

BAB I

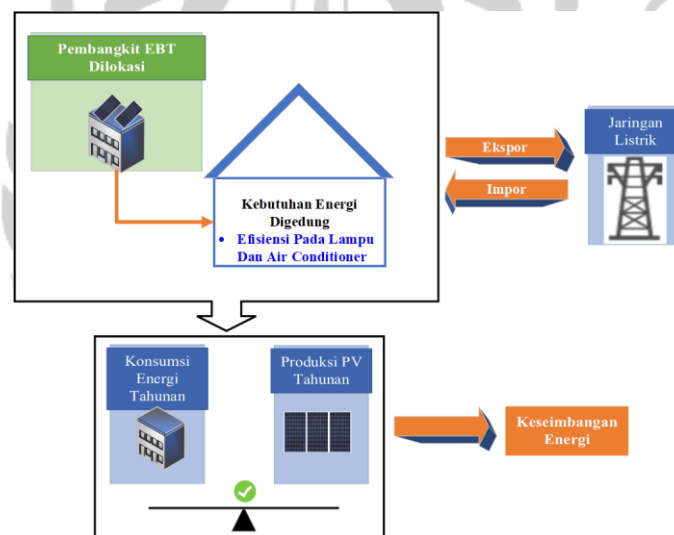
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan diperkirakan mewakili 30% dari konsumsi energi di seluruh dunia dan 26% dari emisi terkait energi di seluruh dunia pada tahun 2022 (IEA, 2023). Namun, suhu ekstrem meningkatkan emisi terkait pemanasan di beberapa wilayah, sementara penggunaan energi di sektor bangunan meningkat sekitar 1 persen (IEA, 2023). Negara-negara berkembang di Asia Tenggara bergulat dengan masalah konsumsi energi bangunan, mengingat sebagian besar bangunan baru di dunia dibangun di wilayah ini setiap tahunnya (USAID, 2022). Di Indonesia menurut *International Energy Agency* (IEA) (2022), sektor bangunan bertanggung jawab atas 23% konsumsi energi dan menyumbang 27% emisi (IEA, 2022). Selain itu, data dari Dewan Energi Nasional (DEN) (2022), menunjukkan bahwa sektor bangunan menyumbang 21% konsumsi energi (DEN, 2022), sehingga situasi di atas dapat berdampak pada perubahan iklim dan pemanasan global (Ahmadi et al., 2020; Cao et al., 2016). Strategi inovatif untuk mengatasi hal tersebut adalah *Net Zero Energy Building* (NZEB). NZEB bertujuan untuk mengarahkan bangunan ke arah energi keberlanjutan, ramah lingkungan, dan pemanfaatan peralatan listrik yang efisien (Ohene et al., 2022).

NZEB memungkinkan integrasi praktik-praktik hemat energi untuk melakukan perubahan di sektor energi, fokus utamanya pada peningkatan efisiensi energi (Chacko et al., 2023) dan penggunaan teknologi energi terbarukan (Ohene et al., 2022) yang mudah diimplementasikan secara komersial, untuk meminimalisir atau menghilangkan penggunaan bahan bakar tinggi akan emisi pada bangunan (Kilkis, 2007), yang mengarah pada pengembangan energi yang berkelanjutan dan penguatan ketahanan sektor energi (Kilkis, 2007; Noguchi et al., 2008; Ohene et al., 2022). Definisi NZEB dapat diklasifikasikan ke dalam empat perspektif utama yaitu *net zero site energy*, *net zero energy emissions*, *net zero source energy* dan *net zero energy costs* (Torcellini et al., 2006). Studi ini menggunakan konsep *net zero site energy* yang mengacu pada energi yang dikeluarkan dari pembangkit energi terbarukan sesuai dengan kebutuhan energi bangunan selama satu tahun

(Torcellini et al., 2006). Selain itu, hal ini melibatkan produksi energi terbarukan di lokasi dan secara langsung membandingkannya dengan kebutuhan energi bangunan untuk mencapai keseimbangan energi (*net energy balance*) (Voss et al., 2011). *Zero Energy Building* (ZEB) memiliki dua pilihan untuk suplai energi terbarukan yaitu suplai di lokasi (*on-site supply*), di mana energi dihasilkan di area atau sekitar gedung dan pilihan suplai dari luar gedung (*off-site supply*), di mana energi diperoleh dari sumber di luar lokasi gedung (Torcellini et al., 2006). Dalam penerapannya pada sebuah bangunan, diperlukan strategi desain yaitu desain pasif seperti penggunaan cahaya alami, ventilasi alami, selubung bangunan untuk mereduksi panas dari luar ke dalam bangunan dan desain aktif seperti penggunaan peralatan listrik seperti pengondisi udara ruangan atau *Air Conditioner* (AC) dan lampu yang memiliki efisiensi yang lebih tinggi serta strategi penggunaan energi terbarukan (Ohene et al., 2022).



Gambar 1.1 Definisi *net zero* energi lokasi & pilihan suplai dilokasi
(Torcellini et al., 2006)

Pemerintah Indonesia telah menerbitkan peta jalan menuju emisi nol bersih (NZE) di sektor energi pada tahun 2060 yang dibuat oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), yang dimodelkan oleh Indonesia dan IEA, dengan beberapa aksi mitigasi, termasuk pengembangan energi terbarukan secara masif dengan fokus pada tenaga surya, hidro, dan panas bumi (IEA, 2022) yang sejalan dengan mitigasi negara-negara lain yang menggunakan energi surya (Gondal, 2021; Panagiotidou & Fuller, 2013). Kementerian ESDM dengan sah mengeluarkan peraturan mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

khususnya yang diimplementasikan di atap bangunan yang tertuang dalam Peraturan Menteri (PERMEN) ESDM No. 2 Tahun 2024. Dalam studi ini peraturan ini difokuskan pada peraturan ekspor dan impor, dimana pada peraturan sebelumnya atau PERMEN ESDM No. 26 Tahun 2021 ekspor energi ke jaringan (PLN) dengan nilai jual kembali sebesar 65% dari Tarif Dasar Listrik (TDL) sebaliknya pada peraturan terbaru kelebihan dari energi listrik yang masuk ke jaringan listrik tidak diperhitungkan dalam determinasi besaran tagihan listrik atau 0 Rupiah sehingga diperlukan kajian dampak dari peraturan - peraturan tersebut pada penerapan NZEB di Indonesia. Dalam hal efisiensi energi peralatan listrik, Standar Kinerja Energi Minimum (SKEM) pada peralatan listrik telah diberlakukan di sebagian besar negara ([Economidou et al., 2020](#); [Gonzalez-Torres et al., 2023](#); [Schleich et al., 2021](#)) termasuk Indonesia, agar penggunaan teknologi peralatan listrik pada bangunan gedung menjadi lebih efisien, seperti yang tertuang pada Keputusan Menteri (KEPMEN) ESDM No.103.K/EK.07/DJE/2021 untuk pengondisi udara (AC) dan No.135.K/EK.07/DJE/2022 untuk lampu jenis *Light Emitting Diode* (LED). Beberapa negara telah mengeluarkan kebijakan untuk mengatasi perubahan iklim, salah satunya adalah dengan membangun bangunan rendah emisi. Sebagai contoh, Uni Eropa dengan “*Nearly Zero Energy Building*” (nZEB), sedangkan Amerika Serikat memperkenalkan “*Net Zero Energy Building*” (NZEB) dan China juga memperkenalkan kebijakan serupa ([Zhang & Zhou, 2015](#)). Oleh karena itu, penerapan *Zero Energy Building* di Indonesia masih memerlukan kajian terkait strategi pencapaian dengan menerapkan strategi desain aktif dan pasif serta kajian terkait potensi energi surya terkait kapasitas desain pada area bangunan dan juga regulasinya sehingga perlu dikaji apa saja yang berdampak pada penerapan NZEB di Indonesia.

Gedung Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi (PRKKE) yang terdiri dari Gedung 620 dan 621 merupakan gedung perkantoran (Pemerintah) bertingkat rendah (*low rise building*) berlantai dua yang dimiliki oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang terletak di Kawasan PUSPIPTEK, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten, Indonesia. Data rata-rata radiasi matahari harian pada tahun 2022 - 2023 yang potensial di lokasi ini sebesar 4,76 (kWh/m²/hari), yang diperoleh dari data *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) melalui perangkat

lunak RETScreen ([RETScreen Expert, 2023](#)). Bangunan ini telah menerapkan desain pasif menggunakan peneduh kaca untuk mereduksi panas dari sinar matahari sebelum masuk ke dalam ruangan dan memanfaatkan pencahayaan alami dengan menggunakan jendela pada hampir semua ruangan. Sistem pencahayaan pada bangunan ini masih didominasi lampu tabung (TL) fluoresen sehingga kurang efisien. Beberapa ruangan sudah menggunakan lampu jenis *Light Emitting Diode* (LED) pada ruang rapat, koridor, dan toilet. *Air Conditioner* (AC) menggunakan tipe *split* kapasitas 1-2 *Paardenkracht* (PK) dengan masa pakai 8 hingga 14 tahun, 1 ruangan menggunakan AC tipe *cassette* dengan kapasitas 2,5 PK dan AC tipe *standing* dengan kapasitas 5 PK. Berdasarkan pengamatan awal, beberapa unit AC tidak berfungsi dengan baik meskipun sudah diatur ke suhu 20-24°C pada *remote*. Oleh karena itu, sebagai Gedung Pemerintah dan tugas lembaga BRIN untuk melakukan riset mengenai kajian di Gedung Pemerintah sebagai *pilot project* konsep *net zero energy building* dengan menganalisis strategi NZEB dengan desain aktif di sistem pencahayaan dan pengondisi udara serta penggunaan *photovoltaic*. Melihat penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bosu *et al.* (2023), menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik pada AC sekitar 62% dari total konsumsi gedung, diikuti oleh stop kontak sekitar 25% dan konsumsi energi dari lampu sekitar 13%. Langkah desain aktif dapat mengurangi konsumsi energi sekitar 1,74 % dari pergantian lampu pijar ke LED dan sensor gerak dengan periode pengembalian biaya modal/*PayBack Period* (PBP) masing-masing selama 0,5 dan 3,29 tahun. Penghematan energi sebesar 22,96% dari pergantian AC non-inverter ke tipe inverter dengan PBP selama 4,88 tahun. Strategi desain aktif tersebut mengurangi 30,8 Ton CO₂ per tahun. Selain itu, penggabungan sistem *photovoltaic* (PV) *on-grid* dan *solar water heater* (SWH) menghasilkan kontribusi energi tahunan sebesar 79.820 kWh dan 38.048 kWh, dengan PBP masing-masing selama 3,77 tahun dan 2,49 tahun. Secara keseluruhan akan mengurangi emisi sekitar 91,5 ton CO₂ ([Bosu et al., 2023](#)). Menurut Chisale dan Mangani (2021) tercatat bahwa AC sebagai pengguna energi terbesar. Penghematan energi yang signifikan terlihat pada AC, printer, laminator, dan lampu dengan mengganti beberapa peralatan listrik konsumsi energi yang sudah ada dibandingkan dengan konsumsi energi yang diusulkan menghemat hingga 33,46% dengan PBP selama 6,68 tahun. Studi ini juga

merekomendasikan penggunaan energi terbarukan PV dengan baterai yang terhubung dengan jaringan listrik memiliki waktu pengembalian biaya modal yaitu 9,8 tahun dengan biaya energi sebesar 0,0372 \$/kWh dengan biaya modal sebesar \$150.887 (Chisale & Mangani, 2021). Menurut penelitian Ohene *et al.* (2022), mengevaluasi strategi NZEB yang layak untuk merubah bangunan yang sudah ada, dengan strategi desain pasif yang diidentifikasi dari tinjauan dan pemodelan dengan perangkat lunak *Climate Consultant* (versi 6.0). Hasil analisis menunjukkan bahwa strategi desain pasif seperti ventilasi alami, peneduh matahari, pencahayaan alami, dan kedap udara pada selubung bangunan dapat menurunkan *Energy Use Intensity* (EUI) menjadi sekitar 68 sampai dengan 70 kWh/m²/tahun dari nilai EUI pada kondisi sebelum *retrofit* yaitu 136-138 kWh/m²/tahun, atau dapat mengurangi sekitar 48-50% dari total kebutuhan energi di bangunan. Selanjutnya, strategi energi terbarukan menggunakan sistem *PV hybrid* untuk memenuhi kebutuhan energi dengan PBP sekitar 6-10 tahun. Langkah tersebut menjadikan bangunan NZEB dan bahkan menjadi *net-positive energy* (Ohene *et al.*, 2022). Menurut studi Omar *et al.* (2022), menunjukkan bahwa target NZEB dapat dicapai pada bangunan dengan mengganti *Tube Lamp* (TL) fluoresen menjadi LED didapatkan penghematan sebesar 68 % sedangkan penghematan dari sistem pendinginan, *solar absorption* diusulkan dengan penghematan yang didapatkan sebesar 50%. Sistem PV yang digunakan adalah *on-grid* menggunakan dua skenario dengan dan tanpa tindakan desain aktif. Sistem PV dan inverter dengan kapasitas 140 kWp dan 120 kW dengan biaya modal masing-masing \$98.000 dan \$30.399. Fraksi energi terbarukan yang diperoleh dari sistem ini adalah 82%. Studi ekonomi dilakukan dengan *Net Present Cost* (NPC) untuk sistem ini adalah \$25.394, yang lebih rendah dari NPC menggunakan jaringan listrik saja, sehingga sistem PV dengan desain aktif lebih ekonomis dengan periode pengembalian biaya yaitu 24 tahun. Selain itu, didapatkan nilai biaya energi sebesar 0,007 \$/kWh (Omar *et al.*, 2022). Penelitian dari Al-Saadi *et al.* (2023), menerapkan strategi desain pasif dan aktif yang dilengkapi dengan sistem energi terbarukan. Audit energi dilakukan untuk bangunan sekolah serta strategi desain pasif yang diusulkan disimulasikan di tiga zona iklim (panas-kering, panas-lembab, dan hangat-lembab) dengan menggunakan perangkat lunak pemodelan *DesignBuilder*. Strategi desain pasif

mempertimbangkan insulasi termal dengan ketebalan minimal 50 mm pada dinding dan atap yang bermanfaat bagi iklim panas serta kaca bening dengan lapisan surya *low-e* dan kontrol pencahayaan. Strategi desain aktif menggunakan lampu LED yang dapat diredupkan dan sistem pendingin udara jenis *Variable Refrigerant Volume / Variable Refrigerant Flow* (VRV/VRF) direkomendasikan dengan mengintegrasikan strategi-strategi ini, total pengurangan konsumsi energi tahunan mencapai 28,53 % pada iklim panas-kering, 27,90 % pada iklim panas-lembab, dan 25,14 % pada iklim hangat-lembab. Dampak dari mengintegrasikan PV disimulasikan, menunjukkan bahwa sekolah mengkonsumsi 56,47-57,22% dari pembangkit listrik PV dan mengekspor energi yang tersisa ke jaringan listrik di zona panas-kering sebesar 42,78%, untuk zona panas-kering dan hangat-lembab sebesar 43,53%, dan 45,75% ke jaringan listrik (Al-Saadi et al., 2023). Penelitian dari Abdelhady (2023) menyajikan analisis optimasi sistem energi terbarukan *hybrid* yang terhubung dengan jaringan pada hotel berdasarkan prospek teknis, ekonomis, dan lingkungannya. Tujuh skenario dipertimbangkan untuk pembangkit listrik menggunakan perangkat lunak *Homer Pro*. Sistem *hybrid* yang diusulkan menggabungkan *photovoltaic*, turbin angin dan generator biogas ke dalam sistem yang terhubung dengan jaringan untuk memasok listrik. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem yang terhubung dengan jaringan PV/angin, dengan generator. Energi terbarukan yang terdiri dari 143 kW modul PV dan satu turbin angin 20 kW, memiliki NPC dan biaya energi terendah. Sistem energi hibrida ini memiliki biaya bersih saat ini sebesar \$ 388.000, yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan biaya jaringan listrik sebesar \$ 873.000. Biaya listrik dari sistem yang diusulkan, yaitu 2,1 sen (\$)/kWh yang sangat kompetitif dengan harga listrik ritel Mesir sebesar 6,9 sen (\$)/kWh (Abdelhady, 2023). Penelitian selanjutnya menurut Kabir et al. (2024) menganalisis kinerja tekno-ekonomi dari sistem PV atap yang terhubung ke jaringan dengan potensi NZEB di tiga bangunan institusi pendidikan yaitu gedung universitas, sekolah menengah atas, dan sekolah dasar di Bangladesh. Dua metode pembayaran dibandingkan yaitu metode penagihan meteran energi bersih (*net energy metering*) yaitu menggunakan *bi-directional energy meter* sehingga dapat mengekspor kelebihan energi ke jaringan listrik dan impor daya dari jaringan listrik ketika pembangkit listrik di lokasi tidak memenuhi, dari nilai selisih

ini yang nanti masuk ke tagihan dan metode penagihan menggunakan *feed-in-tariff* yaitu semua energi yang dihasilkan dari sistem PV terhubung jaringan listrik utilitas atau *independent power producer* (IPP) melalui meteran ekspor, sementara kebutuhan energi gedung dipenuhi dengan mengimpor listrik melalui meteran impor. Gedung Universitas memiliki ukuran PV yang jauh lebih besar dengan kapasitas 2.620 kWp dibandingkan dengan sekolah menengah atas sebesar 25 kWp dan sekolah dasar sebesar 12 kWp. Pada ketiga kasus tersebut, diperoleh nilai energi positif bersih sebesar 6,18 MWh, 4,04 MWh, dan 3,62 MWh, ketika mempertimbangkan analisis tahunan, secara konsisten menunjukkan bahwa nilai ekspor bersih lebih besar daripada nilai impor bersih. *levelized cost of energy* (LCoE) di kampus universitas menunjukkan nilai LCOE pada skema *net metering* dan *feed in tariff* yaitu masing-masing sebesar 8,37 sen (\$)/kWh dan 8,52 sen (\$)/kWh dengan PBP selama 4,2 tahun (*net metering*) dan 6 tahun (*feed in tariff*). Demikian pula, pada sekolah menengah atas, *net metering* menunjukkan nilai LCoE *net metering* sebesar 10,81 sen (\$)/kWh dan skema *feed-in-tariff* menunjukkan 10,93 sen (\$)/kWh dengan PBP masing-masing yaitu 7,7 dan 7,3 tahun. Skenario sekolah dasar menunjukkan nilai LCoE *net metering* sebesar 10,69 sen (\$)/kWh dengan periode pengembalian modal selama 7,6 tahun sedangkan skema *feed-in-tariff* sebesar 10,84 sen (\$)/kWh dengan PBP selama 7,2 Tahun. Nilai NPV menunjukkan positif energi bersih untuk semua kasus yang diteliti yang berarti layak sebagai model NZEB (Ahsan Kabir et al., 2024).

Adapun *gap* dari penelitian sebelumnya seperti dalam menganalisis kapasitas dari energi terbarukan berdasarkan beban listrik gedung, sehingga belum menganalisis potensi area efektif yang tersedia di gedung atau dengan opsi penyediaan energi terbarukan secara *on-site supply* menggunakan sensitifitas penjualan kembali peraturan saat ini sebesar 0% dan sebelumnya sebesar 65 % ditambahkan sensitifitas 15,25,35,45,55 %, karena dari 7 penelitian sebelumnya semua nilai ekspor ada nilai jual kembalinya. Selain itu, penelitian sebelumnya dalam analisis potensi penghematan energi berdasarkan spesifikasi atau simulasi peralatan yang akan diganti dengan yang lebih efisien, sedangkan penelitian yang akan dilakukan dalam pendekatan potensi penghematan energi akan dilakukan pengukuran dan verifikasi disalah satu ruangan yang akan diganti dengan peralatan

yang lebih efisien. Hasil pengukuran dan verifikasi dianalisis untuk memenuhi kriteria NZEB dari desain aktif. Pendekatan potensi penghematan energi dan evaluasi tekno-ekonomi menggunakan perangkat lunak *RETScreen*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka didapatkan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana strategi NZEB menggunakan desain aktif untuk mengurangi konsumsi energi di sistem pencahayaan dan pengondisi udara serta tekno-ekonomi pada Gedung 620 dan 621?
2. Bagaimana strategi NZEB menggunakan *photovoltaic* dengan opsi suplai diarea gedung pada sistem *on-grid* dan *hybrid* menggunakan baterai untuk memenuhi kebutuhan energi di Gedung 620 dan 621, terhadap peraturan ESDM saat ini (PERMEN ESDM No.2 Tahun 2024) dan sebelumnya (PERMEN ESDM No.26 tahun 2021) dengan sensitifitas penjualan kembali 0,15,25,35,45,55 dan 65%?

1.3 Tujuan penelitian

Kajian kelayakan di Gedung 620 dan 621, PRKKE BRIN sebagai *pilot project* pada gedung perkantoran (Pemerintah) dengan menerapkan strategi desain aktif untuk sistem pencahayaan dan pengondisi udara serta peningkatan efisiensi energi yang dilengkapi penggunaan sistem *Photovoltaic* terhadap PERMEN ESDM No.2 Tahun 2024, PERMEN 26 tahun 2021 dengan sensitifitas penjualan kembali untuk mencapai konsep NZEB. Adapun Detail dari tujuan umum sebagai berikut:

1. Analisis strategi NZEB menggunakan desain aktif untuk mengurangi konsumsi energi di sistem pencahayaan dan pengondisi udara serta tekno-ekonomi pada Gedung 620 dan 621.
2. Analisis strategi NZEB menggunakan *photovoltaic* dengan opsi suplai diarea gedung pada sistem *on-grid* dan *hybrid* menggunakan baterai untuk memenuhi kebutuhan energi di Gedung 620 dan 621, terhadap peraturan ESDM saat ini (PERMEN ESDM No.2 Tahun 2024) dan sebelumnya

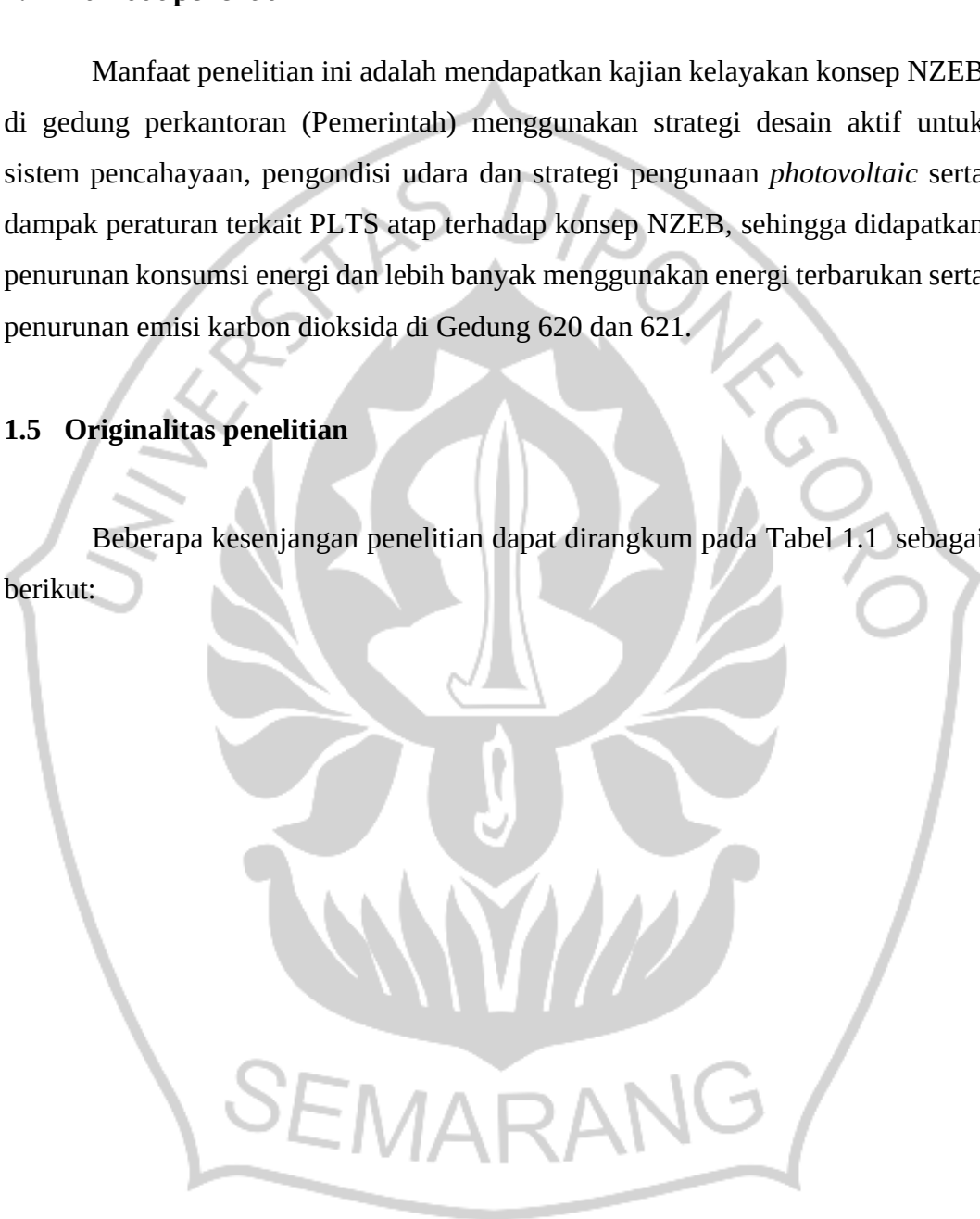
(PERMEN ESDM No.26 tahun 2021) dengan sensitifitas penjualan kembali 0,15,25,35,45,55 dan 65%.

1.4 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian ini adalah mendapatkan kajian kelayakan konsep NZEB di gedung perkantoran (Pemerintah) menggunakan strategi desain aktif untuk sistem pencahayaan, pengondisi udara dan strategi penggunaan *photovoltaic* serta dampak peraturan terkait PLTS atap terhadap konsep NZEB, sehingga didapatkan penurunan konsumsi energi dan lebih banyak menggunakan energi terbarukan serta penurunan emisi karbon dioksida di Gedung 620 dan 621.

1.5 Originalitas penelitian

Beberapa kesenjangan penelitian dapat dirangkum pada Tabel 1.1 sebagai berikut:



Tabel 1.1 Ringkasan penelitian terdahulu

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	Chisale., et al (2021)	<i>Energy Audit and Feasibility of Solar PV Energy System: Case of a Commercial Building (Malawi)</i>	1. Gedung komersial Pagwanji dapat menghemat energi hingga 33,46% dengan langkah menggantikan beberapa peralatan yang lebih efisien. 2. Sistem PV dengan baterai yang terhubung dengan jaringan disimulasikan menggunakan Homer. Sistem yang diusulkan memiliki periode pengembalian 9,8 tahun. Biaya energi sebesar 0,0372 \$/kWh, dan biaya modal adalah \$ 150.887.	1. Diadopsi: Metode desain aktif dengan mengganti peralatan yang lebih efisien. 2. Dimodifikasi: Potensi penghematan energi akan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dan verifikasi sehingga diketahui kinerja dari peralatan yang sudah ada dan diusulkan dan sensitifitas penjualan kembali pada sistem PV.
2	Ohene., et al (2022)	<i>Feasibility and retrofit guidelines towards net-zero energy buildings in tropical climates a case of Ghana</i>	1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi desain pasif seperti ventilasi alami, peneduh, pencahayaan alami, dan selebung bangunan kedap udara mengubah bangunan dengan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) dari 136–138 kWh/m²/thn menjadi 68–70 kWh/m²/thn, sehingga mengurangi 48–50% dari total kebutuhan energi.	1. Diadopsi: Panduan NZEB di gedung yang sudah ada. 2. Dimodifikasi: Sensitifitas penjualan kembali pada sistem PV.

Tabel 1.1 (Lanjutan 1)

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
			2. Sistem PV <i>hybrid</i> ditambahkan untuk memenuhi kebutuhan energi dengan periode pengembalian modal (PBP) 6-10 tahun, sehingga bangunan menjadi NZEB dengan energi positif.	
3	Omar., <i>et al</i> (2022)	<i>Optimal strategy for transition into net - zero energy in educational buildings: A case study in El-Shorouk City, Egypt</i>	- Membandingkan 2 skenario sistem PV <i>hybrid</i> dengan dan tanpa desain aktif menggunakan software <i>Homer</i>. Didapatkan kesimpulan sistem <i>hybrid</i> dengan mempertimbangkan desain aktif menggunakan lampu LED dengan biaya modal sebesar \$23.530 dengan PBP 1,5 tahun dan <i>solar absorption cooling system</i> dengan biaya modal \$114.456 dengan PBP 3,5 tahun adalah sistem yang paling ekonomis dengan menggunakan sistem PV 140 kWp dengan biaya modal \$98.000 - Untuk perbandingan dua skenario dengan NPC, didapatkan skenario dengan desain aktif memiliki NPC terendah \$73.187 dan LCoE 0,02 \$/kWh sementara Skenario 2 mencapai NPC sebesar \$251.518 dan LCOE 0,0315 \$/kWh.	- Diadopsi: strategi desain aktif pada sistem pencahayaan dan AC. - Dimodifikasi: Potensi penghematan energi akan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dan verifikasi sehingga diketahui kinerja dari peralatan yang sudah ada dan diusulkan dan sensitifitas penjualan kembali pada sistem PV.
4	Abdelhady (2023)	<i>Techno-economic study and the optimal</i>	1. Menyajikan analisis optimasi sistem energi terbarukan <i>hybrid</i> yang terhubung dengan jaringan pada hotel menggunakan perangkat lunak	1. Diadopsi: Konsep desain PV <i>hybrid</i> yang terhubung dengan jaringan

Tabel 1.1 (Lanjutan 2)

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
		<i>hybrid renewable energy system design for a hotel building with net zero energy and net zero carbon emissions (Egypt)</i>	<i>HomerPro</i>. Sistem <i>hybrid</i> yang diusulkan menggabungkan <i>photovoltaic</i>, turbin angin, dan generator biogas ke dalam sistem yang terhubung dengan jaringan. 2. Hasilnya menunjukkan sistem yang terhubung dengan jaringan PV dan angin, yang terdiri dari 143 kWp modul PV dan satu turbin angin 20 kW, memiliki NPC dan <i>LCoE</i> terendah dengan NPC sebesar \$ 388.000, yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan biaya jaringan listrik saja sebesar \$ 873.000 dengan <i>LCoE</i> sebesar 2,1 sen (\$)/kWh, sangat kompetitif dengan harga listrik ritel Mesir sebesar 6,9 sen (\$)//kWh. biaya jaringan listrik saja sebesar \$ 873.000. <i>LCoE</i> sebesar 2,1 sen (\$)/kWh, sangat kompetitif dengan harga listrik ritel Mesir sebesar 6,9 sen (\$)/kWh.	2. Dimodifikasi: Potensi penghematan energi akan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dan verifikasi sehingga diketahui kinerja dari peralatan yang sudah ada dan yang diusulkan serta sistem <i>hybrid</i> dengan baterai dan sensitifitas penjualan kembali pada sistem PV
5	Al-Saadi., et al (2023)	<i>Judicious design solutions for zero energy school</i>	Menerapkan strategi desain pasif dan aktif yang hemat energi yang dilengkapi dengan sistem energi terbarukan. Audit energi dilakukan dan	1. Diadopsi: strategi desain aktif pada sistem pencahayaan dan AC.

Tabel 1.1 (Lanjutan 3)

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
		<i>buildings in hot climates (Oman).</i>	strategi desain pasif yang diusulkan dengan menggunakan perangkat lunak <i>DesignBuilder</i> . Strategi desain aktif, menggunakan lampu LED yang dapat diredupkan. Penggunaan sistem pendingin udara VRV/VRF direkomendasikan, hasil dari strategi-strategi ini, pengurangan konsumsi energi tahunan mencapai 28,53 % pada iklim panas-kering, 27,90 % pada iklim panas-lembab, dan 25,14 % pada iklim hangat-lembab. Sistem PV disimulasikan, gedung mengonsumsi energi dari PV sebesar 56,47-57,22% dan mengeksport energi yang tersisa ke jaringan listrik.	2. Dimodifikasi: Potensi penghematan energi akan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dan verifikasi sehingga diketahui kinerja dari peralatan yang sudah ada dan yang diusulkan. dan sistem hybrid dengan baterai dan sensitifitas penjualan kembali pada sistem PV.
6	Bosu., et al (2023)	<i>Energy audit, techno-economic, and environmental assessment of integrating solar technologies for energy management in a</i>	1. Konsumsi listrik terbesar adalah AC sekitar 62% dari total konsumsi di gedung, diikuti oleh beban stop kontak sekitar 25% dan lampu sekitar 13% dengan langkah desain aktif dapat mengurangi konsumsi energi listrik sekitar 1,74 % dari pergantian lampu pijar ke LED dan sensor gerak dengan PBP masing selama 0,5 dan 3,29 tahun. Selain itu penghematan energi sebesar 22,96% dari pergantian AC non-inverter ke tipe inverter	1. Diadopsi: strategi desain aktif pada sistem pencahayaan dan AC. 2. Dimodifikasi: Potensi penghematan energi akan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dan verifikasi sehingga diketahui kinerja dari peralatan yang sudah ada dan

Tabel 1.1 (Lanjutan 4)

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
		<i>university (Egypt)</i>	dengan pengembalian biaya modal selama 4,88 tahun. 2. Penggabungan sistem PV on-grid dan SWH akan menghasilkan kontribusi energi tahunan sebesar 79.820 kWh dan 38.048 kWh, dengan PBP masing-masing selama 3,77 tahun dan 2,49 tahun.	yang diusulkan. dan sistem <i>hybrid</i> dengan baterai dan sensitifitas penjualan kembali pada sistem PV.
7	Ahsan Kabir., <i>et al</i> (2024)	<i>Sustainable energy transition in Bangladeshi academic buildings: A techno-economic analysis of photovoltaic-based net zero energy systems (Bangladesh)</i>	1. Penelitian ini menganalisis kinerja tekno-ekonomi dari sistem PV atap yang terhubung ke jaringan dengan potensi NZEB di tiga bangunan institusi pendidikan. Dua metode pembayaran dibandingkan yaitu metode penagihan meteran energi bersih (net energy metering) dan <i>feed-in-tariff</i>. Gedung universitas memiliki ukuran PV yang jauh lebih besar dengan kapasitas 2.620 kWp dibandingkan dengan sekolah menengah atas sebesar 25 kWp dan sekolah dasar sebesar 12 kWp. Pada ketiga kasus tersebut, diperoleh nilai energi positif sebesar 6,18 MWh, 4,04 MWh, dan 3,62 MWh.	1. Diadopsi: konsep desain PV yang terhubung dengan jaringan. 2. Dimodifikasi: mensimulasikan skenario <i>photovoltaic</i> (PV) atap dengan menggunakan peraturan Kementerian ESDM saat ini dan sebelumnya dengan sensitivitas penjualan kembali.

Tabel 1.1 (Lanjutan 5)

No.	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
			2. LCoE di universitas pada skema net metering dan feed in tariff masing-masing sebesar 8,37 sen (\$)/kWh dan 8,52 sen (\$)/kWh dengan PBP selama 4,2 tahun (net metering) dan 6 tahun (feed in tariff). Demikian pula, pada sekolah menengah atas menunjukkan nilai LCoE net metering sebesar 10,81 sen (\$)/kWh dan skema feed-in-tariff menunjukkan 10,93 sen (\$)/kWh dengan PBP masing-masing yaitu 7,7 dan 7,3 tahun. Skenario sekolah dasar menunjukkan nilai LCoE net metering sebesar 10,69 sen (\$)/kWh dengan PBP selama 7,6 tahun sedangkan skema feed-in-tariff sebesar 10,84 sen (\$)/kWh dengan PBP selama 7,2 Tahun. Nilai NPV menunjukkan positif untuk semua kasus.	

BAB II

