE PARI ADNYANA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

SKRIPSI

**KAJIAN PENGARUH *PREVENTIVE MAINTENANCE*
PADA AHU TERHADAP BIAYA PERAWATAN DAN
KONSUMSI ENERGI DI BANDARA I GUSTI
NGURAH RAI**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I MADE PARI ADNYANA
NIM.2415264011

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Sistem AHU merupakan komponen penting dalam menjaga kenyamanan termal dan kualitas udara di Bandara I Gusti Ngurah Rai. Namun, pada periode 2020–2022, pelaksanaan *preventive maintenance* (PM) tidak berjalan optimal akibat pandemi COVID-19 sehingga menurunkan kinerja AHU dan meningkatkan risiko kerusakan komponen. Kondisi tersebut berdampak pada tingginya konsumsi energi dan biaya perawatan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas *preventive maintenance* terhadap konsumsi energi dan biaya perawatan pada AHU di terminal Internasional Bandara I Gusti Ngurah Rai. Objek penelitian adalah AHU berkapasitas 70,53 TR dengan motor 18,5 kW. Data yang digunakan meliputi catatan perawatan, laporan kerusakan, serta hasil pengukuran arus dan tegangan dari tahun 2020 hingga 2025. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan *preventive maintenance* secara konsisten.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi tahunan menurun dari 120.428,9 kWh pada 2022 menjadi 89.870,1 kWh pada 2025 atau sekitar 25,4%. Biaya perawatan juga berkurang dari Rp171.306.698 pada 2023 menjadi Rp114.811.401 pada 2025 atau turun sekitar 32,9%.

Dapat disimpulkan bahwa *preventive maintenance* yang dilaksanakan secara teratur terbukti mampu meningkatkan efisiensi energi, menekan biaya operasional, serta memperpanjang umur komponen AHU.

Kata kunci: AHU, *preventive maintenance*, konsumsi energi, biaya perawatan, efisiensi operasional.

STUDY OF THE EFFECT OF PREVENTIVE MAINTENANCE ON AHU ON MAINTENANCE COSTS AND ENERGY CONSUMPTION AT I GUSTI NGURAH RAI AIRPORT

ABSTRACT

The Air Handling Unit (AHU) is a critical component in maintaining thermal comfort and indoor air quality at I Gusti Ngurah Rai International Airport. However, during 2020–2022, preventive maintenance (PM) was not carried out effectively due to the COVID-19 pandemic, leading to decreased AHU performance and increased risk of component failures. This condition resulted in higher energy consumption and maintenance costs.

This study aims to analyze the effectiveness of preventive maintenance on energy consumption and maintenance costs of AHU units at the international terminal of I Gusti Ngurah Rai Airport. The research object is an AHU with a cooling capacity of 70.53 TR and an 18.5 kW motor. Data collected include maintenance records, failure reports, and current–voltage measurements from 2020 to 2025. The analysis was conducted by comparing conditions before and after the consistent implementation of preventive maintenance.

The results show that annual energy consumption decreased from 120,428.9 kWh in 2022 to 89,870.1 kWh in 2025, representing a reduction of about 25.4%. Maintenance costs also declined from IDR 171,306,698 in 2023 to IDR 114,811,401 in 2025, or approximately 32.9%.

It can be concluded that consistently implemented preventive maintenance improves energy efficiency, reduces operational costs, and extends the service life of AHU components.

Keywords: AHU, preventive maintenance, energy consumption, maintenance cost, operational efficiency.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Batasan masalah	3
1.4 Tujuan penelitian	3
1.4.1 Tujuan umum	3
1.4.2 Tujuan khusus	4
1.5 Manfaat penelitian	4
1.5.1 Manfaat bagi penulis.....	4
1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali.....	4
1.5.3 Manfaat bagi masyarakat.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Konsep pemeliharaan.....	5
2.1.1 Fungsi pemeliharaan	5
2.1.2 Jenis pemeliharaan (<i>Maintenance</i>)	5
2.1.3 Tujuan pemeliharaan.....	6
2.2 Sistem AHU	7

2.2.1 Fungsi utama AHU	7
2.2.2 Komponen-komponen utama AHU	8
2.2.3 Manfaat AHU	15
2.2.4 Pengaplikasian AHU	16
2.3 Biaya perawatan.....	16
2.4 Konsumsi energi dan daya pada AHU.....	17
2.5 Tegangan	18
2.6 Arus/amper	18
2.7 Ke-efektifan <i>preventive maintenance</i>	19
2.7.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi energi AHU.....	19
2.7.2 Cara meningkatkan efisiensi energi AHU	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Jenis penelitian	21
3.2 Alur Penelitian.....	22
3.3 Lokasi dan waktu penelitian	23
3.4 Penentuan sumber data	23
3.5 Sumber daya penelitian.....	24
3.6 Instrumen Penelitian	28
3.7 Prosedur penelitian	29
BAB IV PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil penelitian	31
4.1.1 Pelaksanaan pengujian	32
4.1.2 Perhitungan.....	39
4.1.3 Pembahasan.....	41
4.2 Analisis	46
BAB V PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel waktu penelitian	23
Tabel 3. 2 Tabel Pengujian AHU	29
Tabel 4. 1 Data amper (A) dan tegangan (V) tahun 2020	32
Tabel 4. 2 Data amper (A) dan tegangan (V) tahun 2021	33
Tabel 4. 3 Data amper (A) dan tegangan (V) tahun 2022	33
Tabel 4. 4 Data amper (A) dan tegangan (V) tahun 2023	35
Tabel 4. 5 Data amper (A) dan tegangan (V) tahun 2024	37
Tabel 4. 6 Data amper (A) dan tegangan (V) tahun 2025	39
Tabel 4. 7 Tabel pengujian AHU dengan jam operasi berbeda	42
Tabel 4. 8 Tabel pengujian AHU dengan jam operasi sama	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem <i>AHU</i>	7
Gambar 2. 2 Motor listrik.....	8
Gambar 2. 3 Filter	8
Gambar 2. 4 <i>Cooling coil</i> dan <i>heating coil</i>	9
Gambar 2. 5 <i>Humidifier dehumidifier</i>	9
Gambar 2. 6 <i>Fan</i> atau <i>blower</i>	10
Gambar 2. 7 <i>Dumper</i>	10
Gambar 2. 8 <i>Drain pan</i>	11
Gambar 2. 9 Peredam suara	11
Gambar 2. 10 Sensor	12
Gambar 2. 11 <i>Vibration isolator</i>	12
Gambar 2. 12 <i>Access door</i>	13
Gambar 2. 13 <i>Termostat</i>	13
Gambar 2. 14 <i>Pressure water gauge</i>	14
Gambar 2. 15 <i>Water temperature gauge</i>	14
Gambar 2. 16 <i>Control unit</i>	15
Gambar 2. 17 <i>Mixing box AHU</i>	15
Gambar 2. 18 Panel AHU 1-2	18
Gambar 3. 2 Alur penelitian.....	22
Gambar 3. 3 Riwayat pemeriksaan dan penggantian komponen AHU	24
Gambar 3. 4 Peforma cek AHU	25
Gambar 3. 5 Catatan laporan kerusakan	26
Gambar 3. 6 Nameplate AHU 1-2.....	27
Gambar 4. 1 AHU 1-2	31
Gambar 4. 2 Data riwayat perawatan dan perbaikan AHU tahun 2023.....	34
Gambar 4. 3 Data riwayat perawatan dan perbaikan AHU tahun 2024.....	36
Gambar 4. 4 Data riwayat perawatan dan perbaikan AHU tahun 2025.....	38
Gambar 4. 5 Grafik pengujian AHU dengan jam operasi berbeda	43

Gambar 4. 6 Grafik pengujian AHU dengan jam operasi sama.....	45
---	----

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Laporan riwayat hasil pemeriksaan AHU tahun 2023
- Lampiran 2 : Laporan riwayat hasil pemeriksaan AHU tahun 2024
- Lampiran 3 : Laporan riwayat hasil pemeriksaan AHU tahun 2025
- Lampiran 4 : Peforma cek AHU tahun 2020
- Lampiran 5 : Peforma cek AHU tahun 2021
- Lampiran 6 : Peforma cek AHU tahun 2022
- Lampiran 7 : Peforma cek AHU tahun 2023
- Lampiran 8 : Peforma cek AHU tahun 2024
- Lampiran 9 : Peforma cek AHU tahun 2025
- Lampiran 10 : Laporan kerusakan AHU tahun 2023
- Lampiran 11 : Laporan kerusakan AHU tahun 2024
- Lampiran 12 : Laporan kerusakan AHU tahun 2025

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Menurut (Sitinjak dan Silalahi, 2023) *preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dengan tujuan memperpanjang umur pakai dan mengurangi risiko *downtime* yang dilakukan secara terencana dan terjadwal untuk mencegah kerusakan atau kegagalan pada peralatan atau mesin. Lebih rinci, *preventive maintenance* meliputi : Pemeliharaan Rutin yaitu dengan melakukan inspeksi, pembersihan, pelumasan, penyetelan, dan penggantian komponen secara berkala sesuai jadwal yang telah ditentukan. Pencegahan kerusakan yaitu tindakan proaktif untuk mendeteksi dan mengatasi potensi masalah sebelum menyebabkan kerusakan serius. Manfaat Jangka Panjang yaitu memperpanjang umur peralatan, meningkatkan fungsi alat, mengurangi biaya perbaikan, dan menjaga kelancaran operasional. Menurut (ASHRAE, 2016) salah satu sistem dari HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) yaitu AHU (*AHU*) adalah sistem yang bertugas untuk mengatur temperatur, kelembapan, dan kualitas udara dalam suatu ruangan.

Pada bangunan dengan tingkat aktivitas tinggi seperti Bandara, kinerja AHU menjadi faktor krusial dalam menjaga kenyamanan dan kehandalan operasional. Kinerja AHU yang optimal tidak hanya menentukan kualitas udara dalam ruangan, akan tetapi berdampak juga secara signifikan terhadap konsumsi energi yang digunakan (Rahman et al., 2021). AHU yang tidak dirawat secara berkala (*preventive maintenance*) dapat menyebabkan penurunan kinerja sistem, meningkatnya beban kerja, dan lonjakan penggunaan konsumsi energi. Strategi pemeliharaan yang tepat akan memberikan kinerja sistem yang tepat guna dan menghasilkan sistem tetap bekerja secara optimal (Lee et al., 2020). Bandara I Gusti Ngurah Rai merupakan salah satu Bandara tersibuk di Indonesia, maka dari itu tantangan yang utama adalah memberi kenyamanan pada penumpang, terutama pada pengkondisian udara. Tingginya aktivitas lalu lintas penumpang

menyebabkan tata udara di terminal harus mampu bekerja secara konsisten (Yuliana et al., 2022).

Kinerja dari sistem AHU sangat dipengaruhi oleh kegiatan pemeliharaan yang dilakukan. Pemeliharaan yang dilakukan secara baik dan benar serta didukung dengan SOP yang tepat maka akan memberikan kinerja yang optimal pada unit AHU. Konsumsi energi yang digunakan juga akan berpengaruh, jika perawatan dilakukan secara berkala maka sistem akan bekerja secara baik dan energi yang digunakan akan menjadi efisien. Pada tahun 2019 dunia mengalami penyebaran virus corona dimana seluruh sistem penerbangan tidak beroperasi, tepatnya pada maret 2020 Bandara I Gusti Ngurah Rai mengalami penurunan aktivitas sehingga peralatan HVAC tidak digunakan secara terus menerus dengan tujuan untuk menurunkan biaya produksi (Prasetyo & Lestari, 2021). *Preventive maintenance* pun dilakukan secara tidak efektif, maka dari itu beberapa komponen dari sistem AHU mengalami penurunan kinerja. Pada tahun 2023 ketika virus Corona sudah hilang maka perawatan rutin pada sistem AHU mulai dilakukan. Ketika teknisi melakukan perawatan, unit AHU mengalami penumpukan kotoran yang sangat tebal bahkan beberapa unit koil AHU tidak bisa dibersihkan. Catatan kerusakan koil tahun 2024 sebanyak 43 unit di terminal *Internasional*, faktor penyebab terbesar yaitu akibat tidak berjalannya *preventive maintenance* secara optimal.

Seiring berjalannya waktu dari 2023 ke 2025 banyak fasilitas HVAC mengalami penggantian komponen seperti *bearing*, *v-belt*, motor *short*, kabel kopong, dan bodi AHU rusak. Salah satu faktor kerusakan tersebut akibat tidak efektifnya *preventive maintenance* pada sistem HVAC dari tahun 2020 sampai 2023. Berdasarkan uraian tersebut, maka penting dilakukan kajian pengaruh *preventive maintenance* pada AHU terhadap biaya perawatan dan konsumsi energi di Bandara I Gusti Ngurah Rai. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai seberapa besar dampak *preventive maintenance* terhadap kinerja sistem AHU dan bisa memberikan perbaikan berkelanjutan dalam pengelolaan fasilitas di Bandara I Gusti Ngurah Rai.

1.2 Rumusan masalah :

Penulis merumuskan beberapa masalah yang akan di uraikan pada bab berikutnya yang disimpulkan melalui latar belakang diatas yaitu :

1. Bagaimana pengaruh *preventive maintenance* pada AHU terhadap biaya perawatan di Bandara I Gusti Ngurah Rai?
2. Bagaimana pengaruh *preventive maintenance* pada AHU terhadap konsumsi energi yang digunakan di Bandara I Gusti Ngurah Rai?

1.3 Batasan masalah :

Penelitian skripsi ini agar tidak terlalu luas dan jauh dari topik yang telah di tentukan maka penulis membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Analisa di lakukan di Bandara I Gusti Ngurah Rai.
2. Analisa di lakukan pada unit AHU (*Air handling unit*) di Bandara I Gusti Ngurah Rai.
3. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja unit AHU dalam menjaga biaya perawatan dan konsumsi energi di Bandara I Gusti Ngurah Rai.

1.4 Tujuan penelitian

Adapun tujuan penelitian yang diangkat, dibagi menjadi tujuan umum dan tujuan khusus yaitu:

1.4.1 Tujuan umum

1. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.
2. Meningkatkan kemampuan akademis serta mengimplementasikan teori dan praktik yang telah diperoleh selama mengikuti perkuliahan di Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan khusus

1. Dapat menentukan pengaruh *preventive maintenance* pada AHU dalam menjaga biaya perawatan di Bandara I Gusti Ngurah Rai.
2. Dapat menentukan pengaruh *preventive maintenance* pada AHU terhadap konsumsi energi yang digunakan di Bandara I Gusti Ngurah Rai.

1.5 Manfaat penelitian

1.5.1 Manfaat bagi penulis

1. Dapat mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama mengikuti perkuliahan di Politeknik Negeri Bali menjadi suatu hasil karya ilmiah yang dapat bermanfaat bagi pembaca.
2. Melatih kemampuan dalam menganalisa suatu permasalahan dalam bidang ilmu khususnya teknik mesin.

1.5.2 Manfaat bagi Politeknik Negeri Bali

1. Menambah perbendaharaan koleksi buku di perpustakaan Politeknik Negeri Bali, di mana Buku skripsi yang dibuat juga dikumpulkan di perpustakaan Politeknik Negeri Bali sehingga dapat dipergunakan sebagai acuan bagi Politeknik Negeri Bali terutama Jurusan Teknik Mesin.
2. Dapat mempublikasikan hasil penelitian penulis, sehingga Politeknik Negeri Bali semakin dikenal.

1.5.3 Manfaat bagi masyarakat

Hasil dari pembuatan skripsi ini diharapkan dapat membantu pihak terkait dalam menjadwalkan suatu perawatan terhadap AHU di Bandara I Gusti Ngurah Rai untuk mendinginkan suatu ruangan agar dapat memberikan kenyamanan untuk penumpang serta dapat menurunkan biaya perawatan dan konsumsi energi listrik. Jika keandalan oprasional terjaga di Bandara I Gusti Ngurah Rai maka akan berdampak terhadap sektor pariwisata dan pertumbuhan ekonomi akan lebih baik sehingga masyarakat akan menjadi sejahtera.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap efektivitas *preventive maintenance* pada AHU di Bandara I Gusti Ngurah Rai, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Preventive maintenance* juga berhasil menekan biaya perawatan tahunan secara signifikan. Total biaya perawatan paling tinggi pada tahun 2023 sebesar Rp. 171.306.698 menurun menjadi Rp. 114.811.401 pada tahun 2025, menunjukkan penurunan biaya yang signifikan
2. *Preventive maintenance* yang dilakukan secara rutin dan efektif terbukti dapat menurunkan konsumsi energi AHU. Pada tahun 2022 konsumsi energi sebesar 120.428,9 kWh/tahun karena kurang efektifnya perawatan pada tahun 2020 ke 2022, kemudian menurun menjadi 89.870,1 kWh/tahun di tahun 2025.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang penulis berikan untuk menjadi bahan evaluasi kedepannya terkait kegiatan *preventive maintenance* agar suatu peralatan dapat beroperasi secara optimal dan biaya perawatan serta konsumsi energi dapat di kontrol dengan baik, berikut beberapa saran-sarannya :

1. Pihak pengelola fasilitas Bandara I Gusti Ngurah Rai disarankan untuk terus menjalankan *preventive maintenance* secara konsisten, karena terbukti berdampak positif terhadap efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional.
2. Monitoring kondisi AHU sebaiknya dilakukan secara digital dan terintegrasi, agar aktivitas perawatan bisa lebih terstruktur dan kerusakan dapat diantisipasi sejak dini.

3. Sebaiknya dilakukan pelatihan teknisi secara berkala, agar pelaksanaan *preventive maintenance* dilakukan sesuai standar dan mampu mengidentifikasi potensi kerusakan sejak awal.
4. Kompetensi dari pelaksana perawatan harus disesuaikan dengan SOP yang ada, ketika perawatan tidak sesuai prosedur hal tersebut akan merusak komponen dari sistem AHU, maka diperlukan pelatihan sebelum pekerja melakukan perawatan pada unit AHU.
5. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas objek *AHU* di area lain, serta mempertimbangkan faktor kelembapan dan suhu udara sebagai tambahan parameter efisiensi sistem HVAC.

DAFTAR PUSTAKA

- Amina, R. & Susanti, D. (2018). *Manajemen Pemeliharaan Peralatan Industri*. Jakarta : Andi
- ASHRAE (2016) *HVAC Systems and Equipment*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Lee, Y., Kim, J. and Park, H. (2020) 'Performance improvement of HVAC systems through predictive maintenance using sensor data', *Energy and Buildings*, 223, pp. 110096. doi:10.1016/j.enbuild.2020.110096.
- Prasetyo, A. and Lestari, I. (2021) 'Dampak Pandemi COVID-19 terhadap Operasional Bandara dan Sistem HVAC', *Jurnal Teknik dan Lingkungan*, 13(2), pp. 135–144.
- Rahman, A., Setiawan, R. and Wijaya, H. (2021) 'Analisis Efisiensi Energi pada Sistem AHU di Gedung Komersial', *Jurnal Energi dan Sistem Termal*, 9(1), pp. 45–52.
- Sitinjak, A. and Silalahi, D. (2023) *Manajemen Pemeliharaan Mesin Industri*. Jakarta: Prenada Media.
- Yuliana, R., Sari, D.P. and Nugroho, H. (2022) 'Analisis Kinerja Sistem Tata Udara pada Terminal Bandara Internasional', *Jurnal Teknologi Bangunan*, 8(1), pp. 21–30.
- Amrina, E. dan Susanti, E. (2018) 'Analisis efektivitas *preventive maintenance* pada mesin produksi dengan pendekatan Overall Equipment Effectiveness (OEE)', *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 17(2), pp. 145–153.
- Budiyanto, E. (2015) *Manajemen Pemeliharaan Mesin*. Yogyakarta: Deepublish.
- Daryus, A. (2016) *Manajemen Pemeliharaan Mesin*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Fitri, R. dan Nasution, M.K.M. (2019) 'Analisa biaya pemeliharaan mesin berdasarkan metode Life Cycle Cost (LCC)', *Jurnal Teknik Industri*, 21(1), pp. 11–20.
- Hidayat, A., Nurdiansyah, F. dan Wibowo, A. (2020) 'Penerapan *preventive maintenance* untuk meminimalkan downtime mesin produksi', *Jurnal Teknik Mesin Unpas*, 8(2), pp. 78–86.
- Kurniawan, A. dan Sitorus, D. (2021) 'Pengaruh perawatan mesin terhadap efisiensi energi sistem HVAC di gedung perkantoran', *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 10(1), pp. 45–52.
- Prasetyo, A.W. dan Maulana, M.F. (2020) 'Pengukuran efektivitas pemeliharaan preventif menggunakan metode MTBF dan MTTR pada mesin produksi', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(2), pp. 103–110.
- Purwanto, A. (2018). *Dasar-dasar Teknik Listrik*. Yogyakarta : Andi

- Putra, I.G.N.P. dan Laksana, I.K.D. (2022) 'Evaluasi sistem AHU terhadap konsumsi energi pada bangunan komersial', *Jurnal Teknik Mesin Udayana*, 21(1), pp. 35–42.
- Sitinjak, R. dan Silalahi, B. (2023) *Manajemen Perawatan Terencana*. Bandung: Penerbit Rekayasa Sains.
- Sunaryo, A. (2017) *Sistem Tata Udara dan Pendingin*. Jakarta : PT Pradnya Paramita
- Yuliana, A. dan Hapsari, D. (2017) 'Analisa sistem AHU terhadap kualitas udara dan kenyamanan termal pada gedung perkantoran', *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 12(1), pp. 67–74.