

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi sebagai pendinginan dan penyejuk udara meningkat dikarenakan efek pemanasan global, pertumbuhan penduduk, perkembangan industri, dan peningkatan standar hidup di negara berkembang. Teknologi pendinginan konvensional berbasis kompresi uap mengkonsumsi energi yang besar dan efek pemanasan global karena refrigeran yang digunakan, misalnya *hydrofluorocarbon* (HFC) yang menyebabkan masalah lingkungan (Domanski, 2014). Untuk itu, diperlukan teknologi pendinginan yang baru sebagai alternatif dalam menanggulangi hal tersebut. Diketahui bahwa semua bentuk materi memancarkan radiasi, dan menurut hukum Stefan-Boltzmann, semakin tinggi suhu suatu benda, semakin kuat daya pancarnya (James, 2004). Radiasi merupakan pemancaran suatu energi dari sumber radiasi dalam bentuk partikel (foton) maupun gelombang elektromagnetik (Henly, 2015). Pendinginan radiasi adalah proses dimana permukaan kehilangan panas melalui radiasi termal. Bumi memiliki suhu permukaan sekitar 300 K dan alam semesta memiliki suhu sekitar 3 K (Fixsen, 2009). Perbedaan suhu yang besar antara bumi dan alam semesta berpotensi dapat dimanfaatkan untuk mendinginkan permukaan bumi dengan memancarkan radiasi inframerah termal ke alam semesta melalui atmosfer. Tidak seperti teknologi pendinginan konvensional yang membuang limbah panas ke lingkungan, pendinginan secara radiasi mengirimkan panas berlebih ke luar angkasa tanpa konsumsi energi.

Pentingnya pendinginan secara radiasi telah lama dikenal karena sifatnya yang tidak memerlukan energi tambahan dan penerapan pendinginan secara radiasi dapat ditelusuri kembali beberapa abad yang lalu. Namun, baru pada tahun 1960-an fenomena ini diselidiki secara sistematis (Granqvist, 1980). Studi penelitian tentang pendinginan radiasi secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu penelitian untuk memahami fenomena ini dan riset pengaplikasiannya. Kategori pertama mengidentifikasi prinsip-prinsip dasar, seperti sifat emisivitas permukaan pendinginan radiasi, pancaran spectral atmosfer, dan ketergantungan pendinginan

radiasi pada panjang gelombang, sudut kejadian, dan lokasi geografis. Kategori kedua berfokus pada menemukan material baru dengan sifat radiasi yang diinginkan dan mengeksplorasi pendinginan radiasi untuk rancangan aplikasi yang berbeda misalnya, pendinginan bangunan, sel surya, hingga pembangkit listrik.

Indonesia merupakan salah satu negara tropis dengan suhu yang sangat tinggi. Suhu sehari-hari di beberapa kota di Indonesia seperti Jakarta, Kalimantan, Surabaya, Gresik, dan sekitarnya bisa mencapai hingga 30°C. Tingginya suhu udara ini membuat hampir seluruh bangunan yang ada di Indonesia menggunakan alat pendingin berupa air *conditioner* (AC). Penggunaan air *conditioner* (AC) dalam skala besar ini menghabiskan banyak energi. Di Arab Saudi, 70% dari penggunaan energi listrik merupakan penggunaan AC. Tidak hanya itu, penggunaan AC di negara India juga mengambil 45% dari total kebutuhan energi listrik yang ada (Chen, 2020). Selain itu, menurut data pada studi Bloomberg New Energy Finance, konsumsi listrik AC perumahan dan komersial dunia mencapai 1.932 TW/h pada tahun 2018. Konsumsi listrik AC China menyumbang 34% peringkat pertama di dunia (Chen, 2020). Keadaan ini menjadi serius karena nilai yang semakin bertambah setiap tahunnya.

Studi penelitian sebelumnya tentang pendinginan radiasi terbatas pada penggunaan pada malam hari yaitu nokturnal *radiation* karena beberapa persen penyerapan matahari intensitasnya sekitar 1000 W/m² pada siang hari sedangkan daya pendinginan radiasi yang keluar sekitar 100-150 W/m² tergantung pada suhu permukaan (Granqvist, 1981). Secara umum, pendinginan secara radiasi dapat menghasilkan rata-rata 40-80 W/m² daya pendinginan bersih pada malam hari dengan kondisi langit cerah, yang menunjukkan bahwa diperlukan luas permukaan yang relatif besar untuk menghasilkan daya pendinginan yang relevan. Maka dengan ini, kebutuhan area permukaan yang besar untuk pendinginan secara radiasi dalam aplikasi bangunan dikaitkan dengan biaya pemasangan dan perawatan yang tinggi. Smith dan Granqvist (CRC Press, 2010), menyebutkan bahwa bidang ilmu pendinginan radiasi telah gagal mencapai potensinya dengan selisih yang lebar karena hanya sedikit ilmuwan yang aktif di bidang teknis ini dan cakupan teknologi yang beragam tidak dipahami dengan baik.

Bahan *radiative cooling* selama ini adalah kain nanoPE dan tekstil lainnya. Penelitian sebelumnya membuktikan bahwa beberapa material coating yang dibuat dari polimer sintesis dengan porositas random dapat menghasilkan *radiative cooling*. Perbedaan yang diperoleh sekitar 5-9 °C dibawah suhu lingkungan. Hasil perhitungan memperkirakan potensi penghematan energi sampai 100 W/m². Polimer sintesis ini memiliki efek tidak ramah lingkungan karena penggunaan pelarut dan potensi mikroplastik. Bahan tersebut termasuk polimer plastik dan tidak berkelanjutan. Salah satu bahan berkelanjutan adalah selulosa. Selulosa merupakan polisakarida yang banyak dijumpai dalam dinding sel tanaman. Pada kayu sendiri mengandung sekitar 50% berat selulosa dan kapas hampir 90% mengandung selulosa (Campbell, 2002). Salah satu jenis selulosa, yaitu selulosa nanokristal diteliti dalam bentuk aerogel dengan jenis *cross-linked cellulose nanocrystals* (CNSs) (Cai, 2022). Selulosa merupakan polimer alam paling banyak di muka bumi. Sehingga polimer alam selulosa ini lebih diminati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selulosa memiliki kemampuan *radiative cooling*. Beberapa penelitian menggunakan selulosa dari kayu ataupun nano selulosa kristal. Namun, proses pembuatan selulosa dan nanoselulosa dari kayu ini menggunakan bahan-bahan berbahaya, energi yang intensif dan melalui proses yang rumit. Untuk itu, digunakan proses pembuatan nanoselulosa melalui fermentasi. Dalam penelitian ini, hasil yang didapatkan adalah selulosa mampu menurunkan suhu hingga -9 C pada kondisi cuaca normal, dan -7 C pada kondisi cuaca ekstrim dibawah sinar matahari secara langsung. Akan tetapi, perhitungan terkait pendinginan menggunakan bahan selulosa belum banyak diteliti dan belum diketahui. Padahal, untuk mendapatkan bahan dan desain yang sesuai diperlukan proses simulasi. Sehingga pada penelitian ini, akan dilakukan perhitungan numerik *cooling power* selulosa nanofiber menggunakan prinsip perpindahan panas secara radiasi dengan analisa komputasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*). CFD ini sebuah teknik komputasi yang dapat digunakan untuk memprediksi, mensimulasikan, dan menganalisa aliran fluida, perpindahan kalor, serta reaksi kimia yang diperlukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana metode perhitungan energi dalam pendinginan radiasi nanofiber selulosa?
2. Berapa *cooling power* teoritis dari selulosa nanofiber dengan validasi temperatur hasil eksperimen dalam simulasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah tersebut, maka dapat disimpulkan tujuannya adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui metode perhitungan energi dalam pendinginan radiasi nanofiber selulosa.
2. Untuk mengetahui *cooling power* teoritis dari selulosa nanofiber dengan validasi temperatur hasil eksperimen dalam simulasi.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini akan dibatasi pada masalah sebagai berikut:

1. Komputasi numerik berdasarkan data yang diperoleh pada hasil uji eksperimen selulosa nanofiber.
2. Perhitungan *cooling power* dilakukan dengan prinsip perpindahan panas secara radiasi.
3. Penggunaan ukuran mesh dan bentuk geometri dari suatu benda mempengaruhi konvergensi suatu simulasi.
4. Koefisien perpindahan panas suatu benda menggunakan nilai konduktivitas dari selulosa.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengaplikasikan prinsip perpindahan panas secara radiasi dalam komputasi numerik *cooling power* selulosa nanofiber.

2. Mengetahui metode perhitungan energi dalam pendinginan radiasi nanofiber selulosa.
3. Mengetahui cooling power teoritis dari selulosa nanofiber dengan validasi temperatur hasil eksperimen dalam simulasi.
4. Sebagai referensi dan bahan kajian penelitian berikutnya agar mencoba berbagai variasi percobaan sehingga diperoleh data yang lebih lengkap mengenai metode perhitungan numerik *cooling power* selulosa nanofiber menggunakan prinsip perpindahan panas secara radiasi.

