

**Pendekatan Simulasi Monte Carlo
Untuk Pemilihan Alternatif Dengan *Decision Tree*
Pada Nilai *Outcome* yang Probabilistik.**

Winda Nur Cahyo
Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
winda@fti.uii.ac.id

abstrak

Tree Diagram has been familiarly known as one of the tools used to solve or to make decision for problems that have some alternatives of solutions. But usually the outcome of the diagram are deterministicly approached. This paper suggested Monte Carlo Simulation to approach the deterministic aspect of outcome to become probabilistic. But there are some assumptions of the diagram must be change to adjust the Monte Carlo Approach.

Keyword : Tree Diagram, Monte Carlo Simulation, Decision Analysis.

I. Latar Belakang

Diagram Keputusan merupakan alat yang dapat digunakan untuk membantu menyelesaikan sebuah kasus yang mempunyai beberapa alternatif penyelesaian dengan masing-masing *outcome* yang muncul dari pemilihan alternatif yang ada. Dengan Diagram Keputusan dapat ditentukan *expected value* dari masing-masing alternatif berdasarkan nilai *outcome* dan probabilitas masing-masing alternatif.

Namun dalam sebuah Diagram Keputusan, nilai *outcome* biasanya mempunyai nilai yang tetap (deterministik), sedangkan nilai probabilitiknya ada pada probabilitas masing-masing alternatifnya. Implementasi metode Diagram Keputusan akan menemui kendala ketika dihadapkan pada kasus dimana *outcome*-nya bersifat probabilistik dan bersifat random. Salah satu alternatif pendekatan yang diusulkan untuk kasus Diagram Keputusan dengan *outcome* yang random adalah dengan menggunakan pendekatan simulasi Monte Carlo. Misalnya pada contoh kasus yang disampaikan oleh

Heizer (2001), *outcome* dari *Decision Tree* mempunyai nilai yang deterministik. Nilai *outcome* yang deterministik pada *Decision Tree* ini secara aktual relatif susah untuk ditentukan sehingga pendekatan probabilistik dengan model simulasi Monte Carlo pada kasus Heizer (2001) akan dilakukan untuk mempermudah menentukan nilai *outcome* yang deterministik menjadi nilai yang probabistik. Selain Heizer (2001), contoh implementasi *Decision Tree* juga ditulis oleh Niwanputri (2007). Sama seperti kasus oleh Heizer (2001). *Decision Tree* yang digunakan oleh Niwanputri (2007) juga diselesaikan pada kondisi *outcome* yang deterministik yang pada kondisi tertentu nilai *outcome* yang deterministik relatif sudah untuk ditentukan. Paper ini akan mengusulkan model *Decision Tree* yang dikembangkan dengan digabungkan dengan simulasi Monte Carlo.

II. Rumusan Masalah

Paper ini akan mengembangkan contoh kasus pada Heizer (2001) dengan mendekati nilai *outcome* yang deterministik menjadi nilai yang probabilistik. Sehingga perumusan masalah yang disampaikan apakah kombinasi *Decision Tree* dan Monte Carlo dapat dilakukan untuk menentukan nilai *outcome* yang tidak dapat ditentukan secara pasti?

III. Tinjauan Pustaka.

II.1. Analisis Keputusan

Di dunia nyata, sebuah keputusan jarang sekali dibuat dalam lingkungan yang pasti, hampir semua keputusan mengandung resiko (Hick, 1994). Menurut George (1971), secara estimologi, "*to decide*" (memutuskan) berarti "*to cut short*" atau "*to cut off*" yang secara sederhana dapat diartikan sebagai "*reaching a conclusion*". Analisis keputusan adalah sebuah metode yang menyediakan dukungan metode kuantitatif bagi pengambil keputusan di hampir semua area, termasuk di dalamnya bidang rekayasa, analisis dalam perencanaan perkantoran dan agen publik, konsultan manajemen proyek, perencanaan proses manufaktur, analisis finansial dan ekonomi, para pakar yang mendukung diagnosa medis dan sebagainya (Heizer, 2001).

Dari pendapat yang disampaikan oleh Heizer (2001), dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa di semua sistem khususnya sistem manajemen, yang ada proses pengambilan keputusan akan membutuhkan proses analisis keputusan. Keputusan akan diambil jika dalam manajemen ada sebuah masalah. Sebuah masalah jika dilihat dari sudut pandang manajemen dapat dikategorikan berdasarkan jangka waktunya, luas lingkungan ruang lingkungannya, dan sifat permasalahan (terstruktur atau tidak). Dalam tiga

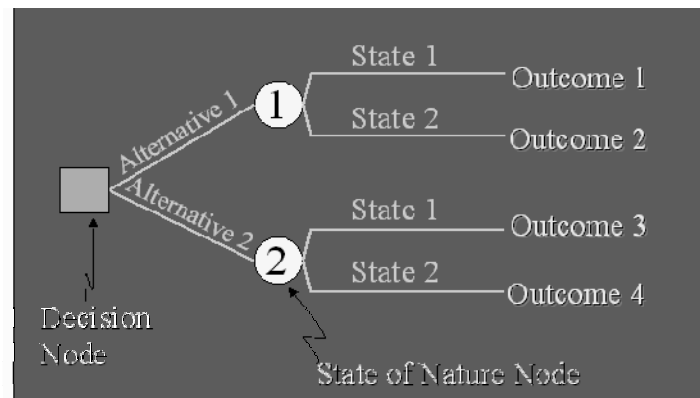
kategori tersebut maka permasalahan-permasalahan dalam manajemen dapat juga dibagi menjadi 3 level yaitu level operasional, taktis, dan strategis.

Menurut Mangkusburoto (1987) : analisis keputusan akan sangat bermanfaat dalam menyelesaikan permasalahan yang mempunyai sifat :

- a. Unik : permasalahan tidak mempunyai preseden dan di masa depan tidak akan terulang lagi.
- b. Tak Pasti : faktor-faktor yang diprediksikan dapat mempengaruhi hasil pengambilan keputusan memiliki kadar pengetahuan dan informasi yang terbatas.
- c. Jangka Panjang : hasil pengambilan keputusan mempunyai implikasi dalam jangka yang cukup panjang dan melibatkan sumberdaya-sumberdaya yang penting.
- d. Kompleks : preferensi pengambil keputusan atas resiko dan waktu memiliki peranan yang besar.

II.2. Diagram Keputusan

Diagram Keputusan adalah sebuah grafik yang menggambarkan proses pengambilan keputusan yang mengandung alternatif solusi, state of nature dan probabilitasnya serta *outcome* dari masing-masing alternatif (Heizer, 2001). Secara sederhana Diagram Keputusan dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Gambar Diagram Keputusan

Masih menurut Haizer (2001), menganalisis masalah dengan Diagram Keputusan mempunyai lima langkah penyelesaian, yaitu :

1. Mendefinisikan Permasalahan

2. Menggambarkan masalah dalam sebuah Diagram Keputusan (seperti pada Gambar 1).
3. Memberikan nilai probabilitas pada masing-masing *State of Nature*.
4. mengestimasi payoff untuk masing-masing kombinasi alternatif keputusan yang mungkin.
5. Menghitung *Expected Monetary Value* (EMV) dengan cara mengalikan *outcome* dengan probabilitasnya.

Persamaan untuk menghitung EMV adalah sebagai berikut :

$$EMV(A_i) = \sum_{i=1}^N V_i * P(V_i)$$

Dengan :

A_i = Alternatif i

N = jumlah *state of Nature*

V_i = Nilai *Payoff (outcome)*

$P(V_i)$ = Probabilitas *payoff*.

Pada kondisi dimana nilai outcome bersifat deterministik maka nilai EMV untuk masing-masing alternatif akan mudah untuk dihitung, yaitu dengan cara menjumlahkan hasil kali *outcome* dan probabilitas dari masing-masing *state*-nya. Misalnya pada Gambar 1 pada alternatif 1, masing-masing *state* mempunyai nilai probabilitas yang sama yaitu 0,5 dan nilai outcome 1 sebesar Rp. 1 juta dan nilai outcome 2 sebesar Rp. 1.5 juta. Dari nilai-nilai tersebut maka dapat dihitung EMV pada node 1 sebesar Rp. Rp. 1.25 juta $= (0,5 * \text{Rp. 1 juta}) + (0,5 * \text{Rp. 1.5 juta})$. Dengan cara yang sama, dapat juga dihitung EMV pada node 2. Setelah diperoleh EMV pada masing-masing mode maka dapat ditentukan alternatif mana yang dipilih berdasarkan nilai EMV yang diharapkan (bisa maksimum EMV atau minimum EMV) tergantung dari tujuan menjadi fokus penyelesaian kasusnya. Pada EMV, dapat digunakan ukuran apa saja untuk menyatakan nilai ini, tetapi yang umum digunakan adalah ukuran moneter, dalam satuan mata uang seperti Rupiah, Dollar, dan sebagainya (Mangkusubroto, 1987).

II.3. Simulasi Monte Carlo

Simulasi adalah sebuah metode analitik yang bertujuan untuk membuat "imitasi" dari sebuah sistem yang mempunyai sifat acak, dimana jika digunakan model lain menjadi sangat *mathematically complex* atau terlalu sulit untuk dikembangkan. Simulasi Monte Carlo adalah salah satu metode simulasi sederhana yang dapat dibangun secara cepat dengan hanya

menggunakan spreadsheet (misalnya Microsoft Excell). Pembangunan model simulasi Monte Carlo didasarkan pada probabilitas yang diperoleh data historis sebuah kejadian dan frekuensinya, dimana :

$P_i = f_i/n$, dengan :

P_i : Probabilitas kejadian i

f_i : frekuensi kejadian i

n : jumlah frekuensi semua kejadian.

Tetapi dalam simulasi Monte Carlo, probabilitas juga dapat ditentukan dengan mengukur probabilitas sebuah kejadian terhadap suatu distribusi tertentu. Distribusi ini tentu saja telah menjalani serangkaian uji distribusi seperti misalnya uji Chi-square, Heuristic, atau Kolmogorov-Smirnov dan sebagainya.

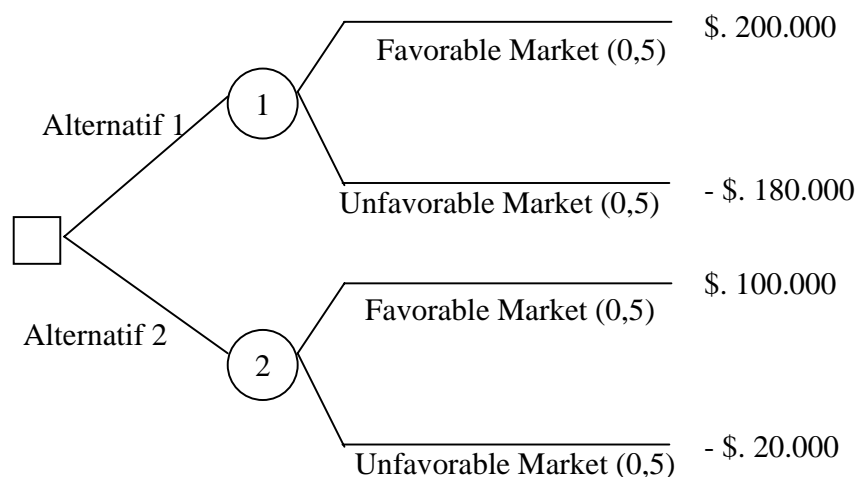
Outcome dari Diagram Keputusan yang bersifat deterministik kadang kurang bisa mengakomodasi sistem nyata yang mempunyai faktor ketidakpastian yang relatif tinggi. Dengan kekuatan dalam kesederhanaan yang dimiliki oleh metode Monte Carlo ini, maka *outcome* yang mempunyai faktor ketidakpastian dari sebuah Diagram Keputusan akan dapat diakomodasi keberadaannya. Hal ini dilakukan dengan cara menentukan berbagai nilai *outcome* beserta probabilitasnya kemudian melakukan simulasi Monte Carlo berdasarkan keluaran bilangan random terhadap probabilitas *outcome*. Bilangan acak yang digunakan dalam simulasi Monte Carlo ini merupakan sebuah representasi dari situasi yang tidak pasti dalam sebuah sistem nyata (Banks, 1996). Setelah diperoleh nilai *outcome* hasil simulasi Monte Carlo maka langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan dengan cara yang biasa dilakukan dalam Diagram Keputusan.

Penelitian yang dilakukan oleh Siregar (2005), juga menggunakan Simulasi sebagai alat untuk menentukan berbagai macam variabel yang mempengaruhi pengambilan keputusan nilai ekonomis gas alam sebagai pengganti bahan bakar pembangkit tenaga listrik. Dalam penelitian tersebut, simulasi digunakan untuk menentukan nilai berbagai variabel yang berada dalam situasi yang tidak pasti. Tetapi penelitian tersebut secara sederhana juga sebuah proses pengambilan keputusan dengan alternatif keputusan yaitu : Mengganti bahan bakar dengan gas atau tetap dengan bahan bakar yang lama.

IV. Kasus dan Pengembangan Model

Untuk lebih memudahkan bagaimana kombinasi 2 metode ini dapat diterapkan, maka diperlukan sebuah kasus untuk membandingkan proses penyelesaiannya. Kasus yang dipilih dalam artikel ini merupakan kasus yang

diadopsi dari heizer (2001), yang merupakan kasus *Decision Tree* untuk menyelesaikan persoalan pemilihan alternatif pada kondisi pasar yang *favorable* dan *unfavorable*. Kasus ini jika digambarkan dengan *Decision Tree* tampak pada Gambar 2, termasuk probabilitas masing-masing *state of nature* dan nilai *outcome*-nya yang deterministik.



Gambar 2. Contoh Kasus Sederhana dengan Diagram Keputusan (diadopsi dari Hiezer, 2001)

Kasus pada Gambar 2 merupakan contoh sederhana dari sebuah kasus yang diselesaikan dengan Diagram Keputusan. Kasus tersebut adalah kasus pemilihan 2 alternatif yaitu : alternatif 1 (membangun pabrik besar), atau alternatif 2 (membangun pabrik kecil). Nilai probabilitas dari masing-masing *state* beserta nilai *outcome*-nya diketahui dan telah tersaji di Gambar 2. Dari kedua alternatif tersebut maka dapat dihitung EMV 1 (dari alternatif 1) sebesar \$ 10.000 yang diperoleh dari $(0,5 * \$ 200.000) + (0,5 * -\$ 180.000)$ dan EMV 2 diperoleh sebesar \$ 40.000. Karena nilai EMV 2 lebih besar maka alternatif 2 dipilih.

Model Decision Tree pada Gambar 2 akan mudah diselesaikan jika nilai *outcome*-nya bersifat deterministik. Lain halnya jika *outcome*-nya tidak bisa diselesaikan secara pasti, maka nilai *outcome* ini dapat ditentukan dengan memberikan nilai yang berupa *range* yang masing-masing diberikan nilai probabilitasnya. Sebagai contoh, nilai *outcome* yang disajikan di Gambar 2 dikembangkan dengan nilai *range* yang kemudian nilai rerata, nilai atas dan nilai bawahnya masing-masing ditentukan probabilitasnya. Pendekatan probabilistik dari nilai *outcome* dari Gambar 2 disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pengembangan nilai *outcome*.

Alternatif	State	Outcome (\$)	Probabilitas	Random Number Assignment
Construct Large Plant	Favorable Market	150.000	0.30	00 - 29
		200.000	0.40	30 - 69
		250.000	0.30	70 - 99
	Unfavorable Market	-170.000	0.30	00 - 29
		-180.000	0.40	30 - 69
		-190.000	0.30	70 - 99
Construct Small Plant	Favorable Market	125.000	0.30	00 - 29
		100.000	0.40	30 - 69
		75.000	0.30	70 - 99
	Unfavorable Market	-18.000	0.30	00 - 29
		-20.000	0.40	30 - 69
		-22.000	0.30	70 - 99

Dari nilai-nilai yang ada di Tabel 1, dapat dilakukan simulasi Monte Carlo. Misalnya dilakukan 30 kali replikasi untuk masing-masing *outcome* dengan asumsi probabilitas dari masing-masing *state of nature* tidak disimulasikan. Hasil simulasi pada 30 kali replikasi disajikan pada Tabel 2. Pada kolom 2,4,6 dan 8 merupakan kolom Bilangan Random untuk keempat *state of nature*. Pada Kolom 2, *state* 1 merupakan kondisi favorable pada alternatif 1, kolom 4 : nilai *state* 2 merupakan kondisi unfavorable pada alternatif 1, pada kolom 6 : *state* 3 merupakan kondisi favorable pada alternatif 1 dan pada kolom 8 : *state* 1 merupakan kondisi unfavorable pada alternatif 1. Nilai *outcome* pada kolom 3,5,7 dan 9 diperoleh dari hasil simulasi Monte Carlo berdasarkan pada nilai bilangan random yang muncul di kolom *Random Number* pada kolom sebelumnya. Misalnya pada replikasi pertama, pada kolom 3, nilai *outcome* sebesar 250.000 diperoleh dari bilangan random pada kolom 2 yang bernilai 72. Nilai bilangan random 72 pada kolom ini akan dicocokkan dengan nilai range *Random Number Assignment* di Tabel 1 pada alternatif 1 dan kondisi pasar *favorable*. Nilai 72 ini masuk pada range ketiga yaitu antara 70 - 99, nilai *outcome* pada range ini adalah sebesar 250.000 sehingga nilai ini yang dipakai sebagai nilai *outcome* pada *state of nature* 1 replikasi pertama. Cara ini kemudian dilakukan untuk menentukan nilai *outcome* pada replikasi yang lain pada *state of nature* pertama hingga *state of nature* keempat.

Tabel 2. Tabel Simulasi untuk masing-masing *State of Nature*.

No. Replication	RN for state 1	outcome	RN for state 2	outcome	RN for state 3	outcome	RN for state 4	outcome
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	72	250000	43	-180000	18	125000	8	-18000
2	76	250000	0	-170000	12	125000	28	-18000
3	76	250000	61	-180000	92	75000	41	-20000
4	60	200000	37	-180000	56	100000	20	-18000
5	31	200000	87	-190000	44	100000	35	-20000
6	16	150000	96	-190000	23	125000	68	-20000
7	52	200000	54	-180000	52	100000	71	-22000
8	99	250000	33	-180000	35	100000	35	-20000
9	24	150000	35	-180000	84	75000	99	-22000
10	8	150000	65	-180000	53	100000	40	-20000
11	92	250000	24	-170000	17	125000	54	-20000
12	12	150000	93	-190000	82	75000	33	-20000
13	19	150000	79	-190000	70	75000	46	-20000
14	14	150000	34	-180000	30	100000	83	-22000
15	93	250000	89	-190000	84	75000	96	-22000
16	33	200000	6	-170000	85	75000	83	-22000
17	63	200000	51	-180000	65	100000	71	-22000
18	65	200000	92	-190000	0	125000	70	-22000
19	52	200000	19	-170000	18	125000	87	-22000
20	83	250000	6	-170000	27	125000	33	-20000
21	3	150000	1	-170000	97	75000	87	-22000
22	37	200000	31	-180000	68	100000	58	-20000
23	40	200000	29	-170000	9	125000	45	-20000
24	73	250000	30	-180000	10	125000	15	-18000
25	88	250000	99	-190000	46	100000	18	-18000
26	95	250000	28	-170000	81	75000	43	-20000
27	37	200000	34	-180000	93	75000	45	-20000
28	35	200000	19	-170000	43	100000	51	-20000
29	89	250000	47	-180000	22	125000	9	-18000
30	18	150000	15	-170000	11	125000	40	-20000
RERATA		205000		-179000		101666.7		-20200

Dari Tabel 2, setelah dilakukan simulasi sebanyak 30 replikasi diperoleh nilai *outcome* untuk keempat *State of Nature* pada ke-30 replikasi. Ketigapuluh nilai *outcome* ini lalu dicari reratanya untuk masing-masing *state of nature*. Nilai rerata ini kemudian dijadikan usulan nilai *outcome* yang digunakan dalam perhitungan dengan Diagram Keputusan konvensional. Sehingga selanjutnya dapat diperoleh nilai EMV dari masing-masing alternatif adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{a. EMV 1 (untuk alternatif 1)} &= (0,5 * 205.000) + (0,5 * - 179.000) \\
&= 102.500 - 89.500 \\
&= 13.000 \\
\text{b. EMV 2 (untuk alternatif 2)} &= (0,5 * 101.667) + (0,5 * - 20.200) \\
&= 50.833,5 - 10.100 \\
&= 40.733,5
\end{aligned}$$

Dari perhitungan EMV dari masing-masing alternatif diperoleh bahwa EMV 2 mempunyai nilai lebih besar dari EMV 1 sehingga dapat diputuskan bahwa alternatif 2 akan dipilih sebagai keputusan.

V. Pembahasan

Pada sub-judul III mengenai pengembangan model, alternatif yang menjadi pilihan sudah dapat ditentukan dengan mencari nilai EMV yang terbesar dari kedua alternatif tersebut. Setelah dilakukan perhitungan maka diperoleh nilai EMV alternatif 2 mempunyai nilai yang lebih besar dari alternatif yang pertama sehingga alternatif 2 dipilih sebagai keputusan.

Tetapi dalam proses penyelesaian *Decision Tree* dengan nilai *outcome* yang tidak dapat ditentukan secara pasti, nilai *outcome* ini akan ditentukan dulu dengan simulasi Monte Carlo. Dengan pendekatan simulasi Monte Carlo, nilai *outcome* dapat ditentukan dengan mencari *Expected Value* dari hasil simulasi. *Expected Value* dalam simulasi bisa berupa nilai rata-rata, nilai modus, median, dan sebagainya. Dalam kasus ini, *Expected Value* yang diambil adalah nilai rata-rata. Setelah dilakukan simulasi sebanyak 30 kali replikasi untuk semua *State of Nature* diperoleh nilai *Expected Value*-nya. Nilai *Expected Value* ini kemudian digunakan sebagai nilai *outcome* yang digunakan untuk proses perhitungan EMV. Nilai EMV bisa ditentukan dengan melakukan perhitungan seperti biasa.

Dari proses penyelesaian pada bagian sebelumnya dapat dilihat bahwa *Decision Tree* dapat dikombinasikan dengan Simulasi Monte Carlo untuk menentukan nilai *outcome* pada *Decision Tree* yang tidak dapat ditentukan secara pasti. Jika hal ini terjadi, maka pendekatan nilai *outcome* yang berupa range dapat dilakukan. Jika diberikan nilai probabilitas di masing-masing range ini, maka Simulasi Monte Carlo dapat dilakukan. Tetapi dalam tahap-tahap penyelesaian kasus ini, ada beberapa hal yang harus mendapatkan perhatian. Hal-hal tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Diagram Keputusan adalah salah satu metode analisis keputusan, sedangkan salah satu ciri analisis keputusan adalah unik, dalam

arti sebuah permasalahan kecil kemungkinan akan terulang di masa yang akan datang, sedangkan dalam metode Monte Carlo, data historis mempunyai peran yang sangat penting dalam pembangunan modelnya. Sehingga ada perbedaan karakteristik permasalahan yang diselesaikan dengan Diagram Keputusan dan Monte Carlo. Untuk menjabatani perbedaan ini diusulkan untuk membangun model Monte Carlo dengan bantuan *expert judgement*. *Expert judgement* dibutuhkan pada pembangunan model Monte Carlo untuk menggantikan proses penentuan probabilitas dan kejadian yang dalam Monte Carlo biasanya dilakukan dengan mengolah data historis, hal ini dilakukan karena data historis pada kasus Diagram Keputusan relatif sangat terbatas dan kecil kemungkinan dapat diolah dengan metode pengolahan data yang biasa digunakan dalam Monte Carlo.

- b. Cara lain untuk menggantikan *expert judgement* adalah dengan melihat data historis dari kasus yang mempunyai karakteristik yang relatif sama dan tersedia data historis yang cukup dan memungkinkan untuk diolah dengan pengolahan data Monte Carlo.
- c. Dari sisi model (kombinasi Diagram Keputusan dan Monte Carlo), akan semakin tinggi tingkat kompleksitasnya jika Diagram Keputusan mempunyai banyak level dan semua nilai probabilitas pada semua level akan disimulasikan, begitu juga dengan nilai *outcome*-nya.

VI. Kesimpulan

Dari pembahasan dapat diperoleh beberapa kesimpulan yang dapat disampaikan yaitu sebagai berikut :

1. Diagram Keputusan dapat dikombinasikan dengan model simulasi Monte Carlo untuk mendekati nilai *outcome* yang bersifat deterministik menjadi bersifat probabilistik.
2. Kombinasi kedua metode tersebut juga harus diikuti beberapa penyesuaian, khususnya pada aspek data historis.
3. Kompleksitas model kembangan ini dipengaruhi oleh banyak level dari *state of nature* dan banyaknya *outcome*.

Daftar Pustaka

- Banks, J., Carson, J.S., Nelson, B.L., *Discrete-Event System Simulation 2nd Edition*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1996.
- George, Claude S. Jr., *Management for Business and Industry*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1971.
- Heizer, J., Render, B., *Operations Management 6th Edition*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2001.
- Hick, Philip E., *Industrial Engineering and Management (A New Perspective)*, Mc Graw-Hill, Inc., Singapore, 1994.
- Law, A.M., Kelton, W.D., *Simulation Modeling and Analysis*, Mc Graw-Hill, Inc., Singapore, 1991.
- Mangkusubroto, K., Trisnadi, L., *Analisis Keputusan : Pendekatan Sistem dalam Manajemen Usaha dan Proyek (Edisi ke-4)*, Ganeca Exact, Bandung, 1987.
- Niwanputri, Ginar S., *Penggunaan Pohon Dalam Decision Tree Analysis Untuk Pengambilan Keputusan Investasi Dalam Perencanaan Bisnis*, Prodi Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung, 2007.
www.informatika.org/~rinaldi/Matdis/2006-2007/Makalah/Makalah0607-122.pdf Tanggal Akses : 16 Juli 2008.
- Siregar, A.B, Azwin, R., *Model Evaluasi Nilai Keekonomian Gas Alam Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik*, Proceeding Kongres BKSTI Dan Seminar Nasional Teknik Industri IV, STT MUSI, 2005