

BAB V PENUTUP

Pada bab ini disajikan kesimpulan penelitian yang secara langsung menjawab rumusan masalah berdasarkan hasil analisis keandalan sistem *Controllable Pitch Propeller* menggunakan metode *Bayesian Network*, serta implikasinya terhadap strategi pemeliharaan.

5.1 Kesimpulan

Penelitian analisis keandalan sistem CPP pada kapal AHTS North Silver menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Tingkat Keandalan Sistem CPP

Berdasarkan hasil inferensi pada model Bayesian Network yang dibangun, diperoleh bahwa probabilitas kegagalan sistem CPP (*CPP Failure*) sebesar 0,26 (26%), sedangkan probabilitas sistem berada dalam kondisi normal sebesar 0,74 (74%). Dengan demikian, nilai keandalan sistem CPP adalah sebesar 0,74 (74%), yang menunjukkan bahwa sistem masih memiliki kemampuan beroperasi secara normal, namun memiliki tingkat risiko kegagalan yang cukup signifikan.

Nilai keandalan tersebut merupakan hasil propagasi kegagalan dari seluruh komponen yang saling terhubung dalam model Bayesian Network, sehingga mencerminkan kondisi keandalan sistem secara menyeluruh. Hasil ini menunjukkan bahwa kegagalan sistem CPP tidak terjadi secara acak, melainkan dipengaruhi oleh interaksi antar komponen yang membentuk subsistem utama.

Pada tingkat komponen, diperoleh bahwa komponen dengan probabilitas kegagalan tertinggi adalah:

- a. Hub Seal = 0,26 (26%)
- b. Hub Lubrication System = 0,21 (21%)
- c. Pitch Actuator = 0,20 (20%)

Selain itu, komponen lain seperti:

- a. Hydraulic Control Valve = 0,16 (16%)
- b. Servo Hydraulic System = 0,14 (14%)
- c. Hydraulic Accumulator = 0,09 (9%)

Juga menunjukkan tingkat kegagalan yang relatif tinggi. Nilai ini mengindikasikan bahwa komponen pada subsistem mekanis (hub) dan hidrolik memiliki kontribusi dominan terhadap penurunan keandalan sistem CPP.

Sebaliknya, sebagian besar komponen lainnya memiliki probabilitas kegagalan relatif rendah, yaitu pada kisaran 0,01–0,08, yang menunjukkan kontribusi kegagalan yang lebih kecil terhadap sistem. Namun demikian, interaksi antar komponen tetap berpotensi meningkatkan risiko kegagalan sistem secara keseluruhan.

2. Hubungan Ketergantungan Antar Komponen

Model Bayesian Network yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu merepresentasikan hubungan ketergantungan antar komponen sistem CPP dalam bentuk *Directed Acyclic Graph*, yang menggambarkan hubungan sebab-akibat antara *basic event*, komponen utama, hingga kegagalan sistem.

Penyusunan struktur hubungan antar komponen dalam model Bayesian Network mengacu pada manual book sistem Controllable Pitch Propeller (MAN Diesel VBS-Propeller-Mk3), sehingga keterkaitan antar komponen yang dimodelkan merepresentasikan kondisi aktual sistem di lapangan, baik dari sisi fungsi, alur kerja, maupun interaksi antar subsistem mekanik, hidrolik, dan kontrol.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kegagalan sistem CPP merupakan hasil dari propagasi kegagalan multi-komponen, di mana kegagalan pada *basic event* akan terakumulasi pada komponen utama (*intermediate node*) sebelum akhirnya

mempengaruhi node *CPP Failure* sebagai *top event*.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, diperoleh bahwa komponen yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kegagalan sistem adalah:

- a. Hub Seal / Seal Oil Line
- b. Hub Lubrication System
- c. Pitch Actuator
- d. Hydraulic Control Valve

Komponen-komponen tersebut memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi karena berperan langsung dalam mekanisme perubahan *pitch* serta sistem hidrolik, yang merupakan fungsi utama dalam sistem CPP. Kegagalan pada komponen tersebut dapat meningkatkan probabilitas kegagalan sistem secara signifikan melalui mekanisme propagasi dalam jaringan Bayesian.

Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa tidak terdapat satu penyebab tunggal yang dominan, melainkan kegagalan sistem merupakan hasil interaksi dari berbagai komponen yang saling bergantung. Hal ini menunjukkan bahwa sistem CPP merupakan sistem dengan tingkat ketergantungan tinggi (*high dependency system*), di mana kegagalan satu komponen dapat memicu kegagalan pada komponen lainnya dan berdampak pada sistem secara keseluruhan.

3. Strategi Pemeliharaan Berbasis Keandalan

Berdasarkan hasil analisis probabilitas kegagalan menggunakan Bayesian Network dan analisis Pareto dengan prinsip 80/20, diperoleh bahwa sebagian besar kontribusi kegagalan sistem CPP berasal dari sejumlah kecil komponen utama.

Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen yang termasuk dalam kategori sangat kritis ($\leq 80\%$ kumulatif) adalah:

- a. Hub Seal
- b. Hub Lubrication System
- c. Pitch Actuator
- d. Hydraulic Control Valve
- e. Servo Hydraulic System
- f. Hydraulic Accumulator
- g. Hydraulic Oil System
- h. Servo Valve

Komponen-komponen tersebut secara kumulatif memberikan kontribusi lebih dari 80% terhadap kegagalan sistem, sehingga menjadi prioritas utama dalam penentuan strategi pemeliharaan. Sementara itu, komponen lainnya seperti Proportional Control Valve, Pitch Controller, Oil Cooler, hingga Hydraulic Oil Filter termasuk dalam kategori menengah ($> 80\%$ kumulatif) dengan kontribusi kegagalan yang relatif lebih kecil.

Berdasarkan hasil tersebut, strategi pemeliharaan yang direkomendasikan adalah risk-based maintenance, yang disusun berdasarkan kombinasi tingkat probabilitas kegagalan dan tingkat kekritisan komponen, dengan pembagian sebagai berikut:

- a. Condition-Based Maintenance untuk komponen sangat kritis dengan risiko tinggi
- b. Preventive Maintenance untuk komponen dengan risiko menengah

Pendekatan ini menunjukkan bahwa pemeliharaan tidak dilakukan secara merata pada seluruh komponen, melainkan difokuskan pada komponen dengan kontribusi kegagalan terbesar, sehingga lebih efektif dalam meningkatkan keandalan sistem CPP.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa metode Bayesian Network mampu digunakan secara efektif dalam analisis keandalan sistem CPP karena dapat mengintegrasikan probabilitas kegagalan komponen, memodelkan hubungan

ketergantungan antar komponen, serta mengidentifikasi komponen kritis secara kuantitatif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem CPP memiliki nilai keandalan sebesar 0,74 (74%), dengan kegagalan sistem yang didominasi oleh komponen pada subsistem mekanis dan hidrolis. Dengan demikian, penerapan strategi pemeliharaan berbasis risiko yang difokuskan pada komponen kritis dapat meningkatkan keandalan sistem secara signifikan serta mendukung keselamatan operasional kapal.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dan kesimpulan yang dijabarkan, maka berikut saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini sehingga dapat digunakan untuk penelitian – penelitian selanjutnya:

1. Pengembangan Model Keandalan
Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model Bayesian Network secara dinamis dengan mempertimbangkan faktor waktu dan degradasi komponen, sehingga hasil analisis keandalan menjadi lebih akurat dan representatif.
2. Penerapan Risk-Based Maintenance
Disarankan kepada pihak operator kapal untuk menerapkan strategi *risk-based maintenance* dengan fokus pada komponen kritis seperti hub seal, hub lubrication system, dan pitch actuator, guna meningkatkan keandalan sistem dan mengurangi risiko kegagalan.
3. Peningkatan Sistem Monitoring dan Data
Diperlukan integrasi dengan sistem monitoring berbasis sensor serta pengumpulan data kegagalan yang lebih lengkap agar analisis keandalan dapat dilakukan secara lebih akurat dan mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan.