

SISTEM PAKAR UNTUK BUDIDAYA TAMBAK UDANG PUTIH

Ega Dioni Putri¹, Masayu Leylia Khodra¹, dan Gede Suantika²

¹Laboratorium Grafik dan Inteligensi Buatan, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10, Bandung, 40132, Indonesia

²Laboratorium Ekologi dan Biosistematik, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10, Bandung, 40132, Indonesia

E-mail: if16905@students.if.itb.ac.id

Abstrak

Tambak udang putih merupakan sebuah ekosistem buatan kompleks yang membutuhkan bantuan manusia untuk mempertahankan keseimbangan elemen-elemen pembentuknya. Permasalahan di dalamnya disebabkan oleh proses ekologis baik secara biologi, kimia, maupun fisika yang saling terkait. Sehingga untuk menghasilkan solusi optimal perlu diperhitungkan bagaimana keterhubungan antar elemen. Pengetahuan mengenai hubungan elemen-elemen tersebut umumnya dikuasai oleh pakar, tetapi tidak seluruh tambak mampu menyediakan pakar dalam budidayanya. Pengembangan sistem pakar dalam penelitian ini ditujukan untuk menjawab kebutuhan pakar di tambak udang menggunakan teknik klasifikasi. Pengetahuan pakar direpresentasikan dalam decision table dengan penggunaan multi atribut. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan solusi dari berbagai variasi masalah yang mungkin terjadi di tambak seperti pakar dan fleksibel untuk dimodifikasi.

Kata Kunci: *budidaya tambak, decision table, klasifikasi, multi atribut, sistem pakar*

Abstract

White shrimp embankment is a complex artificial ecosystem that requires human intervention to maintain the balance of its constituent elements. The problems inside are caused by ecological processes therein, either biology, chemistry, and physics that are interlinked so as to produce the optimal solution needs to be taken into account how the connection between elements. Knowledge about the relationships among these elements is generally dominated by experts, but not all embankments are able to provide experts in the cultivation. Development of expert systems in this study aimed to answer the needs of experts in shrimp embankments using the classification technique. Expert knowledge is represented in a decision table with the use of multi attributes. The experimental results show that the system is capable of generating solutions from a variety of problems that may occur in embankments such as expert and versatile to be modified.

Keywords: *aquaculture, classification, decision table, expert systems, multi attribute*

1. Pendahuluan

Secara teori, budidaya tambak memiliki *Standard Operational Procedure* (SOP) yang diantaranya meliputi persiapan air kolam, pembibitan, penyebaran pakan, pemantauan, dan pencegahan terhadap penyakit. Dalam penerapan SOP tersebut, dilibatkan tenaga manusia di bidang teknis dan nonteknis. Tugas tenaga teknis lebih banyak berada di lapangan, sedangkan tenaga nonteknis, termasuk pakar, bertugas membantu tenaga teknis sesuai keahlian dan peran yang mereka miliki. Namun, tidak seluruh tambak mampu menyediakan pakar dalam budidayanya, misalnya tambak-tambak tradisional yang belum mampu menerapkan SOP secara menyeluruh.

Sementara itu, di tambak profesional yang telah mampu menerapkan SOP dengan baik dan mempunyai pakar, pakar tidak dapat berada di lapangan setiap saat. Peran pakar sangat penting sebagai tempat bertanya para tenaga teknis atau meminta rekomendasi solusi jika terjadi masalah di tambak.

Pada tambak udang putih, tiga aspek utama yang harus dipelihara dengan baik secara rutin meliputi kualitas air, keamanan habitat, dan kelayakan pakan [1]. Kualitas air adalah aspek paling penting yang menentukan baik buruknya kehidupan udang. Aspek ini dipengaruhi unsur-unsur "limnologis" seperti temperatur, oksigen, dan pH [2]. Pemantauan terhadap kualitas air harus dilakukan secara teratur untuk memelihara

kondisi yang optimal bagi pertumbuhan udang [3]. Pemantauan juga meliputi pengukuran dan pencatatan data.

Pengukuran dibutuhkan untuk memastikan bahwa faktor-faktor kualitas air berada dalam rentang standar. Aktivitas ini berguna untuk menjaga udang tetap tumbuh dengan baik dan mencegah udang dari ancaman kematian [4]. Nilai faktor yang berada di luar standar mengindikasikan bahwa tambak dalam kondisi tidak normal dan perlu tindakan penanganan dari tenaga teknis. Pada saat permasalahan terjadi di tambak, pakar menginstruksikan tindakan penanganan yang tepat dengan terlebih dahulu mempertimbangkan keterhubungan antar elemen.

Dalam penelitian ini, sebuah sistem pakar yang dinamakan *Vannacues (Vannamei Cultivation Expert System)* dikembangkan untuk membantu atau bahkan menggantikan pakar. Sistem pakar adalah program komputer cerdas yang menggunakan pengetahuan dan prosedur inferensi serta membutuhkan kepakaran manusia secara signifikan untuk memecahkan masalah [5]. Pendekatan pemecahan masalah dengan sistem berbasis pengetahuan ini ditentukan setelah evaluasi terhadap kelayakan sistem yang dirumuskan oleh Frank Puppe [6] menunjukkan skor positif [7].

Sistem pakar diharapkan dapat menjawab kebutuhan pakar di tambak, baik tambak profesional yang telah memiliki pakar maupun tambak tradisional yang belum mampu menyediakan pakar. Pengetahuan sistem difokuskan pada pengelolaan kualitas air. Basis pengetahuan dirancang untuk memungkinkan pengembangan di masa mendatang karena variasi kondisi tambak diprediksikan akan bertambah dari waktu ke waktu. Sistem juga diharapkan mudah dimodifikasi agar dapat digunakan tidak hanya untuk tambak udang putih tetapi juga jenis tambak lain.

Udang putih (*Penaeus Vannamei*) dipilih sebagai spesies sampel di bidang budidaya tambak dalam penelitian ini dengan pertimbangan bahwa spesies ini memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan lingkungan sekitarnya. Selain itu, udang putih juga memiliki keunggulan responsif terhadap pakan dan lebih tahan terhadap serangan penyakit dibandingkan jenis udang lain [8]. Secara keseluruhan, udang putih di lokasi penelitian, yakni Indonesia, memenuhi kriteria suatu spesies uji [7-9].

Berdasarkan penjelasan pakar yang dilibatkan dalam penelitian ini, kualitas air mempunyai porsi terbesar dalam menentukan keberhasilan budidaya tambak dengan persentase

sekitar 90%. Namun, air tambak, sebagai habitat udang untuk berinteraksi langsung dengan lingkungannya dan membentuk rantai makanan, tidak mampu mencapai mekanisme kontrol alamnya tanpa campur tangan manusia [10]. Oleh karena itu, dalam SOP tambak diatur waktu-waktu pemantauan untuk tiap faktor kualitas air. Sebagai contohnya faktor pH harus diukur dua kali sehari pukul 06.00 dan 18.00, faktor temperatur diukur tiga kali sehari setiap enam jam dan sebagainya [3].

Kualitas parameter kimia, fisika, dan biologi di air harus dianalisis untuk menghindari kondisi yang tidak diinginkan [3]. Parameter-parameter ini mengacu pada faktor kualitas air yang diantaranya ditunjukkan dalam tabel I [2][3].

TABEL I
CONTOH HASIL PENCATATAN NILAI FAKTOR KUALITAS AIR
DI TAMBAK

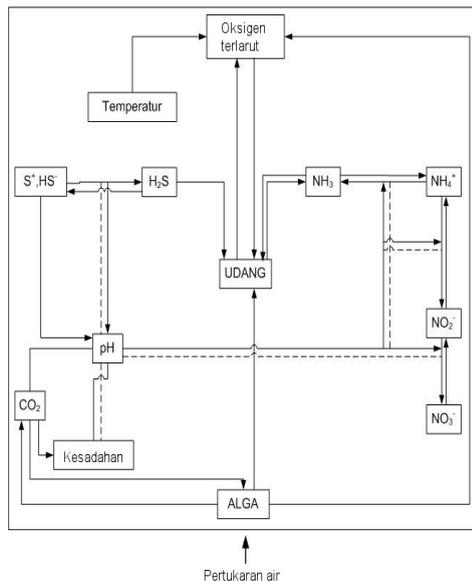
| Faktor | Nilai | Standar | Satuan | Jenis |
|-----------------------|-------|-----------|------------------|---------|
| Oksigen Terlarut (DO) | 2,5 | > 3.5 | ppm ^a | Kimia |
| pH | 4 | 7.5 – 8.5 | - | Kimia |
| CO ₂ | 80 | 0 – 60 | ppm | Kimia |
| BOD ^b | 1 | 0 – 0.2 | ppm | Fisika |
| Temperatur | 33 | 25 – 35 | °C | Biologi |

^apart per million, setara dengan miligram per liter

^bBiochemical Demand Oxygen yaitu tingkat kebutuhan organisme terhadap oksigen dalam suatu ekosistem

Secara umum, ada tiga penyebab permasalahan di tambak sebagai berikut, yakni faktor internal, eksternal, dan kesalahan perlakuan tambak. Faktor internal disebabkan oleh kondisi internal air tambak. Kondisi tersebut muncul ketika komposisi antara faktor biotik dan abiotik tidak seimbang atau siklus keduanya berlangsung tidak normal. Kemudian faktor eksternal yang sebagai contohnya disebabkan oleh perubahan cuaca, hujan, banjir, dan kejadian-kejadian alam lain yang sifatnya tidak dapat diprediksi termasuk faktor eksternal permasalahan tambak. Terakhir adalah faktor kesalahan perlakuan tambak yang dapat menyebabkan timbulnya masalah baru atau memperparah masalah yang sudah ada.

Untuk melakukan analisis diperlukan sebuah pendekatan komprehensif karena tambak merupakan sebuah ekosistem dengan elemen-elemen yang saling terkait. Jika salah satu elemen bermasalah, maka hal tersebut akan mengganggu keseimbangan hubungan elemen-elemen lain [10]. Pengetahuan tentang keterhubungan antar elemen dan proses ekologis didalamnya inilah yang terdapat pada level pakar. Contoh keterhubungan dalam faktor kualitas air tambak dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Interaksi antara faktor biotik dan abiotik di tambak [12]. Gambar di atas menunjukkan bahwa tiap faktor berkaitan dengan faktor lain sehingga kondisi di antara faktor-faktor tersebut berpengaruh satu sama lain.

Berdasarkan data pada tabel I, tercatat bahwa oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO), pH, CO₂, dan BOD berada di luar standar. Pakar menentukan solusi untuk memulihkan kondisi tersebut dengan melihat bagaimana hubungan antara rendahnya DO dan pH serta tingginya CO₂ dan BOD. Dengan keilmuan seputar biologi, khususnya akuakultur, yang dimilikinya, pakar mengetahui bahwa pH rendah bermakna keasaman meningkat. Selanjutnya, pakar mengetahui bahwa penyebab keasaman tersebut karena tingginya pernafasan organisme dalam air jika dilihat dari menurunnya kadar DO dan CO₂ serta BOD yang berlebihan. Melalui analisis ini, pakar dapat menyimpulkan bahwa masalah yang saat itu terjadi di tambak adalah membludaknya plankton (*plankton blooming*).

Cara memecahkan permasalahan yang dilakukan pakar dengan mempertimbangkan keterhubungan antar elemen seperti dicontohkan di atas berbeda dengan nonpakar. Aspek pertimbangan hubungan elemen tambak penting untuk mencegah timbulnya kondisi bermasalah akibat faktor kesalahan perlakuan [11].

2. Metodologi

Prinsip kerja Vannacues, sistem pakar yang dikembangkan dalam penelitian ini, diadopsi dari cara pakar bekerja. Terdapat lima cara dari prinsip kerja tersebut. Pertama, saat menerima catatan kondisi tambak, pakar membandingkan nilai-nilai faktor kualitas air yang ada dengan standar masing-masing. Misalnya pada tabel I, standar

DO adalah lebih dari 3.5 ppm dan kondisi DO di lapangan sebesar 2.5 ppm.

Kedua, jika terdapat faktor dengan nilai di luar standar, baik kurang maupun lebih, pakar memeriksa kondisi faktor lain yang berkaitan dengan faktor tersebut serta teori bagaimana faktor-faktor tersebut saling mempengaruhi. Ketiga, jika ditemukan bahwa kondisi faktor lain yang terkait tidak menunjukkan adanya masalah, solusi diajukan pakar menurut asumsi berdasarkan kemungkinan-kemungkinan yang logis. Kondisi seperti ini biasanya terjadi pada permasalahan tambak yang disebabkan faktor eksternal.

Keempat, jika ditemukan kondisi faktor terkait juga bermasalah, pakar menganalisis permasalahan dan merumuskan solusi yang optimal. Kelima, jika solusi tidak dapat ditentukan dari melihat data yang ada, pakar mencari informasi lain kepada tenaga teknis yang bertugas melakukan pemantauan atau memantau kembali riwayat kondisi tambak sebelumnya.

Pakar yang terlibat dalam penelitian ini menjelaskan bahwa kondisi pada langkah ke-3 sebenarnya sangat jarang terjadi, sedangkan langkah ke-5 menunjukkan pengulangan langkah-langkah sebelumnya dengan data yang berbeda. Oleh karena itu, seluruh permasalahan di tambak sebaiknya didekati dengan cara memperhatikan keterhubungan antar elemen untuk mencapai solusi yang optimal. Solusi optimal dalam hal ini didefinisikan sebagai tindakan penanganan yang lebih efektif dan efisien. Tujuannya untuk menghindari tindakan penanganan yang kurang atau bahkan tidak tepat guna, salah, dan konflik.

Pengetahuan dalam sebuah sistem pakar dapat diperoleh berupa keterampilan atau ilmu dari buku atau pakar [5]. Kegiatan transfer pengetahuan dari sumbernya ke sistem disebut akuisisi pengetahuan. Dalam penelitian ini, pengetahuan dikumpulkan melalui studi literatur dan wawancara dengan pakar. Data yang didapat dari media cetak divalidasi dan diverifikasi oleh pakar.

Akuisisi pengetahuan menghasilkan bahwa permasalahan dan solusi dalam pengelolaan kualitas air budidaya tambak dapat dimodelkan menjadi klasifikasi sederhana, yaitu metode klasifikasi untuk pengetahuan atau data yang sifatnya pasti. Dengan metode ini, pengetahuan dapat direpresentasikan ke dalam bentuk *decision tree* atau *decision table* [6]. Vannacues menggunakan *decision table* karena pertimbangan lebih sederhana daripada *decision tree* dalam domain penelitian. Dari segi interaksi dengan pengguna, sistem juga tidak membutuhkan pertanyaan bertahap yang menjadi ciri khas representasi *decision tree*. Pertimbangan lain digunakannya representasi ini adalah karena sifat

independen yang kuat antara kelompok kasus. Pakar merumuskan berbagai kondisi yang mungkin terjadi dalam budidaya tambak dan mengelompokkannya berdasarkan prinsip keterhubungan antar elemen. Setiap kombinasi kondisi tersebut kemudian diberikan langkah-langkah solusi yang tepat.

Decision table mendeskripsikan persoalan menjadi pertanyaan, jawaban dari pertanyaan, dan solusi masalah dalam bentuk baris dan kolom [6]. Setiap kolom secara umum memodelkan aturan (*rule*) yang akan dibangun dalam sistem. *Rule* terdiri dari jawaban-jawaban dari pertanyaan yang dapat dipenuhi oleh satu atau lebih solusi. Pertanyaan dan jawaban menunjukkan sisi permasalahan yang selanjutnya dipecahkan dengan solusi pada baris-baris berikutnya. Dalam beberapa literatur, masalah dan solusi juga disebut sebagai “kondisi” dan “aksi”. Dalam *decision table*, inferensi diawali dengan mencocokkan kombinasi antara *rule* dengan fakta yang ada. Selanjutnya, solusi didapatkan jika seluruh kondisi *rule* terpenuhi. Bentuk dasar *decision table* ditunjukkan oleh tabel II. Baris-baris dibagi ke dalam dua bagian untuk question dan diagnosis (mengacu pada solusi). Jawaban-jawaban dari pertanyaan disimbolkan dengan tanda “x”, “-“, dan kosong yang umumnya menandakan jawaban “ya”, “tidak” atau kata lain. Kombinasi keduanya, yakni jawaban dan solusinya, membentuk sebuah *rule*. Setiap kolom menunjukkan adanya *rule* yang berbeda dan independen satu sama lain.

Untuk menggambarkan pengetahuan pakar dalam Vannacues, diperlukan sedikit modifikasi penulisan simbol pada *decision table*. Jika *decision table* pada umumnya hanya mengandung satu jawaban di setiap perpotongan baris dan kolom (*cell*), maka pada penelitian ini *cell* dibuat untuk menampung lebih dari satu jawaban. Begitu pun dengan pertanyaan di setiap baris. Nilai yang disimpan meliputi jawaban dari pertanyaan-pertanyaan berikut: (1) Kapan pencatatan data faktor kualitas air dilakukan? (atribut: waktu), (2) Bagaimana posisi nilai faktor terhadap standar? (atribut: status), dan (3) Apakah faktor merupakan parameter dalam keterhubungannya dengan faktor lain? (atribut: jenis).

Gambaran pemetaan jawaban dari pertanyaan-pertanyaan di atas dalam *decision table* ditunjukkan oleh tabel III. Dari tabel III, diperlukan penulisan multiatribut untuk satu faktor yang terdiri dari waktu, status, dan jenis. Atribut waktu menggunakan sistem 12 jam, yaitu

AM (*ante meridiem*) untuk pukul 00.00 – 11.59 dan PM (*post meridiem*) untuk pukul 12.00 – 23.59. Atribut status dituliskan “di bawah normal” atau “di atas normal”. Status normal berarti nilai faktor berada pada rentang standar dan kondisi demikian tidak diperhitungkan. Atribut jenis mengindikasikan apakah suatu faktor menjadi acuan atau bukan dalam sebuah *rule*. Faktor acuan berarti faktor tersebut menjadi parameter dalam suatu rantai keterhubungan antar elemen.

TABEL II
BENTUK DASAR REPRESENTASI ECISION TABLE

| Decision table-1 | Rule-1 | Rule-2 | Rule-3 | Rule-4 | Rule-5 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Question-1 | x | x | x | - | - |
| Question-2 | x | - | - | | |
| Question-3 | | x | - | | |
| Question-4 | | | x | | |
| Question-5 | | | | x | - |
| Diagnosis-1 | x | x | | | |
| Diagnosis-2 | | | x | | |
| Diagnosis-3 | | | | x | |
| Decision table-2 | | | | | x |

Satu kondisi didefinisikan sebagai gabungan dari ketiga pertanyaan dan jawaban untuk sebuah faktor. Dalam satu *rule*, dapat terdiri dari satu atau lebih kondisi. Satu solusi didefinisikan sebagai kumpulan aksi untuk mengatasi masalah pada *rule* yang memuatnya. Aksi-aksi tersebut memiliki tingkat prioritas masing-masing yang menandakan urutan pengerjaan. Untuk menyederhanakan representasi, bentuk *decision table* pada tabel III dimodifikasi dengan penggunaan simbol-simbol spesifik dan penomoran aksi (lihat tabel IV).

Pada *decision table* yang baru, kondisi tambak disimbolkan dengan dua huruf yang mencakup atribut status (a = atas normal, b = bawah normal) dan atribut jenis, sedangkan atribut waktu dipisahkan menjadi satu kondisi tersendiri karena hanya digunakan oleh pH dan DO. Solusi tidak lagi hanya mencakup aksi-aksi, tetapi juga tingkat prioritas. Menurut pakar, urutan pengerjaan aksi ikut berperan penting dalam mencapai solusi yang optimal bagi permasalahan tambak.

Prosedur inferensi dalam *decision table* sistem yang telah dikemukakan sebelumnya dapat dikategorikan ke dalam metode *production rules* [5]. Metode ini sesuai dengan *forward chaining*, yaitu silogisme yang dimulai dari premis-premis hingga ditemukan konklusi, dapat dilihat pada gambar 2.

TABEL III
BENTUK AWAL *DECISION TABLE* SISTEM

| | Rule-1 | Rule-2 | ... Rule-n |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Kondisi faktor-faktor kualitas air | | | |
| 1 pH | | | |
| waktu | AM | | |
| status | di bawah normal parameter | | |
| jenis | | | |
| 2 DO | | | |
| waktu | | PM | AM |
| status | | di bawah normal parameter | di bawah normal parameter |
| jenis | | | |
| 3 BOD | | | |
| waktu | | | - |
| status | | | di atas normal bukan parameter |
| Jenis | | | |
| ... | | | |
| n | | | |
| Solusi berupa tindakan penanganan | | | |
| 1 Penggantian air kultur | V | V | V |
| 2 Sifon | V | | |
| 3 Pengurangan masukan bahan organik | V | | V |
| ... | | | |
| n | | | |

| |
|---|
| IF kondisi faktor kualitas air (AND kondisi faktor kualitas air lain AND ...) THEN aksi prioritas 1 (AND aksi prioritas 2 AND ...) |
|---|

Gambar 2. Silogisme *forward chaining*.

Tanda “()” pada contoh di atas menunjukkan bahwa jumlah premis dapat terdiri dari satu kondisi atau lebih, sedangkan konklusi merupakan kumpulan aksi. Setiap pola silogisme di atas menghasilkan satu *rule*.

Secara rinci, inferensi diuraikan dalam tiga langkah-langkah. Pertama, memproses fakta-fakta spesifik kasus. Dalam hal ini fakta spesifik kasus mengacu pada nilai-nilai faktor kualitas air yang dimasukkan oleh pengguna ke dalam sistem pakar. Data tersebut diproses hingga didapat nilai atribut, kemudian hanya melanjutkan proses terhadap kondisi faktor yang bermasalah. Kedua, mencocokkan kondisi-kondisi yang ada dengan kondisi-kondisi yang terdaftar dalam *rule*. Kondisi yang terjadi di lapangan dapat ditangani selama terdaftar dalam *rule*. Jika dalam suatu *rule* kondisi-kondisi yang terdaftar didalamnya tidak dipenuhi oleh kondisi di lapangan, maka solusi tidak dapat dihasilkan, kecuali jika kondisi tersebut dimiliki oleh faktor yang menjadi parameter. Ketiga, menentukan *rule* yang tepat. Terkait dengan langkah ke-2, dari berbagai

kemungkinan *rule* yang ada, ditentukan satu atau lebih *rule* yang paling banyak dipenuhi oleh kondisi di lapangan. Keempat, menghasilkan solusi. Setelah dapat ditentukan *rule* yang sesuai, solusi dan tingkat prioritasnya dapat diketahui. Prioritas menentukan aksi mana yang harus dikerjakan lebih dulu daripada aksi lain. Jika masalah telah dapat diselesaikan setelah aksi tertentu dikerjakan, maka aksi berikutnya tidak perlu dikerjakan.

TABEL IV
BENTUK *DECISION TABLE* SISTEM SETELAH DISEDERHANAKAN DENGAN SIMBOL DAN PENOMORAN

| | Rule-1 | Rule-2 | ... Rule-n |
|-------------------------------------|--------|--------|------------|
| Kondisi faktor-faktor kualitas air | | | |
| 1 pH | bp | | |
| 2 DO | | bp | bp |
| 3 BOD | | | an |
| ... | | | |
| n | | | |
| Waktu | | | |
| | AM | PM | AM |
| Solusi berupa tindakan penanganan | | | |
| 1 Penggantian air kultur | 1 | 1 | 1 |
| 2 Sifon | 2 | | |
| 3 Pengurangan masukan bahan organik | 3 | | 2 |
| ... | | | |
| n | | | |

Arsitektur Vannacues ditunjukkan oleh gambar 3 dengan pembagian bagian-bagian utama, yakni sistem kontrol dan basis pengetahuan, Masing-masing bagian utama ini akan terbagi lagi menjadi beberapa bagian.

Bagian ini membahas sistem kontrol yang mencakup modul-modul yang terkait interaksi dengan pengguna dan mesin inferensi [13]. Modul antarmuka pengguna terdiri dari fitur konsultasi, eksplanasi, dan modifikasi. Fitur-fitur ini diimplementasikan sesuai ciri pengetahuan yang baik, yaitu dapat diformalisasikan, direpresentasikan, dan dimodifikasi [6]. Fitur konsultasi menerima masukan dari pengguna dan menampilkan hasil. Fitur ini terkait dengan fitur penjelasan yang berfungsi memberikan penjelasan ilmiah dari kesimpulan sistem. Fitur modifikasi untuk pakar atau pengembang jika ingin menambah, mengubah, dan menghapus isi basis pengetahuan. Modul mesin inferensi terdiri dari algoritma penalaran untuk merealisasikan inferensi berdasarkan representasi pengetahuan [13]. Perangkat lunak untuk pengembangan sistem pakar umumnya berperan dalam menyediakan bagian ini.

Basis Pengetahuan sistem dibagi menjadi tiga. Pertama, *Factual knowledge*. Pengetahuan ini mengacu pada fakta spesifik kasus dari masukan pengguna dan waktu pemasukan data yang dihasilkan otomatis oleh sistem. Nilai faktor

kualitas air dapat berupa data kuantitatif (bilangan) atau data kualitatif, misalnya “ada” dan “tidak ada”. Kedua, *Derivation knowledge*. Pengetahuan ini mengacu pada fakta domain yang bersumber dari pakar dan menjadi dasar dalam pengambilan solusi. Dalam Vannacues, pengetahuan ini memuat variasi kondisi, solusi, dan *rule* pada *decision table*. Ketiga, *Control knowledge*. Pengetahuan ini digunakan untuk mengontrol *derivation knowledge* ketika dibenturkan dengan data masukan pengguna. Pengetahuan ini identik dengan bagian *working memory* yang dikenal pada berbagai arsitektur sistem pakar dan menyimpan fakta-fakta sementara. Dengan bantuan mesin inferensi, fakta tersebut diproses untuk menghasilkan solusi final yang diajukan sistem ke pengguna [6]. Dalam Vannacues, pengetahuan ini terdiri dari riwayat data masukan pengguna.

3. Hasil dan Pembahasan

Vannacues dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman *web PHP* dan sistem manajemen basis data *MySQL*. Alasan dipilihnya bahasa yang tidak spesifik untuk pengembangan sistem pakar adalah karena *decision table* lebih mudah dan fleksibel jika pengetahuannya disimpan dalam tabel-tabel basis data. Selain itu, *PHP* sangat mendukung aspek *user friendly*, *platform less*, dan modularitas. Penggunaan basis data membuat sistem dapat dimodifikasi dengan mudah dan lebih *persistent* dalam penyimpanan pengetahuan.

Dengan basis data, inferensi dalam *decision table* dilakukan hanya dengan *look up table*. Implementasi *rule* dapat dilihat pada gambar 4.

| | | | |
|------|----|----|--------|
| IF | ?X | is | ?Y |
| AND | ?X | is | ?Y |
| THEN | ?Z | ?W | ?V ... |

Gambar 4. Implementasi rule.

Simbol ?X, ?Y, dan sebagainya dapat diganti secara fleksibel oleh isi tabel-tabel basis data yang bersesuaian dengan fakta. Dalam *PHP*, algoritma inferensi tersebut hanya perlu dideklarasikan sekali.

Hasil pengujian dalam penelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa solusi yang

dihasilkan sistem melalui inferensinya sesuai dengan jawaban pakar. Berbagai kombinasi kasus yang berbeda disimulasikan ke dalam sistem untuk memastikan bahwa sistem telah memberikan hasil yang konsisten. Berdasarkan rekomendasi pakar, dalam pengujian ini diasumsikan bahwa pemasukan data ke sistem dilakukan segera setelah hasil pemantauan didapat.

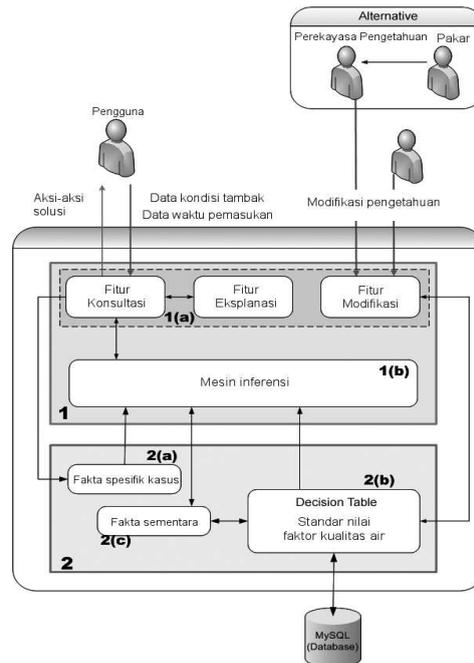
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan solusi apabila kondisi di lapangan telah terdefinisi dalam *rule*. Solusi tersebut, lengkap dengan urutan pengerjaan tiap aksi, telah sesuai dengan hasil akuisisi pengetahuan. Dalam menentukan *rule*, sistem juga telah dapat membedakan perlakuan antara kondisi faktor parameter dan nonparameter. Dari segi modifikasi, fitur *editor* pada sistem telah mampu digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan penambahan pengetahuan di masa mendatang.

4. Kesimpulan

Penelitian ini masih membutuhkan pengembangan hingga dapat dihasilkan sistem pakar untuk budidaya tambak yang ideal. Terdapat beberapa kesimpulan dan rekomendasi yang dapat peneliti ajukan. pertama, permasalahan kualitas air pada budidaya tambak udang putih dapat dimodelkan dengan klasifikasi sederhana dan representasi *decision table* yang dimodifikasi dengan multiatribut.

Kedua, kepakaran yang dibutuhkan dalam penyelesaian masalah budidaya tambak adalah pada sisi penentuan solusi dengan terlebih dahulu mempertimbangkan keterhubungan antar elemen. Ketiga, sistem pakar sebaiknya dikembangkan agar dapat menangani permasalahan budidaya tambak udang putih secara menyeluruh, bukan hanya sebatas kualitas air [1].

Keempat, sistem pakar dikembangkan menjadi agen cerdas yang mampu memeroleh masukan data langsung dari alat-alat pengukur faktor kualitas air di tambak (*embedded system*). Kelima, sistem pakar dapat dikembangkan menjadi *framework* untuk sistem pakar lain yang dapat menggunakan representasi *decision table* dengan penyesuaian pada deklarasi atribut.



Gambar 3. Arsitektur sistem Vannacues. Bagian 1 adalah sistem kontrol yang terdiri dari antarmuka pengguna (1(a)) dan mesin inferensi (1(b)). Bagian 2 adalah basis pengetahuan, terdiri dari *factual knowledge* (2(a)), *derivation knowledge* (2(b)), dan *control knowledge* (2(c)).

Referensi

- [1] C.E. Boyd, *Soil and Water Quality Considerations Shrimp Farming*, Dept. of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama 36849, USA, 2001.
- [2] D.C. Anyanwu, "Fish Pond Management Techniques for Aquaculturalists and Schools" *In 18th Annual Conference of the Fisheries Society of Nigeria (FISON)*, pp. 50-53, 2004.
- [3] D.D. Baliao & S. Tokwinas, *Best Management Practices for a Mangrove-Friendly Shrimp Farming*, Southeast Asian Fisheries Development Center, Iloilo, 2002.
- [4] J.M. Fox, G.D. Treece, & D.R. Sanchez, *Shrimp Nutrition and Feed Management*, UCA Press, Managua, 2001.
- [5] J.C. Giarratano & G.D. Riley, *Expert Systems: Principles and Programming*, PWS Publishing Company, China, 1998.
- [6] F. Puppe, *Systematic Introduction to Expert System*, Springer-Verlag, Amerika, 2003.
- [7] E.D. Putri, "Application Vannacues as Expert System for Cultivation of White Shrimp Pond," Tugas Akhir Sarjana, Dept. Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2010.
- [8] M. Briggs, S.F. Smith, R. Subasinghe, & M. Phillips, *Introductions and Movement of Penaeus vannamei and Penaeus stylirostris in Asia and the Pacific*, chapter 4, FAO, Bangkok, 2004.
- [9] Y. Darmayati, *Metode Analisis Air Laut, Sedimen, dan Biota*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oceanologi LIPI, Jakarta, 1997.
- [10] Marindro, *Konsep Pengembangan Tambak Udang 03 - Pengelolaan Kualitas Air Tambak 01*, Blog Marindro, <http://marindro.multiply.com/journal/item/6>, 2007, retrieved December 15, 2011.
- [11] Marindro, *Identifikasi Permasalahan Kualitas Air Tambak - Permasalahan Kualitas Air Tambak*, Informasi Budidaya Tambak Udang, Blog Marindro, <http://marindro.multiply.com/journal/item/16>, 2007, retrieved July 19, 2011.
- [12] J.A. Wyban & J.N. Sweeney, "Intensive Shrimp Culture Management in Round Ponds" *In Proceedings of the Southeast Asia Shrimp Farm Management Workshop*, pp. 215-225, 1989.
- [13] P. Harmon & D. King, *Artificial Intelligence in Business - Expert System*, Wiley Press Book, New York, 1985.
- [14] W. Ruimei, H. Youyuan, & F. Zetian, *Evaluation of the Water Quality of Aquaculture Pond Expert System*, Institute of Agricultural Engineering, <http://zoushoku.narc.affrc.go.jp/ADR/AFIT A/afita/afita-conf/2002/part4/p390.pdf>, 2004.