

PEMECAHAN MASALAH DALAM Mencari KESALAHAN (*TROUBLE SHOOTING*) DENGAN METODE SISTEM PAKAR (*EXPERT SYSTEM*) MENGGUNAKAN TEOREMA BAYESIAN PADA MESIN KAPAL

Aris Yulianto¹, Kurniawan Dwi Septiady, Aditya Praja, Slamet
Mugono

Teknik Elektronika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan
Jl. Raya Pahlawan No. Gejlig – Kajen Kab. Pekalongan
Telp.: (0285) 385313, www.fastikom.umpp.ac.id

Abstrak

Troubleshooting merupakan pencarian sumber masalah secara sistematis sehingga masalah tersebut dapat diselesaikan. *Troubleshooting* juga usaha dalam proses penghilangan masalah, dan juga proses penghilangan penyebab potensial dari sebuah masalah. Sistem pakar adalah cabang kecerdasan buatan yang menggunakan pengetahuan khusus untuk memecahkan masalah pada level pakar. Masalah ketidakpastian pengetahuan dalam system pakar ini diatasi dengan metode probabilitas *Bayesian*. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun system pakar (*expert system*) untuk melakukan *troubleshooting* terhadap kerusakan (*trouble/fault*) yang tampak kemungkinan kerusakannya (*possible cause*) pada mesin induk (*Main Engine*) kapal ARIMBI kapal milik PT. PERTAMINA (Persero)

Keywords: *troubleshooting*, sistem pakar, teorema bayesian, mesin induk kapal.

1. PENDAHULUAN

Troubleshooting merupakan pencarian sumber masalah secara sistematis sehingga masalah tersebut dapat diselesaikan. *Troubleshooting* juga usaha dalam proses penghilangan masalah, dan juga proses penghilangan penyebab potensial dari sebuah masalah. Sistem pakar adalah cabang kecerdasan buatan yang menggunakan pengetahuan khusus untuk memecahkan masalah pada level pakar (Giarratano dan Riley, 1994). Masalah ketidakpastian pengetahuan dalam system pakar ini diatasi dengan metode probabilitas *Bayesian*. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun system pakar (*expert system*) untuk melakukan *troubleshooting* terhadap kerusakan (*trouble/fault*) yang tampak kemungkinan kerusakannya (*possible cause*).

pada mesin induk (*main engine*) kapal ARIMBI kapal milik PT. PERTAMINA (Persero).

Didalam operasional kapal, diperlukan cara cepat, tepat dan efisien dalam menangani kerusakan mesin induk (*main engine*). Data seperti langkah-langkah *trouble shooting*, gambar teknik, *contact engineer*, ketersediaan *part* sangat membantu *crew* kapal dalam mengatasi masalah. Dengan masukan yang dirancang untuk pengguna (*user*) berupa; data *ship* atau nama kapal, data *equipment* atau nama peralatan diatas kapal, data *maker* atau nama pembuat peralatan, data *type* atau jenis peralatan dan data *trouble / fault* atau gejala kerusakan.

Keluaran sistem pakar ini adalah hasil diagnosa berupa data langkah – langkah *trouble shooting*, data *possible cause* atau kemungkinan penyebab kerusakan, data *picture* atau gambar dari *manual book*, data *history* atau sejarah kerusakan yang pernah terjadi, data *contact* atau *email contact* ke *maker engineer*, data *Minimum Stock Level (MSL) Part* yang tersedia diatas kapal.

2. SISTEM PAKAR

2.1 Pengertian Sistem Pakar

Sistem pakar adalah cabang kecerdasan buatan yang menggunakan pengetahuan khusus untuk memecahkan masalah pada level pakar (Giarratano dan Riley, 2005). Sistem ini memiliki informasi yang berisi dengan pengetahuan dari pakar sehingga dapat digunakan untuk konsultasi. Pengetahuan dari pakar di dalam sistem ini digunakan sebagai dasar oleh Sistem Pakar untuk menjawab pertanyaan (konsultasi). Kepakaran (*expertise*) adalah pengetahuan yang ekstensif dan spesifik yang diperoleh melalui rangkaian pelatihan, membaca, dan pengalaman. Pengetahuan membuat pakar dapat mengambil keputusan secara lebih baik dan lebih cepat daripada non-pakar dalam memecahkan problem yang kompleks. Kepakaran mempunyai sifat berjenjang, pakar senior memiliki pengetahuan lebih banyak daripada pakar junior. Tujuan Sistem Pakar adalah untuk mentransfer kepakaran dari seorang pakar ke komputer, kemudian ke orang lain yang bukan pakar.

Jenis program ini pertama kali dikembangkan oleh periset kecerdasan buatan pada dasawarsa 1960-an dan 1970-an dan diterapkan secara komersial selama 1980-an. Bentuk umum sistem pakar adalah suatu program yang dibuat berdasarkan suatu set aturan yang menganalisis informasi mengenai suatu kelas masalah spesifik serta analisis matematis dari masalah tersebut. Tergantung dari desainnya, sistem pakar juga mampu merekomendasikan suatu rangkaian tindakan pengguna untuk dapat menerapkan koreksi. Sistem ini memanfaatkan kapabilitas penalaran untuk mencapai suatu simpulan.

Secara garis besar, banyak manfaat yang dapat diambil dengan adanya sistem pakar, antara lain :

1. Memungkinkan orang awam bisa mengerjakan pekerjaan para ahli.

2. Bisa melakukan proses secara berulang secara otomatis.
3. Menyimpan pengetahuan dan keahlian para pakar.
4. Meningkatkan output dan produktivitas.
5. Meningkatkan kualitas.
6. Mampu mengambil dan melestarikan keahlian para pakar (terutama yang termasuk keahlian langka).
7. Mampu beroperasi dalam lingkungan yang berbahaya.
8. Memiliki kemampuan untuk mengakses pengetahuan.
9. Memiliki reliabilitas.
10. Meningkatkan kapabilitas sistem komputer.
11. Memiliki kemampuan untuk bekerja dengan informasi yang tidak lengkap dan mengandung ketidakpastian.
12. Sebagai media pelengkap dalam pelatihan.
13. Meningkatkan kapabilitas dalam penyelesaian masalah.

Di samping memiliki beberapa keuntungan, sistem pakar juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain :

1. Biaya yang diperlukan untuk membuat dan memeliharanya relatif mahal karena diperlukan banyak data.
2. Perlu admin khusus yang selalu update informasi dalam bidang yang sesuai dengan sistem pakar.
3. Pengembangan perangkat lunak sistem pakar lebih sulit dibandingkan perangkat lunak konvensional.
4. Susah dikembangkan.
5. Membutuhkan waktu yang lama.

Alasan mendasar sistem pakar dikembangkan menggantikan seorang pakar adalah sebagai berikut :

1. Dapat menyediakan kepakaran setiap waktu dan di berbagai lokasi.
2. Secara otomatis mengerjakan tugas-tugas rutin yang membutuhkan seorang pakar.
3. Seorang pakar akan pensiun atau pergi.
4. Menghadirkan atau menggunkan jasa seorang pakar memerlukan biaya yang mahal.
5. Kepakaran dibutuhkan juga pada lingkungan yang tidak bersahabat (hostile environment).

Ada berbagai ciri dan karakteristik yang membedakan sistem pakar dengan sistem yang lain. Ciri dan karakteristik ini menjadi pedoman utama dalam pengembangan sistem pakar. Ciri dan karakteristik yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Pengetahuan sistem pakar merupakan suatu konsep, bukan berbentuk numerik. Hal ini dikarenakan komputer melakukan proses pengolahan data secara numerik sedangkan keahlian dari seorang pakar adalah fakta dan aturan-aturan, bukan numerik.
2. Informasi dalam sistem pakar tidak selalu lengkap, subjektif, tidak konsisten, subjek terus berubah dan tergantung pada kondisi lingkungan sehingga keputusan yang diambil bersifat tidak pasti dan tidak mutlak "ya" atau "tidak" akan tetapi menurut ukuran kebenaran tertentu. Oleh karena itu

dibutuhkan kemampuan sistem untuk belajar secara mandiri dalam menyelesaikan masalah-masalah dengan pertimbangan-pertimbangan khusus.

3. Kemungkinan solusi sistem pakar terhadap suatu permasalahan adalah bervariasi dan mempunyai banyak pilihan jawaban yang dapat diterima, semua faktor yang ditelusuri memiliki ruang masalah yang luas dan tidak pasti. Oleh karena itu diperlukan fleksibilitas sistem dalam menangani kemungkinan solusi dari berbagai permasalahan.
4. Perubahan atau pengembangan pengetahuan dalam sistem pakar dapat terjadi setiap saat bahkan sepanjang waktu sehingga diperlukan kemudahan dalam modifikasi sistem untuk menampung jumlah pengetahuan yang semakin besar dan semakin bervariasi.
5. Pandangan dan pendapat setiap pakar tidaklah selalu sama, yang oleh karena itu tidak ada jaminan bahwa solusi sistem pakar merupakan jawaban yang pasti benar. Setiap pakar akan memberikan pertimbangan-pertimbangan berdasarkan faktor subjektif.
6. Keputusan merupakan bagian terpenting dari sistem pakar. Sistem pakar harus memberikan solusi yang akurat berdasarkan masukan pengetahuan meskipun solusinya sulit sehingga fasilitas informasi sistem selalu diperlukan.

Konsep dasar sistem pakar mencakup beberapa persoalan mendasar, antara lain apa yang dimaksud dengan keahlian, siapa yang disebut pakar, bagaimana keahlian dapat ditransfer, dan bagaimana sistem bekerja. Pakar adalah orang yang memiliki pengetahuan, penilaian, pengalaman, dan metode khusus, serta kemampuan untuk menerapkan bakat ini dalam memberi nasehat dan memecahkan persoalan. Adalah tugas pakar untuk menyediakan pengetahuan tentang bagaimana melaksanakan suatu tugas yang akan dijalankan oleh sistem berbasis pengetahuan. Pengertian lain dari pakar ialah orang yang memiliki keahlian dalam suatu hal, yaitu memiliki pengetahuan atau keahlian khusus yang tidak diketahui dan tidak ada pada kebanyakan orang. Keahlian adalah pengetahuan ekstensif yang spesifik terhadap tugas yang dimiliki pakar.

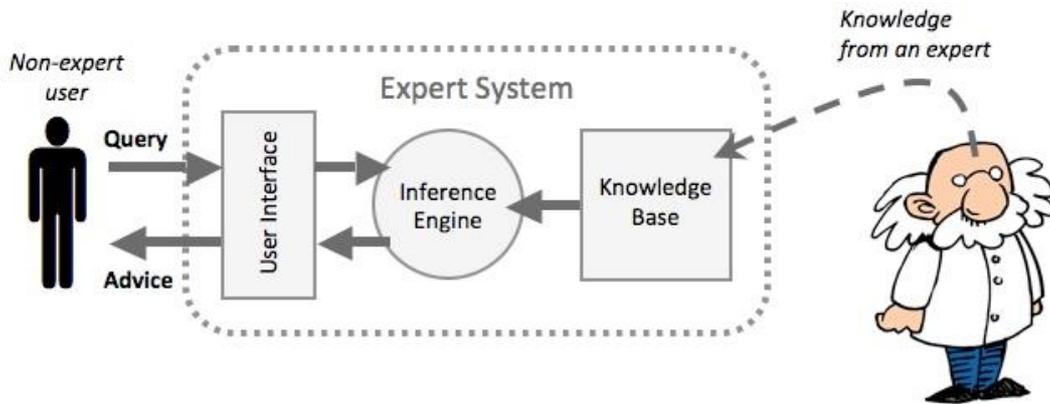
Tingkat keahlian menentukan performa keputusan. Keahlian sering dicapai dari pelatihan, membaca, dan mempraktikkan. Keahlian mencakup pengetahuan eksplisit, misalnya teori yang dipelajari dari buku teks atau kelas, dan pengetahuan implisit yang diperoleh dari pengalaman.

2.2. Struktur Sistem Pakar

Menurut Turban (2005), sistem pakar adalah sistem informasi berbasis komputer yang menggunakan pengetahuan pakar untuk mencapai performa keputusan tingkat tinggi dalam domain persoalan sempit.

Sistem pakar dapat ditampilkan dengan dua lingkungan, yaitu lingkungan pengembangan (development environment) dan lingkungan konsultasi (consultation environment). Lingkungan Pengembangan digunakan oleh sistem pakar (*expert system*) builder untuk membangun komponen dan memasukkan pengetahuan ke dalam basis pengetahuan. Lingkungan konsultasi digunakan oleh non pakar untuk memperoleh pengetahuan dan nasehat pakar. Lingkungan ini dapat dipisahkan

setelah sistem lengkap.



Gambar 1. Konsep dasar sistem pakar (*expert system*)

Komponen-komponen sistem pakar terdiri dari beberapa komponen, yaitu :

1. Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

Basis data dalam sistem disebut basis pengetahuan. Basis pengetahuan berisi pengetahuan yang dibutuhkan untuk memahami, merumuskan, dan memecahkan masalah. Basis pengetahuan menggunakan aturan-aturan untuk mengekspresikan logika masalah yang pemecahannya dibantu sistem pakar. Basis pengetahuan terdiri dari dua elemen, yaitu :

- a) Fakta : situasi, kondisi, dan kenyataan dari permasalahan yang ada, berisi juga teori dari bidang permasalahan tersebut.
- b) Aturan : mengarahkan pengguna pengetahuan untuk memecahkan masalah dari bidang tersebut.

Basis pengetahuan merupakan inti program sistem pakar dimana basis pengetahuan berasal dari seorang pakar. Basis pengetahuan ini tersusun atas fakta yang berupa informasi tentang cara bagaimana membangkitkan fakta baru dari fakta yang sudah diketahui. Ada beberapa metode untuk mempresentasikan pengetahuan kedalam basis pengetahuan, yaitu :

a. Kalkulus Predikat

Kalkulus predikat merupakan cara sederhana untuk mempresentasikan pengetahuan secara deklaratif. Dalam kalkulus predikat pernyataan deklaratif dibagi atas dua bagian yaitu bagian predikat dan bagian argumen. Argumen berisi objek dan predikat menunjukkan hubungan atas sifat objek keduanya dikombinasikan membentuk suatu proposisi predikat 1 dan objek 2

b. List

List merupakan rangkaian aturan-aturan yang berhubungan. List digunakan untuk menggambarkan hierarki pengetahuan yang objek-objeknya dikelompokkan menurut aturan-aturannya. Objek tersebut dibagi menjadi kelompok-kelompok berdasarkan item yang sama, hubungan antar kelompok ditunjukkan dengan menghubungkan kelompok-kelompok tersebut.

c. Bingkai (frame)

Frame merupakan blok atau potongan pengetahuan mengenai objek khusus peristiwa atau elemen lain. Frame menggambarkan perincian objek. Penilaian ini diberikan dalam bentuk rak (slot) yang menggambarkan berbagai atribut dan karakteristik dari suatu objek.

d. Jaringan Sematik

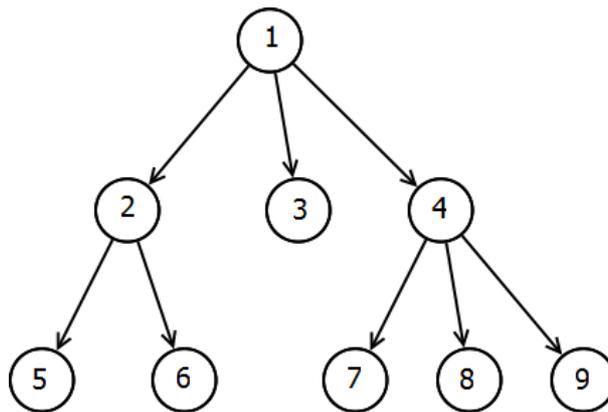
Jaringan sematik adalah objek yang paling awal dipakai dalam mempresentasikan pengetahuan. Metode ini didasarkan pada struktur jaringan dan biasa digambarkan dengan grafik hubungan. Jaringan sematik terdiri dari lingkaran-lingkaran yang menunjukkan objek dan informasi tentang objek-objek tersebut. Objek ini bisa berupa benda atau peristiwa. Antara dua objek dihubungkan oleh arc yang menunjukkan hubungan antar objek.

e. Kaidah Produksi

Kaidah produksi biasanya dalam bentuk jika-maka (*IF-THEN*). Kaidah ini dapat dikatakan sebagai hubungan implikasi dua bagian, yaitu bagian premis (jika) dan bagian konklusi (maka). Kaidah produksi merupakan salah satu bentuk representasi pengetahuan yang sering digunakan. Berbagai macam pengetahuan dapat diimplementasikan dalam bentuk yang sesuai dengan format kaidah *IF-THEN*. Kaidah produksi sangat populer karena formatnya yang sangat fleksibel.

f. Pohon Pelacakan

Pohon pelacakan merupakan struktur penggambaran secara hierarkis. Struktur pohon terdiri atas *node-node* yang menunjukkan objek dan *arc* (busur) yang menunjukkan hubungan antar objek. Untuk menghindari kemungkinan adanya proses pelacakan suatu node secara berulang, maka digunakan struktur pohon.



Gambar 2. Struktur pohon

Ada 2 bentuk pendekatan basis pengetahuan yang sangat umum digunakan yaitu :

i) Penalaran berbasis aturan (*Rule-Based-Reasoning*)

Pada penalaran berbasis aturan, pengetahuan direpresentasikan dengan menggunakan aturan berbentuk: *IF-THEN*. Bentuk ini digunakan apabila memiliki sejumlah pengetahuan pakar pada suatu permasalahan tertentu, dan si pakar dapat menyelesaikan masalah tersebut secara berurutan. Disamping itu bentuk ini juga

digunakan apabila dibutuhkan penjelasan tentang jejak pencapaian solusi.

ii) Penalaran berbasis kasus (*Case-Based-Reasoning*)

Pada penalaran berbasis kasus, basis pengetahuan akan berisi solusi-solusi yang telah dicapai sebelumnya, kemudian akan diturunkan suatu solusi untuk keadaan yang terjadi sekarang (fakta yang ada). Bentuk ini digunakan apabila user menginginkan untuk tahu lebih banyak lagi pada kasus-kasus yang hampir sama (mirip). Selain itu, bentuk ini juga digunakan apabila telah memiliki sejumlah situasi atau kasus tertentu dalam basis pengetahuan.

2. Mesin Referensi

Mesin Inferensi Mesin Inferensi merupakan otak dari sistem pakar. Dikenal juga sebagai penerjemah aturan (*rule interpreter*). Komponen ini berupa program komputer yang menyediakan suatu metodologi untuk memikirkan (*reasoning*) dan memformulasi kesimpulan. Mesin inferensi menggunakan penalaran yang serupa dengan manusia dalam mengolah isi dari basis pengetahuan. Mesin inferensi terdiri dari tiga bagian, yaitu:

a. *Interpreter*: digunakan untuk menerjemahkan aturan ke dalam bahasa mesin agar dapat menjalankan program

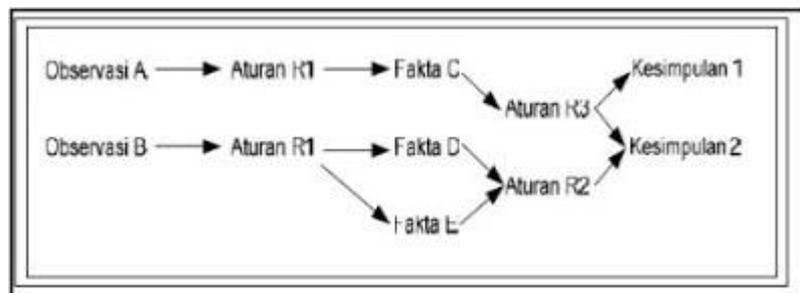
b. *Scheduler*: digunakan untuk pencarian dan penalaran pada basis pengetahuan dalam penyelesaian masalah

c. *Consistency Enforcer*: untuk menampilkan solusi permasalahan kerja

Sedangkan untuk pelacakannya, ada 2 cara yang dapat dipakai yaitu:

a. *Forward chaining*

Pencocokan fakta atau pernyataan dimulai dari bagian sebelah kiri (*IF* dulu). Penalaran dimulai dari fakta terlebih dahulu untuk menguji kebenaran hipotesis.

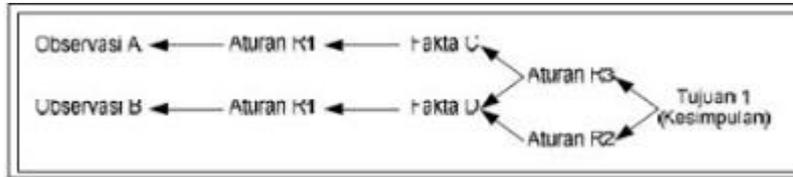


Gambar 3. Proses *Forward Chaining*

Menurut Arhami (2005) Forward chaining disebut juga penalaran dari bawah ke atas karena penalaran dari fakta pada level bawah menuju konklusi pada level atas didasarkan pada fakta. Penalaran dari bawah ke atas dalam suatu sistem pakar dapat disamakan untuk pemrograman konvensional dari bawah ke atas. Fakta merupakan satuan dasar dari paradigma berbasis pengetahuan karena mereka tidak dapat diuraikan ke dalam satuan paling kecil yang mempunyai makna.

b. Backward Chaining.

Pencocokan fakta atau pernyataan dimulai dari bagian sebelah kanan (*THEN* dulu). Dengan kata lain, penalaran dimulai dari hipotesis terlebih dahulu, dan untuk menguji kebenaran hipotesis tersebut harus dicari fakta-fakta yang ada dalam basis pengetahuan.



Gambar 4. Proses *Backward Chaining*

Menurut Arhami (2005) *Backward chaining* adalah suatu rantai yang di lintasi dari suatu hipotesis kembali ke fakta yang mendukung hipotesis tersebut cara lain menggambarkan backward chaining adalah dalam hal tujuan yang dapat dipenuhi dengan pemenuhan sub tujuannya. *Backward chaining* juga bisa diartikan sebagai penalaran yang dimulai dari level tertinggi membangun suatu hipotesis, turun ke fakta level paling bawah yang dapat mendukung hipotesa dinamakan dengan penalaran dari atas kebawah.

3. Papan Tulis (*Workplace*)

Papan Tulis (*Workplace*) merupakan memori atau lokasi penyimpanan untuk sistem pakar bekerja dan menyimpan hasil sementara, yang berupa basis data. Memori ini berisi semua informasi tentang masalah tertentu, baik yang di input oleh pengguna atau yang berada dalam basis pengetahuan.

4. Antarmuka Pengguna

Interaksi antara sistem pakar dan pengguna berupa bahasa alami, biasanya dalam bentuk tanya jawab atau ditampilkan dalam bentuk gambar. Sistem pakar menyediakan antarmuka agar pengguna dapat berinteraksi dengan sistem pakar. Antarmuka pengguna memegang peranan penting dalam sistem pakar, untuk memperoleh informasi yang akurat dari pengguna, perekayasa pengetahuan diharapkan membuat desain antarmuka pertanyaan yang baik.

5. Fasilitas Penjelasan

Fasilitas ini merupakan fasilitas tambahan yang menyediakan penjelasan kepada pengguna tentang mengapa sistem pakar mempertanyakan sebuah pertanyaan tertentu kepada pengguna dan bagaimana sistem pakar membuat suatu keputusan. Fasilitas penjelasan memberikan keuntungan kepada kedua belah pihak, perekayasa pengetahuan dapat memperbaiki kekurangan dari basis pengetahuan dan pengguna mendapatkan penjelasan tentang bagaimana pemikiran sistem pakar tersebut.

6. *Knowledge Refining System*

Seorang pakar mempunyai *knowledge refining system* artinya mereka dapat menganalisis sendiri performa mereka, belajar dari pengalaman, serta

meningkatkan pengetahuannya untuk konsultasi berikutnya. Pada sistem pakar, evaluasi ini penting sehingga dapat menganalisis alasan keberhasilan atau kegagalan pengambilan keputusan, serta memperbaiki basis pengetahuan.

2.3 Model Pembangunan Sistem Pakar

Langkah awal yang dilakukan dalam membangun sistem adalah dengan menentukan model sistem yang akan digunakan. Dalam sistem pakar dikenal model sistem yang digunakan adalah *ESDLC (Expert System Development Life Cycle)*. Expert System Development Life Cycle merupakan konsep dasar dalam perancangan dan pengembangan sistem pakar yang sering digunakan. (Durkin, 1994).

Secara umum tahapan dari *Expert System Development Life Cycle* adalah:

1. Penilaian Keadaan
 - a. Mengidentifikasi masalah
 - b. Mendefinisikan tujuan umum dan ruang lingkup sistem
 - c. Memverifikasi kesesuaian sistem pakar dengan masalah
2. Analisa dan Akuisisi Pengetahuan
 - a. Analisa kebutuhan data, kebutuhan fungsi identifikasi unjuk kerja sistem dari mulai *entities*, aliran data, proses, *data store* dan *Entity Rational Diagram (ERD)* yang dilakukan perangkat, runtutan kondisi perangkat, serta pengembangan perangkat.
 - b. Menentukan sumber pengetahuan
 - c. Mendapatkan pengetahuan yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas
 - d. Mempelajari, menambah, dan mengatur pengetahuan.
3. Perancangan dan Implementasi
 - a. Mendefinisikan struktur sistem, pengaturan sistem, dan metode yang akan digunakan untuk pengambilan kesimpulan
 - b. Memilih bahasa pemrograman yang digunakan
 - c. Implementasi konsep rancangan system.
4. Pengujian
 - a. Melakukan pengujian sistem yang telah dibangun
 - b. Memodifikasi pengetahuan sistem
5. Dokumentasi
 - a. Membuat diagram dan *user dictionary* dalam sebuah dokumen teknis sebagai panduan bagi pengguna

3. TEOREMA BEYES

3.1 Pengertian Probabilitas Bayesian

Dalam teori probabilitas dan statistika, teorema bayes adalah sebuah [teorema](#) dengan dua penafsiran berbeda. Dalam *penafsiran Bayes*, teorema ini menyatakan seberapa jauh derajat kepercayaan subjektif harus berubah secara rasional ketika ada petunjuk baru. Dalam *penafsiran frekuentis* teorema ini menjelaskan representasi invers probabilitas dua kejadian

Bayesian network merupakan salah satu *Probabilistic Graphical Model (PGM)* yang sederhana yang dibangun dari teori probabilistik dan teori graf. Teori probabilistik berhubungan langsung dengan data sedangkan teori graf berhubungan langsung dengan bentuk representasi yang ingin didapatkan. (Heckerman, 1995).

Sebagai contoh, sebuah *bayesian network* dapat mewakili hubungan probabilistik antara penyakit dan gejala. *Bayesian network* dapat digunakan untuk mencari *troubleshooting* dari kehadiran berbagai gejala indikasi kerusakan.

Metode *bayesian network* merupakan metode yang baik di dalam mesin pembelajaran berdasarkan data *training*, dengan menggunakan probabilitas bersyarat sebagai dasarnya. *Bayesian network (BN)* atau jaringan bayes juga dikenal sebagai jaringan kepercayaan dari jaringan bayes yang pendek dan masih merupakan *probabilistic graphical model (PGM)* dengan *edge* berarah yang digunakan untuk merepresentasikan pengetahuan tentang hubungan ketergantungan atau kebebasan diantara variabel-variabel domain persoalan yang dimodelkan. Pengetahuan tersebut direpresentasikan secara kualitatif menggunakan struktur graf dan secara kuantitatif menggunakan parameter-parameter numerik. Bayesian network terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

1. Struktur graf bayesian network disebut dengan *Directed Acyclic Graph (DAG)* yaitu graf berarah tanpa siklus berarah (Meigarani, 2010). DAG terdiri dari *node* dan *edge*. *Node* merepresentasikan variabel acak dan *edge* merepresentasikan adanya hubungan kebergantungan langsung dan dapat juga diinterpretasikan sebagai pengaruh (sebab-akibat) langsung antara variabel yang dihubungkannya. Tidak adanya *edge* menandakan adanya hubungan kebebasan kondisional di antara variabel.

Struktur grafis *bayesian network* ini digunakan untuk mewakili pengetahuan tentang sebuah domain yang tidak pasti. Secara khusus, setiap *node* dalam grafik merupakan variabel acak, sedangkan ujung antara node mewakili probabilistik yang bergantung di antara variabel-variabel acak yang sesuai. Kondisi ketergantungan ini dalam grafik sering diperkirakan dengan menggunakan statistik yang dikenal dengan metode komputasi. Oleh karena itu, *bayesian network* menggabungkan prinsip-prinsip dari teori graf, teori probabilitas, ilmu pengetahuan komputer, dan statistik. (Wiley, 2007)

2. Himpunan parameter

Himpunan parameter mendefinisikan distribusi probabilitas kondisional untuk setiap variabel. Pada *bayesian network*, *nodes* berkorespondensi dengan variabel acak. Tiap *node* diasosiasikan dengan sekumpulan peluang bersyarat, $p(x_i|A_i)$ sehingga x_i adalah variabel yang diasosiasikan dengan node dan A_i adalah set dari *parent* dalam graf.

Dalam membangun *bayesian network*, struktur dibangun dengan pendekatan statistik yang dikenal dengan teorema bayes yaitu *conditional probability* (peluang bersyarat). *Conditional probability* yaitu perhitungan peluang suatu kejadian Y bila diketahui kejadian X telah terjadi, dinotasikan dengan $P(Y|X)$. Teorema ini digunakan untuk menghitung peluang suatu set data untuk masuk ke dalam suatu

kelas tertentu berdasarkan inferensi data yang sudah ada. Dalam kaitan dengan diagnosis *troubleshooting* suatu mesin, X dapat mengacu pada gejala indikasi kerusakan mesin dan Y adalah jenis kerusakan mesin.

Rumus teori bayes yaitu:

$$P(A|B) = \frac{P(A|B)P(A)}{P(B)} \dots \dots \dots (1)$$

Atau dengan rumus:

$$P(A|B) = \frac{P(A|B)P(A)}{P(B|A)P(A) + P(B|\bar{A})P(\bar{A})} \dots \dots \dots (2)$$

Bayesian network dapat melakukan pengambilan keputusan (inferensi) probabilistik. Inferensi probabilistik adalah memprediksi nilai variabel yang tidak dapat diketahui secara langsung dengan menggunakan nilai-nilai variabel lain yang telah diketahui (Krause, 1998). Contoh inferensi probabilistik adalah menentukan probabilitas kondisional pasien mengidap penyakit mata jika diketahui pasien tersebut mengalami mata merah dan tidak tahan cahaya. Inferensi probabilistik dapat dilakukan jika terlebih dahulu diperoleh joint probability distribution (JPD) dari semua variabel yang dimodelkan (Krause, 1998). JPD adalah probabilitas semua kejadian variabel yang terjadi secara bersamaan. Inferensi probabilistik dapat dilakukan jika *bayesian network* telah dibangun, sehingga yang perlu dilakukan terlebih dahulu adalah membangun struktur *bayesian network*. Dalam kasus diagnosis penyakit mata, hubungan antar variabel dan probabilitas nilai-nilai variabel belum diketahui, oleh karena itu bayesian network dibangun berdasarkan data kejadian mengenai variabel-variabel atau disebut dengan konstruksi bayesian network dari data. Konstruksi Bayesian network dari data terdiri dari dua tahap, yaitu :

1. Konstruksi struktur atau disebut juga tahap kualitatif, yaitu mencari keterhubungan antara variabel-variabel yang dimodelkan.
2. Estimasi parameter atau disebut juga tahap kuantitatif, yaitu menghitung nilai-nilai probabilitas.

3.2. Konsep Dasar *Bayesian Network*

Untuk membangun *bayesian network*, memerlukan pemahaman dari konsep dasar bayesian network. Konsep dasar tersebut adalah sebagai berikut:

1. Struktur Graf.
Struktur graf yang dimiliki oleh *bayesian network* adalah *Directed Acyclic Graph (DAG)*, yaitu graf berarah yang tidak memiliki siklus. Struktur dari DAG sering disebut bagian dari model kualitatif yang diperlukan untuk menentukan model model parameter kuantitatif. Parameter dijelaskan secara konsisten dengan properti markov, di mana *Conditional Probability Distribution (CPD)* pada setiap node bergantung pada *parent* yang dimiliki. (Wiley, 2007)
2. Kondisi Markov.

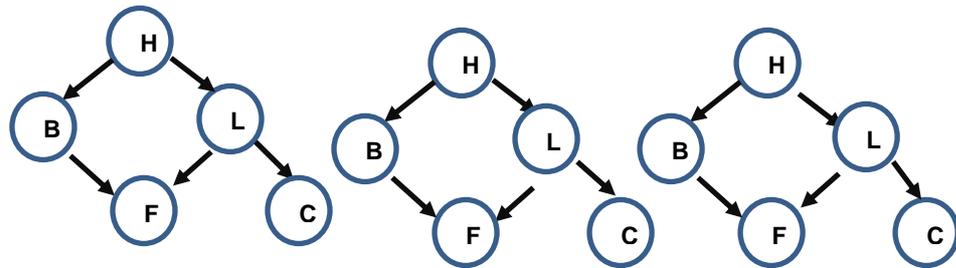
Kondisi ini menunjukkan hubungan antara DAG dan distribusi probabilitas. *Bayesian network* memanfaatkan kondisi markov untuk melakukan representasi JPD secara efisien dan memperoleh adanya kebebasan kondisional antara variabel. Model graf pada kondisi markov berupa graf dengan ujung berarah. Jaringan markov ini memberikan definisi secara sederhana yaitu kebebasan antara dua node yang berbeda berdasarkan konsep dari selimut Markov. Jaringan Markov sangat populer di bidang keilmuan modern seperti fisika, statistik dan ilmu komputer. (Wiley, 2007)

3. D-separation.

Properti DAG yang menyatakan hubungan kebebasan yang terdapat pada DAG. Semua kebebasan kondisional yang diperoleh dari kondisi markov akan diidentifikasi dengan properti ini.

4. Ekuivalensi Markov.

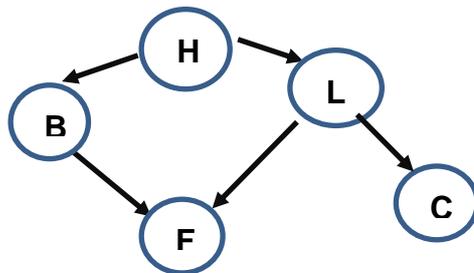
Konsep tentang adanya DAG-DAG yang memiliki *dseparation* yang sama, yang dapat direpresentasikan dalam sebuah DAG *pattern*. Dua DAG merupakan ekuivalen markov jika dan hanya jika kedua DAG tersebut mempunyai *link-link* (*edge* tanpa memperhatikan arah) yang sama dan himpunan *uncoupled head-to-head meeting* yang sama. Teorema tersebut memberikan cara sederhana untuk merepresentasikan kelas ekuivalen markov pada sebuah graf. Graf ini disebut DAG pattern.



Gambar 5. DAG yang Ekuivalen Markov

5. Kondisi *Faithfulness*.

Kondisi yang harus dipenuhi agar adanya *edge* diantara *node* pada DAG berarti ada kebergantungan langsung antar node tersebut.



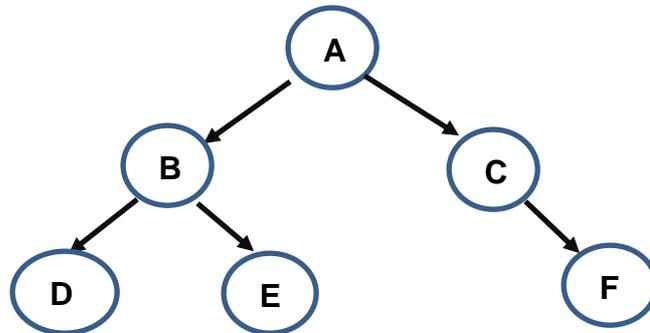
Gambar 6. DAG Patern Merepresentasikan Kelas Ekuivalen Markov

3.3. Membangun *Bayesian Network*

Setelah memahami konsep dasar dalam membangun *bayesian network*, maka terdapat dua tahapan dalam membangun bayesian network, yaitu:

1. Konstruksi struktur

Struktur *bayesian network* adalah *direct acyclic graph* yang dapat merepresentasikan sebuah pola dari sekumpulan data. Perepresentasian dalam bentuk graf dapat dilakukan dengan mengidentifikasi konsep-konsep informasi yang relevan terhadap masalah. Selanjutnya konsep-konsep tersebut disebut himpunan variabel. Himpunan tersebut kemudian direpresentasikan menjadi *node node* dalam *graf*. Pengaruh antara variable dinyatakan eksplisit menggunakan *edge* pada *graf*.



Gambar 7. Contoh *Direct Acyclic Graph*

Hubungan *parent*, *child*, dan *descendant* pada gambar 2.5 dinyatakan sebagai berikut:

- a. Node A adalah *parent* dari *node B*; *node B* adalah *child* dari *node A*.
- b. Node A adalah *parent* dari *node C*; *node C* adalah *child* dari *node A*.
- c. Node B adalah *parent* dari *node D*; *node D* adalah *child* dari *node B*.
- d. Node B adalah *parent* dari *node E*; *node E* adalah *child* dari *node B*.
- e. Node C adalah *parent* dari *node F*; *node F* adalah *child* dari *node C*.
- f. {B,C,D,E,F} adalah *descendant* dari *node A*.
- g. {D,E} adalah *descendant* dari *node B*.
- h. {F} adalah *descendant* dari *node C*.

2. Estimasi parameter

Setelah struktur *bayesian network* terbentuk, parameter dan hubungan ketergantungan antara node ditentukan dengan menggunakan pengetahuan pakar. Informasi ini dibutuhkan agar dapat menghitung *joint probability distribution*.

4. IMPLEMENTASI SISTEM PAKAR UNTUK *TROUBLESHOOTING*

Troubleshooting merupakan pencarian sumber masalah secara sistematis sehingga masalah tersebut dapat diselesaikan. *Troubleshooting*, kadang-kadang merupakan proses penghilangan masalah, dan juga proses penghilangan penyebab potensial dari sebuah masalah. Data *Troubleshooting Main Engine MAN B&W* kapal Arimbi sesuai manual book terdapat tabel 1.

Tabel 1. *Troubleshooting Main Engine MAN B&W Diesel AG Type L32/40 CD* (Kapal Arimbi)

Trouble	Possible cause	Troubleshooting
<p><i>Engine will not start.</i> <i>Start motor is not engaged.</i></p>	<p>Power supply is not correct, interlock activated or internal component Failure</p>	<p>Check that the power supply is correct 24 V ± 20% on terminals J3; 132, 133.</p>
		<p>Check that no interlocks are activated</p> <ul style="list-style-type: none"> – Turning gear not engaged – No start failure activated – No engine run signal – Remote mode is activated – No shutdown activated – Stop valve not activated – No lub. oil pressure – Prelub. oil pressure is OK
		<p>Check that LED on base module is steadily green alight.</p>
		<p>Check that wirings from terminals J20; 98, 99 are correct.</p>
		<p>Check the safety system.</p>
		<p>Check that the ON/OFF switch on the base module is working properly.</p> <p>Note! After having switched on the power supply, the system initializes app. 3 seconds. Please wait with observations until initializing is finished.</p>
		<p>Replace the base module.</p>
<p><i>Data communication failure.</i></p>	<p>EMC problem or loose connections. <i>EMC : Engine Monitoring Control</i></p>	<p>Check that the green LED on the base module is alight.</p>
		<p>Check that all cable screens are connected correctly in the EMC cable glands.</p>
		<p>Check that the data communication cable (MODBUS) is the twisted pair type.</p>
<p><i>The engine suddenly starts or stops.</i></p>	<p>Two or more earth failures on the engine and yard installation. <i>EMC Problem</i></p>	<p>Check for earth failures on all sensors. Special attention should be made to the exh. gas sensors</p>
		<p>Check for earth failures in the yard system. Replace the base module.</p>

Langkah langkah yang akan dilakukan untuk permasalahan troubleshooting ini adalah :

1. Identifikasi Masalah dan Pengetahuan.
Pembuatan system pakar ini diawali dengan penentuan domain kemudian

dilanjutkan dengan mengidentifikasi masalah dan analisa pengetahuan yang akan dimasukkan ke dalam system pendiagnosa. Identifikasi masalah dan pengetahuan dilakukan dengan langkah awal menggambarkan operasi keseluruhan. Pengetahuan ini diperoleh dari *troubleshooting manual book*.

2. Proses Akuisisi pengetahuan

Pengumpulan data penelitian yang berhubungan dengan data kerusakan (*fault*), data penyebab (*possible cause*), langkah pencarian sumber masalah (*troubleshooting*)

3. Mekanisme inferensi

Metode untuk menentukan *troubleshooting* dari kemungkinan penyebab (*possible cause*) hasil diagnosa adalah dengan runut maju (*Forward chaining*). Runut maju merupakan proses peruntukan yang dimulai dengan menampilkan kumpulan data atau fakta yang menyakinkan menuju konklusi akhir.

Selain menggunakan metode runut maju, diperlukan juga teknik penelusuran data dalam bentuk *network* atau jaringan yang terdiri *node-node* berbentuk pohon (*tree*). Penelusuran yang menggunakan pengetahuan akan suatu masalah untuk melakukan panduan pencarian kearah node tempat dimana solusi berada. Penelusuran ini dapat mengurangi beban komputasi.

4. Fasilitas penjelasan

Fasilitas penjelasan dalam sistem pakar yang akan dikembangkan berfungsi memberi penjelasan bagaimana sistem pakar menyimpulkan *troubleshooting*. Penjelasannya akan menampilkan rangkaian *diagnosa* mulai dari adanya sebuah gejala yang tampak.

5. Masukan dan Keluaran

Masukan dirancang untuk pengguna (user). Masukan sistem pakar dari pengguna berupa :

- a. Data ship atau nama kapal..
- b. Data equipment atau nama peralatan diatas kapal.
- c. Data maker atau nama pembuat peralatan
- d. Data type atau jenis peralatan
- e. Data *trouble / fault* atau gejala kerusakan

Sistem ini digunakan untuk keperluan *updating knowledge*.

Keluaran sistem pakar ini adalah hasil diagnosa berupa trouble shooting dan tingkat kepastian (probabilitas bayesian) yang diberikan system, Keluarannya berupa :

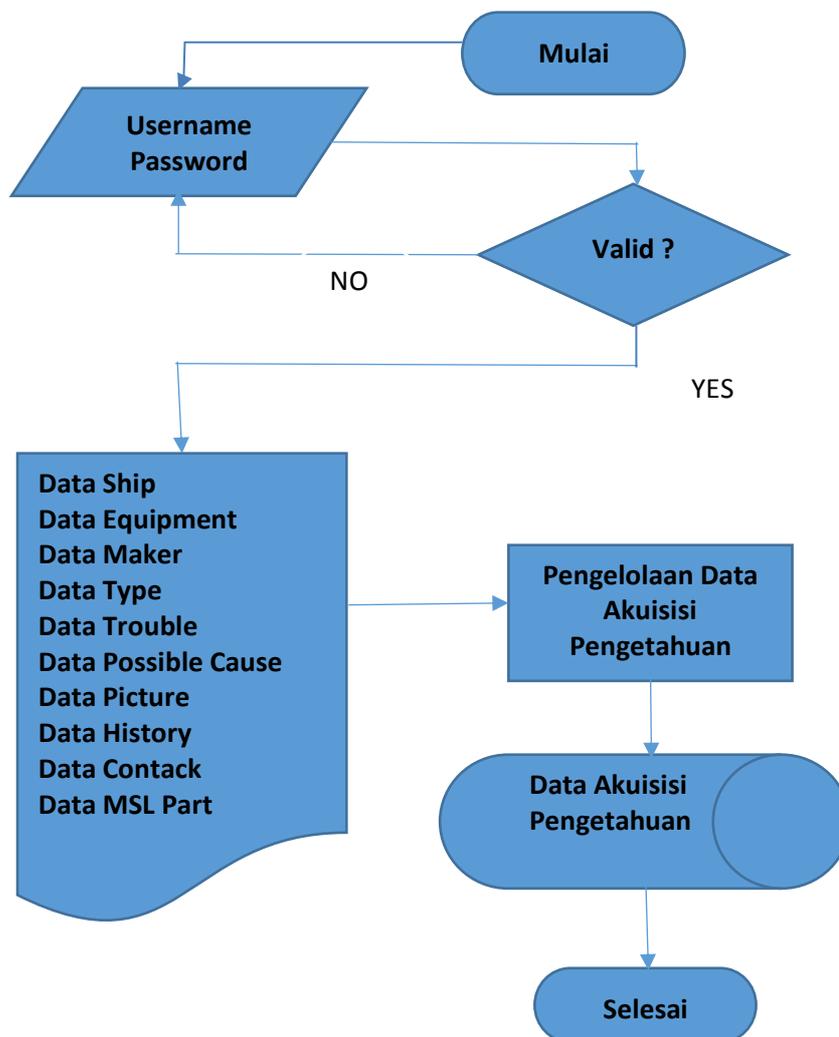
- a. Data *possible cause* atau kemungkinan penyebab kerusakan
- b. Data *picture* atau gambar dari *manual book*
- c. Data *history* atau sejarah kerusakan yang pernah terjadi.
- d. Data *contack* atau *email contack* ke *maker engineer*
- e. Data *Minimum Stock Level (MSL) Part* yang tersedia diatas kapal.

6. Desain Sistem

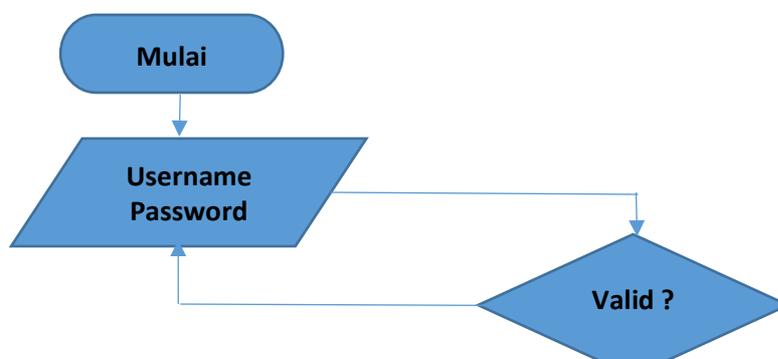
Desain sistem merupakan rancangan dari sistem yang akan dibuat. Proses dari rancangandibagi menjadi tiga bagian yaitu ; perancangan *Data Flow Diagram (DFD)*, perancangan antar muka pengguna dan perancangan basis data.

a. Perancangan *Data Flow Diagram (DFD)*

Perancangan *Data Flow Diagram (DFD)* terdiri dari dua bagian, gambar 8 menjelaskan *flowchart* proses input data pengetahuan dan gambar 9 menjelaskan proses konsultasi *user*.



Gambar 8. *Flowchart* proses *input* data pengetahuan



Gambar 9. *Flowchart* proses konsultasi *user*

b. Perancangan antarmuka pengguna (*user*).

Antarmuka (*interface*) merupakan bagian dari perancangan untuk berinteraksi antara pengguna (*user*) dengan system pakar (*expert system*). Perancangan antarmuka ini diusahakan dengan tampilan yang mudah dimengerti oleh pengguna.



SHIP EXPERT SYSTEM			
SHIP NAME	<input type="text"/>	MAKER	<input type="text"/>
EQUIPMENT	<input type="text"/>	TYPE	<input type="text"/>
TROUBLE	<input type="text"/>		
POSSIBLE CAUSE %	<input type="text"/>		
TROUBLESHOOTING	<input type="text"/>		
PICTURE	<input type="text"/>		
HISTORY	<input type="text"/>		
CONTACT	<input type="text"/>		
MSL PART	<input type="text"/>		
SEND TO SHORE BASE	<input type="button" value="YES"/>	<input type="button" value="NO"/>	

Gambar 9. Rancangan antarmuka (*interface*)

a. Perancangan basis data .

Dalam system pakar *troubleshooting* mesin induk kapal Arimbi, kapal milik Pertamina, basis data diperoleh dari *manual book* perawatan kapal. Data dari tabel 1. *Troubleshooting*. Adapun basis aturannya sebagai berikut :

IF Kerusakan pada {macam kerusakan /Trouble}
AND {jenis kerusakan atau kemungkinan penyebab/ Possible cause}
THEN Solisinya / Lakukan pengecekan {Troubleshooting}

Contoh basis aturan sebagai berikut;

IF {Data communication failure} **AND** {EMC problem or loose connections}

THEN {check that the green LED on the base module is
Alight, check that all cable screens are connected correctly
in the EMC cable glands, check that the data communiation cable
(MODBUS) is the twisted pair type}

DISPLAY : picture, history, contack, MSL part

Jika terjadi kegagalan komunikasi data

Dan kemungkinan penyebabnya adalah :

1. EMC bermasalah
2. Terlepas koneksinya

Maka solusinya;

1. Periksa apakah indilator LED hijau pada modul menyala. Jika padam maka EMC rusak.
2. Periksa apakah semua kabel terhubung dengan benar dan gland kabel terikat baik di EMC.
3. Periksa bahwa kabel komunikasi data (MODBUS) adalah tipe *twisted pair*. Jika tidak terlilit dengan baik terjadi radiasi elektromagnetik.

Tampilkan : picture, history, contack, MSL part

Pernyataan dari buku petunjuk (*manual book*) mesin diatas dapat diperinci lagi dengan mekanisme inferensi untuk mencari solusi;

Keterangan EMC adalah *Engine Monitoring Control*

Penelusuran kemungkinan 1 :

Jika terjadi kegagalan komunikasi data

Dan kemungkinan penyebabnya adalah :

- EMC bermasalah

Maka solusinya;

- Periksa apakah indilator LED hijau pada modul menyala. Jika padam maka EMC rusak.

Penelusuran kemungkinan 2 :

Jika terjadi kegagalan komunikasi data

Dan kemungkinan penyebabnya adalah :

Terlepas koneksinya

Maka solusinya;

- Periksa apakah semua kabel terhubung dengan benar dan gland kabel terikat baik di EMC.
- Periksa bahwa kabel komunikasi data (MODBUS) adalah tipe *twisted pair*. Jika tidak terlilit dengan baik terjadi radiasi elektromagnetik.

Cara melakukan perhitungan berdasarkan data ketika melakukan *troubleshooting* (1 masalah).

- Jumlah jenis kerusakan : 1 (kegagalan komunikasi data)
- Kemungkinan penyebabnya : 3 (EMC bermasalah atau terlepas koneksinya atau terjadi dua-duanya)

- Solusi pemecahan masalah (*troubleshooting*) : 3, penelusuran dilakukan bertahap sesuai kemungkinan penyebabnya.

Dalam contoh dapat dilakukan perhitungan berdasarkan observasi, misalnya :\

- Jumlah user : 50 Orang
- Terjadi *trouble* kegagalan komunikasi : 8 orang
Sehingga probabilitas terjadi kegagalan komunikasi tanpa memikirkan penyebab terjadinya kegagalan apapun,
P(kegagalan komunikasi) adalah $8/50$
- User dengan indikasi EMC mengalami kerusakan adalah 7 orang
Sehingga probabilitas user dengan indikasi mengalami kerusakan EMC jika terjadi kegagalan komunikasi
P(EMC mengalami kerusakan| kegagalan komunikasi) = $7/8$
- Sedang user mengalami mesin tiba-tiba mati atau hidup (*the engine suddenly starts or stop*) tanpa tahu penyebabnya berjumlah : 6 orang, probabilitasnya P(Mesin tiba-tiba mati) adalah $6/50$
- Jika diketahui EMC rusak juga menyebabkan mesin mati secara tiba-tiba, dan user yang mengalami berjumlah 5 orang, P(EMC mengalami kerusakan| mesin tiba-tiba mati) adalah $5/6$

Dengan menggunakan *probabilitas Bayesian* dapat di hitung :

- (1) Probabilitas terjadi kegagalan komunikasi jika diketahui EMC mengalami kerusakan

P(kegagalan komunikasi |EMC mengalami kerusakan) =

$$\frac{\frac{7}{8} \times \frac{8}{50}}{\frac{7}{8} \times \frac{8}{50} + \frac{5}{6} \times \frac{6}{50}} = 0,58$$

Nilai 0,58 untuk user yang berjumlah 50 Orang.

- (2) Probabilitas mesin mati mendadak jika diketahui EMC mengalami kerusakan

P(mesin mati mendadak |EMC mengalami kerusakan) =

$$\frac{\frac{5}{6} \times \frac{6}{50}}{\frac{7}{8} \times \frac{8}{50} + \frac{5}{6} \times \frac{6}{50}} = 0,42$$

Nilai 0,42 untuk user yang berjumlah 50 Orang

5. KESIMPULAN

Sistem pakar (*expert system*) yang dikembangkan dapat membantu mencari sumber masalah secara sistematis (*troubleshooting*) atau menghilangkan penyebab potensial dari suatu masalah di mesin induk kapal Arimbi kapal milik PT. PERTAMINA (Persero). Sistem Pakar ini dapat menggantikan peran seorang pakar atau konsultan *expert*. Dalam mengatasi ketidakpastian dalam menyelesaikan masalah pada system pakar digunakan metode *Bayesian*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Prof Dr Ing Mudrik Alaydrus selaku dosen pengajar mata kuliah Proses Random di Universitas Mercu Buana Jakarta yang telah memberikan materi-materi yang sangat bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bullinaria, J.A. *IAI:Expert System*, 2006.
- [2] Giarratano, dan Riley, G, *Expert System principles and Programming*, PWS Publishinng Cmpany, Boston, 2005.
- [3] Turban, E., Aronson,J. and Peng L., *Decision Support Sytem and Intellegence System-7th Ed*, Pearson education, New Jersey, 2005 .
- [4] A. Kelik Nugroho and R. Wardoyo,*Expert System using Bayesian Theorm to Diagnose Pregnancy*, Berkala MIPA UGM, 23(3), September 2013.
- [5] Novianti E. *Klasifikasi menggunakan Metode Bayesian Belief Networks* : Skripsi. FMIPA UGM, Yogyakarta, 2015.
- [6] R. Kurniawan, *Sistem Pakar Untuk mendiagnosa Penyakit Mata Dengan Metode Bayesian Network*, Skripsi. Teknik Informatika, Fakustas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, 2011.
- [7] MAN B&W Diesel AG D-86135, *Technical Documentation Engine System/Power Station Working Instructions*, Augsburg, 2013.