

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan sumber daya yang dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas, seperti bahan bakar, listrik, energi mekanik, hingga panas. Energi ini berasal dari sumber energi, yakni sesuatu yang mampu menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses transformasi atau konversi. Sumber energi sendiri adalah bagian dari sumber daya alam, termasuk minyak dan gas bumi, batu bara, air, panas bumi, gambut, biomassa, dan lainnya, yang dapat digunakan secara langsung maupun tidak langsung sebagai energi (Azhar & Adam Satriawan, 2018).

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, sumber energi baru didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan melalui teknologi inovatif, baik yang berasal dari energi terbarukan maupun tak terbarukan. Contoh dari sumber energi baru ini antara lain energi nuklir, hidrogen, gas metana dari batu bara (*coal bed methane*), batu bara yang dicairkan (*liquified coal*), dan batu bara yang diubah menjadi gas (*gasified coal*). Sementara itu, sumber energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat terus diperbarui dan berkelanjutan jika dikelola dengan bijak. Contohnya termasuk panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, arus dan air terjun, serta pergerakan dan perbedaan suhu di lapisan laut (El Fandari et al., 2014).

Energi panas bumi adalah jenis energi terbarukan yang berasal dari panas yang tersimpan di dalam lapisan kerak bumi. Indonesia memiliki potensi sumber daya panas bumi yang cukup besar, dengan karakteristik yang umumnya tergolong dalam kategori entalpi sedang hingga tinggi. Dengan potensi ini, energi panas bumi dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pembangkit listrik, yang berperan penting dalam mendukung peningkatan rasio elektrifikasi di seluruh wilayah Indonesia (Afriandi &

Hantoro, 2018).

Indonesia memiliki banyak sekali sumber daya panas bumi yang berasal dari aktivitas vulkanik maupun non-vulkanik, dengan total mencapai 276 titik. Mengacu pada Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional tahun 2008–2027, potensi energi panas bumi di Indonesia diperkirakan sebesar 27,5 GWe. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara dengan cadangan panas bumi terbesar di dunia, yaitu sekitar 40% dari total potensi global, yang tersebar di 256 titik di seluruh Indonesia (Trisakti et al., 2020).

Sumber energi panas bumi atau *geothermal* tersebar cukup merata di seluruh wilayah Indonesia. Berdasarkan data yang ada, terdapat lebih dari 300 lokasi sumber panas bumi yang membentang dari Sabang hingga Merauke. Energi ini berpotensi besar sebagai alternatif pengganti energi tak terbarukan, seperti bahan bakar fosil, terutama untuk keperluan pembangkit listrik dan sektor transportasi. Pemanfaatan energi panas bumi secara optimal tidak hanya akan membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, tetapi juga menjadi solusi penting dalam memenuhi kebutuhan listrik nasional, yang hingga kini masih menjadi tantangan bagi pemerintah Indonesia (Nurwahyudin & Harmoko, 2020).

Pemanfaatan energi panas bumi untuk pembangkitan listrik di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1980-an, dengan beroperasinya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Kamojang Unit I pada Februari 1983 yang memiliki kapasitas 30 Megawatt. Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), ditargetkan pada tahun 2025 kontribusi listrik dari PLTP mencapai 7,2 Gigawatt secara nasional. Namun, hingga kini pengembangan energi panas bumi masih tergolong minim, meskipun potensi panas bumi di Indonesia diperkirakan mencapai 28,5 Gigawatt. Hingga September 2018, pemanfaatan energi panas bumi baru mencapai 1.948,5 Megawatt yang tersebar di 12 PLTP di seluruh Indonesia (M. Batubara, 2018).

Energi panas bumi memiliki potensi besar untuk berkontribusi dalam bauran energi di masa depan karena karakteristiknya yang berbiaya

rendah, tersebar luas, dan ramah lingkungan dengan emisi polusi yang rendah. Namun, uap panas bumi mengandung senyawa kimia bersifat korosif yang bisa menyebabkan kerusakan pada peralatan. Hal ini berdampak pada meningkatnya biaya perawatan, penggunaan material khusus, serta kerugian produksi akibat gangguan operasional (Nikitasari et al., 2019).

Bilah turbin adalah komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga panas bumi yang berfungsi untuk menggerakkan generator melalui tekanan uap panas bumi yang diarahkan ke sudu turbin. Uap panas bumi ini mengandung berbagai senyawa kimia korosif, seperti Hidrogen Sulfida (H_2S), Karbon Dioksida (CO_2), Amonia (NH_3), Klorida (Cl^-), dan Sulfat (SO_4^{2-}), yang dapat menyebabkan korosi pada material bilah turbin seiring waktu (Karlsdottir et al., 2015). Oleh karena itu, material yang digunakan harus memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi, mampu bertahan pada suhu ekstrem, dan memiliki sifat mekanis yang kuat untuk menghadapi kondisi operasional yang berat (Yamamoto et al., n.d.).

Stress Corrosion Cracking (SCC) menjadi jenis korosi mekanisme utama kegagalan dalam bilah blade turbin PLTP karena merupakan kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan korosif. SCC menyumbang sebesar 20,3% dari total kegagalan komponen lebih tinggi dari korosi umum (12,4%) dan korosi-erosi (19,1%)(Yang et al., 2021).

Baja tahan karat 17-4 PH merupakan jenis baja tahan karat martensit yang mengalami pengerasan presipitasi, memiliki kekuatan tinggi seperti baja tahan karat martensit serta ketahanan korosi yang sangat baik seperti baja tahan karat austenik. Banyak komponen penting dalam aplikasi industri, seperti komponen mesin jet, roda gigi, peralatan proses kimia, komponen dan dek reaktor nuklir diproduksi oleh material ini (Karthik et al., 2015).

Keuntungan penting dari baja nirkarat PH adalah kemampuannya. Selain itu, baja nirkarat PH juga menunjukkan ketahanan *fatigue* yang baik. SS 17-4 PH memiliki batas ketahanan *fatigue* yang tinggi, yang penting

untuk komponen yang mengalami pembebanan siklik seperti sudu turbin (Schönbauer et al., 2014). Misalnya jika dibandingkan dengan SS 410 kurang cocok digunakan pada turbin PLTP karena memiliki ketahanan panas yang kurang baik, atau SS 15-5 PH yang memiliki harga yang lebih mahal dan lebih sulit untuk difabrikasi (Sakai Yoshihiro et al., 2005).

SS 17-4 PH memiliki keunggulan terhadap *Stress Corrosion Cracking* (SCC) dan *korosi fatigue* yang lebih baik dilingkungan operasional. Dalam uji potensiodinamik, SS 17-4 PH memiliki potensi pitting yang lebih tinggi dibandingkan dengan SS 410, menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap inisiasi *corrosion pitting* yang dapat memicu retak korosi. Dalam analisis laju pertumbuhan retak pada *corrosion fatigue*, SS 17-4 PH menunjukkan laju pertumbuhan retak yang lebih rendah dibandingkan dengan SS 15-5 PH dan SS 410 mengindikasikan ketahanan yang lebih baik terhadap SCC dan keausan akibat siklus beban berulang. Dalam uji SCC SS 17-4 PH menunjukkan ketahanan terbaik bahkan pada suhu yang lebih tinggi (90°C) dibandingkan dengan SS 15-5 PH dan SS 410 yang diuji pada suhu 60°C menunjukkan kemampuannya untuk bertahan di kondisi ekstrim.

Penyebab kegagalan bilah turbin lainnya adalah struktur mikro material yang halus dan distribusi martensit berbutir kasar yang tidak merata karena perlakuan panas pada bilah yang tidak tepat, terdapat tegangan struktur mikro yang tinggi pada *heat affected zone* (HAZ) yang secara tidak langsung menyebabkan timbulnya retakan pada bilah turbin (Yang et al., 2021).

Proses perlakuan panas sangat mempengaruhi sifat mekanik baja tahan karat SS 17-4 PH, karena mempengaruhi transformasi mikrostruktur, termasuk perubahan fasa, pengerasan presipitasi, dan penyempurnaan butiran. Pemilihan parameter perlakuan panas, seperti suhu perlakuan larutan, suhu penuaan, dan laju pendinginan, menentukan kekuatan akhir, kekerasan, dan ketangguhan material, yang sangat penting untuk aplikasi kinerja tinggi seperti bilah turbin PLTP. Perlakuan panas yang tepat

meningkatkan presipitasi fase kaya Cu, meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi, sementara perlakuan yang tidak memadai dapat menyebabkan fase yang tidak diinginkan yang mengurangi kinerja material (Sabooni et al., 2021).

Pengembangan komponen turbin *geothermal*, seperti *blade*, *rotor* dan *stator* yang selama ini masih di impor dari luar negeri menjadi fokus para peneliti di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian terkait teknologi material untuk blade turbin sangat diperlukan guna mengurangi ketergantungan terhadap impor.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi siklus *heat treatment* material yang optimal sehingga dalam penggunaannya dapat meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional dan memperpanjang umur turbin serta mendukung ketahanan energi berkelanjutan dalam industri PLTP. Mene

Sebelumnya telah dilakukan penelitian dengan menggunakan baja SS 17-4 PH dengan komposisi yang sama tetapi fabrikasi *Selective Laser Melting* dari berbagai orientasi dengan perlakuan panas *Solution annealing* pada suhu 1038°C selama 30 menit diikuti dengan pendinginan udara, kemudian diikuti dengan aging pada suhu 482°C selama 1 jam (condition H900) diperoleh hasil *yield strength* berkisar antara 970 hingga 1080 MPa, untuk data *Ultimate Tensile Strength* (UTS) diperoleh dari kisaran 1100 hingga 1240 MPa dan *Elongation to failure* diperoleh angka berkisar 1.0 – 1.2 % dari panjang mula mula. (Mahmoudi et al., 2017). Terkait dengan laju korosi sebelumnya telah dilakukan penelitian dengan menggunakan komposisi yang sama tetapi fabrikasi *Rolling plates*, material diberi 3 perlakuan panas. Pada kondisi (A), material dipanaskan hingga 1040°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dan selanjutnya mengalami aging pada suhu 550°C selama 4 jam. Pada kondisi (B), material juga mengalami pemanasan awal hingga 1040°C selama 1 jam, tetapi setelah pendinginan, dilakukan aging bertahap, yaitu pada 520°C selama 4 jam sebelum akhirnya di-aging kembali pada 550°C selama 4 jam. Sementara itu, pada kondisi

(C), setelah pemanasan awal hingga 1040°C selama 1 jam dan pendinginan, material mengalami tahap intermediat pada 820°C selama 0,5 jam sebelum akhirnya menjalani aging pada 550°C selama 4 jam. Diperoleh hasil bahwa kondisi C memiliki ketahanan korosi yang terbaik (0.058 mmpy) dan kondisi B memiliki ketahanan korosi terburuk (0.137 mmpy).

Pada penelitian ini penulis akan melakukan penelitian dengan mengikuti standar ASTM A747 yaitu siklus H900, siklus variasi dan siklus H1025. Metode fabrikasi material yang digunakan adalah *Investment Casting* dan larutan yang digunakan untuk pengujian korosi adalah larutan yang berasal dari PLTP Dieng.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana karakteristik sifat mekanis (kekuatan tarik dan kekerasan) pada material *stainless steel* 17-4 PH terhadap 3 variasi perlakuan *heat treatment*?
- b. Bagaimana pengaruh variasi *heat treatment* terhadap mikrostruktur material *stainless steel* 17-4 PH ?
- c. Bagaimana pengaruh variasi *heat treatment* terhadap ketahanan korosi pada material *stainless steel* 17-4 PH?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis dan membandingkan pengaruh variasi *heat treatment* terhadap karakteristik sifat mekanik dari material *stainless steel* 17-4 PH
- b. Menganalisis pengaruh variasi *heat treatment* terhadap mikrostruktur material *stainless steel* 17-4 PH
- c. Menganalisis pengaruh variasi *heat treatment* terhadap ketahanan korosi dari material *stainless steel* 17-4 PH

1.4 Manfaat Penelitian

a. Manfaat Teoritis

Menambah wawasan mengenai pengaruh variasi *heat treatment* terhadap sifat mekanik, ketahanan korosi dan perubahan mikrostruktur.

b. Manfaat Praktis

Dengan memahami karakteristik mekanis, ketahanan korosi dan pengaruh variasi perlakuan panas terhadap material *stainless steel* 17-4 PH hasil penelitian dapat memberikan panduan praktis untuk pemilihan material terbaik dalam aplikasi turbin di PLTP. Pembangkit listrik dapat berjalan lebih efisien dan berkelanjutan. Hal ini mendukung ketahanan energi nasional dengan memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan.



