

Pengelolaan Konsumsi Energi Listrik Untuk Kawasan Industri Dengan Metode Kombinasi *Open System* Dan *Closed System*

Suwandi¹ dan Hari Agung Yuniarto²

^{1,2}) Program Studi Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri,
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
Email: suwandieletric80@gmail.com; h.a.yuniarto@ugm.ac.id.

ABSTRACT

The existence of uncertainty about the amount of electricity consumption especially in the industrial area causes the authorities having difficulties in managing the electrical energy. Modeling the consumption of electrical energy and forecasting of its consumption is important because electrical energy can not be stored, and a stable power system is needed to balance the production and consumption of the electrical energy. Therefore, this study aims to develop a model in the management of electrical energy consumption by forecasting the amount of electricity consumption in the industrial area by considering the historical data (closed system) and also several factors that allegedly affect the amount of electricity consumption in the area of the industrial area.

The development of this model is done by combining Holt's (Double Exponential Smoothing) model as a closed system model with Bayesian Network model as open system model. The first step in building this combination model is to build Holt's model and Bayesian Network model respectively. The results of the two models are then combined to get the number of electric energy consumption in the industrial area when the amount of electricity consumption is predicted to increase or decrease.

This proposal model has the ability to follow actual data movement patterns significantly. The value is calculated based on the total frequency of conformity between the pattern of movement of the proposed model with the actual data movement pattern of electrical energy consumption amount.

Keywords: *Electrical Energy, Industrial Area, Forecasting Amount of Electricity Energy Consumption, Combination of Holt's Model and Bayesian Network Model.*

INTISARI

Adanya ketidakpastian (*uncertainty*) mengenai jumlah konsumsi energi listrik khususnya di wilayah kawasan industri membuat pihak yang berwenang mengalami kesulitan di dalam melakukan pengelolaan terhadap energi listrik tersebut. Pemodelan konsumsi energi listrik dan peramalan terhadap konsumsinya menjadi penting karena energi listrik tidak bisa disimpan, dan power sistem yang stabil dibutuhkan untuk menyeimbangkan antara produksi dan konsumsi dari energi listrik tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model dalam

pengelolaan konsumsi energi listrik dengan meramalkan jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan mempertimbangkan data historis (*closed system*) dan juga beberapa faktor yang diduga berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik di wilayah kawasan industri tersebut.

Pengembangan model ini dilakukan dengan mengkombinasikan model Holt's (*Double Exponential Smoothing*) sebagai model *closed system* dengan model *Bayesian Network* sebagai model *open system*. Langkah awal didalam membangun model kombinasi ini adalah membangun model Holt's dan model *Bayesian Network* masing-masing. Hasil dari kedua model tersebut kemudian dikombinasikan untuk mendapatkan angka besarnya jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri ketika jumlah konsumsi energi listrik diprediksi akan meningkat atau menurun.

Model usulan ini memiliki kemampuan untuk mengikuti pola pergerakan data aktual yang cukup signifikan. Nilai tersebut dihitung berdasarkan total frekuensi kesesuaian antara pola pergerakan model usulan dengan pola pergerakan data aktual jumlah konsumsi energi listrik.

Kata kunci: Energi Listrik, Kawasan Industri, Peramalan Jumlah Konsumsi Energi Listrik, Kombinasi Model Holt's dan Model *Bayesian Network*.

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki realisasi rasio elektrifikasi ditahun 2016 sebesar 91%, namun masih cukup banyak daerah di Indonesia yang mengalami krisis energi listrik, pemadaman listrik masih biasa terjadi di beberapa daerah terutama di daerah-daerah yang terpencil. Selain diakibatkan oleh masalah teknis, gangguan pada mesin-mesin dan gangguan pada jaringan transmisi, hal ini disebabkan pula oleh keterbatasan stok pasokan energi listrik oleh pembangkit-pembangkit yang mensuplai pasokan energi listrik di daerah-daerah tersebut. Hal ini dapat menjadi salah satu faktor penghambat kemajuan ekonomi di Indonesia.

Ketidakpastian (*uncertainty*) mengenai jumlah konsumsi energi listrik di wilayah kawasan industri membuat pemerintah setempat dan pihak yang berwenang, dalam hal ini PT. PLN (Persero) mengalami kesulitan di dalam melakukan pengelolaan terhadap energi listrik tersebut. Hal ini berkaitan erat dengan

kapasitas produksi energi listrik dari PT. PLN (Persero) itu sendiri. Sampai saat ini masih banyak pembangkit listrik milik PT. PLN (Persero) yang belum bisa memenuhi kebutuhan listrik (masih mengalami defisit energi listrik) terutama untuk daerah-daerah terpencil khususnya untuk daerah kawasan industrinya, akan tetapi apabila kapasitas listrik yang dihasilkan lebih banyak daripada pemakaian maka hal tersebut akan mengakibatkan ketidakefektifan dari produksi listrik. Untuk menghindari hal tersebut, pihak PT. PLN (Persero) saat ini masih menggunakan kapasitas terpasang maksimum untuk memenuhi permintaan konsumen akan energi listrik, tanpa mengetahui kapan sesungguhnya kapasitas pemakaian maksimal dan berapa jumlahnya. Walaupun ada kegiatan pengelolaan, pihak PT. PLN (Persero) baru mencoba menentukannya dengan melihat dari data penggunaan bulan-bulan sebelumnya.

Do et al. mengatakan bahwa pemodelan konsumsi listrik dan peramalan terhadap konsumsinya menjadi penting karena beberapa alasan. Listrik tidak bisa disimpan, dan power sistem yang stabil dibutuhkan untuk menyeimbangkan antara produksi dan konsumsi dari listrik tersebut. Penelitian terbaru telah menemukan bahwa konsumsi listrik adalah variabel yang sangat berguna di bidang ekonomi. Dalam berbagai aplikasinya konsumsi listrik dapat dibagi ke dalam komponen yang *unpredictable* dan deterministik [1]. Metode yang digunakan oleh pihak PT. PLN (Persero) pada dasarnya masih sebatas prediksi dan belum menggunakan perhitungan-perhitungan yang pasti. Selain itu, metode tersebut juga masih terbilang bersifat *close system* (sistem tertutup) karena metode ini hanya berdasar pada data *historical* saja. Padahal, terdapat beberapa faktor dari luar yang dicurigai berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik, seperti faktor pertumbuhan ekonomi, jumlah penduduk, dan lain-lain yang seharusnya diselesaikan dengan metode *open system* [2].

Untuk melengkapi peramalan jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan dasar *open system* (sistem terbuka), terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, seperti dinamika sistem, simulasi *Monte Carlo*, dan pendekatan *Bayesian Network* [3].

Tabel 1.1. Karakteristik dari Dinamika Sistem, Simulasi Monte Carlo, dan *Bayesian Network*.

No	Metode	Karakteristik Metode			
		Prediksi Probabilitas Kejadian	Terdapat Variabel yang Berkaitan	Data Limited	Update Data
1	Dinamika Sistem	-	√	-	√
2	Monte Carlo	√	-	√	-
3	<i>Bayesian Network</i>	√	√	√	√

Menurut Serman, dinamika sistem merupakan metode yang tidak menggunakan nilai probabilitas di dalam struktur modelnya. Metode ini membutuhkan data yang cukup lengkap di dalam menggambarkan hubungan antar variabelnya. Hal ini bertujuan untuk melihat secara keseluruhan struktur dari sistem tersebut sehingga dapat digunakan untuk prediksi kedepannya. Selain itu, metode ini dapat pula diperbaharui dengan menggunakan skenario *what-if* (bagaimana-jika) untuk meningkatkan kinerja dari sistem yang telah dibangun [4].

Metode berikutnya adalah simulasi *Monte Carlo* yang dikategorikan sebagai simulasi probabilitas statis. Menurut Taylor, metode ini digunakan untuk memprediksi kejadian dengan jumlah data yang terbatas. Data yang terbatas tersebut kemudian akan di-*generate* dengan menggunakan distribusi yang sesuai dengan data. Metode ini tidak menggunakan variabel-variabel yang saling berhubungan dan tidak dapat diperbaharui secara dinamis karena karakteristik dari metode ini yang lebih cenderung statis [5].

Metode yang terakhir dapat digunakan adalah *Bayesian Network*. Menurut Krause, metode *Bayesian Network* dapat melakukan pengambilan keputusan (inferensi) probabilistik dengan menggunakan nilai-nilai variabel lain yang telah diketahui [6]. Neapolitan juga menyatakan bahwa metode *Bayesian Network* dapat merepresentasikan hubungan sebab-akibat di antara variabel-variabel yang terdapat pada struktur *Bayesian Network* [7]. Karena itu, menurut Wu et al., *Bayesian Network* merupakan sebuah metode yang tepat untuk mengembangkan pemikiran terhadap adanya unsur ketidakpastian dengan jumlah data yang terbatas pula [8].

Berdasarkan karakteristik dari masing-masing metode tersebut, metode *bayesian network* merupakan metode *open system* yang tepat digunakan untuk mengelola konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan cara meramal jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri. Hal ini dikarenakan metode ini dapat menggambarkan hubungan antara jumlah pemakaian energi listrik dengan faktor-faktor yang dicurigai mempengaruhi jumlah konsumsi tersebut. Hubungan antar faktor tersebutpun masih mengandung unsur probabilistik. Selain itu, data yang tersedia juga cukup terbatas dan data-data tersebut dapat diperbaharui secara dinamis. Nantinya hasil dari pengembangan model *Open System* ini akan dibandingkan dengan hasil dari metode peramalan *time series* yang bersifat *close system*. Dikarenakan hal-hal tersebut dan masih belum adanya penelitian dengan metode *open system* (*Bayesian network*) yang diaplikasikan untuk mengelola konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan cara meramalkan konsumsi energi listrik maka metode tersebut dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini.

Berdasarkan latar belakang tersebut, masalah yang akan dibahas di dalam penelitian ini adalah bagaimana membangun model *open system* yang dikombinasikan dengan metode *close system* yang dapat digunakan untuk mengelola konsumsi energi listrik dengan cara meramalkan konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan tidak hanya mempertimbangkan data historis

tetapi juga beberapa faktor yang diduga berpengaruh terhadap jumlah konsumsi listrik di kawasan industri tersebut. Adapun beberapa batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Jenis energi yang menjadi fokus kajian dalam penelitian ini adalah energi listrik yang berasal dari PT. PLN (persero), penelitian dan pengamatan yang dilakukan terhadap konsumsi energi listrik yang digunakan terbatas pada lingkup wilayah kawasan industri selama lima tahun terakhir, begitu juga penelitian terhadap faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik tersebut.

Untuk mencapai tujuan penelitian ini yaitu memperoleh model untuk mengelola konsumsi energi listrik dengan cara meramalkan jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan menerapkan pendekatan metode *Bayesian Network (open system)* yang dikombinasikan dengan metode peramalan *time series (close system)*, maka data yang akan digunakan adalah data-data dari kawasan industri Ketapang, yaitu kawasan peruntukan industri yang berada di daerah kota Pangkalpinang Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Adapun data-data yang akan digunakan antara lain jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri Ketapang selama lima tahun terakhir dan data faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri tersebut selama lima tahun terakhir.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memperoleh model untuk mengelola konsumsi listrik di kawasan industri dengan cara meramalkan jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan menerapkan pendekatan metode *Bayesian Network (open system)* yang dikombinasikan dengan metode peramalan *time series (close system)*.

II. METODOLOGI

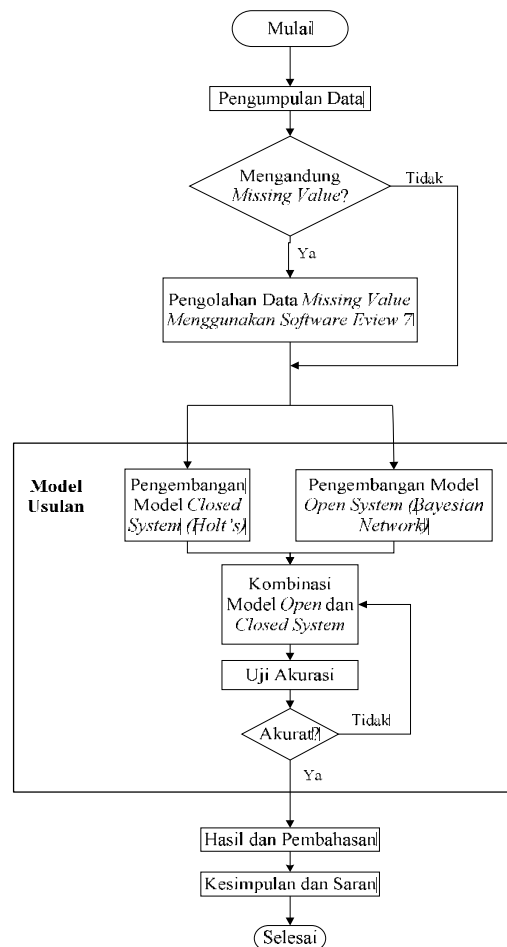
Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model yang dapat digunakan untuk mengelola konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan cara meramalkan konsumsi energi listrik dengan berdasar pada faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pemakaian energi listrik, khususnya di kawasan industri. Oleh karena itu, objek yang digunakan di dalam penelitian ini adalah data mengenai jumlah pemakaian energi listrik di kawasan industri selama lima tahun terakhir. Selain itu, data yang juga digunakan adalah data mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah pemakaian energi listrik selama lima tahun terakhir.

Untuk memaksimalkan penelitian ini maka alat yang digunakan adalah *software Microsoft Office Excel 2010* yang digunakan untuk menyimpan semua data yang telah didapatkan dan juga digunakan untuk mengolah data-data tersebut. *Software* ini digunakan untuk melakukan perhitungan dengan metode peramalan Holt's, menentukan probabilitas *state* pada masing-masing faktor yang kemudian akan menjadi input di GenNie 2.0, melakukan perhitungan dengan metode kombinasi *open* dan *closed system*. *Software* Minitab 16

Statistical Software yang digunakan untuk melakukan perhitungan autokorelasi data dan penentuan pola data. *Software Eviews 7* digunakan untuk membantu mengolah data yang juga diduga mengandung *missing value*. Dalam hal ini, *software Eviews 7* tersebut dapat membantu untuk mengubah satuan data dari tahunan menjadi bulanan. *Software SPSS Statistics 20* digunakan untuk mengitung analisis korelasi antara setiap data yang digunakan dan *software GeNie 2.0* digunakan untuk mengembangkan model *Bayesian Network* berdasarkan data awal yang telah diperoleh dan juga melakukan pengujian terhadap model yang telah dikembangkan tersebut.

Pada tahapan pengolahan data, semua data yang telah didapatkan diolah dengan menggunakan *software*, seperti *Microsoft Office Excel 2010*, Minitab 16, Eview 7, SPSS Statistics 20, dan GeNie 2.0. Untuk membangun model, digunakan 75 persen dari keseluruhan data dan 25 persen sisanya digunakan untuk menguji model, jadi dari total 60 data yang ada sebanyak 45 data digunakan untuk membangun model dan sisanya sebanyak 15 data digunakan untuk menguji model.

Garis besar tahapan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.

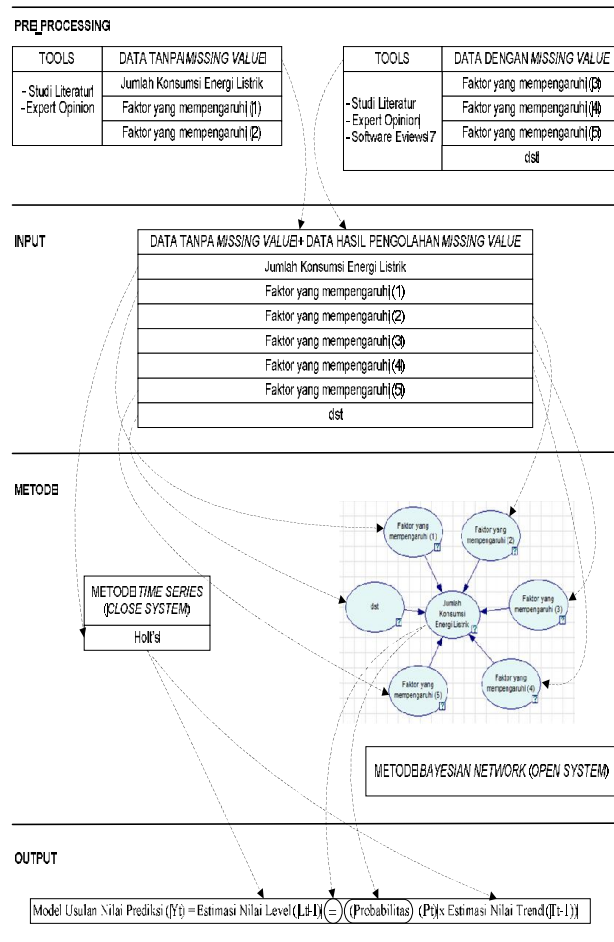


Gambar 2.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Konseptual

Gambar 3.1 merupakan model konseptual penelitian atau gambaran umum dari penelitian yang akan dilakukan. Model konseptual tersebut terdiri dari empat bagian yaitu *pre-processing*, *input*, metode, dan *output*. Bagian *pre-processing* menggambarkan informasi mengenai data tanpa *missing value* dan data yang diduga mengandung *missing value* dan tools yang digunakan pada pengolahan data *missing value*. Bagian *input* menggambarkan informasi mengenai darimana data yang digunakan didalam penelitian ini didapatkan. Pada bagian metode menggambarkan informasi mengenai metode apa saja yang digunakan didalam pengolahan data. Kemudian, bagian akhir adalah bagian *output* yang menggambarkan informasi mengenai hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan.



Gambar 3.1. Model Konseptual Penelitian

B. Pembangunan Model Closed System

Dalam penelitian ini, model *closed system* dibangun dengan menerapkan ide dari metode Holt's. Untuk membangun model tersebut, data yang digunakan adalah 75 persen dari data keseluruhan dan 25 persen data sisanya digunakan untuk menguji model. Adapun total data keseluruhan adalah 60 data, jadi 45 data akan

digunakan untuk membangun model dan 15 data sisanya akan digunakan untuk menguji model. Dengan demikian data yang digunakan untuk membangun model adalah data dari bulan Januari 2012 sampai dengan September 2015, sedangkan data dari bulan Oktober 2015 sampai dengan Desember 2016 digunakan untuk menguji model.

Perhitungan dengan metode Holt's ini mengikuti persamaan di Hanke dan Wichern [9], antara lain:

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \tag{1}$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \tag{2}$$

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t \tag{3}$$

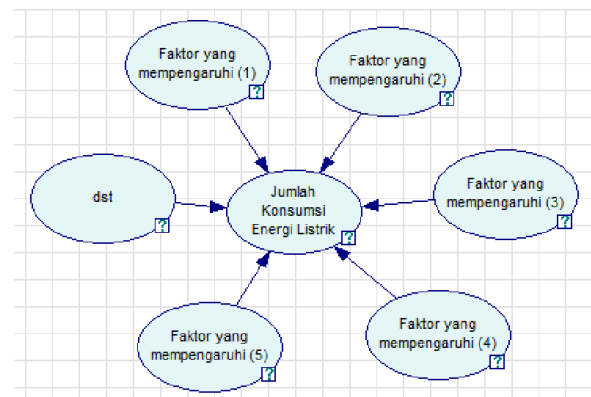
Dimana persamaan (1) adalah estimasi untuk nilai *level* pada periode t, persamaan (2) adalah estimasi untuk nilai *trend* pada periode t, dan persamaan (3) adalah hasil prediksi untuk p periode kedepannya. Pada metode ini, terdapat konstanta pemulusan nilai *level* (α) dan konstanta pemulusan nilai *trend* (β) yang bernilai antara 0 sampai dengan 1.

C. Pembangunan Model Open System

Dalam penelitian ini, model *open system* dibangun dengan menggunakan metode *Bayesian Network*. Berikut ini adalah penjelasan mengenai tahapan dari pembangunan model yang terdiri dari penjelasan hubungan *Causal* atau sebab-akibat, perhitungan dari masing-masing faktor dan pengujian dari model yang telah dibangun:

❖ Hubungan Causal (Sebab-Akibat)

Langkah awal dalam membangun model *open system* dengan metode *Bayesian Network* adalah dengan menjelaskan secara komprehensif hubungan sebab-akibat antara jumlah konsumsi energi listrik dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya.



Gambar 3.2. Contoh Hubungan Sebab-Akibat Jumlah Konsumsi Energi Listrik di Kawasan Industri

❖ Perhitungan Probabilitas Masing-Masing Faktor

Langkah yang selanjutnya dilakukan didalam membuat model *Bayesian Network* adalah menentukan probabilitas kejadian untuk masing-masing *node* (faktor) dan hubungan antar *node-node* tersebut. Dalam penelitian ini, probabilitas kejadian dihitung berdasarkan

frekuensi munculnya *state* atau kombinasi *state* dari masing-masing *node*. Berikut ini adalah persamaan (4) dan persamaan (5) yang menunjukkan *conditional probability* dan persamaan (6) yang menunjukkan *Joint Probability* (Wu et al. 2005).

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \tag{4}$$

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)} \tag{5}$$

$$P(A \cap B) = P(A|B) \times P(B) \text{ atau} \\ P(A \cap B) = P(B|A) \times P(A) \tag{6}$$

❖ Pengujian Model *Open System* (Model *Bayesian Network*)

Setelah semua probabilitas kejadian pada masing-masing *node* telah dihitung, maka model *Bayesian Network* dapat dikatakan lengkap dan dapat dilakukan pengujian terhadap model tersebut. Pengujian ini berfungsi untuk mengukur tingkat akurasi atau tingkat kesesuaian pola pergerakan dari model yang telah dibangun. Data yang digunakan untuk pengujian model adalah 15 data atau 25% dari data keseluruhan.

Pengujian model *Bayesian Network* dilakukan dengan cara mengatur *evidence* di masing-masing *node* terluar (*node* faktor yang mempengaruhi 1, *node* faktor yang mempengaruhi 2, dan seterusnya), berdasarkan *state* di setiap bulannya

D. Pembangunan Model Kombinasi antara *Open* dan *Closed System*

Model kombinasi dibangun dengan menggabungkan antara model Holt's dengan model *Bayesian Network*. Pada dasarnya, tingkat kesesuaian dari model Holt's lebih tinggi daripada tingkat kesesuaian dari model *Bayesian Network*, sehingga adanya kombinasi dari kedua metode ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi peramalan jumlah konsumsi energi listrik. Pembangunan model kombinasi ini mengikuti persamaan-persamaan pada model Holt's yang dimulai dengan mencari estimasi nilai *level* dan nilai *trend* hingga nantinya didapatkan nilai dari hasil peramalan.

Dari hasil pengujian model, didapatkan tingkat kesesuaian pola yang cukup signifikan. Dimana tingkat kesesuaian pola tersebut pada dasarnya sama dengan tingkat kesesuaian dari model Holt's sendiri, namun dari perhitungan *error* MAPE, MAD, dan MSD, model kombinasi Holt's dan *Bayesian Network* memiliki nilai *error* yang lebih kecil dibandingkan dengan model Holt's. Dengan demikian, adanya model kombinasi ini ternyata dapat meningkatkan akurasi peramalan. Selain itu, model kombinasi ini juga dapat menghasilkan angka besarnya jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri ketika jumlah konsumsi energi listrik diramal akan meningkat atau menurun.

E. Keunggulan dan Kelemahan Model

Model usulan peramalan yang menggabungkan antara model Holt's dengan model *Bayesian Network* ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode peramalan awal (*closed system*), yaitu model usulan dapat menghasilkan angka besarnya jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri ketika jumlah energi listrik diramalkan akan meningkat ataupun akan menurun, memiliki kemampuan untuk mengikuti pola pergerakan data aktual yang lebih baik daripada metode peramalan awal dan juga memiliki tingkat akurasi yang lebih baik, dan memberikan sebuah model peramalan baru didalam meramalkan jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri dengan tidak hanya mempertimbangkan data historis tetapi juga beberapa faktor yang berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri.

Namun, model usulan tersebut juga memiliki kelemahan, yaitu dibutuhkan *effort* (usaha) lebih untuk mencari data karena data yang dibutuhkan tidak hanya berupa data historis, tetapi juga data mengenai faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik. Selain itu, dibutuhkan juga *effort* lebih untuk mengolah data tersebut hingga pada akhirnya dihasilkan model usulan peramalan ini.

F. Pengelolaan Energi Listrik di Kawasan Industri Ketapang Kota Pangkal Pinang (Studi Kasus)

◆ Pembangunan Model *Closed System*

Dalam penelitian ini, model *closed system* dibangun dengan menerapkan ide dari metode Holt's. Untuk membangun model tersebut, data yang digunakan adalah 75 persen dari data keseluruhan dan 25 persen data sisanya digunakan untuk menguji model. Dengan demikian data yang digunakan untuk membangun model adalah data konsumsi energi listrik di kawasan industri Ketapang dari bulan Januari 2012 sampai dengan September 2015, sedangkan data konsumsi energi listrik dari bulan Oktober 2015 sampai dengan Desember 2016 digunakan untuk menguji model.

Tabel 3.1. Hasil Pengujian Terhadap Metode Holt's

No	Bulan	Peramalan dengan Metode Holt's		Sesuai atau Tidak Sesuai
		Forecast Jumlah Konsumsi Energi Listrik	Peramalan	
1	Okt 2015	1.694.024,22	Menurun	Tidak Sesuai
2	Nov 2015	1.789.883,80	Menurun	Tidak Sesuai
3	Des 2015	1.924.913,62	Menurun	Sesuai
4	Jan 2016	1.925.975,25	Meningkat	Sesuai
5	Feb 2016	1.938.818,42	Meningkat	Sesuai
6	Mar 2016	1.952.569,32	Meningkat	Sesuai
7	Apr 2016	1.978.018,42	Menurun	Sesuai
8	Mei 2016	1.983.024,88	Meningkat	Sesuai
9	Jun 2016	2.062.740,19	Menurun	Tidak Sesuai
10	Jul 2016	2.181.460,79	Menurun	Sesuai

11	Agust 2016	2.174.266,96	Meningkat	Sesuai
12	Sept 2016	2.168.572,97	Meningkat	Sesuai
13	Okt 2016	2.259.851,83	Menurun	Sesuai
14	Nov 2016	2.254.983,25	Meningkat	Sesuai
15	Des 2016	2.343.575,05	Menurun	Sesuai
MAPE		12,87%		
MAD		3,068 x 10⁵		
MSD		1,471 x 10¹¹		
Tingkat Kesesuaian Pola		80%		

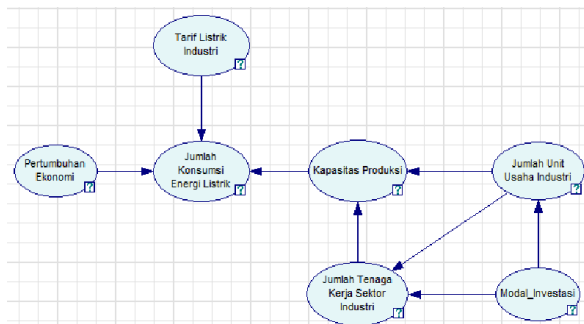
Perhitungan dengan metode Holt's ini mengikuti Persamaan (1) untuk mencari estimasi nilai level, Persamaan (2) untuk mencari estimasi nilai trend, dan Persamaan (3) untuk mendapatkan hasil peramalan, yaitu dengan menambahkan estimasi nilai level dengan estimasi nilai trend. Pada metode ini, terdapat konstanta pemulusan nilai level (α) dan konstanta pemulusan nilai trend (β) yang bernilai antara 0 sampai dengan 1.

Nilai awal untuk estimasi nilai level ditetapkan memiliki nilai yang sama dengan nilai pertama dari data pembangun, sedangkan nilai awal untuk estimasi nilai trend ditetapkan memiliki nilai 0. Setelah digunakan bantuan solver untuk meminimumkan nilai MSD pada data pembangun, maka didapatkan nilai α sebesar 0,141 dan nilai β sebesar 0,032.

Dari hasil pengujian model *close system* (model Holts) pada Tabel 3.1 tersebut didapatkan nilai error MAPE sebesar 12,87%, MAD sebesar 3,068 x 10⁵, dan MSD sebesar 1,471 x 10¹¹. Sedangkan untuk tingkat kesesuaian pola dari model tersebut sebesar 80,00%.

◆ **Pembangunan Model *Open System***

1). Hubungan *Causal* (Sebab-Akibat)



Gambar 3.3. Hubungan Sebab-Akibat Jumlah Konsumsi Energi Listrik di Kawasan Industri Ketapang Kota Pangkalpinang.

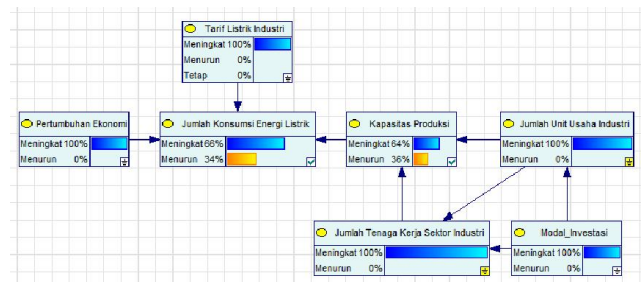
2). Perhitungan Probabilitas Masing-Masing Faktor

Langkah yang selanjutnya dilakukan didalam membuat model *Bayesian Network* adalah menentukan probabilitas kejadian untuk masing-masing *node* (faktor) dan hubungan antar *node-node* tersebut. Dalam penelitian ini, probabilitas kejadian dihitung berdasarkan frekuensi munculnya *state* atau kombinasi *state* dari masing-masing *node*. Berikut ini adalah persamaan (4) dan persamaan (5) yang

menunjukkan *conditional probability* dan persamaan (6) yang menunjukkan *Joint Probability*.

3). Pengujian Model *Open System* (Model *Bayesian Network*)

Setelah semua probabilitas kejadian pada masing-masing node telah dihitung, maka model *Bayesian Network* dapat dikatakan lengkap dan dapat dilakukan pengujian terhadap model tersebut. Pengujian ini berfungsi untuk mengukur tingkat akurasi atau tingkat kesesuaian pola pergerakan dari model yang telah dibangun. Data yang digunakan untuk pengujian model adalah data dari bulan Oktober 2015 hingga Desember 2016. Faktor atau node pada model Bayesian Network tersebut dibangun dengan menggunakan software GeNie 2.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut ini:



Gambar 3.4. Pengujian Model Bayesian Network untuk Bulan Oktober 2015

Pengujian model *Bayesian Network* dilakukan dengan cara mengatur *evidence* di masing-masing node terluar (node tarif listrik industri, pertumbuhan ekonomi dan modal (investasi)), berdasarkan state di setiap bulannya. Dari 15 data yang digunakan untuk proses pengujian model, data pertumbuhan ekonomi, tarif listrik industri dan modal (investasi) mengalami perubahan state antara meningkat, menurun atau tetap. Hasil keseluruhan dari proses pengujian model tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2. Hasil Pengujian terhadap Model Bayesian Network

Bulan	Prediksi Bayesian Network			Sesuai atau Tidak Sesuai
	Meningkat	Menurun	Prediksi	
Okt 2015	0,66	0,34	Meningkat	Sesuai
Nov 2015	0,66	0,34	Meningkat	Sesuai
Des 2015	0,66	0,34	Meningkat	Tidak Sesuai
Jan 2016	0,18	0,82	Menurun	Tidak Sesuai
Feb 2016	0,61	0,39	Meningkat	Sesuai
Mat 2016	0,18	0,82	Menurun	Tidak Sesuai
Apr 2016	0,18	0,82	Menurun	Sesuai
Mei 2016	0,43	0,57	Menurun	Tidak Sesuai
Jun 2016	0,43	0,57	Menurun	Tidak Sesuai
Jul 2016	0,18	0,82	Menurun	Sesuai
Agust 2016	0,43	0,57	Menurun	Tidak Sesuai

Sept 2016	0,66	0,34	Meningkat	Sesuai
Okt 2016	0,66	0,34	Meningkat	Tidak Sesuai
Nov 2016	0,66	0,34	Meningkat	Sesuai
Des 2016	0,66	0,34	Meningkat	Tidak Sesuai
Tingkat Kesesuaian Pola				46,67%

Dari hasil pengujian model pada Tabel 3.2 tersebut, dapat dilihat bahwa model *Bayesian Network* yang telah dibangun memiliki tingkat kesesuaian pola dengan pola pergerakan data aktual sebesar 46,67%. Angka ini masih lebih kecil daripada tingkat kesesuaian pola yang dihasilkan oleh metode Holt's, sehingga dengan adanya kombinasi antara kedua metode ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi peramalan jumlah konsumsi energi listrik.

◆ **Pembangunan Model Kombinasi Antara *Open dan Closed System***

Model kombinasi dibangun dengan menggabungkan antara model Holt's dengan model Bayesian Network. Pada dasarnya, tingkat kesesuaian dari model Holt's lebih tinggi daripada tingkat kesesuaian dari model Bayesian Network, sehingga adanya kombinasi dari kedua metode ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi peramalan jumlah konsumsi energi listrik. Pembangunan model kombinasi ini mengikuti persamaan-persamaan pada model Holt's yang dimulai dengan mencari estimasi nilai level dan nilai trend hingga nantinya didapatkan nilai dari hasil peramalan.

Pada model kombinasi ini, didapatkan nilai α sebesar 0,14097 dan nilai β sebesar 0,04044. Nilai-nilai tersebut didapatkan dengan menggunakan bantuan solver yang meminimumkan nilai MSD pada data pembangun. Dalam data pembangun dan data pengujian, hasil peramalan didapatkan dari penambahan ataupun pengurangan antara estimasi nilai level dengan perkalian probabilitas dan estimasi nilai trend. Proses penambahan atau pengurangan dan juga probabilitas bergantung pada hasil peramalan dari model Bayesian Network.

Tabel 3.3. Hasil Pengujian terhadap Model Kombinasi Holt's dan *Bayesian Network*

No	Bulan	Peramalan dengan Metode Holt's		Sesuai atau Tidak Sesuai
		Forecast Jumlah Konsumsi Energi Listrik	Peramalan	
1	Okt 2015	1.693.904,66	Menurun	Tidak Sesuai
2	Nov 2015	1.789.012,51	Menurun	Tidak Sesuai
3	Des 2015	1.923.539,04	Menurun	Sesuai
4	Jan 2016	1.892.268,02	Meningkat	Sesuai
5	Feb 2016	1.938.524,37	Meningkat	Sesuai
6	Mar 2016	1.921.384,24	Meningkat	Sesuai
7	Apr 2016	1.946.992,63	Menurun	Sesuai
8	Mei 2016	1.958.834,81	Meningkat	Sesuai

9	Jun 2016	2.035.405,73	Menurun	Tidak Sesuai
10	Jul 2016	2.142.351,99	Menurun	Sesuai
11	Agust 2016	2.144.952,08	Meningkat	Sesuai
12	Sept 2016	2.172.368,25	Meningkat	Sesuai
13	Okt 2016	2.263.335,13	Menurun	Sesuai
14	Nov 2016	2.259.317,42	Meningkat	Sesuai
15	Des 2016	2.347.634,15	Menurun	Sesuai
MAPE				12,62%
MAD				3,028 x 10⁵
MSD				1,483 x 10¹¹
Tingkat Kesesuaian Pola				80%

Dari hasil pengujian model di atas, didapatkan tingkat kesesuaian pola sebesar 80%. Angka ini pada dasarnya sama dengan tingkat kesesuaian dari model Holt's sendiri, namun apabila dilihat dari perhitungan error MAPE, MAD, dan MSD, model kombinasi Holt's dan Bayesian Network memiliki nilai error yang lebih kecil dibandingkan dengan model Holt's. Dengan demikian, adanya model kombinasi ini ternyata dapat meningkatkan akurasi peramalan. Selain itu, model kombinasi ini juga dapat menghasilkan angka besarnya jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri Ketapang kota Pangkalpinang ketika jumlah konsumsi energi listrik diramal akan meningkat atau menurun.

IV. KESIMPULAN

Pengembangan model usulan untuk mengelola konsumsi energi listrik dengan meramalkan jumlah energi listrik di kawasan industri dengan tidak hanya mempertimbangkan data historis saja tetapi juga beberapa faktor yang berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri tersebut dilakukan dengan menggabungkan antara model Holt's dengan model *Bayesian Network*. Model usulan ini memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan model awal (*closed system*). Model usulan ini juga memiliki kemampuan untuk mengikuti kesesuaian pola pergerakan data aktual secara signifikan. Nilai tersebut dihitung berdasarkan total frekuensi kesesuaian antara pola pergerakan model usulan dengan pola pergerakan data aktual jumlah konsumsi energi listrik.

Untuk pengembangan model usulan untuk mengelola konsumsi energi listrik dengan cara meramalkan jumlah energi listrik di kawasan industri Ketapang kota Pangkalpinang dengan tidak hanya mempertimbangkan data historis saja tetapi juga beberapa faktor yang berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri Ketapang kota Pangkalpinang tersebut telah dilakukan dengan menggabungkan antara model Holt's dengan model Bayesian Network. Model usulan ini memiliki nilai MAPE sebesar 12,62%, nilai MAD sebesar 3,028 x 10⁵, dan nilai MSD sebesar 1,483 x 10¹¹, didalam meramalkan jumlah konsumsi energi listrik di kawasan industri kota Pangkalpinang. Model usulan ini juga memiliki kemampuan untuk mengikuti kesesuaian pola pergerakan data aktual sebesar 80,00%. Nilai tersebut

dihitung berdasarkan total frekuensi kesesuaian antara pola pergerakan model usulan dengan pola pergerakan data aktual jumlah konsumsi energi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Do, L. P. C., Lin, K. H. and Molnar, P., 2016, Electricity Consumption Modeling: A Case of Germany, *Journal of Economic Modelling* 55, 92-101.
- [2] Moshe, Y, Vardi., 1997, Verification of Open System, Foundations of software Technology and Theretical Computer Science, *Proceeding: 17th Conference Kharagpur*, India.
- [3] Pramitaningrum, E. dan Masruroh, N. A., 2013, Development of Waste Monitoring Model in Yogyakarta City Using Bayesian Network Method, *Proceeding of International Conference on Industrial Engineering and Service Science*, Surabaya.
- [4] Sterman, J. D., 2004, Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World, Irwin/McGraw-Hill, Boston.
- [5] Taylor, B. W., 2010, *Introduction to Management Science 10th Edition*, Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- [6] Krause, P. J., 1998, Learning Probabilistic Networks, *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 13, No. 4.
- [7] Neapolitan, R. E., 2004, *Learning Bayesian Networks*, Northeastern Illinois University, Chicago
- [8] Wu, Y.P., Hu, Q.P., Poh, K.L., Ng, S.H., dan Xie, M., 2005, Bayesian Networks Modeling for Software Inspection Effectiveness, *Proceedings of the 11th International Symposium Pacific Rim Dependable Computing (PRDC 2005)*.
- [9] Hanke, J. E. dan Wichern, D. W., 2005, *Business Forecasting 8th Ed*, Pearson Prentice Hall, New Jersey.