

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk merekayasa dan mengkarakterisasi baja nirkarat 17-4 PH sebagai kandidat material *blade* turbin Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) melalui metode *investment casting* yang dilakukan di PT SPVMB, dengan empat variasi kondisi perlakuan panas, yaitu H900 (sampel A), nilai rata-rata antara H900 dan H1025 (AVG – sampel B), H1025 (sampel C), dan kondisi tanpa perlakuan panas atau *as-cast* (sampel D). Cairan uji korosi yang digunakan berupa brine asli dari PLTP Dieng, sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif terhadap kondisi aktual lapangan. Berdasarkan hasil pengujian mekanik, mikrostruktur, dan ketahanan korosi, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Karakteristik sifat mekanis (kekuatan tarik dan kekerasan): Perlakuan panas memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik material. Sampel H900 menunjukkan nilai kekerasan dan yield strength tertinggi (48,46 HRC dan 939,25 MPa), sedangkan sampel H1025 dan AVG tetap memenuhi standar minimum blade turbin PLTP dengan kekerasan di atas 42 HRC dan yield strength >800 MPa. Namun, seluruh sampel memiliki nilai modulus elastisitas yang jauh di bawah standar, yang kemungkinan disebabkan oleh cacat internal seperti porositas akibat proses pengecoran.
2. Pengaruh variasi heat treatment terhadap mikrostruktur: Pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa variasi perlakuan panas memengaruhi morfologi dan distribusi fasa martensit serta presipitat. Struktur martensitik pada sampel H900 lebih padat dan kasar, sedangkan struktur pada sampel H1025 lebih halus dan homogen, dengan presipitasi yang lebih tersebar merata, yang berkontribusi terhadap stabilitas mekanik dan ketahanan korosi.

3. Pengaruh variasi heat treatment terhadap ketahanan korosi: Perlakuan H1025 menghasilkan laju korosi terendah sebesar 0,027 mm/tahun, berada di bawah ambang batas standar (0,1 mm/tahun) dan mendekati target ideal ($<0,05$ mm/tahun). Sementara itu, perlakuan H900 memiliki laju korosi tertinggi (0,053 mm/tahun), meskipun masih dalam batas aman. Sampel as-cast menunjukkan ketahanan korosi sedang, namun tidak memiliki performa mekanik yang memadai.



5.2 Saran

Sebagai penyempurnaan dalam pemilihan material untuk *blade* turbin PLTP, penulis menyarankan penelitian lanjutan, antara lain :

a. Saran Praktis

1. Implementasi Kondisi H900 untuk Komponen Bilah Turbin Dinamis
Berdasarkan hasil uji kekerasan dan kekuatan tarik, perlakuan panas H900 dapat direkomendasikan untuk komponen bilah turbin yang berada pada zona dengan beban sentrifugal tinggi. Penerapannya dalam produksi nyata sebaiknya dikombinasikan dengan kontrol presisi terhadap waktu dan suhu aging untuk menghindari deviasi sifat mekanis.
2. Optimalisasi Fabrikasi melalui Investment Casting
Proses investment casting terbukti menghasilkan struktur mikro yang baik setelah perlakuan panas. Namun, penting untuk melakukan homogenisasi awal atau solution treatment yang lebih panjang agar mengurangi segregasi paduan pada kondisi awal sebelum aging.
3. Uji Lapangan dalam Kondisi Operasional Geothermal
Untuk aplikasi praktis, disarankan uji ketahanan material dilakukan langsung dalam kondisi aktual PLTP seperti Dieng atau Kamojang, meliputi uji korosi jangka panjang, uji fatigue termal, dan uji erosi oleh fluida yang membawa partikel.
4. Pertimbangan Ekonomi dan Keamanan Rantai Pasok Material Lokal
Material SS 17-4 PH yang digunakan dalam penelitian ini dapat dijadikan alternatif pengganti impor jika diproduksi secara lokal. Kolaborasi dengan manufaktur nasional seperti Krakatau Steel atau PT SPVMB perlu dipertimbangkan dalam skala pilot project untuk turbin geothermal Indonesia.

b. Saran Teoritis

1. Studi Lanjutan tentang *Fatigue* dan *Creep*
Penelitian ini belum mencakup karakteristik *fatigue* (kelelahan siklik)

dan *creep* (rayapan termal), padahal kedua fenomena ini sangat kritis dalam operasi turbin jangka panjang. Penelitian berikut dapat fokus pada uji *fatigue-low cycle* atau *creep rupture* pada suhu 250–300°C.

2. Pemodelan Mikrostruktur berbasis Simulasi Thermo-Calc dan JMatPro

Untuk memahami transisi presipitasi secara mendalam, disarankan penggunaan perangkat lunak simulasi fasa seperti Thermo-Calc atau JMatPro agar dapat memprediksi pertumbuhan presipitat Cu dan fasa δ ferrite selama aging.

3. Eksplorasi Pengaruh *Thermomechanical Treatment* (TMT)

Kombinasi perlakuan panas dan deformasi plastis (misal *forging + aging*) dapat menghasilkan grain refinement yang lebih tajam dan meningkatkan kekuatan tanpa mengorbankan keuletan. Topik ini relevan untuk bilah turbin modular atau micro-turbine.

4. Uji Korosi Elektrokimia Lanjut (Tafel, EIS, SCC)

Penelitian ini baru mencakup pengujian OCP. Penelitian mendatang sebaiknya mencakup analisis Tafel Plot, *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), dan uji SCC agar ketahanan korosi dapat dipahami secara kuantitatif, termasuk laju korosi aktual (mmpy) dan densitas arus korosi (Icorr).

5. Studi Banding dengan Material Alternatif (CA6NM, IN625, atau SS 15-5 PH)

Untuk mendapatkan perspektif kompetitif, penelitian mendatang bisa membandingkan SS 17-4 PH dengan baja martensitik lain seperti CA6NM atau superalloy seperti IN625 dalam konteks lingkungan geothermal.