



JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT





JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT
JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH

Penanggung Jawab

Ir. Temmy Wikaningrum, M.Si.

Dewan Editor

Prof. Dr.-Ing. Ir. Suprihatin	Institut Pertanian Bogor
Ir. R. Driejana, M.SCE, Ph.D.	Institut Teknologi Bandung
Dr. Muhammad Syifan Ahmadin	Sullivan University Kentucky
Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.S.E., M.Sc., Ph.D.	Institut Teknologi Sepuluh November
Dr. Astri Rinanti Nugroho, M.T.	Universitas Trisakti
Dr. Ir. Yunita Ismail, M.Si.	Universitas Presiden
Dr. Yusmaniar, M.Si.	Universitas Negeri Jakarta
Dr. Ani Mulyasuryani, MS	Universitas Brawijaya
Ir. Ramadhani Yanidar, M.T.	Universitas Trisakti
Ir. Aris Dwi Cahyanto, M.Si	PT Jababeka Infrastruktur
Anindrya Nastiti, S.T. M.T.	Institut Teknologi Bandung

Ketua Editor Pelaksana

Rijal Hakiki, S.S.T., M.T.	Universitas Presiden
----------------------------	----------------------

Editor Pelaksana

Filson M. Sidjabat, S.T., M.T.	Universitas Presiden
Yandes Panelin, S.T., M.T.	Universitas Presiden
Sukino, S.I.P.	Universitas Presiden

Alamat Redaksi

JEN Journal of Environmental Engineering & Waste Management
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Building A Lt. 3 President University
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang Baru, Bekasi 17550 – Indonesia
Phone./Fax: (021) 8910 9762 / 9768; Email: j-env@president.ac.id
Website: env.president.ac.id (President University: www.president.ac.id)

JENV adalah jurnal yang mengkaji berbagai masalah/persoalan terkini yang bersifat mendasar atau terapan yang berhubungan dengan bidang teknik dan pengelolaan lingkungan serta pengelolaan limbah dengan frekuensi penerbitan dua kali setahun pada April dan Oktober. Kelayakan pemuatan dipertimbangkan oleh penilai dengan *blind review* berdasarkan keaslian dan keabsahan ilmiah.



JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING & WASTE MANAGEMENT
JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH

Volume 3, No.1, April 2018

EDITORIAL

Pembaca yang terhormat, Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah (JENV) yang terbit bulan April 2018 ini merupakan jurnal edisi kelima yang diterbitkan oleh Universitas Presiden. Dengan tujuan untuk berkontribusi secara nyata di bidang Teknik Lingkungan berdasarkan ilmu pengetahuan, manajemen dan teknologi yang terkini, kehadiran jurnal ini diharapkan mampu memberikan inspirasi terhadap solusi masalah-masalah lingkungan yang semakin memerlukan perhatian yang memadai.

Pada edisi kelima Jurnal JENV ini terdapat dua makalah di bidang energi terbarukan : *Wastewater Sludge As An Alternative Energy Resource: A Review* dan Potensi Gamal (*Gliricidia sepium*) Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa, Studi Kasus : Kabupaten Manggarai Timur (NTT); satu makalah di bidang perancangan instalasi pengolahan air : Perancangan Teknologi *Reverse Osmosis* Dengan Memanfaatkan Air Efluen Pengolahan Air Limbah Sebagai Bahan Baku Dalam Upaya Mengefisiensikan Pemakaian Air Bersih Dari Kawasan Industri MM2100, (Studi Kasus pada PT Yutaka Manufacturing Indonesia); satu makalah mengenai analisis kebutuhan air : Analisis Kebutuhan Air Bersih di Kecamatan Selat Nasik Kabupaten Belitung Provinsi Bangka Belitung Tahun 2017; serta satu makalah di bidang manajemen lingkungan : Prospek Skenario Kebijakan Pengelolaan Lingkungan Kawasan Industri, Studi Kasus Kawasan Industri Jababeka dan EJIP di Kabupaten Bekasi.

Semua tulisan ilmiah yang dipublikasikan telah melalui proses seleksi dengan metoda *blind review* oleh dewan redaksi dan mitra bestari.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada dewan pengarah, dewan redaksi, editor pelaksana, tim sekretariat dan para penulis yang telah memberikan peran secara aktif sehingga penerbitan Jurnal JENV ini dapat terlaksana dengan baik. Kami berharap Jurnal JENV volume 3 nomor 1 bulan April 2018 ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu dan pendidikan di Indonesia, khususnya di bidang Lingkungan Hidup.

Ketua Dewan Editor

WASTEWATER SLUDGE AS AN ALTERNATIVE ENERGY RESOURCE: A REVIEW

T. Kurniawan¹, R. Hakiki², and F.M. Sidjabat³

Faculty of Engineering, President University

Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, Jawa Barat 17550

¹tetuko@president.ac.id, ²rijalhakiki@president.ac.id, ³fmsidjabat@president.ac.id

Abstract: In recent years, concerns regarding to wastewater sludge disposal have increased globally. Production of sludge has increased recently due to the growth of population. Wastewater sludge classified as a hazardous substance, it is not easy to dispose because of certain treatment is required. Typically, sludge is treated at secured landfill which its limited in availability and expensive. On the other hand, wastewater sludge originated from biological treatment contains organic substance that can be converted into alternative energy resources. A technology is needed that is able to reduce the volume of sludge and convert sludge into energy source. We present an overview of various technologies that can be used for conversion of sludge into energy resources. Those technologies are anaerobic digestion, pelletization, combustion, pyrolysis and gasification. Progress and challenges of each technology is presented in detail. A summary of sludge characteristic originated from different source will be discussed as well. Emissions and residues that determines the environmental impact is also considered. Referring to some previous research, it known that wastewater sludge, as unwanted product, has the potential to become future energy resource. This potential can only be used properly if the method of conversion are effective and efficient.

Keywords: *sludge characteristic, energy recovery, thermochemical process, residues, emission*

Abstrak: Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap pembuangan lumpur yang berasal dari pengolahan limbah cair meningkat tajam di seluruh dunia. Peningkatan produksi lumpur disebabkan oleh peningkatan jumlah populasi penduduk. Lumpur yang berasal dari pengolahan limbah cair diklasifikasikan sebagai limbah B3, sehingga memerlukan proses pengolahan tertentu sebelum dibuang ke TPA khusus yang terbatas dalam ketersediaan lahan dan membutuhkan biaya yang tidaklah murah. Di sisi lain, lumpur yang berasal dari pengolahan biologis mengandung senyawa organik yang dapat dikonversi menjadi sumber energi alternatif. Beragam teknologi yang telah digunakan diantaranya adalah penguraian anaerobik, pembuatan pellet, pembakaran, pirolisis dan gasifikasi. Perkembangan dan tantangan masing-masing teknologi, karakteristik lumpur yang berasal dari berbagai sumber, serta dampak kesehatan dan lingkungan yang disebabkan oleh emisi gas buang dan residu merupakan beberapa hal yang dibahas, dipertimbangkan dan disajikan secara rinci dalam tulisan ini. Mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya, diketahui bahwa lumpur yang dihasilkan pengolahan air limbah, sebagai produk yang tidak diinginkan, memiliki potensi untuk menjadi sumber energi masa depan. Potensi ini hanya dapat dimanfaatkan secara optimal dengan metode konversi yang efektif dan efisien.

Kata Kunci: *karakteristik lumpur, pemulihan energy, proses termokimia, residu, emisi*

INTRODUCTION

Bio-solid, could be defined as wastewater sludge resulted from WWTP that utilize biological process as the main treatment. This kind of sludge is classified as hazardous waste according to Indonesia's Government Regulation No. 101/2014. **Figure 1** shows wastewater coming out from Jababeka Industrial Park (Indonesia) and the sludge resulted from separation process of solid particles from the wastewater. It was dried before being delivered to disposal facility. Daily production in Jababeka WWTP may reach

more than 3 ton dry sludge / day. Gao et al. (2014) described that the amount of sludge production is growing due to the rapid urbanization and industrialization.

Disposal of wastewater sludge is crucial process because of its hazardous characteristics. It is not allowed to be disposed at just any landfill; rather it must be disposed at typical secured landfill which is limited and expensive. Johnson et al. (2008) reported that the cost of disposing sludge can be very high so that it become major part of WWTP operational budget. Alternatively, industries can turn

dry sludge that contains high organic content as an alternative raw materials for cement production process. On the other hand, organic contents of wastewater sludge has the potential to be used as alternative energy sources (Karayildirim et al., 2006); (Hakiki et al., 2018). It can contribute towards energy supplies in heat, power or in combined Heat and Power (CHP) if properly exploited.

In the light of sludge disposal problem and its energy potential, this topic has drawn interest from various researcher all around the world. Various solutions were reported that aims to reduce the amount of sludge volume and its negative environmental impact by converting sludge into energy resource. This paper aims to investigate those various solutions and present the progress of this topic in systematic manner. A review of various sludge characteristic is presented as well in this paper in order to give overview of sludge content.

WASTEWATER SLUDGE CHARACTERISTICS

Various source of sludge can be grouped into two: Municipal and Industrial. Characterization of municipal wastewater sludge has been done previously by Atienza-Martinez et al. (2015); Folgueras et al. (2013); Fonts et al. (2009); Fonts et al. (2012); Gao et al. (2014); Li et al. (2015) and Kupka et al. (2008).

There were various industrial sludge based on its origin. Chen et al. (2011) conducted characterization of sludge from Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display (TFL-LCD) industries. Chiou et al. (2014) used sludge originated from pulp and textile industries. Magdziarz and Werle (2014) performed characterization on thermal power plant originated sludge. The list of various type of sludge and its characteristic is shown in **Table 1**.

Almost all reported characterization activities are based on the use of “end-treatment sludge” that is the sludge resulted from the final process of

wastewater treatment in WWTP. However, wastewater treatment consisted of many stages and each stage produces different sludge composition (Syed-Hassan et al., 2017). Manara and Zabaniotou (2012) conducted a review and summarized the characteristics of various type of sludge on each treatment stage. Those types are: are 1) Primary sludge produced from the primary treatment, 2) biological sludge produced from secondary treatment, 3) mixed sludge that is a mixture of primary and biological sludge, and 4) tertiary sludge produced from the tertiary or advanced wastewater treatment.



Figure 1. (a) The Industrial Wastewater ; (b) Mechanical separation of solid particles from wastewater; (c) Dried sludge

The summary of sludge characteristics from various prior researches are shown in **Table 1**. We can see that there are just several parameters shown, such as the % mol of carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O), nitrogen (N), sulfur (S), volatile matter (VM), fixed carbon (FC) and ash. Other parameters were not included in this summary such as moisture, dry matter and another trace mineral because of the common facts that the thermal or biological conversion of organic contents could results the energy. Eventhough it may affect the efficiency for thermal or biological conversion process. Variation in

composition observed from various prior research (shown in **Table 1**), C content is about 18% - 55% of the total weight; H content is about 1% - 7% of the total weight. O content is about 20% - 78% of

the total weight. N content is about 0.8% - 9% of the total weight, S content is about 0.5% - 2.1% of the total weight. The variation of composition depends on the initial characteristics of treated wastewater.

Table 1. Sludge characteristics from various research

No.	Author	Feedstock (Sewage Sludge Origin)	C	H	O	N	S	Volatile Matter	Fix Carbon	ASH	Calorific Value
			%	%	%	%	%	%	%	%	MJ/kg
1	Atienza-Martinez et al., 2015	Digested (municipal)	29.50	4.67	20.20	5.27	1.31	-	-	39.04	12.79 (HHV)
2	Chen et al., 2011	TFT-LCD industries	50.00	-	-	9.00	2.10	-	-	-	*5016 (cal/g)
3	Chiou et al., 2014	Pulp industries	18.48	1.78	78.82	0.83	-	-	-	-	8.73
		Textile Industries	32.15	5.73	59.04	1.36	1.64	-	-	-	5.1
4	Folgueras et al., 2013	Municipal	38.82	6.19	-	5.78	1.17	64.90	7.90	27.20	17.75
5	Fonts et al., 2009	Municipal	28.50	4.30	22.40	4.10	0.80	47.00	6.40	39.90	12.3 (HHV)
6	Fonts et al., 2012	Municipal	39.90	5.90	23.50	7.90	1.00	66.80	19.70	52.00	-
7	Gao et al., 2013	Municipal	36.45	5.93	25.74	7.03	0.77	59.06	9.36	24.08	-
8	Li et al., 2014	Municipal	36.11	5.25	-	6.50	1.03	57.22	6.09	31.27	15.59 (HHV)
9	Kupka, et al. 2008	Municipal	55.46	7.71	27.35	7.34	2.00	53.48	-	29.93	13.8 (LCV)
11	Magdziarz and Werle, 2014	Thermal power plant	32.30	4.90	24.90	5.30	0.57	64.70	-	-	13.12 (HHV)
12	Manara and Zabaniotou, 2012	Primary treatment	51.50	7.00	35.50	4.50	1.50	65.00	-	-	*4200 (kWh/t)
		Biological treatment (Low)	52.50	6.00	33.00	7.50	1.00	67.00	-	-	*4100 (kWh/t)
		Biological treatment (Low & Mid)	53.00	6.70	33.00	6.30	1.00	77.00	-	-	*4800 (kWh/t)
		Primary & Biological (Mix)	51.00	7.40	33.00	7.10	1.50	72.00	-	-	*4600 (kWh/t)
		Digested	49.00	7.70	35.00	6.20	2.10	50.00	-	-	*3000 (kWh/t)

Note : *) Value has different units

ENERGY RECOVERY TECHNOLOGIES

There are several options to recover sludge energy content (see **Figure 2**). Sludge may be digested anaerobically, pelletized or used directly in thermochemical process. Anaerobic digestion process involve microorganisms activities in certain condition to achieve the optimum substrate

degradation. Pelletization of sludge produces sludge-Refuse Derived Fuel (RDF) that can be use as fuel in either thermochemical options (combustion, pyrolysis and gasification). Each method will be discussed in detail below. Review on various researches result based on type of conversion technology is shown in **Table 2**.

Table 2. Sludge–energy recovery process by various researcher

Conversion Method	Author	Summary Process Used	Feedstock	Main Focus
Anaerobic Digestion Pelletization	Ting et al., 2007	Anaerobic digestion	Wastewater sludge	Production of H ₂ and CH ₄
	Chen et al., 2011	Mixing organic sludge with sawdust and asphalt.	Organic sludge from five TFT-LCD factories.	Characteristic of sludge refuse-derived fuel (RDF) and its combustion behaviour. Combustion properties of their RDF.
	Chiou et al., 2014	10 mm diameter pellet with length of 10 – 50 mm.	Pulp sludge & Textile sludge	Manufacturability of extruded sludge RDF by varying pulp sludge/textile sludge concentration and moisture content. Combustion properties of their RDF.
	Jiang et al., 2016	Pellet size 7 mm diameter and 70 mm height.	Urban sewage plant	Manufactured RDF from pure biomass and sludge-biomass mixture. Authors studied the energy consumption for pelletization process: compression energy and extrusion energy. Combustion properties of their RDF.
Pyrolysis	Hossain et al., 2009	Pyrolysis. Fix-bed reactor.	Domestic origin sludge, Commercial origin sludge, Industry origin sludge	Characteristics of synthesis gas component: CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ and H ₂ . Thermal energy requirement for successful pyrolysis for each different sludge samples.
	Karayildirim et al., 2016	Pyrolysis. Fix-bed reactor.	Industrial sewage sludge and Oil sludge	The characteristic of sludge before and after pyrolysis.
	McNamara et al., 2016	Pyrolysis. Fix-bed reactor	Wastewater biosolids	Energy content of pyrolysis resulted gas (py-gas) and pyrolysis resulted oil (py-oil) and its comparison with energy requirement for biosolids drying.
	Xiong et al., 2013	Pyrolysis. Fix-bed reactor.	Sewage sludge.	Influence of sludge moisture content to pyrolysis product. Pyrolysis was done in fix temperature of 1000°C. Higher moisture content gives better results: increase H ₂ production and reduces tar & light aromatics (toxic) production.
	Salleh et al., 2011	Fast pyrolysis. Fluidized-bed.	Combination of rice waste and sewage sludge	Focus on the production bio-oil by fast pyrolysis process.
	Pokorna et al., 2009	Fast pyrolysis. Fix-bed reactor.	Activated waste sludge, dewatered sludge	Fast pyrolysis to maximize the yield of oil product. Maximum oil yield is about 40%Wt.
Gasification	Werle, 2015	Air gasification. Fixed bed updraft gasifier.	Sewage sludge	Influence of composition and air temperature to the calorific value of syngas. The higher oxygen content and temperature of air, the higher the calorific value of syngas.
	Acelas et al., 2014	Supercritical water gasification. Batch process inside an autoclave.	Dewatered sewage sludge	Influence of Supercritical water temperature and its residence time to the syngas production. Higher temperature and longer residence time cause better production of H ₂ and CH ₄ .
	Roche et al., 2014	Air and Air-steam gasification. Dolomite was added in the process. Fluidized bed gasifier.	Dried sewage sludge.	Influence of throughput, steam and dolomite to the sludge gasification products. Higher throughput causes increases in tar production and decreases H ₂ content. The use of air mixed with steam and dolomite promote H ₂ production.
	Xie et al., 2010	Air gasification. Fixed – bed downdraft gasifier.	Sewage sludge.	Influence of sludge moisture content on gasification product. Gasification was performed at 800°C. Higher moisture content yield increases production of CO ₂ , CH ₄ , H ₂ and higher calorific value of syngas.
	Nipattumakul et al., 2010	Steam Gasification	Wet wastewater sludge	Syngas production with high concentration of hydrogen.

de Andres et al., 2011	Air gasification. Fixed – bed updraft gasifier.	Dried, aggregated, sewage sludge.	Influence of three primary catalyst: dolomite, olivine and alumina in gasification process. Dolomite performed the best tar reduction. The presence of water vapor and catalysts increases H ₂ production by 60%.
Reed et al., 2005	Continuous process fluidized bed gasifier. Air gasification. Air-N ₂ gasification. Air-steam-N ₂ gasification.	Dried sewage sludge pellets.	Influence of gasification bed temperature and type of sewage sludge to the concentration of various trace elements in final solid residues: bariums, copper, mercury, lead and zinc.
Petersen and Wether, 2004	Circulating Fluidized bed gasifier. Air Gasification. CO ₂ /N ₂ gasification. N ₂ Gasification.	Dried sewage sludge pellets.	Influence of air-fuel ratio, gasification temperature, feeding height and fluidization velocity to the gasification product. Authors found air-fuel ratio was the most important parameters affecting the quality of syngas.
Midili et al., 2002	Air gasification. Fixed bed downdraft gasifier.	Undigested and dried sewage sludge pellets.	Authors have successfully uses downdraft gasifier for gasification of sewage sludge pellets.

Anaerobic Digestion

Anaerobic digestion (AD) is one type of bio-chemical process that decomposes organic solid substance into gas phase by the activity of anaerobic microorganisms. Wastewater sludge act as a substrate undergoes processes such as hydrolysis, acidogenesis and methanogenesis step in the absence of free oxygen. Anaerobic microorganisms will convert carbon compound to produce gases such as CH₄, H₂ and CO₂. The resulted gas mixture is usually called as biogas. Ting and Lee (2007) reported a production of hydrogen and methane from wastewater sludge by using clostridium strain. The sludge sample was obtained from food-processing wastewater. Yang and Wang (2017) provide the critical review on sludge AD process.

Pelletization

Pelletization is a process in which solid waste is pressurized and extruded to form pellet, known as Refuse Derived Fuel (RDF). Typical solid waste formed RDF is 5 – 10 mm in diameter. The reason for making RDF from sludge was it offer easiness for storage and transportation, compared to sludge in its original form. Sludge RDF can be used as additional industrial fuel or combusted in incinerator. Alternatively, pyrolysis or gasification can be performed on sludge RDF in order to

produce other kind of fuel, as shown in Figure 2.

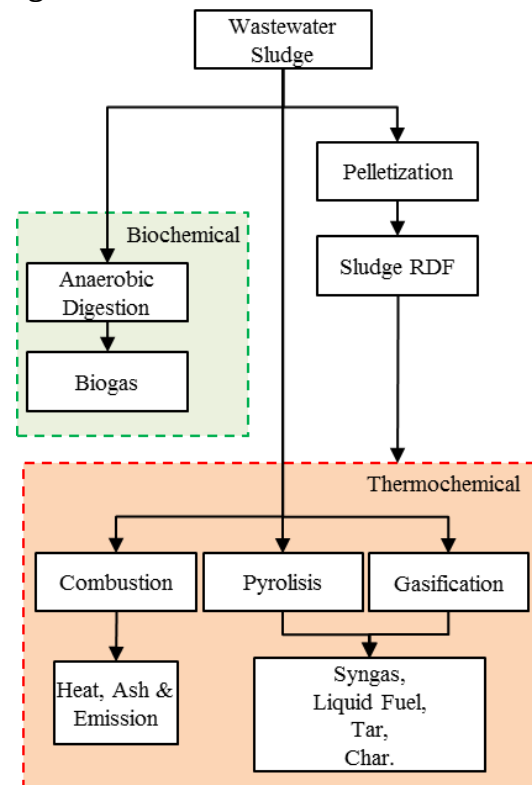


Figure 2. Routes for sludge energy recovery.

Chiou et al. (2014) performed pelletization of pulp & textile sludge mixture to produce RDF which size was 10 mm in diameter and 10 – 50 mm in length. They created and compared four types of RDF by combining variation of pulp sludge moisture content and proportion of textile sludge. They also studied the combustion

behavior for each type of RDF. Chen et al. (2011) have created sludge RDF by using five different sludge resulted from TFT-LCD production. They mixed their sludge with sawdust made from waste wooden pallets in order to increase the carbon content of RDF and reduce ash after combustion. The mixing ratio of sludge to sawdust was 10:1.

Asphalt also was added to the sludge mixture as binding agent of RDF. Jiang et al. (2016) investigated various pellet using pure biomass and biomass-sludge mixture. The biomasses were Chinese fir, camphor and rice straw. The sludge was obtained from urban sewage plant. Pellet size was 7 mm and 70 mm in diameter and height, respectively. There are two types of energy consumption for pelletization process: compression and extrusion. Interestingly, it was reported that the energy consumption for making pellet of sludge-biomass mixture was lower compared to the one in pure biomass. While the compression energy reduced to about half, the extrusion energy reduced was much lower, about one fifth of the energy required for making pure biomass pellet. It means that making pellet from sludge-biomass mixture can be conducted at low pressure and temperature.

Combustion

Combustion of solid substance is a process in which solid matter is burned with excessive amount of oxygen (oxidation agent). Its main function is to convert chemical energy of solid fuel into heat. **Figure 3** shows the combustion process of sludge. In the beginning sludge temperature increases and the water content evaporates. As temperature gets higher volatile matter was released and some of it reacts with oxygen, producing heat. After devolatilization, sludge has become char. Then, char react with various gases, forming other kind of gases. The char-gas reaction is also known as gasification. Heat produced from volatile combustion and subsequent processes are

enough for continuous gasification process without the need of external heat source. This is known as auto-gasification. Oxydation process continues during ash melting and chars combustion. When there is no combustible substance left, ash agglomerated. Combustion yields emissions and ash. Combustion of sludge usually occurs by using incineration. Chen et al. (2011); Chiou et al. (2014) and Jiang et al. (2016) have studied the combustion behavior of various sludge RDF.

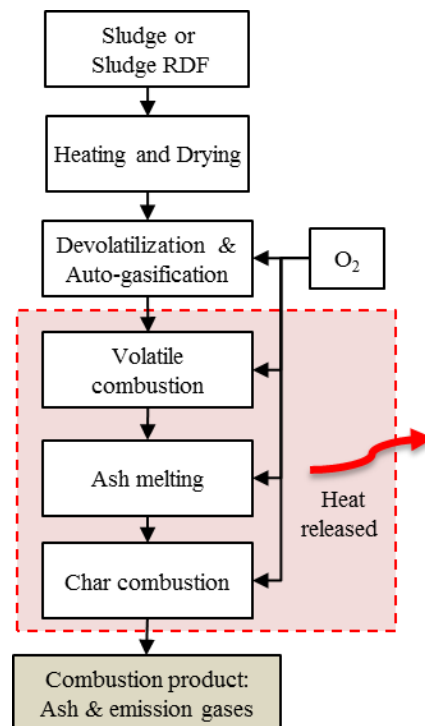


Figure 3. Combustion Process of Sludge.

There are four configuration of combustion chamber based on the flow of working fluid (oxidation medium such as air & oxygen) and the behavior of solid waste (bed): Fixed-bed with updraft flow, Fixed-bed with downdraft flow, Fluidized-bed, and entrained flow. Fixed bed is a reactor that solid fuel is located in fixed position usually above a screen or perforated plate. Updraft and downdraft flow defines the direction of working fluid. Fluidized-bed is condition where solid fuel particle is suspended by the working fluid. As the result of fluidizing, the solid fuel behaves like a fluid. Entrained flow is condition where solid fuel was crushed

into very small particle (smaller than the case of fluidized-bed) so that it can be injected to the combustion chamber by using nozzle. These different configurations of combustion chamber were applied as well to gasification and pyrolysis reactors.

Gasification

Gasification is a process, which solid substances are combusted in limited amount of oxidation agent to produce gas fuel that is known as synthesis gas (syngas). Gasification is a better option compared to direct combustion (e.g. incineration) and bio-chemical process because it offers faster route for volume reduction, flexibility usage of produced fuel gas and better control of environmental impact (Arena et al., 2012; Murphy et al., 2004; Young et al., 2010). Gasification is similar to combustion process in a way that both processes use heat (thermal energy) to decompose solid fuel into gas phase.

Typical oxidation medium in combustion is air whereas in gasification can be air, pure-oxygen, steam or other substance. In gasification, the energy released from decomposed solid fuel is packed into chemical energy in the form of gas fuel. On the contrary, combustion decomposes solid fuel and releases as much as possible the energy content in the form of heat. Basu et al. (2013) shows that gasification process can be divided into these stages (see **Figure 4**): 1) Heating and Drying. In this first stage, cold sludge receives heat and its temperature rises. The water starts to evaporate when the temperature reaches water saturated condition. 2) Devolatilization (or pyrolysis stage). In this second stage, sludge undergoes thermal cracking process which releases various light permanent gases. This process occurs from 160 °C until up to 700 °C. For biomass case, it releases gases such as H₂, CO, CO₂, CH₄, H₂O, and NH₃. This stage is also known as thermal decomposition or pyrolysis. 3) Some

chemical reactions (or gasification stage). At this stage, there are various chemical reactions occurred. Gas – gas phase reaction is reactions between different volatile gases or between volatile gases and oxidation medium. Char-Gas reactions are a reaction between char and gasifying medium to form gases product. The char – gas reactions is the reactions where solids of sludge are converted into gas (that is gasification process). Because of the char-gas reactions, this stage is usually called as gasification stage.

Midilli et al. (2002); Petersen and Werther (2005) and Reed et al. (2005) reported gasification process using sewage sludge pellet (sludge RDF). While the first author uses fixed-bed type gasifier, the last two authors uses fluidized bed gasifier. All authors have shown promising results of sludge RDF gasification. Although their experiments were not comparable because of different sludge characteristics, it is still worth to point out some of similarities and differences of their experimental results. Fixed-bed type gasifier (Midilli et al., 2002) yield syngas with overall calorific value of 4 MJ/m³ with hydrogen concentration about 10-11% (V/V). (Petersen and Werther, 2005) reported about the same value of calorific value (average calorific value obtained from various experiments of (Reed et al., 2005) Petersen and Werther (2004) was 4.7 MJ/m³). However, with higher reactor temperature and air-fuel ratio 0.3, syngas calorific value and hydrogen content was much higher, 5.5 MJ/m³ and 18%, respectively. (Reed et al., 2005) didn't discuss their gasification experiment from energetic point of view, rather than they focuses on the analysis of various heavy metals in the final solid residues. Xie et al. (2010), de Andrés et al. (2011) and Werle (2015) reported air gasification of sewage sludge (not in pellet form). de Andrés et al. (2011) focuses on the influence of adding catalyst: dolomite, olivine and alumina on gasification process. Xie et al. (2010) has shown interesting finding: gasification of

higher sludge moisture yields higher syngas quality that is higher hydrogen concentration and calorific value. Werle (2015) investigated the effect of air composition and temperature to the resulted syngas. It was shown that the higher oxygen content and temperature of air, the higher calorific value of the resulted syngas.

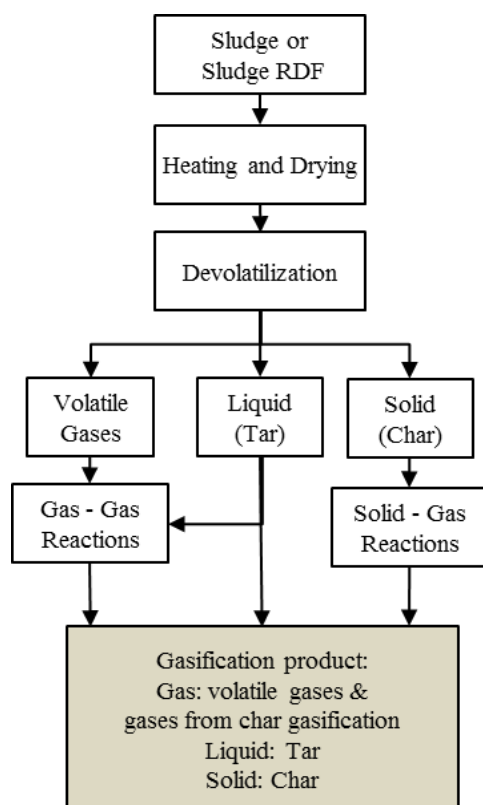


Figure 4. Gasification Process.

Gasification experiment of wet sludge by using steam as the gasifying medium was reported by Nipattummakul et al. (2010). The syngas produced from this process has high concentration of hydrogen, which is considered as high-quality syngas. It is known that steam gasification yields gas fuel with hydrogen to carbon ratio the highest compared to air-gasification or oxygen-gasification. Roche et al. (2014) performed experiment of air-steam gasification and air gasification. It was reported that air-steam gasification promotes hydrogen production compared to air gasification. Acelas et al. (2014) reported typical gasification process using

supercritical water. Their experiment results shown that higher temperature and longer residence time enhances the production of hydrogen and methane.

Pyrolysis

Pyrolysis is partial combustion that occurred without any oxygen or oxidating medium. Gasifying medium and heat are the requirements for gasification process, whereas only heat is required for pyrolysis process. One might get confused because pyrolysis which equal to devolatilization is one of the processes in gasification. The process of releasing gases from solid fuel is pyrolysis. In other words, gasification is a special type of pyrolysis which was designed to optimize solid to gas fuel conversion. Hossain et al. (2009) made comprehensive report of wastewater sludge pyrolysis originated from domestic, commercial and industrial wastewater.

Characterization of sludges and its pyrolysis product was reported. Energy balance analysis for successful pyrolysis process was also performed. Karayildirim et al. (2016) studied the characteristic and pyrolysis of industrial sewage sludge and oil sludge. The characterization of pyrolysis results: synthesis gas, liquid tar and char were also reported. McNamara et al. (2016) uses fix-bed type reactor for pyrolysis of wastewater biosolids. He also compared the energy generated from py-gas (pyrolysis resulted gas) and py-oil (pyrolysis resulted oil) to energy required for drying the biosolids.

Since above reports are mostly about pyrolysis experiment, it didn't address on how to optimize production of syngas out from sludge. The data presented in those report still very useful for theoretical prediction. Xiong et al. (2013) performed pyrolysis of sewage sludge at 1000°C. It was found that higher moisture of sludge cause increase hydrogen fuel production and reduces tar & light aromatic production. Salleh et al. (2011) and Pokorna et al. (2009) reported their experiment about fast pyrolysis of sludge.

Fast pyrolysis is a rapid heating of solid-fuel which followed by cooling process that cause the gas condensed into liquid-fuel. Different from gasification, the main focus of fast pyrolysis is to produce liquid fuel.

FUEL TYPES, EMISSION AND RESIDUES COMPARISON

Fuel Component from Different Recovery Technology

The main component fuel varies according to different characteristic of wastewater sludge, and feedstock. Some of fuel comparison can be seen in **Table 3**. Salleh et al., 2011 describes the majority chemical compounds of bio-oil from fast

pyrolysis were phenol, aromatic, nitrogenated compound, alkenes and alkanes. The biomass and bio-oil, includes alkanes, alkenes, ketones, aldehydes, esters, nitrogenous compounds, alcohols, phenols, aromatic/heterocyclic and other compounds (Arazo et al., 2017). Utilization of bio-oil produced from pyrolysis of sewage sludge as feed material seems possible. High distribution of fatty acid can lead to extraction of these acids and their utilization in chemical industry. High presence of nitrogenous compounds can improve added value of bio-oils by isolation of these compounds from the bio-oil. Esterification is also another option. (Pokorna et al., 2009).

Table 3. Fuel Types, Emission and Residues Comparison Review

No.	Author	Technology	Feedstock	Fuel Types	Energy Content/Calorific Value	Emissions/ Residues
1	Karayildirim et al., 2006	Pyrolysis	Mixed Sludge	Gas, Liquid	High GCV 29.9 MJ Nm ⁻³	NO, CO ₂ , CO
			Oil Sludge		35.8 MJ Nm ⁻³	Combustible gases
2	Salleh et al., 2011	Fast Pyrolysis	rice waste and sewage sludge	Gas, Bio-oil	N/A	Char/solid
3	Pokorna et al., 2009	Fast Pyrolysis	sewage sludge	Liquid	HHV/NET Bio-oil: 23.9 - 27.9 MJ/kg	Ash (57.9 - 75.1 wt%)
4	Hossain et al., 2009	Pyrolysis	Domestic, Commercial, Industry sludge	Gas, Liquid	(GCV at 550 °C) commercial: 825 kJ/kg; domestic: 660 kJ/kg; industrial: 370 kJ/Kg	syngas (CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ and H ₂ .)
5	Nipattumkul et al., 2010	Pyrolysis	Wet wastewater sludge	Syngas	HHV ± 24000 J/kg	C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , and C ₃ H ₈
		Gasification		Gas	HHV 17,500 – 19,500 J/kg	
6	McNamara, 2016	Pyrolysis	Wastewater Biosolids	Py-oil	2.1 MJ/kg - 3.0 MJ/kg-feed biosolids	CH ₄ , CO ₂
7	Arazo et al, 2017	Fast Pyrolysis	Domestic WWTP	Liquid	N/A	Ash, HCs, N ₂ , CO ₂
8	Xiong et al., 2013	Co-gasification	Woody biomass and sewage sludge	Py-gas, Py-oil	4.5 MJ/Nm ³ .(LHV average)	non condensable gas, char
9	Li et al., 2015	Co-pelletization	Municipal	Py-gas, Py-oil	8.43 kJ/L	non condensable gas, char
10	Atienza-Martínez et al., 2015.	Pyrolysis - Torrefaction	Digested (municipal)	Py-gas, Py-oil	HHV Char 25 - 30 MJ/kg JJV Liquid 41 - 43 MJ/kg	CO ₂ , non condensable gas, char
11	Fonts et al., 2009	Pyrolysis	Municipal	Py-gas, Py-oil	1934 ± 580 to 2721 ± 321 kcal/m ³ (NTP)	Non-condensable gas

Energy Content/Calorific Value

Energy content from the fuel may vary (see **Table 3**) due to process key parameters, such as the technology process

used, temperature, steam to carbon (S/C) ratio, water content, organic matter, characteristic of raw materials, etc. Prior researches are also focus on optimization

for pyrolysis/gasification products to gain higher amount of energy. Calorific values of the sludges and the pyrolysis products from three different sample of sewage sludges was conducted comprehensively, with the best results, concerning to pyrolysis products, are obtained with thickened excess activated sludge: 57.5% of organic matter is converted to bio-oil with calorific value of 24.7 MJ/kg and also the water content was the lowest: 10.3% (Gao et al., 2014).

The energy content of py-gas and py-oil was always greater than the energy required for pyrolysis. The enthalpy of pyrolysis for biosolids was calculated as the difference between the energy outputs (heating values of char, py-oil, py-gas plus sensible and latent heat losses) and the energy input (heating value of the biosolids feed). The enthalpy of pyrolysis ranged from 2.1 MJ/kg-feed biosolids to 3.0 MJ/kg-feed biosolids; this variability is due to experimental variation (McNamara et al., 2016). Comparison between steam gasification and pyrolysis had conducted, where the steam gasification yielded more syngas, hydrogen, energy and higher apparent thermal efficiency (ratio of syngas energy to energy in solid sewage material) as compared to that obtained from pyrolysis at the same temperature of 1173 K. Peak value of syngas yield, energy yield, and hydrogen yield was obtained at S/C ratio of 5.62. The results show that HHV obtained from pyrolysis was higher than that from gasification. This is attributed to higher contents of methane and hydrocarbons, and lower content of carbon dioxide. In case of gasification, the increase in S/C ratio slightly increased the HHV value of the syngas (Nipattummakul et al., 2010). Based on this review, by using pyrolysis or gasification technology, there are high potentials of fuel (energy) from wastewater sludge that can be recovered. Gasification and pyrolysis can reduced the amount of wastewater sludge, and gain fuel as energy resources.

Emissions/Residues

Different type of technology will give different emissions and residues. The solid residue of wastewater sludge pyrolysis is a charcoal-like product rich in carbon and mineral matter. The potential use of the char depends on its fundamental characteristics (Karayildirim et al., 2006). Bio-char has recently attracted attention as a soil amendment for improving the quality of agricultural soils for the increase of crop yield and soil properties (Hossain et al., 2009). The potential use of solids depends on their chemical characteristics. Some properties of pyrolytic solids are therefore determined, such as ash content (TGA), (Pokorna et al., 2009). Emissions gases (some of them are greenhouse gases) and residues (some of them has heavy metal substances) from pyrolysis/gasification can be treated in a controlled system by using purification technology to eliminate the negative impacts to health and the environment. Instead, thermochemical process can be combined with technologies to eliminate toxic/harmful substances should be implemented, such as air pollution control, and also carbon capture storage (CCS)/bio-sorption, to eliminate the negative impacts.

CONCLUSION

Characterization of various sludge from different origin presented here have proved the significant level of organic content in wastewater sludge. It means that sludge, as unwanted product, has the potential to become future energy resource. This potential can only be used properly if the method of conversion are efficient. There is no single superior conversion method above the other method. However gasification and pyrolysis have shown promising path of conversion because of their process flexibility. Depending on the sludge conditions, one can choose different configuration of gasification / pyrolysis process in order to produces fuel in the most efficient way. It was shown that high calorific fuel can be produced

from gasification and pyrolysis process. For domestic waste, char resulted by gasification and pyrolysis can be used in agriculture. Further research is needed to provide the best options for converting sludge that was derived from different stages of wastewater treatment, not only sludge that resulted from the end of treatment process.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was fully funded by President University through “Hibah Penelitian Dosen Tetap Universitas Presiden Tahun 2017” Lembaga Riset dan Pengabdian Masyarakat (LRPM) Scheme.

REFERENCES

- Acelas, N. Y., López, D. P., Brilman, D. W. F. (Wim), Kersten, S. R. A., & Kootstra, A. M. J. (2014). Supercritical water gasification of sewage sludge: Gas production and phosphorus recovery. *Bioresource Technology*, 174, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.003>
- Arazo, R. O., Genuino, D. A. D., de Luna, M. D. G., & Capareda, S. C. (2017). Bio-oil production from dry sewage sludge by fast pyrolysis in an electrically-heated fluidized bed reactor. *Sustainable Environment Research*, 27(1), 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2016.11.010>
- Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 32(4), 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>
- Atienza-Martínez, M., Fonts, I., Lázaro, L., Ceamanos, J., & Gea, G. (2015). Fast pyrolysis of torrefied sewage sludge in a fluidized bed reactor. *Chemical Engineering Journal*, 259, 467–480. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.08.004>
- Basu, P. (2013). *Biomass gasification, pyrolysis, and torrefaction: practical design and theory* (Second edition). Amsterdam ; Boston: Academic Press is and imprint of Elsevier.
- Chen, W.-S., Chang, F.-C., Shen, Y.-H., & Tsai, M.-S. (2011). The characteristics of organic sludge/sawdust derived fuel. *Bioresource Technology*, 102(9), 5406–5410. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.007>
- Chiou, I.-J., & Wu, I.-T. (2014). Evaluating the manufacturability and combustion behaviors of sludge-derived fuel briquettes. *Waste Management*, 34(10), 1847–1852. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.013>
- de Andrés, J. M., Narros, A., & Rodríguez, M. E. (2011). Behaviour of dolomite, olivine and alumina as primary catalysts in air–steam gasification of sewage sludge. *Fuel*, 90(2), 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.09.043>
- Folgueras, M. B., Alonso, M., & Díaz, R. M. (2013). Influence of sewage sludge treatment on pyrolysis and combustion of dry sludge. *Energy*, 55, 426–435. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.063>
- Fonts, I., Azuara, M., Gea, G., & Murillo, M. B. (2009). Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 85(1–2), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2008.11.003>
- Fonts, Isabel, Gea, G., Azuara, M., Ábrego, J., & Arauzo, J. (2012). Sewage sludge pyrolysis for liquid production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2781–2805. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.070>
- Gao, N., Li, J., Qi, B., Li, A., Duan, Y., & Wang, Z. (2014). Thermal analysis and products distribution of dried sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.002>
- Hakiki, R., Wikaningrum, T., & Kurniawan, T. (2018). The prospect of hazardous sludge reduction through gasification process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 106, 012092. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012092>
- Hossain, M. K., Strezov, V., & Nelson, P. F. (2009). Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 85(1–2), 442–446. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2008.09.010>
- Jiang, L., Yuan, X., Xiao, Z., Liang, J., Li, H., Cao, L., ... Zeng, G. (2016). A comparative study of biomass pellet and biomass-sludge mixed pellet: Energy input and pellet properties. *Energy Conversion and Management*, 126, 509–515. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.035>
- Johnson, B. R., Daigger, G. T., & Novak, J. T. (2008). BIOLOGICAL SLUDGE REDUCTION PROCESS MODELING WITH ASM BASED MODELS. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2008(11), 4908–4917. <https://doi.org/10.2175/193864708788805314>
- Karayildirim, T., Yanik, J., Yuksel, M., & Bockhorn, H. (2006a). Characterisation of products from pyrolysis of waste sludges. *Fuel*, 85(10–11), 1498–1508. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.12.002>
- Karayildirim, T., Yanik, J., Yuksel, M., & Bockhorn, H. (2006b). Characterisation of

- products from pyrolysis of waste sludges. *Fuel*, 85(10–11), 1498–1508. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.12.002>
- Kupka, T., Mancini, M., Irmer, M., & Weber, R. (2008). Investigation of ash deposit formation during co-firing of coal with sewage sludge, sawdust and refuse derived fuel. *Fuel*, 87(12), 2824–2837. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.01.024>
- Li, H., Jiang, L.-B., Li, C.-Z., Liang, J., Yuan, X.-Z., Xiao, Z.-H., ... Wang, H. (2015). Co-pelletization of sewage sludge and biomass: The energy input and properties of pellets. *Fuel Processing Technology*, 132, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.12.020>
- Magdziarz, A., & Werle, S. (2014). Analysis of the combustion and pyrolysis of dried sewage sludge by TGA and MS. *Waste Management*, 34(1), 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.033>
- Manara, P., & Zabaniotou, A. (2012). Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2566–2582. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.074>
- McNamara, P. J., Koch, J. D., Liu, Z., & Zitomer, D. H. (2016). Pyrolysis of Dried Wastewater Biosolids Can Be Energy Positive. *Water Environment Research*, 88(9), 804–810. <https://doi.org/10.2175/106143016X14609975747441>
- Midilli, A., Dogru, M., Akay, G., & Howarth, C. R. (2002). Hydrogen production from sewage sludge via a fixed bed gasifier product gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 7.
- Murphy, J. D., & McKeogh, E. (2004). Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. *Renewable Energy*, 29(7), 1043–1057. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.12.002>
- Nipattummakul, N., Ahmed, I., Kerdsuwan, S., & Gupta, A. K. (2010). High temperature steam gasification of wastewater sludge. *Applied Energy*, 87(12), 3729–3734. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.001>
- Petersen, I., & Werther, J. (2005). Experimental investigation and modeling of gasification of sewage sludge in the circulating fluidized bed. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(7), 717–736. <https://doi.org/10.1016/j.ccep.2004.09.001>
- Pokorna, E., Postelmans, N., Jenicek, P., Schreurs, S., Carleer, R., & Yperman, J. (2009). Study of bio-oils and solids from flash pyrolysis of sewage sludges. *Fuel*, 88(8), 1344–1350. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.020>
- Reed, G. P., Paterson, N. P., Zhuo, Y., Dugwell, D. R., & Kandiyoti, R. (2005). Trace Element Distribution in Sewage Sludge Gasification: Source and Temperature Effects. *Energy & Fuels*, 19(1), 298–304. <https://doi.org/10.1021/ef049943y>
- Roche, E., de Andrés, J. M., Narros, A., & Rodríguez, M. E. (2014). Air and air-steam gasification of sewage sludge. The influence of dolomite and throughput in tar production and composition. *Fuel*, 115, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.003>
- Salleh, F., Samsuddin, R., & Husin, M. (n.d.). Bio-Fuel Source from Combination Feed of Sewage Sludge and Rice Waste, 5.
- Syed-Hassan, S. S. A., Wang, Y., Hu, S., Su, S., & Xiang, J. (2017). Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 888–913. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.262>
- Ting, C., & Lee, D. (2007). Production of hydrogen and methane from wastewater sludge using anaerobic fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(6), 677–682. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.06.063>
- Werle, S. (2015). Gasification of a Dried Sewage Sludge in a Laboratory Scale Fixed Bed Reactor. *Energy Procedia*, 66, 253–256. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.046>
- Xie, L., Li, T., Gao, J., Fei, X., Wu, X., & Jiang, Y. (2010). Effect of moisture content in sewage sludge on air gasification. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 38(5), 615–620. [https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(10\)60048-5](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(10)60048-5)
- Xiong, S., Zhuo, J., Zhang, B., & Yao, Q. (2013). Effect of moisture content on the characterization of products from the pyrolysis of sewage sludge. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 104, 632–639. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.05.003>
- Yang, G., & Wang, J. (2017). Fermentative hydrogen production from sewage sludge. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(14), 1219–1281. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1348107>
- Young, G. C. (2010). *Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes: Economic, Technical, and Renewable Comparisons*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470608616>

**POTENSI GAMAL (*Gliricidia sepium*) SEBAGAI BAHAN BAKU
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA
STUDI KASUS : KABUPATEN MANGGARAI TIMUR (NTT)**
*The Potential of Gamal (*Gliricidia sepium*) as Raw Material for Biomass Power Plans (Case
Study : East Manggarai District - East Nusa Tenggara Province)*

Dedi Hudaedi¹, Hariyadi² dan Syaiful Anwar³
Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan
Institut Pertanian Bogor Kampus IPB Baranangsiang,
Jln. Raya Pajajaran, Bogor 16144

ddhudaedi@gmail.com¹, hariyadiipb@rocketmail.com², syaianwar@yahoo.com³

Abstrak: Kemampuan Kabupaten Manggarai Timur untuk memenuhi kebutuhan energi listrik daerah cukup rendah, diperkirakan hanya 44,91%. Hal ini disebabkan oleh kondisi alam yang memiliki iklim kering dan lahan kritis, sehingga sulit untuk dapat memperbaiki ekonomi masyarakat dan daerah secara umum untuk pengembangan listrik yang memadai. Oleh karena itu, kebutuhan energi listrik telah menjadi tantangan pembangunan, sementara energi fosil tidak dapat dipertahankan. Penyediaan listrik perlu dilakukan melalui diversifikasi energi alternatif. Pembangunan pembangkit listrik tenaga biomassa dari tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) merupakan potensi alternatif yang bisa dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi lahan Gamal dan memprediksi potensi listrik. Metode yang digunakan adalah analisis Citra TM 8 dengan menggunakan GIS Version 10.1 sebagai alat analisis. Pengumpulan data melalui wawancara masyarakat dengan metode *purposive sampling*. Hasil penelitian ini menggambarkan lahan terdegradasi seluas 187.462.01 hektar yang merupakan lahan potensial untuk penanaman Gamal. Prediksi lahan yang terdegradasi dapat menghasilkan 98 181,76 m³ produk kayu dan menghasilkan listrik 18,90 MW / tahun.

Kata Kunci: energi listrik, lahan kritis, *Gliricidia sepium*, pembangkit listrik

Abstract: The ability of East Manggarai Regency to meet the electricity needs of the region is estimated at only 44.91%. This matter is caused by natural conditions that have a dry climate and critical land, making it difficult to can improve of community economy and generally region for development of adequate electricity. Therefore, the electrical energi need has been to development challenge, while fossil energi untenable. The construction of a biomass from the Gamal (*Gliricidia sepium*) plant is a potential alternative to develop. This research aimed to identify the potential lands for Gamal and predict the electricity potency. The method was image analysis from Citra TM 8 using GIS Version 10.1 as an analysis tool. Collecting data was through community interviews with *purposive sampling* method. The results of this study described the degraded land areas of 187.462,01 hectares which are the potential land for Gamal planting. Prediction of critical lands could produce 98 181.76 m³ of wood products and generate 18.90 MW / year of electricity.

Keywords: electricity, degraded lands, *Gliricidia sepium*, power plant

PENDAHULUAN

Ketersediaan listrik nasional tahun 2015 diperkirakan sebesar 233.981,98 GWh (BPPT, 2016). Namun jumlah tersebut belum mampu untuk memenuhi semua wilayah di Indonesia (BP-PEN, 2006; Perpres, 2017). Berdasarkan perbandingan jumlah penduduk dan penduduk yang mendapatkan listrik atau rasio elektrifikasi nasional tahun 2015 hanya sebesar 88,30%. Rasio elektrifikasi tertinggi adalah DKI Jakarta sebesar 99,76%, sedangkan Provinsi Papua dan Nusa Tenggara Timur menjadi wilayah dengan rasio terendah, yakni masing-masing sebesar 48,3 dan 59,2 persen. Rasio elektrifikasi di

Kabupaten Manggarai Timur 44,91% yang berarti hanya lebih kurang setengah dari rumah total seluruh rumah berpenghuni yang memiliki listrik. Jika dibandingkan dengan rasio desa berlistrik hanya 22,22% atau 32 dari 144 desa (ESDM, 2015; PLN, 2016; 2017).

Nusa Tenggara Timur termasuk pada daerah dengan tipe iklim kering (Pasaribu, 2007; Lassa, *et al.* 2014) dan kondisi lahan kritis (Njurumana *et al.* 2008) serta saat ini merupakan provinsi yang tidak memiliki potensi energi selain dari diesel, yang

berdasarkan kajian ekonomi regional mengakibatkan biaya ekonomi tinggi (BI, 2009; Wolo dan Winahju, 2009; Rachmawan, 2014).

Penyediaan tenaga listrik perlu dilakukan melalui diversifikasi sumber energi alternatif seperti matahari, angin, air, gelombang laut, biomassa, panas bumi dan bahan bakar nabati (*biofuel*) (Hargiardana, 2013; BPPT, 2016).

Pemerintah melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Nomor 38 Tahun 2016 menetapkan kebijakan tentang penyediaan tenaga listrik untuk skala kecil (Ahmad 2016), guna memenuhi kebutuhan listrik di pedesaan yang belum berkembang, pedesaan terpencil, pedesaan perbatasan dan pulau kecil berpenduduk dengan mengoptimalkan sumber energi baru dan terbarukan wilayah setempat (DESDM, 2006; ESDM, 2015; Perpres, 2017).

Sesuai kondisi biofisik alami Nusa Tenggara Timur yang kering dan lahan kritis, tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) merupakan tanaman pilihan yang dapat dikembangkan. Tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) merupakan tanaman pionier yang dapat tumbuh pada kondisi iklim ekstrim (Elevitch dan Francis, 2005). Biomass dari tanaman sebagai sumber energi listrik memiliki nilai ekonomi yang lebih baik. (German *et al.* 2010)

Sebagai salah satu sumber pengembangan energi biomassa tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) memiliki keunggulan energi bersih yang baru dan terbarukan, berkesinambungan, dan relatif ramah lingkungan dengan keuntungan lainnya limbah abu sisa pembakaran biomassa jumlah lebih sedikit (Cahyono, *et al.* 2008). Energi biomassa sebagai sumber daya energi akan lebih kecil mengalami fluktuasi harga dunia atau ketidakpastian pasokan sebagai bahan bakar impor dan salah satu cara untuk mencegah lebih banyak produksi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer (McKendry, 2002).

Kebutuhan energi listrik di Kabupaten Nusa Tenggara Timur menjadi fokus pemerintah untuk meningkatkan dan menggerakkan ekonomi masyarakat.

Rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga biomassa yang akan dikembangkan Pemerintah Daerah Kabupaten Manggarai Timur berkapasitas 1 MW pada tahap I dan 10 MW pada tahap II. Energi alternatif dengan pengembangan sumber energi biomassa merupakan potensi yang dapat dikembangkan (Price, 1998). Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi potensi tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) untuk kapasitas pembangkit 10 MW dan potensi luasan lahan kritis untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga biomassa di Kabupaten Manggarai Timur.

METODE PENELITIAN

Saat ini lagi dipersiapkan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa di Desa Gunung Kecamatan Kota Komba Kabupaten Manggarai Timur dan sudah dilakukan penanaman gamal pada lahan seluas 2.090 hektar untuk kapasitas pembangkit 1 MW yang oleh Kabupaten Manggarai Timur bekerja sama dengan Energy Lestari Foundation (ELF) dan perlu pengembangan untuk kapasitas pembangkit 10 MW. Waktu penelitian dilaksanakan selama enam bulan pada Nopember 2016 sampai Maret 2017.

Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam pengolahan data adalah antara lain: ArcGIS 10.1. sebagai tool analisis, GPS, kompas, haga-hypsometer, phi-band dan alat-alat tulis. Bahan meliputi, yaitu: Ppta RBI skala 1:250.000, citra SRTM 90m (sumber USGS 2000), peta curah hujan, peta peta kawasan hutan.

Analisis Data

Prediksi Lahan Potensial

Analisis potensi lahan untuk pengembangan Gamal (*Gliricidia sepium*) difokuskan pada lahan kritis dengan parameter tingkat kekritisian lahan mengacu pada SK Dirjen RRL No. 041/Kpts/V/1998. Analisis lahan kritis dilakukan dengan digitasi tutupan (*cover land area*) dari berbagai sumber peta diatas, dengan menggunakan tool aplikasi ArcGis 10.1.

Prediksi Potensi Supplay Bahan Baku

Perhitungan potensi volume Gamal (*Gliricidia sepium*) dalam meter kubik per hektar adalah berdasarkan jarak tanam sesuai tingkat kritis lahan menurut Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.65/Menhut-II/2014, yakni pada lahan sangat kritis jarak tanam 1 x 1 meter, lahan kritis 3 x 3 meter, lahan agak kritis 3 x 6 meter, dan pada lahan potensial kritis 6 x 6 meter dengan riap tumbuh 0,0011 m³/th dan nilai kalor 4,9 Kkal (Elevitch dan Francis, 2005). Jumlah pohon per hektar pada masing-masing tingkat kritis dijabarkan sebagaimana terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Jarak tanam pada tingkat kritis lahan

Sangat Kritis	Jarak Tanam	Jumlah Per hektar (Batang)
Sangat Kritis	1 X 1	10 000
Kritis	1 X 1	10 000
Agak Kritis	3 X 3	1.111
Tidak Kritis	3 X 6	555

Sumber: Permenhut Nomor: P.65/Menhut-II/2014

Potensi Per hektar

Untuk mengetahui potensi per hektar persamaan rumus volume yang digunakan sebagaimana yang digunakan Roliadi *et al.* (2010) sebagai berikut:

$$V = Lbds \times T \quad (1)$$

Keterangan:

Lbds = Luas bidang dasar

T = Tinggi rata-rata 2 meter siap tebang

Lbds pada kayu Gamal dapat diubah dengan riap tumbuh rata-rata sebesar 0.0011 m³ per tahun (Elevitch dan Francis, 2005), sehingga persamaan rumus yang digunakan adalah:

$$V = 0.0011 \times U \times T \quad (2)$$

$$V/Ha = V \times JB/Ha \quad (3)$$

Keterangan:

0.0011 = Riap tumbuh Gamal per tahun

U = Umur pohon

T = Tinggi rata-rata (2 meter)

JB/Ha = Jumlah Batang per Hektar

V/Ha = Volume perhektar

Potensi Per Kriteria Lahan Kritis

Perhitungan potensi pada kriteria lahan kritis merupakan perkalian luas lahan kritis sesuai kriteria dengan jumlah pohon per hektar. Luas lahan kritis pada masing masing kriteria diperoleh dari hasil analisis citra TM 8 menggunakan ArcGIS 10.1. Sehingga dapat dibuat rumus persamaan sebagai berikut:

$$Vsk = Lsk \times JB/Ha \quad (4)$$

$$Vk = Lk \times JB/Ha \quad (5)$$

$$Vak = Lak \times JB/Ha \quad (6)$$

$$Vtk = Ltk \times JB/Ha \quad (7)$$

Keterangan:

Vsk = Volume lahan sangat kritis (Lsk)

Vk = Volume lahan Kritis (Lk)

Vak = Volume lahan agak kritis (Lak)

Vtk = Volume lahan tidak kritis (Ltk)

Perhitungan Potensi Total

Hasil perhitungan potensi per hektar pada masing-masing kriteria lahan kritis, maka perhitungan potensi total kayu dari hasil Penanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) dapat dihitung dengan persamaan rumus sebagai berikut:

$$V_p = V_t \times FE \quad (8)$$

Keterangan :

V_p = Volume kayu potensial

V_t = Volume total lahan kritis

FE = Faktor eksploitasi (96,5%) dengan menggunakan faktor eksploitasi pada hutan tanaman industri (HTI)

Analisis Prediksi Potensi Produksi Energi

Hasil perhitungan potensi kayu Gamal (*Gliricidia sepium*) bahan baku potensi energi dihitung dengan kadar air standar sebesar 56% dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$V_b = V_p - (V_p \times KA) \quad (9)$$

Keterangan :

V_b = volume kayu setelah volume dikalikan KA

V_p = Volume kayu potensial

KA = kadar air kayu Gamal sebesar 0,56 (56%)

Suplai bahan baku ditetapkan berdasarkan perhitungan dalam ton dengan konversi dari m^3 ke dalam ton yang menggunakan rumus standar sebagaimana persamaan rumus :

$$V_e = V_b \times AK \quad (10)$$

Keterangan :

V_e = volume kayu dikonversi ke ton (ton/ha/th)

V_b = volume kayu setelah volume dikalikan KA

AK = angka konversi meter kubik (m^3) ke ton (0,95)

Berdasarkan rangkaian rumus di atas, potensi energi yang dihasilkan oleh Gamal (*Gliricidia sepium*) sebagai bahan baku energi dapat diketahui dengan rumus sebagaimana persamaan:

$$W_e = \frac{V_e}{K_t} \quad (11)$$

Keterangan:

W_e = suplai energi listrik/ha/th (kWh/ha/th)

V_e = volume kayu dikonversi ke ton (ton/ha/th)

K_t = angka konversi 1 ton sebesar 4,9 kilo kalori (kkal)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Potensi Lahan

Hasil analisis penutupan lahan menunjukkan bahwa tutupan berupa semak belukar merupakan tutupan terluas 111.839,00 ha (46,50) dan tutupan lahan terkecil berupa tanah terbuka 93,00 ha (0,04%) dan tubuh air 73 ha (0,03). Tutupan lahan berupa hutan mencakup 62.651 hektar sedangkan berdasarkan data statistik Kabupaten Manggarai Timur Tahun 2015 luas kawasan hutan 90.020 hektar yang dikelompokkan kedalam fungsi hutan, yakni: Hutan Produksi (HP) seluas 4.954 hektar, Hutan Produksi Terbatas (HPT) seluas 31.546 hektar, Hutan Produksi Konversi (HPK) seluas 5.705 hektar, Hutan Lindung (HL) seluas 15.567 hektar dan Taman Wisata Alam (TWA) seluas 32.249 hektar, sebagaimana terlihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi dan luas penutupan lahan Kabupaten Manggarai Timur

Klasifikasi Penutupan Lahan	Luas (ha)	%
Belukar rawa	955,00	0,40
Hutan lahan hutan primer	25.751,00	10,71
Hutan lahan hutan sekunder	36.860,00	15,34
Pemukiman	884,00	0,37
Pertanian lahan kering	5.252,00	2,18
Pertanian lahan kering dan semak	22.113,00	9,19
Savana	34.924,00	14,52
Sawah	1.708,00	0,71
Semak belukar	111.839,00	46,50
Tanah terbuka	93,00	0,04
Tubuh air	73,00	0,03
Jumlah	240 492,00	100,00

Sumber: Diolah dari data primer (2017)

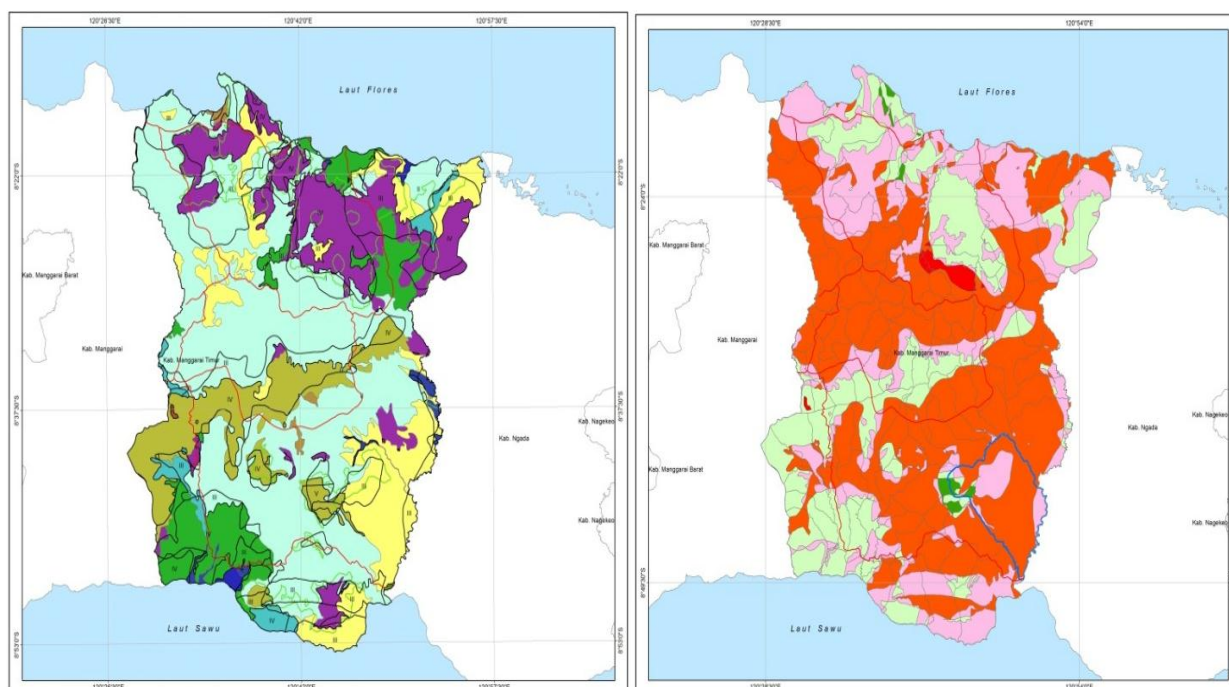
Hasil analisis kriteria lahan kritis di Kabupaten Manggarai Timur adalah Sangat Kritis (Sk) 1.887 (1,01%), Kritis (k) seluas 117.571 hektar (62,72) dan sisanya adalah agak kritis (ak) seluas 42.627 hektar

(22,74%) dan tidak kritis (tk) seluas 25.376 hektar (13,54%). Tutupan lahan dan kondisi lahan kritis sebagaimana terlihat pada **Tabel 3**. Tampilan tutupan lahan dan kritis sebagaimana terlihat pada **Gambar 1**.

Tabel 3. Luas lahan kritis

Kecamatan	Kategori Tingkat Kekritisan Lahan				Total (ha)
	Tidak Kritis (ha)	Agak Kritis (ha)	Kritis (ha)	Sangat Kritis (ha)	
Borong	3.744	5.344	8.540	133	17.762
Rana Mese	757	-	-	-	757
Kota Komba	-	-	9.988	210	10.198
Elar	902	1.072	2.059	32	4.065
Elar Selatan	1.224	1.453	2.791	-	5.468
Sambi Rampas	14.641	17.383	33.395	564	65.983
Poco Ranaka	-	3.324	19.271	-	22.595
Poco Ranaka Timur	-	3.748	21.733	639	26.121
Lamba Leda	4.109	10.303	19.794	309	34.514
Total	25.376	42.627	117.571	1.887	187.463

Sumber: Diolah dari data primer (2017)

**Gambar 1.** Tutupan lahan dan kondisi lahan kritis

Identifikasi potensi lahan pengembangan tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) di lakukan terhadap lahan kritis karena gamal merupakan tumbuhan pionir yang dapat ber adaptasi pada iklim kering dan kondisi lahan kritis, termasuk tanah yang kurang subur, tanah asam dan tanah tererosi. Hasil pengamatan di lapangan pola penanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) dilakukan pada lokasi yang akan dilakukan pada lahan kondisi semak belukar. Tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) akan mampu untuk mematikan alang-alang dan menyuburkan tanah setelah kondisi alang-alang mati. Hal tersebut sebagaimana wawancara dengan

masyarakat yang mengatakan tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) mampu untuk mematikan alang-alang, sebagai berikut:

“Tanaman gamal ini pak mampu mematikan alang-alang makanya namanya gamal yang berarti ganyang mati alang-alang, selain itu juga memiliki nilai ekonomis karena dapat dijual untuk kayu bakar tuak (sofi) dan difungsikan sebagai tanaman pagar”.

Stepanus (56 tahun, Kepala Desa Gunung).

Tingkat kekritisn lahan menentukan pola penanaman gamal sesuai dengan sistem silvikultur dan volume kayu gamal yang akan dihasilkan. Pada lahan sangat kritis pola

penanaman memakai jarak tanam 1 x 1 meter dengan volume gamal sebanyak 10.000 pohon/ha, hal ini dimungkinkan karena pada lahan sangat kritis hanya jenis tanaman pionir yang dapat tumbuh. Sedangkan pada lahan kritis, agak kritis gamal berfungsi sebagai tanaman sela diantara tanaman pokok lainnya. Pada lahan potensial kritis gamal berfungsi sebagai tanaman pagar. Potensi Produksi Energi Gamal sebagai Bahan Baku PLTBm Gamal (*Gliricidia sepium*) adalah

nama jenis perdu dari kerabat polong-polongan (suku *Fabaceae* atau *Leguminosae*) riap tumbuh 11,5 m³/hektar/tahun. Tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) dapat mencapai riap 25m³/ha/tahun pada pH tanah < 6 (Ahmad 2016). Riap yang dipakai dalam memprediksi potensi gamal di lokasi kajian menggunakan riap 11,5 m³/ha/th dengan hasil analisis potensi sebesar 98.182 m³/th sebagaimana disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Potensi kayu Gamal pada lahan kritis

Kecamatan	Bahan baku energi pada masing-masing tingkat kekritisian lahan (m ³ /ha)				Total (m ³ /th)
	Sangat Kritis	Kritis	Agak Kritis	Potensial Kritis	
Borong	648	5.128	1.765	618	8.159
Rana Mese	-	-	-	125	125
Kota Komba	1.020	6.504	58	9	7.591
Elar	156	1.236	480	149	2.021
Elar Selatan	-	1.676	5.741	202	7.619
Sambi Rampas.	2.744	20.052	3.313	2.417	28.526
Poco Ranaka	-	11.571	1.373	74	13.018
Poco Ranaka Timur	3.109	13.050	895	5	17.059
Lamba Leda	1.501	11.885	-	678	14.065
Total	9.179	71.101	13.624	4.277	98.182

Sumber: Diolah dari data primer (2017)

Volume kayu Gamal sebesar 98.181,76 m³ dapat membangkitkan energi listrik sebesar 18,90 MW dengan perhitungan nilai kalor

yang digunakan sebesar 4,9 Kkal (Elevitch dan Francis 2006). Rincian potensi energi listrik sebagaimana disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Potensi energi listrik untuk PLTBm

Kecamatan	Potensi Energi pada masing-masing tingkat kekritisian lahan (MW/th)				Total (MW/th)
	Sangat Kritis	Kritis	Agak Kritis	Potensial Kritis	
Borong	0,13	1,00	0,35	0,12	1,60
Rana Mese	-	-	-	0,02	0,02
Kota Komba	0,20	1,27	0,01	0,00	1,49
Elar	0,03	0,24	0,09	0,03	0,40
Elar Selatan	-	0,33	1,12	0,04	1,49
Sambi Rampas.	0,54	3,93	0,65	0,47	5,59
Poco Ranaka	-	2,27	0,27	0,01	2,55
Poco Ranaka Timur	0,61	2,56	0,18	0,00	3,34
Lamba Leda	0,29	2,33	-	0,13	2,42
Total	1,80	13,93	2,67	0,84	18,90

Sumber: Diolah dari data primer (2017)

Berdasarkan tabel di atas, pemenuhan kebutuhan bahan baku PLTBm sebesar 10 MW dapat terpenuhi. Potensi terbesar terdapat di Kecamatan Sambu Rampas yang memiliki luas lahan sebesar 65.983 ha dan berpotensi membangkitkan energi listrik sebesar 5,59 MW. Sedangkan, Kota Komba yang merupakan lokasi PLTBm memiliki potensi energi listrik yang dihasilkan sebesar 1,49 MW. Berdasarkan kriteria tingkat kekritisian lahan potensi terbesar terdapat pada lahan kritis sebesar 13,93 MW tersebar pada 8 Kecamatan dimana diperlukan diperhitungkan jarak angkut bahan baku dari lokasi ke pembangkit. Kecamatan Poco Ranaka dengan jarak ke lokasi pembangkit ± 70 Km pengangkutan bahan baku berupa *chips* lebih efisien dan efektif, sedangkan untuk lokasi di Kecamatan Kota Komba bahan baku dapat berupa batang.

Pembangunan PLTBm bahan baku Gamal (*Gliricidia sepium*) sesuai dengan tujuan pemerintah melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Nomor 38 Tahun 2016 dan akan terbangun masyarakat mandiri energi dan mandiri ekonomi. Selama ini, Gamal masih dipergunakan oleh masyarakat sebagai kayu bakar dan dijual pada industri minuman khas pulau Flores (Tuak/Sofi) dengan kisaran harga Rp. 5000/2m³, menurut Cahyono (2008) harga jual kayu sebagai bahan baku substitusi batubara Rp. 300.000/ton.

Gamal (*Gliricidia sepium*) memberikan dampak terhadap kesuburan tanah dimana berdasarkan hasil penelitian Chirwa *et al* (2006) kandungan Nitrogen 96 kg/ha. Bahan organik di bawah tegakan Gamal (*Gliricidia sepium*) sebesar 3,56%, biomassa karbon pada daun sebesar 30,65 ton/ha, pada batang basah 13,65 ton/ha produksi hijauan makan ternak sebesar 30 ton/ha (Nulik 2016). Keuntungan penggunaan gamal sebagai pupuk hijau diketahui bermanfaat untuk: meningkatkan bahan organik tanah dan nitrogen, perbaikan karakteristik fisik tanah, aerasi dan drainase, mengurangi erosi permukaan

tanah, menurunkan temperatur tanah, dan mengurangi penguapan air tanah

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Lahan kritis yang dapat dikembangkan untuk pembudidayaan tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) di Kabupaten Manggarai Timur seluas 187.463 hektar. Areal berpotensi tersebut tersebar hampir di seluruh kecamatan kecuali Kecamatan Elar.
2. Potensi biomassa dari pengembangan tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) untuk membangkitkan listrik sebesar 10 MW dapat tercapai, dimana berdasarkan hasil analisis lahan kritis potensi biomassa Gamal (*Gliricidia sepium*) sebesar 98.181,76 m³/tahun dan dapat mensuplai kebutuhan energi pembangkit listrik sebesar 18,90 MW.

Saran

1. Mengingat sebaran lahan kritis yang berpotensi untuk pengembangan tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) di tujuh Kecamatan, perlu dikaji lebih lanjut efisiensi biaya dan efektivitas kerja dalam sistem distribusi bahan baku
2. Pola kemitraan dengan masyarakat perlu memperhatikan kultur budaya lokal dan karakter masyarakat yang hidup di lahan kering berbukitan yang keras serta diharapkan pola kemitraan tidak bersifat *top-down* namun lebih memperhatikan keinginan masyarakat. Pola kemitraan merupakan cara terbaik untuk menghemat biaya. Kegagalan komunikasi dalam pola kemitraan dapat dipastikan menjadi penghambat kinerja dan kegagalan program pengembangan PLTBm di Kabupaten Manggarai Timur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala KPH Manggarai Timur

dan seluruh jajaran dan Direktorat Jenderal Perubahan Iklim KLHK.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad NR. 2016. Sumber Daya Hutan Untuk Energi Terbarukan. Makalah disampaikan dalam Kongres Kehutanan Indonesia-IV tanggal 29 November – 2 Desember 2016 Hotel Grand Sahid Jaya Jakarta. MAPEBHI.
- [BI] Bank Indonesia (2009). *Kajian ekonomi regional Provinsi Nusa Tenggara Timur Triwulan II-2012*. Kupang.
- [BP-PEN] Badan Pengkajian Pengembangan Energi Nasional (2006). *Blueprint Pengelolaan energi Nasional 2006-2025*. Jakarta, Indonesia.
- [BPPT] badan Pengkajian Penerapan Teknologi (2016). *Outlook Energi Indonesia 2016. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi*. Jakarta.
- Cahyono, T. D., Coto, Z., & Febrianto, F. (2008). Analisis Nilai Kalor Dan Kelayakan Ekonomis Kayu Sebagai Bahan Bakar. *Forum Pascasarjana*, 31(2), 105–116.
- Chirwa W.P., Black R.C., Ong K.C., Maghembe M. 2006. Nitrogen dynamics in cropping systems in southern Malawi containing *Gliricidia sepium*, pigeonpea and maize. *Agroforestry Systems* (2006) 67:93–106.
- [DESDM DEpartemen Esenrgi dan Sumber Daya Mineral (2006). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 482-12/40/600.2/2006 tentang Penetapan Kondisi Krisis Penyediaan Tenaga Listrik, Jakarta. Indonesia.
- Elevitch, Craig R. Francis, J. K. (2005). *Gliricidia sepium. Traditional Tree Initiative*, 1(Figura 2), 461–471.
- [ESDM] Energi Sumber Daya Mineral (2015). *Renstra Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan 2015-2019*. Jakarta, Indonesia.
- German, Laura. Ramisch, Joshua J. Verma, R. (2010). *Beyond the Biofisical: knowledge, Culture and Power in Agriculture and Natural Resource*. (R. German, Laura. Ramisch, Joshua J. Verma, Ed.). Bogor, Indonesia.
- Hargiardana, O. (2013). Krisis Listrik dan Program 35 Ribu MW. *M&E*, 13(2), 17–25.
- Lassa, J., Mau, Y. S., Li, D. E., & Frans, N. (2014). Impact of Climate Change on Agriculture and Food Crops: Options for Climate Smart Agriculture and Local Adaptation in East Nusa Tenggara, Kupang. Indonesia. *Newspaper Irgsc* (8):2339-06381.
- McKendry, P. (2002). Energi production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technol*, 83(1), 37–46.
- Njurumana, Gerson ND. Victorino, B. P. (2008). Potensi Pengembangan Mamar sebagai Model Hutan Rakyat Dalam Rehabilitasi Lahan Kritis di Timor Barat. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, V.(5): 473–484.
- Nulik J., Hau J.K., 2016. Tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) dan Potensi Pemanfaatannya Sebagai Pakan ternak dan fungsi lainnya dalam usahatani di Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) NTT*.
- Pasaribu, S. M. (2007). Revitalizing Institutions To Enhance Climate Forecast Application in East Nusa Tenggara. *Analisa Kebijakan Pertanian*, 5(3), 239–253.
- [Perpres] Peraturan Presiden Republik Indonesia (2017). Rencana Umum energi Nasional dalam Lampiran Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017, Pub. L. No. 22 Tahun 2017 (2017). Indonesia.
- [PLN] Perusahaan Listrik Negara (2016). *Statistik Perusahaan Listrik Negara 2015*. Jakarta, Indonesia.
- [PLN] Perusahaan Listrik Negara (2017). *Statistik Perusahaan Listrik Negara 2016*. Jakarta, Indonesia.
- Prakoso, A. B. (2014). *Design and Optimization of Renewable energi Power Plant in Pengadangan Village Priggasela Sub District east Lombok District NTB*. Gadjah Mada University.
- Price, B. (1998). *Electricity from biomass*. London, England: Financial Times Energi.
- Roliadi, H. D., & Anggraini, D. (2010). Eksploitasi Kayu Hutan Tanaman Industri Jenis *Eucalyptus Hybrid* sebagai Bahan Baku Pupl Kerta. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(4), 332–357.
- Wolo, Adrianus. Winahju, W. S. (2009). Analisis Kebutuhan Listrik di Wilayah Nusa Tenggara Timur. (*newspaper*) Jurusan MIPA. Institut Teknologi Surabaya.

PERANCANGAN TEKNOLOGI REVERSE OSMOSIS DENGAN MEMANFAATKAN AIR EFLUEN PENGOLAHAN AIR LIMBAH SEBAGAI BAHAN BAKU DALAM UPAYA MENGEFISIENSIKAN PEMAKAIAN AIR BERSIH DARI KAWASAN INDUSTRI MM2100 (Studi Kasus pada PT Yutaka Manufacturing Indonesia)

M. Yani Syafei¹, Burhan Primanintyo² dan Mohamad Nur Isnanda³

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Presiden

Jl. Ki Hajar Dewantara Kota Jababeka, Cikarang, Bekasi - Indonesia 17550

¹yanisyafei@president.ac.id, ²burhanp@president.ac.id, ³nandolactobacillus@gmail.com

Abstrak: PT. YMI adalah salah satu perusahaan yang bergerak dibidang otomotif untuk kendaraan roda dua. Perusahaan ini sebagai bagian dari grup Astra berusaha untuk menjadi sebuah “Green Company” melalui program AGC (Astra Green Company) dimana salah satu penilaiannya adalah adanya program recycle air limbah sebanyak 30% per bulan yang tujuannya adalah penghematan atau efisiensi pemakaian air bersih. Teknologi yang digunakan untuk pemurnian air efluen pengolahan air limbah memanfaatkan teknologi Reverse Osmosis dengan treatment awal menggunakan proses Resin Kation, Karbon Aktif dan Mikrofiltrasi. Membran yang digunakan untuk sistem Reverse Osmosis ini adalah Filmtec 30-4040 TW/BW. Hasil dari penerapan teknologi Reverse Osmosis terhadap pemakaian air bersih di PT YMI adalah sebesar 34,99% dimana keberhasilan ini dapat tercapai dikarenakan adanya daur ulang air efluen yang ikut berkontribusi sebesar 100%. Selain itu, terdapat pula keuntungan yang diperoleh dari tidak adanya pembuangan air efluen kedalam kawasan industri. Biaya pemasukan yang diperoleh sebesar Rp 23.591.675,- / bulan. Untuk biaya pengeluaran (pemakaian energi listrik, biaya spare part dan upah lembur) sebesar Rp 11.470.172,- / bulan sehingga keuntungan yang diperoleh sebesar Rp 12.121.503,- / bulan. Payback Period untuk sistem R.O ini akan tercapai selama 24 bulan atau 2 tahun.

Kata Kunci: Air Efluen Pengolahan Air Limbah, Reverse Osmosis, Mikrofiltrasi, Payback Period, Resin Kation.

Abstract: PT. YMI is one of the automotive manufacturers for two-wheeled vehicles. As a part of the Astra Group, the company strives to become a "Green Company" through the AGC (Astra Green Company) program. One of its assessments is a 30% wastewater recycle program per month which aims to save or use clean water efficiently. The technology used for purification of effluent water from waste water treatment is by Reverse Osmosis technology with initial treatment by using Cation Resin, Activated Carbon and Micro-filtration process. The membrane used for this Reverse Osmosis system is the Filmtec 30-4040 TW / BW. The result of the application of Reverse Osmosis technology to clean water usage in PT. YMI is 34.99% which this success can be achieved due to the recycling of effluent water contributing 100%. In addition, there are also benefits obtained from the absence of effluent water into the industrial estate. Income fee earned amounted to Rp 23,591,675, - / month. For expenses (electricity usage, spare part and overtime) Rp 11.470.172, - / month so the profit earned is Rp 12.121.503, - / month. Payback Period for this R.O. system will be achieved for 24 months or 2 years.

Keywords: Effluent Water from Waste Water Treatment, Reverse Osmosis, Micro-filtration, Payback Period, Cation Resin.

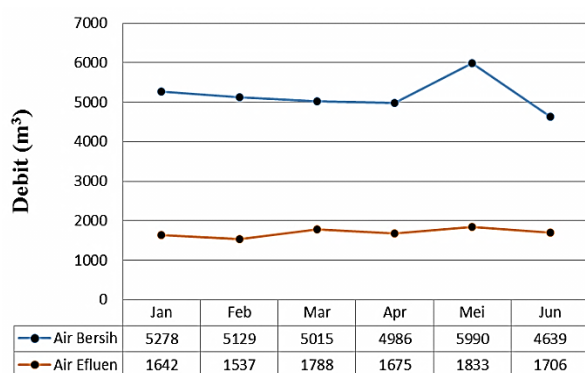
PENDAHULUAN

Latar Belakang Penelitian

PT Yutaka Manufacturing Indonesia (YMI) sebagai perusahaan yang bergerak di bidang industri komponen otomotif dimana dalam proses produksi dan *support* produksinya menggunakan air. Air yang digunakan dibagi menjadi dua bagian, yaitu : air untuk kebutuhan produksi, contohnya untuk mendinginkan mesin, mencuci mesin, dan

lain-lain. Sedangkan Air untuk kebutuhan *support* produksi, contohnya untuk menyiram tanaman, *flushing* toilet, cuci tangan, wudhu, pencucian kendaraan dan untuk keperluan *cleaning service*. Air di PT YMI di pasok dari Kawasan Industri MM2100 dimana setiap bulannya ada biaya yang harus dibayarkan oleh perusahaan sejumlah aktual pemakaian air. Data pemakaian air bersih dan pembuangan

air efluen PT YMI selama Januari – Juni 2016 tersaji pada gambar 1. Data rata – rata pemakaian air bersih secara keseluruhan di PT. YMI untuk semester pertama tahun 2016 adalah 5.172,83 m³, dimana harga untuk pemakaian air bersih dari Kawasan MM2100 sebesar 0,45 USD per m³. Sedangkan data rata – rata pembuangan air efluen secara keseluruhan di PT. YMI untuk semester pertama tahun 2016 adalah 1.696,83 m³, dimana harga untuk pembuangan air efluen ke Kawasan MM2100 dikenai biaya sebesar 0,55 USD per m³, sehingga total biaya rata-rata per bulan yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk pemakaian air bersih dan pembuangan air efluen sebesar Rp 44.023.904 (dengan asumsi 1 USD = Rp 13.500).



Gambar 1. Grafik Air Bersih dan Efluen PT YMI
(Sumber : Laporan Bulanan Seksi FP dan WT Tahun 2016)

PT YMI sebagai bagian dari grup Astra berusaha untuk menjadi “*Green Company*” melalui program AGC (*Astra Green Company*) dimana salah satu penilaiannya adalah adanya program daur ulang air limbah sebesar 30% per bulan yang tujuannya untuk penghematan atau efisiensi pemakaian air. Disamping hal itu, untuk bersaing di era globalisasi, maka manajemen juga menargetkan adanya penghematan energi minimal 5 % per bulan, termasuk diantaranya adalah penghematan atau efisiensi pemakaian air. Diharapkan dengan penerapan teknologi reverse osmosis, dapat berakibat pada semakin rendahnya biaya pemakaian air

bersih dan pembuangan air efluen di perusahaan yang mana sepaham dengan target dari *management* dan tuntutan kebijakan lingkungan.

Tujuan Penelitian

Dalam penyusunan penelitian ini, ada beberapa tujuan yang ingin dicapai, yaitu sebagai berikut :

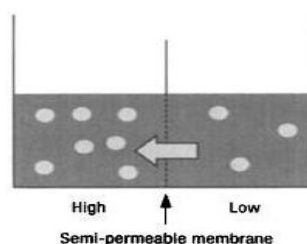
1. Mengetahui teknologi yang tepat digunakan dalam upaya efisiensi air bersih.
2. Mengetahui dampak yang ditimbulkan setelah dilakukannya penerapan teknologi *reverse osmosis* terhadap biaya pemakaian air bersih dari kawasan industri.
3. Mengetahui dampak yang ditimbulkan dari penggunaan teknologi *reverse osmosis* terhadap beberapa biaya untuk setiap bulannya seperti : pengeluaran (operasional dan *spare part*), pemasukan, dan keuntungan.

METODE YANG DIGUNAKAN

Untuk dapat melakukan penelitian ini, maka data yang diperlukan adalah data pemakaian air bersih, data biaya pembuangan air *efluen* pengolahan air limbah, data nilai parameter air *efluen* pengolahan air limbah (WWT), serta data spesifikasi sistem RO (*Reverse Osmosis*). Data-data tersebut akan dihitung dan dianalisis menggunakan metode-metode di bawah ini:

Teknologi Reverse Osmosis

Reverse Osmosis (R.O) adalah suatu proses pembalikan dari proses osmosis. Peristiwa osmosis (Gambar 2)



Gambar 2. Proses Osmosis
(Sumber : Jane Kucera, 2010, *Reverse Osmosis Industrial Application*)

adalah proses perpindahan larutan dari larutan dengan konsentrasi zat terlarut rendah menuju larutan dengan konsentrasi zat terlarut lebih tinggi sampai terjadi kesetimbangan konsentrasi (Kucera, 2010:14).

Analisis Kelayakan Investasi

Aspek finansial atau aspek keuangan dalam studi kelayakan merupakan aspek yang digunakan untuk menilai keuangan perusahaan secara keseluruhan (Hutasoit, 2011:40). Penentuan kelayakan suatu usaha berdasarkan kriteria investasi dapat dilakukan melalui pendekatan dengan menggunakan alat ukur, yaitu (Osterwalder, 2012:88):

1. Payback Period (PP)

Payback Period adalah suatu metode berapa lama investasi akan kembali atau periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi (*initial cash investment*) dengan menggunakan aliran kas, dengan kata lain *payback period* merupakan rasio antara *initial cash investment* dengan *cash flow*nya yang hasilnya merupakan satuan waktu. Suatu usulan investasi akan disetujui apabila *payback period*-nya lebih cepat atau lebih pendek dari *payback period* yang disyaratkan oleh perusahaan. Rumus *payback period* jika arus kas dari suatu rencana investasi atau proyek sama jumlahnya setiap tahun. Secara matematik rumusnya adalah sebagai berikut :

$$\text{Payback Periode} = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Benefit-Opeational}} \dots \text{pers.(1)}$$

Keunggulan metode ini adalah sebagai berikut (Osterwalder, 2012:92) :

- Perhitungannya mudah dimengerti dan sederhana.
- Mempertimbangkan arus kas dan bukan laba menurut akuntansi.

2. Net Present Value (NPV)

Metode ini adalah metode yang mengurangkan nilai sekarang dari uang dengan aliran kas bersih operasional atas investasi selama umur ekonomis termasuk

terminal *cash flow* dengan *initial cash flow* (*initial investment*). Secara matematik rumus untuk NPV :

$$\text{NPV} = -I + \text{AB} (P/A, i, N) + S (P/F, i, N) - \text{AC} (P/A, i, N) - \text{OH}_n (P/F, i, N) \dots \text{pers.(2)}$$

Dimana :

- I : Nilai investasi awal
- AB : Keuntungan yang diperoleh per tahun
- AC : Biaya perawatan per tahun
- S : Nilai sisa alat
- OH_n : Biaya perbaikan pada tahun ke-n
- i : Suku bunga
- N : Umur ekonomis
- P/A : *Present Worth Uniform Series Payment*
- P/F : *Present Worth Single Payment*.

Kriteria keputusan penggunaan metode NPV adalah sebagai berikut (Osterwalder, 2012:110) :

- Jika NPV bertanda positif (NPV > 0), maka rencana investasi diterima.
- Jika NPV bertanda negatif (NPV < 0), maka rencana investasi ditolak.

Keunggulan dari metode NPV adalah (Osterwalder, 2012:115) :

- Memperhitungkan nilai waktu dari uang.
- Memperhitungkan arus kas selama usia ekonomis proyek.
- Memperhitungkan nilai sisa proyek.

Perancangan Teknologi Pengolahan Air dan Analisis Biaya

Setelah seluruh data telah didapatkan dan analisis kelayakan investasi sudah dilakukan maka yang hal yang dilakukan selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Perancangan Teknologi Pengolahan Air
Dari hasil analisis kelayakan investasi, kemudian dilakukan perancangan teknologi pengolahan air bersih yaitu merancang tata letak sistem pengolahan air, saluran pipa, dan bak penampungan air hasil pengolahan. Setelah rancangan jadi, kemudian mencari beberapa subkontraktor untuk melakukan tender harga. Dan subkontraktor yang terpilih berhak atas pengerjaan proyek ini.

2. Analisis Data

Setelah data-data dikumpulkan, maka dilakukan pengolahan seperti :

- Menghitung pencapaian target efisiensi pemakaian air bersih dan pembuangan air efluen.
- Menghitung biaya operasional (biaya listrik dan *spare part*) dan biaya pemasukan sehingga diperoleh keuntungan dari pengoperasian teknologi pengolahan air.

3. Evaluasi Hasil

Dengan mengukur hasil pengolahan air limbah dari segi kemampuan dalam

menurunkan sifat fisika, kimia dan, biologi. Alat pengendalian kualitas dari teknologi ini berupa instruksi kerja, *checksheet* dan jadwal preventif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan Alternatif Teknologi

Pemilihan alternatif teknologi untuk proses pengolahan air bersih yang memanfaatkan air efluen WWT PT.YMI sebagai bahan baku harus memperhatikan berbagai aspek yang berguna untuk mendukung proyek ini. Pemilihan alternatif teknologi tersaji pada tabel 1,

Tabel 1. Alternatif Teknologi Pengolahan Air

N O	ALTERNATIF TEKNOLOGI	MANFAAT	ESTIMASI BIAYA			
			INVESTASI		PERAWATAN/BULAN	
1	Eflluen WWT diproses dengan Reverse Osmosis	Instalasi sederhana	Instalasi RO	Rp 170.000.000	Ganti Membran	Rp 20.000.000
		Memenuhi parameter air industri ^{*1}	Modifikasi Pipa	Rp 100.000.000	Uji air di lab eksternal	Rp 500.000
		Umur ekonomis : 10 tahun			Upah Lembur 2 MP	Rp 720.000
		Nilai sisa alat : Rp 28.991.029 ^{*3}				
Total			Rp 270.000.000		Rp 21.220.000	
2	Eflluen WWT diproses dengan Reverse Osmosis , Karbon aktif dan Mikrofiltrasi	Instalasi sedikit rumit	Instalasi RO	Rp 170.000.000	Ganti Membran	Rp 5.000.000
		Memenuhi parameter air industri ^{*1}	Instalasi Karbon Aktif	Rp 7.100.000	Ganti Karbon Aktif	Rp 500.000
		Umur ekonomis : 10 tahun	Instalasi Mikrofilter	Rp 5.000.000	Ganti Mikrofilter	Rp 900.000
		Nilai sisa alat : Rp 30.290.256 ^{*3}	Modifikasi Pipa	Rp 100.000.000	Uji air di lab eksternal	Rp 500.000
					Upah Lembur 2 MP	Rp 720.000
Total			Rp 282.100.000		Rp 7.620.000	
3	Eflluen WWT diproses dengan Reverse Osmosis, Karbon aktif, Mikrofiltrasi dan Ultra Violet	Instalasi rumit	Instalasi RO	Rp 170.000.000	Ganti Membran	Rp 5.000.000
		Memenuhi parameter air layak minum ^{*2}	Instalasi Karbon Aktif	Rp 7.100.000	Ganti Karbon Aktif	Rp 500.000
		Umur ekonomis : 10 tahun	Instalasi Mikrofilter	Rp 5.000.000	Ganti Mikrofilter	Rp 900.000
		Nilai sisa alat : Rp 31.900.869 ^{*3}	Modifikasi Pipa	Rp 100.000.000	Perawatan Ultra Violet	Rp 155.000
			Instalasi Ultra Violet	Rp 15.000.000	Uji air di lab eksternal	Rp 500.000
					Upah Lembur 2 MP	Rp 720.000
Total			Rp 297.100.000		Rp 7.775.000	

Keterangan : *)1 = parameter air industri sesuai PP No.82/2001

*)2 = parameter air layak minum sesuai Permenkes No.492/2010

*)3 = perhitungan menggunakan metode menurun ganda .

yang meliputi Efluen WWT diproses dengan Reverse Osmosis, Efluen WWT diproses dengan Reverse Osmosis, Karbon aktif dan Mikrofiltrasi, Efluen WWT diproses dengan Reverse Osmosis, Karbon aktif, Mikrofiltrasi dan Ultra Violet. Adapun perbandingan ketiga alternatif metode pengolahan air bersih adalah sebagai berikut :

1. Alternatif Teknologi 1

Alternatif ini menggunakan *reverse osmosis* untuk mengolah air efluen menjadi air bersih yang memenuhi parameter air bersih untuk industri. Namun beban kerja dari alternatif teknologi ini terlalu berat dikarenakan nilai parameter air efluen bervariasi sehingga menyebabkan membran reverse osmosis sering tersumbat. Penyumbatan pada membran reverse osmosis pula yang menyebabkan biaya perawatan untuk sistem ini menjadi mahal diantara ketiga alternatif yang ada.

2. Alternatif Teknologi 2

Alternatif ini menggunakan *reverse osmosis, karbon aktif, dan mikrofiltrasi* untuk mengolah air efluen menjadi air bersih yang memenuhi parameter air bersih untuk industri. Beban kerja dari alternatif teknologi ini ringan dikarenakan adanya karbon aktif yang berfungsi untuk menurunkan penyebab kerak dan mikrofiltrasi yang berfungsi untuk menyaring partikel berukuran 1 mikron. Air hasil pengolahan ini tidak bisa digunakan untuk kegiatan wudhu, namun hal ini bisa diabaikan karena presentase pemakaiannya terlalu kecil jika dibandingkan dengan kegiatan yang

lain. Biaya perawatan untuk alternatif ini paling murah diantara ketiga alternatif.

3. Alternatif Teknologi 3

Alternatif ini menggunakan *reverse osmosis, karbon aktif, mikrofiltrasi, dan ultraviolet* untuk mengolah air efluen menjadi air bersih yang memenuhi parameter air bersih layak minum. Beban kerja dari alternatif teknologi ini ringan dikarenakan adanya karbon aktif yang berfungsi untuk menurunkan penyebab kerak, mikrofiltrasi yang berfungsi untuk menyaring partikel berukuran 1 mikron, dan ultraviolet yang berfungsi untuk membunuh bakteri. Air hasil pengolahan ini bisa digunakan untuk kegiatan wudhu. Biaya investasi awal untuk alternatif ini paling mahal diantara ketiga alternatif yang ada dengan biaya perawatan setiap bulan pada tingkat sedang.

Perhitungan Net Present Value & Pemilihan Alternatif Terbaik

Berdasarkan ketiga alternatif teknologi pengolahan air, kemudian dihitung investasinya dengan menggunakan *Net Present Value*, sebagaimana pada persamaan (2), yang hasilnya disajikan pada tabel 2. Setelah dilakukan perhitungan NPV terhadap ketiga alternatif teknologi tersebut, maka didapatkan bahwa alternatif 2 dan alternatif 3 bernilai positif sehingga teknologi ini layak untuk dilakukan investasi sedangkan alternatif 1 bernilai negatif sehingga teknologi ini tidak layak untuk dilakukan investasi. Berdasarkan 2 alternatif solusi yang bernilai positif, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *incremental rate of return (Incremental IRR)* untuk memilih alternatif yang paling ekonomis.

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 NPV_{(3-2)} &= -(\text{Selisih Investasi}) + (\text{Selisih Untung}) \times (P/A, i\%, N) = 0 \\
 0 &= -(297.100.000 - 282.100.000) + (183.446.460 - 181.586.460) \times P/A, i\% \\
 &= -(15.000.000) + (1.860.000) \times P/A, i\% \\
 P/A \ i\% &= \frac{-15.000.000}{-1.860.000} \\
 &= 8,0645
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan NPV

Teknologi	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Investment (I)	270.000.000	282.100.000	297.100.000
Annual Benefit (AB) ^{*)}	274.886.460	274.886.460	274.886.460
Annual Cost (AC)	254.640.000	91.440.000	93.300.000
Nilai Sisa Alat (S)	28.991.029	30.290.257	31.900.870
Umur Ekonomis (N)	10 Tahun	10 Tahun	10 Tahun
Overhaul Tahun ke-5 (OH) ₅	20.000.000	30.000.000	40.000.000
Suku Bunga (i)	7%	7%	7%
Net Present Value (NPV)	-127.319.174	1.000.362.909	965.987.868

Jika dilihat pada tabel suku bunga, nilai 8,0645 berada pada persentase 4% - 5%,

Perhitungan Interpolasi :

$$\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \Rightarrow \frac{X - 4\%}{5\% - 4\%} = \frac{8,0645 - 7,7217}{8,1109 - 7,7217} = 4,8\%$$

Karena i% perhitungan (4,8%) lebih kecil dari i% acuan (7%), maka yang dipilih adalah alternatif teknologi 2. Untuk menjaga sisi objektivitas kelayakan dan konsistensi dari suatu investasi, maka dilakukan juga penilaian oleh Manager PSE dan seorang peneliti external terhadap ketiga alternatif teknologi pengolahan air tersebut dengan parameter berbagai aspek seperti yang tersaji pada tabel 3, dimana

kemudian dilakukan interpolasi untuk mendapatkan angka yang pasti.

alternatif teknologi 2 memiliki skor terbesar yaitu 3,85 sehingga memperkuat pilihan sesuai hasil perhitungan NPV dan IRR. Setelah diperkuat oleh data-data diatas maka didapatkan bahwa alternatif teknologi 2 memiliki nilai terbaik sehingga teknologi ini akan diterapkan di PT YMI untuk proses pengolahan air bersih dengan memanfaatkan air efluen sebagai bahan baku.

Tabel 3. Penilaian Ketiga Alternatif Teknologi Pengolahan Air

Aspek Penilaian	Bobot (B)	Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3	
		Nilai (N)	B x N	Nilai (N)	B x N	Nilai (N)	B x N
Kebutuhan (<i>need</i>)	0.25	4	1.00	4	1.00	5	1.25
Harga (<i>price</i>)	0.35	4	1.40	3	1.05	2	0.70
Keandalan (<i>reliability</i>)	0.20	3	0.60	4	0.80	4	0.80
Pencegahan (<i>preventive</i>)	0.20	2	0.40	5	1.00	4	0.80
Total	1.00		3.40		3.85		3.55

Keterangan : 1=sangat tidak baik; 2= tidak baik; 3=sedang; 4=baik; 5 sangat baik

1. Rancangan Penampungan Air Bersih dan Rangkaian Pipa

Untuk membantu kelancaran pendistribusian air bersih di seluruh area PT YMI, maka dibuatkan suatu penampungan air bersih yang terpusat. Penampungan air bersih dapat dilihat pada gambar 3 yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

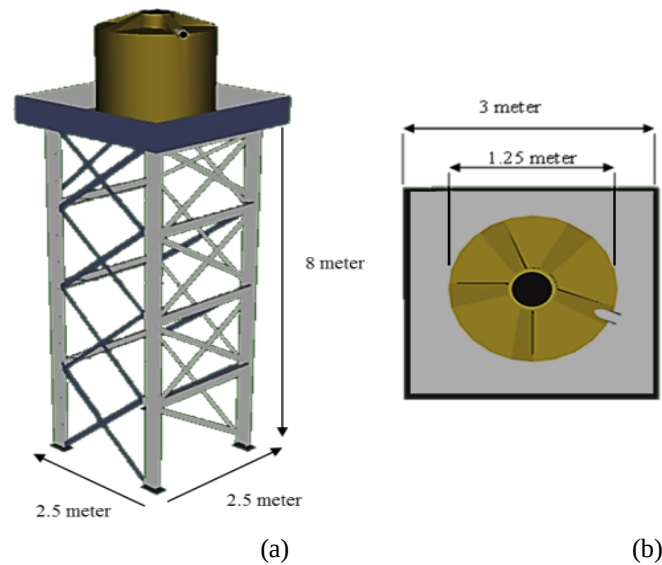
a. Torn Air

- Kapasitas : 5000 L

- Bahan : Polipropilen + Coating

b. Rangka Tiang

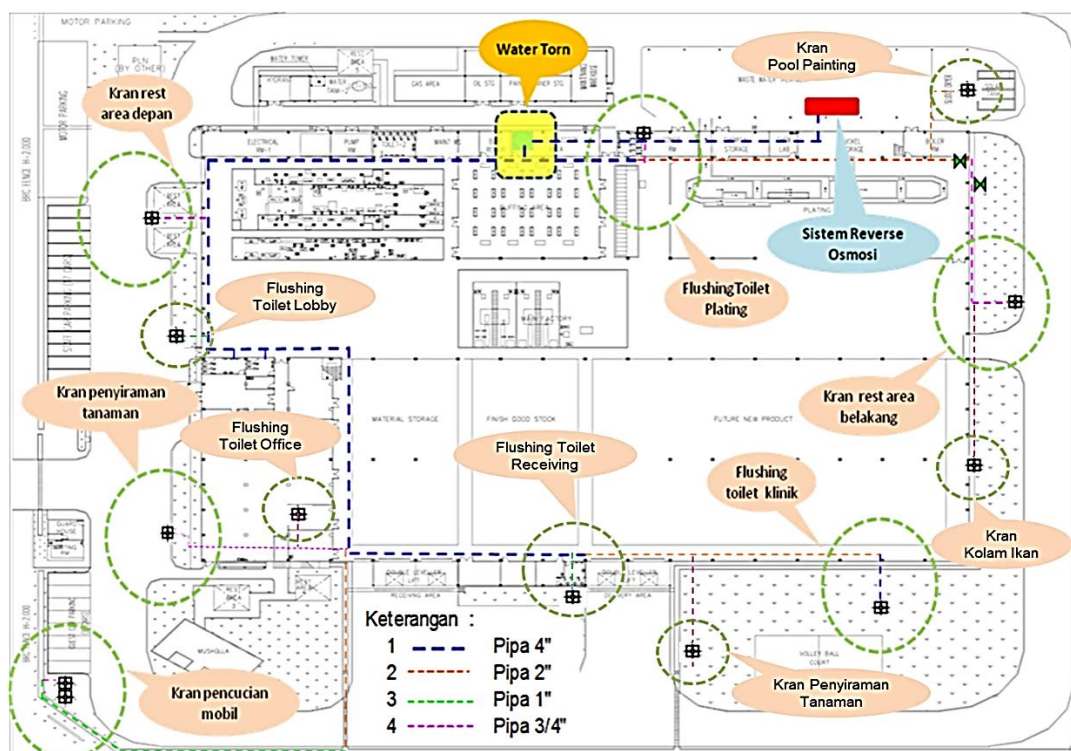
- Kaki-kaki : IWF 200 x 100 x 5.5 x 8 mm, hasil pengujian: 0,0098 → OK.
- Hor. Bracing : UNP 150 x 75 x 6.5 mm, hasil pengujian: 0,0043 → OK
- Bracing : ES 60 x 60 x 6 mm, hasil pengujian: 0,074 → OK



Gambar 3. (a) Water Torn (b) Water Torn Tampak Atas.

Dalam mendistribusikan air diperlukan sebuah sistem perpipaan. Sistem perpipaan yang akan dibuat meliputi instalasi pipa saluran dari WWT menuju saluran *flushing* toilet area produksi, *office*, *lobby*, klinik, dan *receiving*. Lalu saluran pipa tempat istirahat area depan dan belakang. Lalu saluran pipa menuju area penyiraman

tanaman di dekat area kantin, taman belakang, dan *security*. Lalu saluran pipa pada kolam ikan dan *pool painting*. Lalu saluran pipa pada tempat pencucian mobil. Pada gambar 4 tersaji denah perpipaan dari PT YMI untuk mengalirkan air hasil pemurnian dari sistem R.O ke unit-unit sumber air.

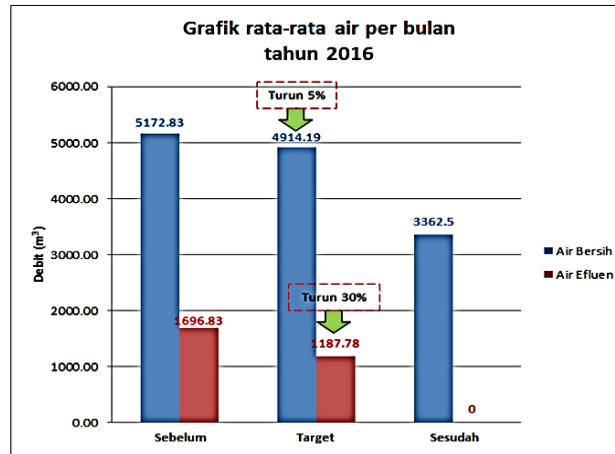


Gambar 4. Diagram Alur Pipa Air Bersih PT YMI
(Sumber : PT YMI, 2016)

Performa Pemakaian Air dan Pencapaian Target

Pada gambar 5 tersaji data rata-rata pembuangan air efluen dan pemakaian air bersih PT YMI selama tahun 2016.

Dengan mengambil data setelah *mass production*, maka bisa dilakukan sebuah perhitungan untuk melihat pencapaian efisiensi, yaitu :



Gambar 5. Grafik rata-rata Pemakaian Air Bersih dan Pembuangan Air Efluen per bulan

1. Efisiensi Pemakaian Air Bersih

$$\begin{aligned}
 \% \text{ efisiensi} &= \frac{(\text{Pemakaian air sebelum} - \text{Pemakaian air sesudah}) \times 100\%}{\text{Pemakaian air sebelum}} \\
 &= \frac{(5172,83 \text{ m}^3 - 3362,50 \text{ m}^3) \times 100\%}{5172,83 \text{ m}^3} \\
 &= 34,99 \%
 \end{aligned}$$

2. Efisiensi Pembuangan Air Efluen

$$\begin{aligned}
 \% \text{ efisiensi} &= \frac{(\text{Pembuangan air sebelum} - \text{Pembuangan air sesudah}) \times 100\%}{\text{Pembuangan air sebelum}} \\
 &= \frac{(1696,83 \text{ m}^3 - 0 \text{ m}^3) \times 100\%}{1696,83 \text{ m}^3} \\
 &= 100 \%
 \end{aligned}$$

Pencapaian efisiensi untuk pemakaian air bersih yaitu sebesar 34.99%. Pencapaian ini melebihi target yang diberikan oleh pihak manajemen yaitu sebesar 5% . Sedangkan pencapaian efisiensi untuk pembuangan air efluen yaitu sebesar 100%. Pencapaian ini melebihi target yang diberikan oleh pihak manajemen dan tim internal audit AGC yaitu sebesar 30%.

Analisis Biaya

Berikut adalah rincian operasional sistem *Reverse Osmosis* (RO):

- Waktu Operasional= 16 jam per hari, 26 hari kerja per bulan.
- Pompa *Feed Water* = 1100 watt = 1.1 kW
- Pompa *Booster* = 4000 watt = 4 kW
- Pompa *Transfer* = 1007 watt = 1.07 kW
- Asumsi Harga Listrik = Rp 1.500 per kWh.

Maka konsumsi listrik yang digunakan oleh sistem RO adalah :

- (1) Konsumsi Total Pompa = (1.1 + 4 + 1.07) kWh = 6.17 kWh
- (2) Lama Pemakaian = 6.17 kW x 16 =

98.72 kWh.

$$\begin{aligned} (3) \text{ Biaya Listrik} &= 98.72 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.500 / \text{kWh} \\ &= \text{Rp } 148.080 / \text{hari} \\ &= \text{Rp } 148.080 \times 26 = \text{Rp } 3.850.080,- / \text{bulan.} \end{aligned}$$

Sedangkan biaya perawatan dari sistem RO per bulan, meliputi biaya penggantian dan pembersihan *spare part* dari alat RO, serta biaya *man power*. Adapun Perincian biaya adalah sebagai berikut :

a. Biaya Penggantian Membran	=
Rp.5.000.000	
b. Biaya Penggantian Mikrofiltrasi	=
Rp. 900.000	
c. Biaya Karbon Aktif	=
Rp. 500.000	
d. Biaya Analisa Lab. Eksternal	=
Rp. 500.000	
e. Biaya lembur 2 Man Power	=
Rp. 720.000	
Total	= Rp.7.620.000,- / bulan.

Total biaya operasional per bulan adalah biaya energi listrik ditambah dengan biaya perawatan sistem RO, yaitu Rp 3.850.080,- + Rp 7.620.000,- = **Rp 11.470.172,- / bulan.**

Analisis Payback Period

Analisis *payback period* bertujuan untuk mengetahui pada bulan ke berapa terjadinya kondisi titik balik modal, dimana perhitungannya menggunakan persamaan (1).

- Diketahui :
- Investasi Awal : Rp 282.100.000
- Benefit : Rp 23.591.675
- Operational : Rp 11.470.172

Perhitungan *Payback Period* (PP) :

$$PP = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Benefit} - \text{Operational}}$$

$$\begin{aligned} PP &= \frac{282.100.000}{23.591.675 - 11.470.172} \\ &= 23,27 \text{ bulan} \approx 24 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Jika dihitung dari awal produksi massal pemurnian air yaitu bulan oktober 2016 maka *payback period* akan terjadi pada bulan **Oktober 2018**.

2. Pengendalian Kualitas Sistem Pengolahan Air

Untuk menjaga performa dari teknologi RO yang telah diterapkan, maka dilakukan beberapa pengendalian kualitas, antara lain meliputi sebagai berikut:

- a. Instruksi Kerja (IK)
- b. Daily Control Checksheet
- c. Jadwal Pencegahan
- d. *Troubleshooting*
- e. Pengujian Laboratorium Eksternal.

KESIMPULAN

Proyek pengolahan air bersih di PT. YMI, yang harus dilaksanakan adalah teknologi pengolahan air berdasarkan alternatif teknologi 2 yang terdiri dari rangkaian reverse osmosis yang mampu menyaring partikel sampai ukuran $10^{-4} \mu\text{m}$, karbon aktif dan mikrofiltrasi berfungsi untuk mencegah pemampatan pada membran reverse osmosis (*fouling*). Alternatif teknologi ini memiliki efisiensi pemakaian air bersih sebesar 34.99% dengan biaya operasional dan pemakaian *spare part* sebesar Rp 11.740.172,- /bulan, serta pemasukan dengan teknologi ini sebesar Rp 23.591.675,- /bulan sehingga menghasilkan keuntungan sebesar Rp 12.121.503,- /bulan. Hal ini sangat bermanfaat bagi perusahaan karena tidak harus mengeluarkan biaya untuk pembuangan limbah cair yang berharga 0,55 USD untuk 1 m³ limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Hutasoit, Febry. (2011). *Penting Penerapan Efisiensi Biaya*. Jakarta : EGC.
- Kucera, Jane. (2010). *Reverse Osmosis Industrial Application..* Canada: Screvener Pullishing LLC.
- Osterwalder, Alexander. (2012). *Bussiness Model Generation*. Jakarta : Elex Media Komputindo.

ANALISIS KEBUTUHAN AIR BERSIH DI KECAMATAN SELAT NASIK KABUPATEN BELITUNG PROVINSI BANGKA BELITUNG TAHUN 2017

Ika Kusumawati

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik, Universitas Presiden

Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, Jawa Barat 17550
1k4kusumawati@gmail.com

Abstrak: Kecamatan Selat Nasik merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Belitung yang berada di Pulau Selat Nasik yang memiliki persediaan air bersih terbatas. Hal ini dikarenakan lokasi dari kecamatan yang berada di wilayah kepulauan yang minim dalam mendapatkan sumber air bersih. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi air bersih yang ada tersedia. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu : analisis kebutuhan air bersih, analisis proyeksi penduduk, dan analisis ketersediaan air. Hasil dari menunjukkan bahwa ketersediaan air bersih pada tahun 2018 sebesar 466.366 liter/orang/hari dan pada tahun 2023 sebesar 519.611 liter/orang/hari. Sedangkan kebutuhan air bersih pada tahun 2018 sebesar 586.260 liter/orang/hari, pada tahun 2023 sebesar 556.470 liter/orang/hari. Dengan kata lain, kebutuhan air bersih di Kecamatan Selat Nasik hingga tahun 2023 belum dapat memenuhi kebutuhan air bersih bagi penduduknya.

Kata Kunci : Ketersediaan Air Bersih, Kebutuhan Air Bersih, Pertambahan Penduduk

Abstract: Kecamatan Selat Nasik is one of the subdistricts in Belitung Regency with limited availability of clean water. It is because the district located in the archipelago with limited clean water sources. The purpose of this study is to determine the potential of clean water. The analysis of this study are: clean water analysis, population growth analysis, and water availability analysis. The final result shows availability of clean water both 466.366 liter per person per day (in 2018) and 519.611 liter per person per day (in 2023). While the necessity of clean water required both 586.260 liter per person per day (in 2018) and 556.470 liter per person per day (in 2023). In other words, the needs of clean water in Kecamatan Nasik until 2023 can not been able to cover necessity of clean water population yet.

Keywords: Availability of clean water, necessity of clean water, population growth

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya manusia yang sangat strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Air merupakan bahan alam yang diperlukan untuk kehidupan manusia, hewan dan tanaman yaitu sebagai media pengangkutan zat-zat makanan, juga merupakan sumber energi serta berbagai keperluan lainnya (Arsyad, 1989). Sumber air dibedakan menjadi dua, air permukaan dan air tanah. Air permukaan seperti sungai, mata air dan rawa, rawan tercemar dengan berbagai polutan dan persediaannya pun tidak mencukupi di daerah pesisir. Sedangkan air tanah lebih terlindung dari berbagai pencemar, karena sumbernya berada di dalam lapisan tanah.

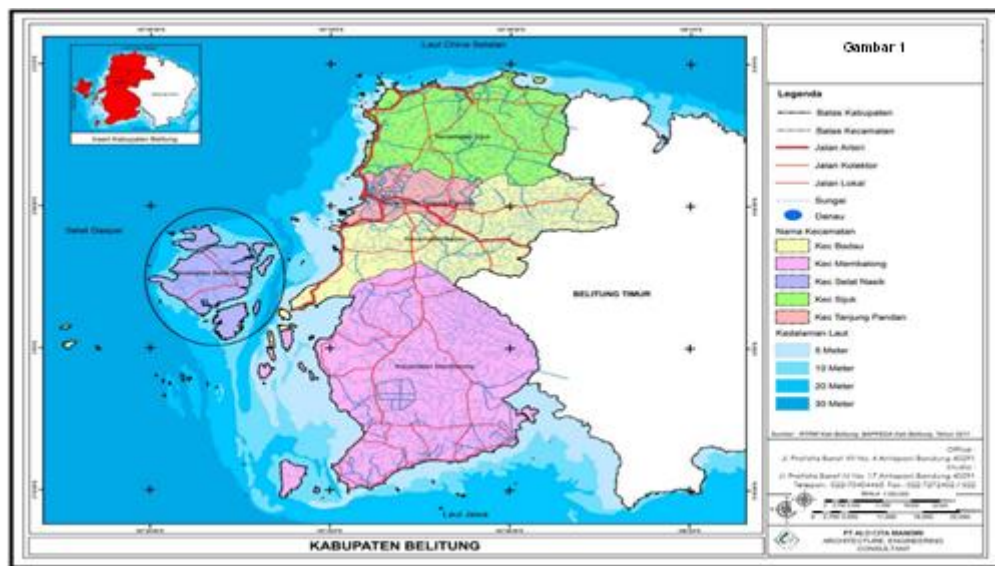
Pada tahun 2019 diperkirakan ada 60% penduduk di Kecamatan Selat Nasik sulit untuk mendapat akses air bersih dikarenakan kualitas air yang payau/ tidak layak digunakan. Meski ini masih berupa persentasi perkiraan, paling tidak pemerintah harus memberikan perhatian serius pada persoalan air bersih. Menurut Suripin (2002), pada tahun 2000 dengan jumlah penduduk dunia sebesar 6,121 milyar diperlukan air bersih sebanyak 367 km³ per hari, maka pada tahun 2025 diperlukan air bersih sebanyak 492 km³ per hari, dan pada tahun 2100 diperlukan air bersih sebanyak 611 km³ per hari. Hal ini terjadi pula di salah satu wilayah di Provinsi Bangka Belitung yaitu Kecamatan Selat Nasik.

Kecamatan Selat Nasik merupakan salah satu daerah yang mempunyai potensi sumber daya laut, dan terletak di lokasi yang strategis baik dalam lingkup wilayah Kabupaten Belitung, Provinsi Bangka Belitung dan lingkup eksternal. Permasalahan kebutuhan air bersih merupakan salah satu yang penting dalam pemenuhan kebutuhan penduduk sehari-hari, terutama pada saat musim kemarau. Berdasarkan kasus tersebut di atas, ada beberapa hal menarik untuk dikaji. Pertama mayoritas penduduk masih menggunakan sumber air minum yang rentan terhadap pencemaran, sementara sumber air minum yang aman dan mempunyai potensi besar untuk dimanfaatkan belum digunakan secara maksimal. Kedua, kawasan perdesaan di daerah pesisir, pada beberapa lokasi sudah terkena intrusi air laut. Oleh sebab itu, perlu solusi penyediaan air bersih untuk memenuhi kebutuhan penduduk. Sumber air bersih di daerah pesisir hanya berasal

dari air hujan, air sungai dan air tanah dangkal (sumur). Air hujan jumlahnya fluktuatif serta memerlukan bak penampungan yang besar. Penggunaan air hujan hanya sebatas air minum, sementara untuk air bersih masih belum mencukupi secara kuantitas. Air sungai rentan terhadap pencemaran air asin. Sedangkan air tanah dalam hingga saat ini belum pernah diteliti potensi pemanfaatannya.

BAHAN DAN METODE

Kecamatan Selat Nasik dengan ibukota kecamatan berkedudukan di Desa Selat Nasik, memiliki luas wilayah 133,500 km² atau 5,82% dari luas keseluruhan Kabupaten Belitung, terdiri atas 26 pulau dan terbagi atas 4 Desa/Kelurahan. Kecamatan ini dihuni oleh 1.458 rumah tangga dengan jumlah penduduk sebanyak 7.243 jiwa (kepadatan penduduk 54,255 jiwa/km²). Keadaan tanah pada umumnya didominasi oleh kwarsa dan pasir, serta batuan granit. (**Gambar 1**)



Gambar 1. Kecamatan Selat Nasik Kabupaten Belitung

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan studi pustaka. *Pertama* pengumpulan data primer ini dilakukan melalui metode observasi langsung ke lapangan. *Kedua* studi pustaka yaitu dengan mengumpulkan data-data yang

diperlukan dari instansi yang ada di desa-desa dan Kecamatan Selat Nasik, serta Kabupaten Belitung. Adapun data yang diperlukan antara lain data jumlah penduduk, potensi air bersih eksisting secara alami (air tanah maupun air permukaan), dan pola pemanfaatan air bersih yang ada.

Metode Analisis

Dalam penelitian ini digunakan beberapa metoda analisis, yaitu :

A. Analisis Proyeksi Penduduk

Laju Pertumbuhan Penduduk Eksponensial digunakan dalam analisis ini untuk memprediksi jumlah penduduk suatu wilayah pada tahun 2018 dan 2023, dengan rumus:

$$P_t = P_0 \cdot e^{rt} \dots\dots\dots \text{persamaan 1}$$

dengan

$$r = \frac{1}{t} \ln \left(\frac{P_t}{P_0} \right) \dots\dots\dots \text{persamaan 2}$$

Keterangan:

P_t = Jumlah penduduk pada tahun ke-t

P₀ = Jumlah penduduk pada tahun dasar

t = jangka waktu

r = laju pertumbuhan penduduk

e = 2,71

B. Analisis Ketersediaan Air

Analisa data curah hujan

Dengan mengetahui tabel curah hujan di lokasi proyek atau di daerah sekitarnya yang diperoleh dari Badan Meteorologi Dan Geofisika setempat, maka kita dapat menggunakannya untuk kepentingan pekerjaan perencanaan teknis.

Data-data curah hujan yang diperoleh pada suatu lokasi proyek kadang kala tidak lengkap, berasal lebih dari satu stasiun pengamat hujan dan bahkan tidak ada sama sekali. Untuk itu perlu dilakukan analisis agar data yang digunakan mewakili karakteristik daerah proyek yang bersangkutan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar dibawah ini yang menerangkan pengolahan data hujan menjadi hujan wilayah.

Hujan Bulanan

Data hujan bulanan di wilayah proyek bersumber dari BMG. Jika terdapat data hujan yang hilang, maka perlu dilakukan pengisian data hujan yang hilang berdasarkan data pos hujan yang terdekat.

Untuk keperluan pengisian data hujan, digunakan metode *Normal Ratio Method* :

$$P_x = \frac{N_x}{M} \left(\sum_{i=1}^M \frac{P_i}{N_i} \right) \dots \text{persamaan 3}$$

Dimana :

P_x = estimasi data hujan yang hilang di pos x

N_x = curah hujan tahunan selama periode tertentu pada pos x

M = jumlah pos hujan yang terdekat

P_i = data pos hujan tetangga pada bulan tertentu

N_i = curah hujan tahunan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Penduduk

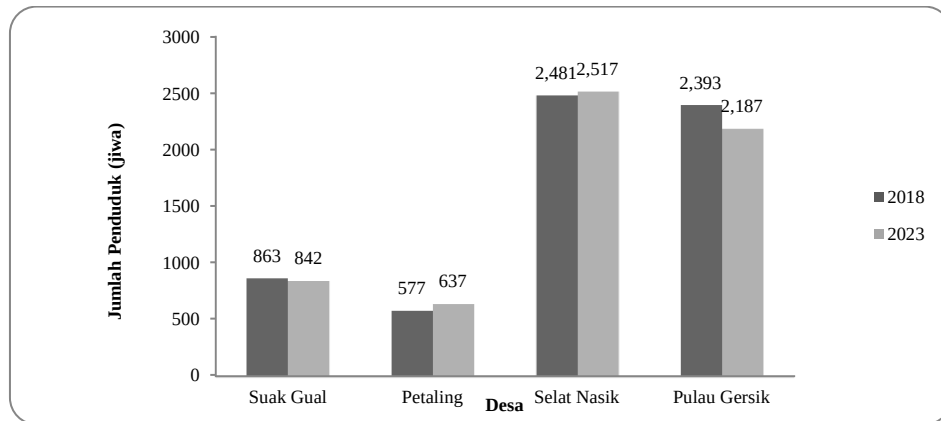
Berdasarkan data penduduk Kecamatan Selat Nasik pada tahun 2010 sampai dengan tahun 2015 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Belitung, Kecamatan Selat Nasik terdiri dari 4 (empat) desa. Dari desa-desa yang ada, diproyeksikan pada tahun 2018 dan 2023. Hasil analisis proyeksi penduduk yang tertinggi berada di Desa Selat Nasik, yaitu: 2.481 jiwa (2018) dan 2.517 jiwa (2023). Sedangkan yang terendah di Desa Petaling yaitu: 2.481 jiwa (2018) dan 2.517 jiwa (2023). (**Tabel 1** dan **Gambar 2**). Pertambahan jumlah penduduk yang semakin meningkat dapat kebutuhan air yang diperlukan di masa yang akan datang (Halim, dkk., 2013).

Perubahan jumlah penduduk di suatu wilayah tertentu pada waktu tertentu di bandingkan dengan waktu sebelumnya. (Afrianto, dkk., 2010). Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air yang dapat dihitung berdasarkan jumlah penduduk yang ada di daerah tersebut. Faktor utama yang menentukan adalah pertumbuhan penduduk (Zulkipli, dkk., 2011). Dalam kebutuhan air domestik hal yang paling berpengaruh dalam kebutuhan air adalah laju pertumbuhan penduduk (Kodoatie dan Sjarief, 2008).

Tabel 1. Proyeksi Penduduk Kecamatan Selat Nasik Tahun 2018 – 2023

No	Desa	Jumlah Penduduk(Jiwa)	
		2018	2023
1	Suak Bual	863	842
2	Petaling	577	637
3	Selat Nasik	2.481	2.517
4	Pulau Gersik	2.393	2.187
Jumlah		6.305	6.140

Sumber: Hasil Analisis, 2017

**Gambar 2.** Proyeksi Penduduk Kecamatan Selat Nasik Tahun 2018 – 2023

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Air Bersih di Kecamatan Selat Nasik pada Tahun 2018 dan 2013

Kecamatan Selat Nasik memiliki karakteristik dan ciri khas tersendiri dibandingkan kecamatan yang lain di Kabupaten Belitung. Kecamatan Selat Nasik memiliki 4 desa yang tersebar di semua penjuru pulau dan terpisah jauh antara satu dengan yang lainnya. Ibukota Kecamatan berada di Desa Selat Nasik. Saat ini belum terdapat instalasi air bersih di Kecamatan Selat Nasik. Mayoritas penduduk menggunakan air sumur dangkal untuk memenuhi kebutuhan air bersih sehari – hari.

Potensi Air Permukaan di Kecamatan Selat Nasik diantaranya adalah:

Desa Selat Nasik. Terdapat sumber air bersih yang dapat dimanfaatkan di Desa Selat Nasik sebagai Ibukota Kecamatan di Desa Selat Nasik. Kapasitas tamping kolong Selat Nasik diperkirakan sekitar 15.000 m³. Kapasitas sebesar ini cukup untuk dipergunakan sebagai sumber air bersih penduduk Desa Selat Nasik sebanyak 300 KK.

Desa Petaling. Desa Petaling bisa dikatakan tidak memiliki sumber air bersih potensial yang bisa dimanfaatkan. Dari survey lapangan hanya diperoleh 1 buah sumber berjarak sekitar 500 meter dari desa, berupa aliran sungai kecil dengan kapasitas 1 liter / detik yang selama ini dimanfaatkan sebagai sumber air mobil tangki. Akan tetapi, untuk mencukupi kebutuhan desa secara keseluruhan sumber air ini tidaklah memadai.

Desa Suak Bual. Desa Suak Bual memiliki karakteristik sedikit berbeda dengan desa – desa lainnya di Kecamatan Selat Nasik. Desa ini memiliki kemiringan yang lebih tajam dan berada di pinggir pantai. Litologi batuan Desa Suak Bual berupa gamping klastik yang tersebar di seluruh desa. Dengan kemiringan yang ekstrim menyebabkan tidak adanya potensi air permukaan di desa ini. Dimana air permukaan yang bersumber dari air hujan akan menjadi larian (*run off*) dan langsung kelaut. Pemenuhan kebutuhan air bersih saat ini hanya bersumber dari sumur gali dan beberapa sumur pantek dengan kedalaman 20 meter.

Desa Gersik. Desa Gersik berpusat di Pulau Gersik dan terpisah dari Pulau Mendanau yang merupakan pulau utama dan sebagai Ibukota Kecamatan Selat Nasik. Desa Gersik sendiri tidak memiliki potensi sumber air permukaan. Sumber air yang ada dan selama ini menjadi tumpuan sumber air bagi masyarakat adalah sumur dangkal.

Secara umum Kecamatan Selat Nasik tersusun oleh 3 satuan formasi geologi yaitu Endapan Alluvial dan Pantai (Qa), Formasi Kelapa Kampit (PCks), dan Formasi Tajam (PCTm). Endapan Alluvial dan Pantai (Qa) tersusun dari endapan batuan lepas berupa kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan pecahan koral. Formasi Kelapa Kampit (PCks) tersusun oleh batuan sedimen yang telah terlipat lemah hingga sedang, yang terdiri dari batu pasir berselingan dengan batu sabak, batu lempung, serpih, lanau dan sabak. Formasi Tajam (PCTm) terdiri dari baru pasir kuarsa yang terlipatkan sedang hingga kuat dan termetamorfosa tingkat rendah. Formasi ini menjari dengan formasi kelapa kampit. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada peta geologi kecamatan Selat Nasik berikut:

Berdasarkan aspek hidrogeologi, Kecamatan Selat Nasik memiliki potensi air tanah kecil hingga sedang. Desa Selat Nasik, Desa Suak Bual, dan Desa Gersik termasuk dalam wilayah air tanah langka dan harus mengandalkan sumber air tanah permukaan ataupun sumur dangkal. Sedangkan Desa Petaling termasuk dalam daerah dengan potensi air tanah sedang.

Seiring dengan sedikitnya potensi air permukaan Desa Petaling, air tanah dalam dapat menjadi salah satu pilihan yaitu dengan menggunakan sumur air tanah dalam sebagai sumber air bersih.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 16 Tahun 2005 bahwa yang dimaksud dengan air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang berasal dari sumber air permukaan (Joko, T 2010, hlm 53). Oleh karena itu proyeksi kebutuhan air bersih Kecamatan Selat Nasik sangat penting. Setelah dilakukan pengambilan data resistivitas untuk mengetahui ketersediaan air tanah dan potensinya untuk digunakan sebagai sumber air bersih, diperoleh data hasil analisis pada masing-masing desa di Kecamatan Selat Nasik adalah 466.366 liter/orang/hari (tahun 2018) dan 519.611 liter/orang/hari (tahun 2023).

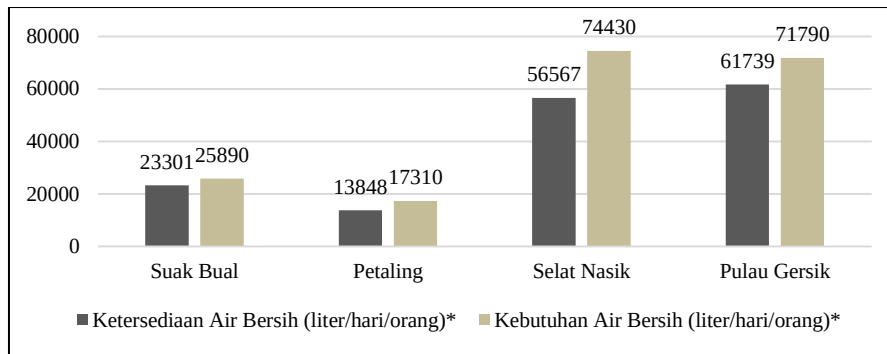
Standar kebutuhan menggunakan acuan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14/PRT/M/2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang yaitu 90 liter/orang/hari. Berdasarkan perhitungan dapat diketahui bahwa proyeksi kebutuhan air bersih di Kecamatan Selat Nasik pada tahun 2018 sebesar 586.260 liter/orang/hari, pada tahun 2023 sebesar 556.470 liter/orang/hari. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan air bersih yang ada di Kecamatan Selat Nasik akan terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduknya (**Tabel 2 dan Gambar 3 dan Gambar 4**)

Tabel 2. Proyeksi Ketersediaan dan Kebutuhan Air Bersih Kecamatan Selat Nasik Pada Tahun 2018 dan 2023

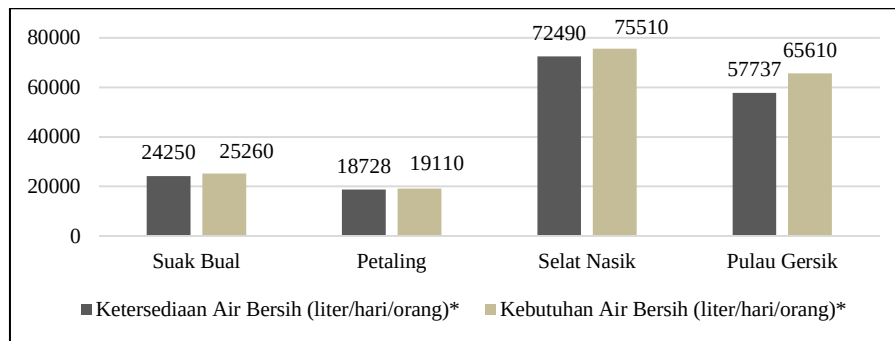
No	Desa	Ketersediaan Air (liter/hari/orang)*		Kebutuhan Air (liter/orang/hari)*	
		2018	2023	2018	2023
1	Suak Bual	69.903	72.749	77.670	75.780
2	Petaling	41.544	56.183	51.930	57.330
3	Selat Nasik	169.700	217.469	223.290	226.530
4	Pulau Gersik	185.218	173.210	215.370	196.830
Jumlah		466.366	519.611	568.260	556.470

Sumber: Hasil Analisis, 2017

* Standar kebutuhan menggunakan acuan dari Ditjen Cipta Karya yaitu 90 liter/orang/hari



Gambar 3. Proyeksi Ketersediaan dan Kebutuhan Air Bersih Kecamatan Selat Nasik Pada Tahun 2018



Gambar 4. Proyeksi Ketersediaan dan Kebutuhan Air Bersih Kecamatan Selat Nasik Pada Tahun 2023

KESIMPULAN

Ketersediaan air bersih di Kecamatan Selat Nasik merupakan salah satu kebutuhan yang penting bagi penduduk setempat. Dengan lokasi yang berada di daerah pesisir, penduduk menggunakan air yang berasal dari air hujan, air sungai dan air tanah dangkal (sumur). Kebutuhan air bersih di Kecamatan Selat Nasik terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduknya. Untuk itu, perlu adanya upaya pemenuhan kebutuhan air bersih dari berbagai pihak, karena kebutuhan air bersih di Kecamatan Selat Nasik, tidak memenuhi/ tidak memadai kebutuhan air bersih penduduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Belitung Tahun 2010-2015
- Halim, F., Jasin, M. I., Kawet, L., et al. (2013). *Pengembangan Sistem Pentediaan Air Bersih*. Sipil Statik, Vol 1. Hlm: 444.

- Joko, T. (2010). *Unit air baku dalam sistem penyediaan air minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kodoatie-J, R. dan Sjarief. (2008). *Pengelolaan sumber daya air terpadu*. Yogyakarta: Andi.
- Lukman Afrianto, Dede Rohmat., et al (1989). *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 16 Tahun 2005 Tentang. *Pengembangan Sistem Penyediaan. Air Minum*
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14/PRT/M/2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. Suripin. 2002. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. ANDI. Yogyakarta.
- Zulkipli., Soetopo, W., Prasetyo, H., et al. (2012) *Analisa Neraca Air Permukaan DAS Renggang Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Irigasi Dan Domestik Penduduk Kabupaten Lombok Tengah*. Teknik Pengairan, Vol 3. Hlm 89.

PROSPEK SKENARIO KEBIJAKAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN KAWASAN INDUSTRI (Studi Kasus Kawasan Industri Jababeka dan EJIP di Kabupaten Bekasi)

Temmy Wikaningrum
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Presiden
Jl Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, Jawa Barat 17550
temmy@president.ac.id

Abstract: *The key factors which supported to develop sustainability in the environmental management in the industrial estate was studied by many approaches. The principles of analysis were elaborated by the multi dimension key factors that affecting the policy of the environmental manager in ecology, economy, social, technology and estate management aspects. This study was initiated by considering and combining the dominant factors which the results of prior researches that using Multi-Dimensional Scaling (MDS) method. The dominants factors were reveiwed by expert judgment approach by Bourgeois matrix as the propective analysis tool. The analysis was focus in the key factors that has low value in the dependence (<1) but has high value in the influence (>1) of the normalized graph of dependence-influence. The key factors were a) implementation of 3R for hazardous waste; b) industrial wastewater quality; c) industrial estate wastewater quality ;d) labor condition, and e) industrial water demand. The study was analyze that the optimistic scenario can be obtained by the industrial estate manager by conducting the strategic steps. The initial program was recommended by enforcing the industrial companies to improve their waste water quality and increasing 3R of hazardous waste, that will enhance increasing the waste water quality of the centralized wastewater treatment of industrial estate. The environmental synergy between industrial company and industrial estate management will promote the good labour condition and stakeholders trust for more business opportunities that indicated by increasing industrial water demand.*

Keywords: *environmental management, industrial estate, prospective analysis, sustainable*

Abstrak. Beberapa faktor-faktor penting yang mendukung keberlanjutan pengelolaan lingkungan kawasan industri telah dikaji dengan beberapa pendekatan. Prinsip kajian-kajian tersebut adalah dengan menganalisa faktor-faktor penting secara multi dimensi yang mempengaruhi kebijakan pengelola kawasan industri dalam aspek ekonomi, sosial, ekologi, teknologi dan pengelolaan. Penelitian ini diawali dengan merujuk dan menggabungkan faktor-faktor dominan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan metoda MDS. Faktor-faktor dominan tersebut dikaji propektifnya oleh beberapa pakar terpilih dengan pendekatan matrix Bourgeois. Kajian ini selanjutnya difokuskan kepada faktor-faktor penentu yang memiliki nilai ketergantungan yang rendah (<1), namun memiliki pengaruh yang tinggi (>1) pada diagram pengaruh – ketergantungan yang telah dinormalsasi. Faktor penentu tersebut adalah a) 3R limbah B3; b) kualitas air limbah industri; c) kualitas air limbah kawasan industri; d) kondisi perumahan; dan e) kebutuhan air industri. Dengan langkah-langkah staregis, pengelola kawasan industri dapat menerapkan skenario pengelolaan yang optimis. Rekomendasi langkah strategis dimulai dengan sinergi antara pengelola kawasan industri dan perusahaan industri dalam meningkatkan kualits air limbah dan 3R limbah B3. Hal ini akan meningkatkan kondisi perumahan yang kondusif dan meningkatkan kepercayaan pihak-pihak terkait yang akan meningkatkan peluang bisnis industri, dengan salah satu indikasinya berupa peningkatan kebutuhan air industri. Adanya peningkatan kebutuhan air industri akan mendorong aspek eknomi yang lebih baik kepada pengelola kawasan sehingga akan memberikan pelayanan yang lebih baik kepada perusahaan industri.

Kata Kunci: *analisis prospektif, berkelanjutan, kawasan industri, multidimensional scaling, pengelolaan lingkungan*

PENDAHULUAN

Pengelolaan lingkungan kawasan industri yang berkelanjutan sangat dibutuhkan bagi masyarakat Indonesia sejalan dengan pertumbuhan industri yang tinggi dan dampaknya yang luas, baik dampak

ekologi, ekonomi maupun sosial, serta dibutuhkan dukungan teknologi yang tepat serta Sistem Manajemen Lingkungan yang kondusif. Analisis status keberlanjutan beberapa kawasan telah dilakukan oleh beberapa peneliti dalam 5 dimensi, yaitu

dimensi ekonomi, ekologi, sosial, teknologi dan kelembagaan (pengelolaan). Hasil penelitian di Kawasan Industri Jababeka di kabupaten Bekasi (Wikaningrum 2015 dan Cahyanto 2016), menunjukkan bahwa pengelolaan lingkungan tergolong berkelanjutan untuk

dimensi kelembagaan, sedangkan dimensi sosial, ekonomi, teknologi dan ekologi belum berkelanjutan. Sedangkan penelitian di *East Jakarta Industrial Estate Park* di Kabupaten Bekasi (Budiyanto 2016) pada 5 dimensi tersebut menunjukkan keberlanjutan untuk seluruh dimensinya.

Tabel 1. Rekapitulasi faktor –faktor penting hasil analisis MDS dari data sekunder

DIMENSI		1 (*)	2 (**)	2(***)	Total	Prospektif
Ekologi	1	3R limbah B3	Kualitas air limbah pelanggan	Pemanfaatan Lahan (BCR)	11	9
	2	Konservasi air & penurunan beban pencemaran air	Taman	Kualitas Air Limbah Tenant		
	3	Penurunan pencemaran udara	Upaya pencegahan pencemaran drainase	Kualitas Air Limbah Kawasan		
	4		Kuantitas sumber air baku			
	5		Kualitas distribusi air bersih ke pelanggan			
Ekonomi	6	Dana konservasi air	Tarif pemeliharaan kawasan (MC)	Air Baku air bersih	13	13
	7	Dana penurunan pencemaran udara	Pameran Produk	Sharing keuntungan		
	8	Dana 3R Limbah B3	Iklan	Kebutuhan air industri tenant		
	9	Dana Pengembangan masyarakat	Tarif Air Limbah			
	10	Dana implementasi SML	Komersial Ruko			
Sosial	11	Monitoring dan evaluasi program pengembangan masyarakat	Kemampuan komunikasi	Kondisi perumahan	9	9
	12	Hubungan sosial	penertiban transportasi umum	Turnover karyawan		
	13		sarana kesehatan	Penyerapan Tenaga Kerja Lokal		
	14		Patroli keamanan			
Teknologi	15	Teknologi penurunan pencemaran udara	Teknologi distribusi gas	ISO 14001	11	11
	16	Teknologi efisiensi energi	Teknologi Peralatan Laboratorium	Pre treatment air limbah pelanggan		
	17	Teknologi 3R limbah B3	Teknologi suplai sir bersih dengan sistem perpompaan	ISO 9001		
	18		Teknologi fiber optic			
	19		Teknologi LED (Light Emited Dioda)			
Kelembagaan	20	Bechmarking SML	Regulasi kawasan	Monitoring UKL & UPL	9	9
	21	DRKPL untuk PROPER	Kesesuaian persyaratan manajemen mutu lingkungan	Serikat Pekerja		
	22		inovasi pengembangan produk	Sosialisasi Kawasan		
	23		Tindak lanjut keluhan pelanggan			
Total		15	23	15	53	51

(*) Wikaningrum *et. al.* (2015); (**) Cahyanto *et. al.* (2016); (***)Budiyanto *et. al.* (2015)

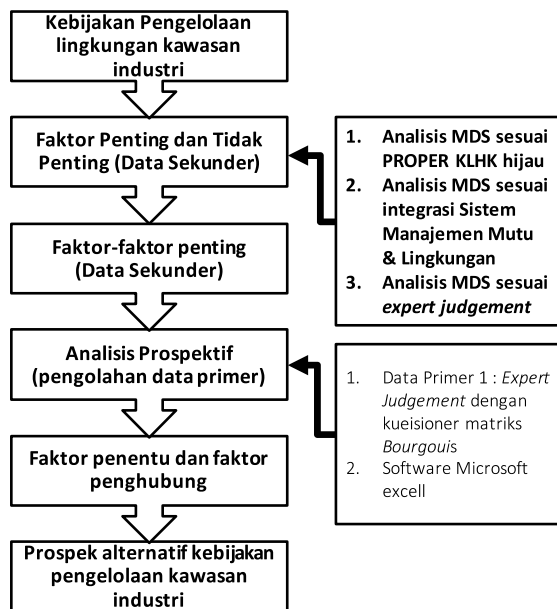
Dalam penelitian ini dilakukan analisis lanjutan terhadap 53 faktor penting yang dihasilkan dari analisis MDS (*multidimensional scaling*) pada penelitian sebelumnya yang dirangkum dalam Tabel

1. Analisis prospektif terhadap 53 faktor penting tersebut dilakukan melalui *in depth interview* kepada *expert* terpilih dengan format kuesioner matrik *Bourgeois*. Tujuan dari penelitian ini adalah

menentukan prospek alternatif-kebijakan strategis pengelolaan lingkungan kawasan industri agar berkelanjutan.

METODOLOGI

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa tujuan dari penelitian ini adalah menentukan prospek alternatif-kebijakan strategis pengelolaan lingkungan kawasan industri agar berkelanjutan. Untuk mencapai tujuan penelitian tersebut selanjutnya disusun kerangka pikir sebagai berikut :



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

Pemilihan Faktor Penting

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan sistem dengan studi kasus di kawasan industri di Cikarang Kabupaten Bekasi. Penentuan kebijakan strategis yang dibangun ditujukan untuk mendapatkan kebijakan pengelolaan lingkungan kawasan industri yang bersifat aplikatif, multi dimensi dan melibatkan beberapa pemangku kepentingan, serta merupakan kajian lintas sektor.

Penelitian dimulai dengan melakukan pengambilan data sekunder berupa faktor-faktor penting dan tidak penting dalam keberlanjutan pengelolaan dari penelitian sebelumnya berdasarkan pendekatan *multidimensional scaling* (MDS) dengan

software *rapfish* (*the rapid appraisal of fisheries status*) yang selanjutnya dimodifikasi sesuai kebutuhan dalam penelitian tersebut. Pendekatan tersebut menggunakan kriteria PROPER KLHK peringkat hijau (Wikaningrum et.al 2015), menggunakan kriteria integrasi sistem manajemen mutu dan lingkungan (Cahyanto 2016), serta pendekatan *expert judgement* (Budiyanto 2016). Untuk faktor tidak penting selanjutnya tidak dikaji lebih lanjut karena bukan merupakan faktor dominan dalam system sesuai hasil analisis MDS tersebut.

Pada faktor-faktor penting hasil penelitian-penelitian sebelumnya hasil analisis MDS tersebut dilakukan analisis dengan metode prospektif untuk mengetahui faktor-faktor mana yang penting dalam kebijakan pengelolaan lingkungan kawasan industri. Pada analisis ini dilakukan pengambilan data primer melalui *in depth interview* dengan 8 orang para pakar yang *representative* dari berbagai pemangku kepentingan, seperti pemerintah, industri, dan tokoh masyarakat. Selanjutnya dari score hasil interview dengan kuesioner dengan matrik *Bourgeois* yang telah dinormalisasi dapat ditentukan penentu dan penghubung kebijakan pengelolaan lingkungan kawasan industri. Dari faktor-faktor penentu tersebut selanjutnya dibangun prospek alternatif kebijakan dengan skenario pesimis, moderat dan optimis.

Penetapan Pakar dan Prosedur *in depth interview*

Responden dalam penelitian ini terdiri para pakar yang dipilih secara sengaja (*purposive sampling*). Oleh karena teknik penetapan responden dengan cara menggali informasi dan pengetahuan (akuisisi pendapat) pakar, maka metoda ini termasuk metoda *expert judgement*. Tahapan analisis prospektif dengan pengisian form kuesioner, yaitu oleh 8 orang pakar yang terdiri dari tokoh masyarakat, perusahaan industri, BPLHD Jawa Barat, dan pengelola kawasan

industri yang telah berpengalaman di bidangnya minimal selama 15 tahun.

Beberapa pertimbangan dalam pemilihan pakar untuk dijadikan sebagai responden adalah memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Mempunyai kompetensi dan pengalaman di bidang yang dikaji.
2. Keberadaan, keterjangkauan dan kesediaan untuk diwawancara.
3. Memiliki reputasi, kedudukan/jabatan dan telah menunjukkan kredibilitasnya sebagai pakar pada bidang yang diteliti.
4. Bersifat obyektif dan bersedia menerima pendapat responden lain.

Metode Analisis Prospektif

Dalam tahap ini dilakukan analisis prospektif terhadap faktor penting hasil dari analisis MDS dari penelitian sebelumnya. Kegiatan yang dilakukan adalah wawancara (*indepth interview*) kepada para pakar yang mewakili dari berbagai pemangku kepentingan yang telah berpengalaman di bidang pengelolaan lingkungan kawasan industri.

Software yang digunakan adalah *Microsoft Excell* yang dimodifikasi dengan penghitungan analisis prospektif. Analisis prospektif digunakan untuk mempersiapkan tindakan strategik yang perlu dilakukan dan melihat apakah perubahan diperlukan di masa depan (Hardjomidjojo 2004). Tahapan analisis prospektif menurut Bourgeois dan Jesus (2004) adalah:

1. Menentukan tujuan penelitian yang dikaji secara spesifik dan dapat dimengerti oleh semua pakar yang akan diminta pendapatnya.
2. Identifikasi faktor-faktor yang berpengaruh dalam pencapaian tujuan tersebut biasanya merupakan kebutuhan *stakeholders* sistem yang dikaji.
3. Penilaian pengaruh langsung antar faktor. Semua faktor yang teridentifikasi dan terdefinisi akan dinilai pengaruh langsung antar faktor, berpedoman pada penilaian seperti tercantum dalam Tabel 2.

4. Penyusunan keadaan yang mungkin terjadi (*state*) pada faktor-faktor penting yang berpengaruh. Keadaan bukan merupakan tingkatan atau ukuran suatu faktor (seperti besar, sedang, kecil, atau baik/buruk), tetapi merupakan deskripsi tentang situasi dari sebuah faktor.

Tabel 2. Pedoman penilaian analisis prospektif

SKOR	PENGARUH
0	Tidak ada pengaruh
1	Berpengaruh kecil
2	Berpengaruh sedang
3	Berpengaruh sangat kuat

Sumber : Godet (1999)

Menurut Godet (1999) pengaruh antar faktor diberikan skor oleh pakar terpilih dengan menggunakan pedoman analisis prospektif sesuai Tabel 2 dengan tahapan sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang berpotensi menjadi faktor kunci. Pada format Tabel 3 dinyatakan dalam A, B, C dan seterusnya. Faktor ini dalam penelitian diperoleh dari hasil analisis *leverage* / pengungkit analisis MDS.
2. Dilihat dahulu apakah faktor tersebut tidak ada pengaruhnya terhadap faktor lain, jika benar tidak ada pengaruh maka diberi nilai 0 .
3. Jika ada pengaruh, selanjutnya dilihat apakah pengaruhnya sangat kuat, jika ya diberi nilai 3.
4. Jika ada pengaruh, baru dilihat apakah pengaruhnya kecil = 1, atau berpengaruh sedang = 2.

Tabel 3. Matriks pengaruh langsung antar faktor

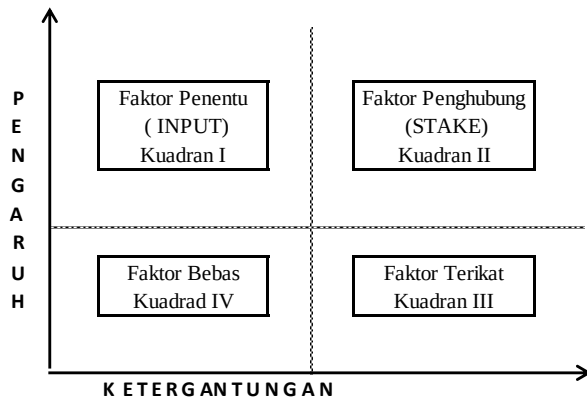
	A	B	C	D	E
A					
B					
C					
D					
E					

Sumber : Godet (1999)

Menurut Bourgeois dan Jesus (2004), hasil analisis faktor-faktor kunci sesuai Gambar

2 memiliki arti sesuai dengan keberadaan pada kuadran dimana faktor kunci tersebut berada, yaitu :

- 1) Kuadran I (*INPUT*), memuat faktor-faktor yang mempunyai pengaruh kuat dengan tingkat ketergantungan yang kurang kuat. Faktor ini sebagai faktor penggerak (*driving variables*) yang berpengaruh paling kuat dalam sistem.



Gambar 2. Diagram pengaruh dan ketergantungan Bourgeois dan Jesus (2004)

- 2) Kuadran II (*STAKES*), memuat faktor-faktor yang mempunyai pengaruh dan ketergantungan yang kuat (*leverage variables*). Faktor pada kuadran ini merupakan peubah yang kuat.
- 3) Kuadran III (*OUTPUT*), memuat faktor-faktor yang mempunyai

pengaruh kecil, namun tingkat ketergantungannya tinggi.

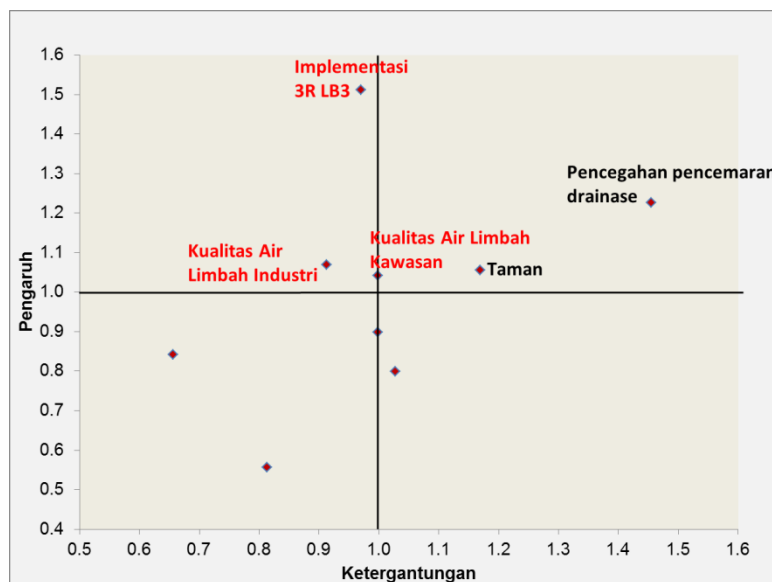
- 4) Kuadran IV (*UNUSED*), memuat faktor-faktor yang mempunyai pengaruh dan ketergantungan yang rendah.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada wilayah Kawasan Industri Jababeka (KIJA) dan East Jakarta Industrial Estate Park (EJIP) keduanya terletak Kabupaten Bekasi. Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2017 – Desember 2017.

HASIL DAN PEMBAHASAN

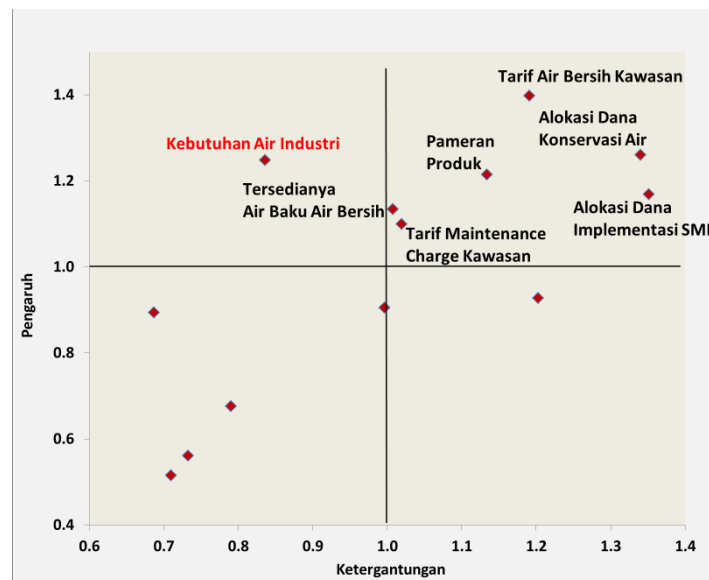
Dari hasil analisis prospektif pada nilai yang telah dinormalisasi untuk dimensi ekologi diperoleh data hasil pemetaan pada Gambar 3, yang menunjukkan bahwa ada 3 faktor penentu sebagai *driving force* di kuadran 1 yaitu faktor a) Implementasi 3R limbah B3, b) kualitas air limbah dari industri, dan c) kualitas air limbah dari kawasan. Adapun faktor penghubung sebagai *leverage variables* (kuadran 2) terdiri dari a) Taman (penghijauan) dan b) pencegahan pencemaran drainase.



Gambar 3. Pemetaan faktor-faktor penting dimensi ekologi

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa faktor pencemaran lingkungan air limbah dan limbah B3 menjadi perhatian utama dibandingkan pencemaran udara maupun penghijauan. Hal ini karena pada kawasan industri yang diteliti telah melakukan penghijauan yang baik, dan jenis industri berlokasi di dalam kawasan tersebut secara umum tidak menghasilkan limbah gas namun menghasilkan air limbah dan limbah B3. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Dynasti *et.al.* 2017), bahwa strategi pengembangan dan pengelolaan kawasan industri menunjukkan strategi yang paling penting oleh responden adalah dengan “menghijaukan industri yang sudah ada”. Dalam hal dimensi ekologi menjadi faktor yang strategis. Hasil perhitungan analisis prospektif untuk

dimensi ekonomi dapat dilihat dalam Gambar 4 yang menunjukkan hanya 1 faktor yang menjadi penentu yaitu faktor kebutuhan industri, terdapat 6 faktor penghubung di kuadran 2 yaitu : a) alokasi Dana konservasi air; b) alokasi Dana implementasi Sistem Manajemen Lingkungan; c) Tarif *maintenance charge* kawasan; d) Tarif Air Bersih Kawasan; e) pameran produk; dan f) tersedianya air baku untuk air bersih. Dari hasil di atas menunjukkan bahwa jumlah kebutuhan air bersih menjadi faktor penggerak utama bagi dimensi ekonomi karena sebagai indikasi bahwa kondisi ekonomi dan bisnis industri dalam kawasan berjalan baik yang pada akhirnya akan mempengaruhi kondisi ekonomi pengelola kawasan industri.



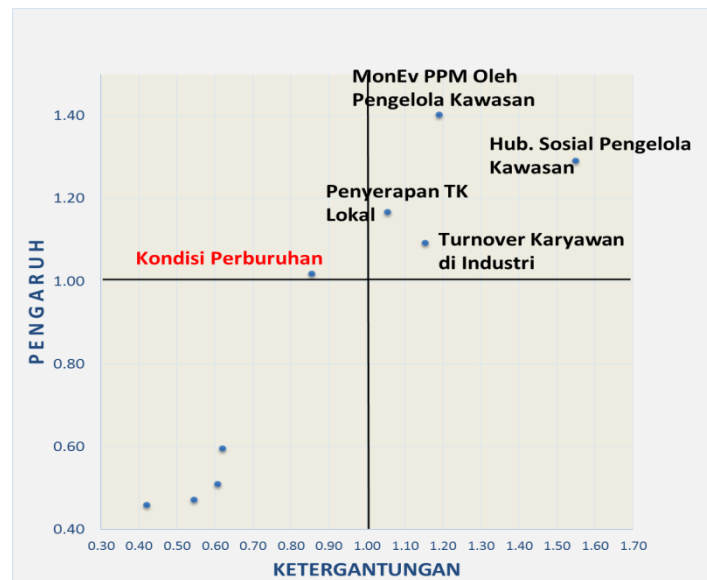
Gambar 4. Pemetaan faktor-faktor penting dimensi ekonomi

Penelitian di Rumania (Nastase *et.al.* 2010) terkait pengembangan kawasan industri yang berkelanjutan diperoleh hasil bahwa peran pemerintah dalam mendorong keberlanjutan pengelolaan kawasan industri terutama diperlukan yang terkait dari sektor ekonomi. Adapun program opsi strategisnya adalah *environmental benchmarking*, *environmental leadership* dan *pro-active environmental strategies*. Hal ini sejalan

dengan pengembangan kawasan industri di Russia (Sosnovskikh 2017), bahwa peran penting pemerintah terutama dalam dimensi ekonomi sangat diperlukan dalam mendukung Industri Kecil dan Menengah. Hasil analisis prospektif untuk dimensi sosial, menunjukkan bahwa hanya ada 1 faktor penentu sesuai Gambar 5, yaitu kondisi perburuhan. Sedangkan 4 faktor penghubung sesuai kuadran 2 adalah : a) Monitoring dan evaluasi program

pengembangan masyarakat oleh pengelola kawasan; b) Hubungan sosial Pengelola Kawasan secara internal & eksternal; c) *Turnover* karyawan di industri; dan d) Penyerapan Tenaga Kerja Lokal. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa potensi yang mempengaruhi ketidak berlanjutan dimensi sosial lebih ditentukan oleh kondisi para pekerja di masing-masing industri dibandingkan faktor masyarakat lokal, komunikasi sosial, maupun faktor

keamanan. Hal ini disebabkan kondisi keamanan dan komunikasi di kawasan industri yang diteliti sudah baik, serta area untuk masyarakat lokal juga semakin sedikit sehingga perannya tidak terlalu banyak lagi. Sedangkan kegiatan perburuhan sudah menjadi aktivitas yang bersifat nasional lintas perusahaan dan wilayah, sehingga pengaruhnya harus benar-benar diantisipasi.



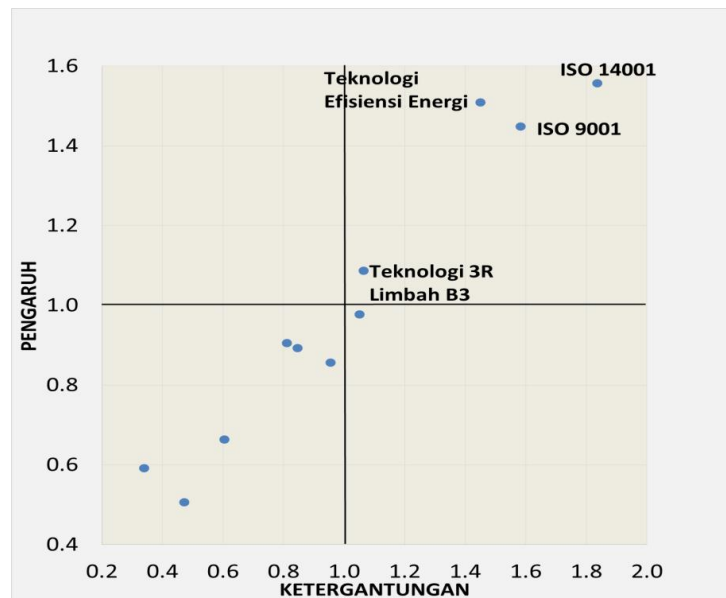
Gambar 5. Pemetaan faktor-faktor penting dimensi sosial

Hasil analisis dimensi teknologi sesuai dengan hasil pemetaan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa tidak ada faktor yang menjadi faktor penentu, sedangkan faktor penghubung ada 4 yaitu a) Teknologi efisiensi energi ; b) Teknologi 3R Limbah B3; c)ISO 14001; dan d)ISO 9001. Tidak adanya faktor penentu menunjukkan telah didapatkannya akses teknologi yang memadai pada kawasan industri yang diteliti, yang menunjukkan fenomena global dengan kemudahan akses informasi. Sedangkan efisiensi energi merupakan isu yang diperhatikan terkait peluang penghematan biaya energi, juga peningkatan citra perusahaan. Adapun ISO 9001 mengenai system jaminan mutu dan ISO 14001 mengenai pengelolaan lingkungan menjadi perhatian karena selain meningkatkan kepercayaan

pelanggan industri, juga sebagai sistem manajemen pengendalian kualitas dan pengelolaan lingkungan yang diperlukan oleh perusahaan industri.

Hasil analisis dimensi kelembagaan sesuai pemetaan nilai pada Gambar 7 menunjukkan bahwa tidak terdapat faktor penentu , dan terdapat 4 faktor penghubung yaitu : a) *Benchmarking* Sistem Manajemen Mutu Lingkungan; b) DRKPL Proper Kawasan; c)Tata Tertib Kawasan; dan d) Kesesuaian persyaratan manajemen mutu lingkungan. Hasil analisis prospektif ini menunjukkan bahwa pada kawasan industri yang diteliti telah dilakukan pengelolaan yang baik oleh Pengelola Kawasan Industri, namun dengan terdapat faktor-faktor lain sebagai pengungkit yang harus diperhatikan yaitu yang terkait dengan benchmarking,

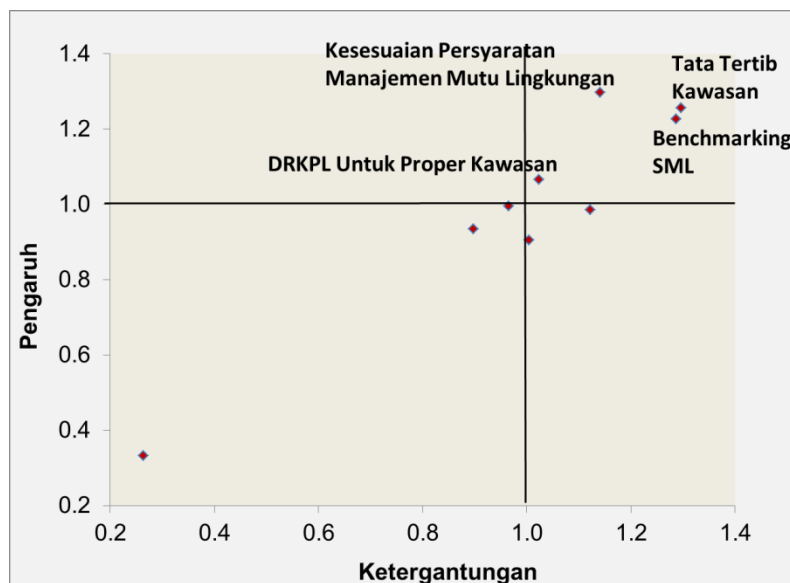
Proper KLHK, Tata Tertib Kawasan, dan manajemen mutu lingkungan.



Gambar 6 Pemetaan faktor-faktor penting dimensi teknologi

Hasil analisis prospektif secara keseluruhan untuk 5 dimensi dirangkum dalam Tabel 4. Dengan demikian terdapat 5 faktor yang berasal 3 dimensi yaitu ekologi, ekonomi dan sosial yang menjadi penentu / *driving force* dalam sistem

pengelolaan lingkungan kawasan industri agar berkelanjutan. Sedangkan dimensi teknologi dan kelembagaan tidak terdapat faktor penentu, meskipun terdapat banyak faktor penghubung sebagai faktor pengungkit / *leverage factor* sistem.



Gambar 7. Pemetaan faktor-faktor penting dimensi kelembagaan

Tabel 4. Rangkuman hasil pemetaan analisis prospektif

Dimensi		Faktor Penghubung (Kuadran 2)	Faktor Penentu (kuadran 1)
EKOLOGI	1	Pencegahan Pencemaran Drainase	Implementasi 3R Limbah B3
	2	Taman	Kualitas air limbah industri
	3		Kualitas air limbah kawasan
EKONOMI	4	Alokasi dana konservasi air	Kebutuhan air oleh industri
	5	Alokasi dana implementasi SML	
	6	Tarif maintenance kawasan	
	7	Tarif air bersih kawasan	
	8	Pameran Produk	
	9	Ketersediaan air baku	
KELEMBAGAAN	10	Benchmarking SML	
	11	Tatib kawasan	
	12	Penertiban pelanggaran air limbah kawasan	
SOSIAL	13	Monev Program Pengembangan Masyarakat	Kondisi perburuhan
	14	Hubungan sosial	
	15	Turnover karyawan di Industri	
	16	Penyerapan tenaga kerja lokal	
TEKNOLOGI	17	Teknologi efisiensi energi	
	18	ISO 14001	
	19	ISO 9001	

Formulasi Kebijakan Pengelolaan Lingkungan Kawasan Industri

Skenario pengelolaan lingkungan kawasan industri disusun berdasarkan faktor-faktor penentu yang berpengaruh kuat namun dengan nilai keterganungan yang rendah sebagai *driving force* pada pengelolaan lingkungan kawasan industri. Dari faktor-

faktor penentu tersebut dideskripsikan berbagai keadaan (*state*) yang mungkin akan terjadi di masa mendatang. Dari 4 faktor penentu (variabel) yang berpengaruh kuat terhadap pengelolaan lingkungan kawasan industri, selanjutnya dipilih keadaan yang mungkin terjadi di masa mendatang (Tabel 5).

Tabel 5. Kondisi (*state*) yang mungkin terjadi di waktu mendatang pada masing-masing faktor kunci

Dimensi	Faktor-faktor penentu	Kode variabel	A	B	C
Ekologi	Kualitas air limbah industri	1	meningkat	tetap	menurun
	Kualitas air limbah kawasan	2	meningkat	tetap	menurun
	Implementasi 3R Limbah B3	3	meningkat	tetap	menurun
Sosial	Kondisi perburuhan	4	meningkat	tetap	menurun
Ekonomi	Kebutuhan air oleh industri	5	meningkat	tetap	menurun

Pada Tabel 5 ditunjukkan bahwa setiap faktor penentu terdapat masing-masing tiga kemungkinan kinerjanya yang dapat terjadi di masa mendatang, yaitu tetap, meningkat, atau menurun. Setiap faktor penentu diberikan kode nomor 1 sampai dengan nomor 5, sedangkan keadaan yang mungkin terjadi diberikan kode A (meningkat), B (tetap), dan C (menurun). Selanjutnya dari berbagai kemungkinan sesuai Tabel 5 tersebut, selanjutnya disusun Tabel 6 yang merupakan

kombinasi kondisi faktor-faktor penentu yang tidak mungkin terjadi secara bersamaan apabila sistem pengelolaan dilaksanakan dengan baik. Kombinasi antar kondisi faktor kunci (variabel) yang tidak mungkin tersebut selanjutnya dibuang (dieliminasi) dalam penyusunan skenario lebih lanjut. Sesuai kombinasi antar faktor dalam Tabel 6 terdapat 14 kombinasi keadaan yang tidak mungkin terjadi pada saat yang bersamaan. Misalnya untuk faktor penentu 1

Tabel 6. Kombinasi kondisi (*state*) antar faktor yang tidak mungkin terjadi pada saat bersamaan

No	Kombinasi variabel yang tidak mungkin terjadi
1	1A - 3C
2	1A - 4C
3	1A - 5C
4	2A - 1C
5	2A - 1B
6	2A - 3C
7	2A - 4C
8	2A - 5C
9	3A - 4C
10	3A - 5C
11	4A - 5C
12	5A - 1C
13	5A - 2C
14	5A - 4C

(kualitas air limbah industri), tidak mungkin kualitas air limbah terjadi peningkatan (menjadi lebih baik) pada kondisi 1A apabila faktor penentu implementasi 3R limbah B3 (kondisi 3C) menurun, karena keberhasilan pengelolaan limbah B3 berpengaruh di industri pada keberhasilan *pre-treatment* air limbah industri. Demikian juga kondisi 1A yaitu kualitas air limbah industri meningkat lebih baik tidak mungkin terjadi apabila kondisi buruh menurun (kondisi 4C), karena buruh (pekerja) yang melakukan pekerjaan langsung dalam pengelolaan air limbah di industri.

Tabel 7. Pemetaan keadaan faktor-faktor penentu pengelolaan lingkungan kawasan industri

No	Faktor-faktor penentu	Keadaan (<i>State</i>)		
		1A	1B	1C
1	Kualitas air limbah industri	Kualitas air limbah industri yang dibuang sebagai inlet IPAL kawasan industri meningkat (lebih baik)	Kualitas air limbah industri yang dibuang sebagai inlet IPAL kawasan industri tetap	Kualitas air limbah industri yang dibuang sebagai inlet IPAL kawasan industri menurun (lebih buruk)
2	Kualitas air limbah kawasan	Kualitas air limbah outlet dari IPAL kawasan industri semakin meningkat (lebih baik)	Kualitas air limbah outlet dari IPAL kawasan industri tetap	Kualitas air limbah outlet dari IPAL kawasan industri semakin menurun (lebih buruk)
3	Implementasi 3R Limbah B3	Implementasi 3R (<i>reduce, reuse, recycle</i>) limbah B3 (bahan beracun berbahaya) meningkat	Implementasi 3R (<i>reduce, reuse, recycle</i>) limbah B3 (bahan beracun berbahaya) tetap	Implementasi 3R (<i>reduce, reuse, recycle</i>) limbah B3 (bahan beracun berbahaya) menurun
4	Kondisi perburuhan	Kondisi perburuhan yang bekerja di industri dalam kawasan semakin baik / kondusif	Kondisi perburuhan yang bekerja di industri dalam kawasan tetap	Kondisi perburuhan yang bekerja di industri dalam kawasan semakin buruk
5	Kebutuhan air oleh industri	Kebutuhan air industri oleh perusahaan dalam kawasan industri semakin meningkat kuantitasnya	Kebutuhan air industri oleh perusahaan dalam kawasan industri tetap kuantitasnya	Kebutuhan air industri oleh perusahaan dalam kawasan industri semakin menurun kuantitasnya
		2A	2B	2C
		3A	3B	3C
		4A	4B	4C
		5A	5B	5C

 base line 2017

 skenario optimis

 skenario pesimis

 skenario moderat

Menurut Hardjomidjojo (2002), penyusunan skenario dimaksudkan untuk memprediksi kemungkinan yang dapat terjadi pada faktor tersebut, yaitu apakah akan berkembang ke arah yang lebih baik dari sekarang, tetap, atau akan semakin buruk dari keadaan sekarang. Pemetaan faktor penentu dan kemungkinan keadaan yang mungkin terjadi dirangkum pada Tabel 7.

Berdasarkan hasil pemetaan pada Tabel 7, disusun skenario kebijakan pengelolaan lingkungan kawasan industri. Kondisi sekarang sesuai data tahun 2017 (*base line*) merupakan kondisi awal untuk penentuan berbagai skenario. Sebenarnya banyak kemungkinan skenario kebijakan yang dapat disusun, namun pada penelitian ini dibatasi hanya tiga skenario yang dikembangkan yaitu skenario pesimis, moderat, dan optimis. Skenario pesimis merupakan keadaan yang mungkin terjadi apabila ada penurunan kualitas air limbah industri yang masuk ke IPAL terpadu (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Kawasan sehingga menyebabkan kualitas air limbah yang dibuang ke badan air oleh pengelola kawasan juga menurun.

Turunnya kualitas air limbah industri dan kawasan dapat berdampak pada turunnya citra perusahaan industri yang pada akhirnya kepercayaan pelanggan dan order yang diterima industri juga menurun. Hal ini berarti kondisi ekonomi dan bisnis menurun yang akan berdampak pada penurunan kebutuhan air industri yang mengindikasikan penurunan kondisi ekonomi dan bisnis industri. Apabila kondisi ekonomi perusahaan industri menurun, dapat berdampak pada pengurangan kesejahteraan buruh dan bahkan pengurangan buruh sehingga kondisi perburuhan menurun. Apabila kondisi ekonomi dan perburuhan menurun akan berdampak pada penurunan implementasi 3R limbah B3, mengingat

implementasi tersebut diperlukan dukungan kemampuan finansial dan komitmen dan loyalitas. Skenario optimis akan berlangsung kemungkinan sebaliknya dari uraian skenario pesimis di atas.

Skenario moderat dapat terjadi dengan peningkatan kualitas air limbah industri sehingga berdampak pada peningkatan kualitas air limbah kawasan menjadi lebih baik juga. Dengan kondisi ini, citra dan kepercayaan pelanggan meningkat sehingga omset dan order industri meningkat sehingga terjadi peningkatan kondisi ekonomi dengan indikasi peningkatan kebutuhan air industri. Dalam skenario ini, peningkatan kondisi ekonomi pada industri ini, belum dilakukan peningkatan pada implementasi 3R limbah B3 maupun peningkatan kesejahteraan buruh. Hal ini dapat terjadi apabila kepedulian lingkungan dan kepekaan sosial terhadap buruh pengusaha perusahaan masih terbatas pada yang bersifat *mandatory*. Peran pemerintah dalam mendorong keberlanjutan pengelolaan kawasan industri terutama diperlukan yang terkait dari sektor ekonomi (Nastase 2010)

REKOMENDASI DAN KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan di atas, rekomendasi atas skenario optimis adalah yang paling tepat dilaksanakan. Yaitu dengan langkah strategis yang diawali oleh perbaikan kualitas air limbah pada masing-masing perusahaan industri yang menjadi pelanggan pengelola kawasan industri. Dalam hal ini diperlukan sinergi yang baik antara pengelola kawasan dan masing-masing perusahaan industri. Peningkatan kualitas air limbah industri akan berdampak positif dengan makin baiknya kualitas air limbah kawasan, yang akan meningkatkan kepercayaan pelanggan, pemerintah, dan perbankan dalam mendukung kondisi ekonomi dan bisnis industri maupun pengelola kawasan. Hal ini pada akhirnya

akan meningkatkan kondisi ekonomi perusahaan industri dan perusahaan pengelola kawasan. Agar pengelolaan lingkungan berkelanjutan, maka sejalan dengan peningkatan dimensi ekonomi, hendaknya jangan dilupakan untuk peningkatan dimensi sosial, yaitu peningkatan kesejahteraan buruh, dan peningkatan dimensi ekologi dan lingkungan, yaitu peningkatan implementasi 3R limbah B3. Implementasi 3R limbah B3 berperan penting dalam mendorong terbangunnya keberlanjutan pengelolaan lingkungan Eco-Industrial Park (Park *et.al*, 2016)

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan penghargaan dan terimakasih yang sebesar-besarnya atas bantuan para pakar yang mendukung dalam penelitian ini, yaitu Bp Dwi Restiyanto (General Manager PT BITA), Bp Pien Budiyo (Direktur PT Delta Enviro Indonesia), Ibu Nita Walla (BPLHD Jabar), Ibu Istingani, Bp Rachmat Yulianto Bp Aris D.C (ketiganya Senior Manager PT Jababeka Infrastruktur), Bp Didik Purbadi (General Manager PT KIJA), dan Bp Sumartono (Senior Manager PT CDP).

DAFTAR PUSTAKA

- Bourgeois R., Jesus F. 2004. Participatory Prospective Analysis : Exploring and Anticipating Challenges with Stakeholders. CAPSA Monograph No. 46. United Nation
- Budiyo P, Saefuddin A, Putri EIK. 2015. Analisis Keberlanjutan PT East Jakarta Industrial Park dalam Mewujudkan Kawasan Industri yang berwawasan Lingkungan. *Jurnal Pengeloaan Sumberdaya alam dan Lingkungan*. Vol 5. no.2. IPB. Bogor
- Cahyanto AD, Noorachmat BP, Noor E. 2016. Model Pengembangan Kebijakan Integrasi Sistem Manajemen Mutu dan Lingkungan. *Jurnal Pengeloaan Sumberdaya alam dan Lingkungan*. Vol 6. no. 1 IPB. Bogor
- Godet M. 1999. *Scenarios and Strategies, A Toolbox for Scenario Planning*. Paris (FR) : Librairie des Arts es Meiters
- Hardjomidjojo H. 2002. Metode Analisis Prospektif. Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. IPB Press. Bogor
- Jasper Beekmans, Erwin van der Krabben, Karel Martens, (2012) "An indicator for decline of industrial estates", *Journal of European Real Estate Research*, Vol. 5 Issue: 3, pp.229-249, <https://doi.org/10.1108/17539261211282073>
- Kuznetsova Z, E. Farel R. 2016. A methodological framework for Eco Industrial Park design and optimization. *Journal of Cleaner Production* 126 308- 324
- Park, JM, Park JY, Park HS. 2015. A review of the National Eco-Industrial Park Development Program in Korea: progress and achievements in the first phase, 2005-2010. *Journal of Cleaner Production* 114 (2016) 33-44
- Saaty TL. 2008. Decision Making with The Analytical Hierarchy Process. *Int. J. Services Sciences*. Vol. 1. No. 1
- Singal S. and Kapur A . 2002. Industrial estate planning and management in India—an integrated approach towards industrial ecology, *Journal of Environmental Management*, Vol 66, issue 1, September 2002, Pages 19-29
- Sulaiman F., Saefudin A., and Zain AFM. 2008. Strategi Pengelolaan Kawasan Industri Cilegon Menuju Eco Industrial Park, *Journal of Regional and City Planning*, Vol 19 No.2
- Wikaningrum T, Noorachmat BP, Noor E. 2015. Kebijakan Pengelolaan Lingkungan Kawasan Industri sesuai Proper KLHK Peringkat Hijau. *Jurnal Pengeloaan Sumberdaya alam dan Lingkungan*. Vol 5. no.2. IPB. Bogor

Journal of Environmental Engineering and Waste Management

Dewan redaksi menerima tulisan ilmiah yang merupakan karya orisinal penulis yang dapat berupa hasil penelitian, rekayasa atau telaah ilmiah di bidang keteknikan lingkungan, pengelolaan lingkungan, ilmu lingkungan dan pengelolaan limbah. Penulisan karya ilmiah yang akan diterbitkan mengacu pada aturan penulisan sebagai berikut :

1. **Judul (Title).** Judul ditulis dengan huruf kapital dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dalam kalimat lengkap secara jelas dan singkat. Judul menggambarkan apa yang menjadi pokok dalam tulisan. Penulisan dengan font Times New Roman ukuran 14.
2. **Nama Penulis (Author[s]).** Nama penulis ditulis dibawah judul secara lengkap tanpa menuliskan jabatan, struktural/fungsional ataupun gelar. Diikuti dengan menuliskan instansi serta alamat yang jelas untuk setiap penulis, termasuk e-mail. Penulisan dengan font Times New Roman ukuran 10 dengan jarak 1 spasi.
3. **Abstrak (Abstract).** Abstrak ditulis dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia (masing-masing dalam 1 paragraf). Abstrak mencakup apa yang dilakukan, bagaimana cara melakukannya, hasil yang diperoleh, serta informasi apa yang merupakan paparan dari hasil tersebut. Abstrak ditulis dengan Times New Roman ukuran font 10 dengan jarak 1 spasi, diikuti oleh kata kunci (*keywords*) 3-5 kata ditulis miring (*italic*). Kata kunci ditulis secara alfabetis.
4. **Pendahuluan (Introduction).** Pendahuluan merupakan latar belakang serta permasalahan yang menjadi perhatian serta tinjauan ringkas tentang hal tersebut, boleh diisi dengan teori yang ringkas bila memang sangat menentukan dalam pembahasan (ditulis dengan jarak 1 spasi).
5. **Bahan dan Metode (Materials and Methods).** Tuliskan semua bahan, peralatan dan metode yang digunakan dalam penelitian/rekayasa mengikuti peraturan umum penulisan secara jelas dan ringkas).
6. **Hasil dan Pembahasan (Results and Discussion).** Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel atau gambar dan harus dirujuk dalam pembahasan. Penomoran tabel dan gambar dilakukan secara berurutan dimulai dari nomor 1 dan seterusnya. Judul tabel/gambar ditulis dengan Times New Roman, ukuran huruf 10, spasi 1. Data dalam bentuk foto agar dikirim dengan resolusi tinggi. **Gambar, Grafik dan Diagram.** Keterangan gambar grafik dan diagram ditulis di bawahnya. Nomor gambar dicetak tebal (bold) sedangkan keterangannya normal. **Tabel.** Keterangan tabel ditulis di atas tabel (center alignment). Nomor tabel dicetak tebal (bold) sedangkan keterangan/judul tabel normal.
7. **Kesimpulan (Conclusion).** Suatu ringkasan menyeluruh dari semua aspek hasil penelitian yang berkaitan langsung dengan tujuan penelitian. Ditulis dalam satu paragraf.
8. **Ucapan terima kasih (Acknowledgment [s]).** Disampaikan kepada yang berhak mendapatkannya, seperti penyandang dana, pihak yang membantu dalam penelitian ataupun penulisan serta narasumber/perorangan yang dipandang layak dihargai (opsional).
9. **Daftar Pustaka (References).** Daftar pustaka ditulis dengan font Times New Roman ukuran 10 dengan jarak penulisan 1 spasi berurutan mulai dari nomor 1 dan seterusnya sesuai dengan urutan kemunculannya pada sitasi/pengacuan dalam tulisan (pendahuluan sampai dengan hasil dan pembahasan).
 - Apabila yang diacu adalah buku maka ditulis secara berurutan : Nama penulis (nama penulis yang pertama dibalik posisinya kemudian diikuti nama penulis kedua dan ketiga). (Tahun Terbit). *Judul Buku*. Edisi Terbitan. Tempat Terbit : Penerbit (Contoh : Sawyer Clair N, Mc Carty Perry L. and Parkin Gene F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science, Fifth Edition*. Boston : Mc Graw Hill
 - Apabila yang diacu artikel dalam jurnal maka ditulis secara berurutan : Nama Penulis. (Tahun Terbit). *Judul Jurnal*. Jilid diikuti nomor jurnal : halaman (Contoh : Rytwo, G. (2012) The Use of Clay-Polymer Nanocomposites in Wastewater Pretreatment. *The Scienific World Journal*, 71 (12) : 48-60).
 - *Et al.* hanya berlaku bila penulis lebih dari 11 orang.
10. **Cara Penulisan Sitasi (Citation).** Penulisan sitasi pada awal kalimat mengikuti : Menurut Sidjabat (2013), atau diakhir kalimat :(Sidjabat 2013)
11. Jumlah halaman minimal 7 dan maksimal 12 halaman A4 termasuk lampiran-lampiran. Seluruh isi artikel ditulis dalam font Times New Roman ukuran 12 dengan jarak penulisan 1 spasi. Semua judul bab ditulis dengan huruf kapital. Naskah ditulis dalam 2 kolom.



Journal of Environmental Engineering & Waste Management
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Vol. 3 No. 1 April 2018

ISSN 2527-9629

-
- | | |
|---|-------|
| <i>Wastewater Sludge As An Alternative Energy Resource: A Review</i>
(T. Kurniawan, R. Hakiki and F.M. Sidjabat) | 1-12 |
| Potensi Gamal (<i>Gliricidia sepium</i>) Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa, Studi Kasus : Kabupaten Manggarai Timur (NTT)
(Dedi Hudaedi, Hariyadi dan Syaiful Anwar) | 13-20 |
| Perancangan Teknologi <i>Reverse Osmosis</i> Dengan Memanfaatkan Air Efluen Pengolahan Air Limbah Sebagai Bahan Baku Dalam Upaya Mengefisiensikan Pemakaian Air Bersih Dari Kawasan Industri MM2100, Studi Kasus pada PT Yutaka Manufacturing Indonesia
(M. Yani Syafei, Burhan Primanintyo and Mohamad Nur Isnanda) | 21-29 |
| Analisis Kebutuhan Air Bersih di Kecamatan Selat Nasik Kabupaten Belitung Provinsi Bangka Belitung Tahun 2017
(Ika Kusmawati) | 30-35 |
| Prospek Skenario Kebijakan Pengelolaan Lingkungan Kawasan Industri, Studi Kasus Kawasan Industri Jababeka dan EJIP di Kabupaten Bekasi
(Temmy Wikaningrum) | 36-47 |



Journal of Environmental Engineering & Waste Management
Jurnal Teknik Lingkungan dan Pengelolaan Limbah

Building A Lt. 3 President University, Faculty of Engineering
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang Baru, Bekasi 17550 – Indonesia
Phone./Fax: (021) 8910 9762 / 9768; Email: j-env@president.ac.id
Website: env.president.ac.id (President University: www.president.ac.id)