

## PENGEMBANGAN MODEL DECISION NETWORK DAN IMPLEMENTASINYA PADA SISTEM KALENDER TANAM PERTANIAN KABUPATEN PACITAN

Agus buono<sup>1</sup>, Rizaldi Boer<sup>2</sup>, Suciantini<sup>3</sup>, dan Arief Ramadhan<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departemen Ilmu Komputer, FMIPA - Institut Pertanian Bogor

<sup>2,4</sup> CCROMSEAP - Institut Pertanian Bogor

<sup>3</sup> Balai Penelitian Klimatologi, Balitbang - Deptan

<sup>1</sup> [pudesha@yahoo.co.id](mailto:pudesha@yahoo.co.id), <sup>2</sup> [rizaldiboer@gmail.com](mailto:rizaldiboer@gmail.com)

### Abstrak

Pada paper ini disajikan suatu pengembangan model decision network yang merupakan pengembangan dari bayesian network guna menentukan pilihan alternatif pola tanam yang meminimumkan risiko kekeringan pada pertanaman kedua. Empat peubah dalam bayesian network adalah fase SOI, curah hujan, sisa dasarian musim hujan dan bencana kekeringan. Sedangkan alternatif keputusan yang bisa dipilih ada 4 yang semuanya adalah pola tanam padi-padi. Perbedaananya adalah pada awal penanaman pertama. Sesuai dengan kategori peubah dalam bayesian network, maka ada 42 parameter dalam model bayesian network yang diduga dengan menggunakan teknik kemungkinan maksimum. Model yang dikembangkan telah berhasil diimplementasikan sebagai modul dari prototipe sistem kalender pertanian untuk Kabupaten Pacitan. Pada sistem yang dengan unit kecamatan ini, Pengguna secara dinamis dapat melakukan update data, struktur bayesian network dan fungsi risiko, serta melakukan prediksi harapan kerugian untuk sembarang kemunculan kondisi iklim.

**Kata kunci :** Metode kemungkinan maksimum (*maximum likelihood estimation, MLE*), *Bayesian Network (BN)*, *Decision Network (DN)*, dan kalender tanam pertanian (*Cropping calendar*).

### 1. Pendahuluan

Kalender Tanaman merupakan penjadwalan waktu tanam berbagai komoditi pertanian yang disusun dalam satu pola tanam di suatu daerah, [1]. Pola tanam yang tidak sesuai dengan prakiraan musim akan berisiko terkena bencana iklim seperti banjir dan kekeringan. Pengalaman menunjukkan bahwa tingkat variasi iklim di Indonesia sangat tinggi dan hasil pertanian secara nyata sangat tergantung dari kondisi iklim. Pemahaman informasi iklim sangat bermanfaat dalam melakukan adaptasi guna menghindari risiko yang lebih besar.

Paper ini menyajikan pemodelan Decision Network (DN) sebagai alat untuk memproses informasi iklim guna memberikan alternatif pola pertanaman padi yang meminimalisasi risiko akibat variasi iklim. Dengan teknik seperti ini, maka informasi pola tanam dapat dikembangkan secara dinamis mengikuti pola iklim yang ada. Dengan demikian, informasi yang

diberikan akan lebih baik dibandingkan dengan informasi pola tanam sebelumnya yang bersifat statis. Bencana iklim yang menjadi bahasan pada paper ini difokuskan pada kekeringan yang terjadi pada pertanaman kedua dari pola tanam padi-padi.

Paper ini disajikan dengan susunan sebagai berikut : Bagian 2 mengenai rumusan masalah kalender tanam dengan model decision network. Teori ringkas mengenai Bayesian Network disajikan pada bagian 3. Bagian 4 menyajikan teori ringkas mengenai decision network. Hasil dan pembahasan disajikan pada bagian 5. Sebagai penutup adalah kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya yang disajikan pada bagian 6.

### 2. Perumusan Masalah

Bencana kekeringan sering kali terjadi pada pertanaman kedua, yang disebabkan oleh munculnya kejadian El-Nino yang

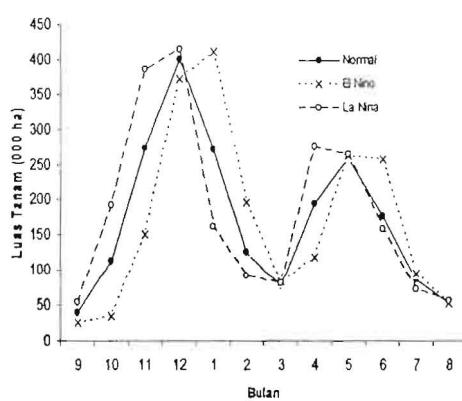
ditengarai dengan anomali suhu muka laut di kawasan Pacific atau Indeks Osilasi Selatan (SOI). Indeks Osilasi Selatan merupakan indeks yang menggambarkan perbedaan tekanan udara dekat permukaan laut di kawasan Tahiti ( $P_{Tahiti}$ ) dan Darwin ( $P_{Darwin}$ ), yang dirumuskan sebagai :

$$SOI = \frac{(P_{Tahiti} - P_{Darwin})}{Stdev(P_{Tahiti} - P_{Darwin})} \times 10 \quad (1)$$

Selanjutnya nilai SOI dikelompokkan menjadi 5 fase yaitu (Stone *et al.*, 1996, dalam [1]):

1. Fase 1: konstan negatif
2. Fase 2: konstan positif
3. Fase 3: menurun cepat
4. Fase 4: meningkat cepat
5. Fase 5: mendekati nol

Fase 1 dan 3 dikenal dengan fenomena El-Nino, 2 dan 4 La-Nina dan fase 5 dikenal dengan normal. Kejadian El-Nino akan menyebabkan musim tanam mundur. Sementara itu pada kondisi La-Nina, musim tanam akan maju, seperti terlihat pada Gambar 1, [1].

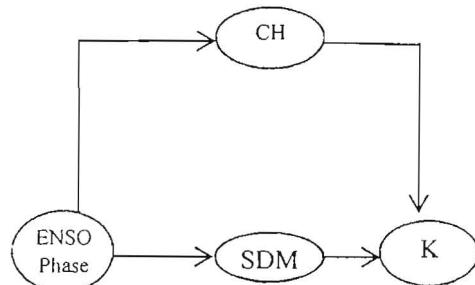


Gambar 1. Rata-rata luas tambah tanam bulanan padi di Jawa Barat (1971-2001) pada tahun normal, El-Nino dan La-Nina

Bencana kekeringan kemungkinan akan terjadi saat kondisi El-Nino, khususnya pada pertanaman kedua. Hal ini dikarenakan pada pertanaman kedua, musim hujan sudah berhenti. Namun demikian, jika curah hujan pada tanam kedua masih tinggi (di atas normal) dan musim hujan masih berlangsung maka bencana kekeringan (K) tidak terjadi. Kedua hal tersebut dinyatakan sebagai sifat hujan, CH, (yaitu di bawah normal, normal dan di atas normal) dan

panjang musim hujan dinyatakan sebagai sisa dasarian musim hujan (SDMH), yang keduanya sangat tergantung dari fase SOI atau fase ENSO.

Dari bahasan di atas, model keterkaitan ke empat peubah dapat digambarkan dalam bentuk directed acyclic graph (DAG) seperti Gambar 2.



Gambar 2. Keterkaitan ENSO, CH, SDMH, dan K

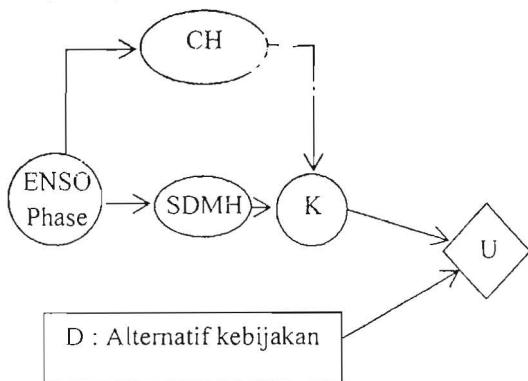
Dalam hal ini ENSO fase berpengaruh langsung pada CH dan SDMH. Sedangkan CH dan SDMH berpengaruh langsung pada K (Kekeringan). Pemilihan nilai-nilai untuk 4 peubah tersebut adalah seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai peubah Pengkelasan

No	Variabel	Nilai	Arti
1 ENSO Phase	Bln Agustus	1	Near Zero (SOI 5)
		2	Consistent Negative (SOI 1/3)
		3	Consistent Positive (SOI 2/4)
2 CH	Curah Hujan	1	CH < (0.85 * Rataan tahunan)
		2	(0.85 * Rataan tahunan) < CH < 1.15 * Rataan Tahunan)
		3	CH > (1.15 * Rataan Tahunan)
3 SDMH	Sisa Dasarian	1	Sisa MH < 10 dasarian
		2	Sisa MH : 10, 11, 12, dan 13 dasarian
		3	Sisa MH > 13 dasarian
4	K	1	Tidak ada lahan kekeringan

	gan	2	Kekeringan ringan
		3	Kekeringan besar
		4	Kekeringan sangat besar

Pemilihan nilai untuk fase SOI adalah mengikuti fenomena Normal, El-Nino, dan La-Nina. Untuk curah hujan adalah mengikuti ketetapan dari BMKG. Nilai SDMH berdasar fakta bahwa masa tanam padi adalah sekitar 4 bulan (12 dasarian), maka jika kurang dari 10 dinilai sangat kurang, 10-13 cukup, dan untuk  $SDMH > 13$  maka berlebih. Sedangkan untuk tingkat kekeringan dikelompokkan menjadi 4, yang nilai batas-batasnya sangat tergantung dari wilayah kajian.



Gambar 3. Keterkaitan Peubah Iklim, Bencana, Alternatif Kebijakan dan Risiko

Selanjutnya, model keterkaitan peubah tersebut digabungkan dengan sebuah node yang mencerminkan alternatif kebijakan. Setiap kemunculan kejadian peubah dan kebijakan yang dipilih akan berimplikasi pada risiko tertentu. Dengan dasar pemikiran tersebut, maka diagram Gambar 2 dikembangkan menjadi diagram gambar 3. Nilai informasi peubah pada Gambar 2 dikuantifikasi secara probabilistik yang nilainya diduga berdasar data. Dengan menambahkan nilai peluang bersyarat (conditional probability) pada setiap peubah dalam Gambar 2, maka DAG tersebut dikenal dengan Bayesian Network (BN). Sedangkan diagram Gambar 3 dikenal dengan Decision Network (DN).

Pada paper ini, ada 4 kebijakan pola tanam yang dilakukan (mengikuti kebiasaan petani), yang semuanya adalah pertanaman padi-padi. Perbedaannya adalah pada awal penanaman.

D1: penanaman pertama di awal musim hujan  
D2: penanaman pertama mundur 1 bulan  
D3: penanaman pertama mundur 2 bulan  
D4: penanaman pertama mundur 3 bulan

Sedangkan node U adalah risiko yang nilainya sebagai fungsi dari kebijakan pola tanam yang diambil dan kejadian iklim bencana yang muncul, yaitu :

$$U = f(D, K)$$

Nilai risiko ini sangat tergantung dari wilayah kajian.

### 3. Bayesian Network

Bayesian Network (BN) merupakan sebuah directed acyclic graph dengan setiap node yang ada dilengkapi dengan distribusi bersyarat, [2]. Dalam hal ini setiap node merepresentasikan sebuah variabel dan link dari node A ke node B (A sebagai parent dari B) menunjukkan bahwa kemunculan nilai peubah A akan berpengaruh langsung pada kemunculan node B. Pada paper ini setiap node merepresentasikan peubah diskret, sehingga distribusi peluang pada setiap node dapat disajikan dalam bentuk tabel dan disebut sebagai tabel peluang bersyarat (*conditional probability table*, CPT).

Secara umum, peubah-peubah (node-node) pada BN dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu peubah query (Q), peubah evidence (E) dan peubah hidden (Y), [3], sehingga berlaku :

$$X = Q \cup E \cup Y$$

X adalah himpunan semua peubah yang ada dalam BN. Dalam hal ini peubah query adalah peubah yang ingin dihitung distribusinya kalau diketahui kemunculan beberapa peubah lain yang disebut sebagai peubah evidence. Selain peubah query dan peubah hidden, maka dikelompokkan dalam peubah hidden. Ada 3 permasalahan dalam pemodelan BN, yaitu pembuatan struktur, inferensi, dan pendugaan parameter model. Dalam pembuatan struktur, peran pakar bidang ilmu yang menjadi kajian lebih dominan. Seperti halnya pada paper ini, struktur BN ditentukan berdasar analisis bidang kajian, yaitu permasaahan iklim.

### 3.1 Inferensi

Inferensi merupakan pendugaan distribusi peubah query ( $Q$ ) kalau diketahui adanya beberapa eviden ( $E$ ), yaitu  $P(Q|E)$ . Sesuai dengan kaidah bayes, maka  $P(Q|E)$  dirumuskan dirumuskan sebagai :

$$P(Q|e) = \frac{P(Q,e)}{P(e)} = \alpha P(Q,e) \quad (2)$$

Dalam hal ini nilai  $\alpha$  hanya merupakan normalisasi, mengingat total nilai peluang adalah 1. Nilai  $P(Q,e)$  dirumuskan sebagai :

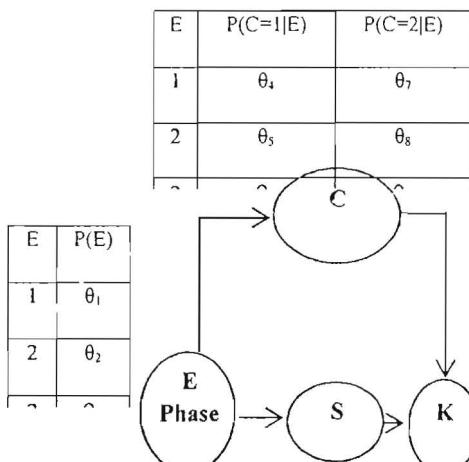
$$P(Q,e) = \sum_{\forall y \in Y} P(Q,e,y) \quad (3)$$

Sesuai dengan prinsip dasar teori peluang dan keterkaitan antar peubah dalam BN, maka nilai  $P(Q,e,y)$  dirumuskan sebagai berikut :

$$\left[ P(Q,e,y) = \prod_{\forall X_i \in X} P(X_i | X_i's \text{ Parents}) \right] \quad (4)$$

Oleh karena itu, distribusi peubah query yang ingin dihitung adalah dirumuskan mengikuti formula berikut :

$$P(Q|e) = \alpha \sum_{\forall y \in Y} \prod_{\forall X_i \in X} P(X_i | X_i's \text{ parents}) \quad (5)$$



E	$P(S=1 E)$	$P(S=2 E)$
1	$\theta_{10}$	$\theta_{13}$
2	$\theta_{11}$	$\theta_{14}$

C	S	$P(K=1 C,S)$	$P(K=2 C,S)$	$P(K=3 C,S)$
1	1	$\theta_{16}$	$\theta_{25}$	$\theta_{34}$
1	2	$\theta_{17}$	$\theta_{26}$	$\theta_{35}$
1	3	$\theta_{18}$	$\theta_{27}$	$\theta_{36}$
2	1	$\theta_{19}$	$\theta_{28}$	$\theta_{37}$
2	2	$\theta_{20}$	$\theta_{29}$	$\theta_{38}$
2	3	$\theta_{21}$	$\theta_{30}$	$\theta_{39}$
3	1	$\theta_{22}$	$\theta_{31}$	$\theta_{40}$

Gambar 4. Model BN dengan 4 peubah dan mempunyai 42 parameter

### 3.2 Pendugaan Parameter BN dengan Metode Kemungkinan Maksimum

Metode kemungkinan maksimum merupakan teknik pendugaan parameter yang memaksimumkan fungsi kemungkinan. Fungsi kemungkinan merupakan fungsi dari parameter kalau diketahui beberapa sample, [4]. Dari sebuah struktur BN dengan parameter  $\Theta$  dan data  $M$  sample, yaitu  $d_1, d_2, d_3, \dots, d_M$ , maka fungsi kemungkinan dari  $\Theta$  adalah, [2] :

$$P(\Theta | d) = P(d | \Theta) = \prod_{j=1}^M P(d_j | \Theta) \quad (6)$$

Oleh karena itu, tahapan teknis dari metode kemungkinan maksimum untuk menduga parameter sebuah BN tertentu adalah sebagai berikut :

1. tuliskan formula fungsi kemungkinan sesuai dengan persamaan di atas dan struktur BN
2. turunkan fungsi kemungkinan tersebut terhadap setiap parameter
3. hitung nilai parameter sedemikian sehingga nilai turunannya nol

Misalkan struktur BN adalah seperti Gambar 2, maka parameter dari model BN adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat ada 42 parameter dalam model tersebut.

#### 4. Decision Network

Decision Network (DN) atau sering disebut juga sebagai Influenced Network merupakan pengembangan dari Bayesian Network (BN). Pada dasarnya BN merupakan model visual menggunakan graph dari distribusi bersama sejumlah peubah. Oleh karena itu, pada BN bisa mengetahui peluang dari suatu peubah tertentu (peubah query) kalau diketahui nilai peubah lain (peubah evidence). Jadi output dari BN adalah distribusi peubah query. Sedangkan pada DN, ingin mengetahui bagaimana kaitan dari tiga hal, yaitu keputusan yang diambil, resiko yang terjadi, serta ketakpastian dari peubah-peubah dalam BN. DN merupakan BN yang dikembangkan dengan dua hal, yaitu: keputusan yang bisa diambil dan resiko yang mungkin terjadi, sehingga DN terdiri dari tiga jenis node, yaitu :

- a. chance node : node yang merepresentasikan peubah-peubah dalam BN. Node ini dilambangkan dengan simbol

Chance node :



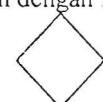
- b. Decision node : node yang merepresentasikan peubah keputusan, sehingga nilai dari node ini adalah semua kemungkinan keputusan yang bisa diambil. Decision node dilambangkan dengan

Decision node :



- c. Utility node : node yang merepresentasikan nilai resiko yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, nilai dari node ini adalah semua kemungkinan resiko yang bisa terjadi akibat dari keputusan yang diambil dan ketakpastian yang ada pada BN. Utility node dilambangkan dengan :

Utility node :



Pilihan alternatif kebijakan didasarkan pada pilihan yang memaksimumkan harapan utility atau meminimumkan risiko, tergantung sifat fungsi U, yang dirumuskan sebagai :

$$EU(D | E) = \sum_{\forall i} P(O_i | E)U(O_i, D) \quad (7)$$

Setelah semua alternatif kebijakan, D, dihitung nilai harapan utilitynya, maka pilihan didasarkan pada D yang memaksimumkan utility atau meminimumkan risikonya.

Fungsi utilitas pada paper ini adalah fungsi risiko, sehingga kriteria pemilihan kebijakan adalah yang meminimumkan harapan risiko kekeringan. Oleh karena peubah bencana (K) mempunyai 4 kemungkinan nilai dan ada 4 alternatif pola tanam (D), maka ada  $4 \times 4 = 16$  kemungkinan nilai utilitas (U). Nilai  $f(D, K)$  adalah luas lahan (Ha) penanaman padi kedua yang terkena bencana kekeringan untuk setiap pasangan (D, K), dan ditentukan dengan tahapan sebagai berikut :

Tahap 1 : pencarian tahun terjadinya kekeringan penanaman padi kedua. Untuk setiap tahun terjadi kekeringan, lakukan tahap 2 dan tahap 3.

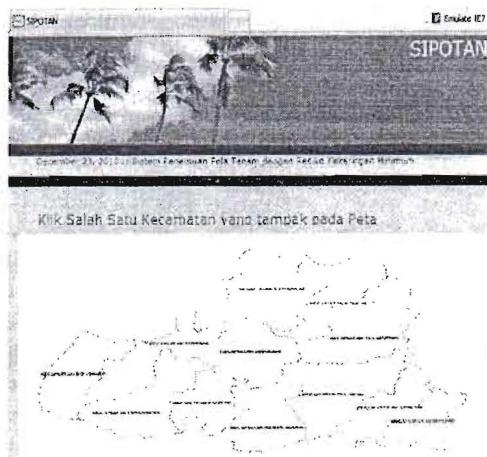
Tahap 2 : menghitung proporsi luas tambah tanam (LT) padi kedua untuk pola D1, D2, D3, dan D4.

Tahap 3 : menduga luas lahan padi penanaman kedua yang terkena bencana untuk setiap pola tanam (D1, D2, D3, dan D4). Jikalau setelah tahap 3 ini masih ada kombinasi (D, K) yang belum bisa ditentukan dikarenakan keterbatasan data, lakukan tahap 4.

Tahap 4 : menduga nilai luas lahan penanaman padi kedua yang terkena bencana, dari hasil tahap 3, dan selesai.

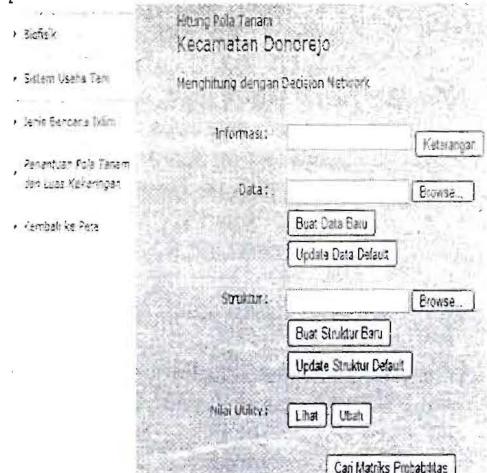
#### 5. Hasil dan Pembahasan

Model komputasi yang telah dideskripsikan di atas telah berhasil dijadikan sebagai salah satu modul pada prototipe sistem kalender pertanian, yang diberi nama SIPOTAN. Tampilan utama dari SIPOTAN adalah seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan prototipe SIPOTAN

Dengan memilih salah satu kecamatan, misalnya pilih kecamatan Donorejo, maka akan muncul tampilan menu SIPOTAN untuk Kecamatan Donorejo, seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan menu SIPOTAN untuk Kecamatan Donorejo

Terlihat ada 5 fitur, salah satunya adalah fitur "Penentuan Pola Tanam dan Luas Kekeringan". Jika fitur ini dipilih, maka sistem menampilkan seperti terlihat pada sebelah kanannya. Terlihat bahwa Pengguna secara dinamis dapat melakukan penghitungan harapan kerugian sesuai kondisi iklim yang ada dengan memilih isian "Informasi", "Data", "Struktur" dan "Nilai Utility". Semua pilihan tersebut bersifat optional, yang artinya, jika Pengguna tidak mengisi, maka sistem akan dijalankan dengan menggunakan nilai default.

Pilihan "Informasi" dipergunakan untuk mengisi nilai iklim yang real.

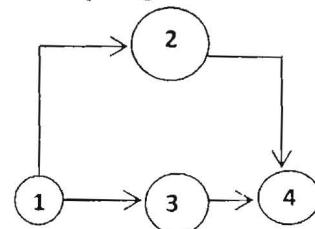
Misalnya fase ENSO (Peubah 1) adalah sedang berlangsung El-Nino (nilai 2), dan Curah Hujan (peubah 2) adalah di atas normal (nilai 3), maka format datanya adalah 1,2;2,3.

Pilihan "Data" untuk menentukan data yang dipergunakan guna menduga parameter model bayesian network. Dalam hal ini Pengguna dapat memilih file data baru, membuat data baru ataupun mengupdate file default yang ada. Format penulisannya adalah untuk kolom 1, 2, 3, dan 4 berturut-turut nilai peubah 1 (Fase ENSO bulan Agustus tahun sebelumnya), peubah 2 (Curah hujan), peubah 3 (Sisa Dasarian Musim Hujan), dan peubah 4 (Kekeringan). Sedangkan baris adalah record data.

Pilihan Struktur dipergunakan untuk menentukan struktur bayesian network. Dalam hal ini dinyatakan dalam bentuk matrik evidensi, yang berisi 1 (ada link) dan 0 (tidak ada link), yang dibaca sebagai baris adalah parent dari kolom. Misalkan peubah 1 sebagai parent dari peubah 2 dan 3, paubah 2 dan peubah 3 sebagai parent dari peubah 4, maka matrik yang diinputkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

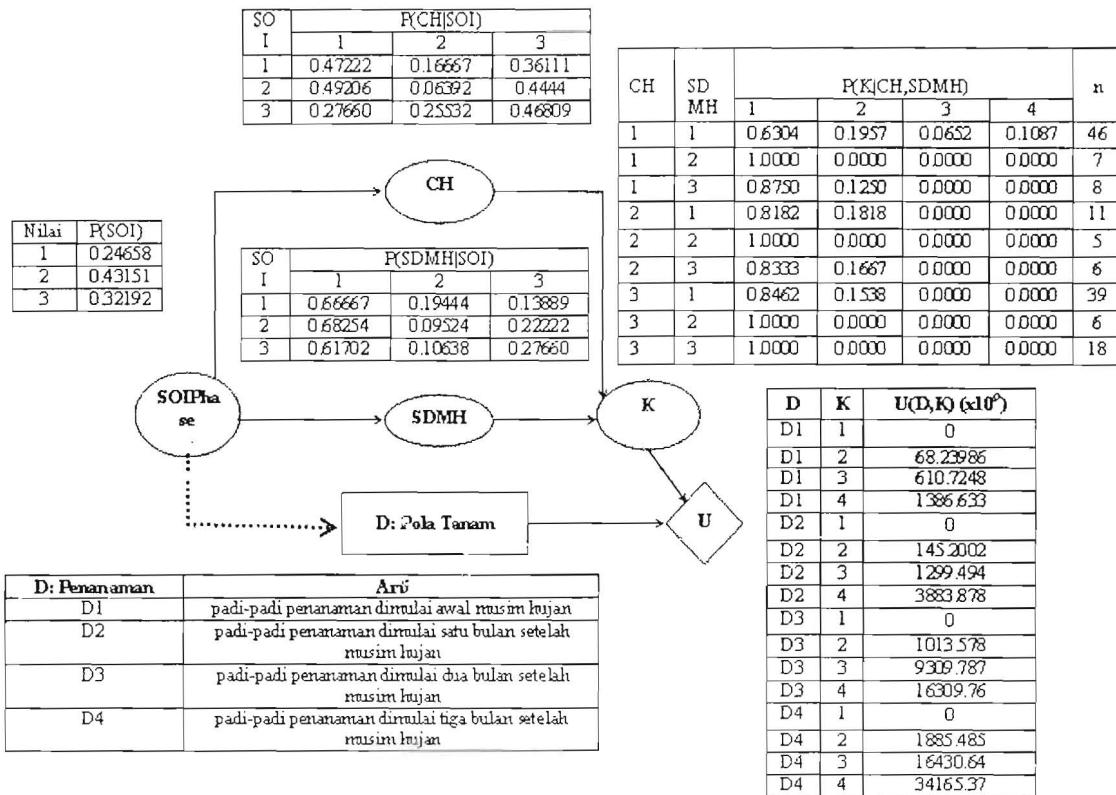
Ini berarti peubah 1 sebagai parent dari peubah 2 dan 3, paubah 2 dan peubah 3 sebagai parent dari peubah 4. Struktur bayesian network yang sesuai untuk matriks di atas adalah seperti gambar berikut :



Untuk memperbaiki fungsi utilitas, Pengguna dapat memilih "Nilai Utility". Nilai utility ini ditentukan mengikuti tahapan seperti dideskripsikan pada bagian 4.

Berdasar data dari tahun 1989 hingga 2001 untuk salah satu kecamatan, dan menggunakan metode kemungkinan maksimum untuk menduga parameter

model, maka diperoleh bayesian network secara lengkap seperti diperlihatkan pada



Gambar 7. Model decision network untuk Indramayu berdasar data periode tahun 1989-2001

## 6. Kesimpulan

Telah berhasil dikembangkan model decision network yang terdiri dari empat peubah penyusun bayesian network (fase Enso, Curah Hujan, Sisa Dasarian Musim Hujan, dan Kekeringan), dan empat alternatif kebijakan pola tanam padi-padi. Perbedaan antar pola tanam adalah awal penanaman pertama, yaitu awal musim hujan, mundur 1, 2, dan 3 bulan. Oleh karena nilai risiko akibat memilih satu alternatif dikaitkan dengan kejadian iklim dipergunakan sebagai fungsi utilitas, maka kriteria pemilihan pola tanam adalah yang meminimumkan harapan fungsi utilitas.

Modul yang dikembangkan dengan metode kemungkinan maksimum untuk menduga parameter ini bersifat dinamis, sehingga Pengguna secara realtime dapat memprediksi risiko kekeringan pertanaman kedua satu tahun ke depan yang didasarkan

Gambar 7.

informasi fase SOI bulan Agustus pada tahun ini.

Beberapa kelemahan yang ada diantaranya adalah minimnya jumlah data kekeringan dan data iklim lainnya yang tersedia untuk pelatihan sehingga dirasa kurang mampu mengakomodasi semua variasi yang ada. Dalam sistem belum disertakan model penduga peubah terkait curah hujan. Untuk penelitian selanjutnya akan integrasikan teknik downscaling untuk menduga sifat hujan, panjang musim dan awal musim hujan, sehingga informasi dalam menduga tingkat kekeringan lebih akurat.

### Daftar Rujukan

- [1] Boer, R., et.all. 2008. Penyusunan Kalender Tanaman. Laporan Penelitian, CCROMSEAP LPM IPB kerjasama dengan BMKG dan Deptan. Bogor.
- [2] Neapolitan, R.E. 2004. Learning Bayesian Networks. Prentice Hall, New Jersey
- [3] Russell, S. dan Peter N. 2003. Artificial Intelligence A Modern Approach, Second Edition. Prentice Hall Series, New Jersey.
- [4] Buono, A. 2000. Sistem Pendekripsi Wajah 3D dalam Ruang Eigen dengan Metode Kemungkinan Maksimum Menggunakan Algoritma EM. Tesis Program Master Ilmu Komputer, Fasilkom UI.