

## **PENERAPAN *MULTI-LEVEL ASSOCIATION RULE MINING* PADA ANALISA KECACATAN PROYEK KONSTRUKSI**

**Atik Febriani<sup>1</sup>, M. Ridwan Andi Purnomo<sup>2</sup>, Agus Mansur<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Industri, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

<sup>2,3</sup>Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia Jogjakarta

<sup>1</sup>atik@ittelkom-pwt.ac.id

### **ABSTRAK**

Proyek konstruksi melibatkan banyak peserta (*multiparties*) untuk melakukan berbagai macam kegiatan yang direncanakan. Masing-masing peserta saling berinteraksi satu sama lain sehingga semua pekerjaan yang sudah dijadwalkan bisa selesai dikerjakan. Permasalahan utama dalam pelaksanaan proses konstruksi adalah ketidakefisienan. Ketidakefisienan tersebut berupa penggunaan sumber daya yang tidak menghasilkan nilai seperti yang diharapkan. Sehingga dalam pelaksanaannya seringkali ditemukan adanya cacat konstruksi. Pekerjaan yang cacat menyebabkan adanya keterlambatan dan pembengkakan biaya, serta memicu adanya sengketa antar pelaksana pada masa konstruksi dan operasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan identifikasi faktor-faktor penyebab kecacatan dalam proyek konstruksi. Dengan mengetahui faktor-faktor tersebut, diharapkan pihak manajemen dapat mengontrol dan mengendalikan pekerjaan. Penelitian ini menggunakan pendekatan Multilevel Association Rule Mining untuk menemukan pola kecacatan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat menemukan pola kecacatan dalam industri konstruksi yang kemudian digunakan sebagai dasar pembuatan mitigation plan dalam upaya mencegah kerugian perusahaan.

**Kata Kunci :** *multi level association rule mining*, kecacatan proyek konstruksi

### **ABSTRACT**

*The construction project involves multiple participants (multiparties) to undertake various planned activities. Each participant interacts with each other so that all the scheduled work can be done. The main problem in the implementation of the construction process is the inefficiency. The inefficiency is the use of resources that do not produce the value as expected. So in the implementation is often found the existence of construction defects. Defective work results in delays and cost swelling, as well as triggering disputes between implementers during construction and operation. To overcome these problems, it is necessary to identify the factors causing disability in the construction project. By knowing these factors, it is expected the management can control and control the work. This research uses Multilevel Association Rule Mining approach to find the pattern of disability. The results show that this method can find the pattern of defects in the construction industry which is then used as the basis for making mitigation plan in an effort to prevent the loss of the company.*

**Key Words :** *Multi level Association Rule Mining, construction project defect*

## PENDAHULUAN

Sektor konstruksi memiliki peranan penting dalam perekonomian negara karena mempengaruhi sebagian besar sektor perekonomian. Selain itu juga merupakan kontributor penting bagi proses pembangunan infrastruktur yang menyediakan pondasi fisik dimana upaya pembangunan dan peningkatan standar kehidupan dapat terwujud. Oleh karena itu, seiring dengan persiapan sektor konstruksi menuju perkembangan lebih lanjut, kebutuhan akan kanal yang dapat mewadahi berbagai peluang bisnis pun meningkat.

Proyek konstruksi melibatkan banyak peserta (*multiparties*) dalam melakukan berbagai macam kegiatan yang direncanakan. Masing-masing peserta saling berinteraksi satu sama lain sehingga semua pekerjaan yang sudah dijadwalkan bisa selesai dikerjakan. Masing-masing pihak bertindak untuk kepentingan sendiri, berusaha mengoptimalkan tenaga kerja, peralatan dan material. Untuk itu diperlukan pendekatan untuk menyelaraskan kepentingan pihak-pihak yang terlibat.

Permasalahan utama dalam pelaksanaan proses konstruksi adalah ketidak-efisienan. Ketidakefisienan tersebut berupa penggunaan sumber daya yang tidak menghasilkan nilai seperti yang diharapkan. Perencanaan yang baik pun seringkali mengalami perubahan dalam pelaksanaannya. Perubahan tersebut dapat mengakibatkan keterlambatan penyelesaian pekerjaan. Keterlambatan ini merupakan efek kombinasi dari ketergantungan pekerjaan dan variabilitas dalam setiap proses. Secara umum ketidakefisienan konstruksi berupa keterlambatan jadwal pelaksanaan, adanya perbaikan, kerusakan material di lapangan, peralatan yang rusak dan tidak tersedianya peralatan yang dibutuhkan di lapangan. Segala bentuk ketidakefisienan tersebut akan berimbas pada pembengkakan biaya pelaksanaan proyek, secara tidak langsung menjadi penyebab kerugian bagi perusahaan.

PT X merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang konstruksi, khususnya di sektor minyak dan gas. Dalam lima tahun terakhir, diketahui adanya beberapa proyek yang merugi. Hal tersebut dikarenakan beberapa pekerjaan yang harus dikerjakan ulang karena ditemukan adanya kecacatan. Pekerjaan yang cacat menyebabkan adanya keterlambatan dan pembengkakan biaya, serta memicu adanya sengketa antar pelaksana pada masa konstruksi dan operasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dilakukan identifikasi faktor-faktor penyebab kecacatan dalam proyek konstruksi. Dengan mengetahui faktor-faktor tersebut, diharapkan pihak manajemen dapat mengontrol dan mengendalikan pekerjaan.

Sifat unik dari sebuah proyek menjadikan cacat konstruksi tidak bisa dihindari dalam sebuah proyek konstruksi. Menurut Watt (2007), sebuah cacat didefinisikan sebagai "kegagalan atau kekurangan dalam fungsi, kinerja, undang-undang atau kebutuhan pengguna bangunan, dan mungkin terjadi pada struktur, jasa atau fasilitas lainnya yang terkena bangunan". Studi sebelumnya tentang cacat dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori: (1) mengklasifikasikan cacat (Macarulla, 2013; Georgiu, 2010); (2) mengidentifikasi penyebab kerusakan (Chong and Low, 2005; Josephson and Hammarlund, 1999; Aljassmi and Han, 2013; Assaf, 1996; Love, 2009); Dan (3) penggunaan kembali informasi cacat historis (Park, 2013).

Digambarkan dengan atribut yang berbeda, cacat dapat dikategorikan oleh nilai atribut, yang merupakan sistem klasifikasi kerusakan (Macarulla, 2013). Klasifikasi cacat memberikan dasar bagi analisis kecacatan pada perumahan. Georgiou (2010) membagi cacat menjadi tiga kategori: (1) cacat teknis-timbul dari pengerjaan yang

buruk atau cacat material dari suatu unsur; (2) cacat estetika-untuk cacat yang berkaitan dengan penampilan suatu elemen; Dan (3) cacat fungsional-bangunan yang tidak bisa digunakan. Kriteria lainnya yang digunakan untuk mengklasifikasikan kecacatan pada konstruksi adalah lokasi dimana kecacatan ditemukan (Georgiou, 1999; Chong, 2005), bahan elemen (Chong, 2005), dan tahap ketika cacat terjadi (Chong, 2005; Forcada, 2013). Selain klasifikasi, penyebab cacat dalam konstruksi telah dianalisis dan digunakan untuk mengembangkan strategi pencegah kecacatan (Aljassemi and Han, 2013).

## MATERI DAN METODE

Proyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah proyek konstruksi Control Building yang dikerjakan oleh PT X dalam kurun waktu Sepuluh (10) tahun terakhir. Dalam penelitian ini digunakan data historis berupa data kecacatan pada 12 proyek konstruksi Control Building. Data tersebut diperoleh dari buku akhir proyek. Dari 12 data tersebut, akan ditentukan klasifikasi kecacatan. Data klasifikasi kecacatan ini diperoleh dari hasil wawancara dengan para pelaku proyek, antara lain Project Manager, Construction Manger/Superintendent, QC Manager dan supervisor yang ada di PT X. Wawancara tersebut menghasilkan klasifikasi kecacatan yang berulang pada pelaksanaan konstruksi control building. Terdiri atas tiga atribut, yaitu material, elemen dan tipe kecacatan

Data mining adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mengekstrak pengetahuan dari sebuah kumpulan data yang ada dan mengubahnya menjadi struktur yang dapat dimengerti manusia (Witten and Frank, 2011). Salah satu teknik data mining yang digunakan untuk menemukan hubungan yang menarik antara variabel dalam sebuah database adalah *Association rule*. Digambarkan dalam bentuk  $A \rightarrow C$ , dimana A mewakili "if" dan C mewakili "then". Misalnya, aturan asosiasi yang diambil dari basis data kecacatan konstruksi  $A \rightarrow C$ , menunjukkan jika terdapat cacat pada A, maka cacat pada C juga terjadi. Algoritma Apriori adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk *Association Rule Mining* (Agarwal and Srikant, 1994).

Pengidentifikasi pola asosiasi menggunakan dua parameter, yaitu *support* dan *confidence* dimana dua parameter tersebut memiliki range antara 0%-100%. Rumus penghitungan nilai *support* dan *confidence* adalah sebagai berikut :

$$\text{Support } (A \rightarrow C) = P(A \cup C) \quad (1)$$

$$\text{Confidence } (A \rightarrow C) = P(A/C) \quad (2)$$

Dari rumus tersebut, dapat diketahui bahwa *support* menyiratkan frekuensi terjadinya pola, dan *Confidence* menunjukkan kekuatan implikasinya.

Sebuah *rule* dikatakan valid apabila memenuhi syarat :

$$\begin{aligned} \text{Support } (A \rightarrow C) &\geq \text{minsupp, dan} \\ \text{Confidence } (A \rightarrow C) &\geq \text{minconf} \end{aligned}$$

dimana nilai *minsupp* dan nilai *minconf* sudah ditentukan oleh peneliti atau pakar. *Association rule mining* dapat dikelompokkan ke dalam 2 sub permasalahan utama, yaitu :

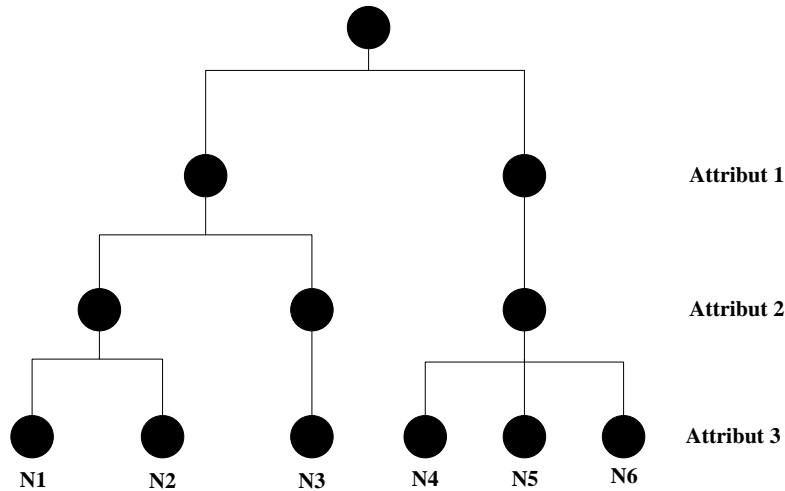
1. Menghasilkan semua itemset yang memiliki nilai *support* lebih besar dari, atau sama dengan, *nilai minsupp* yang ditentukan oleh peneliti atau pakar
2. Membangkitkan *rule* yang memenuhi persyaratan *minconf*. Untuk masing-masing besar itemset  $X$ , dan  $B \subseteq X$ , misalkan  $A = X - B$ . Jika nilai *confidence* dari *rule*  $A \rightarrow B$  lebih besar dari, atau sama dengan *minconf* (atau  $\frac{\text{sup}(X)}{\text{sup}(A)} \geq \text{minconf}$ ), maka  $A \rightarrow B$  dapat dianggap sebagai aturan yang valid (Yan, Zhang, & Zhang, 2008).

Contoh pembangkitan *multi-level frequent itemsets*, tabel D (ID, Att<sub>1</sub>, Att<sub>2</sub>, Att<sub>3</sub>) mengandung item  $I$ , dimana Att<sub>1</sub>, Att<sub>2</sub>, Att<sub>3</sub> mewakili atribut dan ID adalah nomor identitas. Tabel 1 menunjukkan contoh tabel D, konsep hirarki mengatur konsep yang berbeda.

Tabel 1 Contoh Tabel D (ID, Att<sub>1</sub>, Att<sub>2</sub>, Att<sub>3</sub>)

ID	Att <sub>1</sub>	Att <sub>2</sub>	Att <sub>3</sub>
N <sub>1</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>31</sub>
N <sub>2</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>32</sub>
N <sub>3</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>22</sub>	a <sub>33</sub>
N <sub>4</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>23</sub>	a <sub>34</sub>
N <sub>5</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>23</sub>	a <sub>35</sub>
N <sub>6</sub>	a <sub>12</sub>	a <sub>23</sub>	a <sub>36</sub>

Konsep hirarki dari tabel 1 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hirarki Atribut

Atribut yang ada dikurangi dengan cara menghilangkan atribut yang tidak relevan. Asumsikan jumlah atribut dalam tabel awal adalah  $P$  dan index Att <sub>$i$</sub>  adalah  $S_i$ , dimana  $S \in \{1, 2, \dots, P\}$ .  $S = [S_{i1}, \dots, S_{iM}]$  menjadi urutan atribut yang ditentukan peneliti, dan  $M$  merupakan jumlah atribut yang ditentukan.  $S_{i1}$  merepresentasikan level-1,  $S_{i2}$  merepresentasikan level-2 dan seterusnya. Setelah itu akan dibangkitkan *itemset* yang memenuhi batas minimum *support* dan *confidence*, dimana batas nilai tersebut sudah ditentukan sebelumnya.

## HASI DAN PEMBAHASAN

Proyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah proyek konstruksi Control Building yang dikerjakan oleh PT X dalam kurun waktu Sepuluh (10) tahun terakhir. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Dalam penelitian ini digunakan data historis berupa data kecacatan pada 12 proyek konstruksi Control Building. Data tersebut diperoleh dari buku akhir proyek. Dari 12 data tersebut, akan ditentukan klasifikasi kecacatan. Data klasifikasi kecacatan ini diperoleh dari hasil wawancara dengan para pelaku proyek, antara lain Project Manager, Construction Manger/Superintendent, QC Manager dan supervisor yang ada di PT X. Wawancara tersebut menghasilkan klasifikasi kecacatan yang berulang pada pelaksanaan konstruksi control building. Terdiri atas tiga atribut, yaitu material, elemen dan tipe kecacatan. Tabel 3 menunjukkan klasifikasi kecacatan.

Tabel 2 Data Informasi Proyek

Case ID	PROJECT NAME-LOCATION	WORKING PERIOD
1	RFCC Civil Package 1 Pertamina RU IV Cilacap	4 February 2013 - 31 January 2015
2	Engineering, Procurement and Construction of General Civil Building, Utilities and Communication System	April 2013 - November 2014
3	Package 05 (MCC #4 Building, MCC #2 Extension & Dump Truck Slab), Melawan - East Kalimantan	December 2013 - September 2014
4	Engineering, Procurement and Construction of Exterior Civil, Utilities and Communication System	April 2013 - May 2014
5	Civil Works of Foundations and Superstructure of 3x18 MW Coal Fired Steam Power Plant at Sangatta, East Kalimantan – Indonesia	December 2011 - June 2013
6	Construction Jetty Refurbishment, Tangguh LNG Project – Papua	March 2012 - July 2013
7	Waste Water Treatment Project & Piping Intake Tanjung Tabalong South Kalimantan	1 Mach 2011 - 30 June 2011
8	EPC For Ash Dyke & Coal, Tanjung Tabalong, Kalimantan Selatan	27 October 2010-31 May 2011
9	2X30MW Coal Fired Power Plant Project, Tanjung	12 Aug 2009 - 11 August 2010
10	Entire Civil & Piling Works for Shell Project New Oil Terminal at Pulau Laut, Kalimantan	9 October 2008 - 9 April 2009
11	“Civil Works Package-2” 2x600.000 Barrels Crude Oil Tank Project Cilacap Central Java	28 December 2007 - 30 August 2008
12	Office and General Buildings Work, Tanah Merah Tangguh LNG Site, Teluk Bintuni, Papua	5 Sept 05 - Jul 2007

Tabel 3 Klasifikasi Kecacatan

No.	Material	Elemen	Tipe Kecacatan
111(DC-1)	Concrete	Beam	Honeycombing (Keropos)
112(DC-2)	Concrete	Beam	Scaling/Gumpil/Mengelupas
113(DC-3)	Concrete	Beam	Blow Holes/Burik
114(DC-4)	Concrete	Beam	Cold Joint
115(DC-5)	Concrete	Beam	Permukaan tidak rata
116(DC-6)	Concrete	Beam	tidak lurus
117(DC-7)	Concrete	Beam	Variasi warna
118(DC-8)	Concrete	Beam	Retak Plastis
121(DC-9)	Concrete	Column	Honeycombing (Keropos)
122(DC-10)	Concrete	Column	Scaling/Gumpil/Mengelupas
123(DC-11)	Concrete	Column	Blow Holes/Burik
124(DC-12)	Concrete	Column	Variasi warna
125(DC-13)	Concrete	Column	Cold Joint
126(DC-14)	Concrete	Column	Retak Plastis
127(DC-15)	Concrete	Column	Permukaan tidak rata
128(DC-16)	Concrete	Column	tidak lurus
131(DC-17)	Concrete	Retaining Wall	Honeycombing (Keropos)
132(DC-18)	Concrete	Retaining Wall	Scaling/Gumpil/Mengelupas
133(DC-19)	Concrete	Retaining Wall	Blow Holes/Burik
134(DC-20)	Concrete	Retaining Wall	Cold Joint
135(DC-21)	Concrete	Retaining Wall	Permukaan tidak rata
136(DC-22)	Concrete	Retaining Wall	Variasi warna
137(DC-23)	Concrete	Retaining Wall	Retak Plastis
141(DC-24)	Concrete	Slab	Honeycombing (Keropos)
142(DC-25)	Concrete	Slab	Scaling/Gumpil/Mengelupas
143(DC-26)	Concrete	Slab	Blow Holes/Burik
144(DC-27)	Concrete	Slab	Cold Joint
145(DC-28)	Concrete	Slab	Permukaan tidak rata
146(DC-29)	Concrete	Slab	Variasi warna
147(DC-30)	Concrete	Slab	Retak Plastis
151(DC-31)	Concrete	Cantilever	Honeycombing (Keropos)
152(DC-32)	Concrete	Cantilever	Scaling/Gumpil/Mengelupas
153(DC-33)	Concrete	Cantilever	Blow Holes/Burik
154(DC-34)	Concrete	Cantilever	Cold Joint
155(DC-35)	Concrete	Cantilever	Permukaan tidak rata
156(DC-36)	Concrete	Cantilever	Variasi warna
157(DC-37)	Concrete	Cantilever	Retak Plastis
211(DC-38)	Brickwall	Wall	Spalling

No.	Material	Elemen	Tipe Kecacatan
212(DC-39)	Brickwall	Wall	Retak
311(DC-40)	Plester/Aci	Wall	Rembesan air
312(DC-41)	Plester/Aci	Wall	Retak Rambut < 1mm
411(DC-42)	Painting	Interior	Warna Cat Belang
412(DC-43)	Painting	Interior	Cat Menggelembung
413(DC-44)	Painting	Interior	Cat Mengelupas
421(DC-45)	Painting	Eksterior	Warna Cat Belang
422(DC-46)	Painting	Eksterior	Cat Menggelembung
423(DC-47)	Painting	Eksterior	Cat Mengelupas
511(DC-48)	Waterproofing	Roof	Bocor
611(DC-49)	PVC Pipe	Roof	Bocor
621(DC-50)	PVC Pipe	Wall	Bocor
711(DC-51)	Accoustic Panel	Ceiling	Retak
712(DC-52)	Accoustic Panel	Ceiling	Genangan Air
811(DC-53)	Keramik	Floor	Poping
812(DC-54)	Keramik	Floor	Retak
821(DC-55)	Keramik	Wall	Poping
822(DC-56)	Keramik	Wall	Retak
911(DC-57)	Steel	Door	Spatterr berlebih
912(DC-58)	Steel	Door	distorsi
913(DC-59)	Steel	Door	Las kurang menyatu ( <i>Lack of Fusion</i> )
921(DC-60)	Steel	Window	Spatterr berlebih
922(DC-61)	Steel	Window	distorsi
923(DC-62)	Steel	Window	Las kurang menyatu ( <i>Lack of Fusion</i> )
931(DC-63)	Steel	Ladder	Spatterr berlebih
932(DC-64)	Steel	Ladder	distorsi
933(DC-65)	Steel	Ladder	Las kurang menyatu ( <i>Lack of Fusion</i> )
941(DC-66)	Steel	Cage Ladder	Spatterr berlebih
942(DC-67)	Steel	Cage Ladder	distorsi
943(DC-68)	Steel	Cage Ladder	Las kurang menyatu ( <i>Lack of Fusion</i> )

**a. Data Preparation**

Data rekap kecacatan proyek dikenal sebagai data transaksi pada *association rule mining*. Data transaksi yang digunakan untuk penelitian ini terdiri atas tiga level berdasarkan susunan hirarki. Nilai 1 pada data transaksi menunjukkan adanya kecacatan, sedangkan nilai 0 menunjukkan tidak ditemukannya kecacatan. Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan Data Transaksi pada level 1, level 2 dan level 3.

Tabel 4 Data Transaksi Level 1

Material	Case ID											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1** (Concrete)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
2** (Brickwall)	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
3** (Plester/Aci)	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
4** (Painting)	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
5** (Waterproofing)	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
6** (PVC Pipe)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
7** (Accoustic Panel)	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
8** (Ceramic)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
9** (Steel)	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0

Tabel 5. Data Transaksi Level 2

Elemen	Case ID											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11* (Beam)	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
12* (Column)	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1
13* (Ret. Wall)	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
14* (Slab)	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
15* (Cantilever)	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
21* (Wall)	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
31* (Wall)	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1
41* (Interior)	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
42* (Eksterior)	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
51* (Roof)	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
61* (Wall)	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
62* (Roof)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
71* (Ceiling)	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0
81* (Floor)	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
82* (Wall)	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
91* (Door)	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
92* (Window)	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
93* (Ladder)	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0
94* (Handrail)	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0

Tabel 6. Data Transaksi Level 3

Defect Classification	Case ID											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
111(DC-1)	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0
112(DC-2)	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
113(DC-3)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
114(DC-4)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
115(DC-5)	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
116(DC-6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117(DC-7)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0



Defect Classification	Case ID											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
118(DC-8)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
121(DC-9)	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1
122(DC-10)	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
123(DC-11)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
124(DC-12)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
125(DC-13)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
126(DC-14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
127(DC-15)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128(DC-16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131(DC-17)	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
132(DC-18)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
133(DC-19)	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
134(DC-20)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
135(DC-21)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
136(DC-22)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
137(DC-23)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141(DC-24)	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
142(DC-25)	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
143(DC-26)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
144(DC-27)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145(DC-28)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
146(DC-29)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
147(DC-30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151(DC-31)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
152(DC-32)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
153(DC-33)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
154(DC-34)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155(DC-35)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156(DC-36)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157(DC-37)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211(DC-38)	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
212(DC-39)	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
311(DC-40)	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
312(DC-41)	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
411(DC-42)	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
412(DC-43)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
413(DC-44)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
421(DC-45)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
422(DC-46)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
423(DC-47)	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0
511(DC-48)	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
611(DC-49)	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
621(DC-50)	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
711(DC-51)	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
712(DC-52)	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0

Defect Classification	Case ID											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
811(DC-53)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
812(DC-54)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
821(DC-55)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
822(DC-56)	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
911(DC-57)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
912(DC-58)	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
913(DC-59)	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
921(DC-60)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
922(DC-61)	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
923(DC-62)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
931(DC-63)	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
932(DC-64)	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
933(DC-65)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
941(DC-66)	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
942(DC-67)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
943(DC-68)	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

### b. Multi-level Association Rule Mining Level 1

Pada level 1 diperoleh 45 rule awal yang dibangkitkan. Dari rule tersebut ternyata hanya ada 35 rule yang bersifat positif. Dengan menggunakan software excel miner memunculkan 8 rule akhir seperti ditunjukkan pada Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7 Rule Akhir Level 1

No	Antecedent (A)	Consequent (C)	Supp. for A	Supp. for C	Support for A & C	Conf.	Lift Ratio
1	2** (Brickwall)	4** (Painting)	0.50	0.75	0.42	0.83	1.11
2	2** (Brickwall)	1** (Concrete)	0.50	0.83	0.42	0.83	1.00
3	3** (Plester/Aci)	4** (Painting)	0.50	0.75	0.42	0.83	1.11
4	4** (Painting)	9** (Steel)	0.75	0.50	0.50	0.67	1.33
5	6** (PVC Pipe)	4** (Painting)	0.75	0.75	0.58	0.78	1.04
6	7** (Accoustic Panel)	6** (PVC Pipe)	0.58	0.75	0.50	0.86	1.14
7	9** (Steel)	8** (Ceramic)	0.50	0.58	0.42	0.83	1.43
8	9** (Steel)	1** (Concrete)	0.50	0.83	0.42	0.83	1.00

### c. Multi-level Association Rule Mining Berbasis Level 2

Dengan langkah yang sama seperti pada Level 1, hasil pengolahan 8 association rule level 1 diperoleh 19 association rule level 2 seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Rule Akhir Level 2

No	Antecedent (A)	Consequent (C)	Supp. for A	Supp. for C	Supp. for A & C	Conf.	Lift Ratio
1	21* (Wall)	42* (Eksterior)	0.5	0.67	0.42	0.83	1.25
2	41* (Interior)	42* (Eksterior)	0.42	0.67	0.33	0.8	1.2
3	12* (Column)	11* (Beam)	0.33	0.58	0.33	1	1.71
4	14* (Slab)	21* (Wall)	0.5	0.5	0.42	0.83	1.67

No	Antecedent (A)	Consequent (C)	Supp. for A	Supp. for C	Supp. for A & C	Conf.	Lift Ratio
5	15* (Cantilever)	14* (Slab)	0.42	0.5	0.42	1	2
6	41*(Interior)	31* (Wall)	0.42	0.5	0.33	0.8	1.6
7	31* (Wall)	42* (Eksterior)	0.5	0.67	0.42	0.83	1.25
8	41*(Interior)	91* (Door)	0.42	0.42	0.33	0.8	1.92
9	91* (Door)	42* (Eksterior)	0.42	0.67	0.33	0.8	1.2
10	92*(Window)	42* (Eksterior)	0.25	0.67	0.25	1	1.5
11	93* (Ladder)	42* (Eksterior)	0.42	0.67	0.33	0.8	1.2
12	94* (Handrail)	42* (Eksterior)	0.33	0.67	0.33	1	1.5
13	61* (Wall)	42* (Eksterior)	0.25	0.67	0.25	1	1.5
14	41*(Interior)	62* (Roof)	0.42	0.67	0.33	0.8	1.2
15	62* (Roof)	71* (Ceiling)	0.67	0.58	0.42	0.63	1.07
16	82* (Wall)	91* (Door)	0.42	0.42	0.42	1	2.4
17	91* (Door)	82* (Wall)	0.42	0.42	0.42	1	2.4
18	12* (Column)	13* (Ret. Wall)	0.33	0.5	0.25	0.75	1.5
19	94* (Handrail)	14* (Slab)	0.33	0.5	0.25	0.75	1.5

**d. Multilevel Association Rule Mining Level 3**

Dengan langkah yang sama seperti pada Level 1 dan Level 2, hasil pengolahan 19 *association rule* level 2 diperoleh 21 *association rule* level 3. Tabel 9 menunjukkan *rule* akhir pada Level 3.

Tabel 9 Rule Akhir Level 3

No	Antecedent (A)	Consequent (C)	Supp. for A	Supp. for C	Supp. For A & C	Conf.	Lift Ratio
1	143 (Concrete-Slab-Blow Holes)	153 (Concrete-Cantilever-Cold Joint)	0.33	0.33	0.33	1	3
2	411 (Painting - Interior -Belang)	422 (Painting - Exterior - Menggelembung)	0.17	0.33	0.17	1	3
3	132 (Concrete-Ret.Wall-Scaling)	143 (Concrete-Slab-Blow Holes)	0.17	0.33	0.17	1	3
4	941 (Steel-handrail-spatter berlebih)	412 (Painting -Eksterior-Menggelembung)	0.17	0.33	0.17	1	3
5	943 (Steel-Handrail-Lack of fusion)	413 (Painting -Eksterior-Mengelupas)	0.17	0.33	0.17	1	3
6	711 (Accoustic Panel - Ceiling - Retak)	621 (PVC Pipe-Roof-Bocor)	0.25	0.67	0.25	1	1.5
7	913 (Steel-Door-Lack of Fusion)	912 (Steel-Door-Distorsi)	0.25	0.42	0.25	1	2.4
8	125 (Concrete-Column-Cold Joint)	124 (Concrete-Column-Variasi Warna)	0.17	0.25	0.17	1	4
9	911 (Steel-Door-Spatter berlebih)	912 (Steel-Door-Distorsi)	0.17	0.42	0.17	1	2.4
10	211 (Brickwall - Wall - Spalling)	422 (Painting - Exterior - Menggelembung)	0.33	0.33	0.25	0.75	2.25
11	611 (PVC Pipe-Wall-Bocor)	422 (Painting - Exterior - Menggelembung)	0.25	0.17	0.17	0.67	4
12	112 (Concrete-Beam-Scaling)	121 (Concrete-Column-Honeycombing)	0.33	0.42	0.25	0.75	1.8
13	143 (Concrete-Slab-Blow Holes)	142 (Concrete-Slab-Scaling)	0.33	0.42	0.25	0.75	1.8

No	Antecedent (A)	Consequent (C)	Supp. for A	Supp. for C	Supp. For A & C	Conf.	Lift Ratio
14	121 (Concrete-Column-Honeycombing)	122 (Concrete-Column-Scalling)	0.42	0.25	0.25	0.6	2.4
15	121 (Concrete-Column-Honeycombing)	124 (Concrete-Column-Variasi Warna)	0.42	0.25	0.25	0.6	2.4
16	422 (Painting - Exterior - Menggelembung)	411 (Painting - Interior -Belang)	0.33	0.17	0.17	0.5	3
17	412 (Painting -Eksterior-Menggelembung)	941 (Steel-handrail-spatter berlebih)	0.33	0.17	0.17	0.5	3
18	413 (Painting -Eksterior-Mengelupas)	943 (Steel-Handrail-Lack of fusion)	0.33	0.17	0.17	0.5	3
19	121 (Concrete-Column-Honeycombing)	112 (Concrete-Beam-Scalling)	0.42	0.33	0.25	0.6	1.8
20	422 (Painting - Exterior - Menggelembung)	611 (PVC Pipe-Wall-Bocor)	0.33	0.25	0.17	0.5	2
21	312 (Plester/Aci-Wall-Retak Rambut)	422 (Painting - Exterior - Menggelembung)	0.33	0.33	0.17	0.5	1.5

Dalam penelitian ini, kecacatan yang diteliti adalah kategori cacat paten, yaitu cacat yang mudah diidentifikasi dan mudah untuk diperbaiki. Dari hasil pengolahan data, dapat diidentifikasi bahwa dalam konstruksi sipil cacat paten yang paling sering terjadi adalah :

<i>Risk 1</i> : Concrete-Slab-Blow Holes	→ Concrete-Cantilever-Cold Joint
<i>Risk 2</i> : Painting-Interior-Belang	→ Painting-Exterior-Menggelembung
<i>Risk 3</i> : Concrete-Ret. Wall-Scalling	→ Concrete-Slab-Blow Holes
<i>Risk 4</i> : Steel-handrail-spatter berlebih	→ Painting-Eksterior-Menggelembung
<i>Risk 5</i> : Steel-Handrail-Lack of fusion	→ Painting-Eksterior-Mengelupas
<i>Risk 6</i> : Accoustic Panel -Ceiling –Retak	→ PVC Pipe-Roof-Bocor
<i>Risk 7</i> : Steel-Door-Lack of Fusion	→ Steel-Door-Distorsi
<i>Risk 8</i> : Concrete-Column-Cold Joint	→ Concrete-Column-Variasi Warna
<i>Risk 9</i> : Steel-Door-Spatter berlebih	→ Steel-Door-Distorsi
<i>Risk 10</i> : Brickwall-Wall-Spalling	→ Painting-Exterior-Menggelembung
<i>Risk 11</i> : PVC Pipe-Wall-Bocor	→ Painting-Exterior-Menggelembung
<i>Risk 12</i> : Concrete-Beam-Scalling	→ Concrete-Column-Honeycombing
<i>Risk 13</i> : Concrete-Slab-Blow Holes	→ Concrete-Slab-Scalling
<i>Risk 14</i> : Concrete-Column-Honeycombing	→ Concrete-Column-Scalling
<i>Risk 15</i> : Concrete-Column-Honeycombing	→ Concrete-Column-Variasi Warna
<i>Risk 16</i> : Painting-Exterior-Menggelembung	→ Painting- Interior-Belang
<i>Risk 17</i> : Painting-Eksterior-Menggelembung	→ Steel-handrail-spatter berlebih
<i>Risk 18</i> : Painting -Eksterior-Mengelupas	→ Steel-Handrail-Lack of fusion
<i>Risk 19</i> : Concrete-Column-Honeycombing	→ Concrete-Beam-Scalling
<i>Risk 20</i> : Painting-Exterior-Menggelembung	→ PVC Pipe-Wall-Bocor
<i>Risk 21</i> : Plester/Aci-Wall-Retak Rambut	→ Painting-Exterior-Menggelembung

Setelah mengidentifikasi resiko, kita akan menyusun *probability/impact matrix*, untuk mengetahui rencana penanganan resiko. Rencana penanganan resiko adalah proses untuk meminimalkan tingkat resiko yang dihadapi sampai pada batas yang dapat diterima. Teknik yang diterapkan untuk menangani resiko secara umum yaitu :

1. Menghindari resiko – Untuk menghindari resiko, kita tidak melakukan aktivitas yang mendatangkan resiko, tetapi kita merubah rencana proyek untuk mengilangkan resiko.

2. Reduksi resiko (mitigasi) – Disini dilakukan tindakan untuk mengurangi peluang terjadinya resiko, misalnya dengan memilih orang yang kompeten dalam tim proyek, membuat desain yang maksimal untuk menghindari terjadinya redesain.
3. Menerima resiko – Biasanya dilakukan ketika resiko yang diterima kecil, atau tidak ada pilihan lain untuk menangani resiko.
4. Transfer resiko – Hal ini dilakukan dengan mengalihkan resiko kepada pihak lain.

Berdasarkan *probability/impact matrix* yang disusun bersama dengan *staeholder* maka dapat disusun rencana penanganan resiko sebagai berikut :

1. Menerima resiko : *Risk 7 dan Risk 8*
2. Menghindari resiko : *Risk 3, Risk 4, Risk 5, Risk 6, Risk 9, Risk 15, Risk 16, Risk 17, Risk 18, Risk 20*
3. Mereduksi resiko (mitigasi) : *Risk 1, Risk 2, Risk 10, Risk 11, Risk 12, Risk 13, Risk 14, Risk 19, Risk 21*

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa untuk mengembangkan model identifikasi kecacatan pada industri konstruksi, khususnya di bidang minyak dan gas, kita terlebih dahulu harus membatasi ruang lingkup penelitian, karena pada dasarnya setiap proyek itu bersifat unik, akan tetapi pada dasarnya setiap pekerjaan tersebut secara prosedur sama. *Data preprocessing* diperlukan agar data yang digunakan berkualitas dan sesuai dengan metode yang akan digunakan. Penelitian ini menggunakan *Multilevel Association Rule Mining* dengan pendekatan algoritma apriori, sehingga menggunakan tipe data nominal, dimana data transaksi yang ada ditransformasi ke bentuk biner. Nilai 1 menunjukkan adanya sebuah transaksi, sedangkan nilai 0 menunjukkan tidak adanya transaksi. Batas *minimum support* yang digunakan adalah 33,3% dan *minimum confidence* yang digunakan adalah 50%. Rule yang memenuhi batasan tersebut Selanjutnya kita akan menyeleksi *positive association rule* berdasarkan kriteria  $Confidence (AUC) \geq Support (C)$ .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *multilevel association rule mining* dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola kecacatan pada proyek konstruksi sipil. Beberapa pola yang dihasilkan menunjukkan bahwa kecacatan yang terjadi merupakan hasil kombinasi dari faktor-faktor yang ada. Berdasarkan pola yang terbentuk, maka dihasilkan *risk register* yang kemudian dapat digunakan sebagai dasar dalam pembuatan *mitigation plan* sehingga perusahaan dapat meminimalisir kerugian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, R., R. Srikant, 1994, Fast algorithm for mining association rules in large database, *Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Databases*, Santiago de Chile, pp. 487–489.
- Aljassmi, H., S. Han, 2013, Analysis of causes of construction defects using fault trees and risk importance measures, *Journal of Construction Engineering Management*, 139(7): 870–880.

- Assaf, S., A.M. Al-Hammad, M. Al-Shihah, 1996, Effects of faulty design and construction on building maintenance, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 10(4): 171–174.
- Chong, W. K., S. P. Low, 2005, Assessment of defects at construction and occupancy stages, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 19(4): 283–289.
- Forcada, N., M. Macarulla, P. Love, 2013, Assessment of residential defects at post-handover, *Journal of Construction Engineering Management*, 139(4): 372–378.
- Georgiou, J., P. Love, J. Smith, 1999, A comparison of defects in houses constructed by owners and registered builders in the Australian state of Victoria, *Structural Survey*, 17(3): 160–169.
- Georgiou, J., 2010, Verification of a building defect classification system for housing, *Structural Survey*, 28 (5), 370–383.
- Josephson, P. E., Y. Hammarlund, 1999, The causes and costs of defects in construction: a study of seven building projects, *Journal of Automation in Construction*, 8(6): 681–687.
- Love, P.E.D., et al., 2009, Divergence or congruence? A pathmodel of rework for building and civil engineering projects, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 23(6): 480–488.
- Macarulla, M., N. Forcada, M. Casals, 2013, Standardizing housing defects: classification, validation, and benefits, *Journal of Construction Engineering Management*, 139(8): 968–976.
- Park, C. S., et al., 2013, A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template, *Journal of Automation in Construction*, 33(2): 61–71.
- Watt, D., 2007, *Building Pathology Principles and Practice*, 2nd ed. Blackwell Science Ed., UK.
- Witten, I. H., E. Frank, M.A. Hall, 2011, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 3rd ed. Morgan Kaufmann Publishers, USA.
- Yan, X., Zhang, C., Zhang, Sh., 2008, Genetic algorithm-based strategy for identifying association rules without specifying actual minimum support, *Journal of Expert Systems with Applications*, 36(2): 3066–3076