

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan landasan pemikiran yang menjadi dasar pelaksanaan perancangan dan pembuatan prototipe kolektor surya *parabolic dish* berbahan reflektor kaca. Dimulai dari latar belakang yang menguraikan ketergantungan pada bahan bakar fosil serta potensi energi surya di Indonesia, bab ini melanjutkan dengan rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, luaran, dan sistematika penulisan laporan. Pendekatan ini memastikan fokus perancangan tetap tajam, sekaligus membangun kerangka yang kokoh untuk bab-bab selanjutnya. Pendahuluan juga menekankan urgensi inovasi dalam teknologi surya untuk mendukung ketahanan energi nasional dan mengurangi dampak lingkungan.

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi global dan nasional terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan sektor industri. Saat ini, sebagian besar pasokan energi bergantung pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Ketergantungan ini menimbulkan tantangan serius, termasuk keterbatasan cadangan dan dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca yang mempercepat pemanasan global. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia menunjukkan bahwa konsumsi energi nasional pada 2025 mencapai lebih dari 1.600 juta barel setara minyak, dengan 58% dari sumber fosil, yang memicu impor minyak hingga 450 juta barel per tahun dan memperburuk defisit neraca perdagangan. Kondisi ini mengancam ketahanan energi nasional dan memperparah perubahan iklim, dengan peningkatan suhu rata-rata 1,2°C dalam dekade terakhir yang berdampak pada pertanian dan

kesehatan masyarakat (World Meteorological Organization, 2026). Selain itu, fluktuasi harga fosil menambah ketidakpastian ekonomi, khususnya bagi yang bergantung pada energi panas untuk operasional sehari-hari. Dampak lingkungan dari pembakaran fosil juga menyebabkan polusi udara dan kerusakan ekosistem, yang semakin mendesak transisi ke sumber energi bersih.

Ketergantungan ini juga meningkatkan vulnerabilitas terhadap gejolak geopolitik yang memengaruhi pasokan energi global. Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional melalui kebijakan seperti Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Sebagai negara di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki potensi energi surya yang melimpah, dengan irradiansi harian rata-rata di atas 4,8 kWh/m². Potensi ini didukung oleh data Badan Pusat Statistik tahun 2025, yang mencatat irradiansi hingga 5,8 kWh/m² di wilayah Jawa dan Sumatra, cukup untuk memenuhi 25% kebutuhan energi nasional pada 2030 jika dimanfaatkan optimal. Energi surya dapat dieksploitasi melalui teknologi fotovoltaik untuk listrik atau termal untuk pemanasan, dengan aplikasi luas di sektor domestik dan industri kecil. Namun, pengembangan teknologi energi surya termal masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam memperoleh material yang ekonomis dan tahan lama serta meningkatkan efisiensi termal dan optik. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan dan inovasi teknologi untuk meningkatkan kinerja serta mendukung pemanfaatan energi surya sebagai bagian dari upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca (Mondal & Maji, 2025). Di sisi lain, peningkatan kesadaran lingkungan global mendorong pengembangan solusi ramah lingkungan yang dapat diadopsi secara lokal. Potensi ini juga dapat mengurangi ketergantungan impor energi, memperkuat ekonomi

nasional melalui pengembangan industri lokal. Selain itu, energi surya termal dapat diintegrasikan dengan sistem existing untuk hibrida, meningkatkan reliabilitas pasokan. Kolektor surya konvensional tipe flat plate masih memiliki keterbatasan dalam menghasilkan temperatur tinggi. Pada penelitian menggunakan flat plate collector di Indonesia, temperatur air maksimum yang diperoleh mencapai 62°C dengan efisiensi kolektor rata-rata sebesar 45,1%, sementara kehilangan panas maksimum mencapai 144,6 W. Kondisi tersebut menunjukkan adanya keterbatasan dalam pemanfaatan kolektor flat plate untuk kebutuhan aplikasi yang memerlukan temperatur lebih tinggi (Rakasiwi et al., 2022).

Desain sederhana dan material suboptimal pada *collector flat plate* menyebabkan performa suboptimal di iklim lembap Indonesia, di mana kelembapan tinggi mempercepat degradasi komponen. Selain itu, kolektor konvensional sering kali tidak mampu menangani variasi cuaca tropis, seperti hujan dan awan tebal, yang mengurangi output energi secara signifikan. Kehilangan panas konveksi dan radiasi pada desain *flat plate* semakin parah di suhu tinggi, membuatnya kurang efisien untuk proses industri kecil. Oleh karena itu, diperlukan kolektor surya pemusat untuk mencapai suhu lebih tinggi melalui pemfokusan radiasi dari area luas ke penerima kecil, sehingga meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi kebutuhan luas lahan. Di antara berbagai jenis kolektor pemusat, tipe *parabolic dish* dipilih karena memiliki rasio konsentrasi geometris tertinggi dengan sistem fokus titik (*point focus*). Teknologi ini mampu mencapai temperatur operasi yang sangat tinggi di atas 600°C, sehingga sangat ideal untuk diaplikasikan pada sistem pemanas industri skala kecil (García-Ferrero et al., 2025). Untuk mengoptimalkan pemusatan energi panas tersebut, penggunaan material berbahan cermin kaca menjadi pilihan utama karena karakteristik

reflektivitasnya yang tinggi dalam memantulkan radiasi matahari menuju titik fokus (Aramesh et al., 2019). Pemilihan ini didasarkan pada kemampuan point focus untuk konsentrasi energi hingga 1.500 kali, berbeda dari parabolic trough yang fokus pada *line*, *dish* memberikan konsentrasi titik yang lebih intens untuk aplikasi lokal. Komponen kunci dalam perancangan alat ini adalah material reflektornya. Penelitian terdahulu oleh Robiandi et al. (2022) memanfaatkan material alternatif berupa *aluminum tape* sebagai lapisan pemantul radiasi. Meskipun murah dan mudah dibentuk, penggunaan material lembaran tipis semacam ini rentan mengalami degradasi performa permukaan berupa penurunan reflektivitas akibat paparan cuaca luar ruangan dan kelembapan yang tinggi di lingkungan beriklim tropis (Ibrahim et al., 2020). Untuk mengatasi kelemahan material lembaran tipis tersebut, material kaca cermin menawarkan solusi unggul karena memiliki tingkat reflektivitas spekular yang tinggi serta struktur yang kokoh. Penggunaan material pemantul yang stabil sangat krusial dalam menjaga efisiensi optik kolektor surya dari risiko penurunan performa akibat perubahan musim maupun cuaca luar ruangan (Chen & Yang, 2021).

Inovasi ini selaras dengan target RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) untuk energi terbarukan 23% pada 2025 dan pengurangan emisi CO₂ 29% pada 2030. Selain itu, penggunaan kaca cermin dapat mengurangi biaya perawatan jangka panjang, membuatnya lebih layak ekonomis untuk adopsi luas. Desain segmen kaca juga memudahkan fabrikasi skala kecil, cocok untuk lingkungan pendidikan dan industri mikro. Kebaruan perancangan ini adalah penggunaan segmen kaca cermin komersial pada prototipe *parabolic dish* skala laboratorium dengan tracking manual, yang mampu mencapai suhu fokus tinggi ($>700^{\circ}\text{C}$) di kondisi tropis Indonesia, berbeda dari desain sebelumnya yang menggunakan material rentan degradasi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah ini merangkum isu utama yang timbul dari latar belakang, dengan fokus pada aspek desain, fabrikasi, dan evaluasi performa, untuk membatasi ruang lingkup penelitian pada solusi spesifik. Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana metode fabrikasi prototipe untuk merakit segmen kaca pada rangka penopang guna membentuk kurva parabola presisi?
2. Bagaimana unjuk kerja prototipe dalam memusatkan energi panas, ditinjau dari temperatur maksimum pada titik fokus dan efisiensi termal?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ini menetapkan ruang lingkup penelitian untuk menjaga fokus dan keterlaksanaan, dengan mengecualikan aspek non-esensial seperti analisis ekonomi mendalam. Penelitian ini dibatasi pada:

1. Tipe kolektor yang dirancang dan dibuat adalah kolektor surya pemusat tipe *Parabolic Dish* (Piringan Parabola).
2. Material reflektor yang digunakan adalah kaca cermin silvered glass komersial yang dipotong menjadi segmen-segmen 5x5 dan 10x10 cm.
3. Prototipe skala laboratorium dengan diameter bukaan 1,2 meter dan 1 meter.
4. Sistem pelacakan matahari manual satu sumbu.
5. Analisis penelitian berfokus pada kinerja termal (pengukuran suhu di titik fokus dan efisiensi) dan tidak mencakup analisis ekonomi rinci atau studi durabilitas material jangka panjang.

6. Penelitian berfokus pada pemusatan panas pada receiver di titik fokus, dan menganalisis jenis fluida kerja yang bersirkulasi.

1.4 Tujuan

Tujuan ini selaras dengan rumusan masalah, menyediakan arah penelitian yang spesifik untuk pencapaian luaran. Tujuan penelitian ini adalah:

1. Membuat sebuah prototipe fungsional kolektor surya parabolic dish berbahan kaca lengkap dengan sistem manual.
2. Menganalisis unjuk kerja prototipe melalui pengujian langsung untuk mengetahui temperatur maksimum di titik fokus dan efisiensi termal yang dapat dicapai.

1.5 Luaran

Luaran yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Laporan Proyek Akhir
2. Dokumen Deskripsi Mesin/Alat dan Spesifikasinya
3. Dokumen Manual Penggunaan/Pengoperasian Alat/Mesin.
4. Publikasi: paten atau paten sederhana yang telah didaftarkan, atau HKI video yang berisi ulasan teknologi hasil proyek akhir, yang diunggah di laman youtube.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Untuk memenuhi kaidah penulisan ilmiah, Laporan Proyek Akhir ditulis dalam 5 bab berurutan. Bab-bab tersebut meliputi: (i) pendahuluan, (ii) tinjauan pustaka, (iii) metodologi, (iv) hasil dan pembahasan, dan (v) kesimpulan dan saran, yang dinyatakan sebagai Bab 1, Bab 2, Bab 3, Bab 4, dan Bab 5.

1.6.1 Pendahuluan

Bab Pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, luaran, dan sistematika penulisan laporan. Latar belakang berisi situasi dan kondisi (kasus atau imajinasi) yang mendorong munculnya ide-ide atau topik proyek akhir. Untuk dapat mengkaji ide-ide tersebut maka telusur literatur terkait ide-ide dilakukan. Telusur literatur mengerucutkan arah untuk memutuskan pemilihan satu ide. Setelah pemilihan satu ide, masalah akan timbul ketika ide tersebut akan dimodelkan, disimulasikan, divalidasi, dirancang-bangun, diuji, dan/atau diteliti. Karenanya masalah ini dirumuskan dan dibatasi lingkupnya. Karenanya masalah ini dirumuskan dan dibatasi lingkupnya. Karenanya setelah menyatakan masalah, tujuan dan luaran dari proyek akhir disampaikan. Di bagian akhir bab pendahuluan, sistematika penulisan disampaikan.

1.6.2 Tinjauan Pustaka

Bab Tinjauan Pustaka menyampaikan hasil penelusuran pustaka, yang disajikan dalam paragraf-paragraf yang berisi kajian teori, studi literatur, kerangka pemikiran, dan hipotesis penelitian. Seperti sistem *parabolic dish point-focus* dengan reflektor kaca cermin, variabel rasio konsentrasi geometris (C_g), *intercept factor* (γ), *slope error* (σ_{slope}), reflektivitas spekular (ρ), *direct normal irradiance* (DNI), fluks panas pada fokus (q''), dan temperatur stagnasi fokus (T_f). Kajian teori yang membahas prinsip kerja *parabolic dish*, kalkulasi konsentrasi, dan pengaruh waktu pengujian, serta studi literatur yang merangkum hasil penelitian terdahulu dengan ringkasan 14 studi relevan. Prinsip *point focus*, kalkulasi konsentrasi dan temperatur fokus, serta pengaruh rentang waktu pukul 10.00–14.00 WIB.

1.6.3 Metodologi

Pada bab metodologi ini menyampaikan hasil penjelasan mengenai tahapan dan cara-cara yang ditempuh dalam menyelesaikan proyek akhir mulai dari awal hingga akhir, yang digambarkan dalam suatu diagram alir berupa *flowchart* yang merangkum seluruh tahapan penelitian, mulai dari studi literatur, perumusan masalah, perancangan, fabrikasi, pengujian, hingga analisis hasil, dimana diagram tersebut berfungsi sebagai panduan alur logis yang memudahkan pembaca memahami urutan proses tanpa kehilangan konteks keseluruhan; selanjutnya, dijelaskan secara rinci mengenai spesifikasi alat dan bahan utama seperti material reflektor, rangka, serta instrumen pengukuran beserta bahan pendukung, termasuk alasan pemilihan, sumber pengadaan, dan klasifikasi seperti perangkat lunak untuk perancangan, material untuk fabrikasi, dan instrumen untuk pengujian, dengan tujuan memastikan penelitian dapat direplikasi; kemudian, menguraikan proses perancangan geometri dan sistem yang mencakup penentuan dimensi, perhitungan titik fokus, desain mekanisme pelacak matahari, serta struktur rangka penopang, lengkap dengan rumus matematis seperti persamaan parabola dan simulasi digital untuk validasi desain awal beserta pertimbangan faktor lingkungan seperti angin dan irradiasi matahari; berikutnya, menjelaskan tahap fabrikasi dan perakitan yang meliputi prosedur pembuatan rangka, pemotongan segmen material, teknik pemasangan, dan perakitan komponen mekanik, dengan setiap langkah diuraikan secara kronologis termasuk alat yang digunakan dan langkah pencegahan kesalahan seperti penggunaan jig presisi untuk akurasi; serta terakhir, menggambarkan tahap pengujian unjuk kerja yang mencakup variabel pengujian seperti bebas, terikat, dan terkendali, prosedur pengambilan data seperti kondisi cuaca dan frekuensi pelacakan, serta perhitungan daya dan efisiensi termal

menggunakan rumus kesetimbangan energi, dengan penjelasan mencakup standar pengujian yang diacu untuk memvalidasi hasil.

1.6.4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil perancangan dan pembuatan prototype kolektor surya parabola berbahan kaca beserta analisis pembahasannya. Hasil perancangan meliputi kalkulasi geometri parabola, dimensi reflektor, posisi titik fokus, serta spesifikasi komponen *receiver* yang digunakan. Proses fabrikasi mencakup pemotongan segmen kaca cermin, perakitan rangka besi, pemasangan receiver berbahan pipa tembaga, serta pengecatan hitam pada permukaan absorber. Hasil pengujian kinerja termal disajikan dalam bentuk data suhu pada titik fokus, intensitas radiasi matahari (*Direct Normal Irradiance*), dan estimasi daya termal yang dihasilkan. Pembahasan dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap model matematis kesetimbangan energi yang telah dirumuskan, sehingga dapat diketahui efisiensi prototype termal.

1.6.5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini menyampaikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil perancangan, fabrikasi, dan pengujian prototype kolektor surya parabola berbahan kaca. Kesimpulan mencakup spesifikasi akhir prototype yang dihasilkan, nilai efisiensi termal yang dicapai, serta kesesuaian antara hasil pengujian dengan target perancangan yang telah ditetapkan.

Saran berisi rekomendasi yang ditujukan kepada peneliti selanjutnya maupun pihak terkait, meliputi perbaikan desain reflektor, optimasi posisi receiver, serta pengembangan sistem pelacakan matahari otomatis guna meningkatkan kinerja kolektor surya parabola di masa mendatang."

