



Analisis Efisiensi Energi dan Konservasi Energi Sistem Pendingin Ruangan Berdasarkan UI Greenmetric, Studi Kasus Fakultas Teknik Universitas Udayana

Ranga Bayu Natapathy, I Nyoman Satya Kumara, I. A. Dwi Giriantari

Universitas Udayana, Indonesia

Email: bayunatapathy10@gmail.com, satya.kumara@unud.ac.id, dayu.giriantari@unud.ac.id

ABSTRAK

Partisipasi perguruan tinggi dalam pengembangan Green Building diwujudkan melalui penerapan program Green Campus. UI GreenMetric merupakan salah satu acuan pemeringkatan internasional yang mengevaluasi komitmen keberlanjutan kampus, termasuk dalam aspek efisiensi energi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi dan konservasi energi sistem pendingin ruangan berdasarkan indikator Penggunaan Peralatan Hemat Energi (EC1) UI GreenMetric di Fakultas Teknik Universitas Udayana. Metode penelitian diawali dengan audit energi untuk memetakan kondisi eksisting 347 unit AC, dilanjutkan dengan analisis konsumsi energi, simulasi penghematan melalui pergantian AC inverter, dan analisis kelayakan investasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendingin ruangan eksisting mengkonsumsi energi sebesar 3.899,87 kWh/hari dengan biaya operasional Rp 3.509.883/hari. Rekomendasi pergantian AC inverter dapat mengurangi konsumsi energi sebesar 1.474,08 kWh/hari (38%) dengan penghematan biaya Rp 1.326.672/hari. Analisis ekonomi menunjukkan diperlukan investasi sebesar Rp 2.542.450.000 dengan payback period 7,2 tahun. Penelitian ini menyimpulkan bahwa implementasi efisiensi energi sistem pendingin ruangan tidak hanya mendukung pencapaian indikator UI GreenMetric tetapi juga layak secara ekonomi dalam jangka menengah.

Kata kunci: *Green Building, Green Campus, UI GreenMetric, Pendingin Ruangan, Efisiensi, Konservasi, Payback period.*

ABSTRACT

University participation in Green Building development is realized through the implementation of Green Campus programs. UI GreenMetric serves as an international ranking reference that evaluates campus sustainability commitments, including energy efficiency aspects. This research aims to analyze energy efficiency and conservation of air conditioning systems based on the Energy-Efficient Equipment Usage indicator (EC1) of UI GreenMetric at the Faculty of Engineering, Udayana University. The research method begins with an energy audit to map the existing conditions of 347 AC units, followed by energy consumption analysis, savings simulation through inverter AC replacement, and investment feasibility analysis. The results show that the existing air conditioning system consumes 3,899.87 kWh/day with an operational cost of Rp 3,509,883/day. The recommendation for inverter AC replacement can reduce energy consumption by 1,474.08 kWh/day (38%) with cost savings of Rp 1,326,672/day. Economic analysis indicates an required investment of Rp 2,542,450,000 with a payback period of 7.2 years. This research concludes that the implementation of energy efficiency in air conditioning systems not only supports the achievement of UI GreenMetric indicators but is also economically feasible in the medium term.

Keywords: *Green Building, Green Campus, UI GreenMetric, Air Conditioning, Efficiency, Conservation, Payback period.*

PENDAHULUAN

Bangunan Hijau (*Green Building*) merupakan konsep bangunan yang desain, konstruksi dan operasionalnya memperhatikan aspek lingkungan, kesehatan serta kenyamanan. Konsep ini menuntut suatu bangunan untuk mengurangi dampaknya pada lingkungan terbangun melalui efisiensi dalam penggunaan energi, air dan sumber daya lainnya (Allen et

al., 2015; Cao et al., 2022; Fan & Xia, 2018; Lu et al., 2017; Rathnasiri et al., 2021; Valencia et al., 2022).

Pengembangan *Green Building* di Indonesia telah ditetapkan melalui Peraturan Menteri PUPR No. 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Hijau (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 21/2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau, 2021), dan untuk tingkat regional yaitu Peraturan Gubernur Bali No. 45 Tahun 2019 tentang Bali Energi Bersih (Peraturan Gubernur Bali No. 45/2019 tentang Bali Energi Bersih, 2019).

Perguruan tinggi sebagai salah satu institusi yang memiliki peran penting sebagai katalisator pembangunan berkelanjutan diharapkan mampu menjadi contoh penerapan peraturan pengembangan *Green Building*. Bentuk partisipasi perguruan tinggi dalam pengembangan *Green Building* adalah dengan menerapkan program Kampus Hijau (*Green Campus*) (Choi et al., 2017; Muhiddin et al., 2023; Safarkhani & Örnek, 2022; Tiyyarattanachai & Hollmann, 2016). Salah satu lembaga internasional yang berperan dalam upaya penerapan kampus hijau adalah UI *GreenMetric*.

UI *GreenMetric* adalah sebuah pemeringkatan Universitas di dunia yang bertujuan untuk mengetahui usaha berkelanjutan kampus dengan mengadakan survei *online* mengenai kondisi terkini, program dan kebijakan berkelanjutan pada Universitas di seluruh dunia. Terdapat enam kategori penilaian, yaitu: Penataan dan Infrastruktur (SI), Energi dan Perubahan Iklim (EC), Limbah (WS), Air (WR), Transportasi (TR) serta Pendidikan dan Penelitian (ED) (Atici et al., 2021; Binta & Maulana, 2021; Fatriansyah et al., 2021; Lourrinx et al., 2019; Maçin et al., 2020; Suwartha & Sari, 2013).

Penelitian terdahulu yang relevan dengan studi ini antara lain penelitian Thahir & Ambo (2017) tentang audit energi listrik di ritel modern (Thahir & Ambo, 2017), Putra dkk. (2015) tentang konservasi energi pada gedung hijau (Putra et al., 2015), serta Sinaga (2017) yang menganalisis penggunaan energi listrik pada sistem pendingin ruangan (Sinaga, 2017). Namun, penelitian-penelitian tersebut masih bersifat umum dan belum secara spesifik mengintegrasikan dengan standar UI *GreenMetric*. Gap penelitian teridentifikasi dari belum adanya kajian komprehensif yang menghubungkan implementasi efisiensi energi sistem pendingin ruangan dengan indikator penilaian UI *GreenMetric*, khususnya pada kategori Energi dan Perubahan Iklim (EC1) di lingkungan perguruan tinggi. Selain itu, analisis kelayakan ekonomi melalui perhitungan payback period dalam konteks penerapan green campus juga masih terbatas. Novelty penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang menggabungkan aspek teknis efisiensi energi sistem pendingin ruangan dengan framework penilaian UI *GreenMetric*, serta analisis ekonomi investasi penggantian peralatan. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi kondisi eksisting tetapi juga memberikan rekomendasi implementatif yang terukur dengan perhitungan payback period yang komprehensif.

Fakultas Teknik Universitas Udayana ikut berkontribusi dalam program pembangunan berkelanjutan sebagai bentuk partisipasi penerapan pengembangan *Green Building*. Kategori penilaian yang sesuai dengan bidang di Fakultas Teknik khususnya Teknik Elektro adalah kategori Energi dan Perubahan Iklim (EC) dimana salah satu indikator yang dinilai yaitu Penggunaan Peralatan Hemat Energi (EC1).

Penelitian ini akan membahas upaya efisiensi, konservasi energi pada sistem pendingin ruangan di Fakultas Teknik Universitas Udayana. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan gambaran tentang upaya efisiensi dan konservasi energi untuk mewujudkan konsep *Green Building*

METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan teknik analisis deskriptif dan komparatif untuk mengevaluasi efisiensi energi sistem pendingin ruangan berdasarkan standar UI GreenMetric. Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Udayana Jimbaran. Pelaksanaan penelitian ini akan dimulai dari bulan November 2022 hingga April 2023.

Data Yang dapat dianalisis secara deskriptif dengan urutan sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur dengan mengumpulkan referensi berupa paper atau jurnal serta informasi lainnya terkait dengan masing-masing fokus penelitian.
2. Pengumpulan data-data penelitian di Fakultas Teknik Universitas Udayana.
3. Menghitung konsumsi energi sistem, pendingin ruangan lama atau yang terpasang saat ini.
4. Mengklasifikasikan jenis peralatan sistem pendingin ruangan tergolong hemat energi atau konvensional berdasarkan *nameplate* dan *datasheetnya* serta teknologi pengoprasian yang digunakan.
5. Merekomendasikan sistem pendingin ruangan yang sebaiknya digunakan agar lebih hemat energi, meliputi jenis peralatan dan teknologi pengoprasiaannya.
6. Menghitung konsumsi energi sistem pendingin ruangan dan baru yang telah direkomendasikan.
7. Membandingkan konsumsi energi antara sistem lama dengan sistem yang direkomendasikan.
8. Analisa investasi pergantian sistem pendingin ruangan sesuai yang direkomendasikan.
9. Merekomendasikan pergantian sistem berdasarkan hasil perhitungan dan analisa investasi.
10. Menarik kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendataan sistem pendingin ruangan eksisting di Fakultas Teknik Jimbaran telah dilakukan pada bulan November 2021 dan data diperbarui kembali pada bulan Mei 2023, Pendataan dilakukan dengan mengamati secara langsung jumlah, jenis dan sistem pengoprasian AC serta melakukan wawancara dengan staf sarana prasarana di program studi.

Kondisi Eksisting

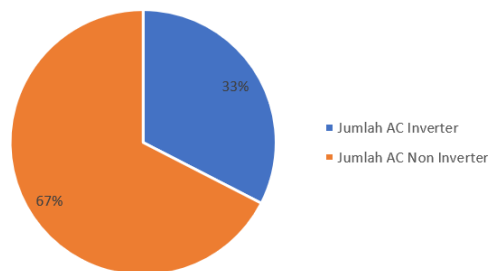
Berikut pada Tabel 1 adalah data eksisting peralatan sistem pendingin ruangan.

Tabel 1. Data Eksisting Sistem Pendingin Ruangan Fakultas Teknik

No	Program Studi / Gedung	Jumlah AC Inverter	Jumlah AC Non Inverter	Jumlah AC Keseluruhan
1	Arsitektur	2	23	25
2	Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan	7	54	61
3	Teknik Elektro	5	45	50
4	Teknik Mesin	5	35	40

No	Program Studi / Gedung	Jumlah AC Inverter	Jumlah AC Non Inverter	Jumlah AC Keseluruhan
5	Teknologi Informasi	1	37	38
6	Teknik Industri	1	11	12
7	Dekanat & Auditorium Undagi Graha	5	29	34
8	Lab ARL	87	0	87
TOTAL		113	234	347

Sumber: Data primer hasil inventarisasi lapangan, 2023



Gambar 1. Pie Chart persentase AC Inverter dan Non Inverter Di Fakultas Teknik

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, jumlah total AC terpasang sebanyak 347 unit, 33% AC yang menggunakan teknologi Inverter, 67% sisanya masih Non-Inverter. Berikut ini adalah rekap suhu ruangan hasil wawancara pada masing – masing program studi.

Tabel 2. Rekap Suhu Ruangan pada masing - masing Program Studi

No	Gedung / Program Studi	Suhu Ruangan
1	Arsitektur	16°C
2	Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan	20°C
3	Teknik Elektro	24°C
4	Teknik Mesin	16°C
5	Teknik Industri	20°C
6	Teknologi Informasi	20°C
7	Dekanat	20°C

Sumber: Data primer hasil wawancara dan pengukuran lapangan, 2023

Rekomendasi Penghematan Energi Pada Sistem Pendingin Ruangan

1. Mengatur Suhu Ruangan

Dengan mengatur suhu ruangan sesuai standar dapat meringankan kinerja kompresor. Semakin rendah suhu AC, maka semakin berat kinerja kompresor sehingga konsumsi energinya pun akan semakin besar. Standar suhu ruangan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu 24°C - 27°C (Standar Nasional Indonesia 6390/2011 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung, 2011).

2. Menggunakan AC yang Sudah Berlabel Hemat Energi dan Inverter

Pemerintah Indonesia telah menerapkan Standar Kinerja Energi Minimum (SKEM) dan pencantuman label tanda hemat energi untuk AC. SKEM adalah spesifikasi yang memuat sejumlah persyaratan kinerja energi minimum pada kondisi tertentu yang secara efektif dimaksudkan untuk membatasi jumlah konsumsi energi maksimum dari produk pemanfaat

energi yang diizinkan. Label tanda hemat energi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 adalah label yang menyatakan produk tersebut telah memenuhi syarat hemat energi tertentu (Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 07/2015 tentang Penerapan Standar Kinerja Energi Minimum dan Pencatuman Label Tanda Hemat Energi Untuk Piranti Pengkondisi Udara, 2015).



Gambar 2. Label Tanda Hemat Energi

Sumber: Kementerian ESDM, 2023

AC yang menggunakan teknologi inverter dapat menghemat penggunaan energi listrik hingga 50%. Perbedaan AC berteknologi inverter dengan AC konvensional terletak pada cara kerja kompresor nya. Kompresor pada inverter bekerja secara stabil dengan tidak adanya proses mati hidup jika suhu ruangan mulai panas. Meminimalisir kerja pendingin ruangan dengan suhu sesuai standar menjadi salah satu solusi dalam penghematan energi (Sinaga, 2017).

Konsumsi Energi Listrik

1. Konsumsi Energi Eksisting

Berikut merupakan hasil konsumsi energi eksisting dalam satu hari.

Tabel 3. Rekapitulasi Konsumsi Energi eksisting dalam 1 hari

No	Gedung / Program Studi	Jumlah	Energi Terpakai (kWh)
1	Arsitektur	25	354,08
2	Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan	61	516,26
3	Teknik Elektro	50	761,53
4	Teknik Mesin	40	516,95
5	Teknik Industri	12	180,90
6	Teknologi Informasi	31	463,46
7	Dekanat dan Auditorium Undagi Graha	34	441,66
8	Lab ARL	87	665,03
Total	253		3899,87

Sumber: Data diolah dari hasil perhitungan konsumsi energi, 2023

Dari Tabel 3. diatas dapat dilihat total konsumsi energi kondisi eksisting perharinya yaitu sebesar 3899,87 kWh. Konsumsi energi tertinggi berada pada Program Studi Teknik Elektro yaitu sebesar 761,53 kWh, sedangkan konsumsi energi terendah berada pada Progam Studi Teknik Industri yaitu sebesar 180,9 kWh.

Untuk mengetahui biaya penggunaan energi listrik dari sistem pendingin ruangan digunakan persamaan (4), dimana tarif dasar listrik untuk kapasitas daya 105 kVA dan 197 kVA golongan S-2 adalah sebesar Rp. 900/kWh (Tarif berdasarkan data PLN Mobile). Maka biaya penggunaan energi sistem pendingin ruangan eksisting adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Total Biaya Penggunaan Energi Eksisting

No	Gedung / Program Studi	Energi Terpakai (kWh)	Tarif Dasar Listrik	Total Biaya / Hari
1	Arsitektur	354,08	Rp 900	Rp 318.672
2	Teknik Sipil - Teknik Lingkungan	516,26	Rp 900	Rp 464.634
3	Teknik Elektro	761,53	Rp 900	Rp 685.377
4	Teknik Mesin	516,95	Rp 900	Rp 465.255
5	Teknik Industri	180,90	Rp 900	Rp 162.810
6	Teknologi Informasi	463,46	Rp 900	Rp 417.114
7	Dekanat dan Undagi Graha	441,66	Rp 900	Rp 397.494
8	Lab ARL	665,03	Rp 900	Rp 598.527
	Total	3.899,87	Rp 900	Rp 3.509.883

Sumber: Data diolah dari Tabel 3 dan tarif PLN, 2023

2. Konsumsi Energi Setelah Pergantian AC Inverter

Untuk menghitung konsumsi energinya selama jam operasional (8 jam) dimana selama 3 jam pertama penggunaan daya mencapai 120% dari daya nominal AC sedangkan selebihnya pada 5 jam berikutnya penggunaan daya berkurang dan akan stabil pada rata-rata sebesar 40% dari daya nominal (Suharto, 2016).

Tabel 5. Konsumsi Energi Setelah Pergantian AC Inverter dalam 1 hari

No	Building / Study Program	Quantity	Energy Consumption (kWh)
1	Architecture	25	181.19
2	Civil Engineering and Environmental Engineering	61	325.4
3	Electrical Engineering	50	385.95
4	Mechanical Engineering	40	278.11
5	Industrial Engineering	12	95.85
6	Information Technology	31	246.8
7	Deanery and Auditorium Undagi Graha	34	247.46
Total		253	1,760.46

Sumber: Data hasil simulasi konsumsi energi AC inverter, 2023

Tabel 6. Total biaya Penggunaan Energi Setelah Pergantian

No	Gedung / Program Studi	Energi Terpakai (kWh)	Tarif Dasar Listrik	Total Biaya / Hari
1	Arsitektur	181,19	Rp 900	Rp 163.071
2	Teknik Sipil - Teknik Lingkungan	325,4	Rp 900	Rp 292.860

3	Teknik Elektro	385,95	Rp 900	Rp 347.355
4	Teknik Mesin	278,11	Rp 900	Rp 250.299
5	Teknik Industri	95,85	Rp 900	Rp 86.265
6	Teknologi Informasi	246,8	Rp 900	Rp 222.120
7	Dekanat dan Undagi Graha	247,46	Rp 900	Rp 222.714
8	Lab ARL	665,03	Rp 900	Rp 598.527
	Total	2425,79		Rp 2.183.211

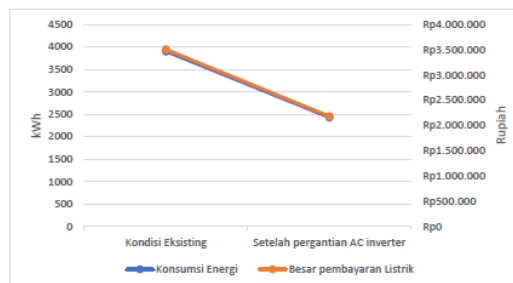
Sumber: Data diolah dari Tabel 5 dan tarif PLN, 2023

3. Perbandingan Konsumsi Energi

Tabel 7. Perbandingan Konsumsi Energi dan Biaya Perhari

Kondisi Eksisting	Setelah Pergantian AC Inverter
3899,87 kWh/hari	2425,79 kWh/hari
Rp 3.509.883	Rp 2.183.211

Sumber: Data komparatif hasil analisis, 2023



Gambar 3. Grafik Penghematan dalam 1 hari

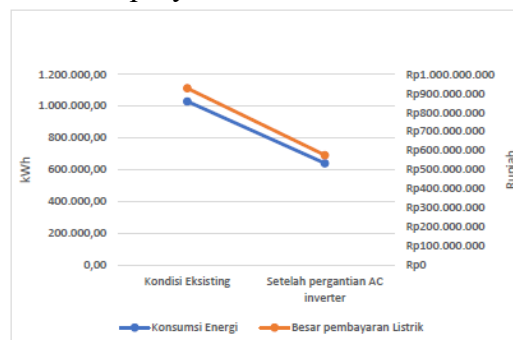
Sumber: Data diolah dari Tabel 7, 2023

Dapat dilihat pada gambar 3 terlihat grafik mengalami penurunan setelah pergantian AC inverter. Penghematan yang didapatkan dalam satu harinya yaitu sebesar 1.474,08 kWh/hari atau Rp. 1.326.672 perharinya.

Tabel 8. Perbandingan Konsumsi Energi dan Biaya Tahunan

Kondisi Eksisting	Setelah Pergantian AC Inverter
1.029.565,68 kWh/Tahun	640.408,56 kWh/Tahun
Rp 926.609.112	Rp 576.367.704

Sumber: Data proyeksi tahunan dari Tabel 7, 2023



Gambar 4. Grafik Penghematan dalam 1 Tahun

Sumber: Data diolah dari Tabel 8, 2023

Gambar 4 menunjukkan penghematan yang didapatkan pertahunnya yaitu sebesar 389.157,12 kWh/ tahun atau Rp. 350.241.408 pertahunnya.

Analisa Investasi

Analisa investasi sistem pendingin ruangan dilakukan untuk mengetahui berapa besar biaya investasi yang diperlukan dalam merealisasikan rekomendasi yang telah direncanakan, serta untuk mengetahui seberapa layak rekomendasi tersebut dilihat dari sisi ekonominya.

1. Analisis Biaya Investasi Awal

Biaya investasi dilakukan untuk mengetahui berapa besar investasi yang dikeluarkan untuk perbaikan atau penggantian suatu barang.

Tabel 9. Investasi Penggantian AC Inverter

Merk	Model	Kapasitas	Harga
Daikin	FTKC15TVM4	¾ PK	Rp 6.200.000
Daikin	FTKC25TVM4	1 PK	Rp 6.550.000
Daikin	FTKC35TVM4	1,5 PK	Rp 8.400.000
Daikin	FTKC50TVM4	2 PK	Rp 12.600.000
Daikin	FTKC60TVM4	2,5 PK	Rp 18.100.000

Sumber: Data survei harga pasar peralatan, 2023

Tabel 10. Total Investasi

No	Program Studi/Gedung	Investasi
1	Arsitektur	Rp 281.400.000
2	Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan	Rp 453.200.000
3	Teknik Elektro	Rp 527.350.000
4	Teknik Mesin	Rp 333.300.000
5	Teknologi Informasi	Rp 410.700.000
6	Teknik Industri	Rp 121.800.000
7	Dekanat & Auditorium Undagi Graha	Rp 414.700.000
	Total	Rp 2.542.450.000

Sumber: Data perhitungan investasi berdasarkan Tabel 9, 2023

Total investasi seluruh gedung pada Fakultas Teknik Universitas Udayana untuk penggantian AC inverter adalah sebesar Rp 2.542.450.000.

2. Payback Periode

Dengan Persamaan (6) maka dapat diperoleh *payback periode* investasi penggantian AC inverter, yaitu:

$$PP = \frac{Rp\ 2.542.450.000}{Rp\ 350.241.408} = 7,2 \text{ Tahun}$$

Dari hasil persamaan diatas maka biaya investasi untuk penggantian AC Kondisi eksisting dengan AC Inverter menyatakan bahwa pengembalian investasi terjadi 7,2 tahun penggantian AC Inverter sebagai pengganti AC eksisting.

KESIMPULAN

Sistem pendingin ruangan memiliki peluang efisiensi energi sebesar 1.474.08 kWh/hari atau 389.157 kWh/tahun setara Rp. 350.241.408/tahun. Persentase penghematan yang

didapatkan yaitu 38% lebih hemat energi. Penggunaan energi ini dihitung berdasarkan hasil asumsi, dimana kondisi keseluruhan peralatan dianggap dalam keadaan normal/baik dan jam operasional berdasarkan data hasil wawancara. Sehingga pola penggunaan keseluruhan peralatan menjadi sama setiap hari, bulan dan tahunnya. Biaya investasi awal pada sistem pendingin ruangan yaitu Rp 2.542.450.000. dan untuk *payback periode* pada sistem pendingin ruangan yaitu selama 7,2 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, J. G., MacNaughton, P., Laurent, J. G. C., Flanigan, S. S., Eitland, E. S., & Spengler, J. D. (2015). Green buildings and health. *Current Environmental Health Reports*, 2(3). <https://doi.org/10.1007/s40572-015-0063-y>
- Atici, K. B., Yasayacak, G., Yildiz, Y., & Ulucan, A. (2021). Green university and academic performance: An empirical study on UI GreenMetric and world university rankings. *Journal of Cleaner Production*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125289>
- Binta, I., & Maulana, D. (2021). Evaluasi penataan dan infrastruktur kampus hijau pada Politeknik Negeri Pontianak berdasarkan UI GreenMetric. *Gewang*, 3(1), 1–14.
- Cao, Y., Kamaruzzaman, S. N., & Aziz, N. M. (2022). Building information modeling (BIM) capabilities in the operation and maintenance phase of green buildings: A systematic review. *Buildings*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/buildings12060830>
- Choi, Y. J., Oh, M., Kang, J., & Lutzenhiser, L. (2017). Plans and living practices for the green campus of Portland State University. *Sustainability (Switzerland)*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/su9020252>
- Fan, Y., & Xia, X. (2018). Energy-efficiency building retrofit planning for green building compliance. *Building and Environment*, 136, 230–245. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.044>
- Fatriansyah, J. F., Abdillah, F. A., & Alfarizi, F. R. (2021). Green campus design for National Institute of Science and Technology: Implementing UI GreenMetric criteria to create environmentally friendly and sustainable campus. *International Journal of Technology*, 12(5). <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i5.5283>
- Lourinx, E., Hadiyanto, & Budihardjo, M. A. (2019). Implementation of UI GreenMetric at Diponegoro University in order to environmental sustainability efforts. *E3S Web of Conferences*, 125. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912502007>
- Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2017). Building information modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 83, 134–148. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.024>
- Maçin, K. E., Arıkan, O. A., & Demir, İ. (2020). The UI GreenMetric ranking system: Analyzing impacts of categories on overall results. *International Conference on Sustainable Development*, March.
- Muhiddin, A. A. M., Isa, H. M., Sakip, S. R. M., Nor, O. M., & Sedhu, D. S. (2023). Green campus implementation in the Malaysian public universities: Challenges and solutions. *Planning Malaysia*, 21(1). <https://doi.org/10.21837/pm.v21i25.1239>
- Rathnasiri, P., Jayasena, S., & Siriwardena, M. (2021). Assessing the applicability of green building information modelling for existing green buildings. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 15(6). <https://doi.org/10.18280/ijdne.150601>

- Safarkhani, M., & Örnek, M. A. (2022). The meaning of green campus in UI GreenMetric World University Rankings perspective. *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 19(2). <https://doi.org/10.5505/itujfa.2022.22566>
- Suharto. (2016). Analisis penghematan energi listrik pada Rumah Sakit Umum Daerah Dokter Soedarso Pontianak ditinjau dari desain instalasi. *Jurnal ELKHA*, 8, 13–19.
- Suwartha, N., & Sari, R. F. (2013). Evaluating UI GreenMetric as a tool to support green universities development: Assessment of the year 2011 ranking. *Journal of Cleaner Production*, 61, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.034>
- Thahir, M., & Ambo, A. R. (2017). Audit energi listrik di Indomaret Plus Bumi Permata Sudiang. *Elektrika*, 9(2), 51–75.
- Tiyarattanachai, R., & Hollmann, N. M. (2016). Green campus initiative and its impacts on quality of life of stakeholders in green and non-green campus universities. *SpringerPlus*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1697-4>
- Valencia, A., Zhang, W., Gu, L., Chang, N. Bin, & Wanielista, M. P. (2022). Synergies of green building retrofit strategies for improving sustainability and resilience via a building-scale food–energy–water nexus. *Resources, Conservation and Recycling*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105939>
- Putra, I. W., Kumara, I. N., & Arjana, I. G. (2015). Studi terhadap konservasi energi pada Gedung Sewaka Dharma Kota Denpasar yang menerapkan konsep green building. *E-Journal Spektrum*, 2(4), 7–13.
- Sinaga, S. (2017). Analisis penggunaan energi listrik pada sistem penerangan dan sistem pendingin ruangan (AC) di Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara [Skripsi tidak dipublikasikan]. Universitas Sumatera Utara.
- Peraturan Gubernur Bali No. 45 Tahun 2019 tentang Bali Energi Bersih. (2019).
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 07 Tahun 2015 tentang Penerapan Standar Kinerja Energi Minimum dan Pencantuman Label Tanda Hemat Energi untuk Piranti Pengkondisi Udara. (2015).
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau. (2021).
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 6390:2011 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung. (2011).