

Kajian Harga Bahan pada Proyek Konstruksi dengan Analisa Dinamik

Diah Sarasanty

Universitas Islam Majapahit, Jalan Raya Jabon KM 0,7, Mojokerto 61364, Indonesia

E-mail: diahsarasanty@gmail.com

Abstrak

Konstruksi merupakan salah satu industri yang memberikan kontribusi secara signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi suatu negara. Sebuah proyek konstruksi dikatakan berhasil apabila dalam pelaksanaannya memenuhi tiga komponen yakni biaya, waktu, dan mutu. Komponen biaya digunakan untuk studi kelayakan dan pemilihan desain yang optimal dalam sebuah proyek konstruksi. Ketidakakuratan dalam menganalisa biaya konstruksi dapat memberikan efek negatif pada seluruh proses konstruksi dan semua pihak yang terlibat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dinamika harga bahan pada proyek konstruksi. Tahapan metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan mengidentifikasi hubungan sebab akibat antar variabel dalam menganalisa harga bahan. Dari hasil simulasi diperoleh analisa secara grafis melalui keluaran model. Validasi model dilakukan dengan membandingkan base model dengan sebuah skenario. Hasil perhitungan analisa sensitivitas dari perbandingan memperoleh nilai mean comparison $\leq 5\%$ dan variasi amplitudo error variance $\leq 30\%$ yang mengindikasikan kevalidan model yang diusulkan. Dengan keakuratan tersebut diharapkan dapat mengakomodasi segala kemungkinan adanya penyimpangan yang akan terjadi dimasa depan termasuk faktor resiko, sehingga dapat menciptakan sistem yang sesuai dengan kinerja yang diinginkan dan sumber daya yang digunakan lebih efektif serta efisien dalam rangka mencapai sasaran proyek. Kata-kata Kunci: Harga bahan, dinamik, proyek konstruksi.

Abstract

Construction is an industry that contributes significantly to a country's economic growth. A construction project is said to be successful if it fulfills three components, namely cost, time and quality. The cost component is used for a feasibility study and the optimal design selection in a construction project. Inaccuracy in analyzing construction costs can have a negative effect on the entire construction process and all parties involved. This study aims to analyze the dynamics of material prices in construction projects. The method used in this research is to identify the causal relationship between variables in analyzing the price of materials. From the simulation results obtained graphical analysis through the model output. Model validation is done by comparing the base model with a scenario. The results of the calculation of the sensitivity analysis from the comparison obtained a mean comparison value of $\leq 5\%$ and the amplitude variation value of the variance error $\leq 30\%$ which indicates the validity of the proposed model. With this accuracy it is expected to be able to accommodate all possible deviations that will occur in the future including risk factors, so as to create a system that is in accordance with the desired performance and the resources used more effectively and efficiently in order to achieve project goals.

Keywords: Material cost, dynamic, construction project

1. Pendahuluan

Industri konstruksi merupakan salah satu industri yang memberikan kontribusi secara signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi suatu negara (Murie, 2007). Sebuah proyek konstruksi dikatakan berhasil apabila dalam pelaksanaannya memenuhi tiga komponen yakni biaya, waktu dan mutu. Biaya dalam pelaksanaan proyek harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu mengakomodir seluruh kebutuhan selama proyek berlangsung namun tetap memegang azas efisiensi dan dapat dipertanggungjawabkan (Project Management Institute, 2013). Semakin rinci item pekerjaan yang dianalisa maka ketepatan jadwal yang disusun akan semakin mendekati kondisi lapangan (Alzahrani and Emsley, 2013).

Pembiayaan proyek merupakan salah satu item penting dalam penyelenggaraan pekerjaan konstruksi (Messah, dkk 2013). Untuk itu diperlukan rancangan sebuah

sistem informasi biaya proyek untuk mendukung pembiayaan proyek secara keseluruhan. Penggunaan bahan material pada elemen-elemen struktur konstruksi tersebut didominasi oleh penggunaan beton bertulang hingga berkontribusi sebesar 30% dari total biaya bangunan (Gan, et al 2019).

Selain itu struktur beton bertulang merupakan salah satu jenis konstruksi dengan tingkat konsumsi tahunan mendekati sekitar 30 miliar ton (Miller, 2018). Oleh karena itu penting untuk mengoptimalkan desain bangunan beton dalam meningkatkan kelestarian lingkungan dan efisiensi biaya konstruksi. Sebagian besar studi mengembangkan berbagai jenis metode untuk meminimalkan biaya struktural bangunan (Lee, et al 2012). Sistem pembiayaan proyek merupakan sistem informasi yang dirancang untuk memudahkan bagi pengguna (pihak pemilik proyek/ pemegang anggaran maupun pelaksana/ kontraktor) dalam pelaksanaan kegiatan pembangunan.

Beberapa penelitian mengenai metode dan sistem perhitungan biaya pekerjaan konstruksi telah dilakukan. Analisa harga satuan pekerjaan beton dengan menggunakan perbandingan analisis SNI dan analisis *BOW* pada kolom beton bertulang. Dengan seiring berkembangnya teknologi analisis *BOW* perlu ditinjau kembali dikarenakan alat bantu yang digunakan oleh pekerja selama melakukan pekerjaan sudah jauh lebih maju (Arruan, dkk 2014). Pada perhitungan dan analisa perbandingan harga satuan pekerjaan beton bertulang dengan metode analisis SNI dan analisa *software MS. Project* telah dilakukan. Adanya perbedaan yang cukup signifikan antara metode SNI dan simulasi *software* pada perhitungan bahan, tenaga kerja, dan alat akibat pengaruh metode pelaksanaan di lapangan (Sukamto, dkk 2014).

Kombinasi metode *Genetic Algorithm (GA)* dan *Optimally Criteria (OC)* diterapkan dalam biaya pekerjaan beton bertulang (Gan, et all 2019., Hofmeyer, et all 2017). Modifikasi formulasi matematika dan pemodelan parametrik penting dilakukan untuk menentukan hubungan antara variabel. Optimalisasi biaya dengan skenario berbeda diterapkan untuk menguji kemampuan metode pada kondisi *site* dan regulasi yang berbeda. Metode sistem dinamik pertama kali diterapkan pada permasalahan manajemen seperti fluktuasi inventori, ketidakstabilan tenaga kerja, dan penurunan pangsa pasar suatu perusahaan. Namun untuk saat ini telah dikembangkan aplikasi metode sistem dinamik ini untuk berbagai bidang termasuk bidang ilmu teknik. Pendekatan sistem dinamik untuk memahami perilaku, karena dengan dipahaminya perilaku sistem, dapat dikembangkan beberapa alternatif skenario yang dapat meningkatkan kinerja sistem.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada pemodelan biaya bahan pekerjaan beton bertulang yang dipengaruhi biaya langsung dan tidak langsung berbasis sistem dinamik. Adanya *causal loop graph* dapat dianalisa lebih cepat hubungan sebab akibat yang terjadi antar variabel dan analisa sensitivitas sistem dinamik yang melalui skenario model dapat mengakomodasi segala kemungkinan yang akan terjadi dimasa depan termasuk faktor resiko di masa akan datang sehingga dapat diupayakan beberapa hal yang dapat meminimalkan resiko sehingga tercipta sistem sesuai kinerja yang diinginkan dan penggunaan sumber daya yang efektif serta efisien dalam rangka mencapai sasaran sebuah proyek konstruksi.

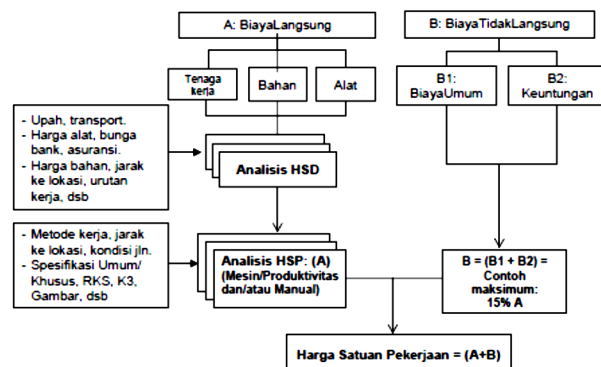
2. Tinjauan Pustaka

Biaya sebagai salah satu komponen penting dalam pelaksanaan proyek konstruksi sehingga memerlukan perencanaan yang matang sehingga dapat mencapai efisiensi, efektifitas dan akuntabilitas penggunaan anggaran secara optimal dalam pelaksanaan proyek. Harga satuan pekerjaan terdiri atas biaya langsung dan biaya tidak langsung. Komponen biaya langsung terdiri atas upah, bahan dan alat. Biaya langsung adalah biaya yang secara langsung mempengaruhi pencapaian proyek yang terdiri atas biaya upah, biaya

bahan, dan biaya alat kerja yang secara langsung berpengaruh pada tujuan pelaksanaan pekerjaan. Untuk komponen biaya tidak langsung adalah biaya yang harus dikeluarkan dalam upaya menunjang pelaksanaan pekerjaan terdiri atas biaya umum (*overhead*) dan keuntungan sesuai ketentuan yang berlaku.

Biaya tak langsung disini termasuk pajak-pajak yang harus dibayarkan dalam pelaksanaan kegiatan pembangunan. Besar biaya umum dan keuntungan ditentukan dengan pertimbangan antara lain tingkat suku bunga, tingkat inflasi, *overhead* kantor pusat dan lapangan serta resiko investasi. Secara umum biaya tidak langsung ditetapkan tidak lebih dari 15%. *Overhead* adalah biaya yang diperhitungkan sebagai biaya operasional dan pengeluaran biaya kantor pusat yang bukan dari biaya pengadaan, biaya manajemen, akuntansi, pelatihan dan auditing, perizinan, registrasi, biaya iklan, humas dan promosi dan lain sebagainya (Project Management Institute, 2013).

Harga satuan pekerjaan (HSP) setiap mata pembayaran merupakan luaran (*output*) yang diperoleh melalui suatu proses perhitungan dan masukan-masukan. Dalam hal ini, masukan yang dimaksud antara lain berupa asumsi, urutan pekerjaan, serta penggunaan upah, bahan dan alat. Harga satuan dasar upah, bahan, dan ala akan menentukan harga satuan pekerjaan. Berdasarkan masukan tersebut dilakukan perhitungan untuk menentukan koefisien bahan, koefisien alat dan koefisien upah tenaga kerja yang disajikan pada **Gambar 1** tentang struktur analisis Harga Satuan Pekerjaan (HSP).



Gambar 1. Struktur analisis harga satuan pekerjaan (HSP)

Sistem dinamik pertama kali diperkenalkan oleh J. W Forrester pada tahun 1950, merupakan suatu metode pemecahan masalah-masalah kompleks yang timbul karena adanya kecenderungan sebab akibat dari berbagai macam variabel di dalam sistem. Dasar metodologi dari sistem dinamik adalah analisis sistem dimana suatu sistem diartikan sebagai seperangkat elemen yang saling berinteraksi satu sama lain yang mencoba untuk menjelaskan perilaku dari berbagai tindakan dalam sebagian system (Darmono, 2005). Sistem dinamik menggambarkan perubahan sistem terhadap waktu (Fishwick, 2007). Kelebihan sistem dinamik dibandingkan dengan metode simulasi yang lain adalah:

- a. Sangat cocok untuk memahami perilaku, karena dengan dipahaminya perilaku sistem, dapat dikembangkan beberapa alternatif skenario yang dapat meningkatkan kinerja system.
- b. Dapat menganalisa secara lebih cepat hubungan sebab akibat yang terjadi antar variabel model dengan adanya fasilitas *causal loop graph* dan melalui skenario model yang dapat mengakomodasi segala kemungkinan yang akan terjadi dimasa depan termasuk faktor resiko di masa akan datang.

Pada penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa beton bertulang lebih efektif digunakan pada konstruksi dengan bentang balok yang tidak terlalu panjang sehingga cocok untuk konstruksi gedung. Estimasi anggaran biaya pekerjaan beton bertulang dianalisa dengan membandingkan metode SNI dan *Software MS Project*. Hasil yang diperoleh pada penelitian bahwa terdapat perbedaan biaya pekerjaan beton bertulang dikarenakan pelaksanaan metode pekerjaan dilapangan yang dipengaruhi perhitungan bahan, tenaga kerja, dan alat (Sukanto, dkk 2014).

Penelitian lain menjelaskan pekerjaan konstruksi yang tidak didukung oleh kompetensi yang baik dari tenaga kerja dan bahan yang bermutu, maka tidak akan memberikan hasil yang maksimal. Metode penelitian yang digunakan dengan menganalisa koefisien harga satuan tenaga kerja di lapangan dengan membandingkan analisis SNI dan *BOW* pada pekerjaan kolom beton pada pekerjaan kolom beton bertulang. Dengan metode *work sampling* didapatkan nilai koefisien analisis harga satuan tenaga kerja sebagai berikut: 0,162 OH tukang dan 0,108 OH pekerja, pada pekerjaan bekisting: 0,036 OH tukang dan 0,038 OH pekerja, pada pekerjaan pembersian. Dari hasil analisa disimpulkan bahwa alokasi biaya alat bantu perlu di evaluasi dan ditinjau kembali dikarenakan seiring berkembangnya teknologi, maka alat bantu yang digunakan pekerja konstruksi mengalami perkembangan cukup pesat (Arruan, dkk 2014).

Penelitian lanjutan berfokus pada indeks biaya yang berpengaruh terhadap besarnya harga satuan pekerjaan konstruksi. Indeks biaya yang digunakan umumnya menggunakan SNI. Dengan memperhitungkan analisa indeks biaya pekerjaan beton bertulang dengan menggunakan metode SNI 7394-2008 dan lapangan diperoleh besarnya indeks tenaga kerja lapangan adalah 0,0208 mandor, 0,0377 kepala tukang, 0,09929 tukang, dan 0,2502 pekerja untuk memasang $1m^2$ bekisting, 0,0044 mandor, 0,0177 kepala tukang, 0,0268 tukang, dan 0,0796 pekerja untuk pekerjaan 10 kg pembersian, dan 0,0340 mandor, 0,0272 kepala tukang, 0,1427 tukang, dan 1,1888 pekerja untuk membuat $1m^3$ beton. Indeks tersebut digunakan dalam analisis prosentase perbedaan indeks tenaga kerja akibat pengaruh pengalaman kerja yang berulang, jarak lokasi pembelian bahan, domisili pekerja luar daerah/lokal, perubahan jumlah tenaga, dan penerapan *shift* (Jinjie, et all 2014).

Studi mengenai optimasi bentuk dan desain bangunan konstruksi telah dilaksanakan dengan tujuan untuk meminimalkan total konsumsi bahan yang digunakan. Analisa biaya beton bertulang menggunakan analisa

regresi dengan memasukkan pengaruh rasio material baja dan beton diterapkan pada *basement structure* dan *superstructure*. Diperoleh hasil formulasi regresi akibat pengaruh parameter perubahan tinggi gedung $F1 = 0,048a + 0,109$; $F2 = -2,249a^2 + 26,96a - 36,584$ sedangkan akibat perubahan lebar bangunan $F1 = 0,020a + 0,281$; $F2 = 6,476a + 4,994$, dimana $F1$ (volume beton), $F2$ (volume tulangan besi), a (rasio H/B) (Jinjie, et all 2014).

Desain dan optimalisasi struktur bangunan juga dianalisa pada penelitian berikutnya yaitu menjelaskan bahwa pekerjaan beton bertulang membutuhkan kolaborasi yang efektif dari semua pemangku kepentingan dan melibatkan keahlian teknis maupun non teknis. Penelitian tersebut menggunakan integrasi *Quality Function Development (QFD)*, dengan mengembangkan model partisipatif sistematis yang memanfaatkan *Building Information Modelling (BIM)* pada teknik pengumpulan data dan pengambilan keputusan. Disimpulkan pentingnya pemberlakuan skenario keputusan aktual untuk menguji kerangka yang diusulkan dan menyelidiki kemampuannya pada biaya bangunan beton bertulang (Eleftheriadis, et all 2018).

Pendekatan optimasi topologi dan komponen konstruktif desain struktural diteliti lebih lanjut dengan menggunakan kombinasi *Genetic Algorithm (GA)* dan *Optimally Criteria (OC)* diterapkan dalam analisa perhitungan biaya struktur beton bertulang (Hofmeyer, et all 2017). Studi lanjutan mengenai optimalisasi desain struktur beton bertulang telah dibahas. Hubungan antara optimalisasi elemen struktur dan pengaturan topologi sangat interaktif, sehingga penting dilakukan pendekatan sistem untuk efisiensi biaya struktur beton bertulang. Pemodelan parametrik diterapkan untuk menentukan hubungan antar parameter. Dengan pendekatan *stochastic Genetic Algorithm (GA)* dan *a gradient-based Optimally Criteria (OC) technique*, perlunya modifikasi formulasi matematika terkait kondisi *site* dan kebijakan/persyaratan yang berbeda (Gan, 2019).

Jika dikaji dari penelitian terdahulu, penelitian ini memiliki beberapa perbedaan dengan penelitian sebelumnya yaitu :

- a. Metode yang digunakan untuk penelitian ini berbasis sistem dinamik, dimana peneliti sebelumnya menggunakan metode lain seperti SNI, *BOW*, analisa regresi, *Genetic Algorithm (GA)*, *Optimally Criteria (OC)*, dan *Buliding Information Modelling (BIM)*,
- b. Memperhitungkan besarnya pengaruh hubungan antara biaya langsung dan tidak langsung terhadap biaya pekerjaan beton bertulang, dimana penelitian terdahulu belum memperhitungkan hubungan timbal balik biaya-biaya tersebut secara *realtime*,
- c. Penelitian ini menggunakan variabel yang lebih komprehensif serta memfokuskan pada variabel yang berpengaruh langsung dan tidak langsung pada biaya pekerjaan beton bertulang sementara pada penelitian sebelumnya variabel yang digunakan masih parsial.

3. Metodologi Penelitian

Dasar metodologi dari pemodelan sistem dinamik pada penelitian ini adalah analisis sistem dimana suatu sistem diartikan sebagai seperangkat elemen yang saling berinteraksi satu sama lain yang mencoba untuk menjelaskan perilaku dari berbagai tindakan dalam sebagian sistem yang terbagi dalam beberapa tahapan yaitu meliputi :

3.1 Pendefinisian sistem

Tahapan pendefinisian sistem merupakan tahap identifikasi dan definisi permasalahan. Tahap untuk menyatakan komponen-komponen yang termasuk dan tidak termasuk dalam pemodelan sistem, sehingga perilaku yang dipelajari timbul karena interaksi dari komponen-komponen di dalam sistem.

3.2 Konseptualisasi sistem

Konseptualisasi sistem diawali dengan identifikasi komponen atau variabel yang terlibat dalam pemodelan. Variabel-variabel tersebut kemudian dicari interaksinya satu sama lain Seperti diperlihatkan dalam **Gambar 2** konseptualisasi sistem menggunakan ragam metode seperti diagram sebab akibat (*causatic diagram*) dan diagram kotak panah (*stock flow diagram*).

3.3 Formulasi model

Merumuskan hubungan antar komponen-komponen model. Formulasi model dilakukan terhadap variabel-variabel yang saling berhubungan dalam diagram. Model diformulasikan dengan persamaan-persamaan matematika dengan variabel-variabel seperti level, *rate*, *auxiliary*, konstanta dan *arrow* sebagai konektor antar variabel. Kemudian formulasi/ perumusan dapat dimasukkan dalam variabel tersebut kemudian tinggal kita *running* modelnya untuk mendapatkan hasil. Jika tidak terdapat permasalahan dalam sistem yang kita susun, artinya bahwa formulasi-formulasi yang diisikan dalam variabel-variabel terkait telah dilakukan dengan benar.

3.4 Pengambilan data

Identifikasi data yang diperlukan oleh model sesuai dengan tujuan pembuatan model. Analisis kondisi yang

mempengaruhi sistem pembiayaan proyek yang menyediakan data kuantitatif digunakan dalam model. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan metode *focus group discussion (FGD)* dengan Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

3.5 Simulasi model

Simulasi model dilakukan untuk memahami proses sistem, membuat analisis dan peramalan perilaku gejala atau proses tersebut di masa depan Dalam penyusunan model perlu disesuaikan dengan jenis bahasa pemrograman simulasi yang akan digunakan.

3.6 Verifikasi model

Formulasi/ perumusan yang telah dimasukkan dalam variabel tersebut kemudian running modelnya untuk mendapatkan hasil. Jika tidak terdapat permasalahan dalam sistem yang kita susun, artinya kita sudah melakukan verifikasi terhadap model yang dibuat. Pada pengujian verifikasi digunakan objek penelitian pada 1 proyek *high rise building* BUMN konstruksi, untuk memastikan bahwa formulasi-formulasi yang diisikan dalam variabel-variabel terkait sudah akurat.

3.7 Validasi model

Tahap selanjutnya adalah simulasi terhadap model dan melakukan validasi model yang juga akan menimbulkan umpan balik terhadap pemahaman sistem. Sedangkan validasi model dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan gejala atau proses terhadap *case* yang sama.

Hasil validasi ini kemudian akan menimbulkan proses perbaikan dan reformulasi model. Pada akhirnya dilakukan analisis kebijakan pada model yang telah valid dengan dua cara pengujian yaitu:

a. Perbandingan Rata-Rata (*Mean Comparison*)

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (1)$$

Dimana :

\bar{A} = nilai rata rata data

\bar{S} = nilai rata rata hasil simulasi

Model dianggap valid bila $E1 \leq 5\%$

b. Perbandingan Variasi Amplitudo (% *Error Variance*)

$$E2 = \frac{|Ss - Sa|}{Sa} \quad (2)$$

Dimana:

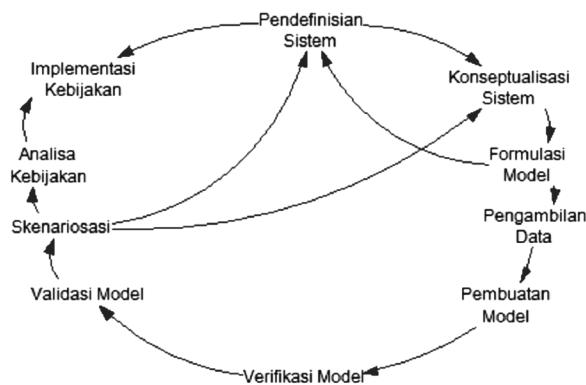
Ss = Standard deviasi model

Sa = Standard deviasi data

Model dianggap valid bila $E2 \leq 30\%$

3.8 Skenariosasi

Setelah model valid maka langkah selanjutnya adalah membuat beberapa skenario (eksperimen) untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan keinginan.



Gambar 2. Konseptualisasi sistem

Skenariosasi merupakan uji coba pada model yang telah disusun dengan tujuan untuk melihat kinerja dari sistem terhadap perubahan yang ada. Terdapat dua jenis skenariosasi dalam model yakni skenario parameter dan skenario struktur. Skenario parameter adalah skenario yang dilakukan pada parameter-parameter yang ada dalam model yang telah disusun.

Skenario parameter tidak merubah struktur model maupun variabel dalam model. Sedangkan skenario struktur adalah perubahan yang dilakukan pada model awal (*base model*) dengan menambahkan atau mengurangi variabel.

Adapun diagram alir dari beberapa tahapan yang telah dijelaskan tersebut diatas diperlihatkan dalam **Gambar 3** berikut ini.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Causatic diagram

Diagram kausatik menunjukkan hubungan sebab akibat diantara variabel-variabel yang telah terdefinisi dan pengaruhnya apakah akan memberi dampak positif/ kemajuan/ peningkatan diantara komponen yang saling berkaitan atau memberikan dampak/ perubahan secara negatif/penurunan. *Causatic diagram* untuk sistem harga bahan pekerjaan beton bertulang seperti dalam **Gambar 4**.

Pada diagram kausatik pada *rate* harga bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantara yaitu :

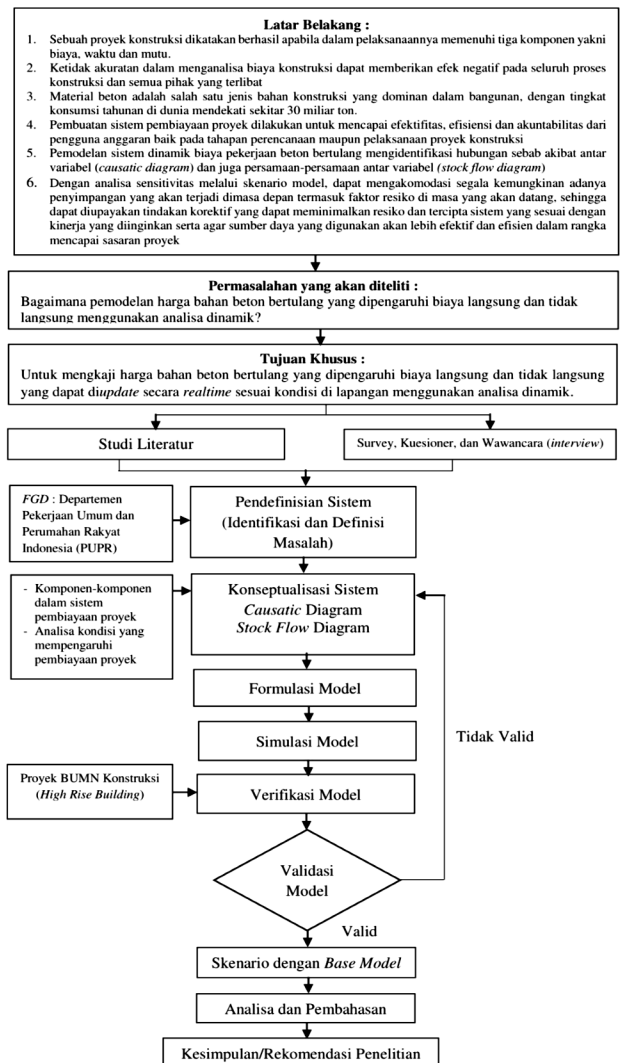
a. Variabel Inflasi

Inflasi adalah indikator untuk melihat tingkat perubahan, dan dianggap terjadi jika proses kenaikan harga berlangsung terus menerus dan saling pengaruh mempengaruhi.

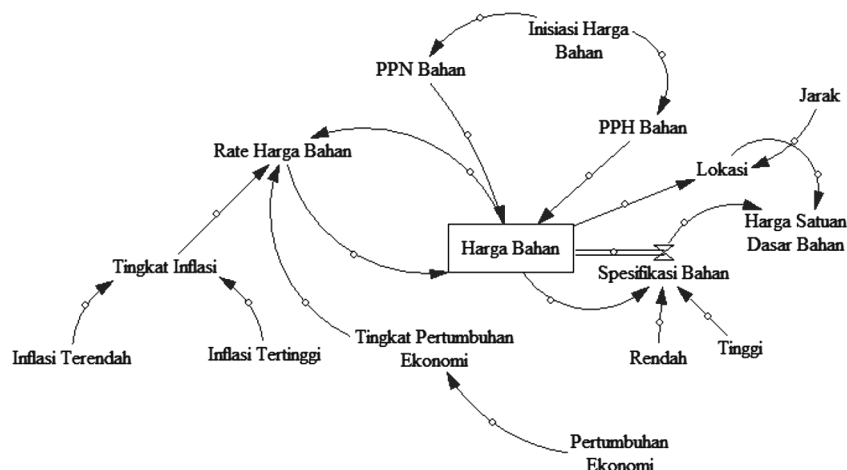
Variabel inflasi memiliki dua peran dalam model pembiayaan proyek, yakni sebagai pemicu meningkatnya harga bahan material dan juga harga alat kerja dari harga satuan dasar masing-masing. Tingkat inflasi yang digunakan dalam kajian ini adalah inflasi yang terjadi dalam rentang tahun 2008-2019.

b. Pertumbuhan ekonomi

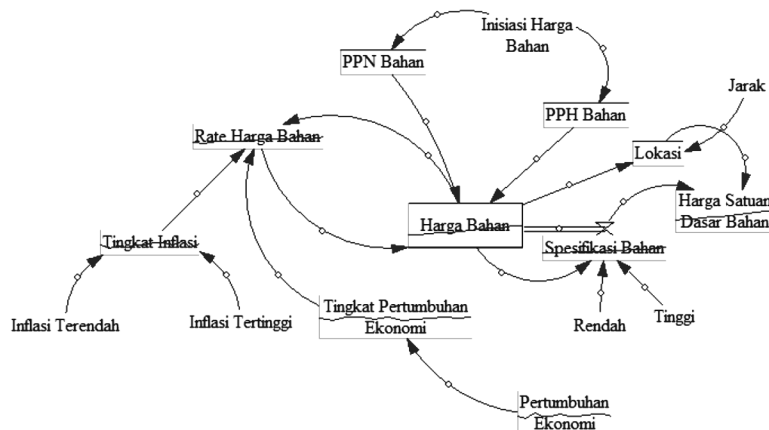
Pertumbuhan ekonomi turut mempengaruhi harga bahan material dan harga alat kerja. Seperti halnya inflasi maka pertumbuhan ekonomi dianalisa dalam rentang tahun 2008 – 2019.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Causatic diagram sistem harga bahan pekerjaan beton bertulang



Gambar 5. Stock flow sistem harga bahan pekerjaan beton bertulang

c. Indeks Harga Bahan Pokok

Indeks harga Bahan Pokok memberikan pengaruh pada tingkat konsumsi penduduk sehingga mempengaruhi indeks biaya hidup. Bersama-sama dengan indeks tingkat kemakmuran penduduk maka indeks harga bahan pokok turut mempengaruhi besaran upah pekerja konstruksi.

4.2. Stock flow diagram

Jika dalam *causatic diagram*, kita hanya mendapatkan hubungan sebab akibat antar variable yang berkaitan, pada *stock flow diagram* mampu menunjukkan kepada kita variabel-variabel yang kita definisikan apakah tergolong pada *level*, *rate* atau *auxiliary* sehingga memudahkan kita untuk melakukan proses simulasi. Pada model prediksi harga bahan untuk diagram *stock flow* diperlihatkan pada Gambar 5.

4.3. Formulasi model

Tahap formulasi model adalah memberikan persamaan-persamaan matematik untuk merepresentasikan hubungan antar variabel yang ada dalam sistem yang disusun. Analisis kondisi yang mempengaruhi sistem pembiayaan proyek yang menyediakan data kuantitatif digunakan dalam model.

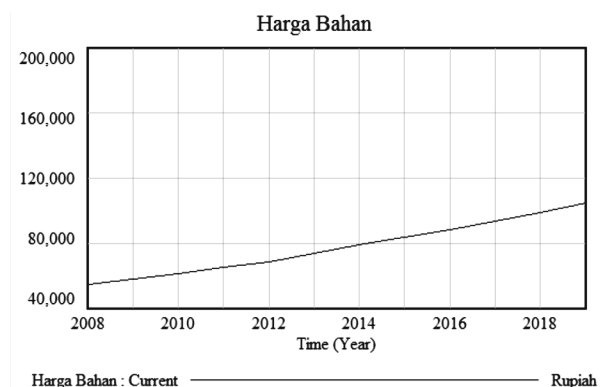
4.4. Verifikasi model

Setelah persamaan-persamaan matematis dimasukkan dalam model maka model dapat dirunning untuk melihat apakah hasil persamaan model masih mengalami kendala atau error. Proses ini disebut verifikasi model. Hasil verifikasi model dapat dilihat dalam Gambar 6.

4.5. Validasi model

Selanjutnya apabila model telah terverifikasi maka dilakukan proses validasi model. Sebagai contoh untuk proses validasi diambil contoh bahan bangunan pada pekerjaan beton bertulang yaitu harga bahan untuk besi beton.

Sesuai dengan *breakdown* aktivitas proyek yang diuraikan secara lebih detail sebelumnya maka untuk



Gambar 6. Hasil verifikasi model

proses validasi diambil data uraian biaya bahan. Proses validasi yang dilakukan adalah analisa sensitivitas dengan membandingkan data harga bahan bangunan besi beton yang diperoleh dari data sekunder dengan harga bahan pada *base model*.

Analisa sensitivitas diperoleh dengan memperhitungkan nilai mean dan standard deviasi harga bahan pekerjaan beton bertulang. Dari hasil perhitungan didapatkan *Mean Comparison* E1 = 4,72% dan *Variasi Amplitudo Error Variance* E2 = 3,15%.

Mulai dari kondisi standar perencanaan pembiayaan proyek hingga prediksi - prediksi yang mungkin mempengaruhi biaya proyek seperti adanya keterlambatan kedatangan bahan material. Tabel 1 menyajikan perbandingan nilai E1 dan E2 dari hasil perhitungan harga bahan data sekunder dan *base model*.

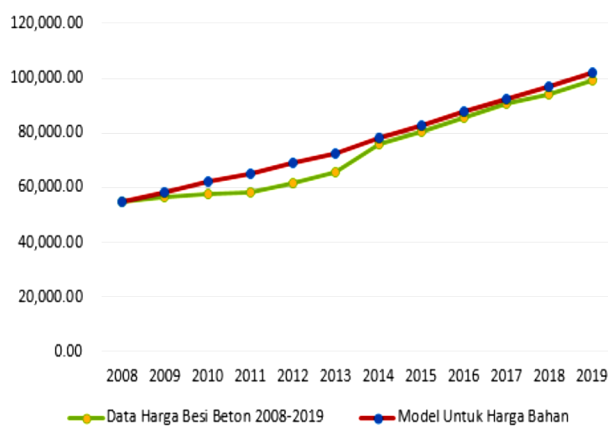
4.6. Skenario dan hasil simulasi model

Setelah *base model* terverifikasi dengan baik serta validasi model telah dilakukan sehingga model yang disusun telah sesuai dengan tujuan pembuatan sistem maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah skenariosasi.

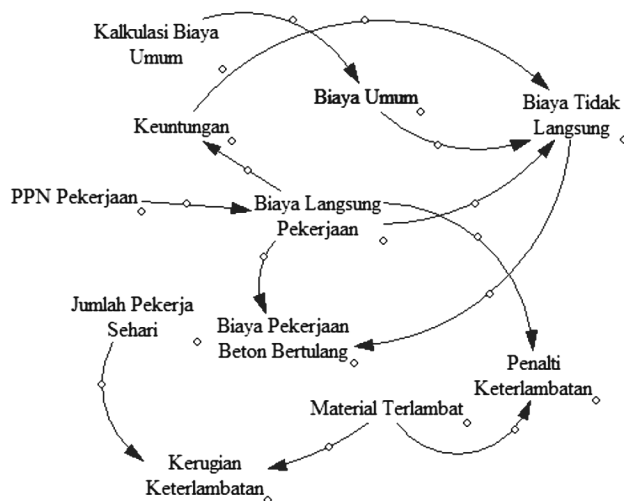
Dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi berbagai kemungkinan dalam pelaksanaan proyek sangat

Tabel 1. Perbandingan nilai E1 dan E2 antara model harga bahan dengan harga besi beton

Data Harga Besi Beton 2008 - 2019				Model untuk Harga Bahan		
Tahun	Harga (Rp./Batang)	x - mean	(x-mean) ²	Harga (Rp./Batang)	x - mean	(x-mean) ²
2008	55,000.00	(18,388.33)	338,130,802.78	55,000.00	(21,855.50)	477,662,994.08
2009	56,800.00	(16,588.33)	275,172,802.78	58,430.02	(18,425.48)	339,498,282.43
2010	57,720.00	(15,668.33)	245,496,669.44	61,989.76	(14,865.74)	220,990,368.29
2011	58,240.00	(15,148.33)	229,472,002.78	65,274.44	(11,581.07)	134,121,068.95
2012	61,900.00	(11,488.33)	131,981,802.78	68,846.28	(8,009.22)	64,147,626.70
2013	65,600.00	(7,788.33)	60,658,136.11	72,739.18	(4,116.32)	16,944,114.33
2014	75,800.00	2,411.67	5,816,136.11	78,019.09	1,163.59	1,353,944.35
2015	80,300.00	6,911.67	47,771,136.11	82,974.63	6,119.13	37,443,754.48
2016	85,600.00	12,211.67	149,124,802.78	87,620.41	10,764.90	115,883,150.50
2017	90,500.00	17,111.67	292,809,136.11	92,207.20	15,351.69	235,674,468.93
2018	93,900.00	20,511.67	420,728,469.44	96,953.34	20,097.84	403,923,218.72
2019	99,300.00	25,911.67	671,414,469.44	102,211.68	25,356.18	642,935,716.41
2020	880,660.00		2,868,576,366.67	922,266.03	845,410.53	2,690,578,708.18
Mean	73,388.33	SD	16,148.67	76,855.50	SD	15,639.63
		E1	4.72%		E2	3.15%



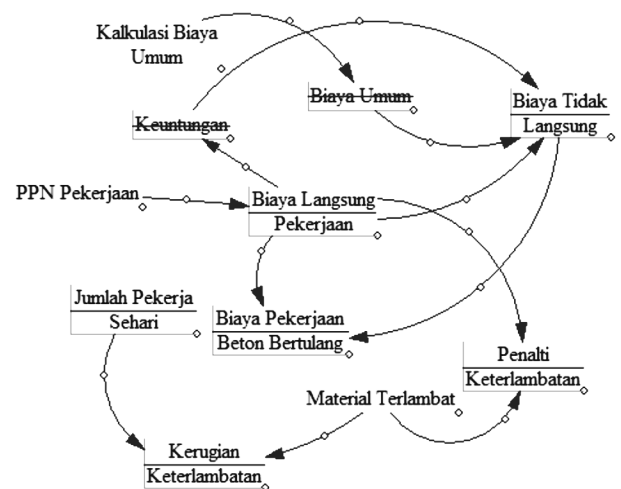
Gambar 7. Grafik tren harga besi beton



Gambar 8. Causatic diagram skenario keterlambatan material

mungkin terjadi mengingat sifat proyek yang sangat kompleks. Salah satunya adalah kedatangan material proyek di lokasi mengalami keterlambatan.

Keterlambatan ini dapat memberikan dampak pada pembiayaan proyek secara menyeluruh, dimana



Gambar 9. Stock flow skenario keterlambatan material

keterlambatan material ini membawa pengaruh pada pekerja yang tetap harus mendapatkan upah walaupun tidak bekerja karena kesalahan tidak terletak pada pekerja. Selain itu keterlambatan ini membawa pengaruh pada alokasi resiko penalti yang akan diterima akibat keterlambatan waktu pelaksanaan proyek.

Sementara apabila kita berbicara keuntungan maka keterlambatan ini akan berakibat pada berkurangnya nilai keuntungan yang diperoleh akibat adanya peningkatan biaya resiko yang harus ditanggung lebih besar. Perubahan struktur model disajikan dalam **Gambar 8 Causatic Diagram** Skenario Keterlambatan Material dan **Gambar 9 Stock Flow** Skenario Keterlambatan Material. Perubahan struktur model pada penelitian ini dipengaruhi oleh faktor kerugian keterlambatan dan penalti keterlambatan.

5. Kesimpulan

1. Dengan hasil simulasi dengan nilai *Mean Comparison* E1 = 4,72% dan *Variasi Amplitudo Error Variance* E2 = 3,15% yang dijalankan serta prediksi-perdiksi yang mungkin terjadi maka

perencana dapat membuat sebuah keputusan perencanaan pembiayaan yang dinilai dapat memberikan optimasi biaya proyek yang paling sesuai dengan kebutuhan perencana anggaran seperti modifikasi antara penggunaan tenaga kerja lokal non lokal dalam proporsi tertentu, dan jika diasumsikan terjadi masalah keterlambatan kedatangan material maka upaya optimasi keuntungan dapat dimaksimalkan dengan menggunakan tenaga kerja lokal.

2. Pertimbangan-pertimbangan keputusan ini yang dapat dijadikan dasar bagi perencana anggaran untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Hasil pemodelan sistem pembiayaan proyek yang dilakukan memberikan perbandingan hasil. Berdasarkan pada hasil perbandingan model awal dan skenario yang dilakukan maka dapat terlihat bahwa terjadi peningkatan biaya proyek. Mulai dari kondisi standar perencanaan pembiayaan proyek hingga prediksi - prediksi yang mungkin mempengaruhi biaya proyek seperti adanya keterlambatan kedatangan bahan material.
3. Perubahan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi harga bahan di lapangan dapat di simulasikan pada analisa dinamik sehingga prediksi harga bahan dapat diupdate secara *realtime*.

Daftar Pustaka

- Arruan, A, B. F. Sompie, Mochtar Sibi, Pingkan Pratas. (2014). Analisis koefisien harga satuan tenaga kerja di lapangan dengan membandingkan analisis SNI dan analisis BOW pada pembesian dan bekisting kolom. Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.2 (81-93) ISSN: 2337-6732.
- Alzahrani, J. I. dan Emsley, M. W. (2013). "The impact of contractors' attributes on construction project success: A post construction evaluation". International Journal of Project Management, 31(2), 313-322. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.06.006>
- Darmono, R. (2005) Pemodelan System Dynamics pada Perencanaan Penataan Ruang Kota., Jakarta: Grasindo.
- F. Murie, "Building safety - An international perspective," *Int. J. Occup. Environ. Health*, vol. 13, no. 1, pp. 5-11, 2007.
- Fishwick, P. (2007) Handbook of Dynamic System Modeling, New York: Chapman & Hall/CRC
- H. Hofmeyer, M. Schevenels, S. Boonstra, The generation of hierarchic structures via robust 3D topology optimisation, *Adv. Eng. Inform.* 33 (2017) 440-455, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.02.002>.
- Jinjie, M, Qingxuan, S, Zhijian, H. (2014). Optimal Design of Tall Residential Building with RC Shear Wall and with Rectangular Layout. International Journal of High- Rise Buildings, Vol 3, No 4, 285-296
- Messah, Y. A., Sina, D. A. T. dan Manubulu, A. C. (2013). Analisa Indeks Biaya Untuk Pekerjaan Beton Bertulang Dengan Menggunakan Metode SNI 7394-2008 dan Lapangan . Jurnal Teknik Sipil, Vol II No. 1
- Project Management Institute. (2013). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide). -- Fifth edition. Newtown Square, PA: PMI.
- S. Eleftheriadis, P. Duffour, D. Mumovic, Participatory decision-support model in the context of building structural design embedding BIM with QFD, *Adv. Eng. Inform.* 38 (2018) 695-711, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.10.001>
- S.A. Miller, A. Horvath, P.J.M. Monteiro, Impacts of booming concrete production on water resources worldwide, *Nature Research Sustainability Community*. <https://sustainabilitycommunity.nature.com/users/81650-sabbie-amiller/posts/29627-impacts-of-booming-concrete-production-on-water-resources-worldwide>, 2018 (accessed 16 March 2019).
- S.I. Lee, J.S. Bae, Y.S. Cho, Efficiency analysis of Set-based Design with structural building information modeling (S-BIM) on high-rise building structures, *Autom. Constr.* 23 (2012) 20-32, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.12.008>.
- Sukamto, A. Q, El Unas., S, Hasyim, M. H. (2014). Analisa perbandingan harga satuan pekerjaan beton bertulang berdasarkan SNI dan software MS Project. Jurnal Teknik Sipil
- V.J.L. Gan, C.M. Chan, K.T. Tse, J.C.P. Cheng, I.M.C. Lo, Sustainability analyses of embodied carbon and construction cost in high-rise buildings using different materials and structural forms, *HKIE Trans.* 24 (2019) 216-227, <https://doi.org/10.1080/1023697X.2017.1375436>.