

PEMODELAN PROBABILISTIK UNTUK MEMPREDIKSI RISIKO KERUSAKAN STRUKTUR BETON PADA TAHAP KONSTRUKSI PADA GEDUNG BERTINGKAT

Mirnayani^{1*}, Yunita Dian Suwandari²

^{1,2} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jalan Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat

*Email: mirnayani@mercubuana.ac.id, yunita.dian@mercubuana.ac.id

Abstrak

Kasus kegagalan bangunan sering terjadi pada saat pelaksanaan konstruksi, dari kasus kegagalan ringan sampai kasus kegagalan berat. Contoh dari kasus tersebut adalah terjadinya retakan bahkan ambruknya bangunan. Sehingga kegagalan bangunan menjadi momok besar bagi dunia konstruksi. Penyebab dari kegagalan bangunan salah satunya disebabkan oleh kerusakan struktur beton. Penyebab kerusakan beton dapat terjadi saat sebelum dan sesudah proses pengerasan beton. Kerusakan struktur beton terjadi diakibatkan oleh berbagai faktor, seperti faktor beban struktur, faktor perencanaan, faktor pelaksanaan (pengecoran dan perawatan) dan faktor lingkungan. Kerusakan pada struktur beton terjadi pada struktur kolom, balok, pelat dan dinding beton.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yaitu dengan menggunakan Bayesian Belief Network (BBN). BBN digunakan untuk mengakomodasi hubungan antara variabel penyebab terjadinya kerusakan struktur beton pada konstruksi gedung pada faktor dominan.. Sampel yang dipakai untuk mencari variabel penyebab terjadinya kerusakan struktur beton adalah 16 gedung bertingkat di Jakarta. Analisa hubungan antar variabel dilakukan melalui kuisioner terhadap pakar. Model BBN diperoleh dengan menggabungkan model konseptual dari hasil literatur review dengan model konseptual hasil wawancara pakar. Output dari penelitian ini adalah model yang diharapkan dapat digunakan untuk mengetahui prosentase terjadinya risiko kerusakan struktur beton pada konstruksi gedung bertingkat yang disebabkan karena variabel dari faktor dominan penyebabnya.

Kata kunci: *Bayesian Belief Network , Kegagalan Bangunan , Model, Probabilitas , Risiko*

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur berkembang sangat pesat di era pemerintahan sekarang, baik pembangunan bangunan, bendungan, jalan raya maupun jembatan. Hal tersebut dapat terlihat dari data indikator konstruksi triwulan negara Indonesia, pada triwulan I – 2017 sebesar 252,90 % dan mengalami peningkatan sebesar 26,73 pada triwulan I – 2018 menjadi sebesar 279,63 %.

Selaras dengan perkembangan konstruksi negara Indonesia, Wilayah ibukota DKI Jakarta juga mengalami peningkatan dengan tingkat presentase pertumbuhan. Berdasar Badan Pusat Statistika (2018), pada triwulan I – 2017 sebesar 253,71% dan pada triwulan I – 2018 menjadi sebesar 287,11 % serta berdasarkan indeks tahun 2010 sebesar 100% yang didapatkan dari uraian Nilai Konstruksi. Nilai konstruksi merupakan nilai pekerjaan sektor konstruksi yang tergantung pada realisasi fisik pekerjaan proyek-proyek yang diselesaikan dalam periode satu triwulan.

Seiring dengan peningkatan pertumbuhan konstruksi, terdapat beberapa permasalahan, salah satunya adalah terjadinya kegagalan bangunan. Kegagalan bangunan ini dapat mengakibatkan korban jiwa maupun material. Pada pasal 34 PP No 29 Tahun 2000, Kegagalan bangunan merupakan keadaan bangunan yang tidak berfungsi baik secara keseluruhan maupun sebagian dari segi teknis, manfaat, keselamatan dan kesehatan kerja, dan, atau keselamatan umum sebagai akibat kesalahan penyedia jasa atau pengguna jasa setelah penyerahan akhir pekerjaan konstruksi.

Kasus kegagalan bangunan yang terjadi sangat beragam dari kasus ringan sampai kasus berat. Contoh dari kasus tersebut adalah terjadinya retakan bahkan ambruknya bangunan. Sehingga kegagalan bangunan menjadi momok besar bagi dunia konstruksi. Penyebab dari kegagalan bangunan salah satunya disebabkan oleh kerusakan struktur beton. Penyebab kerusakan beton dapat terjadi saat sebelum dan sesudah proses pengerasan beton. Kerusakan struktur beton terjadi diakibatkan oleh berbagai faktor, seperti faktor beban struktur, faktor perencanaan, faktor pelaksanaan (pengecoran dan perawatan) dan faktor lingkungan. Kerusakan pada struktur beton terjadi pada struktur kolom, balok, pelat dan dinding beton (Aprilian,2018). Untuk mewujudkan

suatu sistem manajemen risiko yang efektif, perlu dilakukan penelitian berupa analisa risiko dengan cara melakukan identifikasi, analisis dan melakukan evaluasi guna mengurangi atau mengalihkan risiko tersebut.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui faktor-faktor dominan apa saja yang menyebabkan terjadinya kerusakan struktur beton pada konstruksi gedung bertingkat serta untuk mengetahui hubungan antara variabel penyebab terjadinya kerusakan struktur beton pada konstruksi gedung bertingkat sehingga dapat membuat sebuah model.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton adalah salah satu material bahan bangunan yang dimana bahan pembentuknya dibagi menjadi dua bagian, yaitu bahan dasar dan bahan tambahan. Bahan dasar beton merupakan gabungan dari material agregat kasar (batu split), agregat halus (pasir), semen dan air. Sedangkan bahan tambahan yaitu zat additive sebagai obat beton untuk mempermudah proses pekerjaan beton (Aprilian,2018). Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture).

Kerusakan Beton

Beberapa jenis kerusakan pada beton adalah (Aprilian,2018)

1. Retak (*crack*)
2. Pengelupasan beton (*Spalling*)
3. Pemisahan (*Segregasi*)
4. Pendarahan (*Bleeding*)

Identifikasi Variabel

Identifikasi variabel berupa Faktor-faktor penyebab kerusakan struktur beton diperoleh berdasar studi literatur buku dan jurnal. Faktor-faktor penyebab kerusakan beton ditinjau pada saat konstruksi berlangsung berdasarkan : (Aprilian, 2018)

1. Faktor Beban Struktur
2. Faktor Perencanaan
3. Faktor Pelaksanaan (Pengecoran dan Perawatan)
4. Faktor Lingkungan

Bayesian Belief Network

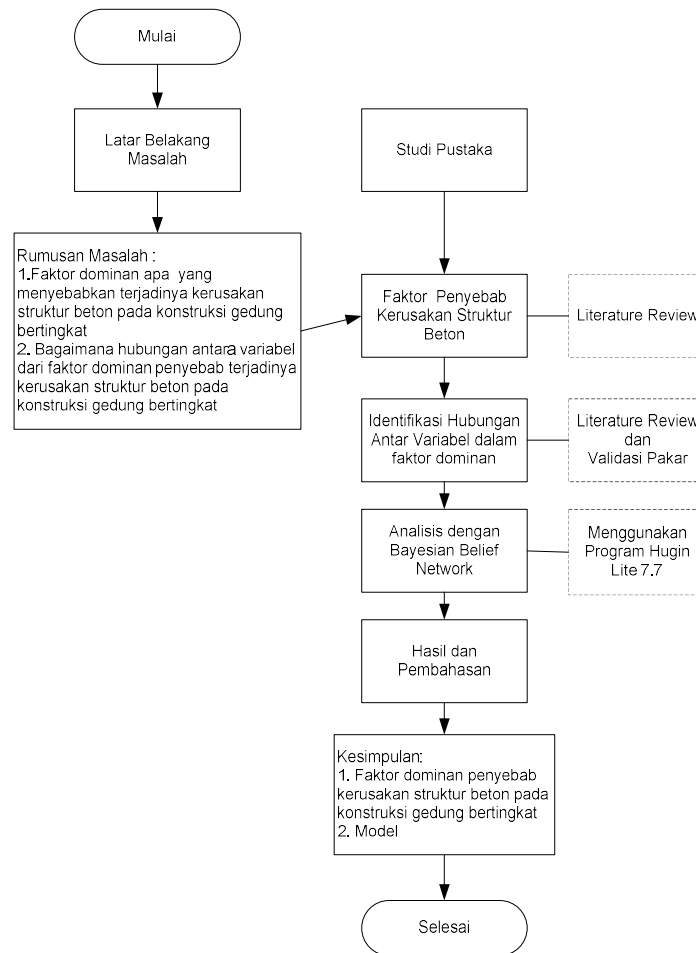
Bayesian belief network dikenal juga dengan sebutan *belief network* atau *probabilistic network*. *Bayesian belief network* merupakan *probabilistic graphical model* (PGM) dengan busur berarah yang digunakan untuk merepresentasikan pengetahuan tentang hubungan ketergantungan (*dependency*) atau kebebasan (*independency*) di antara variabel-variabel dari persoalan yang dimodelkan Lee, Park, & Shin dalam Mirnayani (2013).

Bayesian Belief Network (BBN) memiliki keuntungan sebagai berikut ; 1) *Bayesian Belief network* memberikan fleksibilitas yang besar menerima input dan memberikan output. 2) BBN dapat dengan mudah menghitung probabilitas kejadian 3) BBN dapat dikembangkan dengan menggunakan pendapat ahli bukan membutuhkan data historis (Mirnayani,2013).

METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan adalah survei lapangan dan teknik pengumpulan data menggunakan wawancara dan kuesioner yang ditujukan kepada pakar ahli dan pelaksana konstruksi pada beberapa proyek konstruksi di wilayah Jakarta. Populasi konstruksi gedung bertingkat di Jakarta yang jumlahnya tidak diketahui (*infinit*) dan terlalu banyak, maka dilakukan pengambilan sampel secara acak pada 16 proyek konstruksi pada wilayah Jakarta Pusat, Jakarta Selatan dan Jakarta Barat. Dengan klasifikasi bangunan gedung yang diteliti yaitu gedung bertingkat tinggi (memiliki lebih dari

8 lantai) dengan fungsi bangunan sebagai hunian (apartemen) dan usaha (perkantoran). Sampel gedung ini digunakan untuk menentukan variabel penyebab kerusakan struktur beton.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Proses validasi pakar dan wawancara akan dilakukan pada sampel dengan jumlah pakar sebanyak 5 orang. Adapun kriteria pakar tersebut adalah : 1) Mempunyai jabatan level manajerial 2) Mempunyai pengalaman di bidang Manajemen risiko > 10 tahun 3) Berpendidikan minimal S1 *engineering/non engineering*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabel Penelitian

Tabel 1 dibawah ini merupakan variabel awal dari penelitian yang telah di validasi oleh 7 orang pakar serta telah disebarkan ke 48 responden dengan kriteria responden adalah *Quality Control, Staff Engineer, Inspector, Supervisor, dan Superintendent* pada 16 proyek konstruksi gedung bertingkat di wilayah Jakarta Pusat, Jakarta Selatan, dan Jakarta Barat.

Faktor Dominan

Dari 26 variabel awal pada Tabel 1 diatas, kemudian dilakukan analisis faktor dengan menggunakan SPSS. Hasil analisis, diperoleh 19 variabel penyebab kerusakan struktur beton dan 7 faktor penyebab berdasarkan variabel penyebabnya. Tabel 2 berikut merupakan hasil data variabel dan faktor penyebab kerusakan struktur beton pada konstruksi gedung bertingkat yang akan dipakai.

Penentuan faktor dominan didasarkan pada *variance* tertinggi pada faktor – faktor yang telah terbentuk pada Tabel 2. Dalam penelitian ini faktor dominan yang mempengaruhi penyebab

kerusakan struktur beton pada konstruksi gedung bertingkat adalah Faktor Pelaksanaan Beton Dan Acuan (Bekisting) dengan nilai *variance* sebesar 35.031 %.

Tabel 1. Variabel Awal Penyebab Kerusakan Struktur Beton Pada Gedung Bertingkat

X1	Kesalahan perencanaan target rata-rata kuat tekan pada tahap perencanaan <i>mix design</i>
X2	Kesalahan perencanaan Faktor Air Semen pada tahap perencanaan <i>mix design</i>
X3	Pengaruh reaksi kimia (Jenis <i>Admixture</i>)
X4	Jenis semen portland, yaitu komposisi kimia dan kecepatan panas hidrasi
X5	Komposisi bahan tambah yang berlebih (seperti: <i>fly ash</i> atau <i>slag</i>)
X6	Pengaruh ukuran material agregat kasar
X7	Kurangnya kandungan material halus (pasir) dalam campuran beton
X8	Kesalahan hasil pengujian berat jenis agregat kasar dan halus
X9	Kandungan lumpur yang berlebih pada material agregat kasar dan halus
X10	Tidak diperhitungkannya nilai absorpsi pada agregat kasar dan halus
X11	Ketebalan selimut beton terlalu tipis
X12	Tinggi jatuh beton pada saat proses penuangan (<i>placing</i>) beton
X13	Kemiringan jatuh beton pada saat proses penuangan (<i>placing</i>) beton
X14	Bekisting tidak bersih, masih terdapat sisa pengecoran ataupun material lain
X15	Bracing pada bekisting kurang kuat, sehingga bekisting tidak mampu menahan jatuhnya beton segar
X16	Kehilangan Keleccakan (<i>Slump Loss</i>)
X17	Proses pelepasan bekisting
X18	Jarak antar tulangan yang terlalu dekat
X19	Metode pemadatan yang salah (Alat <i>Vibrator</i>)
X20	Pembongkaran bekisting pada beton yang belum cukup umur
X21	Pemekaran tulangan oleh karat
X22	Perbedaan suhu internal (suhu awal beton) diakibatkan dari panas hidrasi beton
X23	Tidak dilakukannya proses perawatan (<i>curing</i>) beton
X24	Temperatur udara yang tinggi
X25	Kelembaban udara
X26	Sulfat yang terkandung dalam tanah

Aprilian, 2018

Tabel 2. Variabel dan Faktor yang mempengaruhi kerusakan struktur beton

Faktor		Variabel		% of Variance
1	Pelaksanaan Beton dan Acuan (Bekisting)	X14	Bekisting tidak bersih, masih terdapat sisa pengecoran ataupun material lain	35.031
		X15	Bracing pada bekisting kurang kuat, sehingga bekisting tidak mampu menahan jatuhnya beton segar	
		X19	Metode pemadatan yang salah (alat vibrator)	
		X20	Pembongkaran bekisting pada beton yang belum cukup umur	
		X23	Tidak dilakukannya proses perawatan (<i>curing</i>) beton	
2	Bahan Material Pembantu Dan Lingkungan	X5	Komposisi bahan tambah yang berlebih (seperti: <i>fly ash</i> atau <i>slag</i>)	9.431
		X24	Temperatur udara yang tinggi	
		X25	Kelembaban udara	
3	Bahan Kimia Pembantu dan Semen	X3	Pengaruh reaksi kimia (Jenis <i>admixture</i>)	7425
		X8	Kesalahan hasil pengujian berat jenis agregat kasar dan halus	
4	Perencanaan Mutu Beton	X1	Kesalahan perencanaan target rata-rata kuat tekan pada tahap perencanaan <i>mix desain</i>	6.706
		X2	Kesalahan perencanaan Faktor Air Semen pada tahap perencanaan <i>mix design</i>	
		X4	Jenis semen portland, yaitu komposisi kimia dan kecepatan panas hidrasi	
5	Penuangan (Placing) Beton	X12	Tinggi jatuh beton pada saat proses penuangan (<i>placing</i>) beton	5263
		X13	Kemiringan jatuh beton pada saat proses penuangan (<i>placing</i>) beton	
6	Pengukuran dan Bahan Campuran	X7	Kurangnya kandungan material halus (pasir) dalam campuran beton	4774
		X11	Ketebalan selimut beton terlalu tipis	

		X18	Jarak antar tulangan yang terlalu dekat	
7	Suhu Beton	X22	Perbedaan suhu internal (suhu awal beton) diakibatkan dari panas hidrasi beton	4.448

Sumber : Aprilian, 2018

Hubungan Antar Variabel

Variabel yang akan dibahas adalah variabel dari faktor dominan penyebab kerusakan struktur beton yaitu : (X14) Bekisting tidak bersih, masih terdapat sisa pengecoran ataupun material lain (*Loading Factor* 0.619), (X15) Bracing pada bekisting kurang kuat, sehingga bekisting tidak mampu menahan jatuhnya beton segar (*Loading Factor* 0.545), (X19) Metode pemadatan yang salah (Alat vibrator) (*Loading Factor* 0.704), (X20) Pembongkaran bekisting pada beton yang belum cukup umur (*Loading Factor* 0.803), dan (X23) Tidak dilakukannya proses perawatan (curing) beton (*Loading Factor* 0.888) . Ke 5 (lima) variabel merupakan variabel yang berhubungan kuat terhadap faktor yang terbentuk berdasar nilai *Loading Factor* hasil analisis.

Analisis hubungan antar variabel dilakukan dengan cara melakukan literatur review dan validasi pakar dengan menggunakan kuisioner.

Sebab						keterangan pengisian
X14						4 = Berhubungan sangat kuat
X15						3 = Berhubungan kuat
X19						2 = Berhubungan sedang
X20						1 = Berhubungan lemah
X23						0 = Tidak berhubungan
Akibat	X14	X15	X19	X20	X23	

Gambar 2. Kuisioner Hubungan Antar Variabel

Model

Hasil dari literatur review dan penyebaran kuisioner diperoleh model dengan node penyebab kerusakan struktur beton dari faktor dominan adalah sebagai berikut.

a) **Bekisting**, merupakan node dari variabel X14

Node ini terbagi menjadi 2 (dua) state, yaitu state bekisting “bersih” dan “tidak bersih”. Penyebab kerusakan struktur beton ini dapat mengakibatkan kerusakan beton seperti tercampurnya material lain kedalam campuran beton segar sehingga menyebabkan keropos saat proses pembongkaran bekisting dan berakibat pada menurunnya kuat tekan pada beton. Kerusakan beton yang terjadi dijumpai pada struktur balok, pelat lantai, tangga, kolom dan dinding beton.

b) **Bracing**, merupakan node dari variabel X15

Node terbagi menjadi 2 (dua) state, yaitu state *bracing* “kuat” dan “tidak kuat”. Penyebab kerusakan struktur beton ini dapat mengakibatkan kerusakan beton seperti perubahan bentuk beton (cembung) sehingga dapat menurunkan kuat tekan pada beton dikarenakan bentuk beton yang tidak pesis. Kerusakan beton yang terjadi banyak dijumpai pada struktur kolom dan dinding beton.

c) **Pemadatan**, merupakan node dari variabel X19.

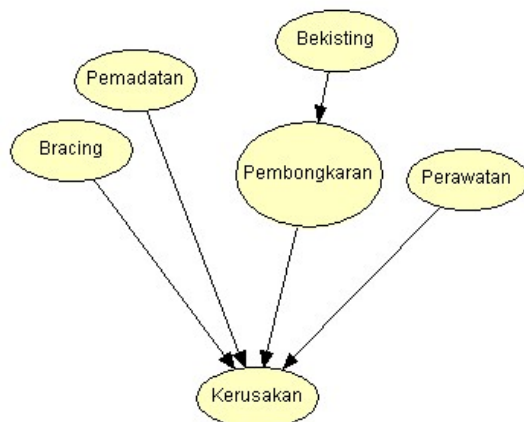
Node terbagi menjadi 2 (dua) state, yaitu state “metode benar” dan “metode salah”. Penyebab kerusakan struktur beton ini dapat mengakibatkan kerusakan beton seperti keropos dikarekan pemadatan beton tidak merata atau pemisahan antara agregat dengan pasta semen (segregasi). Kerusakan beton yang terjadi dijumpai pada struktur kolom, balok, dinding beton dan pertemuan joint antara kolom dan balok.

d) **Pembongkaran**, merupakan node dari variabel X20.

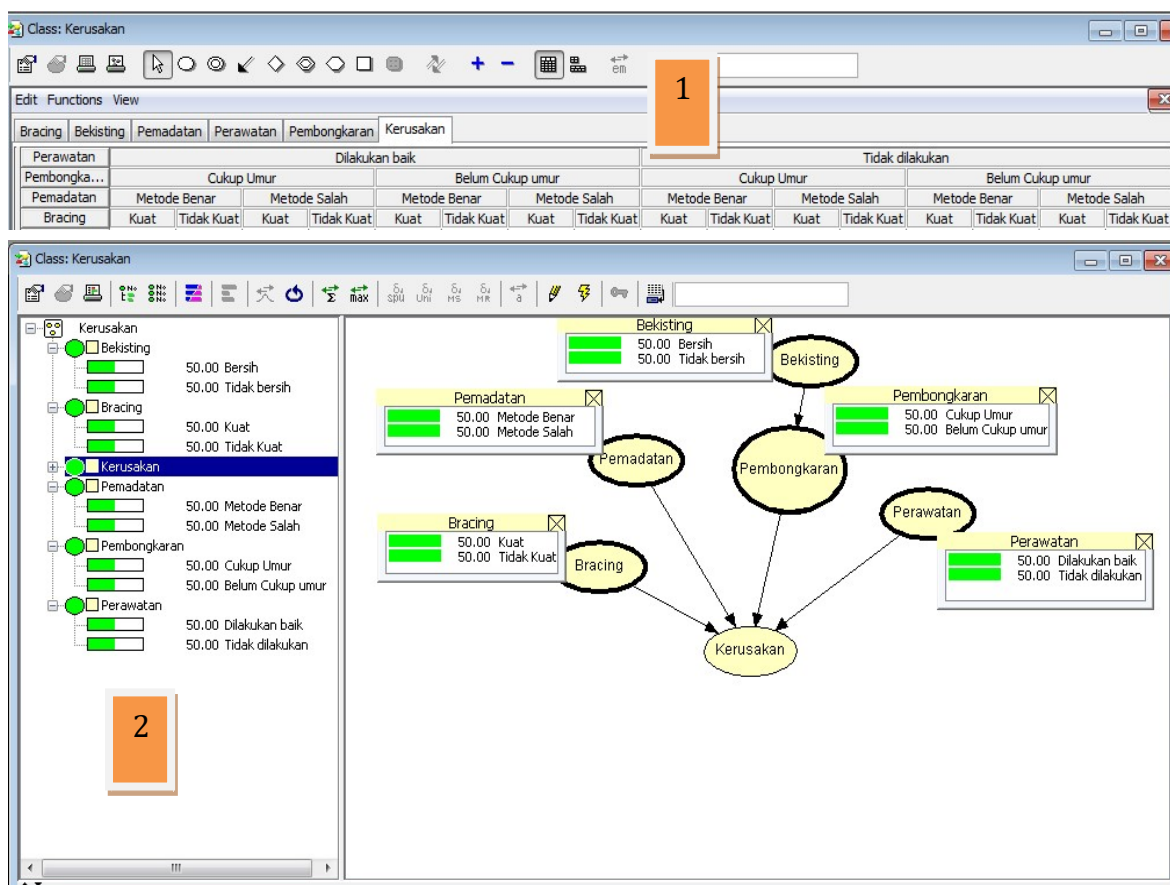
Node terbagi menjadi 2 (dua) state, yaitu state “cukup umur” dan “belum cukup umur”. Penyebab kerusakan struktur beton ini dapat mengakibatkan kerusakan beton seperti pengelupasan permukaan beton, keropos, dan retak. Kerusakan beton yang terjadi dijumpai pada struktur kolom, balok, pelat dan dinding beton.

e) **Perawatan**, merupakan node dari variabel X23.

Node terbagi menjadi 2 (dua) state, yaitu state “ dilakukan baik” dan “tidak dilakukan”. Penyebab kerusakan struktur beton ini dapat mengakibatkan kerusakan beton seperti retak rambut hingga retak besar pada permukaan beton. Kerusakan beton yang terjadi dijumpai pada struktur kolom, balok, pelat dan dinding beton.



Gambar 3 Model Penyebab Kerusakan Struktur Beton Berdasar Faktor Dominan
 Sumber : Olahan Penulis, 2020



Gambar 4. Simulasi analisis dengan Software HuginLite 7.7
 Sumber : Olahan Penulis, 2020

Gambar 4. Merupakan contoh simulasi analisis model *Bayesian Belief Network* (BBN) dengan HuginLite 7.7. Untuk mengetahui besarnya probabilitas terjadinya kerusakan akibat ke-lima (5) variabel, terlebih dahulu dimasukan nilai CPT (*Conditional Probability Table*). *Conditional probability* yaitu perhitungan peluang suatu kejadian Y bila diketahui kejadian X telah terjadi. Nilai

CPT diperoleh berdasarkan data lapangan. Di dalam jurnal ini hanya membahas mengenai model dan tidak dibahas mengenai contoh perhitungan kerusakannya.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa : 1) Faktor dominan yang menyebabkan terjadinya kerusakan struktur beton pada tahap konstruksi untuk gedung bertingkat adalah faktor Pelaksanaan Beton dan Acuan (Bekisting). 2) Hubungan antar variabel didapatkan bahwa variabel bekisting dan pembongkaran saling berhubungan, sedang variabel lainnya yaitu bracing, pemadatan dan perawatan tidak berhubungan dengan variabel lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilian, Wening. 2018. Analisis Faktor Penyebab Kerusakan Struktur Beton Pada Konstruksi Gedung Bertingkat Di Jakarta. Mercubuana. Jakarta
- Antoni; Nugraha, P. (2007). Teknologi Beton. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- BSN. (2004). SNI 15 - 0302 - 2004 Tentang Semen Portland Pozolan. Jakarta: Badan Standarisasi Indonesia.
- BSN. (2004). SNI 15 - 2049 - 2004 Tentang Semen Portland. Jakarta: Badan Standarisasi Indonesia.
- BSN. (2004). SNI 15 - 7064 - 2004 Tentang Semen Portland Komposit. Jakarta: Badan Standarisasi Indonesia.
- BSN. (2012). SNI 7656 - 2012 Tentang Tata Cara Pemeilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. Jakarta: Badan Standarisasi Indonesia.
- Chen, Serena H. Pollino, Carmel A. 2012. Good practice in Bayesian network modelling. *Environmental Modelling & Software* 37 . pp 134-145
- Ismail, 2011. Identifikasi Kegagalan Struktur Dan Alternatif Perbaikan Serta Perkuatan Gedung BPKP Provinsi Sumatera Barat. JRS Unand, 10.
- Mirayani. 2013. Pemodelan Probabilistik Untuk Memprediksi Risiko Kebakaran Menggunakan Algoritma Kriging. ITS. Surabaya
- Peraturan Pemerintah no 29 tahun 2000
- PMBOK 5th edition
- Saputra, dkk. 2014. Analisis Penyebab Dan Metode Perbaikan Yang Tepat Pada Beton Yang Disebabkan Oleh Faktor Non Struktural. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Sandhyavitri, dkk. 2018. Risk and Uncertainty in the Medan-Binjai Toll Road Infrastructure Project, Indonesia Based on the Stochastic Analyzes. *European Journal of Engineering Research and Science*. Vol 3.No 6.