

APLIKASI SIMULASI MONTE CARLO DALAM ESTIMASI BIAYA PROYEK

Adnan Fadjar *

Abstract

Monte Carlo simulation is a method for modeling and analyzing systems which involving risk and uncertainty. In the field of project management, Monte Carlo simulation can help in quantifying risk and uncertainty which is not uncommon in project schedules and budgets. This paper shows the application of Monte Carlo simulation in simulating a project budget with Microsoft Excel. The Monte Carlo simulation accuracy in this paper shown by an error of only 0,56%. This paper demonstrates that backed with knowledge in risk management, statistics, and Microsoft Excel project managers should be able to use Monte Carlo method to predict the total cost of a project based on the desired probability.

Key word: *Monte Carlo simulation, project management, risk management*

Abstrak

Simulasi Monte Carlo adalah metode yang digunakan dalam memodel dan menganalisa sistem yang mengandung resiko dan ketidak-pastian. Pada bidang manajemen proyek, simulasi Monte Carlo dapat mengkuantifikasi akibat-akibat dari resiko dan ketidak-pastian yang umum terjadi dalam jadwal dan biaya sebuah proyek. Tulisan ini mengaplikasikan metode Monte Carlo dalam mensimulasikan pembiayaan sebuah proyek dengan menggunakan program Microsoft Excel. Akurasi hasil simulasi Monte Carlo pada tulisan ini ditunjukkan oleh tingkat kesalahan yang hanya sebesar 0,56%. Tulisan ini menunjukkan bahwa dengan berbekal pengetahuan di bidang manajemen resiko, statistik, dan Microsoft Excel manajer proyek dapat menggunakan metode Monte Carlo untuk memprediksi biaya total sebuah proyek berdasarkan probabilitas yang diinginkan.

Kata kunci: simulasi Monte Carlo, manajemen proyek, manajemen resiko

1. Pendahuluan

Manajemen resiko belakangan ini telah mulai mendapatkan perhatian di bidang manajemen proyek (Kwak & Stoddard, 2004). Metode yang kerap digunakan oleh manajer proyek dalam proses analisa resiko adalah simulasi Monte Carlo. Metode ini sudah lama digunakan dalam berbagai macam aplikasi matematika dan sains, dan juga disebutkan dalam *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (Project Management Institute, 2004). Meskipun demikian, dalam praktiknya simulasi Monte Carlo ini belum umum digunakan oleh praktisi

manajemen proyek dibandingkan metode-metode yang lain, seperti CPM dan PERT misalnya. Kondisi yang ada pada saat ini, simulasi Monte Carlo hanya sering digunakan dalam batas dunia akademik yang membahas aspek resiko dalam manajemen proyek.

Tulisan ini membahas aplikasi simulasi Monte Carlo dalam mengestimasi biaya sebuah proyek dengan menggunakan program Microsoft Excel dengan mengambil contoh sebuah proyek sederhana yang terdiri dari enam aktifitas. Meskipun jumlah aktifitas dari contoh proyek ini relatif kecil, prosedur simulasi Monte

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

Carlo yang ditunjukkan dalam tulisan ini dapat diterapkan untuk proyek yang melibatkan aktifitas yang lebih banyak.

2. Tinjauan Pustaka

Simulasi Monte Carlo didefinisikan sebagai semua teknik *sampling* statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif (Monte Carlo Method, 2008). Dalam simulasi Monte Carlo sebuah model dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model tersebut memiliki nilai yang memiliki probabilitas yang berbeda, yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas atau biasa disebut dengan *probability distribution function (pdf)* dari setiap variabel. Metode Monte Carlo mensimulasikan sistem tersebut berulang-ulang kali, ratusan bahkan sampai ribuan kali tergantung sistem yang ditinjau, dengan cara memilih sebuah nilai random untuk setiap variabel dari distribusi probabilitasnya. Hasil yang didapatkan dari simulasi tersebut adalah sebuah distribusi probabilitas dari nilai sebuah sistem secara keseluruhan.

Sejak pertama kali digunakan untuk keperluan militer pada Manhattan Project (Eckhardt, 1987), simulasi Monte Carlo telah diaplikasikan pada berbagai bidang antara lain; manajemen proyek, transportasi, desain komputer, finansial, meteorologi, biologi dan biokimia (Kwak & Ingall, 2007).

Dalam bidang manajemen proyek simulasi Monte Carlo digunakan untuk menghitung atau mengiterasi biaya dan waktu sebuah proyek dengan menggunakan nilai-nilai yang dipilih secara random dari distribusi probabilitas biaya dan waktu yang mungkin terjadi, dengan tujuan untuk menghitung distribusi kemungkinan biaya dan waktu total dari sebuah proyek (Project Management Institute, 2004).

Pada umumnya literatur-literatur manajemen proyek menempatkan simulasi Monte Carlo dibawah topik

manajemen resiko, atau kadang berada pada topik manajemen waktu dan manajemen biaya. Project Management Institute (2004) menerapkan sebuah pendekatan standar manajemen resiko yang meliputi enam proses; Perencanaan Manajemen Resiko, Identifikasi Resiko, Kualifikasi Resiko, Kuantifikasi Resiko, Perencanaan Respon Resiko, dan Pemantauan & Evaluasi Resiko, simulasi Monte Carlo ditempatkan sebagai bagian dari proses Kuantifikasi Resiko.

Meskipun simulasi Monte Carlo adalah sebuah metode yang sangat bermanfaat untuk diaplikasikan dalam bidang manajemen proyek, simulasi jadwal proyek (McCabe, 2003) dan simulasi perataan sumberdaya (Hanna & Ruwanpura, 2007) contohnya, dalam praktiknya metode ini belum banyak digunakan oleh para manajer proyek kecuali disyaratkan oleh organisasi atau perusahaannya. Kwak & Ingall (2007) berpendapat bahwa alasan utama simulasi Monte Carlo jarang digunakan oleh kebanyakan manajer proyek adalah: kurangnya pemahaman terhadap metode Monte Carlo dan statistik; alih-alih sebagai manfaat, manajer proyek umumnya menganggap penggunaan metode ini lebih sebagai beban terhadap organisasi atau perusahaannya. Alasan lainnya adalah *software* khusus simulasi Monte Carlo pada proyek baru ada belakangan ini, *@RISK for Project* (www.palisade.com) adalah salah satunya, *software* ini tersedia dalam bentuk *add-in* pada program *Microsoft Project*. Meskipun demikian, *Microsoft Excel* sebenarnya dapat digunakan untuk simulasi Monte Carlo dengan menggunakan fungsi RAND seperti yang ditunjukkan pada bagian berikut.

3. Metode

3.1 Desain simulasi

Yang akan disimulasikan adalah sebuah proyek yang terdiri dari enam aktifitas. Setiap aktifitas memiliki total biaya dalam batasan yang telah

ditentukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Setiap variabel tersebut dapat saja mempunyai distribusi tertentu yang unik, tetapi untuk proyek ini dapat diasumsikan bahwa setiap variabel memiliki distribusi seragam (*uniform distribution*) tanpa mengurangi validitas hasil simulasi.

Tabel 1. Aktifitas dan Estimasi Biaya (dalam ribuan rupiah)

| | Minimum | Maksimum |
|-----------|---------|----------|
| Aktifitas | | |
| A | 15.000 | 20.000 |
| B | 15.000 | 17.500 |
| C | 17.500 | 25.000 |
| D | 5.700 | 6.800 |
| E | 19.000 | 26.000 |
| F | 7.500 | 9.500 |
| Total | 79.700 | 104.800 |

Estimasi terhadap total biaya proyek tersebut adalah sebuah variabel random dengan nilai yang terletak antara nilai total biaya minimum dan maksimum. Karena nilai variabel ini adalah jumlah dari beberapa variabel random lainnya yaitu biaya dari setiap aktifitas, variabel ini akan memiliki distribusi normal. Ini menjelaskan mengapa penggunaan distribusi tertentu yang unik untuk setiap variabel dapat diabaikan.

3.2 Angka random

Karena alasan praktis, metode yang sering digunakan untuk menghasilkan angka random antara 0 dan 1 dalam simulasi adalah *multiplicative congrueantal method* (Taha, 1997). Angka yang dihasilkan oleh metode tersebut sebenarnya tidak dapat dikatakan sebagai angka random yang sebenarnya karena menggunakan operasi aritmetika yang hasilnya dapat diketahui sehingga lebih tepat jika dikatakan sebagai angka random semu (*pseudorandom numbers*). Jika parameter u_0 , b , c dan m diberikan maka sebuah angka random semu R_n dapat dihasilkan dengan menggunakan rumus berikut.

$$u_n = (bu_{n-1} + c) \text{ mod}(m), \quad n = 1, 2, \dots$$

$$R_n = \frac{u_n}{m}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Nilai awal u_0 biasanya disebut dengan *seed*

Dalam tulisan ini, angka random dihasilkan dengan menggunakan fungsi RAND yang ada pada *Microsoft Excel*. Sebagai contoh, biaya random untuk aktifitas A akan terlihat sebagai berikut: =RAND()*(20.000-15.000)+15.000, formula ini akan menghasilkan angka random yang nilainya terletak antara 15.000 dan 20.000. Jika biaya setiap aktifitas disimulasikan dengan formula tersebut, maka biaya total dari proyek adalah jumlah dari biaya semua aktifitas. Hasil dari 5 iterasi pertama dari simulasi tersebut dapat terlihat pada Gambar 1.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|-----------|--------|--------------------|--------|-------|-------------|-------|---------|
| 1 | Aktifitas | A | B | C | D | E | F | Total |
| 2 | Minimum | 15.000 | 15.000 | 17.500 | 5.700 | 19.000 | 7.500 | 79.700 |
| 3 | Maksimum | 20.000 | 17.500 | 25.000 | 6.800 | 26.000 | 9.500 | 104.800 |
| 4 | Iterasi 1 | 18.037 | 16.826 | 24.375 | 6.488 | 24.718 | 9.281 | 99.725 |
| 5 | Iterasi 2 | 16.631 | =RAND()*(B3-B2)+B2 | | .117 | =SUM(B4:G4) | | 95.096 |
| 6 | Iterasi 3 | 17.736 | 16.137 | 17.813 | 6.606 | 23.827 | 8.571 | 90.689 |
| 7 | Iterasi 4 | 15.585 | 16.707 | 19.777 | 6.166 | 24.101 | 8.736 | 91.073 |
| 8 | Iterasi 5 | 18.210 | 15.134 | 21.059 | 5.975 | 23.579 | 7.798 | 91.755 |

Gambar 1. Hasil Simulasi @5 iterasi (dalam ribuan rupiah)

3.3. Penentuan nilai iterasi

Metode Monte Carlo dapat memprediksi kesalahan (*error*) dari simulasi, yang mana proporsional terhadap jumlah iterasinya.

Total error dihitung dengan formula:

$$\varepsilon = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}}, \sigma \text{ adalah deviasi standar dari}$$

variabel random dan N adalah jumlah iterasi. Deviasi standar σ dihitung berdasarkan seluruh populasi, yang dalam simulasi ini anggotanya hanya dua yaitu nilai minimum (79.700) dan maksimum (104.800), dengan menggunakan formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}} \text{ didapatkan } \sigma = 12.250$$

Jika diinginkan nilai *absolute error* yang kurang dari 2%, maka nilai tersebut didapatkan dengan menggunakan formula:

$$\varepsilon = \frac{\bar{x}}{\left(\frac{1}{0,02}\right)} \text{ didapatkan } \varepsilon = 1.845$$

Jadi jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil dengan *error* yang kurang dari 2% adalah:

$$N = \left(\frac{3 \times \sigma}{\varepsilon}\right)^2 = \left(\frac{3 \times 12.250}{1.845}\right)^2 = 416$$

Nilai rata-rata dari variabel random biaya proyek tersebut setelah 416 iterasi terlihat pada pada Tabel 2.

4. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan iterasi sebanyak 416 kali diperoleh parameter-parameter dari hasil simulasi Monte Carlo seperti yang terdapat pada Tabel 3. Setelah deviasi standar populasi dari hasil simulasi diketahui, *error* yang sebenarnya (*true error*) dihitung dengan menggunakan formula berikut.

$$\varepsilon = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{3 \times 3.530.000}{\sqrt{416}} = 519.000$$

Karena random variabel dari biaya total terdistribusi secara normal, maka median seharusnya tidak jauh berbeda dengan rata-rata, hal ini terlihat pada Tabel 3 dimana selisih antara median dan rata-rata hanya 0,22%. Akurasi simulasi Monte Carlo ini cukup tinggi sebagaimana terlihat pada Tabel 3 dimana % errornya hanya 0,56%.

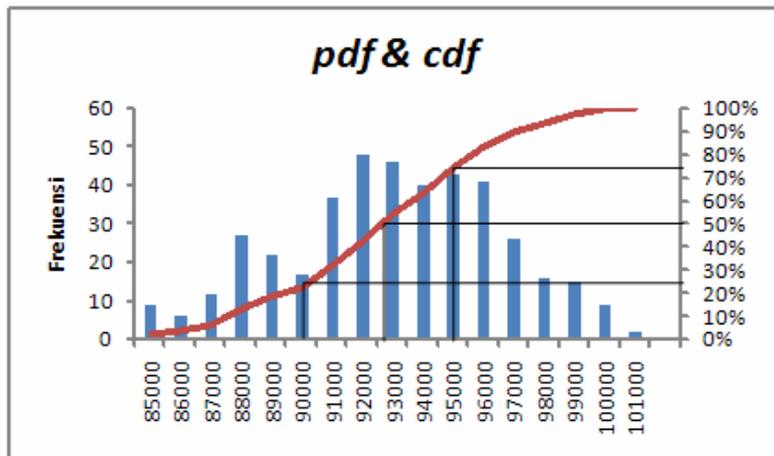
Gambar 2 menunjukkan *probability distribution function (pdf)* dan *cumulative distribution function (cdf)* dari hasil simulasi Monte Carlo setelah dilakukan iterasi sebanyak 416 kali.

Tabel 2 Hasil Simulasi Monte Carlo @416 iterasi (dalam ribuan rupiah)

| Aktifitas | A | B | C | D | E | F | Total |
|-------------|--------|--------|--------|-------|--------|-----------|---------|
| Minimum | 15.000 | 15.000 | 17.500 | 5.700 | 19.000 | 7.500 | 79.700 |
| Maksimum | 20.000 | 17.500 | 25.000 | 6.800 | 26.000 | 9.500 | 104.800 |
| Iterasi 1 | 18.037 | 16.826 | 24.375 | 6.488 | 24.718 | 9.281 | 99.725 |
| Iterasi 2 | 16.631 | 16.946 | 24.889 | 6.117 | 21.059 | 9.454 | 95.096 |
| Iterasi 3 | 17.736 | 16.137 | 17.813 | 6.606 | 23.827 | 8.571 | 90.689 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| Iterasi 416 | 16.796 | 16.453 | 18.912 | 6.759 | 23.846 | 7.804 | 90.570 |
| | | | | | | Rata-rata | 92.530 |

Tabel 3 Parameter-parameter Hasil Simulasi Monte Carlo

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| Prediksi Biaya Total rata-rata | 95.530.000 |
| Median | 92.733.000 |
| Selisih median dan rata-rata | 0,22% |
| Deviasi standar populasi | 3.530.000 |
| Error sebenarnya | 519.000 |
| % Error sebenarnya | 0,56% |
| Kurtosis | -0,437 |
| Skewness | -0,199 |



Gambar 2. pdf dan cdf dari hasil simulasi Monte Carlo (dalam ribuan rupiah)

Informasi penting lainnya yang didapatkan dari distribusi hasil simulasi adalah Kurtosis dan Skewness. Kurtosis adalah ukuran relatif dari kurva dibandingkan dengan bentuk kurva distribusi normal. Nilai Kurtosis distribusi normal adalah 0, sementara nilai Kurtosis hasil simulasi Monte Carlo adalah -0,437. Nilai Kurtosis negatif mengindikasikan bahwa bentuk kurva distribusi hasil simulasi Monte Carlo seperti yang terlihat pada Gambar 2 memiliki puncak yang lebih rata (*platykurtic*) dibanding distribusi normal. Skewness adalah ukuran simetri bentuk kurva, dimana pada distribusi normal nilainya adalah 0. Nilai Skewness negatif (-0,199) Tabel 2, mengindikasikan bahwa ekor dari kurva distribusi hasil simulasi Monte Carlo ini

lebih condong ke arah kiri sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.

Cumulative distribution function pada Gambar 2 digunakan untuk mengetahui probabilitas biaya total proyek tersebut. Sebagai contoh, jika anggaran yang tersedia untuk proyek tersebut adalah Rp. 90 juta maka probabilitas proyek tersebut dapat dilaksanakan dengan sukses adalah sekitar 25%. Jika pemilik proyek bersikap moderat dengan menginginkan probabilitas 50%, maka anggaran yang harus disiapkan tidak kurang dari Rp. 93 juta. Jika pemilik proyek ingin lebih berhati-hati maka dana yang harus disiapkan adalah sekitar Rp. 95 juta untuk mendapatkan probabilitas sebesar 75%.

5. Kesimpulan dan Saran

Sebagaimana metode-metode simulasi lainnya, akurasi dari hasil simulasi Monte Carlo ini sangat dipengaruhi oleh akurasi variabel-variabel inputnya yang dalam contoh kasus pada tulisan ini adalah estimasi awal dari biaya minimum dan biaya maksimum setiap aktifitas. Juga perlu dicatat simulasi Monte Carlo bukanlah sebuah penyedia solusi, metode ini hanya membantu kita dalam memprediksi perilaku sebuah sistem dengan memperhitungkan unsur-unsur yang mengandung resiko dan ketidak-pastian. Solusi sebenarnya tetap berada di tangan para manajer dengan mempertimbangkan berbagai aspek, termasuk aspek kualitatif yang ada dalam sebuah proyek.

Simulasi Monte Carlo dapat menjadi alat yang handal bagi manajer proyek dalam menganalisa resiko dan ketidak-pastian yang umum terjadi dalam pembiayaan proyek. Hasil simulasi Monte Carlo dapat membantu manajer proyek dalam menentukan ekspektasi pembiayaan proyek yang lebih realistis. Dengan kemampuan komputer dan *software* yang semakin berkembang, simulasi Monte Carlo ini sudah selayaknya lebih banyak digunakan oleh para manajer proyek. Melalui edukasi dan pelatihan yang menjelaskan dan mendemonstrasikan kegunaan simulasi Monte Carlo, para manajer proyek akan menyadari bahwa tidak diperlukan pengetahuan statistik tingkat tinggi untuk dapat memahami implementasi dan interpretasi simulasi Monte Carlo. Sehingga secara perlahan metode Monte Carlo ini dapat diterima di kalangan praktisi manajemen proyek dan tidak hanya sebatas digunakan dalam dunia akademik yang membahas aspek resiko dalam manajemen proyek.

6. Referensi

- Eckhardt, R. ,1987, Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo Method. *Los Alamos Science* (Special Issue 15), 131-137.
- Hanna, M., & Ruwanpura, J. Y. ,2007, *Simulation Tool for Manpower Forecast Loading and Resource Leveling*. Paper presented at the Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference
- Project Management Institute ,2004, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide* (3rd ed.). Newton Square, Pennsylvania: Project Management Institute.
- Kwak, Y. H., & Ingall, L. ,2007, Exploring Monte Carlo Simulation Applications For Project Management. *Risk Management*, 9, 44-57.
- Kwak, Y. H., & Stoddard, J. ,2004, Project Risk Management: Lessons Learned from Software Development Environment. *Technovation: An International Journal of Technical Innovation, Entrepreneurship and Technology Management*, 24(11), 915-920.
- McCabe, B. ,2003, *Monte Carlo Simulation For Schedule Risks*. Paper presented at the Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.
- Monte Carlo Method ,2008, Online. http://www.riskglossary.com/link/monte_carlo_method.htm Diakses pada tanggal 16 Oktober 2008.
- Taha, H. A. ,1997, *Operation Research An Introduction* (6th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.