

Optimisasi pengambilan keputusan dalam manajemen sumber daya manusia proyek konstruksi melalui pendekatan *bayesian networks*

Arif Aryadhana Sugawa^{1,*}, Steenie E. Wallah¹, Arthur H. Thambas¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia

*Corresponding authors: arifsugawa119@student.unsrat.ac.id

Submitted: 25 July 2024, Revised: 17 December 2024, Accepted: 22 December 2024

ABSTRACT: This research focuses on the importance of human resources management (HR) in government construction projects, which often face challenges such as delays, cost overruns, and quality problems. The aim of this research is to identify the main factors that influence workforce performance in construction projects using a Bayesian network approach. In this context, factors such as workplace conditions, relations between workers, technology, materials and tools, environment, and project management and coordination have been identified as key factors that have the potential to influence project success. This research methodology involves collecting data through surveys and interviews with construction professionals. The data obtained were analyzed using Genie and SPSS V.26 software. The Bayesian network method is used to model and analyze probabilistic relationships between factors that influence workforce performance. This approach allows for more prescriptive and informed decision-making, which is critical to overcoming the challenges faced in construction projects. The analysis results show that technology and project management have a significant impact on workforce performance. Optimization carried out using the Bayesian Networks approach can reduce potential problems by up to 7-9% for the various factors analyzed. This confirms the effectiveness of this approach in increasing labor efficiency and productivity in construction projects. This research also highlights the importance of continuous improvement strategies in project management. As a result of this research, the framework developed can assist project managers in identifying and addressing critical factors that influence HR performance. Additionally, this research proposes that further implementations of Bayesian networks can be applied to other aspects of civil engineering, such as risk management and project scheduling, to improve overall project outcomes.

KEYWORDS: bayesian networks; construction projects; decision making; human resource management.

ABSTRAK: Penelitian ini berfokus pada pentingnya Manajemen Sumber Daya Manusia (SDM) dalam proyek konstruksi pemerintah, yang sering kali menghadapi tantangan seperti keterlambatan, pembengkakan biaya, dan masalah kualitas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja dalam proyek konstruksi dengan menggunakan pendekatan Bayesian Networks. Dalam konteks ini, faktor-faktor seperti kondisi tempat kerja, hubungan antar pekerja, teknologi, bahan dan alat, lingkungan, serta manajemen dan koordinasi proyek telah diidentifikasi sebagai faktor kunci yang berpotensi mempengaruhi keberhasilan proyek. Metodologi penelitian ini melibatkan pengumpulan data melalui survei dan wawancara dengan para profesional di bidang konstruksi. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan perangkat lunak Genie dan SPSS V.26. Metode Bayesian Networks digunakan untuk memodelkan dan menganalisis hubungan probabilistik antara faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja. Pendekatan ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih preskriptif dan terinformasi, yang sangat penting dalam mengatasi tantangan-tantangan yang dihadapi dalam proyek konstruksi. Hasil analisis menunjukkan bahwa teknologi dan manajemen proyek memiliki dampak signifikan terhadap kinerja tenaga kerja. Optimisasi yang dilakukan melalui pendekatan Bayesian Networks dapat mengurangi potensi permasalahan hingga 7-9% pada berbagai faktor yang dianalisis. Hal ini menegaskan efektivitas pendekatan ini dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas tenaga kerja dalam proyek konstruksi. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya strategi perbaikan yang berkelanjutan dalam manajemen proyek. Sebagai kontribusi dari penelitian ini, kerangka kerja yang dikembangkan dapat membantu manajer proyek dalam mengidentifikasi dan mengatasi faktor-faktor kritis yang mempengaruhi kinerja SDM. Selain itu, penelitian ini mengusulkan bahwa implementasi lebih lanjut dari Bayesian Networks dapat diterapkan pada aspek rekayasa sipil lainnya, seperti manajemen risiko dan penjadwalan proyek, untuk meningkatkan hasil proyek secara keseluruhan.

KATA KUNCI: bayesian networks; proyek konstruksi; pengambilan keputusan; manajemen sumber daya manusia.

© The Author(s) 2024. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi adalah usaha terencana untuk membangun, merenovasi, atau memperbaiki struktur fisik seperti bangunan, jembatan, jalan, atau fasilitas

infrastruktur. Kinerja tenaga kerja yang efektif dan efisien merupakan faktor kunci dalam keberhasilan proyek konstruksi, yang meliputi ketepatan waktu penyelesaian, pengendalian biaya, dan kualitas hasil

akhir (Agrawal & Halder, 2020; Hasan et al., 2018; Manoharan et al., 2023). Namun, dalam praktiknya, proyek konstruksi sering menghadapi tantangan ketidakpastian dalam manajemen sumber daya manusia (SDM) (Paeno & Ramdani, 2023), yang dapat menyebabkan berbagai masalah seperti keterlambatan penyelesaian, peningkatan biaya, dan kualitas yang tidak memuaskan (Kembuan et al., 2019). Aspek penting dalam manajemen SDM adalah pengambilan keputusan yang tepat (Dencœux, 2019; Fenton & Neil, 2018). Keputusan terkait alokasi sumber daya, pengembangan keterampilan, motivasi tenaga kerja, dan strategi manajemen lainnya memainkan peran krusial dalam menentukan kinerja tenaga kerja dan keberhasilan proyek.

Dalam beberapa tahun terakhir, metode *Bayesian Networks* telah menjadi perhatian dalam konteks pengambilan keputusan pada pengoperasian teknologi machine learning, diagnosis medis, *environmental modelling*, dan sebagainya yang terkait untuk memahami perilaku atau data kompleks suatu sistem dan memprediksi dampak dari perubahannya untuk mengambil suatu kesimpulan (Cofiño et al., 2002; Fenton & Neil, 2018; Guna et al., 2020). *Bayesian Networks* adalah alat yang kuat untuk memodelkan hubungan antara berbagai variabel, mengintegrasikan informasi kuantitatif dan kualitatif, serta menyediakan kerangka kerja untuk analisis probabilistik (Cofiño et al., 2002; Koski & Noble, 2009; Vogel et al., 2012). Namun, penerapan *Bayesian Networks* dalam konteks manajemen SDM proyek konstruksi masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan mengusulkan pendekatan *Bayesian Networks* sebagai metode untuk mengoptimalkan pengambilan keputusan dalam manajemen sumber daya manusia pada proyek konstruksi.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama: pertama, mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja dalam proyek konstruksi pemerintah dengan fokus pada lingkup manajemen sumber daya manusia. Kedua, mengembangkan model *Bayesian Networks* yang dapat memodelkan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja dalam proyek konstruksi. Ketiga, mengevaluasi keefektifan pendekatan *Bayesian Networks* dalam mendukung pengambilan keputusan dalam manajemen sumber daya manusia pada proyek konstruksi. Terakhir, memberikan rekomendasi praktis bagi manajer proyek untuk fokus pada peningkatan faktor-faktor kunci yang telah diidentifikasi guna mencapai kinerja yang optimal.

Pengambilan keputusan adalah proses memilih tindakan terbaik di antara beberapa alternatif berdasarkan pengetahuan dan preferensi yang ada (Howard, 1988). Proses pengambilan keputusan melibatkan langkah-langkah seperti identifikasi

masalah, pengumpulan informasi, analisis informasi, dan evaluasi alternatif sebelum keputusan diambil (Burgin, 2019). Namun, membuat keputusan seringkali sulit karena kompleksitas, ketidakpastian, dan adanya tujuan yang bertentangan (Sinnaiah et al., 2023). Pendekatan *Bayesian Networks* memungkinkan pemodelan probabilistik hubungan antara variabel-variabel yang saling terkait, memungkinkan pembaruan keyakinan berdasarkan bukti baru yang diperoleh. Ini memberikan fleksibilitas dalam memperbarui prediksi dan diagnosis berdasarkan data baru (Donovan & Mickey, 2019). Dalam konteks ini, penelitian ini mengembangkan model *Bayesian Networks* untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja dan optimisasi pengambilan keputusan dalam manajemen SDM proyek konstruksi.

2. METODOLOGI

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode survei untuk mengumpulkan data dari responden yang berpengalaman dalam manajemen konstruksi proyek pemerintah. Pendekatan ini dipilih untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja dalam proyek konstruksi dan untuk membangun model *Bayesian Networks*.

Pada penelitian ini melihat dua faktor yang berkaitan yaitu faktor pengaruh (A) dan faktor resiko (B). Faktor pengaruh (A) adalah faktor yang menjelaskan hal penting yang berpengaruh pada kinerja sumber daya manusia yang dibagi 6 bagian kemudian diikuti dengan faktor resiko (B) pada setiap faktor pengaruh. Faktor resiko menjelaskan hal-hal terkait dimensi lebih khusus yang mempengaruhi kinerja sumber daya manusia:

- a. Terkait Proyek (A1)
 1. Kondisi tempat kerja yang buruk (B1)
- b. Hubungan Pekerja (A2)
 1. Kurangnya pengalaman kerja buruh (B2)
 2. Kekurangan keterampilan (B5)
 3. Kurangnya motivasi bagi buruh (B6)
 4. Kurangnya pendidikan/pelatihan (B8)
 5. Hubungan yang buruk antara buruh dan pengawas (B9)
 6. Moral/komitmen tenaga kerja rendah (B11)
 7. Kurangnya komunikasi (B13)
 8. Disiplin Kerja (B14)
 9. Kurangnya kemampuan berpikir buruh (B17)
 10. Pengawasan konstruksi yang buruk (B19)
 11. Fisik buruh lelah (B20)
 12. Tenaga kerja yang menua (B23)

13. Masalah pribadi tenaga kerja (B26)
14. Evaluasi kinerja dan ketrampilan yang buruk (B28)
15. Ketidakpuasan buruh (B29)
16. Ketidakhadiran tenaga kerja (B32)
17. Sikap negatif terhadap industri (B33)
- c. Manajemen/Organisasi
 1. Kurangnya jaminan (kesehatan dan keselamatan) buruh (B3)
 2. Perencanaan dan penjadwalan kerja (B4)
 3. Pengambilan keputusan (B7)
 4. Manajemen dan koordinasi yang tidak Efisien (B10)
 5. Pengembangan diri secara mandiri (skill) (B12)
 6. Metode konstruksi yang buruk (B16)
 7. Masalah kesehatan dan keselamatan (B22)
 8. Pekerjaan ulang (B25)
 9. Tidak ada mekanisme Imbalan Tenaga Kerja (B31)
 10. Masalah Gaji (B34)
 11. Kondisi ekonomi buruh yang buruk (B35)
- d. Teknologi (A4)
 1. Tantangan teknologi (B15)
- e. Bahan dan Alat (A5)
 1. Ketersediaan bahan dan penyimpanan (B18)
 2. Kualitas bahan dan alat (B21)
 3. Keterlambatan pengiriman material (B24)
 4. Penundaan dan kerusakan peralatan (B27)
- f. Terkait Lingkungan
 1. Kondisi cuaca ekstrem

2.2 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan adalah kuesioner yang dirancang untuk mengukur persepsi responden terhadap frekuensi dan dampak faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja. Skala pengukuran yang digunakan adalah skala ordinal, yang diklasifikasikan menjadi 5 interval: sangat rendah, rendah, cukup tinggi, tinggi, dan sangat tinggi untuk frekuensi, serta sangat kecil, kecil, cukup besar, besar, dan sangat besar untuk dampak.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui survei kuesioner yang disebarakan kepada 65 responden yang memenuhi kriteria dengan pengalaman minimal 1 tahun pada industri konstruksi. Selain itu, data sekunder dikumpulkan dari studi literatur seperti buku, referensi, jurnal, dan penelitian lain yang terkait dengan penelitian ini. Identifikasi faktor dari data sekunder kemudian dikembangkan menjadi kuesioner yang

dibagikan kepada responden. Adapun 65 responden terdiri dari:

- a. 35 Responden Pegawai Negeri Sipil yang bekerja di industri konstruksi dengan latar belakang pendidikan 20 Sarjana Teknik Sipil dan 15 Sarjana Arsitektura;
- b. 30 Responden dari Swasta yang bekerja pada industri manajemen konstruksi dengan latar belakang pendidikan 19 Sarjana teknik sipil, 10 sarjana Arsitektur, 1 Sarjana Teknik Mesin

2.4 Metode Analisis Data

Setelah data terkumpul, dilakukan uji validitas dan reliabilitas untuk memastikan instrumen kuesioner yang digunakan dapat diandalkan. Uji validitas menunjukkan bahwa instrumen tersebut benar-benar relevan dan sesuai dengan tujuan pengukuran di mana instrumen dinyatakan valid jika nilai r hitung $> r$ tabel *product moment*. Adapun Korelasi ini dihitung menggunakan rumus *Pearson Product Moment* pada Persamaan 1.

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (1)$$

dimana X adalah skor butir yang diuji, Y adalah skor total (tanpa menyertakan skor butir yang sedang diuji) dan n adalah jumlah responden. Sedangkan Nilai r tabel adalah nilai kritis yang diperoleh dari tabel distribusi Product Moment Pearson, berdasarkan derajat kebebasan ($df=n-2$) dan tingkat signifikansi (α , misalnya 0,05 atau 0,01).

Uji reliabilitas dilakukan dengan metode *split-half* menggunakan rumus korelasi *Spearman-Brown*, di mana instrumen dinyatakan reliabel jika *Guttman Split-Half Coefficient* ≥ 0.80 . Nilai Korelasi antara dua bagian instrumen dihitung terlebih dahulu menggunakan korelasi *Pearson*. Selanjutnya Korelasi *Spearman-Brown* dihitung dengan Persamaan 2.

$$r_{\text{Spearman-Brown}} = \frac{2 \cdot r_{\text{split-half}}}{1 + r_{\text{split-half}}} \quad (2)$$

dimana $r_{\text{split-half}}$ adalah nilai korelasi antara dua bagian. *Guttman Split-Half Coefficient* adalah ukuran reliabilitas internal yang digunakan untuk mengevaluasi konsistensi suatu instrumen (seperti kuesioner atau tes) dengan metode *split-half*. Rumus *Guttman Split-Half Coefficient* pada Persamaan 3.

$$r_{\text{guttman}} = \frac{1 - \frac{\text{Var}(\text{Selisih Skor})}{\text{Var}(\text{Skor Total})}}{2} \quad (3)$$

dimana $\text{Var}(\text{Selisih Skor})$ adalah variansi dari selisih skor kedua bagian dan $\text{Var}(\text{Skor Total})$ merupakan variansi dari skor total (gabungan skor dua bagian). *Guttman* lebih fleksibel karena mempertimbangkan

kemungkinan ketidakseimbangan dalam pembagian item (misalnya, jika satu bagian memiliki lebih banyak butir daripada bagian lainnya).

Setelah data survei telah dianggap valid dan reliabel kemudian faktor-faktor yang mempengaruhi sumber daya manusia dibentuk menjadi model *Bayesian Networks*. Analisis ini mencakup pembuatan tabel kontingensi dan *Conditional Probability Table* (CPT) untuk memodelkan hubungan antara variabel yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja. Model *Bayesian Networks* kemudian digunakan untuk mengidentifikasi strategi pengambilan keputusan yang efektif dalam manajemen SDM pada proyek konstruksi.

2.5 Tabel Kontingensi dan *Conditional Probability Table* (CPT)

Setelah data kuesioner dinyatakan valid dan reliabel selanjutnya membuat tabel kontingensi untuk hubungan jawaban frekuensi dan dampak dari setiap faktor risiko. Tabel kontingensi adalah alat yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara dua atau lebih variabel kategorikal. Tabel ini menyajikan distribusi frekuensi dari variabel-variabel tersebut dalam bentuk matriks, dengan baris mewakili satu variabel dan kolom mewakili variabel lainnya. Tabel kontingensi memungkinkan peneliti untuk melihat bagaimana kombinasi dari kategori-kategori tersebut muncul dan membantu mengidentifikasi pola atau hubungan antar variabel. Dengan membuat tabel kontingensi, akan lebih mudah untuk membuat *Conditional Probability Table* (CPT) yang berdasarkan pengamatan data empiris.

Conditional Probability Table (CPT) adalah tabel yang digunakan dalam statistik dan teori probabilitas untuk menunjukkan probabilitas bersyarat dari suatu variabel acak yang bergantung pada variabel acak lainnya. Dalam konteks *Bayesian Networks* atau model probabilitas lainnya, CPT digunakan untuk menggambarkan hubungan antara variabel-variabel dan membantu menghitung probabilitas dari suatu kejadian yang diberikan kondisi dari kejadian lain (Kurniawan & Wardhani, 2011).

Pada penelitian ini menganalisis *Conditional Probability Table* (CPT) dari 35 faktor (B1 hingga B35) yang memengaruhi kondisi kerja dan kesejahteraan pekerja. Faktor-faktor ini dievaluasi berdasarkan dua kategori: "Bermasalah" dan "Tidak Bermasalah" serta distribusi probabilitas bersyaratnya pada empat kombinasi kondisi:

1. F(1-2),D(1-2): Frekuensi rendah, dampak rendah
2. F(1-2),D(3-5): Frekuensi rendah, dampak tinggi
3. F(3-5),D(1-2): Frekuensi tinggi, dampak rendah
4. F(3-5),D(3-5): Frekuensi tinggi, dampak tinggi

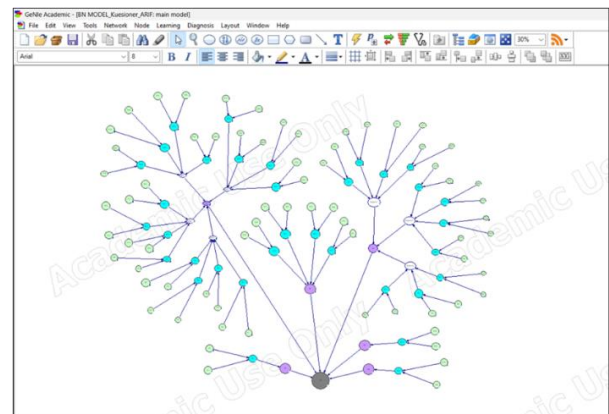
2.6 Model *Bayesian Network* Pada Penelitian

Bayesian Networks memungkinkan pemodelan probabilistik hubungan antara variabel-variabel yang saling terkait, yang membantu dalam memahami pengaruh berbagai faktor terhadap kinerja tenaga kerja. Dalam menghubungkan faktor-faktor tersebut dilakukan perhitungan probabilitas gabungan. Berikut Rumus menghitung probabilitas gabungan dari beberapa variabel dalam *Bayesian Networks* (Clemen & Reilly, 2001) pada Persamaan 4.

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{parents}(X_i)) \quad (4)$$

dimana $P(X_1, \dots, X_n)$ adalah probabilitas gabungan dari variabel-variabel X_1 hingga X_n , simbol produk (\prod) menunjukkan bahwa kita mengalikan serangkaian probabilitas dari $i=1$ hingga $i=n$, $P(X_i | \text{parents}(X_i))$ adalah probabilitas bersyarat dari variabel X_i diberikan nilai dari variabel-variabel induknya (*parents*).

Model *Bayesian Networks* dibangun menggunakan *software Genie Student Version*. Proses ini melibatkan beberapa langkah, termasuk identifikasi variabel yang relevan, penentuan struktur jaringan dengan *Directed Acyclic Graph* (DAG), dan penghitungan probabilitas kondisional berdasarkan data survei. Model ini digunakan untuk mengevaluasi skenario pengambilan keputusan yang berbeda dan untuk mengidentifikasi strategi yang paling efektif dalam meningkatkan kinerja tenaga kerja dalam proyek konstruksi. Model *Bayesian Networks* pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model *Bayesian Networks* pada penelitian dengan *Software Genie Student Version*

Dengan menggunakan *Bayesian Networks*, penelitian ini dapat menyediakan kerangka kerja yang kuat untuk analisis probabilistik dan pengambilan keputusan, yang membantu manajer proyek dalam mengoptimalkan manajemen sumber daya manusia dan mencapai keberhasilan proyek konstruksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Validitas dan Reliabilitas

Pada Validitas mengukur apakah instrumen benar-benar mengukur apa yang seharusnya diukur. Pada penelitian ini, uji validitas dilakukan terhadap data hasil kuesioner menggunakan *software* SPSS versi 26. Berdasarkan metode ini, suatu item dikatakan valid jika nilai r hitung lebih besar dari r tabel (*product moment*). nilai r tabel untuk $N= 65-2$ dan taraf signifikan 5% maka r tabel = 0.2441. Berdasarkan hasil uji keseluruhan hasil dapat dipakai pada uji Reliabilitas.

Reliabilitas mengukur konsistensi instrumen dalam mengukur sesuatu yang sama dalam berbagai waktu. Uji reliabilitas dilakukan dengan metode *split-half* dan menggunakan rumus korelasi *Spearman-Brown*. Suatu instrumen dinyatakan reliabel jika korelasi *Guttman Split-Half Coefficient* lebih dari atau sama dengan 0.80. Nilai reliabilitas untuk frekuensi variabel adalah 0.921 yang menunjukkan bahwa instrumen reliabel dan Nilai reliabilitas untuk dampak variabel adalah 0.918 yang menunjukkan bahwa instrumen juga reliabel.

3.2 Prior Probability Tabel

Tabel *prior probability* dalam konteks penelitian ini merepresentasikan probabilitas awal sebelum adanya bukti baru atau data tambahan yang diperoleh dari hasil survei dan wawancara dengan para ahli seperti pada Tabel 1. Tabel ini membantu dalam memahami persepsi awal atau keyakinan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja di proyek konstruksi. *Prior probability* diukur berdasarkan jawaban responden terhadap skala *Likert*. Skala *Likert* 1 sampai 2 dianggap sebagai *prior probability* rendah, sementara skala *Likert* 3 sampai 5 dianggap sebagai *prior probability* tinggi. Tabel *prior probability* ini menjadi input penting dalam model *Bayesian Networks* yang digunakan dalam penelitian ini. Setiap faktor risiko dan pengaruh dihitung probabilitasnya untuk memahami bagaimana faktor tersebut mempengaruhi kinerja proyek secara keseluruhan. Model *Bayesian Networks* ini dibuat menggunakan *software* *Genie Student Version* yang membantu dalam melakukan analisis probabilitas gabungan dan *posterior* berdasarkan data survei dan wawancara yang telah diolah. Dengan memahami tabel *prior probability* ini, peneliti dapat melakukan optimisasi pengambilan keputusan dan identifikasi masalah secara lebih akurat dalam manajemen proyek konstruksi. Probabilitas ini memberikan panduan bagi

manajer proyek untuk melakukan perbaikan yang diperlukan berdasarkan data empiris yang ada.

Tabel 1. *Prior probability* faktor yang mempengaruhi sumber daya manusia

A	B	Prior Probability (%)			
		Frekuensi (X)		Dampak (Y)	
		F(1-2)	F(3-5)	D(1-2)	D(3-5)
A1	B1	57	43	11	89
	B2	55	45	11	89
	B5	46	54	11	89
	B6	52	48	17	83
	B8	48	52	12	88
	B9	58	42	25	5
	B11	52	48	15	85
	B13	51	49	14	86
	B14	52	48	2	98
	B17	42	58	12	88
	B19	58	42	12	88
	B20	54	46	11	89
	B23	55	45	18	82
	B26	65	35	32	68
	B28	45	55	17	83
A3	B29	60	40	26	74
	B32	48	52	8	92
	B33	66	34	18	82
	B3	49	51	22	78
	B4	26	74	3	97
	B7	18	82	3	97
	B10	48	52	14	86
	B12	28	72	5	95
	B16	62	38	12	88
	B22	63	37	17	83
	B25	62	38	22	78
	B31	46	54	23	77
	B34	60	40	12	88
	B35	46	54	20	80
	B15	29	71	3	97
A5	B18	26	74	5	95
	B21	66	34	15	85
	B24	49	51	11	89
	B27	62	38	12	88
A6	B30	35	65	6	94

3.3 Hasil Conditional Probability Table (CPT) pada penelitian

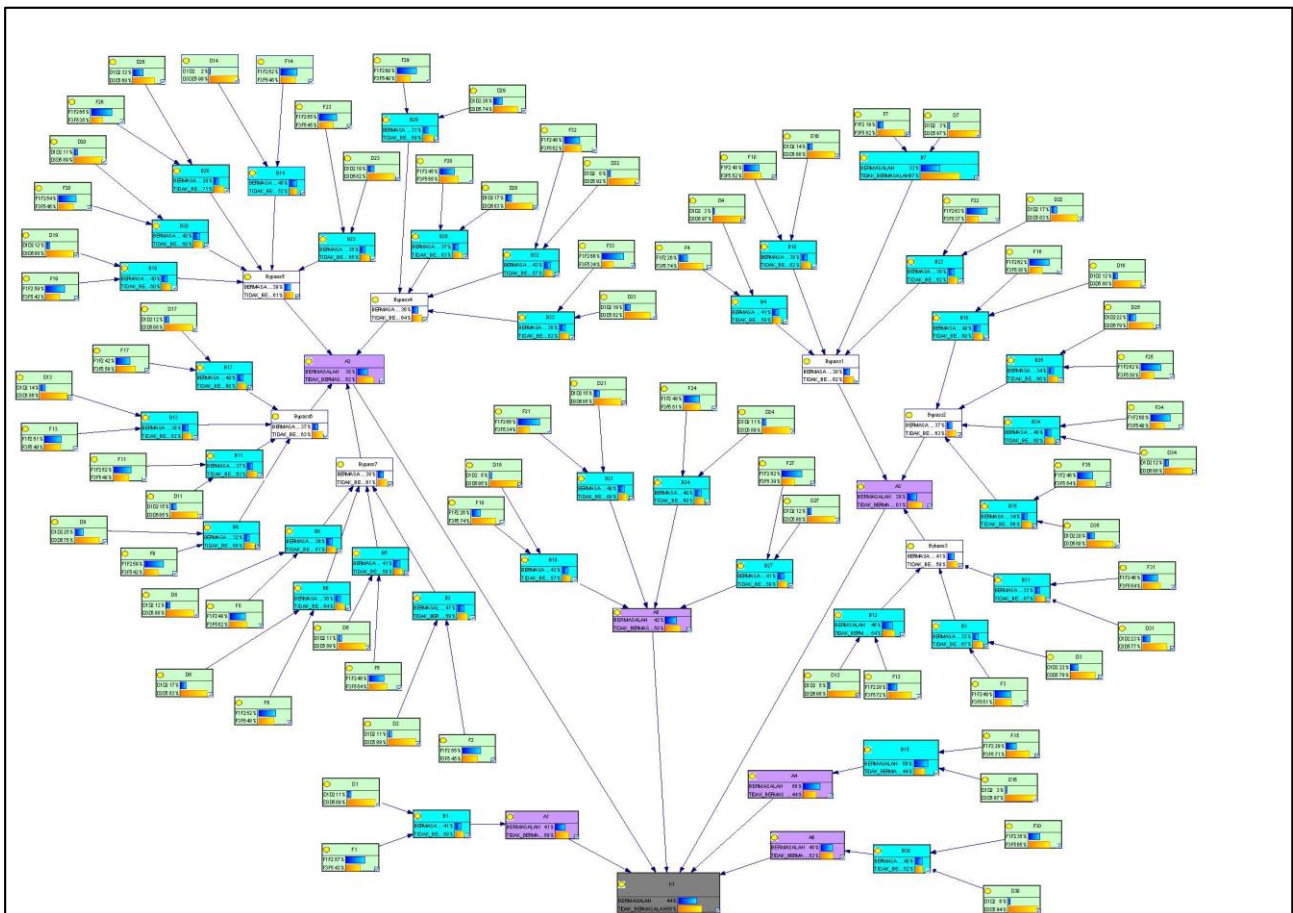
Conditional Probability Table (CPT) dari 35 faktor B1 sampai B35 yang memengaruhi kinerja sumber daya manusia dengan dua kategori: Bermasalah dan Tidak Bermasalah. Hasil menunjukkan bahwa pada kondisi frekuensi tinggi dan dampak tinggi (F(3-5),D(3-5)), probabilitas pekerja mengalami masalah meningkat signifikan, terutama pada faktor B7, B12, B14, dan B18 yang memiliki nilai probabilitas mendekati 1.0. Sementara itu, pada kondisi frekuensi rendah dan dampak rendah (F(1-2),D(1-2)), probabilitas "Tidak Bermasalah" lebih dominan, mencerminkan lingkungan kerja yang lebih stabil.

Beberapa faktor seperti B6, B19, dan B20 menunjukkan distribusi probabilitas yang lebih seimbang di berbagai kondisi, menunjukkan

pengaruhnya yang relatif stabil. Kondisi frekuensi rendah namun berdampak tinggi (F(1-2),D(3-5)) memiliki kontribusi masalah yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi berdampak tinggi dan berfrekuensi tinggi. Dengan demikian, Condo ini menekankan bahwa faktor dengan probabilitas "Bermasalah" tinggi di kondisi kritis harus menjadi prioritas utama dalam upaya peningkatan kondisi kerja dan kesejahteraan pekerja.

3.4 Joint Probability Tabel pada Software Genie

Node yang terbentuk dari data survei berdasarkan variabel faktor resiko kemudian dihubungkan satu sama lainnya disatukan pada *node-node* variabel faktor pengaruh seperti pada Gambar 2. Untuk mendapatkan kesimpulan dari *Joint Probability Bayesian Networks* maka *Node-node* faktor pengaruh dihubungkan seluruhnya kepada node kesimpulan (K1).



Gambar 2. Hasil running perhitungan joint probability table (Sugawa,2024)

3.5 Optimisasi Pengambilan Keputusan

Dalam pengambilan keputusan preskriptif, optimisasi digunakan untuk menentukan tindakan terbaik yang harus diambil untuk mencapai hasil yang diinginkan berdasarkan nilai maksimum dan minimum

suatu variabel yang terikat pada suatu fungsi jaringan. Berdasarkan *Teorema Bayes*, peneliti memperbarui probabilitas suatu hipotesis dengan menggunakan data baru yang diperoleh. Teorema ini memungkinkan peneliti menghitung probabilitas suatu hipotesis

setelah memperhitungkan peristiwa atau data baru yang terjadi, sehingga memberikan cara untuk menggabungkan informasi baru dengan keyakinan awal. Pada tahapan ini peneliti melakukan observasi terhadap *Joint Probability* untuk model *Bayesian Networks* pada faktor resiko yang telah dihitung menggunakan *software*.

Adapun hasil dari optimisasi pada penelitian ini seperti terlihat pada Tabel 2. Tabel ini menunjukkan hasil dari proses optimisasi yang dilakukan, termasuk nilai-nilai yang dioptimalkan dan dampaknya terhadap kinerja. Tabel ini penting karena memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana setiap faktor pengaruh mempengaruhi kinerja dan apa yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja secara keseluruhan. Dengan menganalisis hasil optimisasi, peneliti dapat mengidentifikasi langkah-langkah konkret yang dapat diambil untuk mencapai hasil yang diinginkan dan membuat keputusan yang lebih baik dan lebih terinformasi.

Tabel 2. Optimisasi pada masing-masing faktor yang mempengaruhi kesimpulan

Node	Kesimpulan bermasalah Sebelum Optimisasi (%)	Kesimpulan bermasalah Setelah Optimisasi (%)	Selisih (%)
A1	44	37	7
A2	44	37	7
A3	44	37	7
A4	44	35	9
A5	44	37	7
A6	44	36	8

Faktor yang mempengaruhi kinerja (A4) memiliki signifikansi tinggi dalam proses optimisasi ini. Hal ini berarti bahwa faktor terkait teknologi perlu diberikan perhatian lebih khusus ketika mengambil keputusan perbaikan. Selain itu, faktor lingkungan tenaga kerja juga bisa mendapatkan perhatian setelah faktor teknologi. Meskipun memaksimalkan atau menyelesaikan seluruh masalah akan menghasilkan kesimpulan ideal 'tidak bermasalah', penting bagi kita untuk mengidentifikasi faktor yang paling berpengaruh. Dengan demikian, dalam pengambilan keputusan awal, kita dapat menyelesaikan masalah yang memberikan dampak optimum. Melalui metode pengambilan keputusan preskriptif dan pembentukan jaringan *Bayesian*, kita dapat menelusuri kembali jaringan yang bermasalah dan mengidentifikasi faktor-faktor risiko yang berpengaruh.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa berbagai faktor seperti manajemen, hubungan antar pekerja, dan kondisi lingkungan memiliki

pengaruh signifikan terhadap kinerja tenaga kerja dalam proyek konstruksi. Penerapan pendekatan *Bayesian Networks* terbukti efektif dalam memodelkan dan menganalisis hubungan antara faktor-faktor yang berkaitan dengan memodelkan faktor-faktor menjadi bentuk *joint probability* seperti pada Gambar 2 kemudian melakukan optimisasi pada faktor-faktor yang ada maka akan memberikan informasi perbandingan permasalahan ketika sebelum dioptimisasi dan setelah dioptimisasi seperti pada Tabel 2. Model ini memungkinkan integrasi informasi kuantitatif dan kualitatif, menyediakan kerangka kerja analisis probabilistik yang kuat dan komprehensif, serta memberikan rekomendasi strategi yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas kinerja tenaga kerja, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap keberhasilan proyek konstruksi.

Penelitian lanjutan yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tenaga kerja dalam proyek konstruksi perlu dilakukan. Penelitian lebih lanjut dapat melibatkan lebih banyak variabel dan menggunakan faktor pengaruh yang lebih khusus untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif. Pendekatan ini tidak hanya terbatas pada manajemen SDM, tetapi juga dapat diterapkan pada berbagai aspek rekayasa sipil lainnya, seperti manajemen risiko, penjadwalan proyek, alokasi sumber daya, dan pengendalian kualitas. Dengan demikian, implementasi *Bayesian Networks* dalam bidang teknik sipil dapat dilanjutkan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, A., & Halder, S. (2020). Identifying factors affecting construction labour productivity in India and measures to improve productivity. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(4), 569–579. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00212-3>
- Burgin, M. (2019). *Evaluation of Information in the Context of Decision-Making* (pp. 279–293). https://doi.org/10.1007/978-3-030-03643-0_13
- Clemen, R. T., & Reilly, T. (2001). *Making Hard Decisions with DecisionTools*.
- Cofino, A. S., Cano, R., Sordo, C., & Gutiérrez, J. M. (2002). Bayesian Networks for Probabilistic Weather Prediction. *Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence, ECAI'2002*.
- Deneux, T. (2019). Decision-making with belief functions: A review. *International Journal of Approximate Reasoning*, 109, 87–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2019.03.009>
- Donovan, T., & Mickey, R. M. (2019). *Bayesian Statistics for Beginners*. Oxford University Press Oxford. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198841296.001.0001>
- Fenton, N., & Neil, M. (2018). *Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/b21982>
- Guna, F. A., Ratnawinanda, L. A., & Wijayaningtyas, M. (2020). Analisis Tingkat Kecelakaan Pekerjaan Konstruksi Gedung Bertingkat Pada Kota Malang Dan Surabaya Dengan Metode Jaringan Bayesian Network Berdasarkan Faktor Internal Dan Eksternal. *Student Journal Gelagar*, 2(2), 242–251.

- Hasan, A., Baroudi, B., Elmualim, A., & Rameezdeen, R. (2018). Factors affecting construction productivity: a 30 year systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(7), 916–937. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2017-0035>
- Howard, R. A. (1988). Decision Analysis: Practice and Promise. *Management Science*, 34(6), 679–695. <https://doi.org/10.1287/mnsc.34.6.679>
- Kembuan, A. S., Mandagi, R. J. M., & Lumeno, S. S. (2019). Model Risiko Pengelolaan Sdm Konstruksi Dalam International Joint Operation Pada Proyek Infrastruktur Jalan Tol Manado–Bitung. *Jurnal Sipil Statik*, 7(1), 113–126.
- Koski, T., & Noble, J. M. (2009). *Bayesian Networks*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470684023>
- Kurniawan, R., & Wardhani, L. K. (2011). Sistem Pakar Untuk Mendiagnosa Penyakit Mata Dengan Metode Bayesian Network. *SNTIKI III 2011*, 309–315.
- Manoharan, K., Dissanayake, P., Pathirana, C., Deegahawature, D., & Silva, R. (2023). Assessment of critical factors influencing the performance of labour in Sri Lankan construction industry. *International Journal of Construction Management*, 23(1), 144–155. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1854042>
- Paeno, P., & Ramdani, D. T. (2023). The Comparison of Human Resource Management Practices in Indonesian And Malaysian Companies. *International Journal of Multidisciplinary Research and Literature*, 2(6), 855–865. <https://doi.org/10.53067/ijomral.v2i6.178>
- Sinnaiah, T., Adam, S., & Mahadi, B. (2023). A strategic management process: the role of decision-making style and organisational performance. *Journal of Work-Applied Management*, 15(1), 37–50. <https://doi.org/10.1108/JWAM-10-2022-0074>
- Vogel, K., Riggelsen, C., Merz, B., Kreibich, H., & Scherbaum, F. (2012). Flood Damage and Influencing Factors: A Bayesian Network Perspective. *6th European Workshop on Probabilistic Graphical Models (PGM 2012)*.

LAMPIRAN**Lampiran 1.** Conditional Probability Table (CPT)

Faktor	Kategori	F(1-2),D(1-2)	F(1-2),D(3-5)	F(3-5),D(1-2)	F(3-5),D(3-5)
B1	Bermasalah	0.108	0	0.462	0.431
	Tidak Bermasalah	0.892	1.000	0.538	0.569
B2	Bermasalah	0.092	0.462	0.015	0.431
	Tidak Bermasalah	0.908	0.538	0.985	0.569
B3	Bermasalah	0.154	0.338	0.062	0.446
	Tidak Bermasalah	0.846	0.662	0.938	0.554
B4	Bermasalah	0.985	0.754	0.985	0.277
	Tidak Bermasalah	0.015	0.246	0.015	0.723
B5	Bermasalah	0.077	0.385	0.031	0.508
	Tidak Bermasalah	0.923	0.615	0.969	0.492
B6	Bermasalah	0.154	0.369	0.015	0.462
	Tidak Bermasalah	0.846	0.631	0.985	0.538
B7	Bermasalah	0.969	0.846	1.000	0.185
	Tidak Bermasalah	0.031	0.154	0	0.815
B8	Bermasalah	0.077	0.4	0.046	0.477
	Tidak Bermasalah	0.923	0.6	0.954	0.523
B9	Bermasalah	0.215	0.369	0.031	0.385
	Tidak Bermasalah	0.785	0.631	0.969	0.615
B10	Bermasalah	0.123	0.354	0.015	0.508
	Tidak Bermasalah	0.877	0.646	0.985	0.492
B11	Bermasalah	0.138	0.385	0.015	0.462
	Tidak Bermasalah	0.862	0.615	0.985	0.538
B12	Bermasalah	0.985	0.738	0.969	0.308
	Tidak Bermasalah	0.015	0.262	0.031	0.692
B13	Bermasalah	0.123	0.385	0.015	0.477
	Tidak Bermasalah	0.877	0.615	0.985	0.523
B14	Bermasalah	0.985	0.569	1.000	0.446
	Tidak Bermasalah	0.015	0.431	0	0.554
B15	Bermasalah	0.031	0.262	1.000	0.708
	Tidak Bermasalah	0.969	0.738	0	0.292
B16	Bermasalah	0.123	0.492	0	0.385
	Tidak Bermasalah	0.877	0.508	1.000	0.615
B17	Bermasalah	0.062	0.354	0.062	0.523
	Tidak Bermasalah	0.938	0.646	0.938	0.477
B18	Bermasalah	0.969	0.769	0.985	0.277
	Tidak Bermasalah	0.031	0.231	0.015	0.723
B19	Bermasalah	0.108	0.477	0.015	0.4
	Tidak Bermasalah	0.892	0.523	0.985	0.6
B20	Bermasalah	0.108	0.431	0	0.462
	Tidak Bermasalah	0.892	0.569	1.000	0.538
B21	Bermasalah	0.138	0.523	0.015	0.323
	Tidak Bermasalah	0.862	0.477	0.985	0.677

Faktor	Kategori	F(1-2),D(1-2)	F(1-2),D(3-5)	F(3-5),D(1-2)	F(3-5),D(3-5)
B22	Bermasalah	0.154	0.477	0.015	0.354
	Tidak Bermasalah	0.846	0.523	0.985	0.646
B23	Bermasalah	0.154	0.4	0.031	0.415
	Tidak Bermasalah	0.846	0.6	0.969	0.585
B24	Bermasalah	0.077	0.415	0.031	0.477
	Tidak Bermasalah	0.923	0.585	0.969	0.523
B25	Bermasalah	0.169	0.446	0.046	0.338
	Tidak Bermasalah	0.831	0.554	0.954	0.662
B26	Bermasalah	0.338	0.446	0.015	0.338
	Tidak Bermasalah	0.662	0.554	0.985	0.662
B27	Bermasalah	0.108	0.508	0.015	0.369
	Tidak Bermasalah	0.892	0.492	0.985	0.631
B28	Bermasalah	0.108	0.508	0.062	0.492
	Tidak Bermasalah	0.892	0.662	0.938	0.508
B29	Bermasalah	0.246	0.354	0.015	0.385
	Tidak Bermasalah	0.754	0.646	0.985	0.615
B30	Bermasalah	0.031	0.323	0.031	0.615
	Tidak Bermasalah	0.969	0.677	0.969	0.385
B31	Bermasalah	0.138	0.323	0.092	0.446
	Tidak Bermasalah	0.862	0.677	0.908	0.554
B32	Bermasalah	0.077	0.4	0	0.523
	Tidak Bermasalah	0.923	0.6	1.000	0.477
B33	Bermasalah	0.169	0.492	0.015	0.323
	Tidak Bermasalah	0.831	0.508	0.985	0.677
B34	Bermasalah	0.123	0.477	0	0.4
	Tidak Bermasalah	0.877	0.523	1.000	0.6
B35	Bermasalah	0.154	0.308	0.046	0.492
	Tidak Bermasalah	0.846	0.692	0.954	0.508