

*Books Chapter*

# Teknologi, Manusia dan Lingkungan

**(Technology, People, and Environment)**

**Editor**  
**Dr. Betty Ariani, S.T., M.T.**

# Teknologi, Manusia dan Lingkungan (Technology, People, and Environment)

---

## **Penulis**

Arif Batutah, Tining Haryanti, Dian Prasetyawati, Ponidi, Betty Ariani, Vippy Dharmawan, Isnaniati, Indah Kurniawati, Zainal Abidin, Nunik Fahriani, Winarno, Yessi Ardina Kusuma, Anna Kosytha

## **Editor**

Dr. Betty Ariani, S.T., M.T.

## **Desain Cover**

Nur Hidayatullah R.

## **Layout**

Salsabila Faidah Paramita Wardani

*Cetakan Februari 2022*

*vi+ 228, 14,8 x 21 cm*

*ISBN: 978-623-433-054-0*



UM Surabaya Publishing

Jl. sutorejo no. 59 Mulyorejo Surabaya  
Telp. (+62 87701798766)

# KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah dan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya *Book Chapter* ini, karena hanya dengan izin-Nya sajalah maka penulisan dan penyelesaiannya dapat sesuai dengan waktu yang telah direncanakan.

*Book Chapter* ini merupakan kumpulan tulisan ilmiah dari dosen di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya sebagai bagian dari kegiatan diseminasi ide dan gagasan ilmiah para akademisi terkait dengan peran teknologi dalam kehidupan umat manusia. Dengan harapan dapat menjadi bahan bacaan, literasi maupun milestone bagi pengembangan ide dan gagasan lebih lanjut. *Technology, People & Environment*.

Dalam *Book Chapter* ini gagasan telah dipilih dan dipilah menjadi beberapa tema yaitu bidang (1) Rekayasa transportasi dan permesinan; (2) Teknologi informasi dan telekomunikasi; (3) Energi baru terbarukan; (4) Lingkungan dan pemukiman; (5) Teknologi maritim dan (6) Kebumihan dan kebencanaan.

Artikel yang termuat dalam *book chapter* ini telah melalui proses review, dimana tim reviewer telah beberapa kali berkorespondensi dengan penulis untuk mendiskusikan hal – hal yang dapat menjadi perbaikan terhadap tulisan. Upaya ini ditempuh agar supaya semakin banyak pihak yang mendapat kemanfaatan dari isi *book chapter* ini.

Kami menyadari atas segala upaya terbaik yang dilakukan dalam penulisan maupun penyusunan book chapter ini masih terdapat beberapa hal yang menjadi kekurangan. Atas segala ketidaksempurnaan ini kami mohon maaf yang sebesar – besarnya. Mohon kiranya kritik dan saran yang membangun dapat diberikan kepada kami sebagai evaluasi dan perbaikan di masa mendatang. Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi hingga terbitnya book chapter ini.

Semoga Allah SWT memberikan keberkahan bagi kita semua. Amin ya robbal alaminn

Surabaya, Desember 2021

Tim Penyusun



## DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	v
Analisa Heat Transfer pada Superheater Boiler PLTU Pembangkitan Jawa Bali XYZ Pasca Coal Switching....	1
Digital Transformation sector Pendidikan .....	19
Green Ship-Recycling Concept sebagai Solusi Pengelolaan Daur Ulang Kapal Ramah Lingkungan ....	35
Pengembangan Multiple Linier Regression Sebagai Strategi Pengendalian Emisi Gas Buang Kendaraan di Kabupaten Sidoarjo.....	51
Sebuah Review Tentang Konsep Teknologi Dual Fuel Engine sebagai salah satu Green Technology For Green Ship .....	67
Permasalahan Trotoar Kota-kota di Indonesia.....	87
Analisa Data Hasil Pengujian CPT, SPT dan Statik Klasik terhadap Daya Dukung Ultimit dengan Variasi Bentuk Penampang Pondasi Tiang pada Tanah Lempung .....	101
Pengawasan Kondisi Pasien Penyakit Menular di Rumah Sakit secara Otomatis dengan Jaringan Area Tubuh Nirkabel.....	121
Tinjauan Computable Urban Economic (CUE) Model untuk Perencanaan jaringan Transportasi Perkotaan ..	139

Mengenal Fundamental Programming Dengan DevC++ ..... 171

Pemanfaatan Variable-Length Subnet Masking sebagai packet filtering sederhana ..... 185

Kristalisasi Limbah Cair pada Industri Pupuk dengan Menggunakan Fluidized Bed Reactor..... 193

Literatur Review : Kajian Manajemen Risiko Bencana Di Kota Surabaya ..... 211



# ANALISA HEAT TRANSFER PADA SUPERHEATER BOILER PLTU PEMBANGKITAN JAWA BALI XYZ PASCA COAL SWITCHING

**Moh. Arif Batutah, Hadi Kusnanto, Denni Jatiwanah**

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## Abstrak

PLTU PJB XYZ yang pada awalnya di design untuk mengkonsumsi bahan bakar batubara berkalori > 5000 Kcal telah melakukan proses coal switching pada semester II tahun 2018 dari batubara berkalori tinggi menjadi berkalori rendah < 5000 Kcal. Hal ini menyebabkan perbedaan antara desain awal dengan kondisi operasi saat ini. Perbedaan ini menimbulkan potensi terjadinya slagging dan fouling pada area superheater, reheater, dan dinding furnace pada boiler. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui dampak penyerapan kalor pada area superheater akibat slagging dan fouling. Mencegah dan mengurangi terbentuknya slagging dan fouling pada area superheater agar keandalan unit tetap terjaga. Untuk menjaga keandalan performa perlu redesain lokasi soot blower pada area superheater terutama pada area primary superheater

**Kata Kunci:** *Boiler, Coal Switching, Slagging & Fouling, Superheater, Sootblower.*

## PENDAHULUAN

Pembangkitan Listrik Tenaga Uap – Pembangkit Jawa Bali XYZ atau PLTU-PJB XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pembangkitan, berkapsitas 2 x 400 MW. Salah satu sistem pembangkit listrik tenaga uap adalah sistem pembakaran di dalam *furnace* yang berfungsi memanaskan *feedwater* menjadi *superheated steam* yang digunakan memutar

turbin uap, pada proses pembakaran menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama dan proses pembakaran pada furnace tidak terlepas dari fenomena *slagging* dan *fouling*. *Slagging* adalah lelehan abu yang membeku yang umumnya terbentuk di ruang bakar khususnya permukaan yang selalu terpapar radiasi panas bersuhu tinggi. *Fouling* merupakan *bounded* (ikatan/lengketan) abu yang terbentuk pada sisi konveksi misalnya pada daerah *superheater*, *reheater*, atau dinding *furnace* yang bersuhu lebih rendah dari ash fusion temperatur (AFT). *Slagging* dan *fouling* pada *boiler* disebabkan oleh komposisi dan karakteristik batubara yang digunakan menghasilkan abu yang memiliki senyawa baru yang cukup kompleks tergantung dari jenis batubara yang digunakan, parameter yang dapat menyebabkan *slagging* dan *fouling* sendiri diantaranya parameter kimia dan ash fusion temperatur (AFT). PLTU-PJB XYZ pada awalnya di design menggunakan bahan bakar batubara berkalori tinggi > 5000 Kcal pada semester pertama tahun 2018 melakukan proses *coal switching* dengan batubara berkalori rendah < 5000 Kcal. Hal ini menimbulkan perbedaan antara pola operasi desain awal dengan kondisi operasi saat ini, perbedaan menimbulkan potensi terjadinya *slagging* dan *fouling*. Beberapa usaha yang telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan *slagging* dan *fouling* ini diantaranya penambahan zat *addictive* (MgO) yang diharapkan dapat merotokkan *slagging* dan *fouling*, juga penggunaan *soot blower*. (Joseph G. Shinger, 1991).

Area *superheater* merupakan daerah pemanasan untuk menciptakan uap yang memiliki suhu diatas saturated suhu yang merupakan uap utama/main steam yang digunakan untuk memutar *high pressure turbine* (HP Turbine). Sehingga area

superheater ini merupakan bagian yang vital dan memegang peranan yang penting dalam performa boiler. Penyerapan kalor yang kurang maksimal yang diakibatkan oleh slagging dan fouling akan menyebabkan meningkatnya *losses* yang terjadi pada boiler, sehingga diperlukan kajian lebih lanjut mengenai optimalisasi perpindahan kalor yang terjadi pada area *superheater* ini untuk menjaga performa boiler. (Shargent and Lundy Integ, 1993).

**Tabel 1** Spesifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap PJB XYZ

Data	Spesifikasi
Fabrication	ABB Combustion & Engineering Ltd
Pressure Design	207,4 Kg/cm <sup>2</sup>
Pressure Operation	186 Kg/cm <sup>2</sup>
Pressure Turbine Throttle	177 Kg/cm <sup>2</sup> (MCR)
Furnace Volume total	9070 M <sup>3</sup>
Superheater type	L.T Horizontal & Pendant, panel&platen
Reheater type	Wall, Pendant&Platen
Fuel burning Equipment	TT Fuel Nozzle, Five (5) H.P Pulverizers
Coal HHV (Kcal/kg)	6045 East Kalimantan 5246 Bukit asam Coal

Beberapa artikel terkait *slagging* dan *fouling* pada boiler diantaranya (Bizzy dan Setiadi, 2013), melakukan penelitian tentang kualitas alat penukar kalor akan meningkat sebanding dengan menurunnya nilai factor pengotoran, menurunnya nilai penurunan tekanan dan besarnya dimensi alat penukar kalor. (Sudrajat, 2017) dalam sebuah analisisnya mengenai heat exchanger untuk mengetahui pengaruh fouling terhadap laju perpindahan panas aktual dan efektivitas heat exchanger. (Fauziyah, 2015) juga melakukan analisis perpindahan kalor pada kondesor unit IV PLTU di PJB UP. Gresik. (Cindi dan Supriadi, 2018) pada sebuah analisisnya tentang kinerja *High Pressure Heater* (HPH) tipe *shell and tube heat exchanger*.

(Sutowo, 2015) analisa *heat exchanger jenis shell and tube* dengan *system single pass* di PLTU-PJB UP Muara Karang. (Saputra dan Ferdiansyah, 2018) melakukan analisis perpindahan panas pada *heat exchanger* di *furnace boiler circulating fluidizing bed* unit 1 PLTU Nagan Raya 2 X 110 MW. (Prameswari, 2017) analisa pembentukan slaging dan fouling pembakaran batubara pada boiler Petrokimia.

Analisis tersebut banyak mengulas fenomena perpindahan kalor yang terjadi pada *heat exchanger*. Bermula dari analisis-analisis tersebut diatas, penulis tergerak untuk menganalisa mengenai *heat transfer* yang terjadi pada *superheater* boiler di PLTU-PJB XYZ setelah di adakannya program *coal switching* atau pergantian komposisi batubara pada *boiler* tersebut. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak penyerapan kalor pada area *superheater* akibat *slagging* dan *fouling*, untuk mencegah dan mengurangi terbentuknya *slagging* dan *fouling* pada area *superheater*. menganalisa dan mengkaji dampak dari segi financial selama proses operasional PLTU.

## **METODOLOGI**

Pada pelaksanaan ini digunakan analisa pendekatan secara thermodynamika serta perpindahan kalor, analisa dilakukan dari pengumpulan data spesifikasi *boiler* dan beberapa peralatan yang ada di PLTU-PJB XYZ, serta pengumpulan data operasi real yang telah terjadi, diharapkan akan mendapatkan hasil yang optimal. Adapun sistematika penelitian ini adalah, pengumpulan data-data penggunaan batubara sebelum dan sesudah program *coal switching*, data operasi *superheater* sesudah *coal switching*, data *superheater* saat awal *commissioning* sebagai pembanding, serta data-data pendukung lainnya yang tersaji, menghitung



indeks slaging dan fouling. Pengambilan data operasional superheater sesudah *coal switching* dan data saat awal *commissioning*. Perhitungan dan analisa untuk penyerapan kalor area *superheater* dan kajian kerja segi finansial.

### **Perhitungan indeks *slagging***

Seperti yang telah uraikan sebelumnya bahwa tujuan analisa ini adalah untuk mengetahui berapa besar energy panas yang terserap di pipa *superheater* akibat ada dan tidaknya *slagging* penulis terlebih dahulu harus mengetahui berasal dari mana *slagging* dan tersebut, maka penulis akan mengumpulkan data bahan bakar batubara yang dipakai saat proses pembakaran baik sebelum program *coal switching* maupun sesudah *coal switching* dan menghitung indeks *slagging* yang terkandung dalam batubara tersebut sebagai pembuktian bahwa batubara tersebut termasuk dalam criteria evaluasi yang mana, *Good, Ok, Caution need atau Danger*.

### **Perhitungan dan analisa perpindahan kalor**

Pelaksanaan step ini merupakan inti dari penulisan penelitian yang penulis buat, dimana akan dilakukan analisa dan pembuktian secara teoritis terhadap penyerapan kalor akibat adanya *slagging* dan *fouling*, dengan pendekatan hukum pertama termodinamika volume kendali dengan asumsi *steady state steady flow*

$$\Delta Q = \dot{m}_{MS}(h_{SHO} - h_{SH\ DESH\ O}) \quad (1)$$

Dimana  $\Delta Q$  penyerapan kalor (kW),  $\dot{m}_{MS}$  laju aliran massa *main steam* (kg/s),  $h_{SHO}$  entalpi uap pada sisi outlet *superheater* (kJ/kg) sedangkan  $h_{SH\ DESH\ O}$  adalah entalpi uap pada sisi outlet *superheater desuperheater* (kJ/kg) (Holman, 2010).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa indeks slagging batubara

Pada analisa dan pembahasan kali ini ulis akan menguraikan dan menghitung indeks *slagging* pada batubara yang dipakai setelah program *coal switching*, hal ini untuk membuktikan bahwa batubara yang di pakai termasuk dalam kategori evaluasi yang mana. Dari data analisa yang di dapat seperti pada Tabel 2, dari data pada tabel 2 tersebut dapat ditentukan Base Acid ratio dengan rumus

$$\text{Ba/Aratio} = \frac{\text{Fe2O3}+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na2O}+\text{K2O}}{\text{SiO2}+\text{Al2O3}+\text{TiO2}} \quad (2)$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai slagging indek sebesar 2.296. jika dilihat pada tabel Kriteria indeks slaging di bawah ini dapat di simpulkan bahwa batubara yang dipakai termasuk dalam kategori “*Caution Need*” atau butuh perhatian.

**Tabel 2.**Tabel evaluation criteria indeks slagging

Indices		Evaluation Criteria				
Name	Calculation Formula	Application Condition	Good	Ok	Caution Need	Danger
B/A Ratio	$\frac{\text{Fe2O3}+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na2O}+\text{K2O}}{\text{SiO2}+\text{Al2O3}+\text{TiO2}}$	-	<0.5	0.5 - 0.7	0.7 - 1.0	>1.0
Slugging Indices	B/A Ratio x Total Sulphur	$\text{CaO}+\text{MgO}<\text{Fe}_2\text{O}_3$	<0.6	0.6 - 2.0	2.0 - 2.6	< 5

## Analisa penyerapan kalor di superheater

Analisa penyerapan kalor pada *superheater*, dengan melakukan observasi, pengambilan data-data operasi yang di butuhkan dari operasional PLTU selama bulan September 2020 pada saat pembebanan maksimum 400MW, data – data tersebut meliputi:

- Temperatur *outlet desuperheater*(SH DESH Out), adalah suhu *mainsteam* masuk ke *superheater* setelah melewati spray (*inlet superheaer*)
- Temperatur *outlet Superhater panel division* (SH Out), suhu akhir *main steam* keluar *superheater* yang masuk ke *turbin high pressure* (*Outlet superheater*)
- Laju aliran uap *mainsteam* / flow *mainsteam* (MS Flow)
- Pressure* dari *main steam* tersebut (P).

**Tabel 3** Nilai enthalphy  $h$  dan nilai penyerapan kalor  $\Delta Q$  selama September 2020

Date	SH DESH Out Temp °C	SH OUT Temp °C	MS Flow Kg/jam	MS Flow Kg/s	P bar	h SH DESH out kJ/Kg	h SH Out kJ/Kg	$\Delta Q$ kW
9-1-20	405,70	537,20	1240570,00	344,60	168,95	2945,80	3393,90	154.416,50
9-3-20	408,34	535,46	1292012,29	358,89	169,15	2952,20	3387,60	156.261,71
9-5-20	410,54	533,88	1266754,23	351,88	169,16	2968,80	3384,40	146.239,74
9-7-20	412,50	535,92	1293392,80	359,28	168,79	2978,30	3390,70	148.165,33
9-9-20	412,33	534,41	1274799,38	354,11	169,19	2976,50	3385,90	144.973,02
9-11-20	408,99	536,45	1291860,10	358,85	169,19	2961,80	3391,70	154.269,63
9-13-20	412,01	535,88	1257913,17	349,42	168,94	2975,80	3390,40	144.869,67
9-15-20	411,50	535,63	1263003,00	350,83	169,22	2972,80	3389,30	146.122,43
9-17-20	407,52	533,30	1284971,50	356,94	167,83	2959,00	3384,30	151.805,11
9-19-20	409,03	535,99	1298635,13	360,73	168,73	2963,30	3390,90	154.248,99
9-21-20	408,36	523,69	1324289,85	367,86	167,97	2962,40	3356,50	144.972,95
9-23-20	410,27	533,13	1283997,88	356,67	169,17	2967,50	3382,30	147.945,09
9-25-20	409,57	536,83	1249480,25	347,08	169,17	2964,50	3392,80	148.653,44
9-27-20	412,67	536,45	1279027,38	355,29	169,58	2976,90	3391,30	147.230,26
9-29-20	406,29	534,02	1277024,75	354,73	168,33	2952,10	3385,80	153.846,01
Average	409,54	534,70	1280495,67	355,69	168,84	2966,32	3387,07	149.635,36

Data tersebut akan dihitung besar nilai *enthalphy* pada suhu *SH DESHout* dan suhu *SH out* selama September 2020 data operasi pressure rata-rata 168 bar (16.8 MPa), data Tabel 3 diketahui penyerapan kalor rata-rata selama satu bulan sebesar 149.64 MW. Kemudian mencari data awal PLTU-PJB XYZ saat awal

komisioning, hal ini untuk membandingkan sejauh mana penyerapan kalor saat komisioning dengan batubara high rank dengan operasional saat ini dengan batubara low rank, berikut sebagian data yang diambil dari hasil komisioning PLTU-PJB XYZ yang dilakukan pada tanggal 9-10 Desember 1994.

**Tabel 4** Hasil perhitungan  $\Delta Q$  komisioning PLTU-PJB XYZ

Date	9/12/1994	9/12/1994	10/12/1994	10/12/1994
Item	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
SH O T °C	534	532	533	534
SH DESH, Out T °C	404	402.3	402	404
MS Flow, kg/jam	1383004	1393645	1349227	1364509
MS Flow, kg/s	384.17	387.12	374.79	379.03
P (bar)	171.5	170.5	171	171
h DESH Out, kJ/kg	2929.0	2926.4	2922.2	2930.4
h SH Out, kJ/kg	3380.5	3376.5	3378.2	3381.1
P bar	171.5	170.5	171	171
$\Delta Q$ (MW)	173.45	174.24	170.90	170.83
Average	172.36 MW			

Data komisioning PLTU-PJB XYZ pada tanggal 09 sd 10 Desember 1994 nilai penyerapan kalor pada area *superheater* sebesar 172.36 MW. hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa dampak dari terbentuknya *slagging* dan *fouling* adalah terjadi penurunan penyerapan kalor pada area *superheater*, sehingga penurunan penyerapan kalor adalah data komisioning dikurangi data saat ini sebesar 22.72 MW  $\approx$  22,720 kW, berikut grafik data komisioning dan data operasi saat ini sebagaimana dalam gambar 4.

### Kajian Finansial

Analisa dampak terbentuknya *slagging* dan *fouling* pada area *superheater* jika di kaji secara financial dapat dihitung kerugiannya, batubara yang digunakan memiliki nilai kalor

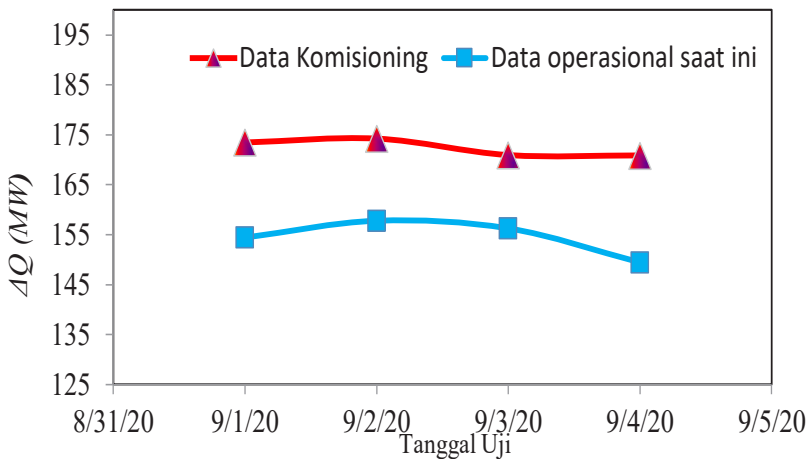
sebesar 4,224 kcal/kg atau setara dengan 17,673.21 kJ/kg, kerugian batubara dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kerugian batubara} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = \frac{\text{PenurunanPenyerapanKalor (kW)}}{\text{KaloriBatubara} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)} \quad (4)$$

$$\text{Kerugian batubara} = 1.2855 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx 4,627.80 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Jadi kerugian/pemborosan jumlah batubara yang timbul akibat adanya slagging dan fouling sebesar;

$$4,627.80 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 4.2678 \frac{\text{ton}}{\text{h}} = 111.06 \frac{\text{ton}}{\text{day}}$$



**Gambar 1** perbandingan penyerapan kalor saat komisioning dengan kondisi saat ini

Untuk kerugian Heat Rate /  $HR_{losses}$  pada pembangkit PLTU PJB XYZ berdaya netto 375 MW bisa di hitung sebagai berikut;

$$HR_{losses} = \frac{\text{kerugian bb} \times HHV}{W_{net} \text{ pembangkit}} \quad (5)$$

$$HR_{losses} = 52.1275 \text{ kcal/kWh}$$

Untuk mengukur kinerja dari sebuah pembangkit, terdapat beberapa parameter yang akan tercantum dalam point kontrak kinerja pembangkit dengan buyer, salah satu parameter tersebut adalah Capacity Faktor (CF) pembangkit, yaitu kapasitas penggunaan energi (daya MW) dari suatu pembangkit dalam periode satu tahun dari kemampuan total produksi pembangkit tersebut. *Capacity factor* ini menggambarkan seberapa besar sebuah unit pembangkit itu di manfaatkan energi/ dayanya. Jika diketahui data kontrak kinerja PT.PJB Paiton Unit 1 nilai *capacity factor* (CF) bulan September 2020 sebesar 85.04% atau 0.8504 dan harga batubara yang digunakan saat ini Rp.760,-/kg, maka:

$$\text{Kerugian} = \frac{CF \times \text{Total Produksi} \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ hari} \times HR_{losses} \times \text{Harga Batubara}}{HHV_{coal}} \quad (6)$$

$$\text{Kerugian} = \text{Rp } 2,297,061,620 \text{ -/bulan} \\ (2.2 \text{ milyar/bulan})$$

Jadi dalam pengoperasian PLTU PJB XYZ mengalami kerugian 2.2 milyar perbulan akibat dari penurunan penyerapan kalor di area *superheater* karena penggunaan batubara low rank.

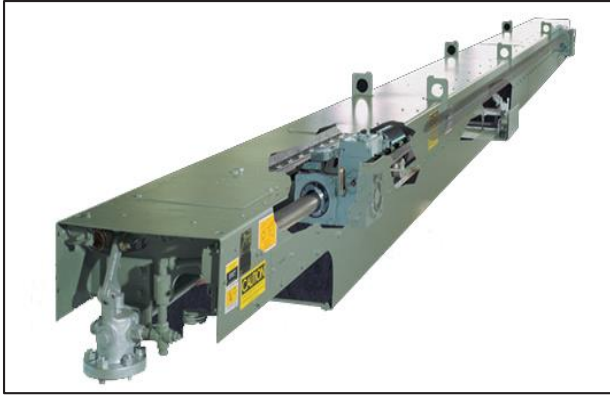
## Pencegahan Terbentuknya Slagging dan Fouling

Pada desain awal PLTU-PJB XYZ tidak terdapat *sootblower* di area *superheater*, ternyata daerah *superheater* merupakan tempat terbentuknya slagging dan fouling, hal ini yang menghambat perpindahan panas, upaya pencegahan terbentuknya akumulasi slagging dan fouling di area *superheater*, perlu di pasang unit *sootblower* untuk membersihkan slagging dan fouling. beberapa sumber referensi kredibel yang didapatkan, detail spesifikasi dari *sootblower* IK yang di usulkan adalah *lance tube long retractable gun soot blower* seri IK 525 dengan fabricator B &W *Diamond Power* seperti Tabel 5. Penggunaan material *sootblower* yang memiliki karakteristik tahan terhadap suhu tinggi dikarenakan alat ini dipasang pada area *superheater* harga *soot blower* jenis IK 525 pabrikan B &W ini sebesar Rp 1,441,250,000/buah include jasa instalasi atau pemasangan serta biaya system kendali operasi/system kontrolnya.

**Tabel 5** spesifikasi dari *soot blower* IK 525;

Komponen	Spesifikasi
<i>Pressure (PoppetValve)</i>	: 12.66 kg/cm <sup>2</sup>
Motor	: 380 V; 3 Phase ; 50 Hz ; 1,5 HP ; 1725 rpm
<i>RunningTime</i>	: 7 minutes
<i>Feed Tube Material</i>	: <i>Stainless Steel Grade AISI 321</i>
<i>Lance Tube Material</i>	: ASTM A335 / ASME S/A 335 ( <i>Chrome – Moly Seamless Pipe</i> )





**Gambar 2** Soot blower IK 525

### **Biaya Investasi Awal**

Biaya pembelian dan pemasangan *soot blower*

= 4 pcs x Rp1,441,250,000 ,-

= Rp 5,765,000,000 ,-

Jadi total investiasiawal sebesar Rp 5,765,000,000,-

Potensi penghematan jumlah penggunaan batubara dapat diasumsikan jika tingkat keberhasilan dari pemasangan *soot blower* pada area *superheater* dapat memangkas 60% dari total kerugian penggunaan batubara akibat kondisi *superheater* yang kotor, maka:

Penghematan bb = 60% x Kerugian bb kg/h  
(7)

$$HR_{saved} = \frac{\text{penghematan bb} \times HHV}{W_{net} \text{ pembangkit}}$$

(8)

$$HR_{saved} = 31.27 \text{ kcal/kWh}$$

$$\text{Saving cost} = \frac{CF \times \text{Total Produksi} \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ hari} \times HR_{\text{saved}} \times \text{Harga Batubara}}{HHV_{\text{coal}}}$$

(9)

$$\text{Saving cost} = \text{Rp } 1,378,236,972, - / \text{bulan}$$

### Payback Period (PP)

Setelah dilakukan kajian kerja financial baik itu biaya investasi pembelian dan pemasangan *sootblower*, biaya kerugian akibat penurunan penyerapan kalor pada *superheater*, dan potensi jumlah biaya penghematan penggunaan batubara, selanjutnya dapat ditentukan *payback period*, yaitu dengan membandingkan biaya investasi awal dengan potensi jumlah biaya penghematan setelah pemasangan *soot blower*, sebagai berikut :

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Potensi Penghematan Batubara}}$$

(10)

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Rp.5,765,000,000,-}}{\text{Rp.1,378,236,972,-/bulan}}$$

$$\text{Payback Period} = 4.18 \text{ bulan}$$

Jadi periode pengembalian modal yang telah dikeluarkan adalah selama 4.18 bulan.

### Kesimpulan

Penambahan *soot blower* pada area *superheater* dapat disimpulkan bahwa perbedaan kondisi operasi dengan kondisi desain terutama perbedaan jenis dan karakteristik batubara menyebabkan terbentuknya *slagging* dan *fouling* pada sisi konveksi area *superheater*, *reheater*, atau dinding *furnace* yang bersuhu lebih rendah dari *ash fusion temperature (AFT)*. Terbentuknya *slagging* dan *fouling* pada area *superheater*

menyebabkan kerugian akibat penurunan performa penyerapan kalor pada *superheater* baik itu secara energi maupun secara finansial. Dengan pemasangan *sootblower* pada area *superheater* diharapkan mampu mengurangi *slagging* dan *fouling* sehingga dapat memaksimalkan proses penyerapan kalor pada *superheater*.

## REFERENSI

- Agus wibawa, 2016, “*Success story boiler combustion tuning PT. Pembangunan Jawa bali*”, PT. Pembangunan Jawa Bali, Surabaya.
- Bizy I, Setiadi R., 2013 “*Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Dengan Program Heat Transfer Research Inc (HTRI)*”. Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Sutowo Cahyo, 2015, “*Analisis Heat Exchanger Jenis Shell and Tube Dengan Sistem Single Pass di PLTU PJB Muara Karang Jakarta.*” Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta.
- Devia Gahana C, Didik Supriadi, 2018, *Journal Of Science “Analisis Kinerja High Pressure Heater (HPH) Tipe Shell and Tube dengan Heat Exchanger.*” Institut Teknologi Sumatra, Lampung.
- Egi nugroho, 2013, “*Optimalisasi kinerja soot blower pada boiler PLTU TanjungJati B*” Tugas Akhir D3 Teknik mesin, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Eko S, 2016, *Pengoperasian sootblower PJB paiton.pptx*. PT. PJB UP Paiton, Probolinggo
- Joseph G. Singer, 1991, *ABB combustion engineering “Combustion Fossil Power”, 4th Edition. Chapter 1 -12.*,

- Combustion Engineering*, INC. Windsor, Connecticut, USA.
- J.P Holman, 2010, *Heat Transfer Tenth Edition*, Department of Mechanical Engineering Southern Methodist University, Michigan, New York.
- Lubis Amru F dkk, 2018, Jurnal Power Plant Vol.6, Mei 18, “*Pengaruh Slagging & Fouling Terhadap Perpindahan Panas Pada Superheater Boiler CFB PLTU Sebalang*”, Jurusan Teknik Mesin, STT-PLN, Jakarta.
- M Azis Moh, 2017, Jurnal Rekayasa Hijau No.2 Vol.1, “*Perancangan Siklus Rankine Organik Untuk Pemanfaatan Gas Buang Pada PLTU Di Indonesia*”, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, ITENAS. Bandung
- Maidi Saputra, Arif Ferdiansyah, 2018, Jurnal Mekanova “*Analisis Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger di Furnace Boiler Circulating Fluidizing Bed Unit 1 PLTU Nagan Raya 2 x 100 MW.*”, Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Meulaboh, Aceh.
- Majalah info PJB, 2018, “*Persaingan merit order dunia pembangkitan*”. Edisi Maret, PT. Pembangkitan Jawa Bali, Surabaya.
- Shargent and Lundy Integ, 1993, *ABB Combustion Engineering Design and Operation manual Vol. 3 sheet 9-67*, ABB Combustion Engineering System, Jakarta, Indonesia.
- Sudrajat J, 2017, “*Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube Pada Sistem Cog Booster Di Integrated Steel Mill Krakatau*”, Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta
- Wahyu Isa A., 2018, *Pengoperasian PLTU batubara PJB.pptx*. PT. PJB UP. Paiton, Probolinggo

Widha Ayu Prameswari. 2017, "*Analisa Pembentukan slagging Dan Fouling Pembakaran Batubara Pada Boiler B0201B Di PT. Petrokimia Gresik*", Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknik Industri, Institut Sepuluh Nopember, Surabaya.

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



**Moh. Arif Batutah**, lahir di Banyuwangi, 07 Juni 1974, Email [arifbatutah@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:arifbatutah@ft.um-surabaya.ac.id).

Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya.

Menyelesaikan program sarjana Teknik Kimia di Institut Teknologi Adhi Tama

Surabaya tahun 2000, program magister Teknologi Proses di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2005. Tahun 2017 mendapatkan beasiswa BPDN Program Kemendikbud RI program studi doktor di Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa System, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya lulus tahun 2020, mendapatkan kesempatan mengikuti student exchange satu semester di National Taiwan University of Science and Technology – Taipei tahun 2020.

Beberapa jurnal international saat ini “*Isobaric Vapor-Liquid Equilibrium of Ethanol + Glycerol and 1-propanol + glycerol Binary System at 16.0 and 101.3 kPa*. Journal of Chemical Engineering and Data, Published American Chemical Society”, tahun 2020. “*Isobaric Vapor-Liquid Equilibrium of Methanol + Glycerol Binary Mixtures at 31.0 kPa*. Journal of IOP Conference Series: Materials Science and Engineering”, tahun 2020. Etc.

sedangkan whorkshop dan seminar international yang pernah di ikuti seperti “26th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2019), Role of Chemical Engineering in the Era of Industrial Revolution 4.0, sebagai Presenter di Kuala Lumpur tahun 2019. Whorkshop, Process Safety in Process Plant Engineering Project di University Malaya, Kuala Lumpur 2019.



# DIGITAL TRANSFORMATION SEKTOR PENDIDIKAN

**Tining Haryanti**

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Transformasi Digital menjadi keniscayaan yang tidak dapat dielakkan pada setiap sektor kehidupan, terlebih lagi dengan adanya pandemi. Pendidikan sebagai salah satu sektor yang terdampak besar karena hadirnya pandemi. Hampir seluruh dunia menutup pembelajaran tatap muka dan menggantikannya dengan pembelajaran melalui media online. Transisi dan transformasi sistem pembelajaran mutlak dilakukan. E-learning sebagai salah satu perangkat untuk penyelenggaraan pendidikan online belum optimal. Identifikasi permasalahan perlu dilakukan sehingga strategi penerapan pembelajaran online dapat dengan tepat dirumuskan. Makalah ini mengungkapkan permasalahan penggunaan e-learning dari berbagai penelitian pada jurnal bereputasi untuk mendapatkan komperhensivitas sudut pandang dari berbagai penelitian empiris. Hasil analisa menunjukkan adanya 8 faktor penting yang mempengaruhi kegagalan e-learning. Makalah ini memberikan kontribusi praktis manajemen dalam pengelolaan pembelajaran digital kedepannya.

**Kata kunci** : Transformasi Digital, edukasi, e-learning, faktor pendorong

## **PENDAHULUAN**

Pendidikan merupakan salah satu bidang yang sangat terkena dampak pandemi (Ramzan 2021). Setidaknya 188 negara menutup sekolah untuk mengurangi penyebaran virus Covid-19 (Edit Inotai 2021; UNESCO 2020). Penyebaran

Covid-19 yang cepat telah memaksa Pemerintah Indonesia untuk menutup seluruh aktivitas sekolah dan memberlakukan pembelajaran jarak jauh (Nadia Fairuza Azzahra 2020; Simamora 2020). Pembelajaran jarak jauh dengan memanfaatkan teknologi online memberikan tantangan bagi pengajar dan siswa di Indonesia. Seperti di berbagai sektor masyarakat, sistem pendidikan di Indonesia tidak merata terutama selama pandemi. Beberapa sekolah terbiayai, tetapi sekolah yang lainnya tidak mendapatkan biaya. Prakteknya banyak sekolah tidak dapat pindah kurikulum online, karena kenyataannya tidak ada, atau tidak cukup perangkat dan sumber daya untuk melakukannya (Simamora 2020). Hal ini menggambarkan kenyataan bahwa meskipun sekolah-sekolah berada di didalam negara yang sama, namun mereka tidak memiliki sumberdaya yang sama (Simamora 2020).

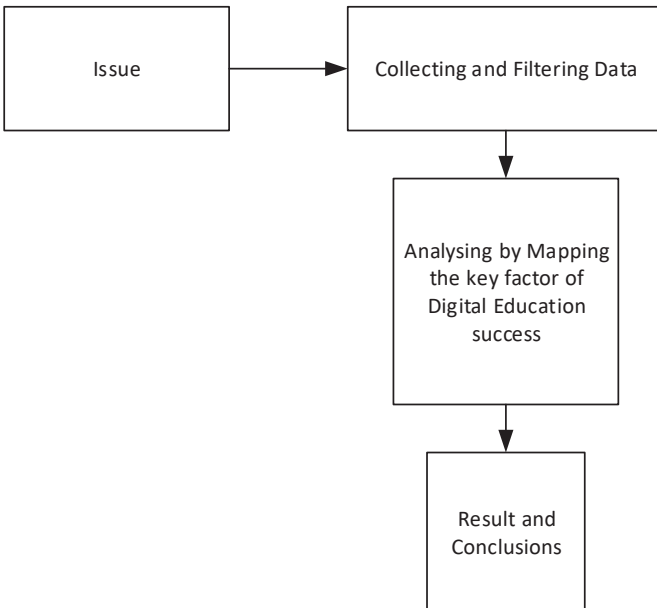
Pada penelitian sebelumnya ditemukan bahwa permasalahan tentang teknologi adalah lebih dari koneksi internet yang berkaitan dengan infrastruktur (Kusumo, Kurniawan, and Putri 2012). Sedangkan penelitian yang lain mengungkapkan bahwa hambatan penggunaan teknologi pada pendidikan adalah dari hambatan personal, selain hambatan lain, seperti: kurangnya dukungan dan pelatihan, kurangnya keahlian, ketidakcukupan komunikasi dengan profesional dan kurangnya kualifikasi (Abuhammad 2020)(Mbukusa 2017). Sebagai tambahan, penelitian Hannum (Hannum et al. 2008)

mengidentifikasi kurangnya profesional terlatih menjadi penghalang umum dalam pembelajaran jarak jauh di Amerika Serikat. Perubahan metode pembelajaran dari offline menjadi pembelajaran online menunjukkan kebutuhan peningkatan kapasitas pengajar (Nadia Fairuza Azzahra 2020). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kompetensi informasi, komunikasi, dan teknologi (ICT) guru-guru Indonesia tidak tersebar merata di seluruh wilayah (Hwee et al. 2018; Widodo and Riandi 2013). Terlebih lagi, ada kesenjangan kualitas pendidikan di seluruh wilayah di Indonesia, terutama antara Jawa dan luar Jawa, dan di antara kondisi-kondisi sosio-ekonomi (Azzizah 2015; Tatang Muttaqin 2018). Akses internet yang tidak merata, kesenjangan kualifikasi guru, dan kualitas pendidikan, serta kurangnya keterampilan ICT menjadi kerentanan dalam inisiatif pembelajaran jarak jauh di Indonesia.

Sementara itu, digital tranfromation pada sektor edukasi telah menjadi keniscayaan yang tidak dapat dihindari. Terlebih pada era pandemi, teknologi mengambil peranan penting untuk tetap memastikan pembelajaran berlangsung. Pembelajaran jarak jauh secara umum dikenal dengan e-learning atau LSM atau *Learning System Management System*. Pada era pandemi, ketergantungan LMS sebagai media pembelajaran meningkat. Namun demikian sebagaimana permasalahan yang diuraikan sebelumnya, e-learning belum dapat diimplementasikan secara optimal. Identifikasi permasalahan perlu dilakukan sehingga manajemen dapat merumuskan startehi yang tepat kedepan unuk optimalisasi penggunaan e-learning. Makalah ini membahas identifikasi secara real permasalahan penggunaan e-learning.

## METODE

Penelitian ini merupakan awal identifikasi tantangan utama yang dihadapi pembelajaran era digital yaitu penggunaan e-learning. Pengumpulan data dilakukan secara komperhensive untuk memetakan faktor yang berkaitan dengan pendidikan apda era digital. Tahapan peneltiian digambarkan pada gambar 1.



Issue atau permasalahan pana penelitian ini sebagaimana dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa pendidikan digital menghadapi tantangan untuk mencapai kesuksesan. Oleh karenanya identifikasi tantangan-tantangan tersebut diperlukan.

Tahap selanjutnya pada metode penelitian ini adalah collecting data. Proses collecting data dilakukan dengan penggunaan dataset database bereputasi Scopus dengan mapping keyword Education dan E-learning. Selanjutnya



**Tabel 1.** Faktor yang mempengaruhi E-learning

No	Alasan kegagalan E-Learning	Referensi
1	Tantangan Teknologi	(Almaiah and Al Mulhem 2018)(Al-araibi, Mahrin, and Yusoff 2019)(Almaiah and Alyoussef 2019)
2	Kesenjangan Teknikal support	(Esterhuuse and Scholtz 2015; Plein and Mahmoud 2015)
3	Kesenjangan Awareness	(Bozkaya, Erdem Aydin, and Genc Kumtepe 2012; Nagunwa and Lwoga 2012)(Al-araibi et al. 2019; Naveed et al. 2018) (Al-araibi et al. 2019; Naveed et al. 2018) (Almaiah and Alyoussef 2019; Almaiah and Al Mulhem 2018) (Almaiah and Al Mulhem 2018; Kwofie and Henten 2011; Lester and Perini 2010; Mtebe and Raisamo 2014; Ozudogru and Hismanoglu 2016)
4	Kesiapan Sekolah	(Kwofie and Henten 2011; Lester and Perini 2010; Mtebe and Raisamo 2014; Ozudogru and Hismanoglu 2016)
5	Kualitas Konten kursus	Hismanoglu 2016)
6	Lokalisasi konten	(Almaiah and Alyoussef 2019; Iqbal and Ahmad 2010)
7	Konten kursus	(Vershitskaya et al. 2020)
8	Skill IT	(Almaiah and Alyoussef 2019; Mtebe and Raisamo 2014)

No	Alasan kegagalan E-Learning	Referensi
		(Kwofie and Henten 2011; Lester and Perini 2010; Mtebe and Raisamo 2014; Ozudogru and Hismanoglu 2016)
		(Kwofie and Henten 2011; Lester and Perini 2010)
		(Muhammad Awan, Shahzad Bukhari, and Iqbal 2011; Nawaz and Zubair Khan 2012)

Hasil penelitian menunjukkan terdapat 8 faktor mempengaruhi digital edukasi dalam hal ini implementasi e-learning. Adapun penjelasan faktor faktor tersebut antara lain:

1. Tantangan Teknologi, pengguna kesulitan dalam menggunakan system e-learning
2. Kesenjangan Teknikal support, ketidakterediaan dari teknikal support atau kesenjangan dukungan fasilitas untuk berbagai aktifitas seperti instalasi, operasi, maintenance, administrasi jaringan dan keamanan. Lambatnya kecepatan internet dalam penggunaan e-learning
3. Kesenjangan Awareness, kesenjangan kesadaran dari skill internen dan penghindaran tanggung jawab dalam menggunakan e-learning
4. Kesiapan Sekolah, pengguna memproses e-learning dengan tidak konsisten (pengajar kadang menggunakan e-learning kadang mengabaikan)
5. Kualitas Konten kursus, rendahnya kualitas konten



6. Kustomisasi konten, Kurangnya Kustomisasi / Adaptasi konten kursus sesuai dengan kebutuhan siswa
7. Konten kursus, kesenjangan relevansi konten dengan yang dibutuhkan pada pembelajaran
8. Skill IT , kesenjangan skill pengajar

## **KESIMPULAN**

Makalah ini memberikan kontribusi terhadap tantangan kritis dan faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan sistem e-learning. Proses tersebut, yang mencakup semua faktor sistem elearning yang dianalisa dari penelitian-penelitian sebelumnya. Faktor-faktor dianalisa dan teridentifikasi faktor-faktor yang mendukung adopsi penggunaan sistem e-learning, dan mendukung pemahaman dan analisis peneliti lain tentang tantangan yang dihadapi sistem elearning saat ini. Para pembuat kebijakan universitas, perancang dan pengembang di universitas-universitas tersebut dapat mengambil manfaat dari analisa dalam penelitian ini, yang memberikan gambaran nyata tentang sistem e-learning saat ini, dan dapat diambil sebagai pedoman untuk meningkatkan penggunaan sistem e-learning di kalangan siswa. Berdasarkan hasil penelitian, para responden menyatakan bahwa faktor-faktor penting yang mempengaruhi penggunaan sistem e-learning dan sebaiknya universitas memasukkannya ke dalam rencana masa depan adalah: Tantangan Teknologi, Kesenjangan Teknikal support, Kesenjangan Awareness, Kesiapan Sekolah, Kualitas Konten, Kustomisasi konten, relevansi Konten kursus, dan Skill IT pengajar.

## REFERENCES

- Abuhammad, Sawsan. 2020. "Barriers to Distance Learning during the COVID-19 Outbreak: A Qualitative Review from Parents' Perspective." *Heliyon* 6(11).
- Al-araibi, Asma Ali Mosa, Mohd Naz'ri bin Mahrin, and Rasimah Che Mohd Yusoff. 2019. "Technological Aspect Factors of E-Learning Readiness in Higher Education Institutions: Delphi Technique." *Education and Information Technologies* 24(1).
- Almaiah, Mohammed Amin, and Ibrahim Youssef Alyoussef. 2019. "Analysis of the Effect of Course Design, Course Content Support, Course Assessment and Instructor Characteristics on the Actual Use of E-Learning System." *IEEE Access* 7.
- Almaiah, Mohammed Amin, and Ahmed Al Mulhem. 2018. "A Conceptual Framework for Determining the Success Factors of E-Learning System Implementation Using Delphi Technique." *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* 96(17).
- Azzizah, Yuni. 2015. "Socio-Economic Factors on Indonesia Education Disparity." *International Education Studies* 8(12).
- Bozkaya, Müjgan, Irem Erdem Aydin, and Evrim Genc Kumtepe. 2012. "Research Trends and Issues in Educational Technology: A Content Analysis of Tojet (2008-2011)." *Turkish Online Journal of Educational Technology* 11(2).
- Edit Inotai. 2021. "Learning Losses May Lead to Earning Losses Governments around the World Are Tackling the COVID-19 Pandemic Imposing Partial or Full Lockdown Measures , Often Including School Closures . However , Researchers

- Warn about the Long-Term Negative Effects of Th.” *Visegradinsight.Eu* (January). Retrieved February 8, 2021 (<https://visegradinsight.eu/learning-losses-may-lead-to-earning-losses/>).
- Esterhuysen, Maxine, and Brenda Scholtz. 2015. “Barriers to E-Learning in a Developing Country : An Explorative Study.” *Proceedings of the 9th IDIA Conference, IDIA2015*.
- Hannum, Wallace H., Matthew J. Irvin, Pui Wa Lei, and Thomas W. Farmer. 2008. “Effectiveness of Using Learner-Centered Principles on Student Retention in Distance Education Courses in Rural Schools.” *Distance Education* 29(3).
- Hwee, Joyce, Ling Koh, Ching Sing Chai, and Uma Natarajan. 2018. *Developing Indonesia Teachers’ Technological Pedagogical Content Knowledge for 21 St Century Learning (TPACK-21CL) through a Multi-Prong Approach*. Vol. 3.
- Iqbal, Muhammad Javed, and Mumtaz Ahmad. 2010. “Enhancing Quality of Education through E-Learning: The Case Study of Allama Iqbal Open University.” *Turkish Online Journal of Distance Education* 11(1).
- Kusumo, Nawang Sari Adhiyanti Muljo, Ferdinand Budi Kurniawan, and Novita Ika Putri. 2012. “ELearning Obstacle Faced by Indonesian Students.” *International Journal of The Computer, The Internet, and Management* (February).
- Kwofie, Benjamin, and Anders Henten. 2011. “The Advantages and Challenges of E-Learning Implementation: The Story of a Developing Nation.” *3 Rd World Conference on Educational Sciences*.
- Lester, Jaime, and Michael Perini. 2010. “Potential of Social

- Networking Sites for Distance Education Student Engagement.” *New Directions for Community Colleges* 2010(150).
- Mbukusa, Nchindo Richardson. 2017. “Overcoming Barriers of Isolation in Distance Learning: Building a Collaborative Community in Learning.” *Advances in Social Sciences Research Journal* 4(17).
- Mtebe, Joel S., and Roope Raisamo. 2014. “Investigating Perceived Barriers to the Use of Open Educational Resources in Higher Education in Tanzania.” *International Review of Research in Open and Distance Learning* 15(2).
- Muhammad Awan, Hayat, Khuram Shahzad Bukhari, and Anam Iqbal. 2011. “Service Quality and Customer Satisfaction in the Banking Sector: A Comparative Study of Conventional and Islamic Banks in Pakistan.” *Journal of Islamic Marketing* 2(3):203–24.
- Nadia Fairuza Azzahra. 2020. *Ringkasan Kebijakan | Mengkaji Hambatan Pembelajaran Jarak Jauh Di Indonesia Di Masa Covid-19*.
- Nagunwa, Thomas, and Edda Lwoga. 2012. “Developing ELearning Technologies to Implement Competency Based Medical Education: Experiences from Muhimbili University of Health and Allied Sciences.” *International Journal of Education and Development Using Information and Communication Technology* 8(3).
- Naveed, Quadri Noorulhasan, Mohamed Rafik N. Qureshi, Alhuseen O. Alsayed, Abdul Hafeez Muhammad, Sumaya Sanober, and Asadullah Shah. 2018. “Prioritizing Barriers of E-Learning for Effective Teaching-Learning Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP).” in *4th IEEE International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences, ICETAS 2017*. Vols. 2018-January.

- Nawaz, Allah, and Muhammad Zubair Khan. 2012. “Issues of Technical Support for E-Learning Systems in Higher Education Institutions.” *International Journal of Modern Education and Computer Science*.
- Ozudogru, Fatma, and Murat Hismanoglu. 2016. “Views of Freshmen Students on Foreign Language Courses Delivered via E-Learning.” *Turkish Online Journal of Distance Education* 17(1).
- Plein, Sven, and Islam Mahmoud. 2015. “Stress Testing.” in *Basic Principles of Cardiovascular MRI: Physics and Imaging Technique*.
- Ramzan, Muhammad. 2021. “Evolution of Situational Factors in Blended Learning Systems Interfaces during COVID-19: An Analytical Study.” *International Journal of Advanced and Applied Sciences* 8(9).
- Simamora, Roy Martin. 2020. “The Challenges of Online Learning during the COVID-19 Pandemic: An Essay Analysis of Performing Arts Education Students.” *Studies in Learning and Teaching* 1(2).
- Tatang Muttaqin. 2018. “Determinants of Unequal Access to and Quality of Education in Indonesia Tatang Muttaqin 1 Ministry of National Development Planning/BAPPENAS 2 Jurnal Perencanaan Pembangunan The Indonesian Journal of Development Planning.” *Jurnal Perencanaan Pembangunan The Indonesian Journal of Development Planning* 2(1):1–22.
- UNESCO. 2020. “COVID-19 Impact on Education.” *UNESCO Institute for Statistics Data* 19(2):Home. Retrieved February 11, 2021 (<https://en.unesco.org/covid19/educationresponse/>).
- Vershitskaya, Elena R., Anna V. Mikhaylova, Suriya I. Gilmanshina, Evgeniy M. Dorozhkin, and Vladimir V.

Epaneshnikov. 2020. "Present-Day Management of Universities in Russia: Prospects and Challenges of e-Learning." *Education and Information Technologies* 25(1).

Widodo, Ari, and Riandi. 2013. "Dual-Mode Teacher Professional Development: Challenges and Re-Visioning Future TPD in Indonesia." *Teacher Development* 17(3).

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



**Tining Haryanti**

Email : [tining.haryanti@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:tining.haryanti@ft.um-surabaya.ac.id)

**Dosen S1 Informatika – Fakultas  
Teknik  
Universitas Muhammadiyah  
Surabaya**

Tining Haryanti, S.Kom, M.M ,M.Kom, lahir di Tulungagung, 31 Oktober 1985, menempuh pendidikan S1 di Program Studi Sistem Informasi STIKOM Surabaya tahun 2008, lulus S2 di Program Magister Management Universitas Terbuka tahun 2015, lulus S2 di Program Magister Sistem Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2020 dengan predikat cumlaude, dan sedang studi lanjut Program Doktorat Sistem Informasi ITS. Saat ini adalah dosen pada Program Studi Informatika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya. Sebagai Chief Editor Jurnal Computing Insight: Journal of Computer Science Universitas Muhammadiyah Surabaya. Berkontribusi sebagai Mitra Bestari pada Jurnal Riset Inovasi Bidang Informatika dan Pendidikan Informatika Institut Adhi Tama Surabaya pada tahun 2019-sekarang, sebagai *reviewer* pada Jurnal Data Mining dan Sistem Informasi Universitas Teknokrat Indonesia pada tahun 2021- sekarang, dan sebagai *temporary reviewer* pada International Journal of Electronic Commerce Studies, Q3 Scopus Index, pada tahun 2020. Beberapa karya publikasi yang pernah dilakukan antara lain:

1. E-Commerce Service Design Readiness using ITIL framework with IT Balanced Scorecard Objective (Case Study: University E-Commerce). Procedia Computer Science, Elsevier-BV. 2020. Prosiding scopus Index Q2

2. Factors And Theories For E-Commerce Adoption: A Literature Review, International Journal Of Electronic Commerce Studies, Academy of Taiwan Information Systems Research, 2020. Journal Scopus Index Q3
3. E-commerce Acceptance in the Dimension of Sustainability, Journal of Modelling in Management, Emerald Publishing. Journal Scopus Index Q2
4. Symantic Review Absorptive Capacity. Procedia Computer Science, Elsevier-BV. 2021. Prosiding scopus Index Q2

Selain beberapa karya diatas, terdapat karya publikasi lain pada Jurnal Nasional dan beberapa buku ber ISBN. Dapat dihubungi melalui email: [tining.haryanti@gmail.com](mailto:tining.haryanti@gmail.com), nomor Hp. 08155104644 dan bertempat tinggal di Surabaya.





# **GREEN SHIP-RECYCLING CONCEPT SEBAGAI SOLUSI PENGELOLAAN DAUR ULANG KAPAL RAMAH LINGKUNGAN**

**Dian Prasetyawati**

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Tulisan ini membahas tentang konsep dan prosedur persiapan daur ulang (*recycling*) bagi kapal-kapal yang sudah tua dan telah mencapai akhir masa beroperasinya. Kondisi saat ini, proses dan prosedur daur ulang kapal (*ship recycling*) di Indonesia masih dilakukan dengan metode dan fasilitas tradisional sehingga belum optimal dalam menerapkan prosedur kerja yang aman dan masih jauh dari konsep daur ulang yang berwawasan lingkungan. Mayoritas pekerjaan pemotongan dan pembongkaran tersebut berlokasi di pinggir pantai dimana hal ini berpotensi membahayakan keselamatan manusia dan lingkungan karena kapal yang akan dilakukan daur ulang masih memungkinkan mengandung material dan zat yang berbahaya misalnya logam berat, hidrokarbon, limbah minyak, limbah pembuangan, sisa-sisa muatan yang mengandung bahan beracun dan berbahaya, dan lain sebagainya. Oleh karena itu perlu dirumuskan suatu prosedur maupun metode yang ideal mulai dari pengedokan, *scrubbing*, pemotongan, dan penanganan material (*material handling*) sehingga bisa menghasilkan produk daur ulang yang berkualitas.

**Kata kunci** : keselamatan, *material handling*, prosedur, *scrubbing*, *ship recycling*

## **PENDAHULUAN**

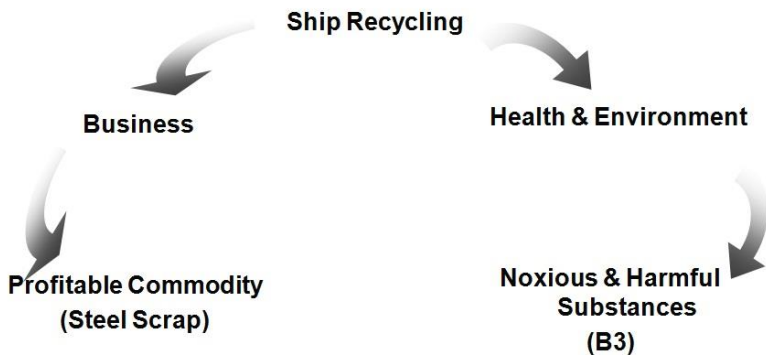
Kapal-kapal dengan usia 25 tahun keatas dianggap sebagai kapal yang sudah tua dan telah mencapai masa akhir operasinya. Kapal-kapal yang sudah tua membutuhkan *maintenance* dengan biaya yang tinggi sehingga secara ekonomis sudah tidak bernilai

lagi dan harus digantikan dengan kapal-kapal yang lebih baru. Salah satu solusi yang bisa dilakukan terhadap kapal-kapal tua tersebut adalah melakukan proses daur ulang kapal (*ship recycling*) dengan cara memotong maupun mengambil bagian dari kapal yang selanjutnya dilakukan proses mengolah kembali material bekas tersebut sehingga memiliki nilai ekonomis dan layak dijadikan sumber bisnis yang baru.

Di Indonesia saat ini terdapat 3 tempat daur ulang kapal yaitu di daerah Bangkalan, Kepulauan Madura; daerah Cilincing, Jakarta Utara dan Kawasan Tanjung Uncang, Batam. Akan tetapi, kegiatan daur ulang ini masih menggunakan metode sederhana dan fasilitas yang belum memadai dimana faktor keselamatan, keamanan dan lingkungan masih belum mendapat perhatian sehingga hal ini bisa menimbulkan potensi risiko yang membahayakan keselamatan manusia maupun lingkungan sekitar. Limbah yang dihasilkan sebagai akibat dari daur ulang kapal merupakan material yang bisa berdampak buruk terhadap keselamatan manusia dan lingkungan karena mengandung logam berat, hidrokarbon, sisa bahan bakar, barang berbahaya dan beracun (B3), dan lain-lain. Faktor ini yang kemudian menjadi perhatian dunia dimana PBB melalui IMO yang menaungi industri maritim di dunia membuat sebuah *guidelines* yang pada akhirnya diharapkan mampu menciptakan suatu panduan menuju konsep *green ship recycling*.

Dengan konsep *green ship-recycling*, akan memberikan kontribusi positif bagi konservasi energi dan sumber daya global sehingga dalam prosesnya akan mampu mempekerjakan banyak tenaga kerja. Jika konsep ini diadopsi dan diterapkan dengan benar maka daur ulang kapal, tanpa pertanyaan lagi adalah industri "hijau" yang menerapkan standar keselamatan,

keamanan dan berwawasan pada lingkungan. Dalam gambar.1 dapat kita lihat konsep dasar dari *ship-recycling*.



**Gambar 1.** *Konsep Ship Recycling* (sumber: hasaniqbaln,2012)

## Tujuan

Tujuan yang diharapkan dari tulisan ini adalah untuk memberikan sebuah gambaran mengenai konsep *Green Ship Recycling* dan prosedur serta fasilitas apa saja yang harus dipersiapkan untuk melakukan sebuah proses daur ulang mulai dari pendedokan (*docking*), pengupasan cat (*decoating*), pembongkaran (*dismantling*) dan penanganan material (*material handling*) sehingga bisa menerapkan konsep *Green Ship Recycling* dengan baik sesuai dengan aturan dari organisasi maritim dunia ( *International Maritime Organization*) yang dituangkan dalam *Hongkong International Convention*.

## METODE

Metode yang digunakan penulis dalam tulisan ini adalah studi literatur yang didapatkan dari berbagai sumber tentang konsep *Green Ship Recycling* dan prosedur persiapan pada proses pendedokan, pengupasan, pemotongan, dan penanganan

material sehingga material bekas dari kapal-kapal tua dapat diolah kembali menjadi material yang bernilai ekonomis dimana pada prosesnya menerapkan prosedur kerja yang aman dan ramah lingkungan.

## **TELAAH PUSTAKA**

### **Sejarah *Ship Recycling Convention***

*Hong Kong International Convention* untuk Daur Ulang Kapal yang aman dan ramah lingkungan, diadopsi pada konferensi diplomatik yang diadakan di Hong Kong, Cina, dari 11 hingga 15 Mei 2009 dan dihadiri oleh delegasi dari 63 negara. Konvensi ini bertujuan untuk memberikan panduan bagi kapal-kapal yang sudah berakhir masa operasionalnya sehingga pada saat dilakukan daur ulang tidak menimbulkan risiko yang bisa membahayakan kesehatan, keselamatan manusia dan keselamatan lingkungan.

Konvensi Hong Kong bermaksud untuk membantu mengatasi segala hal yang berkaitan dengan daur ulang kapal, termasuk fakta bahwa kapal-kapal bekas sangat mungkin mengandung material dan zat berbahaya bagi manusia serta lingkungan seperti asbes, logam berat, hidrokarbon, limbah minyak, sisa-sisa muatan beracun, zat perusak ozon dan lain-lain. Konvensi ini juga membahas kekhawatiran yang muncul tentang kondisi kerja dan lingkungan di banyak lokasi daur ulang kapal di dunia.

Teks Konvensi Hong Kong dikembangkan dengan masukan dari negara-negara anggota IMO dan organisasi-organisasi non-pemerintah serta bekerja sama dengan Organisasi Perburuhan Internasional (ILO) serta Para Pihak Konvensi Basel (*Basel Convention*). Regulasi yang dibahas dalam Konvensi ini meliputi: desain, konstruksi, pengoperasian

dan fasilitas persiapan proses daur ulang yang aman dan ramah terhadap lingkungan termasuk didalamnya bagaimana persyaratan untuk sertifikasi dan sistem pelaporannya.

Setelah Konvensi Hong Kong mulai berlaku, kapal yang akan dikirim untuk didaur ulang disyaratkan untuk menunjukkan kelengkapan inventaris bahan berbahaya secara spesifik.

Tempat daur ulang kapal akan diminta untuk menyediakan "Rencana Daur Ulang Kapal", yang menentukan cara di mana setiap kapal tersebut akan didaur ulang serta bagaimana perincian dan apa saja inventarisnya. Para pihak akan diminta untuk mengambil langkah-langkah efektif untuk memastikan bahwa fasilitas daur ulang kapal di bawah yurisdiksi telah mematuhi Konvensi.

Peran IMO dalam daur ulang kapal, istilah yang digunakan untuk merujuk pada *scrapping* kapal, pertama kali diangkat pada sesi MEPC (*Marine Environment Protection Committee*) ke-44 pada bulan Maret 2000, setelah itu kelompok korespondensi dibentuk untuk meneliti masalah ini dan memberikan informasi tentang praktik daur ulang kapal.

Pedoman dikembangkan oleh Komite Perlindungan Lingkungan Laut (MEPC) dan diselesaikan pada sesi ke-49 MEPC pada Juli 2003. Pedoman ini diadopsi sebagai: Pedoman Daur Ulang Kapal ke-23 pada November-Desember 2003 dengan resolusi A.962 (23) dan kemudian diubah dengan resolusi A.980 (24). Resolusi A.962(23) tentang Daur Ulang Kapal memberikan saran kepada semua pemangku kepentingan dalam proses daur ulang, termasuk administrasi pembangunan kapal dan negara pemasok peralatan maritim, bendera, pelabuhan dan negara daur ulang, serta organisasi antar

pemerintah dan badan komersial seperti pemilik kapal, pembuat kapal, reparasi dan tempat daur ulang. Pedoman tersebut mencatat bahwa, dalam proses daur ulang kapal, hampir tidak ada yang sia-sia. Bahan dan peralatan hampir seluruhnya digunakan kembali. Baja diproses ulang untuk menjadi, misalnya, batang penguat untuk digunakan dalam industri konstruksi atau sebagai coran. Generator kapal digunakan kembali di darat. Hidrokarbon di atas kapal menjadi produk minyak reklamasi untuk digunakan sebagai bahan bakar di rolling mill atau brick kiln. Fitting lampu dapat digunakan lebih lanjut di darat. Selanjutnya, produksi baja baru dari baja daur ulang hanya membutuhkan sepertiga dari energi yang digunakan untuk produksi baja dari bahan baku.

Dengan demikian, daur ulang memberikan kontribusi positif bagi konservasi energi dan sumber daya global dan, dalam prosesnya, mempekerjakan banyak tenaga kerja. Jika ditangani dengan benar, daur ulang kapal, tanpa pertanyaan, adalah industri "hijau". Namun, pedoman tersebut juga mengakui bahwa meskipun prinsip daur ulang kapal mungkin baik, tetapi praktik kerja dan standar lingkungan di galangan sering kali diabaikan.

Selanjutnya, pada sesi ke-53 pada bulan Juli 2005, Komite Perlindungan Lingkungan Laut (MEPC) setuju bahwa IMO harus mengembangkan, sebagai prioritas tinggi, instrumen baru tentang daur ulang kapal dengan tujuan untuk memberikan peraturan daur ulang kapal yang mengikat secara hukum dan berlaku secara global untuk pengiriman internasional dan untuk fasilitas daur ulang. MEPC 53 juga setuju bahwa instrumen IMO baru tentang daur ulang kapal harus mencakup peraturan untuk desain, konstruksi, operasi dan persiapan kapal untuk

memfasilitasi daur ulang yang aman dan ramah lingkungan. MEPC 53 selanjutnya menyepakati bahwa instrumen tersebut di atas harus diselesaikan pada waktunya untuk dipertimbangkan dan diadopsi dalam dua tahun 2008-2009.

IMO pada bulan November-Desember 2005 kemudian menyepakati bahwa IMO harus mengembangkan instrumen baru yang mengikat secara hukum tentang daur ulang kapal. Resolusi A.981(24) adalah Instrumen baru yang mengikat secara hukum tentang Daur Ulang Kapal.

Resolusi tersebut mengacu pada kebutuhan mendesak IMO untuk berkontribusi pada pengembangan solusi efektif untuk masalah daur ulang kapal, yang akan meminimalkan, dengan cara yang paling efektif, efisien dan berkelanjutan, risiko lingkungan, kesehatan dan keselamatan kerja yang terkait dengan kapal. daur ulang, dengan mempertimbangkan karakteristik khususnya transportasi laut dunia dan kebutuhan untuk mengamankan kelancaran penarikan bagi kapal-kapal yang telah mencapai akhir masa operasinya. Pada gambar 2 berikut disajikan sejarah dari munculnya *Ship-Recycling Convention*.





**Gambar 2.** Sejarah *Ship Recycling Convention* (sumber : Hasaniqbahn, 2012)

## Konsep *Green Ship Recycling*

*Green Ship Recycling* merupakan suatu proses yang dilakukan untuk mengambil material dari kapal-kapal tua yang sudah tidak beroperasi lagi yang selanjutnya material tersebut diolah kembali menjadi material yang bernilai ekonomis dan dapat dimanfaatkan kembali menjadi bisnis baru dimana pada proses daur ulang tersebut harus menerapkan dan memperhatikan factor keselamatan, kesehatan pekerja/manusia dan kesehatan lingkungan di sekitarnya. Proses-proses tersebut antara lain proses menyandarkan (*mooring*), mengandaskan (*beaching*), pengelupasan cat (*decoating*) pembongkaran (*dismantling*), perbaikan material (*recovery of material*) dan memproses kembali material (*reprocessing of material*) [*“Guidelines on Ship Recycling, Resolution A.962-23”*]. Sedangkan yang dimaksud dengan *Ship Recycling Yard* adalah

suatu tempat/fasilitas yang digunakan untuk proses daur ulang kapal yang telah mendapatkan izin dari pihak yang berwenang dari tempat dimana galangan tersebut berada (IMO, *Ship recycling Guideline*, 2003). Proses daur ulang kapal (*ship recycling*) dapat dilaksanakan dengan beberapa metode antara lain mengandaskan (*beaching*), metode *landing (wet basin)*, metode *float* dan metode *dry dock*. Akan tetapi, apapun metode yang dipilih oleh sebuah perusahaan dalam mendaur ulang kapalnya, harus selalu memprioritaskan faktor keselamatan dan kesehatan para pekerja yang terlibat pada prosesnya serta berorientasi pada dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan sekitarnya karena kapal dibangun dengan konstruksi utamanya adalah baja sedangkan sisanya merupakan komponen-komponen lain yang bisa jadi di dalamnya terdapat bahan beracun dan berbahaya (B3) yang menimbulkan risiko yang membahayakan bagi lingkungan. Sebelum melakukan proses daur ulang diperlukan suatu proses penilaian dan pemilahan terhadap keseluruhan baik dari sisi bahan dasar, fungsi maupun kondisi material. Hal ini berkaitan erat dengan penentuan proses pengelolaan lanjutan terhadap material dimana metode pengelolaan tersebut dipisahkan menjadi beberapa pilihan yaitu:

1. *Reuse* artinya material masih bisa dimanfaatkan kembali dengan terlebih dulu memeriksa kondisinya sehingga disini mungkin hanya diperlukan *maintanance* yang sifatnya minor.
2. *Recycle* artinya material masih bisa dimanfaatkan kembali dengan syarat harus terlebih dahulu dilakukan proses lebih lanjut misalnya proses peleburan.

3. *Disposal* artinya material sudah tidak bisa dimanfaatkan lagi karena tidak memiliki nilai ekonomis lagi sehingga hal yang bisa dilakukan hanyalah melakukan pembuangan.

Ada beberapa alasan yang membuat konsep *green ship recycling* sangat diperlukan yaitu

Isolasi bagian-bagian kapal yang berbahaya bagi kehidupan laut dan manusia, melestarikan ekosistem laut dengan membuang limbah pemecah kapal secara tepat, menggunakan kembali bagian-bagian kapal, serta membantu pemilik kapal mendapatkan manfaat dari proses dengan utilitas optimal dari bagian-bagian kapal.

### ***Ship Recycling Facility Plan (SRFP)***

*Ship Recycling Facility Plan (SRFP)* harus diadopsi oleh dewan atau Perusahaan Daur Ulang. SRFP adalah dokumen utama yang harus dimiliki oleh Otoritas atau organisasi yang diakui dalam mengesahkan Fasilitas Daur Ulang Kapal. Inspeksi lokasi juga harus dilakukan untuk memastikan bahwa fasilitas telah sesuai dengan deskripsi dalam SRFP. Oleh karena itu, SRFP harus sepenuhnya menjelaskan operasi dan prosedur yang ada di Fasilitas Daur Ulang Kapal untuk memastikan kepatuhan terhadap Konvensi.

SRFP harus menunjukkan pengetahuan dan pemahaman tentang semua persyaratan undang-undang dan peraturan yang berlaku dan komitmen yang kuat untuk kesehatan dan keselamatan pekerja serta perlindungan terhadap lingkungan. SRFP juga harus menjelaskan proses dan prosedur operasional yang terlibat dalam daur ulang kapal di Fasilitas Daur Ulang Kapal, yang menunjukkan bagaimana persyaratan Konvensi

akan dipenuhi. Dalam tabel 1 berikut dijelaskan apa saja yang harus ada dalam SFRP.

**Tabel 1.** *Ship Facility Recycling Plan*

<b>No</b>	<b>Fasilitas Manajemen</b>	<b>Fasilitas Operasi</b>	<b>Kepatuhan Pekerja</b>	<b>Proteksi terhadap Lingkungan</b>
1	Informasi perusahaan	Informasi tentang fasilitas	Keselamatan dan Kesehatan pekerja	Pengawasan lingkungan
2	Program pelatihan	Ijin, lisensi, dan sertifikasi	Penanggung jawab Kesehatan dan keselamatan pekerja	Manajemen terhadap material berbahaya
3	Manajemen SDM	Memenuhi syarat daur ulang kapal	Penilaian bahaya kerja	Manajemen terhadap material berbahaya yang ramah lingkungan
4	Manajemen pelaporan dan pencatatan	Pengembangan <i>Ship Recycling Plan (SRP)</i>	Pencegahan efek buruk bagi Kesehatan manusia	Pencegahan efek buruk bagi lingkungan
5		Manajemen kedatangan kapal		
6		Metode daur ulang		
7		Sistem pelaporan		

*Sumber : MEPC 63/23, 2012*

## ***Inventory Hazardous Materials (IHM)***

Keberadaan bahan berbahaya di kapal adalah hal biasa dan tidak mungkin dihindari karena diperlukan untuk konstruksi dan pemeliharaan kapal. Asbes, misalnya, merupakan salah satu material yang sering ditemukan di kapal karena biasanya digunakan terutama di dinding dan di pintu kamar mesin karena berfungsi sebagai isolasi termal dan sifatnya yang tahan api. Namun, juga sangat berbahaya jika dipecah dan dapat menyebabkan penyakit fatal jika terhirup. Paparan logam berat dalam jangka panjang seperti timbal atau merkuri (yang dapat ditemukan pada cat, baterai, dll) juga dapat menyebabkan kerusakan organ dan cacat yang bersifat permanen.

Tujuan dari *Inventory Hazardous Materials* adalah untuk memberikan informasi spesifik kapal tentang bahan berbahaya aktual yang ada di kapal dalam rangka untuk melindungi kesehatan dan keselamatan serta untuk mencegah pencemaran lingkungan akibat aktifitas mendaur ulang kapal. Informasi pada IHM ini akan dipergunakan oleh perusahaan fasilitas daur ulang kapal guna memutuskan bagaimana mengelola jenis dan jumlah bahan yang diidentifikasi dalam IHM. Pada dasarnya, *Inventory Hazardous Material* berisi informasi tentang material, letak material, serta kandungan bahan beracun dan berbahaya (B3) pada kapal yang akan dilakukan proses daur ulang.

## **KESIMPULAN**

Penerapan Konvensi Hong Kong tentu saja merupakan cara terbaik dalam hal penanganan terhadap masalah kesehatan, keselamatan, dan lingkungan yang terkait dengan daur ulang kapal karena merupakan kerangka kerja dan aturan yang telah

tersusun di bawah naungan IMO yang mengakui masalah yang terkait dengan daur ulang kapal sebagai masalah internasional. Indonesia sebagai salah satu negara maritime memiliki potensi dan peluang besar dalam hal pengembangan industri *ship recycling yard* menuju *Green Ship Recycling* yaitu daur ulang kapal yang sesuai prosedur keselamatan, kesehatan dan ramah pada lingkungan.

## REFERENCES

- Akriananta.W, Suastika. K (2017). Analisis Pengembangan Galangan Daur Ulang Kapal Ramah Lingkungan di Indonesia Menggunakan Metode ANP (Studi Kasus Galangan Daur Ulang Kapal di Kamal Madura). *Jurnal Kelautan Nasional, Vol. 12, No. 1, hal 33-4*
- Fariya, S. (2016), *Analisis Teknis Pengembangan Green Ship Recycling Yard di Indonesia*, Tesis, ITATS, Surabaya
- Guidelines for Safe and Environmentally Sound Ship Recycling, adopted by Resolution MEPC.210(63), IMO, 2012
- Guidelines for the Authorization of Ship Recycling Facilities, adopted by Resolution MEPC.211(63), IMO, 2012
- Guidelines for the Development of the Inventory of Hazardous Material, adopted by Resolution MEPC.269 (68), IMO, 2015
- Guidelines for the Development of the Ship Recycling Plan, adopted by Resolution MEPC.196(62), IMO, 2011
- Hasugian, S. (2010). *Study Pengembangan Hazardous Material Pada Proses Ship Recycling sesuai IMO Guidelines untuk Kapal Berbendera Indonesia*. Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.

<http://hasaniqbaln.blogspot.com/2012/03/ship-recycling-convention-wujud.html>

Inventory of Hazardous Materials (IHM): a Brief Explanation (2021),  
ship-technology.com

K. P. Jain, J. F. J. Pruyn, J. J. Hopman (2013). Critical Analysis of the Hong Kong International Convention on Ship Recycling. World Academy of Science, Engineering and Technology. *International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering Vol:7 No:10, 683-691*

Peraturan Menteri Perhubungan Indonesia Nomor PM. 29 (2014) tentang Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim. Menteri Perhubungan Indonesia, Jakarta.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21. (2010) tentang Perlindungan Lingkungan Maritim. Presiden Republik Indonesia, Jakarta.

Peraturan Pemerintah Nomor 74 (2001) tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), Jakarta.

Recycling of ships, International Maritime Organization, imo.org

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



**Dian Prasetyawati**

**Email :** [dheyan05@gmail.com](mailto:dheyan05@gmail.com)

[dheyan05@ft.um-  
surabaya.ac.id](mailto:dheyan05@ft.um-surabaya.ac.id)

**Dosen Teknik Perkapalan-  
Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah  
Surabaya**

Dian Prasetyawati, lahir di kota Ponorogo pada tanggal 5 Oktober 1978, menempuh pendidikan S1 dan mendapatkan gelar sarjana pada tahun 2002 dari Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Melanjutkan studi pada Program Pascasarjana Teknologi Industri dan mendapatkan gelar Magister Teknik pada tahun 2006. Kesibukannya saat ini adalah mengajar di Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya dan melakukan penelitian dengan fokus pada bidang manajemen keselamatan, Bisnis Perkapalan, Manajemen Risiko, dan *Green Ship-Recycling*. Beberapa karya publikasi yang pernah dilakukannya antara lain:

1. Observation Study the Walking Speed and Distribution of Speed's Passengers as Basis for Passenger Evacuation Simulation, *Jurnal Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications, Switzerland, 2017



2. Studi Penilaian Ekonomis Sistem Instalasi Biogas pada Kapal Penumpang dengan Metode CBA (Cost Benefit Analysis), Jurnal Midship Teknik Perkapalan, UMSurabaya, 2018
3. Penerapan Voyage Account berdasarkan Noon Report Kapal, Jurnal Midship Teknik Perkapalan, UMSurabaya, 2019
4. Analisa kelayakan sistem instalasi biogas sebagai alternatif pengolahan limbah sewage kapal, Seminar Nasional Maritim, Sains dan Teknologi Terapan PPNS 2018

# **PENGEMBANGAN *MULTIPLE LINIER REGRESSION* SEBAGAI STRATEGI PENGENDALIAN EMISI GAS BUANG KENDARAAN DI KABUPATEN SIDOARJO**

**Ponidi, I Made Wahyu A**

1)Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Jumlah kendaraan yang tidak dikendalikan dengan baik akan memberikan efek yang kurang baik dan memberikan sumbangan besar dalam polusi udara di suatu wilayah. Komposisi kandungan Carbon Monoksida dan Hidrocarbon yang keluar dari kendaraan berbahan bakar bensin serta kepekatan (Opositas) untuk kendaraan Diesel. Emisi gas buang kendaraan merupakan permasalahan yang menjadi perhatian utama Dinas Lingkungan Hidup bekerja sama dengan Dinas Perhubungan kabupaten sidoarjo untuk bersinergi mencari solusi menurunkan komposisi kandungan emisi gas buang. Dengan kondisi tersebut dilakukan penelitian untuk melihat hubungan tahun produksi kendaraan (Jam Putar), pola dan strategi perawatan kendaraan serta kemutakhiran perangkat teknologi sistem pembakaran bahan bakar terhadap kandungan komposisi emisi gas buang kendaraan dengan menegembangkan multiple linier regression sebagai strategi menurunkan emisi gas buang di kabupaten sidoarjo. Setelah melakukan penelitian dengan menggunakan multiple linier regression dengan uji simultan terhadap nilai F diperoleh hasil sebesar 0,05 dan ini memberikan pengertian bahwa ada satu variable yang membawa pengaruh terhadap kandungan komposisi gas buang. Dengan melakukan uji terhadap nilai t ( parsial) menunjukkan adanya pengaruh apabila ketiga variable itu dimasukkan terhadap nilai kandungan komposisi emisi gas buang yang di keluarkan kendaraan bermotor. Adapun besarnya Pengaruh nilai ketiga variabel yang diperhitungkan dalam penelitian ini untuk kendaraan berbahan bakar bensin untuk komposisi kandungan CO sebesar 88,6 % , Komposisi kandungan HC sebesar 87,4 % , dan untuk kendaraan berbahan bakar diesel / solar sebesar 80 % terhadap opositasnya.

**Kata kunci** : Emisi Gas Buang, Regresi Linier Berganda

## **PENDAHULUAN**

Pada Tahun 2020 jumlah penduduk Kabupaten Sidoarjo tercatat sebanyak 2.262.440 jiwa, sedangkan jumlah kepemilikan kendaraan bermotor tercatat pada tahun 2020 adalah 126.508.776 dengan catatan tersebut rata — rata peningkatan penambahan jumlah kendaraan sebesar 9,05 % per tahun (Sidoarjo, 2020). Dari data tersebut kita ketahui bahwa selama ini pengawasan kendaraan bermotor terkait dengan pemeliharaan dan perawatan, yang salah satunya berdampak pada kualitas emisi gas buang, tidak hanya menjadi tanggung jawab pemilik kendaraan melainkan juga tanggung jawab dari pemerintah dengan pelaksanaan uji berkala kendaraan, dimana salah satunya adalah uji komposisi kandungan emisi gas buang dan selama ini dilaksanakan Dinas Perhubungan secara periodik dan berkala.

Upaya Pemerintah Kabupaten Sidoarjo untuk mengendalikan kandungan komposisi emisi gas buang yaitu melakukan operasi simpatik yang diadakan secara periodik setiap 3 kali dalam setahun. Data yang diperoleh dari Kegiatan uji emisi simpatik yang dilaksanakan di beberapa titik di Kabupaten Sidoarjo menunjukkan angka bahwa kendaraan berbahan bakar solar menduduki peringkat terbesar tidak lulus uji berkisar antara 78 — 83%, dan selebihnya kendaraan yang berbahan bakar bensin. Akan tetapi, seiring dengan bertambahnya umur kendaraan dan semakin meningkatnya

penggunaan kendaraan bermotor maka dimasa yang akan datang dapat diperkirakan jumlah yang tidak lulus uji emisi akan semakin meningkat.

Jumlah kendaraan yang tidak dikendalikan dengan baik akan memberikan efek yang kurang baik dan memberikan sumbangan besar dalam polusi udara di suatu wilayah. Komposisi kandungan Carbon Monoksida dan Hidrocarbon yang keluar dari kendaraan berbahan bakar bensin serta kepekatan (Opositas) untuk kendaraan Diesel. Emisi gas buang kendaraan merupakan permasalahan yang menjadi perhatian utama Dinas Lingkungan Hidup bekerja sama dengan Dinas Perhubungan kabupaten sidoarjo. Dari latar belakang permasalahan di atas, selanjutnya dilakukan upaya terhadap kendaraan wajib uji pada wilayah kerja Dinas Perhubungan untuk melakukan pengujian secara periodic dan berkala serta merencanakan strategi menurunkan kandungan CO, HC dan Opositas dari motor bensin maupun diesel wajib uji di Wilayah Kabupaten Sidoarjo.

## **METODE**

Dalam melakukan analisa dengan memakai data korelasi antara dua variable atau lebih adalah metode yang dipakai oleh multiple linier regression (Qudrotullah, 2013). Dimana tujuan utamanya adalah melakukan prediksi yang dapat dipertanggung jawabkan terhadap suatu nilai variable bebas maupun variable terikat jika nilainya dikethui. Analisa ini juga dipergunkan untuk mengukur tingkat pengaruh antara variable terika (Y) dan variable bebas (X) dengan menggunakan persamaan  $Y=a+bX$  (Sunnyoto, 2007). Dengan regresi ini bisa dilakukan pengujian

terhadap kebenaran suatu hipotesa yang telah ditetapkan ,dengan menentukan apakah hipotesa yang telah ditentukan diterima atau ditolak.Dalam melakukan hipotesa dapat dilakukan dengan menggunakan distribusi uji koefisien Determinasi ( $R^2$ ) dan Uji simultan Hipotesis ( Uji F).Besarnya nilai signifikansi 0,05 atau 5 % , dimana dalam menentukan keputusan memakai nilai probabilitas,jika probabilitas  $\geq 0,05$  Ho diterima dan Ha ditolak dan sebaliknya jika probabilitas  $\leq 0,05$  Ho ditolak dan Ha diterima.

Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan kuisioner,data yang diperoleh dilakukan pengolahan data mnggunakan menggunakan SPSS ( *software Statistical Package For the Social Sciences*) dan hasilnya dilakukan dua mcam pengujian yaitu uji validitas dan uji Reliabilitas .Uji Validitas dipergunakan untuk mengukur tingkat validitas data dn uji reliabilitas dipergunakan untuk mengukur konsistensi alat pengukur untuk tingkat problematika yang sama. Besarnya nilai *Cronbach Alpha* dari hasil perhitungan SPSS dipergunakan untuk menentukan uji reliabilitas.Nilai *Cronbach Alpha* berkisar antara nol sampai dengan satu (Hair, 2010) yang akan dipaki untuk mengukur nilai keandalan.Dari hasil penelitian Eisingerich dan Rubera (Eisingerich, 2010) besaran nilai *Cronbach Alpha* adalah 0,0-0,20 =kurang andal ,0,20 – 0,40 = Agak andal ,0,40 – 0,60 = cukup andal ,0,60-0,80 =Andal dan 0,80 -1,00 = Sangat andal

Untuk menentukan nilai Uji reliabilitas mengacu pada bukunya Umar (Umar, 2002) :

- a. Nilai *Alpha Cronbach*  $> 0,6$  variabel dinyatakan reliabel.
- b. Nilai *Alpha Cronbach*  $< 0,6$  variabel dinyatakan tidak reliabel.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji emisi berdasarkan teknologi suplai bahan bakar

Berdasarkan teknologi suplai bahan bakar kendaraan bermotor yang meliputi kendaraan berbahan bakar bensin, dengan teknologi konvensional (karburator) dan baru (injeksi), serta kendaraan berbahan bakar solar, dengan teknologi konvensional (injeksi) dan baru (*common rail*), diketahui sebagai berikut:

**Tabel 1.** Hasil Uji Emisi berdasarkan teknologi suplai bahan bakar

No.	Hasil Pengujian	Teknologi suplai bahan bakar			
		Bahan bakar bensin		Bahan bakar solar	
		Karburator	Injeksi	Injeksi	<i>Common Rail</i>
1	Lulus	8	20	16	17
2	TidakLulus	12	10	12	5
	Total	20	30	28	22
		50		50	

Dari hasil pengujian, maka dapat diketahui, untuk kendaraan bermotor berbahan bakar bensin yang menggunakan teknologi dengan suplai bahan bakar karburator yang lulus emisi sebanyak 8 unit kendaraan dan 12 unit kendaraan tidak lulus uji

sedangkan kendaraan yang menggunakan teknologi dengan suplai bahan bakar injeksi, yang lulus emisi sebanyak 20 unit kendaraan dan 10 unit kendaraan tidak lulus uji, serta untuk kendaraan bermotor berbahan bakar solar yang menggunakan teknologi dengan suplai bahan bakar konvensional (injeksi) yang lulus emisi sebanyak 16 unit kendaraan dan 12 unit kendaraan tidak lulus uji sedangkan kendaraan yang menggunakan teknologi suplai bahan bakar *common rail*, yang lulus emisi sebanyak 17 unit kendaraan dan 5 unit kendaraan dinyatakan tidak memenuhi syarat (tidak lulus uji).

### Hasil pengujian emisi berdasarkan Polutan

Berdasarkan polutan yang terkandung dalam emisi kendaraan bermotor yang meliputi CO dan HC yang terdapat pada kandungan kadar emisi pada kendaraan dengan bahan bakar bensin, serta ketebalan asap (*opacity*) yang terdapat pada kendaraan berbahan solar, dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.** Hasil uji emisi gas buang kendaraan bermotor berdasarkan polutan

No.	Tahun Produksi	Rata2 CO %	Rata2 HC(%)	Rata2 Opacity(%)
1	1998-2000	5,14	1329,4	82
2	2001-2003	4,45	1198,5	84
3	2004-2006	3,95	1116,66	68
4	2007-2009	2,37	284,5	56
5	2010-2012	0,76	283,63	66
6	2013-2015	1	177,6	47
7	2016-2019	0,36	118,55	25

Dari hasil pengujian emisi gas buang berdasarkan polutannya, maka dapat diketahui, untuk kendaraan bermotor berbahan bakar bensin, terkandung kadar Karbon Monoksida (CO) yang

paling tinggi terdapat pada Tahun 1998 — 2000 dengan rata-rata nilai CO 5,14 %, dan kadar CO paling rendah terdapat pada Tahun 2016 — 2019 dengan rata –rata sebesar 0.36 %. Kadar Hidro Karbon (HC) yang paling tinggi terdapat pada Tahun 1998 — 2000 dengan rata-rata 1329,4 PPM, dan kadar Hidro Karbon (HC) paling rendah terdapat pada Tahun 2016 — 2019 dengan rata –rata sebesar 118,55 PPM, sedangkan untuk kendaraan bermotor berbahan bakar solar, terkandung ketebalan asap (opacity) yang paling tinggi terdapat pada Tahun 2001-2003 dengan rata-rata nilai 84 %, dan ketebalan asap (opacity) paling rendah terdapat pada Tahun 2016-2019 dengan rata –rata sebesar 25 %. Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa makin muda umur kendaraan yang pada umumnya menggunakan teknologi suplai bahan bakar injeksi (mobil bensin) dan *common rail* (mobil solar)dilengkapi dengan *catalytic converter* yang bertujuan untuk mereduksi kadar emisi gas buang dan ketebalan asap (*opacity*), sehingga polutan emisi gas buang kendaraan bermotor lebih ramah lingkungan.

### **Uji Validitas dan Reliabilitas Instrument**

Pengolahan data dilakukan setelah dilakukan pengujian validitas dan reliabilitas terhadap hasil kuisisioner responden.Adapun rekapitulasi hasil pengujian validitas dan reliabilitas terhadap 50 orang responden dapat dilihat pada Tabel 3 .



**Tabel 3.** Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas  
Kuesioner responden

Jenis Kegiatan	Corrected Item- Total Correlation
Penggantian oli kendaraan setiap 5.000 km	0,603
Penggantian filter pelumas/oli	0,6
Pembersihan filter udara secara berkala	0,295
Pembersihan filter bahan bakar secara berkala	0,431
Pelaksanaan servis sesuai dengan buku petunjuk	0,599

Dengan melihat hasil tabel di atas diketahui bahwa semua besarnya nilai  $r$  ( $\alpha$ ) pada setiap jenis kegiatan mempunyai nilai lebih besar bila dibandingkan dengan nilai  $r$  ( $\alpha$ ) pada tabel dengan nilai signifikansi 5% (0,05) sehingga dapat dikatakan semua data responden valid adanya.

### Kalibrasi Model

Dalam penelitian ini pengambilan data emisi gas buang , untuk kendaraan jenis bahan bakar bensin yang meliputi kadar CO, HC serta kendaraan berbahan solar yang berupa ketebalan asap (*opacity*), sebelum di analisis terlebih dahulu variabel bebas yaitu terkait dengan tingkat perawatan kendaraan bermotor di sesuaikan dengan *Guttman Scale*, dan Gutman Scale mengharuskan responden memilih jawaban yang jelas dan pasti /tegas terhadap setiap pertanyaan yang diajukan. Guna mendukung pengolahan data maka setiap jawaban wajib dilakukan penilaian yang besarnya 0 dan 1, dimana nilai angka 1 akan diberikan terhadap responden yang mendukung/positif

dan angka 0 akan diberikan terhadap responden yang tidak mendukung/negatif. Selanjutnya akan diperoleh berapa jumlah data yang eror masing-masing variable, sehingga tujuan kalibrasi model ini terpenuhi yaitu mendapatkan nilai ekspektasi signifikan.

**a. Kalibrasi Model Kadar CO**

Dengan analisis regresi linier berganda menggunakan *metode stepwise*, tidak ada variabel bebas yang dieliminasi sehingga diperoleh nilai estimasi parameter model regresi sebagai berikut:

**Tabel 4.** Kalibrasi Model Kadar CO

	<b>B</b>	<b>S.E.</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
(Constant)	267,852	56,379	4,751	,000
Tahun Produksi (X1)	-,131	,028	-4,657	,000
Teknologi Kendaraan (X2)	-,375	,068	-5,541	,000
Tingkat Perawatan (X3)	-1,449	,334	-4,340	,000

Dari penjelasan tabel 4 menunjukkan bahwa setiap parameter mempunyai nilai signifikansi  $< (0,05)$  maka  $H_0$  ditolak, dengan demikian terdapat pengaruh yang signifikan antara satu variabel bebas terhadap variabel terikat.

**b. Kalibrasi Model Kadar HC**

Analisa *multiple linier regression* yang memakai metode *stepwise*, tidak ada variabel bebas yang dieliminasi, karena semua terpengaruh secara signifikan terhadap variabel terikatnya (HC), Adapun hasil

estimasi parameter model regresi, sebagai berikut:

**Tabel 5.** Kalibrasi Model Kadar HC

	<b>B</b>	<b>S.E.</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
(Constant)	65554,145	17146,727	3,823	,000
Tahun Produksi (X1)	-566,548	101,680	-5,572	,000
Teknologi Kendaraan (X2)	-32,317	8,573	-3,770	,000
Tingkat Perawatan (X3)	-41,825	20,595	-2,031	,048

Dari penjelasan Tabel 5 menunjukkan bahwa setiap parameter mempunyai nilai signifikansi < dari  $\alpha$  (0,05) maka  $H_0$  ditolak, dengan demikian terdapat pengaruh signifikan antara satu variable bebas terhadap variable terikat.

**c. Kalibrasi Model Polutan ketebalan asap (Opacity)**

Analisa multiple linier regression yang memakai metode stepwise, tidak ada variabel bebas di eliminasi, Adapun hasil estimasi parameter model regresi, sebagai berikut:

**Tabel 6.** Kalibrasi Model Opacity

	<b>B</b>	<b>S.E.</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
(Constant)	3245,986	779,949	4,162	,000
Tahun Produksi (X1)	-1,576	,393	-4,013	,000
Teknologi Kendaraan (X2)	-8,519	1,187	-7,178	,000
Tingkat Perawatan (X3)	-12,659	4,384	-2,888	,004

Dari penjelasan Tabel 6 menunjukkan bahwa setiap parameter mempunyai nilai signifikansi  $<$  dari  $\alpha$  (0,05) maka  $H_0$  ditolak, dengan demikian terdapat pengaruh signifikan antara satu variable bebas terhadap variable terikat .

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan analisis penelitian dan melakukan berbagai metode pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan berikut :

1. Dari analisa terdapat pengaruh signifikan antara tahun perakitan (jam putar ) kendaraan,pola dan strategi perawatan kendaraan serta kemutakhiran perangkat teknologi sistem pembakaran bahan bakar terhadap kandungan komposisi emisi gas buang kendaraan dengan menegembangkan multiple linier regression terhadap nilai emisi gas buang yang dihasilkan, dengan rincian berikut:
  - a. Kendaraan dengan Bahan Bakar Bensin:
    - 1) Dengan perbedaan 1 tahun produksi kendaraan yang semakin baru akan menurunkan kandungn CO sebesar 0,131 % dan HC sebesar 566,548 ppm.

- 2) Dengan adanya perkembangan teknologi suplai bahan bakar kendaraan bermotor dari penggunaan karburator ke injeksi akan menurunkan kandungan CO sebesar 0,375 % dan HC sebesar 32,317ppm.
  - 3) Dengan adanya perawatan berkala pada kendaraan bermotor, akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang CO sebesar 0,149 % dan HC sebesar 41,825 ppm.
- b. Kendaraan Berbahan Bakar Solar:
- 1) Dengan pengaruh tahun produksi kendaraan bermotor, akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang *opacity* sebesar 1,576 %.
  - 2) Dengan adanya perkembangan teknologi suplai bahan bakar dari penggunaan diesel konvensional ke *common rail* akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang sebesar 8,519 %.
  - 3) Dengan adanya perawatan berkala pada kendaraan bermotor, akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang *opacity* sebesar 12,659 %.
2. Strategi pengendalian emisi gas buang
- a. Untuk menurunkan kadar CO:
- 1) Menerapkan perkembangan teknologi suplai bahan bakar dari penggunaan karburator ke injeksi akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang CO sebesar 0,375 %. Menerapkan perawatan berkala pada kendaraan bermotor, akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang CO sebesar sebesar 0,149 % , sehingga akan berpengaruh terhadap kualitas udara yang bersumber dari emisi gas buang kendaraan bermotor lebih ramah lingkungan.
- b. Untuk menurunkan kadar HC:
- 1) Menerapkan perkembangan teknologi kendaraan bermotor dari penggunaan karburator ke injeksi akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang HC

- sebesar 32,317 ppm.
- 2) Menerapkan perawatan berkala pada kendaraan bermotor, akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang HC sebesar 41,825 ppm.
- c. Untuk menurunkan ketebalan asap (*opacity*):
- 1) Menerapkan perkembangan teknologi kendaraan bermotor dari penggunaan diesel konvensional ke *common rail* akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang *opacity* sebesar 8,519% ..
  - 2) Menerapkan perawatan berkala pada kendaraan bermotor, akan menurunkan nilai kadar emisi gas buang *opacity* sebesar 12,659% .

## REFERENSI

- Eisingerich, A. &. (2010). Driver of Brand Commitment : A cross National Investigation . *Journal Of International Marketing* , 64-79.
- Ghozali, I. (2005). *Aplikasi analisis multivariate dengan SPSS* . Semarang : Badan Penerbit UNDIP.
- Hair, J. e. (2010). *Multivariate data analysis* . United States: Pearson .
- Qudrotullah, M. .. (2013). *Analisis regresi terapan teori, contoh kasus dan aplikasi dengan Spss*. Yogyakarta: CV.Andi Ofset.
- Sidoarjo, B. P. (2020). *Badan Pusat Statistik*. Kabupaten Sidoarjo: BPS Sidoarjo.
- Sunyoto, D. (2007). *Analisis Regresi dan korelasi bivariat*. Yogyakarta : Amara Books.
- Umar, H. (2002). *Riset pemasaran dan perilaku konsumen* . Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama .

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



**Ponidi**  
**Email:ponidi@ft.um-**  
**surabaya.ac.id**  
**Dosen Teknik Mesin -**  
**Fakultas Teknik**  
**Universitas**  
**Muhammadiyah**  
**Surabaya**

Ponidi, Lahir di Mojokerto pada 03 Februari 1972, menempuh Pendidikan S1 Teknik mesin dan mendapatkan gelar sarjana pada tahun 1995 dari jurusan Teknik mesin UM Surabaya. Melanjutkan Program Pascasarjana Teknik Industri ITATS Surabaya dan mendapatkan gelar Magister Teknik 2011. Tahun 2018 memperoleh sertifikat Asean Engineering (Asean.Eng) dari Asean federation of Engineering organisations (AFEO), Menempuh Program profesi Insinyur Universitas Hasanudin dan memperoleh gelar Insinyur tahun 2020. Kegiatan saat ini adalah sebagai Dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya, Selain itu dalam dunia industri adalah sebagai Direktur PT. Karya Agung mandiri guna sinergi antara teori dan aplikasi bidang keilmuan. Beberapa karya publikasi yang pernah dilakukan antara lain:

1. Proseding Semnas Senaster Untidar “Inovasi teknologi dalam menghadapi era society 5.0 “ 17 April 2021 ISSN :2747-1217

2. The effect of the use of bio solar ,biosolar fuel with additive and pertamina Dex on Mitsubishi L-300 on smoke density ,Jurnal Rekayasa material,manufaktur dan energi (RMME) ,Vol.4 No.1 Maret 2021 hal.73-82 ISSN: 2622-7398.
3. PKM Pemasangan alat filtrasi air untuk peningkatan Kesehatan ginjal masyarakat Desa Dahor Tuban ,Community Development Journal, Vol.3 No.3 November 2020 hal.429-435 P ISSN : 2721-4990 , E ISSN 2721-5008
4. Analysis maintenance quayside container crane dengan metode failure mode and effect analysis ( FMEA) ,Jurnal Rekayasa material,manufaktur dan energi (RMME),Vol.3 No.2 September 2020 ,hal 65-74 ISSN : 2622-7398
5. Pengaruh Penurunan suhu karburator motor Honda dengan thermo electric cooler terhadap performance mesin ,Jurnal JHP LPPM Untag 1945 Surabaya
6. Application of Data Mining Prediction of Electricity Deviation Flow Using Metode Back propogation at PLN Binjai Area, IOPS Science Vol.1363 tahun 2019 E ISSN : 1742-6596 P ISSN : 1742-6588
7. Improvement Suggestion Performance of Blowing Machine Line 4 with Total Productive Maintenance (TPM) Method at PT. Coca-Cola Amatil Indonesia Medan Unit,IOPS Science Vol.1363 tahun 2019 E ISSN : 1742-6596 P ISSN : 1742-6588
8. Critical Component determination analysis on Diesel Generator Caterpillar Type 3412 C with reliability method ,Jurnal JHP LPPM Untag 1945 Surabaya,Vol.4 No. 1 Januari 2019





# SEBUAH REVIEW TENTANG KONSEP TEKNOLOGI DUAL FUEL ENGINE SEBAGAI SALAH SATU *GREEN TECHNOLOGY FOR GREEN SHIP*

**Betty Ariani**

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Bidang transportasi laut menjadi salah satu sektor yang memberikan andil besar terhadap kenaikan emisi dunia salah satunya gas rumah kaca yang menyebabkan terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim. Kapal merupakan wahana laut yang memanfaatkan energi fosil sebagai bahan bakar mayoritasnya, permesinan kapal yang didominasi oleh penggunaan mesin diesel menyebabkan beberapa permasalahan yang antara lain masih tingginya emisi gas buang yang dihasilkan, keterbatasan persediaan bahan bakar fosil dan semakin ketatnya peraturan kelas terkait emisi. Dual fuel engine merupakan salah satu konsep permesinan yang dapat diaplikasikan pada bidang perkapalan yang berprinsip menggabungkan penggunaan 2 jenis bahan bakar dalam satu sistem, penggunaan bahan bakar gas natural maupun biogas banyak disarankan karena sifatnya yang lebih bersih dan performanya relatif dapat diandalkan. Konsep modifikasinya yang relative sederhana menjadikan konsep teknologi ini cukup menjanjikan di masa depan. Namun begitu teknologi dual fuel dinilai belum sempurna dengan beberapa kelemahan seperti fenomena *methane slip*, penurunan power dan *knocking*. Dalam kajian review ini akan dijelaskan bagaimana performa dan emisi dual fuel berdasarkan jenis bahan bakar, teknologi inovasi yang mendukung peningkatan penggunaan dual fuel dan kendala yang masih ada sebagai bahan kajian di masa mendatang.

**Kata kunci** : Dual Fuel, Diesel, Energi Fosil, Emisi, Transportasi Laut

## PENDAHULUAN

Industri maritim pada umumnya dan transportasi laut pada khususnya merupakan salah satu bidang yang berperan penting dalam perpindahan barang dan jasa dari satu tempat ke tempat lainnya. Penggunaan mesin diesel pada kapal laut menjadi hal mayoritas yang menjadi alasan penggunaan bahan bakar fosil pada bidang maritime juga mendominasi. Peningkatan jumlah armada laut tentu berbanding lurus dengan kenaikan penggunaan bahan bakar fosil yang notebene memiliki beberapa kelemahan antara lain keterbatasan dalam jumlahnya karena termasuk bahan bakar non renewable yang berproses lama dalam penyediaanya, harganya yang sangat tergantung pada tren pasar dunia sehingga tidak bisa diprediksi dan kadang berpengaruh pada ketersediaanya di pasaran serta tingkat emisinya yang masih tinggi sangat berpengaruh pada pemanasan global dan perubahan iklim dunia. Seperti pernyataan *Sokratos et al* bahwa peningkatan kontribusi bidang perkapalan pada emisi CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HC, CO dan PM terus mengalami peningkatan dengan 2-3% terhadap total emisi global.

Green ship technology merupakan salah satu konsep inovasi teknologi di bidang maritime yang berbasis lingkungan. Dalam buku *green ship technology* pengkategorian isunya terbagi menjadi 7 hal terkait hal yang dapat kita lakukan untuk mengurangi dampak operasional industry perkapalan dan maritime terhadap lingkungan, yaitu:

1. Teknologi yang dapat menurunkan emisi seperti CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HC, CO dan PM
2. Teknologi pengolahan limbah kapal
3. Teknologi pengolahan bilge
4. Teknologi pengolahan limbah kategori black waste

5. Teknologi pengolahan limbah kategori grey waste
6. Teknologi water ballast
7. Teknologi coating bawah air

Jika teknologi ini dapat diaplikasikan di kapal maka menurut [*green ship technology*] kondisi lingkungan laut akan lebih baik, bersih dan hijau 15 -20%. Dengan upaya tindak lanjut yang lebih luas lagi maka 33% kondisi lingkungan lebih baik hingga tercapai tujuan nol emisi pada bidang maritime dan perkapalan.

Teknologi dual fuel engine merupakan salah satu upaya pengembangan isu 1 terkait inovasi teknologi untuk menurunkan emisi CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Sox, HC, CO maupun emisi partikel. Penggunaan gas alam maupun biogas seperti yang dibahas oleh *Hoenders et al*, *Livanos et al*, *Abdelrahman et al* dan *Betty Ariani et al* menyatakan bahwa gas alam merupakan bahan bakar fosil yang paling ramah lingkungan. Meskipun gas alam ini termasuk fosil namun ketersediaannya cukup melimpah dan sifatnya relative lebih bersih terkait emisi. Sedangkan biogas masih terkendala terkait proses penyediaannya karena belum cukup komersial di masyarakat. Kandungan sulfur gas alam sekitar 0,004% massa yang jauh di bawah batas 0,1% sehingga emisi SO<sub>x</sub> dapat dikurangi 90 -95% dibandingkan dengan penggunaan HFO. Selain itu dalam dual fuel engine 85% emisi NO<sub>x</sub> dapat dikurangi dan emisi CO<sub>2</sub> berkurang 20 -25%.

Dalam tulisan ini akan dilaporkan terkait serangkaian studi literature review yang dilakukan terkait teknologi dual fuel engine sebagai salah satu inovasi green ship teknologi yang dapat dikembangkan untuk masa depan lingkungan yang lebih baik. Dalam kajian review ini akan dijelaskan bagaimana performa dan emisi dual fuel dalam beberapa terapan bahan

bakar, teknologi inovasi yang mendukung peningkatan penggunaan dual fuel dan kendala yang masih ada sebagai bahan kajian di masa mendatang.

## **METODE**

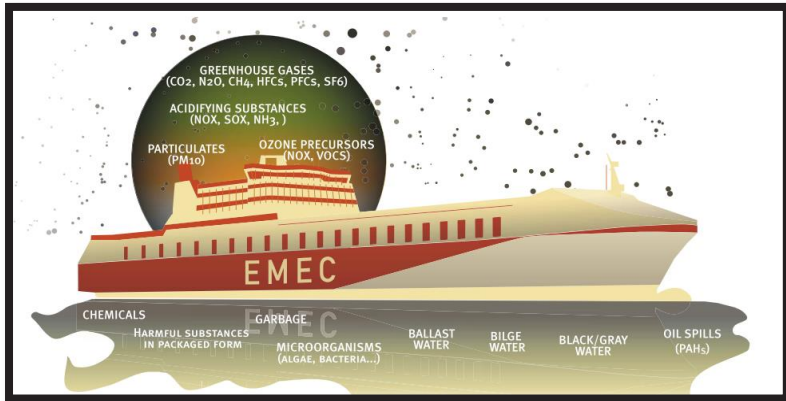
Metode yang dilakukan pada riset ini adalah literature review, dimana pengerjaan dilaksanakan dalam 4 tahapan yaitu tahap pertama melakukan pencarian 25 literature yang terkait dengan menggunakan kata kunci *dual fuel*, *performa dual fuel*, *natural gas dual fuel*, *biodiesel dual fuel*, *emisi dual fuel*. Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengelompokan terkait performa dan emisi yang dihasilkan dalam operasional pada jenis bahan bakar yang berbeda, teknologi pendukung penggunaan dual fuel dan kendala yang masih ditemukan dalam riset dual fuel. Tahapan ketiga membuat tabulasi dan visualisasi grafik serta bagian yang terakhir melakukan analisa dan pembahasan.

## **TELAAH PUSTAKA**

### **Konsep Teknologi Hijau (*Green Ship Technology*)**

Konsep teknologi hijau pada bidang perkapalan atau lebih familiar disebut sebagai *Green ship technology* merupakan salah satu rancangan yang difokuskan untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh perkembangan industry maupun peningkatan operasional dan kegiatan sector maritime dan perkapalan. Perlu disadari sebelumnya bahwa sector perkapalan memegang kendali utama terkait distribusi barang dan jasa serta manusia dari tempat satu ke tempat yang lain, dan 70% bumi kita ini merupakan hamparan lautan. Seperti yang disebutkan diatas pada bagian pendahuluan ada 7 hal yang

terkait erat dengan indicator *green ship* yaitu teknologi reduksi greenhouse gas dan emisi gas buang lainnya, pengolahan black waste, grey waste, limbah kapal, bilge, air ballast dan coating bawah air. Seperti yang terlihat pada gambar.1 dibawah ini,

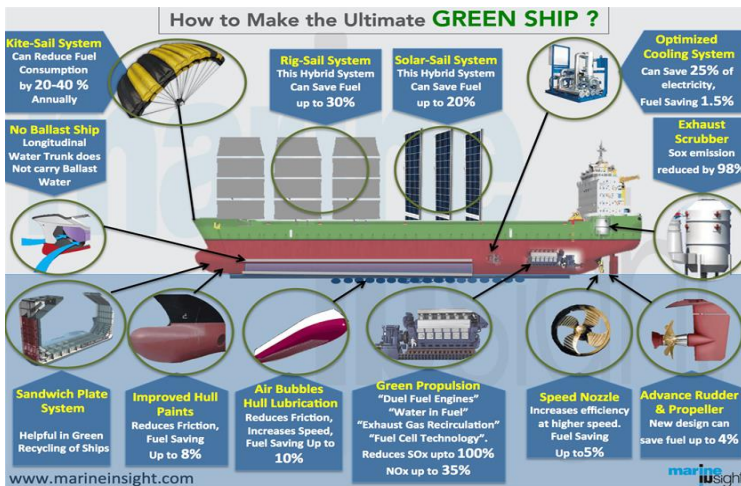


**Gambar 1.** Isu problematika dalam *Green Ship Technology*  
(Sumber gambar green ship book)

Dengan indicator diatas maka inovasi dan konsep teknologi hijau yang dibangun dapat focus pada upaya penanganan permasalahan tersebut. Beberapa teknologi inovasi yang diharapkan menjadi solusi penurunan emisi gas buangan kapal antara lain:

1. Aplikasi teknologi bahan bakar dan sumber energi kapal yang bersifat renewable energy seperti pemanfaatan *kite sail system*, *rig sail system*, *dual fuel engine* dengan menggunakan natural gas maupun upaya substitusi bahan bakar fosil menjadi *alternative marine fuel* . Maupun upaya pengaturan gas buang melalui *exhaust scrubber*. Target dan capaian dari penerapan aplikasi teknologi ini adalah penurunan emisi greenhouse gas, sulfur, nitrogen

- maupun partikel cemaran lain sehingga perubahan iklim dan pemanasan global dapat ditekan.
2. Aplikasi teknologi hijau pada sistem propeller dan perporosan berupa advance rudder & propeller, penggunaan speed nozzle yang dapat meningkatkan kecepatan dan penurunan tingkat konsumsi bahan bakar.
  3. Konsep inovasi desain dan struktur kapal seperti aplikasi sandwich plate system, optimasi desain lambung, penggunaan lubrikasi lambung dan advanced paint untuk mengurangi tahanan gesek hingga penghematan bahan bakar.
  4. Konsep teknologi terkait sistem dalam kapal seperti optimasi sistem pendingin kapal, penggunaan longitudinal water trunk sebagai anti ballast tank, maupun sistem sewage treatment untuk pengelolaan limbah kapal.



**Gambar 2.** Teknologi solusi dalam *green ship technology*  
 Sumber gambar: marineinsight

## Teknologi Dual fuel engine

Teknologi dual fuel dengan menggunakan bahan bakar gas alam sebagai bahan bakar utama dan bahan bakar diesel sebagai pilotnya merupakan salah satu konsep teknologi efisiensi energi yang diharapkan dapat menjadi salah satu solusi bagi penurunan emisi maupun keterbatasan bahan bakar fosil cair. Konsep DDF adalah sebagai berikut, gas metana diinjeksikan pada *intake runners* untuk membentuk pencampuran udara – bahan bakar yang lebih homogen seperti prinsip injeksi bensin pada *port injected spark ignited engine*. Bahan bakar gas (metana) beroperasi sebagai bahan bakar utama setelah terlebih dahulu dilakukan penyalaan awal dengan bahan bakar diesel yang langsung diinjeksi ke combustion chamber, seperti konsep busi pada spark ignited engine sebelum piston mencapai titik mati atas pada langkah kompresi. Konsep kedua adalah DDF dengan mode kedua bahan bakar baik bahan bakar diesel maupun gas metana di injeksi langsung pada combustion chamber. Pada konsep injeksi langsung kedua bahan bakar pada combustion chamber membutuhkan sebuah injektor khusus yang mampu menangani kedua bahan bakar sekaligus sehingga kepala silinder membutuhkan modifikasi lebih banyak sehingga mampu mengakomodasi dua injeksi bahan bakar. Sehingga kelemahan pada konsep DDF ini adalah tidak bisa menjalankan mesin jika tidak tersedia kedua bahan bakar sekaligus berbeda dengan konsep pertama yang memungkinkan konsep diesel di konversi sebagai DDF tetapi juga masih bisa sebagai konsep mesin diesel. Konsep DDF setipe dengan konsep mesin spark ignited engine termasuk karakteristik emisinya.

Dalam dual fuel bahan bakar gas merupakan bahan bakar primer sedangkan minyak solar merupakan bahan bakar



sekunder yang bertindak sebagai pilot fuel. Mekanismenya adalah pada saat langkah kompresi beberapa derajat sebelum titik mati atas pilot diesel menginjeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar sedangkan pada mesin dual fuel memasukkan udara dan sejumlah bahan bakar gas CNG. Pada kondisi ini temperature dan tekanan campuran akan meningkat, akan tetapi hal ini tidak cukup membuat gas CNG terbakar. Gas CNG memiliki LHV dan HHV yang lebih tinggi dibandingkan solar sehingga titik penyalaan gas CNG yang tinggi melebihi minyak solar menyebabkan dibutuhkan inisiator penyalaan yaitu pilot fuel untuk memulai pembakaran ( Sahoo dkk, 2019)

Pada dual fuel tipe port injected proses awal metana di injeksikan pada intake manifold untuk melakukan proses pencampuran dengan udara (Homogeneous Air Methane Mixture ) dan dengan cara yang sama bahan bakar diesel di injeksikan langsung pada silinder ( Directed Injection ). Bahan bakar diesel menjadi pemantik penyalaan untuk campuran udara metana berfungsi seolah seperti liquid spark plug. Konsep ini menjamin kefleksibilitasan sistem sebagai mesin berbahan bakar ganda, ketika penggunaan gas sudah tidak memungkinkan maka diesel oil dapat menggantikan fungsi.

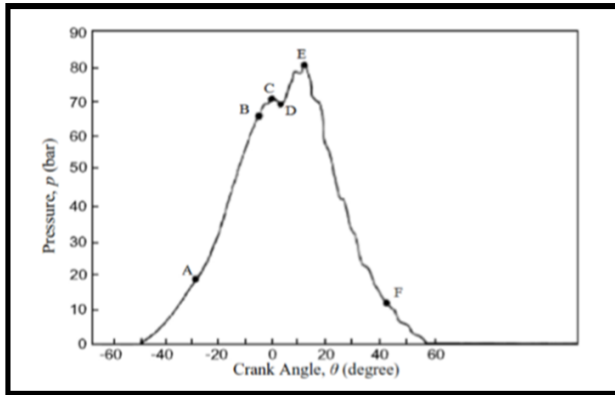


**Gambar 3.** Skema Port Injected (a) dan Directed (b) DDF [Ghazi A Karim, 2015]

Sedangkan pada tipe directed injection, dibantu dengan adanya spesial injector yang menangani kedua bahan bakar bergantian. Sedikit bahan bakar diesel diinjeksikan langsung terlebih dahulu sehingga mencapai suhu dan tekanan yang dapat dicapai untuk penyalaan gas metana. Kemudian metana baru diinjeksi sehingga langsung terbakar sebagaimana pembakaran dalam diesel. Konsep ini sebenarnya sangat cocok jika kita ingin fokus pada pengurangan methane slip, sayangnya cenderung meningkatkan emisi NOx dan partikel pengotor, selain sistemnya yang lebih kompleks, mahal dan mesin kehilangan fleksibilitasnya sebagai mesin bahan bakar ganda karena tidak bisa dijalankan jika hanya berbahan bakar diesel oil saja. Proses pembakaran pada dual fuel engine lebih kompleks apabila dibandingkan dengan diesel konvensional maupun mesin berbahan gas dengan spark ignition. Sistem bahan bakar dari mesin jenis ini adalah menggabungkan dua komponen yaitu sebuah nozzle kecil untuk pilot fuel dan nozzle yang lebih besar untuk bahan bakar minyak utamanya. Mesin beroperasi dengan prinsip lean combustion dimana perbandingan udara lebih besar apabila dibandingkan dengan bahan bakar dengan satu pengertian bahwasanya diperlukan udara lebih banyak dari yang diperlukan di dalam silinder untuk pembakaran yang sempurna sehingga memungkinkan suatu rasio kompresi yang tinggi yang diharapkan dapat menjadi nilai efisiensi yang tinggi pada mesin.

Dalam motor diesel dual fuel solar – CNG terdapat perbedaan tahapan pembakaran dengan motor diesel konvensional berbahan bakar solar dalam bukunya [Sahoo dkk, 2013] mendeskripsikan terdapat lima tahapan pembakaran pada motor diesel dual fuel seperti digambarkan sebagai berikut :

- Tahap 1 disebut sebagai Tahap Ignition Delay Periode.
- Tahap 2 Pilot Premixed Combustion
- Tahap 3 Rapid combustion of Primary
- Tahap 4 Diffusion Combustion Stage



**Gambar 5.** Tahapan pembakaran pada diesel dual fuel [Sahoo dkk, 2013]

## HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

Dari review yang dilakukan terhadap beberapa literature Berikut ini dengan data pertama berupa pengelompokan tipe bahan bakar yang dapat dipergunakan dalam modifikasi diesel menjadi dual fuel engine.

**Tabel 1.** Pengelompokan dual fuel berdasar jenis bahan bakar yang dipergunakan

<b>Bahan bakar</b>	<b>Performa</b>	<b>Emisi</b>	<b>Author</b>
Diesel - NG	Penurunan Power, Brake thermal efficiency turun pada beban rendah – menengah dan naik sedikit pada beban tinggi.	Penurunan pada CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> dan PM tetapi meningkat untuk HC dan CO	[1][6][7][8]
Biodiesel – NG	Terjadi penurunan brake thermal	Penurunan pada NO <sub>x</sub> dan peningkatan pada HC dan CO	[9][11]
Biodiesel – biogas	Pada beban rendah kinerja sangat buruk dan meningkat	Emisi meningkat pada beban rendah dan kian membaik dengan kenaikan beban. CO, HC	[17][18]
Diesel – Biogas	seiring	mengalami kenaikan	[12][13][14][15][16][17]

<b>Bahan bakar</b>	<b>Performa</b>	<b>Emisi</b>	<b>Author</b>
	kenaikan beban	sedangkan NOx mengalami penurunan atau	
	Terjadi penurunan kinerja meskipun tidak terlalu signifikan dan mengganggu kinerja	tidak naik secara signifikan	

Berdasarkan hasil review yang dilakukan terkait dengan performa dan emisi yang dihasilkan dual fuel engine secara keseluruhan pada operasional beban rendah terjadi penurunan performa dan peningkatan emisi, salah satu yang menjadi penyebabnya adalah pemasukan natural gas maupun biogas melalui intake manifold menyebabkan ruang bakar yang seharusnya diisi oksigen untuk mendukung pembakaran menjadi berkurang sehingga menyebabkan pembakaran tidak sempurna.

Secara umum teknologi pendukung terdiri atas tiga kelompok besar yaitu optimasi desain engine, pengaturan operasional dan teknologi after treatment. Dalam kriteria teknologi optimasi desain meliputi modifikasi ruang bakar maupun piston, penambahan turbocharger/supercharger. Sedangkan rekayasa teknologi operasional dapat berupa pengaturan prosentase bahan bakar, waktu injeksi bahan bakar, pengaturan rasio kompresi, dan A/F ratio. Teknologi after

treatment biasanya banyak diterapkan untuk menurunkan emisi gas buang seperti penambahan EGR sistem atau *exhaust gases recirculatory*.

**Tabel 2.** Rekayasa teknologi pendukung dual fuel engine

<b>Teknologi</b>	<b>Jenis</b>	<b>Author</b>
Rekayasa Desain Engine	Modifikasi bowl piston, optimasi nozzle dan geometri ruang bakar	[6][19]
Rekayasa erasional Engine	Pengaturan waktu injeksi pilot, penambahan pasokan udara ( <i>enriched air</i> ), pengaturan prosentase bahan bakar, pengaturan waktu injeksi main fuel	[15][16][18] [20]
After treatment	Penggunaan EGR	[21][22]

## KESIMPULAN

Penggunaan dual fuel dalam bidang perkapalan menjadi salah satu upaya yang relative dapat dilaksanakan sebagai salah satu bentuk *green technology*. Perlu disadari bahwa teknologi dual fuel perlu banyak dikembangkan karena masih memiliki kekurangan terutama pada beban rendah. Penggunaan dual fuel dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti biodiesel dan biogas memberikan manfaat ganda terutama pada lingkungan.

Penggunaan natural gas dimungkinkan karena ketersediaannya yang relative melimpah dan sifatnya lebih bersih dan rendah emisi. Pengembangan teknologi dual fuel pada bidang perkapalan masih memungkinkan dan sangat diharapkan terutama aplikasi teknologi yang dapat menyempurnakan performa dan emisi dual fuel engine pada beban rendah.

## REFERENCES

- Sokratis Stoumpos, Gerasimos Theotokatos, Evangelos Boulougouris, Dracos Vassalos, Iraklis Lazakis, George Livanos (2018). Marine dual fuel engine modelling and parametric investigation of engine setting effect on performance –emission trade off. *Ocean Engineering* (157) pp 376-386
- Green ship technology. <http://emec.eu/green>
- Hoenders R, "Initiatives regarding the use of LNG as bunker fuel and EMSA involvement in promoting the use of LNG as alternative fuel" European Maritime Safety agency EMSA Juli 2013
- Livanos G, Theotokatos G, Pagonis D, 2014 "Techno economic investigations of alternative propulsion plant for ferries and ro-ro ships", *energy convers manag* 79 640-651 (2014)
- Abdelrahman H, Antonio LR, Paul S "Toward keeping diesel fuel supply and demand in balance: dual fuelling of diesel engines with natural gas", *renew sustain energy rev*
- B. Ariani, I. M. Ariana, and A. Z. M. Fathallah. Experimental investigation on natural gas injection to minimize abnormal combustion and methane slip in the diesel-

- natural gas dual fuel engine at low load. *International Review of Mechanical Engineering*. vol. 14, no. 9, 2020
- Banapurmath NR, Basavarajappa YH, Tewari PG. Effect of Mixing chamber venture injection timing, compression ratio and EGR on the performance of dual fuel engine operated with HOME and compressed natural gas (CNG). *International Journal of Sustainable Engineering* 2012;5:265-79
- Carlucci AP, de Risi A, Laforgia D and Naccarato F. Experimental investigation and combustion analysis of a direct injection dual – fuel diesel-natural gas engine. *Energy* 2008;33(2):256-263
- Basavarajappa Y.H, N.R Banapurmath, Pradeep, Vinod, V.Yaliwal. Performance and emission characteristic of a CNG – Biodiesel dual fuel operation of a single cylinder four stroke CI Engine. *IOP Conf.Series; Materials Science and Engineering* 376 (2018)
- Saket Verma, S.C. Kaushik, L.M. Das and S.S. Bhatti. An experimental investigation of biodiesel-biogas dual-fuel engine based on energy and exergy analysis. *International journal of Exergy* vol 26 no 1-2 (2018)
- Fernando José da Silva, Antonio Gilson Barbosa de Lima, Yoge Jerônimo Ramos da Costa, Celso Rosendo Bezerra Filho and Marcelo Bezerra Grilo. Dual-Fuel (Natural Gas/Biodiesel) Engines: Fundamentals, Performance and Environmental Impact. *Alternative Energies, Advanced Structured Materials* 34, 2013
- Marlena Owczuk, Anna Matuszewska, Stanisław Kruczyński and Wojciech Kamela. Evaluation of Using Biogas to



Supply the Dual Fuel Diesel Engine of an Agricultural Tractor. *Energies* (2019).

Narayanaswamy Narendra, Narayanappa Krishnamurthy, Thirugnanasambandam Arunkumar & Mysore Srinivasappa Murali. Experimental investigation on the influence of biogas in diesel engine powered with silkworm larval litter and cashew nut fruit. *ENERGY SOURCES, PART A: RECOVERY, UTILIZATION, AND ENVIRONMENTAL EFFECTS*.2020

V. Gnanamoorthi and Navin Marudhan Mohandoss. Combustion, performance and emission analysis of dual fuel engine using tsrb biogas. *ENERGY SOURCES, PART A: RECOVERY, UTILIZATION, AND ENVIRONMENTAL EFFECTS*.2018

I.D Bedoya, A.A Arieta, F.J Cadavid. Effect of mixing system and pilot fuel quantity on diesel – biogas dual fuel engine performance. *Bioresour, Technol* 100 (2009) 6624 – 6629.

K.Cacua, A.Amell, F.Cadavid. Effect of oxygen enriched air on the operation and performance of diesel – biogas dual fuel engine. *Biomass – Bioenergy* 45 (2012) 159-167

Debnath B.K., Bora B.J., Sahoo N., and Saha U.K., Influence of Emulsified Palm Biodiesel as Pilot Fuel in a Biogas Run Dual Fuel Diesel Engine, *J. Energy Eng.*, 140(3), -1—1, (2014).

V.S Yaliwal, N.R Banapurmath, N.M Gireesh, R.S Hosmath, Teresa Donato, P.G Tewari. Effect of nozzle and combustion chamber geometry on the performance of a diesel engine operated on dual fuel mode using renewable fuels. *Renewable Energy* 93 (2016) 483-501.

- Maciej Mikulski, Slawomir Wierzbicki. Numerical investigation of the impact of gas composition on the combustion process in a dual – fuel compression – ignition engine. *Journal of natural gas science and engineering* 31 (2016) 525-537.
- Jun Shu, Jianqin Fu, Jingping Liu, Lei Zhang, Zhichao Zhao. Experimental and computational study on the effect of injection timing on thermodynamics, combustion and emission characteristics of a natural gas (NG) – diesel dual fuel engine at low speed and low load. *Energy conversation and management* 160 (2018) 426 – 438.
- A.Kumaraswamy, B.Durga Prased. Performance analysis of a dual fuel engine using LPG and diesel with EGR system. *Procedia engineering* vol 38 (2012). 2784 – 2792.
- Mohamed Y. E. Selim. A Study of Some Combustion Characterstics of Dual Fuel Engine Using EGR. *SAE Transactions Vol. 112, Section 3: JOURNAL OF ENGINES* (2003), pp. 1152-1160

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



**Betty Ariani**

**Email :** [betty.ariani@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:betty.ariani@ft.um-surabaya.ac.id)

**Dosen Teknik Perkapalan –  
Fakultas Teknik**

**Universitas  
Muhammadiyah Surabaya**

Betty Ariani, Lahir di Jember pada 17 Desember 1979, menempuh pendidikan S1 dan mendapatkan gelar sarjana pada tahun 2005 dari jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Melanjutkan studi pada Program Pascasarjana Teknologi Kelautan dan mendapatkan gelar magister teknik pada tahun 2010. Program Doktorat Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember diselesaikan dalam 7 semester pada tahun 2021 dengan predikat cumlaude. Tema disertasi adalah studi numerik dan eksperimental modifikasi geometri combustion chamber untuk mereduksi methane slip pada dual fuel engine. Kesibukannya saat ini adalah mengajar di prodi teknik perkapalan dan melakukan penelitian sesuai bidang keahliannya terkait tema alternatif fuel for ship, green technology for green ship, emission control technology dan marine power plant. Beberapa karya publikasi yang pernah dilakukannya antara lain:

1. Experimental Investigation on Natural Gas Injection to Minimize Abnormal combustion and Methane Slip in the Diesel – Natural Gas Dual Fuel Engine at low load. IREME Journal 2020

2. Effect of Natural Gas Injection Timing on Combustion Performance & Methane Slip Emission of Diesel – NG Dual Fuel Engine, an Experimental study, ICOME 2019, AIP Proceeding.
3. Investigation and Development Technology of Methane Emission Reduction on Exhaust Emitted from dual fuel Diesel Engine, MASTIC 2018. MSMI Proceeding
4. Analisa kelayakan sistem instalasi biogas sebagai alternatif pengolahan limbah sewage kapal, Seminar Nasional Maritim, Sains dan Teknologi Terapan PPNS 2018



# PERMASALAHAN TROTOAR KOTA-KOTA DI INDONESIA

**Vippy Dharmawan**

1)Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Salah satu masalah yang dihadapi kota-kota di Indonesia saat ini adalah masalah yang berkaitan dengan trotoar jalan. Trotoar adalah salah satu fasilitas umum yang khusus diperuntukkan bagi pejalan kaki, selain halte dan penyeberangan jalan berupa zebra cross atau jembatan penyeberangan. Tulisan ini mengkaji kondisi terkini trotoar di Indonesia berdasarkan beberapa penelitian yang dilakukan di kota Jakarta, Medan, Bandar Lampung, dan Bandung. Pengkajian dilakukan dengan menggunakan metode content analysis berdasarkan artikel-artikel penelitian di jurnal ilmiah pada sepuluh tahun belakangan ini. Hasil kajian menyimpulkan bahwa masalah utama dari trotoar di Indonesia adalah adanya kondisi fisik trotoar yang belum sepenuhnya dapat memenuhi kebutuhan keamanan dan kenyamanan pejalan kaki, serta adanya alih fungsi trotoar yang seharusnya menjadi jalur lalu lintas pejalan kaki menjadi tempat parkir kendaraan, tempat berjualan, dan aktivitas lainnya.

***Kata kunci** : kota, masalah trotoar*

## **PENDAHULUAN**

Secara umum perhatian pada fasilitas untuk pejalan kaki di Indonesia saat ini masih relatif minim dibandingkan fasilitas untuk moda transportasi lainnya seperti bus, angkutan barang, maupun kendaraan pribadi. Cukup sering dijumpai di suatu kota trotoar jalan hanya dibangun di jalan-jalan utama saja. Penyebab dari kondisi tersebut bisa berbagai macam. Misalnya lemahnya perencanaan kebutuhan fasilitas pejalan kaki, keterbatasan

anggaran pemerintah, adanya alih fungsi trotoar menjadi tempat pedagang kaki lima atau lahan parkir, dan sebagainya. Sebagian masyarakat pun ada yang beranggapan bahwa memang fungsi trotoar adalah untuk berdagang kaki lima atau untuk tempat parkir kendaraan, dan bukan untuk pejalan kaki (Nuraini, Thamrin, & Handayani, 2021)



**Gambar 1.** Ilustrasi Pedagang kakilima yang Menempati Trotoar (Sumber : bisnis.com)

Fenomena tersebut mengindikasikan adanya kekurangberpihakan pada pejalan kaki oleh pemerintah dan masyarakat pada umumnya. Ini didukung oleh masih tingginya angka kecelakaan pejalan kaki. Kebanyakan kecelakaan yang melibatkan pejalan kaki disebabkan oleh kurangnya fasilitas jembatan penyeberangan dan trotoar. Sementara itu di sisi lain secara formal perlindungan terhadap pejalan kaki sebenarnya sudah cukup memadai. Hak-hak pejalan kaki secara jelas sudah disebutkan dalam Undang-undang nomor 22 tahun 2009 tentang lalu lintas dan angkutan jalan raya. Pada pasal 45 ayat (1), disebutkan pejalan kaki berhak atas ketersediaan fasilitas

pendukung yang berupa trotoar, tempat penyeberangan, dan fasilitas lain. Sementara fungsi trotoar dipertegas dalam pasal 34 ayat (4) Peraturan Pemerintah nomor 34 tahun 2006 tentang jalan yang berbunyi “Trotoar sebagaimana dimaksud pada ayat (3) hanya diperuntukkan bagi lalu lintas pejalan kaki”.

Upaya perbaikan kondisi tersebut di atas merupakan suatu keharusan, karena kegiatan berjalan kaki merupakan pergerakan manusia yang paling mendasar. Oleh karena itu upaya untuk menjadikan trotoar menjadi tempat yang nyaman dan aman bagi pejalan kaki perlu mendapat perhatian yang serius. Sejalan dengan itu studi-studi tentang fasilitas pejalan kaki sangatlah diperlukan. Misalnya studi yang mendukung perencanaan dan penempatan fasilitas trotoar. Tulisan ini merupakan rangkuman beberapa hasil penelitian tentang trotoar yang dilakukan pada beberapa tahun belakangan ini. Tujuannya adalah untuk memberikan gambaran yang mutakhir tentang permasalahan yang dihadapi oleh pemerintah dan masyarakat terkait dengan fasilitas pejalan kaki khususnya fasilitas trotoar.\

## **METODE**

Tulisan ini disusun dengan menggunakan metode *content analysis* atau kajian literatur berupa artikel penelitian yang ditulis pada beberapa tahun belakangan ini. Diawali dengan menginventarisir literatur tentang yang berkaitan dengan masalah seputar trotoar di Indonesia. Berikutnya dilakukan langkah menyusun, membaca, dan menguraikan literatur yang ada secara terstruktur. Kemudian dilakukan pengkategorian, perbandingan, dan identifikasi konten yang memiliki kesamaan dan hubungan satu sama lain, yang dapat menjurus pada satu kesimpulan. Metode ini cukup sering digunakan pada penelitian-



penelitian sebelumnya, antara lain penelitian yang dilakukan oleh Hantono tentang perilaku manusia di ruang terbuka publik baru-baru ini (Hantono, 2019). Pada akhir tulisan dibuat kesimpulan mengenai fenomena permasalahan trotoar di Indonesia berdasarkan hasil kajian atau penelitian terkini.

## **KAJIAN DAN ANALISIS**

### **Trotoar**

Salah satu fasilitas utama bagi pejalan kaki yang perlu disediakan pada jalur transportasi jalan raya adalah trotoar. Selain trotoar fasilitas utama lainnya adalah jembatan penyeberangan dan halte yang berfungsi sebagai area tunggu dan tempat berhentinya kendaraan umum. Adapun fasilitas tambahan yang juga perlu disediakan adalah rambu, marka, papan informasi, pagar pembatas, lampu penerangan, dan sebagainya yang pada prinsipnya ditujukan untuk menjamin keamanan dan kenyamanan pejalan kaki.

Menurut Carr, trotoar atau jalur pejalan kaki merupakan bagian dari kota dimana orang bergerak dengan kaki, dan biasanya berada di sepanjang sisi jalan yang direncanakan atau yang terbentuk dengan sendirinya (Carr, 1992). Selain jalur atau ruang pejalan kaki di sisi jalan ada beberapa jenis ruang pejalan kaki, antara lain ruang pejalan kaki di sisi air (*promenade*), ruang pejalan kaki di area komersil (*arcade*), ruang pejalan kaki di ruang terbuka hijau (*green pathway*), ruang pejalan kaki di bawah tanah (*underground*), dan ruang pejalan kaki di atas tanah (*elevated*).

Secara psikologis trotoar harus memenuhi kebutuhan pejalan kaki akan perasaan aman dan nyaman. Adapun secara fisik trotoar harus mampu mengakomodasi kebutuhan ruang

gerak pajalan kaki, sekaligus juga kebutuhan perlindungan atas ancaman keamanan secara fisik seperti tabrakan, jatuh, terpeleset, dan sebagainya. Untuk memberi kenyamanan pada pejalan kaki di trotoar, dibutuhkan elemen fisik trotoar yang ramah, nyaman, dan juga aman, serta atraktif dengan akses yang menerus tanpa terputus (Sukhbaatar & Harada, 2012).

Menurut Keputusan Ditjen Bina Marga tentang Pedoman Perencanaan Jalur Pejalan Kaki pada Jalan Umum (1999) trotoar adalah jalur pejalan kaki yang terletak pada daerah milik jalan (Damija) yang diberi lapisan permukaan dengan elevasi yang lebih tinggi dari permukaan perkerasan jalan, dan pada umumnya sejajar dengan lalu lintas kendaraan. Selain itu aturan pemerintah juga menyebutkan beberapa ketentuan yang menyangkut lebar trotoar yang didasarkan pada kebutuhan pejalan kaki. Lebar efektif minimum ruang pejalan kaki berdasarkan kebutuhan orang adalah 60 cm ditambah 15 cm untuk bergoyang tanpa membawa barang, sehingga kebutuhan total minimal untuk 2 orang pejalan kaki menjadi 150 cm. Manakala terdapat kebutuhan untuk mengadakan perlengkapan jalan (*street furniture*) pada jalur tersebut, maka lebar trotoar harus ditambah. Selain itu jalur pejalan kaki harus diperkeras (menggunakan blok beton, perkerasan aspal atau plesteran). Ketentuan pemerintah untuk lebar tambahan dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 berikut.

**Tabel 1.** Ketentuan Lebar Tambahan Untuk Perlengkapan Jalan

No.	Jenis Fasilitas	Lebar Tambahan (cm)
1	Kursi Roda	100-120
2	Tiang Lampu Penerang	75-100
3	Tiang Lampu Lalu Lintas	100-120
4	Rambu Lalu Lintas	75-100

No.	Jenis Fasilitas	Lebar Tambahan (cm)
5	Kotak Surat	100-120
6	Keranjang Sampah	100
7	Tanaman Peneduh	60-120
8	Pot Bunga	150

*sumber : Diektorat Jenderal Bina Marga, 1999*

**Tabel 2.** Ketentuan Lebar Trotoar Berdasarkan Lokasi

No.	Jumlah Pejalan Kaki/Detik/Meter	Lebar Minimum Trotoar (m)
1	6 orang	2,3 – 5,0
2	3 orang	1,5 – 2,3
3	2 orang	0,9 – 1,5
4	1 orang	0,6 – 0,9

*sumber : Keputusan Menteri Perhubungan No.65/1993*

Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh tim Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian PU merekomendasikan beberapa prinsip umum yang perlu diperhatikan dalam merancang trotoar (Tanan, 2011). Prinsip-prinsip tersebut antara lain sebagai berikut.

- 1) Lintasan yang disediakan harus sedekat mungkin, nyaman, lancar, dan aman dari gangguan.
- 2) Adanya kontinuitas jalur pejalan kaki, yang menghubungkan antara tempat asal ke tempat tujuan, dan juga sebaliknya.
- 3) Ruang yang direncanakan harus dapat diakses oleh seluruh pengguna, termasuk oleh pengguna dengan keterbatasan fisik.
- 4) Jalur pejalan kaki harus dilengkapi dengan fasilitas rambu, penerangan, marka, dan perlengkapan jalan lainnya.
- 5) Dimensi trotoar harus memenuhi standar prasarana.
- 6) Harus memiliki daya tarik atau nilai tambah lain di luar fungsi utamanya.

7) Dapat menciptakan ruang sosial sehingga pejalan kaki dapat beraktivitas secara aman.

Adapun terkait dengan penempatan atau lokasi, trotoar sebaiknya diposisikan pada sisi luar bahu jalan atau sisi luar daerah milik jalan. Trotoar sedapat mungkin dibuat dalam posisi sejajar dengan jalan, kecuali ada hambatan yang terkait dengan topografi. Sementara itu jika ada drainase, trotoar sebaiknya ditempatkan pada sisi dalam drainase terbuka, atau jika drainasenya tertutup trotoar ditempatkan di atasnya.

### **Permasalahan Trotoar**

Beberapa studi terakhir yang dilakukan pada beberapa kota di Indonesia menunjukkan bahwa permasalahan seputar trotoar kebanyakan terkait dengan kenyamanan dan keamanan pejalan kaki, kondisi fisik trotoar, alih fungsi trotoar ke fungsi lain, serta kelengkapan fasilitas trotoar atau *street furniture*. Penelitian yang dilakukan oleh Muchtar di sepanjang Jalan Kedoya Raya hingga Jalan Arjuna Selatan Jakarta misalnya, menunjukkan adanya penyempitan ruang gerak bagi pejalan kaki di trotoar yang disebabkan oleh penggunaan trotoar oleh fungsi-fungsi lain serta adanya perlengkapan trotoar yang menempati ruang gerak bebas pejalan kaki (Muchtar, 2010). Selain itu juga banyak didapatkan kondisi lapisan permukaan trotoar yang pecah atau bergelombang, trotoar yang terputus, dan tidak tersedianya *ramp* atau kemiringan tepi jalan. Selain itu penelitian ini juga menunjukkan adanya permasalahan dalam penyediaan fasilitas trotoar seperti penerangan, tempat duduk, pohon peneduh, dan rambu-rambu untuk pejalan kaki. Sementara alih fungsi trotoar yang terjadi adalah keberadaan pedagang asongan dan kakilima serta penggunaan trotoar untuk

pangkalan ojek. Akibat kondisi tersebut tidak sampai 50% responden yang menyatakan kenyamanan dalam menggunakan trotoar di kawasan ini.

Masih di kota yang sama, penelitian yang dilakukan di Jalan Pemuda kawasan Rawamangun menunjukkan hasil yang sedikit berbeda (Arifah & Hidayah, 2021). Dari 168 responden pejalan kaki di kawasan tersebut, 68% merasakan kenyamanan dalam menggunakan trotoar. Indikator yang dipakai adalah faktor aksesibilitas dan sirkulasi, kondisi permukaan, kebersihan, keindahan, dan hambatan yang menghalangi gerak pejalan kaki. Namun demikian penelitian ini juga menyimpulkan perlunya mengembalikan fungsi utama trotoar tersebut sebagai jalur pejalan kaki, dengan cara menata ulang aktivitas parkir, orang berjualan, dan sirkulasi kendaraan.

Penelitian yang serupa juga dilakukan di kota Medan, yaitu di kawasan sepanjang Jalan Brigjen Katamso. Mulai dari persimpangan Jalan Pandu – Jalan Letjen Soeprpto (simpang Waspada), hingga simpang Jalan AH. Nasution (simpang Titi Kuning) Medan (Saraswaty, 2017). Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar pejalan kaki berpendapat bahwa pemanfaatan trotoar di sepanjang jalan tersebut tergolong kepada kriteria tingkat kenyamanan yang kurang baik. Hal ini disebabkan karena terjadinya pergeseran fungsi trotoar yang seharusnya sebagai jalur transportasi pejalan kaki berubah menjadi fungsi kegiatan lain, seperti tempat berjualan, tempat usaha, serta area parkir.

Faktor kondisi fisik trotoar serta lingkungan sekitarnya juga dengan jelas memiliki keterkaitan dengan kenyamanan pejalan kaki. Penelitian di kawasan Jalan Braga, salah satu jalan protokol di kota Bandung, menunjukkan hal tersebut

(Rohmawati & Natalia, 2018). Penelitian ini berusaha mengukur tingkat kepuasan pengguna dengan cara mengidentifikasi elemen-elemen fisik pembentuk trotoar yang dapat menimbulkan kepuasan dan kenyamanan bagi penggunanya. Sampel penelitian didapatkan dengan cara *intercept* sedangkan pemilihan respondennya dilakukan dengan metode *accidental samping* (Sugiyono, 2014). Aspek kondisi fisik trotoar adalah salah satu yang digunakan sebagai kriteria untuk mengukur tingkat kepuasan. Meliputi faktor bentuk material trotoar, panjang trotoar, lebar trotoar, warna material, dan pola motif/corak material permukaan. Juga kondisi kemiringan permukaan (*ramp*), elevasi undakan, sifat tekstur material kasar, sifat tekstur material licin, tekstur material permukaan trotoar sebagai pengarah jalan, serta ketersediaan penyeberangan jalan.

Selain aspek kondisi fisik, ada juga aspek lain seperti aspek keamanan yang digunakan sebagai kriteria untuk mengukur tingkat kepuasan pengguna dalam penelitian di Jalan Braga ini. Meliputi faktor letak dan kondisi lampu penerangan, rambu lalu lintas, rambu pejalan kaki, kondisi marka jalan, kondisi pembatas trotoar, dan keberadaan *hydran*. Selain itu juga aspek *hardscape* yang meliputi faktor kondisi keberadaan meja dan kursi, serta tempat sampah pada trotoar.

Sementara itu penelitian lainnya di kota Bandar Lampung lebih berfokus pada alih fungsi trotoar menjadi tempat pedagang kaki lima (I. Bakri, B. Asyik, 2013). Lokasi penelitian berada di trotoar sepanjang Jalan Z.A. Pagar Alam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pedagang kaki lima memilih berdagang di area trotoar karena area trotoar dianggap lebih strategis. Pertimbangan pedagang dalam menilai strategis tidaknya lokasi yang mereka tempati didasari oleh 4 indikator, yaitu : perannya

yang menjadi pusat kegiatan/keramaian, keterjangkauan dalam menjemput konsumen, keterjangkauan tempat tinggal dengan tempat usaha, serta biaya pengeluaran untuk tempat usaha. Alasan lainnya adalah karena mereka tidak mampu menyewa tempat usaha di ruko atau tempat lain yang lebih permanen. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan trotoar tidak hanya menyangkut kondisi fisik dan kelengkapan fasilitas saja, namun juga menyangkut masalah sosial dan ekonomi.

## KESIMPULAN

Dapatlah disimpulkan dari uraian di atas bahwa permasalahan utama trotoar kota-kota di Indonesia adalah adanya kondisi fisik yang belum memenuhi syarat kebutuhan pejalan kaki, baik secara fisik maupun non fisik. Selain itu masalah lainnya adalah adanya alih fungsi trotoar yang seharusnya menjadi jalur pejalan kaki menjadi tempat kegiatan lain seperti berdagang dan parkir kendaraan bermotor. Sementara di sisi lain juga ditemukan bahwa ketika kondisi trotoar cukup baik dan pejalan kaki tidak terganggu oleh adanya fungsi lain dari trotoar, pejalan kaki merasa nyaman dan puas saat berjalan di trotoar.

## REFERENSI

- Arifah, S., & Hidayah, R. (2021). Pedestrian Perception Based on Sidewalk Level of Convenience at Pemuda Street. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 832(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/832/1/012004>
- Carr, S. (1992). *Public Space*. Cambridge University Press.
- Hantono, D. (2019). Kajian Perilaku Pada Ruang Terbuka Publik. *NALARs*, 18(1), 45.

<https://doi.org/10.24853/nalars.18.1.45-56>

- I. Bakri, B. Asyik, R. K. S. U. (2013). Alih Fungsi Trotoar Menjadi Tempat Pedagang Kaki Lima Jalan Z.a. Pagar Alam Bandar Lampung. *Alih Fungsi Trotoar Menjadi Tempat Pedagang Kaki Lima Jalan Z.a. Pagar Alam Bandar Lampung*, 1–12.
- Muchtar, C. (2010). Identifikasi-Tingkat-Kenyamanan-Pejalan. *Jurnal Planesa*, 1(November).
- Nuraini, C., Thamrin, H., & Handayani, M. F. (2021). Persepsi Pengguna Terhadap Trotoar di Kota Medan, Studi Kasus : Koridor di Kawasan Bisnis / Wisata / Komersial , Koridor di Kawasan Perkantoran , dan Koridor di Kawasan Permukiman, 9.
- Rohmawati, T., & Natalia, T. W. (2018). Tingkat Kepuasan Pejalan Kaki Terhadap Trotoar Di Kota Bandung. *Jurnal Ilmu Politik Dan Komunikasi*, 8(2).  
<https://doi.org/10.34010/jipsi.v8i2.1332>
- Saraswaty, R. (2017). Kenyamanan Pejalan Kaki Terhadap Pemanfaatan Trotoar Di Jalan Brigjen Katamso Medan. *Educational Building*, 3(1), 9–14.  
<https://doi.org/10.24114/eb.v3i1.7438>
- Sugiyono. (2014). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sukhbaatar, A., & Harada, N. (2012). The Relationship between Pedestrian Perception and Characteristics of Sidewalk Environment in case of the central area of Ulaanbaatar city. In *USMCA 2012 Seiken Symposium*. Department of Architecture, Mongolian University of Science and Technology and Department of Urban Engineering, The University of Tokyo.



Tanan, N. (2011). *Fasilitas Pejalan Kaki* (1st ed.). Jakarta: Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum.

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



**Vippy Dharmawan**  
**Dosen Arsitektur – Fakultas**  
**Teknik**  
**Universitas Muhammadiyah**  
**Surabaya**  
**Email : vippy.dharmawan@ft.um-**  
**surabaya.ac.id**

Vippy Dharmawan lahir di Ambon, 25 September 1964. Menyelesaikan studi S1 bidang Teknik Arsitektur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 1987. Setelah lama mengajar dan berpraktek di lapangan, ia melanjutkan studi S2 di bidang Perancangan Arsitektur di perguruan tinggi yang sama dan lulus pada tahun 2012. Tesis rancangan yang ia hasilkan adalah Rancangan Lembaga Pemasarakatan Anak yang disusun berdasarkan riset tentang perilaku penghuni lembaga pemsarakatan. Saat ini masih aktif mengajar di Program Studi Arsitektur Universitas Muhammadiyah Surabaya. Selain itu juga menekuni penelitian di bidang perilaku dan lingkungan fisik. Beberapa penelitian terkini yang dipublikasikan antara lain :

1. Kajian Signage dan Elemen Wayfinding di Kampus Perguruan Tinggi (Studi Kasus: Kampus ITS Surabaya), Jurnal Arsitektura Vol.12, tahun 2021

2. Stimulus-Response Analysis of Spatial Behaviour Pattern in Hospital Public Waiting Room, proceeding Borobudur International Symposium on Humanities, Economics and Social Science, tahun 2020.
3. Spatial behavior pattern of visitors in City Park Case study: Flora and Bungkul Park, Indonesia, IOP Conference Series, tahun 2020
4. Kajian perilaku dan interior restoran cepat saji di pusat perbelanjaan, Jurnal Desain Interior Vol. 3, tahun 2018

# ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN CPT, SPT DAN STATIK KLASIK TERHADAP DAYA DUKUNG ULTIMIT PONDASI DENGAN VARIASI BENTUK PENAMPANG TIANG PADA TANAH LUNAK

**Isnaniati**

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Tanah lunak yang termasuk didalamnya adalah jenis tanah lempung, dimana tanah ini memiliki koefisien rembesan yang kecil, pemampatan sangat besar dan dibutuhkan waktu yang lama untuk proses pemampatannya, serta daya dukung tanahnya yang rendah. Daya dukung tanah merupakan syarat utama dalam perencanaan fondasi, oleh karena itu perlu diperhatikan perhitungannya agar diperoleh daya dukung yang optimal. Untuk mendapatkan Bearing Capacity tanah yang optimal diantaranya dilakukan melalui pemilihan bentuk penampang tiang dan pemilihan metoda perhitungan atau data yang digunakan. Menganalisa daya dukung tanah dengan metoda Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), statik klasik (SK) dan variasi bentuk penampang tiang (segitiga, lingkaran, persegi). Kemudian dihitung besarnya daya dukung selimut ( $Q_s$ ), daya dukung ujung ( $Q_p$ ), dan daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ), serta perubahan daya dukung ultimit ( $\square Q_{ult}$ ) dari data SPT dan CPT terhadap data statik klasik. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa  $Q_{ult}$  dan  $Q_s$  terbesar sampai terkecil berturut-turut adalah data CPT, Statik Klasik, SPT terjadi pada semua bentuk penampang (persegi, lingkaran, segitiga) serta  $Q_p$  terbesar sampai terkecil berturut-turut adalah data CPT, SPT, Statik Klasik terjadi pada semua bentuk penampang (persegi, lingkaran, segitiga). Perubahan daya dukung ultimit ( $\square Q_{ult}$ ) ditinjau terhadap data statik klasik adalah 100% untuk data statik klasik, 117% sampai 118 % untuk data CPT, 87% sampai 88% untuk data SPT.

**Kata kunci** : CPT, SPT, daya dukung ultimit, bentuk penampang tiang, tanah lempung.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan lahan untuk pembangunan terus bertambah sedangkan lahan yang tersedia sangat terbatas, sehingga pembangunan baru terpaksa dilakukan diatas tanah yang kurang memenuhi syarat, yaitu diantaranya diatas tanah lempung. Tanah lempung adalah jenis kelompok tanah lunak, dimana tanah ini mempunyai koefisien rembesan sangat kecil, pemampatan sangat besar dan membutuhkan waktu yang lama dalam proses pemampatannya, serta daya dukung tanahnya yang rendah.

Daya dukung tanah adalah syarat utama untuk perencanaan pondasi sehingga hal tersebut perlu diperhatikan. Daya dukung tanah yang baik adalah apabila tanah tersebut cukup mampu menahan beban struktur atas tanpa terjadi keruntuhan akibat pergeseran (*shear failure*), sehingga perihal tersebut sangat tergantung kuat geser tanahnya (Wesley, 2017). Daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) sebuah tiang merupakan penjumlahan antara daya dukung *friction* atau selimut ( $Q_s$ ) dan daya dukung *end bearing* atau ujung tiang ( $Q_p$ ).

Daya dukung *friction* atau selimut dan daya dukung *end bearing* tiang, besarnya dipengaruhi oleh luasan ataupun keliling dari penampang tiang (Isnaniati, 2017). Masing-masing bentuk penampang tiang tentunya akan memberikan luas atau keliling yang berbeda-beda sehingga juga akan mempengaruhi besarnya daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) sebuah tiang. Didalam perhitungan daya dukung ultimit diperlukan data hasil pengujian lapangan (data SPT dan data CPT) ataupun data hasil pengujian laboratorium (statik klasik), dimana masing-masing data hasil pengujian ini mempunyai metode sendiri dalam penggunaannya.

Pendapat penulis tersebut dibuktikan dengan alasan berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh bentuk penampang tiang terhadap besarnya daya dukung ultimit (Isnaniati, 2016). Penelitian tersebut dilanjutkan dengan adanya pengaruh dari penggunaan daya dukung ultimit tiang menggunakan data CPT dan data SPT dan variasi bentuk penampang tiang (Isnaniati & L, 2017).

Variasi bentuk penampang tiang berakibat adanya perubahan nilai daya dukung *friction* atau selimut maupun daya dukung tiang atau *end bearing*. Hal tersebut perlunya ditinjau beberapa metoda perhitungan dengan menggunakan data lapangan yaitu data SPT, CPT dan data laboratorium yang biasa disebut statik klasik. Bagaimana hasil daya dukung ultimit dari metode atau penggunaan data CPT, SPT dan statik klasik (SK) bila diberikan variasi bentuk penampang tiang dan metoda manakah yang paling efektif untuk digunakan dalam perencanaan?

## **METODE PENELITIAN**

Dalam menyelesaikan penelitian dengan judul tersebut diatas dibagi dalam tiga tahapan seperti disajikan dalam Gambar 3 diagram alir penelitian sebagai berikut,

### **Tahap Persiapan.**

Tahap ini terdiri dari pencarian studi literatur dan menganalisa data sekunder. Analisa data sekunder, dicari tanah dominan tanah lempung dan mempunyai data pengujian lapangan yaitu CPT, SPT dan data pengujian hasil laboratorium yang disebut sebagai statik klasik yaitu data tanah *Citra Land*

*Surabaya* untuk pembangunan proyek apartemen. Digunakan titik yang paling berdekatan yaitu BH-1 & S-1 dengan data hasil pengujian laboratorium dari titik yang sama.

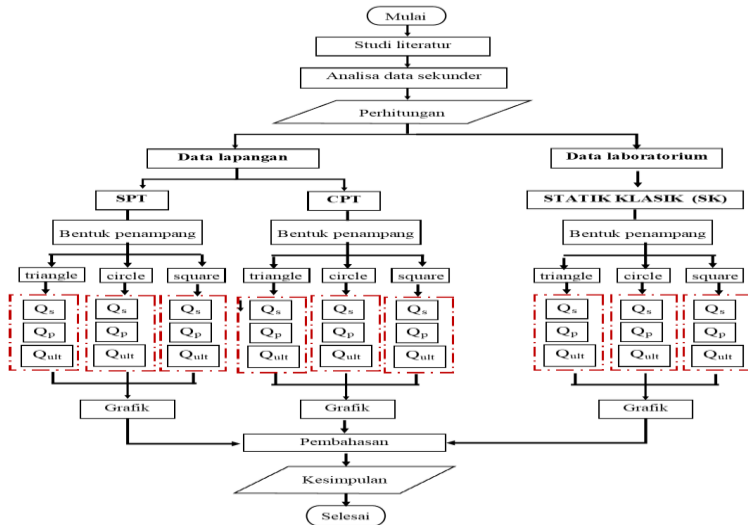
### **Tahap Perhitungan.**

Tahap ini adalah melakukan perhitungan tentang daya dukung ultimit tiang dengan data tanah hasil pengujian lapangan (CPT, SPT) dan data laboratorium (SK). Data SPT sebelum digunakan untuk perhitungan (untuk tanah berbutir halus SPT > 15), terlebih dahulu dikoreksi terhadap elevasi muka air tanah (MAT) dan tegangan overburden ( $\sigma_o'$ ). Diantara ke dua nilai koreksi tersebut diambil nilai SPT terkecil, dan nilai SPT terkecil inilah yang akan digunakan sebagai perhitungan selanjutnya atau disebut sebagai  $N_{pakai}$ .

Dari data SPT, CPT dan Statik Klasik dilakukan perhitungan  $Q_s$ ,  $Q_p$  dan  $Q_{ult}$ . Masing-masing data atau metoda perhitungan tersebut diberikan variasi bentuk penampang tiang yaitu persegi, lingkaran, segitiga dengan panjang diameter atau sisi 30cm. Hasil dari perhitungan tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik data (SPT, CPT, SK) terhadap besarnya  $Q_s$ , data (SPT, CPT, Statik Klasik) terhadap  $Q_p$  dan data (SPT, CPT, SK) terhadap  $Q_{ult}$  dengan diberikan variasi bentuk penampang tiang (persegi, lingkaran, segitiga).

## Tahap Pembahasan

Pada tahap ini dimulai dari pembahasan grafik hasil perhitungan sampai diperoleh kesimpulan.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

## KAJIAN TEORI

### Daya dukung ultimit tiang

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah dalam menerima beban struktur atas yang diaplikasikan dalam bentuk  $Q_{ult}$ .  $Q_{ult}$  merupakan penjumlahan antara daya dukung end bearing atau ujung ( $Q_p$ ) dan daya dukung friction atau selimut ( $Q_s$ )

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s$$



Besarnya daya dukung ujung ( $Q_p$ ) yang bekerjanya di ujung (end bearing) tiang adalah

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

Besarnya daya dukung selimut ( $Q_s$ ) yang bekerjanya disepanjang kedalaman tiang adalah

$$Q_s = q_s \cdot A_s$$

Dimana

$Q_{ult}$  = daya dukung ultimit pile.....ton

$A_p$  = luas ujung pile, besarnya tergantung bentuk penampang tiang ( $m^2$ )

$A_s$  = luas selimut pile=  $p \cdot L$

$p$  = keliling pile, besarnya tergantung bentuk penampang tiang

$L$  = panjang pile

$q_p$  = tahanan ujung pile, yang besarnya tergantung metoda yang dipakai ( $ton/m^2$ )

$q_s$  = tahanan selimut pile, yang besarnya tergantung metoda yang dipakai ( $ton/m^2$ )

### **Daya Dukung Pile Berdasarkan Uji Standart Penetrasi Test (SPT)**

Daya dukung tanah sebuah tiang atau pile pondasi menurut (Décourt, 1982) memberikan rumusan tahanan ujung ( $q_p$ ) dan tahanan selimut ( $q_s$ ) sebagai berikut,

**Besarnya tahanan ujung ( $q_p$ )** (Mochtar, n.d.)

$$q_p = \overline{N_p} \cdot K$$

dimana,

$\overline{N_p}$  : harga rata-rata SPT antara 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi .

B : diameter tiang .....m

K : Koefisien karakteristik tanah (Paulos Davis, 2014), seperti terlihat pada Tabel 1 berikut

**Tabel 1.** Koefisien karakteristik tanah (K)

No	Jenis Tanah	Koefisien karakteristik tanah $t/m^2$	Koefisien karakteristik tanah kPa
1	lempung	12	117,7
2	Lanau berlempung	20	196
3	Lanau berpasir	25	245
4	Pasir	40	392

Sehingga daya dukung ultimate didasar pondasi , sbb :

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

**Besarnya tahanan selimut ( $q_s$ )**

$$q_p = (\overline{N_s} / 3 + 1).$$

dengan,

$\overline{N_s}$  : harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam , dengan batasan :  $3 \leq N \leq 50$

Data NSPT untuk tanah berbutir halus, sebelum digunakan dikoreksi terhadap koreksi MAT dan overburden pressure dari tanah ( $\sigma_o'$ ).

### **Koreksi terhadap muka air tanah (MAT) (Mochtar, n.d.)**

- Khusus untuk tanah pasir halus, pasir berlanau dan pasir berlempung yang berada *dibawah MAT*, bila  $N > 15$

Koreksi:

a).  $N_1 = 15 + \frac{1}{2}(N-15)$  (Terzaghi et al., 1996)

b)  $N_1 = 0,6.N$  (Bazaraa, 1967)

Gunakan harga terkecil diantara a) dan b)

Untuk jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar, bila  $N \leq 15$  tidak ada koreksi sehingga  $N_1 = N$

### **Koreksi terhadap tegangan overburden dari tanah ( $\sigma_o' = P_o'$ ) (Mochtar, n.d.)**

Hasil dari koreksi 1 yaitu  $N_1$  dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan overburden effektive pada lapisan tanah dimana harga  $N$  diperoleh

Menurut Bazaraa, 1967:

$$P_o' \leq 7,5 \text{ ton/m}^2 ; N_2 = \frac{4.N_1}{1+0,4.P_o'} \quad P_o' > 7,5 \text{ ton/m}^2 ; N_2 = \frac{4.N_1}{3,25+0,1.P_o'}$$

$P_o'$  = tegangan overburden efektif pada lapisan/ kedalaman yang ditinjau

$$P_o' = \sum \gamma_i' \cdot h_i$$

Dengan ketentuan

- harga  $N_2 \leq 2 \cdot N_1$
- bila hasil koreksi didapat  $N_2 > 2 \cdot N_1$  gunakan  $N_2 = 2 \cdot N_1$

Dari harga SPT yang telah dikoreksi pada setiap kedalaman maka  $SPT_i = N_{2_i}$

Maka  $SPT_i = N_{2_i}$  merupakan nilai SPT yang digunakan

### **Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Uji Cone Penetrasi Test (CPT) (wahyudi, n.d.)**

Daya dukung tanah maximum dengan metode CPT, menurut (*Philipponnat, 1980*) memberikan rumusan tahanan ujung ( $q_p$ ) dan tahanan selimut ( $q_s$ ) sebagai berikut,

#### **Besarnya tahanan ujung ( $q_p$ )**

$$q_p = \alpha_p \cdot \bar{R}_p$$

dengan,

$$\bar{R}_p = \frac{1}{6B} \int_{Z_p, 3B}^{Z_p, 3B} R_p(z) dz$$

$R_p$  : nilai konus rata-rata diambil mulai 3B diatas sampai 3B dibawah dasar pondasi.

$Z_p$  : kedalaman ujung tiang

$\alpha_p$  : Koefisien jenis tanah pada ujung tiang (*Philipponnat, 2008*)

- : 0,5 untuk tanah lempung
- : 0,6 untuk tanah lanau
- B : diameter tiang .....m

Sehingga daya dukung ultimate didasar pondasi sebagai berikut,

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

**Besarnya tahanan selimut tiang ( $q_s$ )**

$$q_s = f_U = \alpha_f \frac{R_p}{\alpha_s}$$

Sehingga Resistance ultimate selimut pondasi sebagai berikut,

$$Q_s = p \sum f_{ui} \cdot h_i$$

dengan,

p : Keliling tiang

$f_{ui}$  : lekatan lateral dari lapisan tanah i setebal  $h_i$

$\sum h_i$  : Kedalaman tiang

Unsur Lekatan ( $f_u$ )

$$f_U = \alpha_f \frac{R_p}{\alpha_s}$$

dengan,

- $\alpha_s$  : koefisien fungsi dari tanah pada lekatan/ friction  
: 50 untuk tanah lempung  
: 60 untuk tanah lanau, lempung berpasir
- $\alpha_f$  : type tiang (Philipponnat, 2008) seperti pada Tabel 2.

**Tabel.2** Koefisien  $\alpha_f$

Bahan Tiang	Type Tiang	$\alpha_f$
	Tiang dipancang	1,25
	Tiang dibor dan divibrasi	1
Beton	Tiang diinjeksi, tiang bor $\phi < 1,5m$	0,85
	Tiang bor $\phi > 1,5m$	0,75

### **Daya Dukung Tiang Menggunakan Data Laboratorium (Metoda Statik Klasik)**

Adalah daya dukung yang dihitung berdasarkan data hasil percobaan laboratorium, yang diwujudkan berupa daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ).  $Q_{ult}$  merupakan penjumlahan antara daya dukung  $Q_p$  dan  $Q_s$

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s$$

**Daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) menurut (Meyerhof, n.d.) adalah sebagai berikut:**

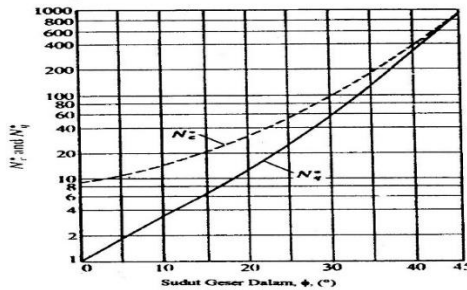
$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

## Besarnya tahanan ujung ( $q_p$ )

- Untuk tanah lempung:

$$Q_p = q_p \cdot A_p = A_p \cdot (c \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^*)$$

Untuk tanah lempung jenuh air dimana sudut geser dalam ( $\phi$ ) =  $0^\circ$  berdasarkan Gambar.1. diperoleh  $N_c^* = 9$  dan  $N_q^* = 1$



**Gambar 1.** Grafik untuk mendapatkan  $N_c^*$  dan  $N_q^*$  (Sumber: Braja M.Das, 2014)

dengan,

$N_c^*$  &  $N_q^*$  = faktor daya dukung, diperoleh dari Gambar .1

$c_u$  = kohesi undrained

**Daya dukung selimut ( $Q_s$ ) menurut (Meyerhof, n.d.) atau disebut metoda  $\alpha$**

$$Q_s = \sum A_s \cdot q_s$$

dengan,

$A_s$  = luas selimut tiang =  $p \times \Delta L$  ( $m^2$ )

$\Delta L$  = panjang segmen tiang (m)

$q_s = f_s$  = gesekan selimut tiang ( $kN/m^2$ )

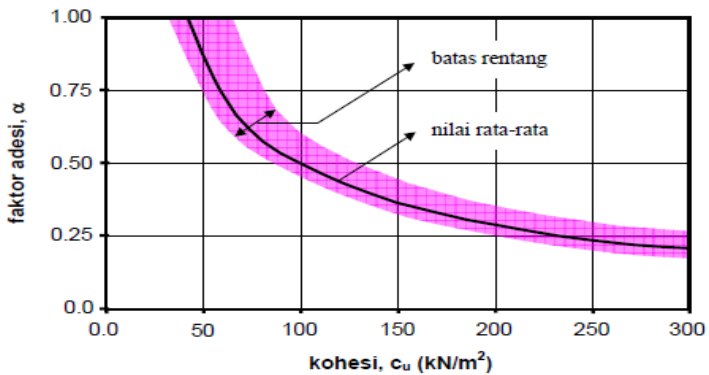
Tahanan atau gesekan selimut tiang ( $q_s$ ), untuk tanah lempung digunakan metoda alfa ( $\alpha$ )

$$q_s = \alpha \cdot c$$

dengan,

$\alpha$  = faktor adhesi, dilihat pada Gambar 2

$c$  = parameter kohesi tanah lempung



**Gambar 2.** Grafik nilai faktor adhesi vs kohesi tanah (Sumber: Braja M.Das, 2014)

Jadi besarnya Daya dukung selimut ( $Q_s$ )

$$Q_s = \sum A_s \cdot q_s = Q_s = \sum_{l=0}^{l=z} p \cdot \Delta L \cdot \alpha \cdot C_u = p \sum_{l=0}^{l=z} \alpha \cdot C_u \cdot \Delta L$$



## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.

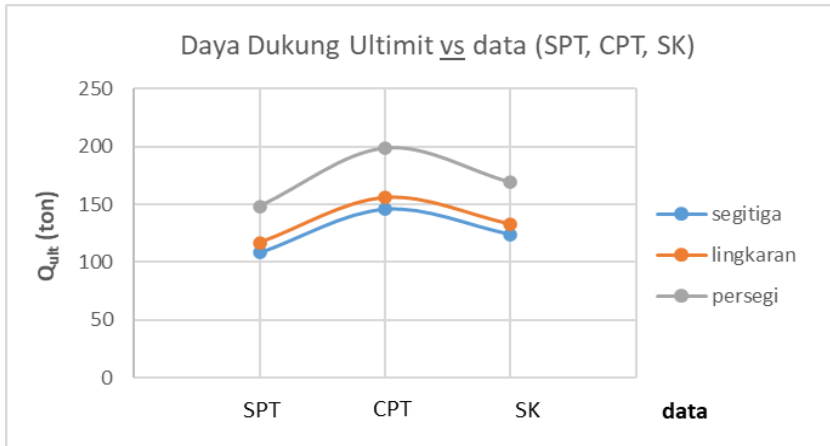
Hasil penelitian disajikan seperti pada Tabel 4 dan dijelaskan dalam 2 bahasan seperti disajikan pada Gambar 4 dan 5.

Tabel.4. Hasil perhitungan daya dukung ultimit

Bentuk penampang	Dimensi (m)		SPT : Luciano D'court '82			CPT : Philip ponat			Statik klasik		
	si	tinggi	Q <sub>p</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>ult</sub> (ton)	Q <sub>p</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>ult</sub> (ton)	Q <sub>p</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>ult</sub> (ton)
segitiga	0,2	3,9	104,	108,	4,9	140,6	145,	3,5	120,	124,	
	,3	60	30	528	458	12	50	562	15	656	172
lingkaran	0,3	7,1	109,	116,	8,9	147,3	156,	6,3	126,	132,	
	,3	31	505	636	13	47	261	79	402	780	
persegi	0,3	9,0	139,	148,	11,	187,5	198,	8,1	160,	168,	
	,3	76	371	446	344	33	877	18	875	993	

(sumber: hasil perhitungan, 2021)

- Pengaruh data (SPT, CPT, SK) terhadap besarnya daya dukung selimut ( $Q_s$ ) dengan berbagai variasi bentuk penampang tiang, seperti disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik hubungan antara data (SPT, CPT, SK) terhadap besarnya daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ )  
(sumber: hasil analisa, 2021)

Dari Gambar.4. dapat dijelaskan sebagai berikut,

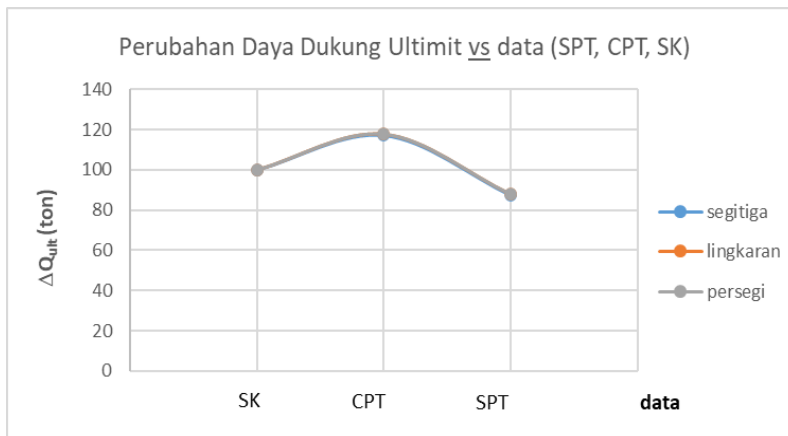
Pada semua bentuk penampang (segitiga, lingkaran, persegi) nilai daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) terkecil sampai terbesar berturut-turut adalah terjadi pada data SPT, statik klasik (SK), CPT. Daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) terbesar terjadi pada data CPT dan daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) terkecil ada pada SPT. Hal ini disebabkan pada data atau metode CPT memperhitungkan jenis ataupun bahan tiang dimana hal ini tidak diperhitungkan pada metode SPT maupun SK.

Pada semua data (SPT, CPT, SK) nilai daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) terkecil sampai terbesar berturut-turut adalah terjadi pada bentuk dasar penampang tiang segitiga, lingkaran,

persegi. Daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) terbesar terjadi pada bentuk penampang persegi dan daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) terkecil ada pada penampang bentuk segitiga. Hal ini disebabkan luas pile ( $A_p$ ) dan luas selimut ( $A_s$ ) paling besar terjadi pada penampang bentuk persegi, luas pile ( $A_p$ ) dan luas selimut ( $A_s$ ) terkecil pada penampang bentuk segitiga

- Pengaruh data (SPT, CPT, SK) terhadap perubahan daya dukung ujung ( $\Delta Q_p$ ) pada berbagai

variasi bentuk penampang tiang disajikan dalam Gambar 5



**Gambar 5.** Grafik hubungan data (SPT, CPT, SK) terhadap perubahan daya dukung ultimit ( $\Delta Q_{ult}$ ) (sumber: hasil analisa, 2021)

Dari Gambar 5. dapat dijelaskan sebagai berikut,

Pada semua bentuk penampang (segitiga, lingkaran, persegi) besarnya  $\Delta Q_{ult}$  terkecil sampai terbesar berturut-turut adalah terjadi pada data SPT, statik klasik (SK), CPT. Besarnya  $\Delta Q_{ult}$  terbesar terjadi pada data CPT dan  $\Delta Q_{ult}$  terkecil ada pada SPT. Hal ini disebabkan pada metode CPT memperhitungkan jenis ataupun bahan tiang, dimana hal ini tidak diperhitungkan

pada metode SPT maupun SK sehingga berakibat  $Q_{ult}$  paling besar dan  $\Delta Q_{ult}$  juga paling besar

## KESIMPULAN

Perhitungan daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) menggunakan data CPT memberikan hasil  $Q_{ult}$  paling besar dibandingkan data SPT dan SK. Perhitungan  $Q_{ult}$  menggunakan bentuk penampang persegi memberikan hasil  $Q_{ult}$  paling besar dibandingkan lingkaran dan segitiga. Besarnya perubahan daya dukung ultimit ( $\Delta Q_{ult}$ ) untuk semua bentuk penampang (segitiga, lingkaran, persegi) hasilnya sama, dan besarnya perubahan daya dukung ultimit ( $\Delta Q_{ult}$ ) untuk penggunaan data (SPT, CPT, SK) hasilnya terbesar pada data CPT dan terkecil pada data SPT.

## REFERENSI

- Braja M.Das. (2014). Principles of Foundation Engineering. In Boston, MA 02210 USA (8th ed.). <https://doi.org/0-495-91356-1>
- Décourt, L. (1982). *Prediction of the bearing capacity of piles based exclusively on N values of the SPT.*
- Isnaniati. (2016). *Minimalisasi jumlah tiang dal grup pile melalui pemilihan bentuk dasar pondasi tiang pada tanah lempung.* 19(2), 6–8.
- Isnaniati. (2017). *Kontribusi Bentuk Penampang Tiang Terhadap Beban Maximum yang Diterima Pondasi untuk Perencanaan Pondasi pada Tanah Lempung dengan Data CPT Surabaya.* 2(1), 21–27.
- Isnaniati, & L, D. (2017). *Studi Komparatif Daya Dukung*

Pondasi Tiang Dengan Teori Meyerhoff Terhadap Teori L'Decourt Berdasar Hasil Uji N-SPT Di Surabaya Timur. *Agregat*, 2(2), 153–158. <https://doi.org/10.30651/ag.v2i2.1197>

Meyerhof, G. G. (n.d.). *by*.

Mochtar, I. B. (n.d.). *pile foundation*. repository.its.ac.id

Philipponnat, G. (2008). Methode pratique de calcul d'un pieu isole a l'aide du penetrometre statique. *Rev Fr Ge'otech*10:55–64. SNI 2827-2008. (2008). Cara uji Penetrasi Lapangan dengan alat sondir. *Rev Fr Ge'otech*, 10:55–64.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice.pdf. In *John wiley & sons* (p. 534).

wahyudi. (n.d.). *deep foundation*. repository.its.ac.id.

Wesley. (2017). *Mekanika tanah*.

## BIODATA PENULIS



**Isnaniati**

**Email: [isnaniati@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:isnaniati@ft.um-surabaya.ac.id)**

**Dosen Teknik Sipil-Fakultas  
Teknik**

**Universitas Muhammadiyah  
Surabaya**

Isnaniati, Lahir di Surabaya pada 24 Agustus 1965, menempuh pendidikan S1 dan mendapatkan gelar Insinyur pada tahun 1991 dari jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surabaya. Melanjutkan studi pada Program Pascasarjana Teknik Sipil bidang Geoteknik di Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya mendapatkan gelar Magister Teknik pada tahun 2004. Saat ini penulis sedang menempuh Program Doktor teknik sipil bidang geoteknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tema disertasi adalah usulan formulasi daya dukung ultimit pondasi dangkal setelah diberi perkuatan cerucuk-sebuah pemodelan dilaboratorium. Kesibukannya saat ini adalah mengajar di prodi teknik sipil dan melakukan penelitian sesuai bidang keahliannya terkait tema peningkatan daya dukung tanah lunak. Beberapa karya publikasi yang pernah dilakukannya antara lain:

1. Perencanaan Perbaikan Tanah Metode Preloading Dikombinasikan dengan Prefabricated Vertical Drains (PVD) (Studi Kasus Pengembangan Terminal Peti Kemas Belawan - Medan), 2014

2. Analisa perbandingan daya dukung pondasi bored pile menggunakan hasil uji sondir, SPT dan laboratorium pada proyek apartemen 88 avenue surabaya, Jurnal, 2019
3. Pengaruh kedalaman dan bentuk penampang terhadap daya dukung pondasi tiang, Jurnal 2021.

# PENGAWASAN KONDISI PASIEN PENYAKIT MENULAR DI RUMAH SAKIT SECARA OTOMATIS DENGAN JARINGAN AREA TUBUH NIRKABEL

Fajar Arian Abadi, Indah Kurniawati, Nuniek Fahrhani, Reynanda  
Bagus W.A

Universitas Muhammadiyah Surabaya

## Abstrak

Penderita penyakit menular, seperti Covid-19 memerlukan ruang isolasi untuk meminimalisir kontak pasien dengan orang lain, termasuk minimalisir kontak dengan tenaga medis. Oleh karena itu, untuk mencegah kontak langsung antara penderita Covid-19 dengan tenaga medis, diperlukan suatu cara agar kondisi kesehatan pasien dapat dimonitor secara otomatis tanpa kontak langsung. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengaplikasikan Jaringan Area Tubuh Nirkabel sebagai sarana pemonitor kondisi kesehatan pasien secara otomatis. Parameter kesehatan yang diukur adalah suhu, denyut nadi, dan laju pernafasan. Dalam melakukan pengukuran digunakan sensor LM35 dan MAX30102 sebagai *end node* yang diintegrasikan dengan mikrokontroller sebagai *gateway*. Pengiriman data dari *gateway* ke server dilakukan tanpa jaringan internet. Pada server data diolah dan ditampilkan pada HMI dalam bentuk grafik dan tabel. Selain itu, dihitung juga kebutuhan server penyimpanan data yang dihasilkan, khususnya saat perangkat diaplikasikan pada suatu kapal rumah sakit HOTSPODT. Besar data hasil pengukuran parameter kesehatan pasien yang dihasilkan adalah 432 kB/hari untuk data hasil pembacaan endnote yang disimpan pada basis data. Ukuran data berbentuk tabel yang disimpan pada server yang berformat *pdf* sebesar 30 kB/berkas. Dengan mengetahui besar data yang dihasilkan dari hasil monitor, maka dapat dirancang kebutuhan server suatu rumah sakit yang menggunakan aplikasi Jaringan Area Tubuh Nirkabel tersebut.

**Kata kunci** : jaringan area tubuh nirkabel, mikrokontroller, covid-19, denyut nadi, suhu, laju pernafasan



## PENDAHULUAN

COVID-19 (*Corona Virus Disease 2019*) adalah suatu jenis penyakit yang disebabkan oleh golongan virus corona, yaitu SARS – CoV-2, yang pertama kali ditemukan di Wuhan, Cina pada tahun 2019. Penyakit ini dinyatakan sebagai pandemi oleh WHO (*World Health Organization*) sejak 9 Maret 2020 (Azizah, 2020). Total saat ini tercatat hingga tanggal 02 Oktober 2021, total kejadian Covid-19 di Indonesia mencapai lebih dari empat juta kasus, dengan penambahan 1.414 kasus pada pekan pertama bulan Oktober 2021 (Mashabi, 2021). Meskipun penambahan kasus cenderung menurun (Sari, 2021) dan angka kesembuhan lebih tinggi (Nabila, 2021), tetapi jumlah tenaga kesehatan yang meninggal selama pandemi di Indonesia mencapai lebih dari seribu orang dan merupakan angka yang tertinggi di Asia (Annur, 2021; Christiyarningsih, 2021) . Oleh karena tenaga medis adalah garda terdepan dalam penanganan berbagai penyakit, maka berbagai upaya harus dilakukan untuk menjamin keselamatan mereka dalam bertugas.

Salah satu upaya untuk menambah keselamatan tenaga medis adalah dengan meminimalisir kontak pasien dengan memanfaatkan Jaringan Sensor Nirkabel (*Wireless Sensor Network (WSN)*) (Dargie & Poellabauer, 2010). WSN banyak dimanfaatkan untuk aplikasi medis untuk mengontrol kondisi pasien dengan memanfaatkan sensor yang dipasang di sekitar badan pasien, dengan memanfaatkan efek elektromagnetik pada badan manusia (Tavera et al., 2021).

Penggunaan WSN pada manusia disebut dengan Jaringan Area Tubuh (*Wireless Body Area Network (WBAN)*) (Tavera et al., 2021). WBAN mengatur sensor-sensor yang dipasang di sekeliling tubuh manusia dan dihubungkan dalam jaringan

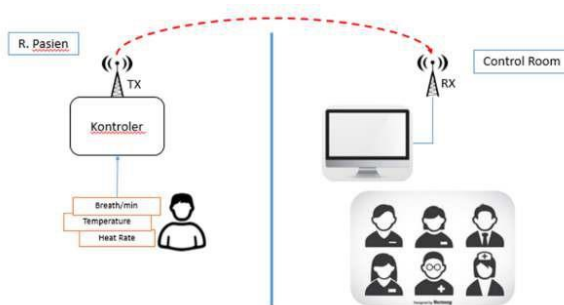
komputer untuk memonitor kondisi tubuh manusia yang diukur. Jaringan dirancang sehingga sensor implan dan sensor on-body dapat berkoordinasi dengan titik akses yang mengirimkan informasi ke stasiun sentral tempat informasi dikumpulkan. Oleh karena itu, pada artikel ini dirancang suatu WBAN untuk memonitor kondisi kesehatan pasien secara otomatis tanpa perlu bersentuhan langsung dengan dokter atau perawat, dimana dokter atau perawat tersebut dapat mengamati kondisi pasien dari komputer server secara periodik.

Beberapa fitur penting pengamatan dengan WBAN adalah data yang dikirimkan, bandwidth yang dibutuhkan, jarak transmisi, dan sebagainya (Filipe et al., 2015), sehingga dalam artikel ini dibahas besar data yang dihasilkan oleh sensor dalam setiap pengamatan. Hal ini dapat mempermudah dalam merancang besar kapasitas server yang diperlukan. Jarak transmisi yang dipergunakan adalah jarak dalam rumah sakit kapal HOTSPODT (*Hospital Ship for Covid Disaster*), yang dirancang oleh mahasiswa Teknik Perkapalan, Universitas Muhammadiyah Surabaya dalam kompetisi KKCTBN (Kompetisi Kapal Cepat Tak Berawak Nasional) tahun 2020.

## **METODE**

Perancangan alat pemonitor kondisi tubuh pasien di rumah sakit dimulai dengan menggambar skema perangkat elektrik dan mekanik yang dipergunakan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa perangkat pemonitor memiliki dua fungsi utama, yaitu perangkat pemancar (*Transmitter* (Tx)) dan penerima (*receiver* (Rx)). Dimana sisi Tx berada pada sisi pasien yang diukur kondisi kesehatannya dengan tiga parameter, yaitu suhu tubuh, denyut nadi, dan laju

napas per menit. Ketiga parameter tersebut diukur dengan perangkat sensor yang hasil pengukurannya dikirimkan ke sisi Rx yang berada pada ruang perawat. Sisi Rx ini berfungsi juga sebagai ruang kontrol yang mengawasi kondisi pasien secara langsung.



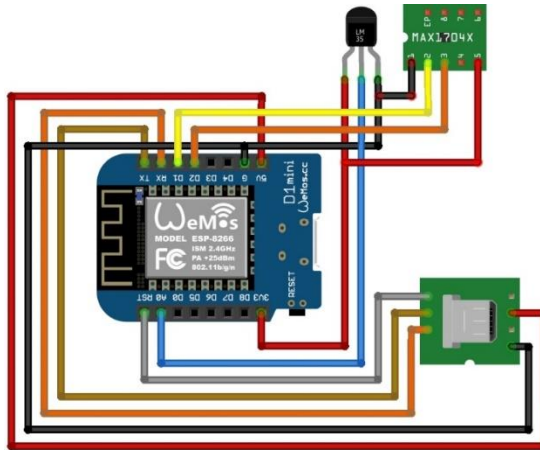
**Gambar 1.** Skema alat pemonitor kondisi tubuh pasien

Prinsip kerja dari alat pemonitor dapat dijelaskan sebagai berikut: sensor mendeteksi parameter suhu tubuh, denyut nadi, dan laju napas per menit pada objek yang berada di ruang pasien, kemudian data-data yang diperoleh oleh sensor-sensor tersebut dikirim ke kontroler, dan dikirimkan secara nirkabel pada Rx yang berada di ruang kontrol dimana tenaga medis yang bertugas mengawasi kondisi pasien berada. Kontroler di ruang kontrol mengolah data, dan menampilkannya pada HMI/dashboard. Luaran dari kontroler adalah suhu, detak jantung, dan laju nafas dalam bentuk tabel dan grafik yang ditampilkan pada HMI. Data dalam bentuk tabel dapat diunduh sebagai laporan kondisi tubuh pasien dalam bentuk pdf.

## A. Perangkat yang Dipergunakan

Gambar 2 menunjukkan skema rangkaian listrik sistem pemonitor kondisi pasien. Terdapat 3 komponen utama dalam sistem ini, yaitu mikrokontroler Wemos D1, modul sensor Max30102, dan sensor LM35. Modul sensor Max30102 merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi laju detak jantung. Pada sensor ini terdapat pin untuk daya input ( $V_{in}$  dan ground), pin data (SDA), pin clock (SCL), dan sensitifitas. MAX30102 beroperasi pada catu daya 1,8-3,3 Volt. Oleh karena itu, pin  $V_{in}$  pada MAX30102 dihubungkan ke catu daya 3,3 Volt di Wemos D1 dan bagian ground juga dihubungkan ke bagian yang sama. Pin data (SDA) MAX30102 dihubungkan dengan input digital D1 di Wemos D1. Sehingga data detak jantung yang akan diterima oleh mikrokontroler berbentuk data digital dan kemudian akan diolah oleh Wemos D1. Untuk pin clock (SCL) pada sensor MAX 30102 dihubungkan dengan pin input digital D2 pada Wemos D1.

Sensor LM35 dalam sistem ini berfungsi untuk memonitor suhu pasien. Pada sensor LM35 ini terdapat 3 pin, yang terdiri dari catu daya ( $V_{in}$ ), ground, dan pin data ( $V_{out}$ ). Tegangan kerja sensor LM35 berada pada rentang 4-20 Volt, sehingga catu daya sensor ini akan dihubungkan dengan pin tegangan 5 Volt pada Wemos D1. Kemudian pin data ( $V_{out}$ ) dihubungkan dengan pin Analog (A0) pada Wemos D1. Hal ini mengindikasikan bahwa data yang diterima oleh mikrokontoler merupakan data Analog. Rentang suhu yang bekerja pada sensor LM35 ini adalah  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $150^{\circ}\text{C}$ .



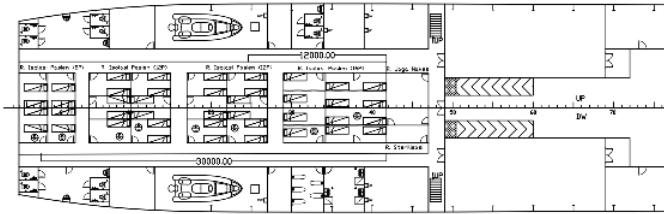
**Gambar 2.** Skema rangkaian

Port USB yang berfungsi menghubungkan data serial antara mikrokontroler dengan computer dihubungkan pada Wemos D1. Bagian ini akan memberikan akses data dari Wemos D1 ke komputer, sehingga data yang diterima oleh Wemos D1 dapat diteruskan dan diolah oleh komputer serta untuk memprogram mikrokontroler. Dalam sistem standalone, kebutuhan daya dapat dicatu dari baterai dengan kapasitas 4,8 – 9 Volt. Sehingga sistem dapat lebih fleksibel dan mudah untuk dipindahkan.

### **B. Jarak antara *Server/Access Point* dengan *End Note***

Jarak antara server/access point dengan end node ditentukan berdasarkan dimana perangkat diletakkan, yaitu di rumah sakit kapal HOTSPODT. Dua jarak yang dipilih untuk pengujian adalah 12 meter dan 30 meter. Jarak 12 meter adalah jarak ruang server dengan ruang pasien isolasi di tengah, sedangkan 30 meter adalah jarak antara ruang server dengan

ruang isolasi pasien di bagian belakang. Jarak ini pada desain rumah sakit kapal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Jarak ruang server dengan ruang isolasi

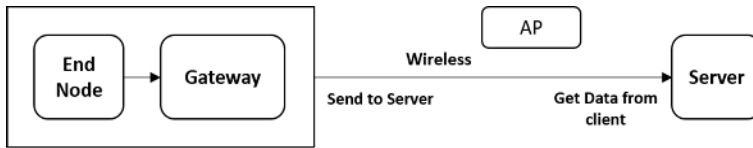
### C. Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan memasang sensor sebagai end note kepada objek yang dianggap berada di ruang perawatan. Pengambilan data dilakukan dengan dua jarak antara end note dengan ruang akses, yaitu 12 meter dan 30 meter.

### D. Basis Data yang Digunakan

Basis data yang digunakan adalah MySQL yang terintegrasi di dalam perangkat Xampp. Penggunaan basis data ini agar dapat mengakses laman web dengan localhost atau tanpa jaringan internet.

Data dari sensor/*end node* dikirimkan ke sever melalui akses poin yang sama antara *end node* dengan server. Data dikirimkan secara *offline* atau tanpa internet selanjutnya masuk ke basis data MySQL untuk kemudian ditampilkan pada laman web sebagai HMI. Diagram blok sistem yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram Blok Sistem dan Metode Pengiriman Data

## E. Penggunaan Internet

Penggunaan internet bisa dilakukan agar tampilan HMI bisa diakses dengan jarak yang lebih jauh atau bisa diakses dari manapun. Untuk dapat menggunakan internet maka access point yang digunakan harus terhubung dengan internet.

Selain penggunaan access point yang terhubung internet, *hosting* lokal yang sudah dibuat harus dilakukan migrasi ke *hosting web* secara *online*. *Hosting web* yang digunakan adalah "Ngrok". Ngrok merupakan sebuah hosting web yang tidak berbayar.

Pada artikel ini access point yang digunakan adalah Xiaomi Redmi Note 5Ai. Penggunaan akses poin tersebut karena akses poin tersebut bisa terhubung dengan internet secara langsung menggunakan jaringan selular yang tersedia pada ponsel. Selain itu akses poin juga dapat diakses tanpa internet dengan me- nonaktifkan jaringan selular.

## F. Proses Akuisisi Data

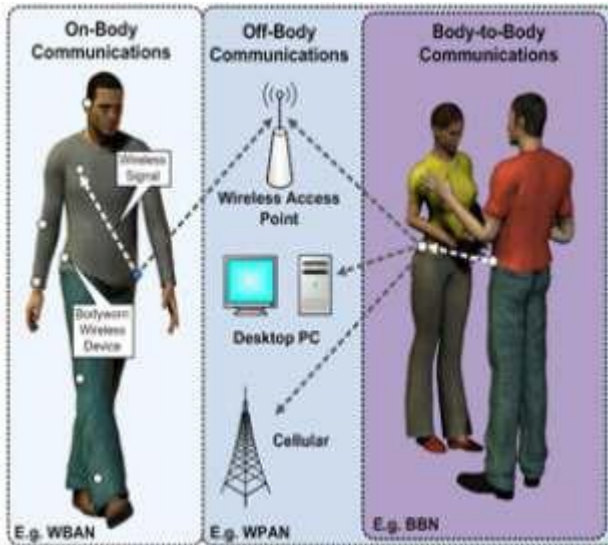
Proses pengiriman data dari *gateway* ke server dilakukan secara nirkabel, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk dapat melakukan proses pengiriman data dari gateway dan penerimaan atau akuisisi data oleh server perlu dilakukan pemrograman pada kedua sisi. Pada sisi mikrokontroler data pembacaan sensor akan dikonversi menjadi data string. Data

string tersebut kemudian akan diakuisisi dengan metode "GET" oleh coding PHP di sisi server. Coding PHP juga akan melakukan *write* data ke dalam basis data dengan metode "INSERT INTO".

## **TELAAH PUSTAKA / KAJIAN TEORI / HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN**

WBAN adalah varian dari *Wireless Sensor Networks* (WSNs) yang terdiri dari beberapa sensor kecil yang ditanamkan di dalam tubuh atau terletak di tubuh untuk biasanya mengamati sinyal fisiologis yang berasal dari berbagai organ tubuh, gerakan tubuh, serta lingkungan di sekitarnya (Hao, 2014). Jaringan dirancang sedemikian rupa sehingga perangkat koordinasi berkomunikasi dengan sensor implan dan on-body serta dengan titik akses yang selanjutnya mentransmisikan informasi yang dikumpulkan ke stasiun pemantauan jarak jauh. Ini adalah skenario khas di mana hanya satu tubuh yang membentuk WBAN, yang dikendalikan oleh koordinator yang lebih kuat (dibandingkan dengan node lain di WBAN), dan karenanya berkomunikasi dengan jaringan off-body yang jauh. WBAN sebagai Intra- WBAN (atau On Body), Inter-WBAN (atau Body-to-Body) dan jaringan Beyond-WBAN (atau Off-Body), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.





**Gambar 4.** Komunikasi On-Body, Off-Body, dan Body-to-Body (Alam & Hamida, 2016)

## Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang ditampilkan pada sesi ini adalah kecepatan data pada sensor detak jantung, suhu tubuh, dan laju pernafasan. Kecepatan data pada sensor detak jantung dan suhu tubuh diukur berdasarkan jarak antara ruang pasien dan ruang data, dengan hasil sebagai berikut :

- 1 meter, kecepatan data 260 bit/detik
- 12 meter, kecepatan data 153,33 bit/detik
- 30 km, kecepatan data 0 bit/detik

Hasil yang sama diperoleh untuk pengukuran kecepatan data laju pernafasan antara ruang pasien dengan ruang data. Untuk mengantisipasi penggunaan ruang pasien sejauh 30 m dari ruang data, diperlukan penanganan khusus, yaitu

penggunaan amplifier dan router untuk menguatkan data dan pengalamatan ke ruang data.

Hasil pengukuran selain kecepatan data adalah besar data yang dihasilkan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar mengatur besar ruang server. Besar masing-masing data untuk setiap pengukuran adalah :

- a. Sensor laju pernafasan : 0,146 kB
- b. Sensor detak jantung dan suhu tubuh : 0,176 kB

Jumlah data yang masuk pada basis data setelah 15 menit pengukuran adalah 4,5 kB, maka dapat diketahui besar data untuk pengukuran selama 24 jam adalah 432 kB.

Tahap penelitian selanjutnya adalah menguji validitas sensor dengan membandingkannya dengan alat ukur manual yang telah terkalibrasi. Dalam pengukuran laju pernafasan dilakukan perhitungan manual dalam waktu satu menit terhadap napas dari objek penelitian. Dalam waktu dua menit atau dua kali pengiriman hasil pengukuran di dapat data sebagai berikut pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Tabel Perbandingan Hasil Pengukuran Sensor Laju Pernafasan

No.	Perhitungan Standart	Hasil Pengukuran Sensor
1.	21 Napas/menit	18 Napas/menit
2.	17 Napas/menit	14 Napas/menit

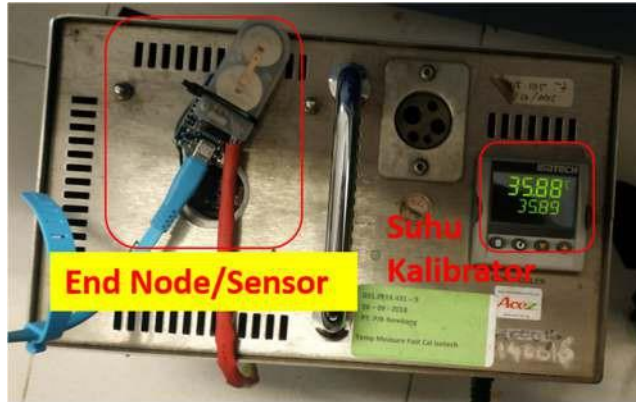
Selanjutnya adalah pengukuran *heart rate* (*detak jantung*) dilakukan perhitungan manual dalam waktu satu menit terhadap *heart rate* dari objek penelitian. Dalam satu kali

pengiriman didapatkan data perhitungan manual *heart rate* sebanyak 60 kali (60 BPM), dan dari hasil pengukuran sensor menunjukkan nilai 56,4 kali (56,4 BPM) lalu dibulatkan dan ditampilkan pada rata-rata *heart rate* (*Average af BPM*, ditampilkan AVGBPM) menjadi 60 kali (60 BPM).

Dalam pengukuran suhu dilakukan percobaan dengan menggunakan alat kalibrator sensor suhu standar yang menggunakan sistem *heating element*. Untuk selanjutnya dilakukan perbandingan hasil pembacaan sensor suhu dengan nilai suhu yang diatur pada alat kalibrator. Proses perbandingan sensor suhu dengan kalibrator dapat dilihat pada Gambar 5. Sedangkan hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan Hasil Pengukuran Sensor Suhu

No.	Suhu Yang Diatur Pada Kalibrator (°C)	Hasil Pengukuran Sensor Suhu (°C)
1.	34,75	34,50 - 34,87
2.	35,89	35,75 - 36,00
3.	36,59	36.39 - 36,80
4.	37,72	37,42 - 37,84



**Gambar 5.** Proses Perbandingan Sensor Suhu dengan suhu standar

## KESIMPULAN

Pembuatan dan perancangan Jaringan Sensori Area Tubuh ini dapat dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu analisis parameter yang dibutuhkan, merancang diagram alir pekerjaan dan diagram listrik, dan merancang pemrograman dan merakit rangkaian sesuai kebutuhan. Cara mendapatkan data dan mengakuisisinya adalah dengan mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik pada mikrokontroler, dan data dikonversi menjadi digital. Proses akuisisi data (pengiriman dan penarikan) dari *gateway* ke server dilakukan tanpa jaringan internet(*offline*), penggunaan internet dibutuhkan jika ingin menampilkan laman web localhost ke *IP public*.

Berdasar hasil analisis besar data diketahui nilai penyimpanan data hasil akuisisi pada basis data memiliki ukuran relatif kecil (432 kb/hari) dan file unduhan pdf sebesar 30 kb/file

sehingga kebutuhan ruang kosong pada penyimpanan server tidak terlalu besar.

Jika dibandingkan dengan alat ukur standar untuk detak jantung terdapat perbedaan yang cukup besar, tetapi untuk parameter suhu diperoleh hasil yang mendekati hasil pengukuran standar. Perbedaan ini disebabkan kurang presisinya sensor yang digunakan sehingga pada penelitian selanjutnya dapat dipilih sensor yang lebih presisi dan sesuai untuk pengukuran detak jantung.

## REFERENCES

- Alam, M. M., & Hamida, E. ben. (2016). A Heuristic Self-Adaptive Medium Access Control for Resource Constrained WBAN Systems. *IEEE Access*, 2016(4), 1287–1300.
- Annur, C. M. (2021). Total 2.032 Tenaga Kesehatan Meninggal Akibat Covid-19 Hingga Oktober 2021. *Katadata*, 121–125.  
<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/11/01/tal-2032-tenaga-kesehatan-meninggal-akibat-covid-19-hingga-oktober-2021>
- Azizah, N. H. (2020). *WHO Resmi Nyatakan Virus Corona COVID-19 sebagai Pandemi*. Detikhealth.  
<https://health.detik.com/berita-detikhealth/d-4935355/who-resmi-nyatakan-virus-corona-covid-19-sebagai-pandemi>
- Christiyaningsih, C. (2021). *Kematian Nakes Indonesia Akibat Covid-19 Tertinggi di Asia*. Republika.

- <https://www.republika.co.id/berita/qmb3dr459/kematian-nakes-indonesia-akibat-covid19-tertinggi-di-asia>
- Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). *Fundamental of Wireless Sensor Networks* (X. Shen & Y. Pan, Eds.; 1st edition). John Wiley and Sons.
- Filipe, L., Fdez-Riverola, F., & Costa, N. (2015). Wireless Body Area Networks for Healthcare Applications: Protocol Stack Review. *International Journal of The Distributed Sensor Networks*, 11(10).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2015/213705>
- Hao, Y. J. (2014). Wireless Body Area Network and its Health Applications. *Asia Pacific IEEE Microwave Conference*.
- Mashabi, S. (2021). *UPDATE: Bertambah 1.414, Kasus Covid-19 Indonesia Capai 4.218.142*. Kompas.Com.  
<https://nasional.kompas.com/read/2021/10/02/18093611/update-bertambah-1414-kasus-covid-19-indonesia-capai-4218142>
- Nabila, M. (2021). *Ahli Patologi UNS: Angka Kesembuhan Pasien Covid-19 Tinggi Bukan Kabar Baik*. Kabar24.Com.  
<https://kabar24.bisnis.com/read/20210710/15/1416154/ahli-patologi-uns-angka-kesembuhan-pasien-covid-19-tinggi-bukan-kabar-baik>
- Sari, P. H. (2021). *Satgas: Kasus Covid-19 di Indonesia Turun, saat Negara Lain Alami Gelombang Ketiga*. Kompas.Com.  
<https://nasional.kompas.com/read/2021/09/14/18410641/satgas-kasus-covid-19-di-indonesia-turun-saat-negara-lain-alami-gelombang>

Tavera, C. A., Ortiz, J. H., Khalaf, O. I., Saavedra, D. F., & Aldhyani, T. H. H. (2021). Wearable wireless body area networks for medical applications. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5574376>

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



Nama Lengkap : Fajar Arian Abadi

Tempat Tanggal Lahir : Surabaya, 30 November 1995

Riwayat pendidikan :

- SMA/K : SMKN 5 (STM Pembangunan) Surabaya
- S1 : Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Lulus Maret 2021

Pekerjaan sekarang : Junior Engineer Instrumentasi dan Kontrol PT. PJB Services



Nama Lengkap : Indah Kurniawati

Tempat Tanggal Lahir : Tulungagung, 16 Juni 1981

Riwayat pendidikan :

- S1 : Teknik Elektro, ITS Surabaya
- S2 : Telekomunikasi Multimedia, ITS Surabaya
- S3 : Teknik Elektro, ITS Surabaya

Pekerjaan sekarang : Dosen Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surabaya

Research interest : Pemodelan Kanal, Sistem Komunikasi Nirkabel dan Bergerak



Nama Lengkap : Nuniek Fahrani

Tempat Tanggal Lahir : Surabaya, 12 September 1982

Riwayat pendidikan :

- S1 : Teknik Informatika, Universitas Trunojoyo
- S2 : Teknik Informatika, ITS Surabaya

Pekerjaan sekarang : Dosen Teknik Komputer, Universitas Muhammadiyah Surabaya

Research interest : Pemrograman Komputer ED CRYPTO BLOWFISH





Nama Lengkap : Reynanda Bagus Widy Astomo

Tempat Tanggal Lahir : Surabaya, 13 Juni 1995

Riwayat pendidikan :

- S1 : Teknik Elektro, Universitas Trunojoyo
- S2 : Teknik Sistem Tenaga, ITS Surabaya

Pekerjaan sekarang : Dosen Teknik Elektro,  
Universitas Muhammadiyah Surabaya

Research interest : Energi Terbarukan (PV dan Turbin  
Angin), transformator

# TINJAUAN COMPUTABLE URBAN ECONOMIC (CUE) MODEL UNTUK PERENCANAAN JARINGAN TRANSPORTASI PERKOTAAN

**Zainal Abidin<sup>1,2,1</sup> Joewono Prasetijo<sup>2</sup>, and Mohd Idrus Bin Mohd Masirin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universitas Muhammadiyah Surabaya

<sup>2</sup>Univesrsiti Tun Hussein Onn Malaysia

## **Abstract**

Sangat penting bahwa perencanaan transportasi dan perencanaan penggunaan lahan harus menjadi proses perencanaan yang terintegrasi, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia dengan percepatan urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi, interaksi antara penggunaan lahan dan transportasi menjadi masalah utama di perkotaan. Untuk itu, perencana kota dan pembuat kebijakan pada umumnya memiliki pertanyaan sentral tentang perencanaan tata ruang dan perencanaan transportasi terpadu. Dari banyak arah pembangunan, pemodelan keseimbangan umum yang dapat dipermasalahan di lingkungan perkotaan (disebut model Computable Urban Economic, atau CUE di Jepang) telah menjadi pendekatan yang transparan dan tepat. Model semacam ini, yang sepenuhnya didasarkan pada ekonomi perkotaan dan juga menggabungkan banyak teknik terbaru dari model transportasi tradisional, telah terbukti menjadi alat yang ampuh untuk analisis ekonomi perkotaan. Mulai dari model konseptual sistem transportasi penggunaan lahan interaktif, teori ekonomi perkotaan yang diwakili oleh model Computable General Equilibrium (CGE) dan model Computable Urban Economic (CUE) digunakan untuk mensimulasikan bagaimana pola penggunaan lahan perkotaan mempengaruhi perilaku perjalanan dan sistem transportasi dan sebaliknya. Bab ini berfokus pada topik terkait seperti penggunaan lahan dan interaksi antara transportasi, pemodelan dan

perencanaan transportasi, dan Calculable Urban Economic Model (CEU). Ini menggambarkan beberapa item seperti pemodelan dalam perencanaan transportasi yang terdiri dari fitur yang diinginkan dari model, spesifikasi, kalibrasi dan validasi, kesetimbangan model, memilih model, Kelas model yang tersedia untuk analisis transportasi, model simulasi, pemodelan transportasi dalam praktik, dan tren saat ini dalam pemodelan.

**Kata kunci:** perencanaan transportasi, pemodelan transportasi, CGE, CUE, keseimbangan model

## PENDAHULUAN

Sistem transportasi adalah sistem yang dinamis dan selalu berubah yang dihasilkan dari interaksi antara permintaan transportasi dan penawaran. Selain itu, sistem transportasi memastikan konektivitas melintasi sistem regional dan berkembang sesuai dengan model penggunaan lahan. Akibatnya, perencanaan transportasi adalah proses yang memberikan konsistensi dari waktu ke waktu, antara permintaan transportasi dan pasokan transportasi, dan konsistensi antara evolusi penggunaan lahan dan pola mobilitas (Colonna P, Berloco N, Circella G, 2012) Oleh karena itu, memahami hubungan antara penggunaan lahan dan transportasi sangat penting untuk merancang masyarakat transportasi yang sejahtera dan aman. (Sugiyama et. al in Morimoto, 2014) Sifat perencanaan tata ruang secara substansial menetapkan kondisi di mana permintaan transportasi penduduk dan ekonomi dibentuk dan bersama dengan karakteristik sistem transportasi yang relevan dengan operasinya. Konsep perencanaan penggunaan lahan sering dikaitkan dengan variasi dalam kepemilikan pribadi seperti perencanaan penggunaan lahan, perencanaan kota dan negara, perencanaan transportasi dan

perencanaan penggunaan lahan. Perencanaan regional dapat dilaksanakan pada tingkat yang berbeda: lokal, regional, nasional dan internasional (Komisi Ekonomi untuk Eropa, Komite Transportasi Pedalaman, 2019)

Sangat penting bahwa perencanaan transportasi dan perencanaan penggunaan lahan harus menjadi proses perencanaan yang terintegrasi, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia dengan percepatan urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi, interaksi antara penggunaan lahan dan transportasi menjadi masalah utama di perkotaan. Akibatnya, perencana kota dan pembuat kebijakan pada umumnya memiliki masalah utama perencanaan penggunaan lahan terpadu dan perencanaan transportasi. Di antara banyak arah pembangunan, pemodelan keseimbangan umum yang dapat diperdebatkan dalam pengaturan perkotaan (disebut *computable Urban Economic*, atau model CUE di Jepang) adalah pendekatan yang transparan dan tepat. Model semacam ini, yang sepenuhnya didasarkan pada ekonomi perkotaan dan juga menggabungkan banyak teknik terkini dari model transportasi tradisional, telah terbukti menjadi alat yang ampuh untuk analisis ekonomi perkotaan. (Hiep, 2014) Mulai dari model konseptual sistem transportasi penggunaan lahan interaktif, teori ekonomi perkotaan yang diwakili oleh model *Computable General Equilibrium* (CGE) dan model *Computable Urban Economic* (CUE) digunakan untuk mensimulasikan bagaimana pola penggunaan lahan perkotaan mempengaruhi perilaku perjalanan dan sistem transportasi dan sebaliknya. Bab ini membahas topik terkait seperti penggunaan lahan dan interaksi transportasi, pemodelan dan perencanaan transportasi, dan *Computable Urban Economic Model* (CUE). Ini menggambarkan beberapa

item seperti pemodelan dalam perencanaan transportasi yang terdiri dari fitur yang diinginkan dari model, spesifikasi, kalibrasi dan validasi, kesetimbangan model, memilih model, Kelas model yang tersedia untuk analisis transportasi, model simulasi, pemodelan transportasi dalam praktik, dan tren saat ini dalam pemodelan. Bab ini juga membahas penggunaan lahan dan pemodelan permintaan perjalanan yang akan membantu pengembangan rencana untuk penelitian ini yang menggambarkan model Computable General Equilibrium dan model Computable Urban Economic dilakukan untuk meningkatkan pemahaman tentang metode yang digunakan untuk mengembangkan rencana untuk jaringan jalan.

## **COMPUTABLE GENERAL EQUILIBRIUM (CGE) MODEL**

Pemodelan transportasi penggunaan lahan tradisional yang telah dibahas sebelumnya umumnya cenderung membangun mekanisme interaktif dengan menggunakan metode statistik deskriptif atau teknologi geografis seperti GIS, model gravitasi, dll., Tetapi mengabaikan dasar ekonomi dan perilaku agen, yang mengarah ke kebijakan perencanaan dan infrastruktur yang tidak valid. Sejak ekonomi perkotaan membentuk teori dan kerangka kerjanya dari Alonso (1964), fondasi ekonomi mikro telah secara bertahap diintegrasikan ke dalam pemodelan perkotaan. Pemodelan perkotaan membutuhkan tinjauan rinci tentang transportasi dan pasar penggunaan lahan karena mereka adalah dua faktor terpenting dalam pembangunan tata ruang perkotaan. Transport-land-use interaction (LUTI) model menghubungkan transportasi eksplisit

dan model penggunaan darat untuk mensimulasikan umpan balik antara dua sistem dalam jangka pendek dan panjang (Wegener, 2004), (Wegener, 2011). Model-model ini luas, matang dan empiris. Keputusan lokasi dalam kerangka LUTI dapat dimodelkan dengan model lokasi interaksi spasial (untuk memprediksi asal-usul dan tujuan perjalanan), model lokasi sewa penawaran (untuk mensimulasikan sewa tawaran dan sewa pasar), dan model lokasi berbasis utilitas (untuk mensimulasikan utilitas lokasi) (Wegener, 2011). Namun, model LUTI telah digambarkan tidak memiliki basis ekonomi mikro yang solid dan, seperti model IO, didasarkan pada parameter yang ditetapkan pada harga. Hal ini juga dapat sulit untuk mengekstrak kesejahteraan untuk analisis biaya-manfaat (CBA) atau untuk mengintegrasikan rincian pada pasar yang tidak sempurna (Oosterhaven dan Knaap, 2003). Model Computable General Equilibrium (CGE), telah diterapkan pada penggunaan lahan perkotaan dan pemodelan transportasi melalui publikasi serial kondisi keseimbangan pasar di mana perilaku entitas ekonomi juga didefinisikan secara eksplisit oleh maksimalisasi utilitas atau maksimalisasi keuntungan (Anas, et al., 1996; Anas, et al., 1999; Anas, et al., 2007). Model CGE dikembangkan berdasarkan teori ekuilibrium umum, yang mengasumsikan bahwa agen ekonomi berperilaku rasional dalam keadaan ekuilibrium. Prosedur umum dari analisis model ekuilibrium umum mendapatkan persamaan diferensial dari kondisi kesetimbangan pasar dan persamaan sistem pemecahan secara bersamaan (Böhringer et al., 2003). Berikut ini adalah empat fitur utama dari model CGE yang dijelaskan oleh Xie dan Saltzman (2000):

- (a). Harga endogen dalam model dan ditetapkan oleh pasar;
- (b). Penawaran dan permintaan barang atau faktor produksi ditentukan dengan menyesuaikan harga berdasarkan teori ekuilibrium umum Walrasian;
- (c). Fungsi penawaran dan permintaan berasal dari konsumen dan produsen untuk memaksimalkan utilitas dan keuntungan;
- (d). Ini adalah multi-sektor, model non-linear yang berisi sumber daya terbatas. Oleh karena itu, model CGE adalah sektor gabungan dan negara-negara dalam ekonomi global dapat menganalisis dampak kebijakan ekonomi (Peters et al., 1998)

Ada banyak kelebihan dan kekurangan menggunakan model CGE. Pertama-tama, berdasarkan data akuntansi nasional dan tabel input-output, model CGE konsisten secara pasar secara independen. Model CGE juga memberikan deskripsi rinci tentang pergerakan barang dan jasa antar industri. Pada kondisi saling ketergantungan pasar dalam model input-output tergantung pada proporsi hubungan linier permanen, model CGE memungkinkan substitusi barang dan jasa dalam produksi dan konsumsi. Model CGE dapat digunakan untuk menganalisis dampak kebijakan yang tidak terbatas pada variabel makroekonomi (seperti tingkat inflasi, neraca perdagangan, dan utang pemerintah), model CGE dapat digunakan untuk menganalisis distribusi dampak ekonomi di semua sektor, wilayah, dan kelompok rumah tangga. Berikut adalah keuntungan dari model CGE:

- (i). Model CGE dapat menjelaskan masalah di berbagai (spektrum luas), dapat menjelaskan dampak dari perubahan atau kebijakan global.

- (ii). Hasil perhitungan model CGE dapat digunakan untuk mengetahui berapa banyak keuntungan dan berapa banyak rasa sakit dalam perekonomian sebagai akibat dari perubahan atau kebijakan baru.
- (iii). Model CGE adalah alat analisis umum yang digunakan untuk menganalisis masalah yang berkaitan dengan dampak kebijakan harga terhadap pertanian dan liberalisasi perdagangan.
- (iv). Model CGE membahas dengan baik struktur ekonomi kelompok negara yang memiliki karakteristik yang sama. Oleh karena itu penelitian dapat bervariasi sesuai dengan agregasi negara dan produk.
- (v). Model CGE dirancang untuk menangkap dampak yang berbeda dari kebijakan harga makroekonomi dan pertanian di suatu negara dengan struktur dan kebijakan ekonomi yang berbeda.

Beberapa kelemahan dari model CGE:

- (i). Model CGE mengandaikan perilaku sederhana pelaku ekonomi, yaitu optimalisasi fungsi utilitas dan fungsi keuntungan berdasarkan informasi yang sempurna.
- (ii). Berkonsentrasi pada harga sebagai variabel pendorong utama dan mengabaikan pengaruh lain pada perilaku ekonomi.
- (iii). Menggunakan model CGE pada "perwakilan individu", menunjukkan bahwa model ini mengabaikan interaksi antara aktor ekonomi.
- (iv). Model ini mengasumsikan bahwa keseimbangan pasar adalah hasil dari penyesuaian harga, tetapi tidak memperhitungkan proses penyesuaian harga itu sendiri.



(v). Persamaan model umumnya berasal dari teori memaksimalkan utilitas dan keuntungan dalam kombinasi dengan asumsi spesifik tentang bentuk preferensi dan teknologi. Ini berarti bahwa hasil model berdampak pada efektivitas sistem pasar yang tidak sepenuhnya benar. Model CGE tidak cocok untuk analisis fenomena dengan ketidakpastian dan perubahan teknologi, gaya hidup dan nilai/fenomena yang memainkan peran penting dalam berbagai masalah kebijakan.

Model ekuilibrium umum kemudian memanifestasikan dirinya dalam model CGE, model ekuilibrium umum kuantitatif yang diimplementasikan sebagai program komputer. Menurut Resosudarmo (1997), CGE adalah sistem persamaan matematika yang mewakili kegiatan agen, yaitu faktor produksi (tenaga kerja, modal, dan tanah), produksi, dan institusi (rumah tangga, pemerintah, dan perusahaan) dalam suatu perekonomian. Dervis et al. [1982] menunjukkan bahwa model CGE menyajikan hubungan keseimbangan umum dasar antara struktur output, pendapatan dari berbagai kelompok dan tren permintaan. Model Computable General Equilibrium (CGE) banyak digunakan dalam menganalisis dampak kebijakan pemerintah. Model adalah metode yang semakin populer untuk menilai dampak ekonomi transportasi, termasuk dampak ekonomi langsung dan lebih luas, karena mereka dapat menentukan distribusi dampak di antara setiap pasar dan agen dalam perekonomian dengan mensimulasikan perilaku rumah tangga, perusahaan, dan lain-lain dari prinsip-prinsip pertama ekonomi mikro. (Robsons, et. al, 2011) Ada juga penelitian penting tentang pemodelan SCGE di Jepang selain model perkotaan mereka, terutama untuk mempelajari dampak gempa

bumi dan bencana alam lainnya. Koike et al. (2000) dan Ueda et al. (2001) Mengembangkan model SCGE untuk menghitung kerusakan gempa besar Kobe 1995. Model ini berfokus pada perjalanan penumpang daripada barang, mengadopsi konsep kendala waktu rumah tangga dan perjalanan belanja yang digunakan dalam model perkotaan. Perjalanan bisnis juga membentuk input produksi." RAEM-Light (Tavasszy et al., 2007; Koike et al., 2009) kemudian dikembangkan untuk menilai dampak spasial dari investasi jalan serta skenario bencana dan diterapkan di Belanda, Jepang, dan Hongaria (Koike et al., 2012). Sementara itu sebagian besar formulasi RAEM-Light relatif standar untuk model CGE, model logit digunakan untuk mengatur pilihan perdagangan antarwilayah secara paralel dengan asumsi Armington." Tatano dan Tsuchiya (2008) mensimulasikan dampak ekonomi jangka pendek dari gempa bumi Niigata-Chuetsu 2004 dengan menahan masukan tenaga kerja dan modal tetap dan menyesuaikan biaya transportasi untuk mencerminkan infrastruktur yang rusak. Di Indonesia, model CGE dikembangkan oleh BPS pada akhir 1980, sebuah kolaborasi antara Badan Perencanaan Nasional Indonesia dan Pembangunan Nasional (Bappenas), Kementerian Keuangan, dan Badan Pusat Statistik (BPS atau Badan Pusat Statistik) model CGE ini dikembangkan. Di mana model yang dikembangkan adalah model CGE statis. Pada tahun 2000, model CGE INDORANI yang dikembangkan oleh Abimanyu (2000) bekerja sama dengan Center for Policy Studies (CPS) di Monash University. Model INDORANI CGE adalah aplikasi dari model ORANI Australia untuk Indonesia (Dixon, 1982) menggunakan perangkat lunak GEMPACK. Ada dua turunan lain dari model ORANI untuk Indonesia (ORANI-G), yaitu

model WAYANG oleh Warr (2005) dan Indonesia-E3 oleh Yusuf (Yusuf dan Resosudarmo, 2008). Model CGE regional pertama di Indonesia (IRCGE) dikembangkan oleh Wuryanto (Resosudarmo et al., 1999). Ini adalah model CGE statis, berdasarkan SAM antar-regional Indonesia (IRSAM), menggunakan perangkat lunak GAMS. Model CGE lainnya dikembangkan oleh Pambudi (Pambudi dan Parewangi, 2004) bekerja sama dengan CPS di Monash University. Ini adalah model statis CGE provinsi, yang berasal dari versi antar-regional dari model ORANI, dan menggunakan perangkat lunak GEMPACK.

## **COMPUTABLE URBAN ECONOMIC (CUE) MODEL**

Model CGE perkotaan lainnya telah memperkenalkan struktur pilihan disaggregate tambahan untuk mensimulasikan perilaku di luar kerangka CGE murni. Bidang pemodelan keseimbangan perkotaan yang dapat kompresi (CUE) di Jepang, yang bercabang dari Anas (1982) pada akhir 1980-an, memanfaatkan ini secara luas. Model CUE terletak di antara model CGE dan LUTI dalam hal konsistensi ekonomi (lebih tinggi untuk model CGE) dan detail empiris (lebih tinggi untuk model LUTI) - lihat Ueda et al. (2012) untuk ditinjau. Model-model ini berbagi banyak fitur dengan model CGE tradisional karena agen mendapatkan keuntungan dan memaksimalkan, dan model mencari keseimbangan antara penawaran dan permintaan. Baik bangunan dan ruang tanah dimodelkan secara eksplisit dalam model CUE. Beberapa model, misalnya", Muto dan Ito (2006), mengintegrasikan aspek model CGE dan CUE standar. Model ekonomi perkotaan yang dapat dipahami (CUE)

adalah alat untuk menganalisis ekonomi perkotaan yang nyata dan mengevaluasi kebijakan perkotaan dalam praktiknya. Model CUE dapat menghasilkan serangkaian variabel yang menggambarkan ekonomi perkotaan yang nyata: distribusi pencari atau kegiatan termasuk rumah tangga dan perusahaan, distribusi penggunaan lahan termasuk perumahan, komersial, manufaktur, bisnis, pertanian, dan jenis lainnya, dan distribusi harga tanah / sewa dan harga bangunan / sewa. (Ueda, et.al, 2009) Model CUE, bekerja dengan model transportasi yang konsisten dengan teori ekonomi mikro, juga dapat menghasilkan distribusi perjalanan penumpang yang dikumpulkan oleh OD, mode dan jalur, dan distribusi kargo barang juga. Model perkotaan yang termasuk dalam keluarga model CUE telah dikembangkan dan diterapkan sejak akhir 1980-an. Model CUE didasarkan pada teori standar dalam tradisi ekonomi perkotaan sejak Alonso (1964) membahas kerangka khas model keseimbangan pasar parsial (Takagi, et al., 1999; Ueda, et al., 1993; Yamasaki, et al., 2007; Ueda, et al., 2013), sehingga dapat mengevaluasi kebijakan perkotaan yang konsisten dengan ekonomi kesejahteraan, khususnya, dengan analisis biaya-manfaat. Meskipun Wegener (2003) telah meninjau perkembangan terakhir di bidang operasional model LUTI, ia belum mempertimbangkan model CUE. "Model CUE dapat diartikan sebagai bentuk lanjutan dari model perkotaan yang dikembangkan berdasarkan model LUTI. Model CUE sepenuhnya didasarkan pada fondasi ekonomi mikro untuk mengatasi fitur yang tidak konsisten dalam model LUTI. Perilaku setiap agen ekonomi secara eksplisit diformalkan sebagai utilitas-max atau profit-max, dan interaksi baik di dalam maupun di luar pasar dimodelkan sebagai mekanisme

penyesuaian harga atau eksternalitas. Model CUE dapat menghasilkan serangkaian variabel yang menggambarkan ekonomi perkotaan yang nyata. Output dalam dimensi spasial dikategorikan menjadi dua kelompok. Tipe pertama adalah sekelompok variabel spesifik lokasi: distribusi pencari atau kegiatan termasuk rumah tangga dan perusahaan; distribusi penggunaan lahan termasuk perumahan, komersial, manufaktur, bisnis, pertanian, dan jenis lainnya; dan distribusi harga tanah / sewa dan harga bangunan / sewa. Tipe kedua adalah sekelompok variabel aliran: distribusi perjalanan penumpang yang dikumpulkan oleh pasangan tujuan asal, dengan moda transportasi, melalui jalur, atau melalui tautan dan simpul; dan distribusi kargo barang serta perjalanan penumpang". CUE dapat menghasilkan variabel-variabel ini dengan bekerja dengan model transportasi secara konsisten dengan teori ekonomi mikro. Model CUE terdiri dari banyak persamaan yang berasal dari utility-max dan profit-max. Ini menggunakan data ekonomi aktual untuk menganalisis ekonomi perkotaan yang nyata dan mengevaluasi kebijakan perkotaan. Meskipun demikian jika dibandingkan dengan model CGE, model CUE disederhanakan di sektor pasar untuk meningkatkan kemampuan implementasi untuk jaringan lalu lintas yang rumit dan zonasi kota, maka model CUE yang ada dapat diterapkan pada perencanaan transportasi, perencanaan penggunaan lahan, dan pembuatan kebijakan perkotaan yang lebih mudah " (Ueda, et al., 1993; Takagi, et al., 1999; Yamasaki, et al., 2007). Fitur dan peran ini sama dengan model kesetimbangan umum (CGE) yang dapat dipermasalahan. Namun, model CUE yang ada hanya menekankan keseimbangan pasar tanah, dan tidak termasuk keseimbangan tenaga kerja dan pasar komoditas; Artinya,

hukum Walras tidak berlaku dalam model CUE, tetapi memegang erat dalam model CGE, sementara itu tidak dalam model CUE karena fitur ekuilibrium pasar parsial model CUE. Ini adalah kekurangan bahwa model CUE konvensional tidak dapat mencerminkan perilaku ekonomi lengkap dari seluruh sistem perkotaan. Meskipun model CGE / CUE menyediakan kategori model transportasi penggunaan lahan yang menjanjikan yang dapat menggambarkan mekanisme interaksi dalam sistem perkotaan dengan lebih baik, model yang ada masih memiliki beberapa batasan. Model CUE dapat berkontribusi pada analisis dampak praktis untuk kebijakan perkotaan serta model CGE di domain kebijakan ekonomi lainnya.

### **Bentuk Umum Computable Urban Economic (CUE) Model**

Model CUE ditandai dengan fondasi ekonomi mikro dan oleh keseimbangan spasial berdasarkan ekonomi perkotaan. Setiap agen ekonomi menuntut atau memasok tanah, bangunan, layanan transportasi, dan barang-barang lainnya di lokasi pilihan. Agen ekonomi footloose memilih lokasi di mana utilitas atau keuntungan adalah yang tertinggi di antara semua lokasi dalam sistem perkotaan. Sewa tanah dan bangunan di setiap lokasi (zona) yang mencapai keseimbangan permintaan-penawaran di lokasi ditentukan secara bersamaan. Ketika ekonomi perkotaan berada dalam keseimbangan, tingkat utilitas atau keuntungan yang dicapai untuk setiap jenis agen disamakan di antara lokasi (zona)." "Model CUE dapat mensimulasikan ekonomi perkotaan yang nyata serta model perkotaan lainnya. Namun, itu berbeda dari mereka karena outputnya sepenuhnya konsisten dengan indikator manfaat yang digunakan dalam analisis biaya-manfaat praktis. Model CUE, model interaksi

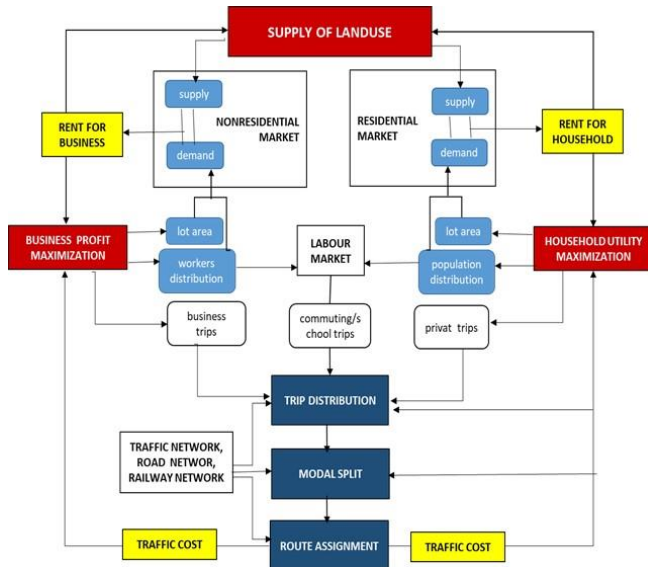
transportasi penggunaan lahan berdasarkan teori ekonomi mikro, adalah model ekuilibrium statis yang diusulkan oleh Ueda (1991), Ueda (1992), Muto et al. (2000), dan Ueda et al. (2013), kerangka dasarnya umumnya digunakan di Jepang. Model dalam penelitian ini, yang sangat cocok untuk analisis wilayah metropolitan, berasal dari kerangka model di atas yang diusulkan di Yamasaki et al. (208). Struktur model CUE ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam model tersebut, ada tiga agen, yaitu rumah tangga, perusahaan, dan pemilik tanah yang tidak hadir. Rumah tangga dan perusahaan berusaha memaksimalkan utilitas atau pendapatan mereka dengan mengubah lokasi mereka. Konsumsi dan investasi dalam perjalanan dan tanah akan terus berubah sampai pasar darat dan pasar transportasi di setiap zona mencapai keadaan keseimbangan. Nilai-nilai seperti sewa dan biaya transportasi umum juga mencapai keadaan ekuilibrium, yang menyiratkan bahwa agen tidak dapat menikmati tingkat utilitas atau pendapatan yang lebih tinggi di zona selain yang sekarang.

### **Asumsi Umum Computable Urban Economic (CUE) Model**

Model "CUE memiliki asumsi utama tertentu yang tercantum di bawah ini, (Ueda, et. Al. 2012)

- (i). Ketiga agen tersebut adalah pemilik rumah tangga, perusahaan, dan pemilik tanah yang tidak hadir di mana setiap rumah tangga dianggap sebagai orang dengan preferensi yang sama, dan setiap perusahaan dianggap sebagai karyawan tanpa klasifikasi industri.
- (ii). Metropolitan dibagi menjadi beberapa zona dan masing-masing zona memiliki masa depan geografis dan ekonomi yang homogen.

- (iii). Model keseluruhan mencapai keadaan ekuilibrium ketika pasar tanah dan pasar transportasi mencapai keseimbangan. Keadaan ekuilibrium di pasar tanah dan pasar transportasi didasarkan pada utilitas yang sama dan prinsip waktu perjalanan yang sama masing-masing.
- (iv). Rumah tangga dan perusahaan mengalokasikan diri dengan memaksimalkan utilitas dan keuntungan mereka. Namun, biaya tambahan karena perilaku relokasi tidak dipertimbangkan.



**Gambar 1 :** Bentuk Struktur CUE Model  
 Source: Yamamoto, et al. 2017

### Formulasi CUE Model

Cakupan spasial ekonomi perkotaan dibagi menjadi beberapa zona. Zona adalah daerah yang memiliki fitur geografis dan ekonomi homogen. Label untuk zona, oleh karena



itu, menunjukkan lokasi. Ada pasar tanah dan pasar bangunan di setiap zona. Agen ekonomi footloose dalam model disebut locator. Locator dapat memilih lokasi di mana dia mengkonsumsi atau memproduksi barang. Locator dikategorikan ke dalam beberapa jenis. Jumlah total locator untuk setiap jenis adalah eksogen dalam model. Model ini, oleh karena itu, menggambarkan ekonomi kota tertutup berdasarkan ekonomi perkotaan.

Di setiap zona, ada pasar tanah dan pasar bangunan di mana harga ekuilibrium unik ditentukan. Pemasok bangunan di setiap zona adalah pengembang perwakilan khusus untuk zona tersebut. Pemasok di pasar tanah di setiap zona adalah pemilik tanah yang tidak hadir. Setiap pemilik tanah menyediakan ruang tanah yang memiliki fitur geografis dan ekonomi yang homogen. Jenis pemilik tanah dengan demikian merupakan label untuk jenis tanah. Pemasok berperilaku untuk memaksimalkan keuntungan mereka. Ketika pendapatan dari pasokan tanah atau bangunan memiliki keacakan, pemasok mengalokasikan ruang tanah atau bangunan dengan pilihan stokastik. Setiap pencari menuntut untuk membangun ruang untuk memaksimalkan utilitas atau keuntungannya di zona apa pun. Mengingat distribusi tingkat utilitas tidak langsung atau keuntungan di antara semua zona, locator memilih zona di mana dia dapat menikmati tingkat utilitas tidak langsung atau keuntungan tertinggi. Karena distribusi tingkat utilitas tidak langsung atau keuntungan termasuk keacakan, perilaku pilihan lokasi adalah stokastik. Model logika digunakan untuk mewakili pilihan diskrit zona untuk menemukan locator. Keadaan ekuilibrium ekonomi perkotaan didefinisikan dengan dua kondisi. Salah satunya adalah bahwa setiap pencari tidak memiliki insentif

untuk pindah atau mengubah lokasinya. Dengan kata lain, locator tidak dapat menikmati tingkat utilitas tidak langsung atau keuntungan yang lebih tinggi di zona lain daripada di zona saat ini. Kondisi lainnya adalah bahwa keseimbangan permintaan-penawaran atau pembukaan pasar tanah dan bangunan di zona manapun dicapai secara bersamaan.

### **Kebutuhan Agent's untuk Ruang Bangunan**

Seorang agen memaksimalkan utilitasnya dengan memilih konsumsi ruang bangunan / tanah dan barang-barang lainnya dengan kendala pendapatan di lokasi yang dipilih. Jika agen adalah perusahaan, utilitas diganti dengan keuntungan. Maksimalisasi utilitas atau keuntungan agen memperoleh permintaan individu untuk bangunan / ruang tanah. Permintaan Agent  $k$  yang berada di zona  $I$  untuk ruang bangunan dilambangkan dengan  $Q_{ik} = q(R_i, e_i, E_i, \alpha_k Y_k)$ , yang merupakan fungsi dari pendapatan  $Y_k$  dan sewa bangunan  $R_i$ . Bentuk tertentu dari fungsi permintaan individu  $q_{ik} = q(R_i, e_i, E_i, \alpha_k Y_k)$  dapat berasal dari utilitas tidak langsung yang sesuai atau fungsi keuntungan  $V_{ki} = V(R_i, E_i, E_i, \alpha_k, Y_k)$ , seperti yang dibuktikan dalam kasus identitas Roy atau lemma Hotelling dalam buku teks standar ekonomi mikro seperti Vairan (1992). "Oleh karena itu, kita harus menentukan fungsi  $q_{ik} = q(R_i, e_i, E_i, \alpha_k Y_k)$  dan  $V_{ki} = V(R_i, e_i, E_i, \alpha_k, Y_k)$  secara konsisten satu sama lain dalam setiap aplikasi model. Fitur geografis / ekonomi endogen  $e_i = e_i(N)$  dan variabel eksogen lainnya  $E_i, \alpha_k$  termasuk dalam fungsi.

## Prilaku Pemilihan Lokasi

Utilitas tidak langsung atau keuntungan yang dapat dicapai oleh pencari di lokasi atau di zona dengan mengoptimalkan ruang bangunan individu adalah daya tarik zona untuk pencari. Pilihan lokasi di antara zona diformalkan dengan model terbesar. Model logika berasal dari masalah maksimalisasi berikut seperti yang ditunjukkan Miyagi (1986) dan Oppenheim (1995).

$$S(V_k, \theta_k) = \max_{a_k} \sum_{i \in I_k} \left\{ a_{ki} V_{ki} - \left( \frac{1}{\theta_k} \right) a_{ki} (\ln a_{ki} - 1) \right\}, \quad (2.1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i \in I_k} a_{ki} = 1,$$

$$S(V_k, \theta_k) = \left( \frac{1}{\theta_k} \right) \ln \left\{ \sum_{i \in I_k} \exp(\theta_k V_{ki}) \right\}, \quad (2.1)$$

$$\text{and } a_{ki}(V_{ki}, \theta_k) = \frac{\exp(\theta_k V_{ki})}{\sum_{i' \in I_k} \exp(\theta_k V_{ki'})}. \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial \pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)}{\partial P_i} = -L_i^D(R_i, P_i, Z_i, \beta) \quad (2.4)$$

Fungsi log-sum dalam Eq. (2a), yang merupakan nilai maksimal yang diperoleh oleh pemrograman dalam Eq. (1a, 1b), adalah nilai yang diharapkan dari daya tarik tertinggi di antara zona. Ini adalah ukuran kesejahteraan untuk setiap jenis pencari. Pilihan lokasi deterministik berdasarkan ekonomi perkotaan

adalah kasus khusus Eq. (1a, 1b) di mana  $\theta_k$  positif tak terbatas dan kita dapat mengabaikan apa yang disebut istilah entropi aki  $(\ln aki - 1)$  di sisi kanan.

### **Permintaan Tanah dan Pasokan Ruang Bangunan / Tanah**

Pasokan agregat untuk membangun ruang di setiap zona berasal dari keuntungan pengembang perwakilan untuk zona tersebut dengan menggunakan lemma Hotelling." Pasokan bangunan di zona  $i$ ,  $Q(R_i, P_i, Z_i, \beta)$ , berasal dari keuntungan  $\pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)$  sebagai,

$$\frac{\partial \pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)}{\partial R_i} = Q(R_i, P_i, Z_i, \beta) \quad (2.5)$$

Ruang lahan adalah masukan untuk produksi bangunan dalam model CUE. Permintaan agregat untuk ruang tanah di setiap zona berasal dari keuntungan pengembang perwakilan di zona tersebut. Permintaan tanah di zona  $i$ ,  $L^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)$ , berasal dari keuntungan  $\pi^D(R_i, P_i, Z_i, \beta)$ . Dengan cara yang sama, seperti pasokan bangunan, pasokan agregat untuk ruang tanah di setiap zona berasal dari keuntungan pemilik tanah untuk zona tersebut. Pasokan tanah di zona  $i$ ,  $L^S(P_m, W_m, \gamma)$ , berasal dari keuntungan  $\pi^L(P_m, W_m, \gamma)$  sebagai,

$$\frac{\partial \pi^L(P_m, W_m, \gamma)}{\partial P_i} = L_i^S(P_m, W_m, \gamma) \quad (2.6)$$

## Keseimbangan

Keadaan ekuilibrium ekonomi perkotaan yang dijelaskan oleh model CUE didefinisikan dengan kondisi, termasuk distribusi pencari di antara zona, penyeimbangan permintaan-penawaran ruang bangunan di setiap zona, dan penyeimbangan permintaan-penawaran ruang tanah di setiap zona. Mereka diformalkan sebagai berikut:

Distribusi locator antar zona:

$$N_{ki} = N_{kT} a_{ki} \quad \text{for all } i \in \{1, \dots, I\} \text{ and for all } k \in \{1, \dots, K\}, \quad (2.7)$$

$$a_{ki} = \frac{\exp(\theta_k V(R_i, e_i(N), E_i, \alpha_k, Y_k))}{\sum_{i' \in I_k} \exp(\theta_k V(R_{i'}, e_{i'}(N), E_{i'}, \alpha_k, Y_k))}, \quad (2.8)$$

Keseimbangan permintaan-penawaran dari ruang bangunan:

$$\sum_{k \in K} N_{kT} a(V_{k1}(\cdot), \dots, V_{kI}(\cdot), \theta_k; i) q(R_i, e_i, E_i, \alpha_k, Y_k) + Q(R_i, P_i, Z_i, \beta) = 0$$

$$\text{Untuk semua } i \in \{1, \dots, I\} \quad (2.9)$$

Keseimbangan Permintaan–Penawaran dari luasan lahan :

$$L_i^S(P_m, W_m, \gamma) - L_i^D(R_i, P_i, Z_i, \beta) = 0 \quad \text{for all } i \in \{1, \dots, I\} \quad \text{and } m \in \{1, \dots, M\} \quad (2.10)$$

Catatan  $P_m$  adalah sebuah vector, sedangkan  $P_i$  is adalah sebuah skalar.

## Pengembangan CUE Model di Beberapa Negara

Model CUE telah dikembangkan dan diterapkan di banyak negara untuk analisis dampak kebijakan perkotaan dan kebijakan transportasi, peraturan penggunaan lahan, dan proyek

investasi infrastruktur. Ada beberapa jenis model yang diklasifikasikan sebagai model CUE yang telah dikembangkan dan diterapkan ke daerah perkotaan di Jepang. Berikut ini adalah beberapa model CUE yang telah dikembangkan di Jepang, (Ueda, et al., 2012)

- i. Model Pilihan Diskrit Dua Sisi (Model DSDC)
- ii. Model Permintaan Lahan Diskrit-Kontinu (Model DCLD)
- iii. Random Utility/Rent-Bidding Analysis Model (RurBAN Model)
- iv. Membangun Model Penyeimbangan Permintaan-Penawaran (Model BDSB)
- v. Model Pasokan Tanah Kon diskrit terus menerus (Model CDLS)
- vi. Keluarga Model Ekonomi Perkotaan Neo-Computable (Keluarga Model NCUE)
  - a. CUE untuk Proyek Perbaikan Sungai (R-CUE)
  - b. CUE untuk Gifu Urban Area (G-CUE)
  - c. CUE oleh Value Management Institute (VM-CUE).

Double-Side Discrete Choice Model (model DSDC) ditandai dengan fitur yang tidak hanya pilihan lokasi pencari lokasi, tetapi juga alokasi tanah untuk setiap jenis locator diformalkan oleh model terbesar. Baik sisi locator (sisi permintaan ruang bangunan) dan sisi pemilik tanah (sisi penawaran tanah) dengan demikian secara bersamaan dimodelkan oleh model pilihan diskrit. Discrete-Continuous Land Demand Model (model DCLD) telah dimodelkan sedemikian rupa sehingga locator pertama memilih lokasi sebagai zona diskrit dan kemudian menentukan permintaan untuk tanah (ruang bangunan) sebagai variabel kontinu. Pilihan dua tingkat dalam pendekatan ini disebut Discrete-Continuous

Choice. Karena model ini telah menyederhanakan sisi penawaran tanah untuk terutama fokus pada sisi permintaan, model ini ditandai dengan Discrete-Continuous Land Demand. Random Utility / Rent-Bidding Analysis Model (model RURBAN) secara bersamaan didasarkan pada teori utilitas acak dan teori penawaran acak dalam formulasi aslinya. Formulasi asli mengandung inkonsistensi dengan mekanisme harga dalam keseimbangan pasar. Oleh karena itu, makalah ini merumuskan kembali model RURBAN untuk menyelesaikan inkonsistensi. Building Demand-Supply Balancing Model (model BDSB) telah termotivasi dengan meresmikan pasar bangunan secara eksplisit. Pemodelan pasar bangunan adalah jantung dari analisis untuk munculnya bangunan bertingkat tinggi, terutama di pusat kota. Continuous-Discrete Land Supply Model (model CDLS) ditandai dengan struktur pilihan dua tingkat dalam pasokan tanah. Model ini mengasumsikan bahwa pemilik tanah pertama menentukan jumlah total pasokan tanah sebagai variabel kontinu dan kemudian mengalokasikan jumlah setiap jenis locator dengan pilihan diskrit (model logit). Model ini sangat unik dan mewakili perilaku pilihan Continuous-Discrete dari pemilik tanah. Neo-Computable Urban Economic Model Family (NCUE Model Family) terdiri dari model CUE yang telah kami kembangkan. Ueda, dkk. Telah diulas semua model CUE yang dirangkum dalam Tabel 2.1 di bawah ini. Ueda, dkk. Menyatukan model, lebih tepatnya, masing-masing model adalah kasus khusus dari model umum dengan spesifikasi utilitas tidak langsung, keuntungan, permintaan, dan fungsi penawaran, yang mencerminkan beberapa kepentingan khusus dalam aplikasi untuk analisis dampak kebijakan perkotaan. Untuk memberikan wawasan yang jelas tentang hubungan

antara model-model ini, kami membandingkan setiap model dengan yang lain dari sudut pandang bentuk fungsi matematika dan programabilitas kesetimbangan. Karena setiap model dalam keluarga model CUE adalah kasus khusus dari bentuk umum, kombinasi bagian yang digunakan dari model yang berbeda dapat menjadi anggota baru keluarga. Dengan kata lain, beberapa bagian dari model anggota dapat diganti dengan bagian yang sesuai dalam model anggota lain dalam keluarga model CUE. Terutama fungsi pasokan tanah agregat dapat digunakan secara bergantian di antara model dalam keluarga model CUE. Oleh karena itu, berdasarkan hasil di atas, disimpulkan bahwa banyak bentuk model CUE memberikan peluang untuk diterapkan di tempat lain seperti Indonesia.

Selain itu, aplikasi Geographic Information System (GIS) adalah alat yang sangat berguna untuk memvisualisasikan batas-batas ekonomi di sekitar jalan bebas hambatan. GIS memiliki kemampuan unik dalam mengelola dan memanipulasi data yang direferensikan secara spasial dan menyajikannya dalam format grafis yang mudah dipahami, yang memberikan indikasi visual instan dengan memanggil peta dengan informasi yang relevan ditampilkan secara grafis melalui penggunaan perbedaan, ketebalan, atau jenis penetasan. Pendekatan yang disajikan dalam makalah ini dapat diuji lebih lanjut dengan bantuan aplikasi GIS dalam memberikan gambaran yang jelas tentang bentuk batas. Pendekatan yang paling sederhana melibatkan downscaling proporsional (setiap unit dalam agregat mewarisi tingkat pertumbuhan yang sama). Tapi ini mengabaikan banyak informasi yang berguna dan dapat mengakibatkan proyeksi yang tidak masuk akal, misalnya, di mana negara berkembang berakhir dengan PDB / kapita, dua kali lebih tinggi dari negara



maju. . Dengan demikian kompromi saat ini adalah dengan menggunakan kombinasi optimasi dan teknik statistik untuk hasil kelas bawah model ekonomi ke grid. Salah satu contoh terbaru dari karya ini adalah upaya di NASA yang menurunkan hasil global dalam dua langkah (Grübler et al., 2007) penelitian ini, terutama tentang iklim. Sistem informasi geografis akan menjadi organisasi data utama model perkotaan. Disregasi spasial penggunaan lahan dan data jaringan transportasi di raster GIS akan memungkinkan hubungan antara model transportasi penggunaan lahan. (Wagner, 1999).

## **KESIMPULAN**

Makalah ini meninjau sistem regional dan transportasi masa depan dengan menggunakan metodologi baru yang diusulkan untuk menganalisis karakteristik penggunaan lahan yang ada dan pengembangan penggunaan lahan di masa depan. Metode CUE akan menyederhanakan analisis data penggunaan lahan dengan menggunakan gambar satelit (google earth). Data penggunaan lahan pada skala spasial terperinci yang sulit dievaluasi terutama di negara-negara Asia dan ASEAN dapat diperoleh dengan menggunakan metodologi yang diusulkan. Hal ini memungkinkan untuk pengembangan klasifikasi penggunaan lahan pada skala dengan menggunakan gambar satelit seperti Google Earth. Perubahan penggunaan lahan akan diprediksi dengan menggunakan metodologi baru untuk klasifikasi penggunaan lahan pada skala spasial rinci menggunakan gambar satelit. Kegiatan penggunaan lahan saat ini di daerah tersebut akan diperoleh dengan menggunakan Perangkat Lunak MapInfo dan akan dibandingkan dengan perkiraan pengembangan penggunaan lahan untuk

mengevaluasi perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan yang mempengaruhi permintaan transportasi di masa depan akan diprediksi dengan menggunakan model CUE. Efek dari perubahan penggunaan lahan dalam pengembangan transportasi di masa depan akan diprediksi. Pengembangan penggunaan lahan dan pengembangan transportasi dapat diperkirakan secara bersamaan. Permintaan perjalanan untuk wilayah tersebut akan diperoleh untuk mengevaluasi hasil layanan jaringan jalan.

## REFERENCES

- Ueda, Tsutsumi, Muto, Yamasaki, (2012), Unified Computable Urban Economic Model
- Ueda, Morito, Muto, Yamasaki, (2009), Computable Urban Economic Models in Japan
- Robson, Wijayaratna, Dixit, (2018), A Review of Computable General Equilibrium Models for Transport and Their Application in Appraisal
- Hayati, (2016), Basic Understanding of Computable General Equilibrium (CGE) Analysis
- Yusuf, (2008), Indonesia-E3, an Indonesian Applied General Equilibrium Model for Analyzing the Economy, Equity, and the Environment
- Yamamoto, Koike, Miyamoto, Tomokuni (2017), Development of A CUE Model ConsidHeterogeneousgenous Household
- Anas, Liu (1978) A Regional Economy, Land Use, and Transportation Model (RELU-TRAN@): Formulation, Algorithm Design, and Testing
- Chen, Tsutsumi, Yamasaki, Iwakami, (2013), An Impact AAnalysisof the Taiwan Taoyuan International Airport

Access MRT System – Considering the interaction  
Between Land Use and Transportation Behaviour,  
Annabi, Cockburn, Decaluwé (2006), Functional Forms and  
Parametrization of CGE Model  
Annabi, Cockburn, Decaluwé, (2017), Functional Forms  
Commonly Used in CGE Models  
Beimborn, Horowitz, Vijaya, and Bordewin, (1999), Land Use  
and Economic Development in Statewide Transportation  
Planning  
Hertel, Rose, S. J. Tool, (2007), Land uses in CGE Models an  
Overview  
Veda, Nakamura, and Shimizu, (1996), GIS Integrated System  
for Urban Transport and Development  
Duthie, Kockelman, Valsaraj, Zhou, (1998), Application of  
Integrated Models of Land Use and Transport  
Wegener, (2001), Current and Future Land Use Models  
Pendyala, C. Konduri, Chiu, Hickman, Noh, Waddell, Wang,  
You, and Gardner, (2015), Integrated Land Use Transport  
Model  
Small, (1988), Modeling Land Use and Transportation An  
Interpretative Review for Growth Areas  
Wegener, (1999), Overview of Land Use Transport Models  
Moeckel, (2018), Integrated Transportation and Land Use  
Models  
Capelle, (2017), Development of optimization methods for land-  
use and transportation models  
American Association of State Highway and Transportation  
Officials (AASHTO), (2005), Handbook for Integrating  
Land Use Considerations into Transportation Projects to  
Address Induced Growth

- Quiroga, Li, Koncz, and Overman, (2009), Analysis and Integration of Spatial Data for Transportation Planning
- Johnston, Mishael C MC Coy, (2006), Integrated Transportation Land Use Models
- Miyagi, (1997), Recent Developments in Multiregional General Equilibrium Modelling: Economic-Transportation Interaction Models
- Koike, Tavasszy, and Sato, (2015), Spatial Equity Analysis on Expressway Network Development in Japan Empirical Approach Using the Spatial Computable General Equilibrium Model RAEM-Light General Equilibrium Model RAEM-Light
- Takagi A, Muto S, Ueda T, (1999), The benefits evaluation of urban transportation improvements with the computable urban economic model.

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



**Zainal Abidin**

**Email : [zainal.abidin@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:zainal.abidin@ft.um-surabaya.ac.id)**

**Dosen Teknik Sipil – Fakultas Teknik**

Universitas Muhammadiyah  
Surabaya

**Zainal Abidin**, lahir di Pasuruan pada 16 Oktober 1963, menempuh pendidikan S1 dan mendapatkan gelar Sarjana pada tahun 1988 dari jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Melanjutkan studi dengan program beasiswa British Council-Dirjen Bina Marga Dep Pekerjaan Umum di Program Pascasarjana Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung (ITB) dan mendapatkan gelar Magister Teknik pada tahun 1996. Saat ini sedang menmpuh Program Doktorat Teknik Sipil di Universiti Tun Husen Onn (UTHM) Malaysia. Tema riset dan disertasi yang sedang dikerjakan adalah pemodelan transportasi perkotaan dengan Computable Urban Economic Model (CUE Model). Kesibukannya saat ini adalah mengajar di Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surabaya, melakukan penelitian dan layanan keinsinyuran profesional sesuai bidang keahliannya terkait tema perencanaan transportasi berkelanjutan, transportasi perkotaan, pembangunan perkotaan berkelanjutan. Beberapa karya penelitian yang dipublikasikan antara lain:

1. Analysis of Urban Road Damage Assessment Using Surface Distress Index (SDI), Pavement Condition Index (PCI), and International Roughness Index (IRI) Methods, Review of International Geographical Education (RIGEO), 11(2), 699-715, 2021
2. Pedestrian Characteristics Study in Surabaya Using a Microscopic Method, MICON, 2021
3. A Study of Travel pattern in Surabaya Metropolitan Area, International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET) Volume 11, Issue 11, November 2020, pp. 994-1004, Article ID: IJARET\_11\_11\_092
4. Analisis Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Jl. Raya Nginden-Jl. Raya Panjang Jiwo Menggunakan PKJI 2014 Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil 2 (1), 23-28, 2019
5. Intercity Passenger Trip Generation In Jawa Corridor Based On National O-D Survey, Advanced Science Letters, Volume 24, Number 12, December 2018, pp. 9075-9080(6), Publisher: American Scientific Publishers



**PROF. Ts. Dr. MOHD IDRUS BIN  
MOHD MASIRIN**

**Email : [idruss@uthm.edu.my](mailto:idruss@uthm.edu.my)**

**Pensyarah Sanjung, Fakulti  
Kejuruteraan Awam daan Alam  
Bina, Universiti Tun Husen Onn,  
UTHM, Malaysia**

**PROF. Ts. Dr. Mohd Idrus bin Mohd Masirin**, menempuh pendidikan diploma dan mendapatkan gelar Diploma pada tahun 1981 dari jurusan Teknik Sipil, Universiti Teknologi Malaysia (UTM). Melanjutkan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Muda Muda Kejuruteraan Awam di University Han Yang Seoul, pada tahun 1988. Melanjutkan studi sarjana dan mendaapatkan gelar Sarjana Kejuruteraan Awam dari University of East London, tahun 1994, kemudian menempuh Program Doktorat Falsafah Kejuruteraan Awam dan mendapatkan gelar Doktor Falsafah Kejuruteraan Awam dari University of East London, tahun 2007. Kesibukannya saat ini adalah sebagai Gurubesar di Fakulti Kejuruteraan Awam dan Alam Bina, Universiti Tun Husen Onn (UTHM) Malaysia, memberikan layanan keinsinyuran profesional, sebagai anggota The Institution of Engineering and Technology (IET) dan Malaysia Board of Technologists (MBOT) dan melakukan penelitian dan sesuai bidang keahliannya terkait tema Transportation Engineering and Technology, Geotechnical Engineering and Technology, Railway Engineering and Management, Traffic and Safety, Highway Engineering and Technology, Human Resource Management, International Studies and Communication..



**Ts. Dr. JOEWONO PRASETIJO**

**Email :**

**[joewono@uthm.edu.my](mailto:joewono@uthm.edu.my)**

**Pensyarah Kanan, Fakulti  
Teknologi Kejuruteraan,  
Universiti Tun Husen Onn,  
UTHM, Malaysia**

**Ts. Dr. Joewono Prasetijo**, menempuh pendidikan diploma dan mendapatkan gelar Sajana Muda pada tahun 1993 dari jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, melanjutkan studi diploma lanjutan Transportation and Road Engineering for Development dan mendapatkan gelar Diploma Lanjutan dari IHE-DELFT UNIVERSITY OF TECH., HOLLAND, 1995, melanjutkan studi Sarjana science in Road Engineering dan mendapatkan gelar Sarjana Science in Road Engineering dari IHE-DELFT UNIVERSITY OF TECH., HOLLAND, tahun 1996, kemudian menempuh Program Doktor Falsafah Traffic Engineering dan mendapatkan gelar Doktor Falsafah Traffic Engineering dari RUHR - UNIVERSITAT BOCHUM, GERMANY, tahun 2007. Kesibukannya saat ini adalah sebagai Ketua Pusat Fakulti Teknologi Kejuruteraan, Pusat Kecemerlangan Industri - Rel (ICOE-REL), Ketua Kumpulan Fokus (FG) Fakulti Teknologi Kejuruteraan, Sustainable Transport and Safety Studies, Pensyarah Kanan di Fakulti Teknologi Kejuruteraan, Universiti Tun Husen Onn) Malaysia, memberikan layanan keinsinyuran profesional, sebagai anggota The Institution of Engineering and Technology (IET) dan Malaysia Board of Technologists (MBOT) dan melakukan penelitian dan sesuai bidang keahliannya terkait tema Highway Capacity Study and Traffic



Conflict Analysis for Unsignalized Intersections, Development of Traffic Safety Model: Identification Potential Hazardous Location and Accident Prediction Model (Batu Pahat, Johor), Traffic and Transportation Planning Engineering, Traffic Behaviour Study, Development and construction of smart/ mobile traffic light and early warning devices. Beberapa karya penelitian

# MENGENAL FUNDAMENTAL PROGRAMMING DENGAN DEVC++

**Nuniek Fahrani**

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Definisi dari algoritma pemrograman merupakan serangkaian langkah yang dibuat dengan terurut didalam pemrograman komputer dan kumpulan perintah untuk menyelesaikan masalah. Didalam sebuah program komputer, kita akan menuliskan *code*, sebuah instruksi yang akan dibaca dan dijalankan oleh komputer. Program tersebut ditulis dalam bahasa pemrograman. Inti dari sebuah program mengandung unsur IPO Model yaitu *Input*, *Proses*, dan *Output*. Dalam *book chapter* ini akan membahas bahasa pemrograman menggunakan bahasa C yang diimplementasikan menggunakan *software* DevC++. DevC++ adalah IDE (*Integrated Development Environment*) dengan C atau C++ dilengkapi dengan TDM-GCC (bagian dari GNU *Compiler Collection / GCC*). Implementasi sederhana dari pembuatan program bahasa C dengan DevC++ yaitu *code* program *input-output-variabel* dan *Binary-Arithmetic-Operator*.

**Kata kunci** : Algoritma, Pemrograman, DevC++, Code, IPO, C++.

## **PENDAHULUAN**

Sebelum kita mengetahui lebih jauh tentang *fundamental programming*. Kita terlebih dahulu mengetahui apa itu *programming* dan inti-inti dari program itu seperti apa, untuk mempersiapkan ketika melakukan *coding*. Definisi dari program adalah sebuah perintah yang akan dijalankan oleh komputer. Program adalah rangkaian instruksi dimana instruksi tersebut

berupa perintah yang disusun untuk melakukan suatu tugas yang akan dilakukan oleh komputer (Stair, 2003) (Abdul, 2017). Disusun berdasarkan algoritma pemrograman. Algoritma Pemrograman merupakan alur aturan atau *rule* yang dibuat secara sistematis dalam pemrograman komputer dan kumpulan perintah untuk menyelesaikan masalah (Gun, 2017) (Kani, 2020). Jadi didalam sebuah program komputer, kita akan menuliskan *code*, sebuah instruksi yang akan dibaca dan dijalankan oleh komputer. Program tersebut ditulis dalam bahasa pemrograman berupa serangkaian algoritma (Wilson, 1993). Sedangkan *programming* atau disebut juga sebagai *programmer*, adalah ketika seseorang atau seorang *programming* mengetik sebuah perintah atau menjalankan sebuah program untuk dijalankan oleh komputer. Seseorang *computer programmer* tentunya memiliki pemahaman tentang aturan bahasa yang digunakan oleh komputer seperti bahasa C++, Java dan atau bahasa pemrograman lainnya. Aturan bahasa tersebut adalah teknik komputer agar dapat memahami sesuai yang dituliskan, dikarenakan mesin komputer tidak memahami penggunaan bahasa sehari-hari atau bahasa manusia, maka dari itu, seorang programmer yang menyesuaikan dengan komputer. Bahasa komputer memiliki rule-rule model yang harus diikuti disesuaikan dengan petunjuk yang ada (Suprpto, Kadarisman, Totok, & Adi, 2008). Didalam *programming* ada sebuah *library*. *Library* adalah sebuah koleksi yang dapat dipakai oleh program komputer. Ketika kita melakukan programming maka kita akan memakai library, yang berisi *value* yang tinggal kita pakai saja dan juga *code-code* yang sudah dibuat sebelumnya (*build in*) kita tinggal panggil saja tidak perlu untuk membuat *code* ulang. Cara menjalankan sebuah program dengan *code* yang telah kita ketik

sebelum dijalankan akan di *compile* atau diterjemahkan menjadi bahasa mesin yang bisa dipahami komputer. Bahasa mesin yang dimengerti komputer itu 0 dan 1 yang disebut dengan *binary*, bilangan biner dibatasi oleh jumlah bit tertentu (Ronald, Neal, & Gregory, 2007). Sehingga, setelah diterjemahkan kedalam bahasa komputer maka program akan dijalankan oleh komputer. Inti dari sebuah program mengandung unsur IPO Model yaitu Input, Proses, dan Output. Dalam *book chapter* ini akan membahas bahasa pemrograman menggunakan bahasa C (Adam, 2017) (Steve, 1997) Karena bahasa C itu sangat *power full* mulai dari pointer dll itu ada di bahasa C dan bisa membuat *operating systemnya*. Sedangkan *software* yang digunakan untuk latihan implementasi algoritma pemrograman akan kita pakai DevC++ (Syaiful, Indah, Zuraidah, & Ummu, 2021) (Budi, 2014).

## METODOLOGI

Prinsip yang digunakan dalam *fundamental programming* dengan DevC++, menerapkan struktur dasar algoritma, memahami fungsi struktur dasar dari C++, dan mengenal serta melakukan instalasi *software* DevC++. Berikut metodologi tahapan yang perlu dipahami dalam *fundamental programming* dengan DevC++ yaitu :

### 1. Struktur Dasar Algoritma

Struktur dasar langkah algoritma terdiri dari :

- o Runtutan aksi (*sequence*)

Digunakan dalam *coding* pemrograman dimana pernyataan sesuai urutan.

- Penyeleksian aksi (*selection*)  
Untuk *coding* pemrograman dimana penggunaannya untuk menyeleksi *condition*.
- Pengulangan (*iteration*)  
Untuk *coding* pemrograman dimana pernyataan dieksekusi secara berulang.

## 2. Struktur Dasar C++

Seperti *rule* pemrograman bahasa C bahwa *rule* pemrograman pada bahasa C++ memiliki berbagi blok *function* dengan satu *function* terdapat satu atau beberapa pernyataan yang mengeksekusi perintah tertentu. Berikut adalah struktur algoritma pada Gambar 1.

```
#include<file-include>
Void main ()
{
    Pernyataan;
}
```

**Gambar 1.** Struktur Dasar C++

## 3. Software DevC++

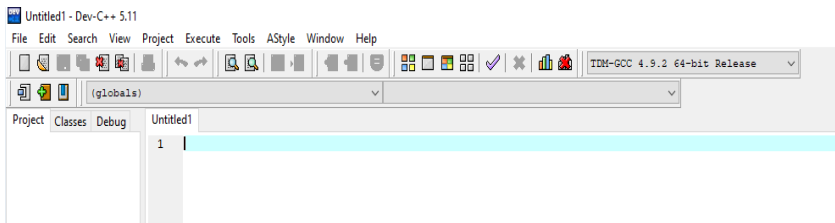
DevC++ merupakan bagian IDE (*Integrated Development Environment*) C atau C++ memiliki TDM-GCC (merupakan bagian GNU *Compiler Collection* (GCC)), adalah IDE gratis dan *full feature* diterbitkan dibawah lisensi GNU (*General Public Lisence*) untuk program bahasa C dan bahasa C++. Berikut merupakan gambar simbol dari *software* DevC++ pada Gambar 2 dibawah ini:



**Gambar 2.** Logo DevC++

#### 4. Memulai DevC++

Setelah selesai terinstall *software* DevC++ akan tampil halaman editor. Berikut adalah tampilan halaman editor atau lembar kerja DevC++ :



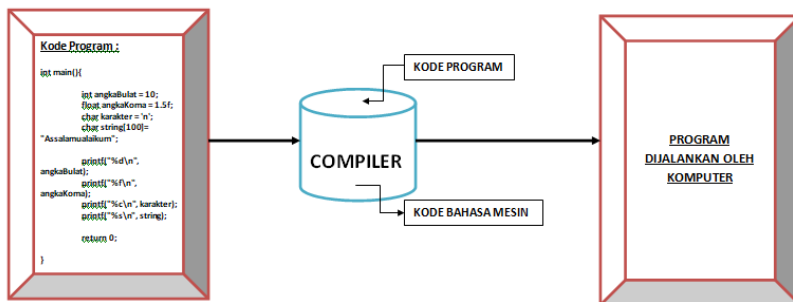
**Gambar 3.** Lembar Kerja DevC++

## TELAAH PUSTAKA

### Mengenal dasar-dasar pemrograman C++

C++ merupakan *language* program dibuat oleh Bjarne Stroustrup di tahun 1980an dimana dikembangkan berdasarkan C pada tahun 1970an. *Language* tersebut dibuat dari turunan bahasa sebelumnya yakni B, untuk memudahkan menu-menu program C++ dibuat secara efektif dalam bentuk program level rendah (*low level coding*), diberikan unsur baru dengan contoh adanya penambahan *class*. Perbedaan *fundamental* dengan C

yaitu mengandung unsur program berorientasi obyek (*Object Oriented Programming*). Sedangkan algoritma merupakan teknik, aturan yang terstruktur digunakan untuk memecahkan masalah. Dan pemrograman adalah runtutan membuat program pada komputer melalui aplikasi *software* (sesuai kebutuhan) dengan mengimplementasikan algoritma dan struktur data menerapkan bahasa pemrograman. Sedangkan struktur data merupakan suatu lokasi menyimpan data yang diakses program oleh komputer. Kode program yang telah diketikkan kemudian di *compile* untuk dijalankan oleh komputer. *Compile* yaitu menterjemahkan *code* program yang diketik memakai bahasa pemrograman diubah menjadi bahasa mesin yang dimengerti oleh komputer maka komputer akan memahami apa yang dilakukan. Berikut adalah gambar mekanisme dari eksekusi program pada komputer :



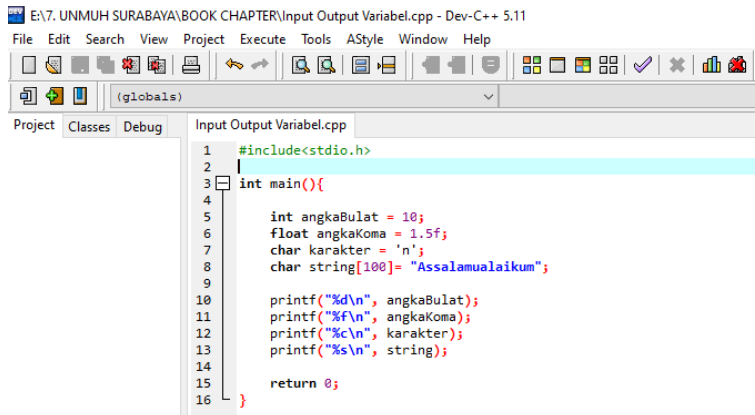
**Gambar 4.** Mekanisme Eksekusi Program Komputer

## HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

### Implementasi Program Sederhana Dengan DevC++

#### 1. Input, Output dan variabel

File save as dengan nama : *input output variabel*. Ketika kita menjalankan sebuah program maka program akan mencari fungsi *main* (telah dijabarkan pada struktur dasar C++ ). Karena pada program ini menggunakan *input* dan *output*, maka harus memanggil *library* terlebih dahulu. File *library* nya adalah **#include<stdio.h>** dimana *stdio* adalah *standart-inpu-output* sedangkan *.h* adalah *header*. Sedangkan variabelnya adalah *int=integer, float, dan char*. Instruksi program yang menjadi *output* pada program ini adalah **printf**. Pada Gambar 5 dibawah ini adalah penulisan *coding* dalam DevC++ dan hasil *compile* dan *run* pada Gambar 6.

The image shows a screenshot of the DevC++ IDE. The title bar reads 'E:\7. UNMUH SURABAYA\BOOK CHAPTER\Input Output Variabel.cpp - Dev-C++ 5.11'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Search', 'View', 'Project', 'Execute', 'Tools', 'AStyle', 'Window', and 'Help'. The toolbar contains various icons for file operations, execution, and window management. The main editor window shows the following C++ code:

```
1 #include<stdio.h>
2
3 int main(){
4
5     int angkaBulat = 10;
6     float angkaKoma = 1.5f;
7     char karakter = 'n';
8     char string[100] = "Assalamualaikum";
9
10    printf("%d\n", angkaBulat);
11    printf("%f\n", angkaKoma);
12    printf("%c\n", karakter);
13    printf("%s\n", string);
14
15    return 0;
16 }
```

Gambar 5. Code Input Output dan Variabel



```
E:\7. UNMUH SURABAYA\BOOK CHAPTER\Input Output Variabel.exe
10
1.500000
n
Assalamualaikum
-----
Process exited after 0.09584 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

**Gambar 6.** Hasil Compile dan Run

## 2. Binary, Arithmetic Operator

Binary, arithmetic dan operator memiliki fungsi berbeda ketika kita akan membuat code program. *Arithmetic* operator nya adalah + (tambah), - (kurang), \* (kali), / (bagi), dan % (modulus). *Binary* terdiri dari dua angka 0 dan 1 yang dipakai oleh komputer kita untuk menjalankan instruksi dan program yang kita buat. Jadi ketika di *compile* itu, menjadi 0 1 01 (berupa Binary) menjadi bahasa yang dimengerti oleh komputer. Berikut adalah penulisan program dengan instruksi Binary dan Arithmetic Operator : Gambar 7 adalah penulisan *coding* dan Gambar 8 adalah hasil *compile* dan *run*.

```
E:\7. UNMUH SURABAYA\BOOK CHAPTER\Binary Aritmathic Operator.cpp - Dev-C++ 5.11
File Edit Search View Project Execute Tools AStyle Window Help
(globals)
Project Classes Debug Input Output Variabel.cpp Binary Aritmathic Operator.cpp
1 #include<stdio.h>
2
3 int main()
4
5     printf("ini tambah : %d\n", 3+4);
6     printf("ini kurang : %d\n", 6-2);
7     printf("ini kali : %d\n", 4*4);
8     printf("ini bagi : %d\n", 10/2);
9     printf("ini bagi (desimal) : %f\n", 5.0/2.0);
10    printf("Arithmetic : (%d+%d)/%d = %d\n", 5, 2, 3, (5+2)/3);
11
12    printf("AND : %d\n", 6&5);
13    printf("OR : %d\n", 6|5);
14    printf("XOR : %d\n", 6^5);
15    printf("Shift Right : %d\n", 6>>2);
16    printf("Shift Left : %d\n", 6<<2);
17
18    return 0;
19
20
```

Gambar 7. Coding Arithmetic Operators

```
E:\7. UNMUH SURABAYA\BOOK CHAPTER\Binary Aritmathic Operator.exe
ini tambah : 7
ini kurang : 4
ini kali : 16
ini bagi : 5
ini bagi (desimal) : 2.500000
Arithmetic : (5+2)/3 = 2
AND : 4
OR : 7
XOR : 3
Shift Right : 1
Shift Left : 1

-----
Process exited after 0.8949 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

Gambar 8. Hasil Compile dan Run

Didalam bahasa C dan C++ yang diimplementasikan dengan software DevC++ selain program untuk *input-output-variabel* dan *binary-arithmetic operator* ada beberapa Fundamental

algoritma yang perlu dipahami untuk membuat sebuah program didalam *code-code*, berikut tabel daftar fundamental algoritma :

**Tabel 1.** Daftar Fundamental Algoritma

No	Fundamental Algoritma
1	Input, Output, Variable
2	Binary, Arithmetic Operator
3	Selection
4	Looping
5	Array
6	Array 2D
7	Function and Pointer
8	Fibonacci
9	Sorting
10	Searching
11	Struct
12	File Processing

## KESIMPULAN

Setelah memahami prinsip dasar atau fundamental algoritma program dengan DevC++ berupa *input*, *output*, *variable* dan *binary*, *arithmetic operator* selanjutnya kita bisa mempelajari topik lain sesuai daftar tabel *fundamental* algoritma yang telah disajikan. Sehingga didalam kita membuat *code programming* akan mempermudah langkah kita dalam menuliskan instruksi program. Program pada umumnya diartikan merupakan sekumpulan instruksi atau perintah yang ditata sedemikian rupa sehingga memiliki urutan logika dengan tujuan menyelesaikan suatu persoalan yang dimengerti oleh komputer.

## REFERENCES

- Abdul, K. (2017). *Dasar Logika Pemrograman Komputer*. Elex Media Komputindo.
- Adam, M. B. (2017). *Pemrograman C dan C++*. Bandung: Informatika.
- Budi, R. (2014). *Pemrograman C++ Edisi Revisi*. Bandung: Informatika.
- Gun, G. M. (2017). PEMBELAJARAN DASAR ALGORITMA DAN PEMROGRAMAN MENGGUNAKAN ELGORITMA BERBASIS WEB. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)* , 69-73.
- Kani. (2020). *Algoritma dan Pemrograman*. Tangerang Selatan: Universitas terbuka.

- Ronald, J. T., Neal, S. W., & Gregory, L. M. (2007). *Digital Systems Principles and Applications. Tenth Edition.* Pearson Education International.
- Stair, R. M. (2003). *Principles of Information Systems, Sixth Edition.* Thomson Learning, Inc.
- Steve, O. (1997). *Practical C Programming, 3rd Edition.* O'Reilly Media, Inc.
- Suprpto, Kadarisman, T. Y., Totok, S., & Adi, D. (2008). *Bahasa Pemrograman untuk SMK.* Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional .
- Syaiful, A., Indah, Y., Zuraidah, F., & Ummu, H. (2021). *Cara Mudah Belajar Bahasa Pemrograman C++.* UB Press.
- Wilson, L. B. (1993). *Comparative Programming Languages, Second Edition.* Addison-Wesley.

## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



**Nuniek Fahrani**

**Email : [nuniekfahrani@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:nuniekfahrani@ft.um-surabaya.ac.id)**

**Dosen Teknik Komputer - Fakultas  
Teknik**

**Universitas Muhammadiyah  
Surabaya**

Nuniek Fahrani, lahir di Surabaya 12 September 1982. Pendidikan S1 Program Studi Teknik Informatika di Universitas Trunojoyo Madura. Dan pendidikan S2 Program Studi Teknik Informatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sekarang sebagai Dosen di Program Studi Teknik Komputer Universitas Muhammadiyah Surabaya. Memiliki KI dengan jenis ciptaan Program Komputer untuk keamanan data ED Crypto Blowfish.



# PEMANFAATAN VARIABLE-LENGTH SUBNET MASKING SEBAGAI PACKET FILTERING SEDERHANA

**Winarno**

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Dalam satu organisasi, kadang diperlukan batasan komunikasi antara satu komputer dengan lainnya. Salah satu cara dalam melakukan batasan tersebut adalah menggunakan router atau server dan menerapkan *access list*. Ketika alat dan metode diatas tidak memungkinkan, alternatifnya adalah penggunaan *variable-length subnet masking* yang dapat digunakan sebagai packet filtering sederhana. Dalam tulisan berikut akan dijabarkan teknis penggunaan dan keluaran dari metode tersebut dengan tingkat kesuksesan yang sangat memuaskan.

**Kata kunci** : packet filtering, variable-length subnet masking, ip address

## **PENDAHULUAN**

Dalam sebuah organisasi atau jaringan komputer, kadang diperlukan batasan komunikasi satu perangkat dengan perangkat lainnya. Salah satu cara yang umum dilakukan untuk mencapai hal tersebut adalah dengan menggunakan *server* atau *router*. Namun, ada kalanya, karena satu atau lain hal, keberadaan perangkat tambahan tersebut tidak memungkinkan. Ketika itu terjadi, salah satu cara yang dapat menjadi alternatif adalah dengan menggunakan modifikasi alamat IP dan subnet mask.



Dalam tulisan ini akan dibahas mengenai cara tersebut dan implementasinya menggunakan alamat IP versi 4 di dalam program simulasi jaringan milik cisco, yaitu packet tracer.

## METODE

Dalam sebuah komputer terdapat beberapa hal yang dapat dimanfaatkan sebagai identifikasi di dalam sebuah jaringan. Salah satu yang paling umum digunakan adalah alamat internet protokol atau IP Address. Alamat IP terdiri dari 32 bit yang terbagi menjadi 4 bagian 8 bit. Nilai dari setiap bagian terbatas paling rendah 0 dan paling tinggi 255. Dalam standar tcp/ip versi 4, IP address dibagi menjadi 5 kelas, yaitu A, B, C, D dan E

**Tabel 1.** Ilustrasi network ID dan Host ID di 5 kelas yang berbeda

Kelas	Range alamat IP (teoritis)	Default net mask	Network ID	Host ID
<b>A</b>	0.0.0.0 – 127.255.255.255	255.0.0.0	0 – 127	0.0.0 – 255.255.255
<b>B</b>	128.0.0.0 – 191.255.255.255	255.255.0.0	128.0 – 191.255	0.0 – 255.255
<b>C</b>	192.0.0.0 – 223.255.255.255	255.255.255.0	192.0.0 – 223.255.255	0 - 255
<b>D</b>	224.0.0.0 – 239.255.255.255	255.255.255.0	224.0.0 – 239.255.255	0 - 255

Kelas	Range alamat IP (teoritis)	Default net mask	Network ID	Host ID
<b>E</b>	240.0.0.0 – 255.255.255.255	255.255.255.0	240.0.0.0 – 255.255.255.255	0 - 255

Komunikasi antara 2 perangkat di dalam 1 jaringan dapat terjalin jika keduanya memiliki Network ID yang sama dan Host ID yang berbeda. Untuk mendapatkan informasi network ID, maka dilakukan operasi bit "and" antara IP address dan *net mask*. Sedangkan untuk mendapatkan host ID dilakukan operasi bit "nand" antara IP address dan *net mask*.

**Tabel 2.** Hasil operasi bit and dan nand untuk dua variabel

A	B	A and B	A nand B
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Dengan menggunakan modifikasi pada *netmask*, yang selanjutnya akan disebut dengan subnet, maka sebuah perangkat dalam satu jaringan dapat dibatasi aksesnya.

## HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

Untuk menjelaskan bagaimana subnet dapat membatasi komunikasi antar perangkat dalam satu jaringan, maka akan diberikan kasus sebagai berikut :

organisasi AKRAB memiliki dua ketua divisi. Divisi 1 beranggotakan 24 staf, sedangkan divisi 2 beranggotakan 40 staf. Dalam organisasi tersebut, setiap staf dapat berkomunikasi dengan ketua divisi dan staf satu divisi tapi tidak dengan staf dari divisi lain, sedangkan antar ketua divisi dapat saling berkomunikasi.

Akan digunakan IP private kelas C sebagai basisnya, yaitu 192.168.1.0 dengan netmask 255.255.255.0. Untuk menyusun subnet secara efisien, maka divisi yang memiliki staf lebih banyak biasanya dihitung terlebih dahulu. Dalam kasus ini divisi 2 beranggotakan 40 staf dan 1 ketua, sehingga total 41 jumlah perangkat.  $2^n$  terdekat yang lebih besar dari jumlah perangkat adalah 64. Maka subnet mask dari divisi 2 adalah 255.255.255.(256 – 64) = 255.255.255.192. divisi 1 beranggotakan 24 staf dan 1 ketua, sehingga ada 25 jumlah perangkat.  $2^n$  terdekat yang lebih besar dari jumlah perangkat adalah 32. Maka subnet mask dari divisi 2 adalah 255.255.255.(256 – 32) = 255.255.255.224

Berdasarkan perhitungan di atas maka dapat ditentukan sebagai berikut :

Divisi 2 :

IP address range : 192.168.1.0 – 192.168.1.63

Subnet for staff : 255.255.255.192

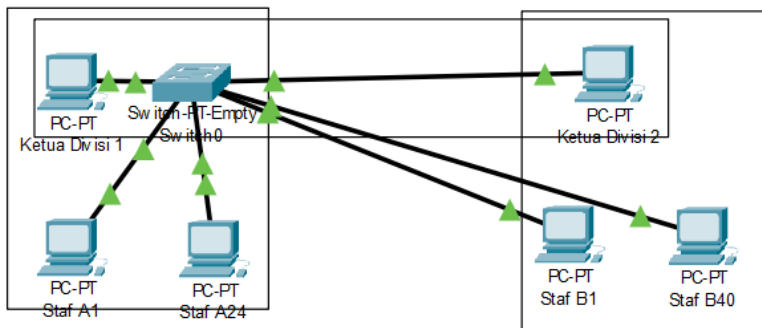
Divisi 1 :

IP address range : 192.168.1.64 – 192.168.1.95

Subnet for staff : 255.255.255.224

Karena ketua divisi perlu berkomunikasi, maka subnetnya harus mencakup kedua range tersebut, 64+32, dan dengan menggunakan formula yang sama maka subnet untuk ketua divisi dapat ditentukan, yaitu 255.255.255.128

Untuk membuktikan hasil perhitungan diatas, maka dilakukan simulasi menggunakan software *packet tracer* dari *cisco*.



**Gambar 1.** Topologi jaringan organisasi AKRAB di *packet tracer*

Pada gambar di atas ditampilkan topologi jaringan organisasi AKRAB. Untuk menyederhanakan tampilan, maka staf masing-masing divisi hanya dua yang digambarkan. Masing masing perangkat memiliki konfigurasi sebagai berikut :

**Tabel 3.** Konfigurasi IP address dan subnet mask pada jaringan organisasi akrab

<b>Nama perangkat</b>	<b>IP adress</b>	<b>Subnet mask</b>
<b>Ketua Divisi 1</b>	192.168.1.89	255.255.255.128
<b>Staf A1</b>	192.168.1.65	255.255.255.224
<b>Staf A24</b>	192.168.1.88	255.255.255.224
<b>Ketua Divisi 2</b>	192.168.1.41	255.255.255.128
<b>Staf B1</b>	192.168.1.1	255.255.255.192
<b>Staf B40</b>	192.168.1.40	255.255.255.192

Setelah dilakukan simulasi, maka muncul hasil sebagai berikut :

PDU List Window

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num
	Successful	Staf A1	Ketua Divisi 1	ICMP	Green	0.000	N	0
	Successful	Staf A1	Staf A24	ICMP	Dark Blue	0.000	N	1
	Failed	Staf A1	Ketua Divisi 2	ICMP	Dark Purple	0.000	N	2
	Failed	Staf A1	Staf B1	ICMP	Dark Red	0.000	N	3
	Failed	Staf A1	Staf B40	ICMP	Dark Brown	0.000	N	4
	Successful	Staf A24	Staf A1	ICMP	Light Purple	0.000	N	5
	Successful	Staf A24	Ketua Divisi 1	ICMP	Teal	0.000	N	6
	Failed	Staf A24	Ketua Divisi 2	ICMP	Yellow-Green	0.000	N	7
	Failed	Staf A24	Staf B1	ICMP	Light Green	0.000	N	8
	Failed	Staf A24	Staf B40	ICMP	Dark Grey	0.000	N	9
	Successful	Ketua Divisi 1	Staf A1	ICMP	Light Green	0.000	N	10
	Successful	Ketua Divisi 1	Staf A24	ICMP	Light Blue	0.000	N	11
	Successful	Ketua Divisi 1	Ketua Divisi 2	ICMP	Light Teal	0.000	N	12
	Failed	Ketua Divisi 1	Staf B1	ICMP	Light Yellow-Green	0.000	N	13
	Failed	Ketua Divisi 1	Staf B40	ICMP	Purple	0.000	N	14
	Successful	Ketua Divisi 1	Ketua Divisi 1	ICMP	Light Green	0.000	N	15
	Failed	Ketua Divisi 2	Staf A1	ICMP	Red	0.000	N	16
	Failed	Ketua Divisi 2	Staf A24	ICMP	Brown	0.000	N	17
	Successful	Ketua Divisi 2	Staf B1	ICMP	Dark Green	0.000	N	18
	Successful	Ketua Divisi 2	Staf B40	ICMP	Teal	0.000	N	19
	Successful	Staf B1	Ketua Divisi 2	ICMP	Dark Olive	0.000	N	20
	Successful	Staf B1	Staf B40	ICMP	Red	0.000	N	21
	Failed	Staf B1	Ketua Divisi 1	ICMP	Light Blue	0.000	N	22
	Failed	Staf B1	Staf A24	ICMP	Light Green	0.000	N	23
	Failed	Staf B1	Staf A1	ICMP	Light Orange	0.000	N	24
	Successful	Staf B40	Staf B1	ICMP	Red	0.000	N	25
	Successful	Staf B40	Ketua Divisi 2	ICMP	Light Green	0.000	N	26
	Failed	Staf B40	Ketua Divisi 1	ICMP	Light Green	0.000	N	27
	Failed	Staf B40	Staf A1	ICMP	Pink	0.000	N	28
	Failed	Staf B40	Staf A24	ICMP	Orange	0.000	N	29

**Gambar 2.** Hasil simulasi di packet tracer

Dapat dilihat di gambar 2 bahwa alur komunikasi di organisasi AKRAB berjalan sebagaimana desain awal yang dikehendaki.

## KESIMPULAN

Sebagaimana pembahasan diatas, maka dapat ditarik konklusi bahwa dengan menggunakan subnet yang bervariasi dapat melakukan packet filtering sederhana. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicari batasan dari metode yang disampaikan

diatas dan dapat pula dibandingkan apakah ada *performance hit* pada jaringan.

## REFERENCES

Challinor, S. (2000). An introduction to IP networks. In *BT Technol J* (Vol. 18).

Sabir, M., Mian, M., Sattar, K., & Fahiem, M. (2007). *IP Address Space Management using Aggregated Fixed Length Subnet Masking*.

Software Packet Tracer, available : [www.cisco.com/go/netacad](http://www.cisco.com/go/netacad)  
Resource Materials, available at : [www.cisco.com/go/netacad](http://www.cisco.com/go/netacad)

# KRISTALISASI LIMBAH CAIR PADA INDUSTRI PUPUK DENGAN MENGGUNAKAN *FLUIDIZED BED REACTOR*

Yessie Ardina Kusuma

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## Abstrak

Industrialisasi menyebabkan banyak perubahan dalam pemanfaatan energi dan sumber daya alam, sehingga harus lebih efisien dalam hal penggunaannya dan mampu menekan dampak negatif yang ditimbulkannya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Industri pupuk merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi fosfat yang tinggi sehingga diperlukan upaya pengolahan sebelum dibuang ke badan air. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan aliran yang efektif dalam proses kristalisasi dengan menggunakan reaktor fluidized bed dan mengkaji karakteristik bentuk struvite yang dihasilkan. Tahapan penelitian meliputi uji karakteristik limbah cair PT Petrokimia Gresik, persiapan alat dan bahan, pembuatan *reaktor fluidized bed* dan penelitian utama. Variasi kecepatan aliran *upflow* yang digunakan dalam penelitian adalah 0,014 m/s, 0,02 m/s dan 0,027m/s. Proses kristalisasi dilakukan dengan sistem kontinyu selama 70 menit dengan menggunakan *seed material* berupa pasir silika 30-60 mesh. Pengaturan pH 8-9 dan bahan presipitan yang digunakan yaitu  $MgCl_2$ . Proses kristalisasi dengan menggunakan reaktor *fluidized bed* sangat efektif dalam *recovery* fosfat menjadi kristal struvite. Pada penelitian ini dihasilkan kecepatan aliran *upflow* yang efektif yaitu 0,014 m/s dengan kemampuan menyisihkan fosfat sebesar 89%. Bentuk kristal struvite yang dihasilkan berbentuk *rod like irregular* yaitu menyerupai balok memanjang dengan permukaan tidak rata. Unsur penyusun utama *struvite* adalah N, P, O, dan Mg.

**Kata kunci** : Recovery, Fosfat, Kristalisasi, Struvite, Fluidized Bed Reactor



## PENDAHULUAN

Berdasarkan proyeksi jumlah penduduk di Indonesia selama dua puluh lima tahun mendatang terus meningkat yaitu dari 238,5 juta (tahun 2010) menjadi 305,6 juta (tahun 2035) (Bps, n.d.). Pada negara maju dimana pertumbuhan penduduk yang umumnya statis, tingkat kemakmuran yang dicapai telah meningkatkan konsumsi yang berlebihan terhadap sumber daya alam dengan tanpa memperdulikan dampak terhadap lingkungan. Menurut laporan komisi WHO mengenai kesehatan dan lingkungan, bahwa tingkat konsumsi perkepala di negara-negara maju 50 kali lipat atau lebih tinggi dibandingkan dengan masyarakat yang hidup di negara berkembang. Negara – negara OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) yang memiliki 15% populasi di dunia bertanggung jawab atas 77% limbah industri berbahaya yang dihasilkannya. Sedangkan di Negara berkembang, pertumbuhan jumlah penduduk yang masih terus bertambah mengakibatkan terjadinya kelangkaan sumber daya sehingga sulit untuk mencapai peningkatan kualitas kehidupan masyarakatnya.

Manusia dalam upaya pemenuhan kebutuhan dan peningkatan kualitas hidupnya telah berlangsung sejak revolusi industri pada abad ke 19, dimana pada masa itu dihasilkan banyak mesin-mesin baru tanpa memikirkan dampaknya terhadap lingkungan. Bagi negara berkembang, peranan industri sangat penting sebagai perluasan landasan pembangunan, pemenuhan kebutuhan yang terus meningkat serta perbaikan taraf hidup masyarakat. Pesatnya industrialisasi berdampak positif terhadap meningkatnya perekonomian dan pendapatan perorangan bagi sebagian besar penduduk, besarnya kesempatan memperoleh pendidikan serta meningkatnya standar kesehatan

masyarakat. Meskipun demikian, industrialisasi juga menyebabkan banyak perubahan dalam pemanfaatan energi dan sumber daya alam dimana dalam kegiatannya industri telah meningkatkan jumlah permintaan atau kebutuhan akan sumber daya alam yang tak dapat diperbaharui dan memaksakan lingkungan untuk dapat menampung dan menyerap limbah hasil sampingan industri. Limbah yang mengandung bahan pencemar dapat mengubah kualitas lingkungan apabila lingkungan tersebut tidak dapat memulihkan kondisinya sendiri sesuai daya dukung yang dimilikinya. Limbah industri yang keluar dari pabrik dan mengandung bahan beracun dan berbahaya (B-3), apabila masuk ke dalam lingkungan dan mengubah kualitas lingkungan maka menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan.

Pencemaran air dapat diartikan sebagai terjadinya perubahan pada badan air dari keadaan normal menjadi keadaan yang membahayakan dan mengganggu kehidupan makhluk hidup. Beberapa indikator yang digunakan untuk mengetahui bahwa air tersebut telah tercemar, yaitu adanya (1) perubahan suhu air, (2) tingkat keasaman, basa dan salinitas air, (3) perubahan warna, bau dan rasa pada air, (4) terbentuknya endapan, koloid dari bahan terlarut yang ada di dalam air (4) adanya organisme dan mikroorganisme didalam air (Situmorang, 2017). Salah satu industri pupuk yang memiliki kandungan fosfat yang tinggi pada limbah cairnya adalah PT Petrokimia Gresik, dimana mencapai 4180,33mg/L (Iswarani & Warmadewanthi, 2018). Upaya pengolahan untuk menurunkan kandungan fosfat telah dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik namun effluen yang dihasilkan masih melebihi baku mutu internal IPAL industri tersebut. Dampak negatif akibat dari

tingginya kadar fosfat dan amonium pada badan air dapat menyebabkan eutrofikasi (Fitriana & Warmadewanthi, 2016). Pertumbuhan alga yang meningkat pesat, menurunnya kadar oksigen terlarut, berkurangnya penetrasi cahaya matahari di dalam air dan timbulnya bau hingga kematian biota air merupakan akibat dari eutrofikasi (Ibad, 2013).

Penyisihan fosfat dari limbah cair dapat dilakukan dengan beberapa teknik seperti *adsorpsi*, presipitasi, pertukaran ion, *reverse osmosis*, dan metode biologis. Sebagian besar penelitian sudah dilakukan untuk dapat menggunakan kembali fosfat yang terkandung dalam limbah cair melalui presipitasi dan kristalisasi untuk pembentukan kristal *struvite* ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ). Adapun keunggulan pengolahan limbah cair dengan kristalisasi adalah lebih sedikit membutuhkan ruangan untuk pengolahan limbah cair dan dapat menghasilkan kristal *struvite* sebagai pupuk *slow release* yang bermanfaat untuk tanaman. Sifat *slow release* pupuk *struvite* sangat baik untuk pertumbuhan tanaman karena memiliki kecepatan yang sangat lambat dalam melepaskan nutrisi sehingga penyerapan nutrisi oleh tanaman dapat berlangsung dengan baik (Bhuiyan, Mavinic, & Koch, 2008).

Pada tulisan ini akan dijelaskan tentang hasil penelitian terkait teknologi pengolahan limbah cair dari industri pupuk melalui proses kristalisasi yang menggunakan reaktor *fluidized bed*. Proses kristalisasi ini tidak hanya dapat menurunkan konsentrasi fosfat didalam limbah cair namun juga menghasilkan produk pupuk *struvite* yang sangat bermanfaat untuk tanaman. Sebagian hal yang akan dibahas adalah ada atau tidaknya pengaruh kecepatan aliran (*upflow*) pada proses kristalisasi serta analisis karakteristik kristal *struvite* yang dihasilkan dari proses kristalisasi tersebut.

## METODE

Metode penelitian meliputi persiapan alat dan bahan, penelitian pendahuluan, pembuatan reaktor, penelitian utama, hasil dan pembahasan serta simpulan. Persiapan alat penelitian meliputi:

1. *Spectroquant Nova 60A* sebagai alat untuk melakukan analisis kandungan fosfat dan amonium pada air limbah
2. pH meter sebagai alat untuk mengukur pH air limbah
3. Neraca analitik sebagai alat untuk mengukur berat kristal *struvite* dan zat analisis
4. Pompa peristaltik sebagai alat untuk mengalirkan larutan presipitan magnesium klorida dan limbah cair menuju proses kristalisasi.
5. *Vacuum pump dan furnace* digunakan untuk mengukur kadar TSS pada air limbah
6. Reaktor *fluidized bed* merupakan alat untuk proses kristalisasi
7. *Scanning Electron Microscopy-Energy Diffraction-X-Ray (SEM-EDX)* (Hitachi FlexSem1000), digunakan untuk mengamati karakteristik permukaan dan struktur penyusun kristal *struvite*

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah

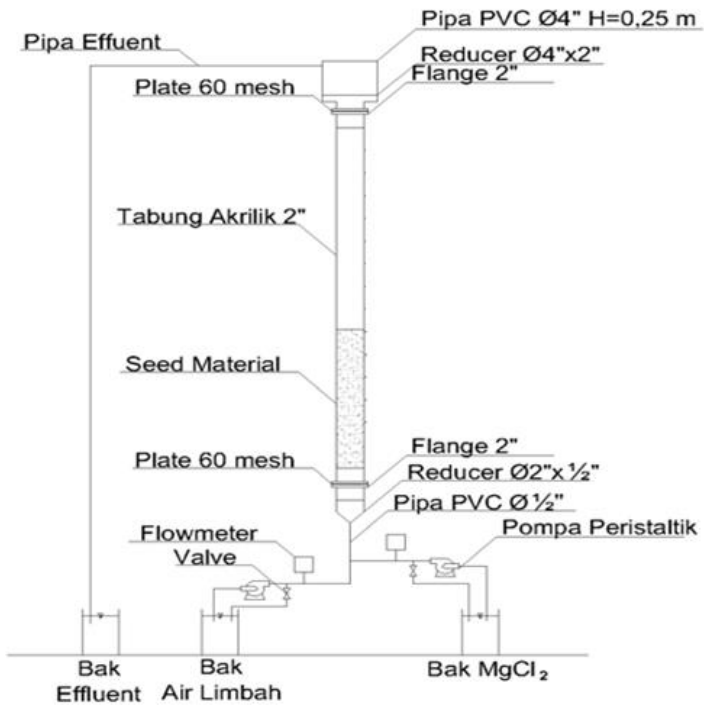
1. Limbah cair PT Petrokimia Gresik
2. *Seed material* berupa pasir silika
3. Magnesium Klorida ( $MgCl_2$ ) dipilih sebagai presipitan karena memiliki harga yang terjangkau dan sifat yang mudah larut dalam air (Ikhlas et al., 2017)
4.  $H_2SO_4$  dan NaOH untuk mengatur pH air limbah agar sesuai dengan pH yang diinginkan
5. Aquadest berfungsi untuk analisis karakteristik air limbah

sebagai pelarut ataupun blanko

6. Kertas saring *whatman* digunakan untuk media penyaring presipitat kristal *struvite* sebelum dilanjutkan dengan uji karakteristik.
7. Bahan pendukung seperti reagen bahan kimia digunakan untuk uji karakteristik limbah cair sesuai dengan metoda pengujian dari masing-masing parameter.

Pada tahapan penelitian pendahuluan dilakukan pengujian terhadap karakteristik limbah cair PT Petrokimia Gresik seperti kandungan fosfat, amonium, fluorida, magnesium, calcium, pH dan TSS. Selanjutnya dilakukan penentuan kecepatan minimum dan kecepatan maksimum pada proses kristalisasi di dalam reaktor *fluidized bed* yang menggunakan seed material pasir silika. Selain kegiatan diatas, dilakukan juga uji penentuan waktu proses kristalisasi selama 70 menit dengan menggunakan variabel kecepatan penelitian terendah yaitu 0,014m/s. Tahapan penelitian selanjutnya yaitu pembuatan reaktor *fluidized bed* dengan 2 kompartemen vertikal. Bahan untuk reaktor *fluidized bed* terbuat dari akrilik dan PVC, untuk gambar reaktor dapat dilihat pada Gambar 1. Reaktor ini memiliki ketinggian 1,5 m dengan diameter 0,05 m. Kompartemen bagian atas dari reaktor berfungsi sebagai penangkap dan menahan seed material agar tidak terbawa keluar bersama effluen menuju saluran outlet. Ketinggian kompartemen bagian atas yaitu 0,25 m dengan diameter 0,1 m. Sedangkan kompartemen bawah berfungsi sebagai zona berlangsungnya proses kristalisasi dan pembentukan kristal *struvite*. Reaktor *fluidized bed* dilengkapi 3 buah saluran yaitu *outlet effluen* limbah cair, *inlet* dari bak berisi limbah cair dan *inlet* dari bak berisi reaktan magnesium klorida. Pada tahapan penelitian utama dilakukan proses kristalisasi

limbah cair secara kontinyu selama 70 menit pada reaktor *fluidized bed* dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit untuk dilakukan uji karakteristik fosfat, amonium, dan fluoride. Pada akhir proses akan dilakukan pengambilan kristal *struvite* dengan tahapan penyaringan dan pengeringan terlebih dahulu sebelum dilakukan uji karakteristik kristal struvitenya.



**Gambar 1** Reaktor *fluidized bed* dengan dua kompartemen vertikal

## TELAAH PUSTAKA

Fosfat ialah salah satu sumber daya alam yang mempunyai peranan sangat berarti untuk pembuatan DNA manusia dan hewan serta baik untuk pertumbuhan tanaman. Penggunaan fosfat yang paling banyak adalah sebagai pupuk yaitu sebesar 79%, selanjutnya digunakan juga untuk pembuatan deterjen, suplemen untuk pakan ternak dan aplikasi pada industri lainnya seperti pembuatan pestisida, katalis, bahan peledak dan penghambat korosi (Anggrainy, 2015). Jumlah fosfat di alam semakin berkurang karena penggunaan fosfat yang terus meningkat secara global, sehingga diperlukan upaya berupa teknologi pengolahan untuk *recovery* kembali keberadaan fosfat. Jumlah fosfat yang tinggi pada badan air dapat menyebabkan eutrofikasi, dimana terjadi ledakan pertumbuhan alga yang pesat dan mengganggu kehidupan biota air. Kehadiran alga dapat menimbulkan masalah pada fasilitas penjernihan air seperti terjadinya korosi dan penyumbatan pipa serta penurunan transfer panas). Pada jenis alga tertentu dapat menyebabkan rasa yang kurang enak pada air, bau yang tidak sedap serta sebagian diantaranya mengandung racun.

Menurut Ronteltap, (2009) dalam Anggrainy, (2015) kristalisasi merupakan tata cara terbaru yang paling banyak digunakan untuk *recovery* fosfat. Kristalisasi merupakan proses pembuatan partikel-partikel zat padat yang terbentuk pada fase homogen. Proses kristalisasi fosfat, umumnya akan menghasilkan produk kristal struvite yang disebut dengan *struvite* ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ) ataupun *magnesium ammonium phosphate* (MAP). *Struvite* merupakan zat kristal yang memiliki warna putih dengan unsur-unsur penyusunnya berupa amonium, fosfor dan magnesium dalam konsentrasi molar yang sama

(Rahaman, Ellis, & Mavinic, n.d.). Proses kristalisasi diawali dengan tahapan supersaturasi dimana konsentrasi bahan-bahan terlarut telah melebihi fase kesetimbangan. Selanjutnya diikuti dengan fase pembentukan inti kristal (nukleus) dan fase pertumbuhan kristal. Presipitat kristal *struvite* yang terbentuk dari proses kristalisasi dapat diamati morfologinya menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) sedangkan komposisi penyusunnya dapat diketahui dari analisis menggunakan alat *Energy Diffracton X-Ray* (EDX). Pembentukan kristal *struvite* berdasarkan pada reaksi dengan pKsp 13,26, rasio Mg/P 1,5 dan suhu 25°C adalah:



Faktor – faktor yang berpengaruh pada pembentukan kristal *struvite* adalah:

1. Faktor rasio molar. *Struvite* dapat terbentuk apabila terjadi pencampuran antara ion amonia, fosfat dan magnesium. Menurut (Rahaman, Ellis, & Mavinic, n.d.) bahwa kehadiran magnesium dapat mempengaruhi level saturasi dan laju presipitasi *struvite*. Namun pada kadar magnesium yang berlebih juga dapat menurunkan kemurnian kristal *struvite* (Wang, Burken, & Zhang, 2006). Efisiensi removal fosfat dapat meningkat 28% apabila dilakukan penambahan magnesium dengan rasio Mg/P 1,5 namun hal tersebut dapat menambah ongkos pembelian reagen (C. C. Su, Abarca, de Luna, & Lu, 2014). Rasio molar yang optimum dalam pembentukan *struvite* adalah  $[\text{Mg}^{2+}]:[\text{NH}_4^+]:[\text{PO}_4^{3-}]$  1,5:15:1 (Iswarani & Warmadewanthi, 2018). Pada penelitian tersebut konsentrasi fosfat dapat diremoval hingga menjadi 1,90



mg/L dengan efisiensi 99,99%, sedangkan efisiensi amonium hanya sebesar 33%. Pada hasil penelitian yang lain disebutkan bahwa air limbah sintetis dengan Mg/P 1,25, rasio molar N/P antara 1-10 dan pH 9 dapat meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat dari 65% menjadi 90% (Guadie et al., 2014).

2. Faktor pH. Penurunan pH yang berlangsung dengan cepat pada proses kristalisasi juga menandakan terjadinya pertumbuhan kristal struvite dan memberikan pengaruh terhadap kualitas kristal struvite yang terendapkan. Indikator terjadinya nukleasi *struvite* dapat dilihat dari faktor pH (Rahman *et al.*, 2014). Berdasarkan penelitian oleh Fitriana & Warmadewanthi, (2016), pH yang digunakan dalam proses kristalisasi struvite adalah sekitar  $8,5 \pm 0,2$ . Pada pH larutan 8 dan dengan meningkatkan rasio molar Mg:P dari 1 menjadi 1,5, dan 2 dapat menghasilkan efisiensi penyisihan fosfat sebesar 17%, 28% dan 34% (C. Su, Docena, Lourdes, Dalida, & Lu, 2014).
3. Faktor kecepatan aliran (upflow). Peranan kecepatan aliran sangat penting di dalam pembentukan kristal *struvite*, terutama di fase pertumbuhan kristal *struvite*. Kristal struvite yang tumbuh dengan baik dapat mencapai ukuran lebih besar sehingga dapat dengan mudah mengendap daripada kristal yang berukuran lebih kecil. Efek negatif yang terjadi apabila kecepatan aliran terlalu tinggi yaitu dapat menyebabkan pecahnya nukleus atau inti kristal yang baru tumbuh dan dapat mengurangi ukuran kristal (Wang et al., 2006). Kecepatan upflow pada proses fluidisasi dapat meningkatkan diameter struvite

yang akan ter-recovery (Tarragó, Puig, Rusalleda, Balaguer, & Colprim, 2016).

4. Faktor seed material. Fungsi seed material dalam pembentukan struvite sangat penting yaitu sebagai penyedia tempat permukaan untuk pertumbuhan struvite. Seed material harus memiliki daya larut yang rendah pada kondisi limbah yang asam (Tang & Ma, 2016). Seed material yang digunakan harus berbahan inert. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seed material yang digunakan pada proses kristalisasi adalah berupa pasir silika. (Tang & Ma, 2016). Efisiensi penyisihan fosfat untuk reaktor fluidized bed tanpa seed, dengan menggunakan seed kalsium fosfat dan dengan seed magnesium fosfat adalah sebesar 86%, 88% dan 93% (C. Su et al., 2014).
5. Faktor konfigurasi reaktor *fluidized bed crystallization*. Pada proses kristalisasi limbah cair berbahan sintesis dengan menggunakan reaktor *fluidized bed crystallization*, efisiensi penyisihan fosfat lebih besar terjadi pada bentuk reaktor yang memiliki 3 kompartemen yaitu sebesar 60-98%. Sedangkan untuk reaktor dengan 2 kompartemen, efisiensi penyisihan fosfat hanya sebesar 40-80% (Guadie et al., 2014).

## HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

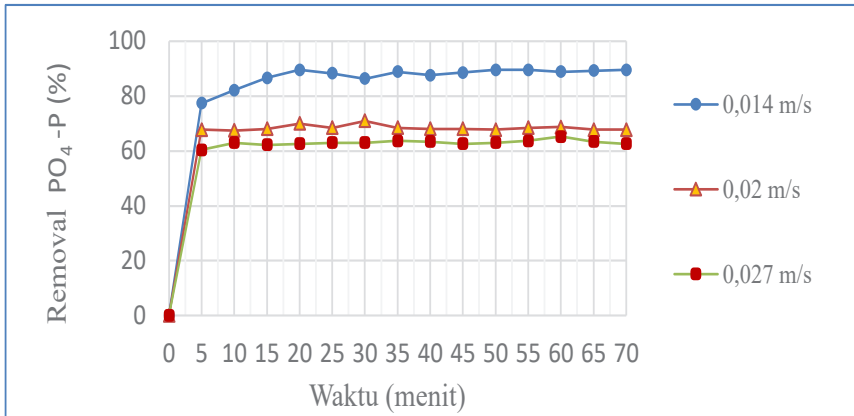
Hasil pengujian karakteristik untuk limbah cair PT Petrokimia Gresik menunjukkan kadar fosfat, amonium dan magnesium sebesar 8245,16 mg/L, 900 mg/L dan 5,17 mg/L sehingga didapatkan rasio molar  $[Mg^{2+}]:[NH_4^+]:[PO_4^{3-}]$  adalah 1,5:1:1,7. Pada penelitian sebelumnya rasio molar

$[Mg^{2+}]:[NH_4^+]:[PO_4^{3-}]$  untuk proses pembentukan *struvite* secara optimum adalah 1:1:1 (Fitriana & Warmadewanthi, 2016). Hasil uji kecepatan aliran fluidisasi pada reaktor *fluidized bed* untuk kecepatan minimum adalah sebesar 0,0043 m/s dan kecepatan maksimum sebesar 0,0339 m/s. Berdasarkan hal tersebut maka variabel kecepatan aliran yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,014 m/s; 0,02 m/s dan 0,027 m/s dengan debit air limbah 1,6 L/min; 2,4 L/min dan 3,2 L/min. Adapun pH limbah cair pada proses kristalisasi harus diatur agar berada pada range 8-9.

Dalam pemilihan kecepatan terendah yaitu 0,014m/s, harus dipastikan bahwa *seed* pasir silika yang terdapat dalam reaktor *fluidized bed* dapat terfluidisasi sempurna selama proses kristalisasi air limbah. Begitu juga pada pemilihan kecepatan tertinggi 0,027 m/s, harus dipastikan bahwa *seed* tidak terlempar keluar menuju *outlet* reaktor sehingga proses kristalisasi dapat berjalan dengan baik. Diameter minimum *struvite* dapat dipengaruhi oleh kecepatan aliran influen dimana seiring meningkatnya kecepatan aliran maka diameter minimum *struvite* juga akan meningkat. Selain itu, kecepatan aliran juga memiliki pengaruh pada waktu induksi dimana seiring meningkatnya kecepatan aliran maka waktu induksi semakin menurun. Hal ini menandakan bahwa ketika kecepatan aliran tinggi maka pembentukan nukleus pertama terjadi lebih cepat karena meningkatnya energi pencampuran (Tarragó et al., 2016).

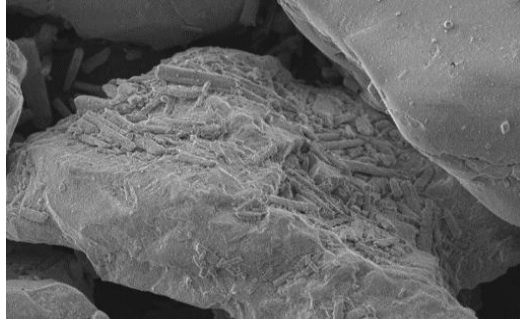
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa kecepatan aliran memiliki pengaruh terhadap efisiensi penyisihan fosfat. Pada kecepatan aliran 0,014 m/s, fluidisasi air limbah dengan *seed* pasir silika berlangsung dengan baik sehingga mampu

menyisihkan fosfat sebesar 89%. Apabila kecepatan aliran dipercepat menjadi 0,02 m/s dan 0,027 m/s maka persentase penyisihan fosfat menurun menjadi 68% dan 63%. Pada kecepatan paling rendah yaitu 0,014 m/s, air limbah mempunyai *Hydraulic Retention Time* (HRT) atau waktu induksi lebih lama dalam membentuk supersaturasi sehingga proses kristalisasi berjalan lebih optimal dan *struvite* menjadi lebih banyak terbentuk. Menurut Fitriana & Warmadewanthi, (2016). Peningkatan kecepatan pada proses pengadukan dapat meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat, namun pada saat kecepatan pengadukan dinaikkan hingga mencapai 207 rpm, penyisihan amonium dan fosfat menjadi menurun. Hal ini dikarenakan pada saat pengadukan terlalu tinggi maka menyebabkan stabilitas kristal *struvite* menurun dan kristal menjadi pecah. Penggunaan *seed* material berupa pasir silika juga salah satu faktor yang dapat meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat karena *seed* material tersebut dapat menyediakan permukaan yang cukup untuk menempelnya inti kristal (nukleus) dan sebagai media pertumbuhan kristal (C. C. Su, Abarca, de Luna, & Lu, 2014) dan (Wang et al., 2006). Efisiensi penyisihan fosfat pada reaktor *fluidized bed* tanpa *seed* (86%) adalah lebih kecil daripada reaktor yang menggunakan *seed* (93%) (C. Su et al., 2014).



**Gambar 2** Pengaruh Kecepatan Aliran terhadap *Removal* Fosfat dengan Rasio Molar  $[Mg^{2+}]:[NH_4^+]:[PO_4^{3-}]$  1,5:1:1,7 pada Reaktor 2 Kompartemen Vertikal

Hasil analisis uji SEM pada *seed* material pasir silika yang telah melalui proses kristalisasi dapat dilihat pada Gambar 3. Pada gambar tersebut dapat terlihat bahwa permukaan *seed material* pasir silika banyak ditumbuhi kristal struvite. Kristal menyerupai bentuk *rod like irregular* yaitu balok memanjang yang tidak beraturan dengan permukaan yang tidak rata. Pada hasil analisis EDX dapat diketahui setiap unsur penyusun kristal *struvite*, yaitu berupa Mg, P, N, dan O. Sedangkan kandungan unsur pengotor berupa F dan Ca pada kristal yaitu sebesar 2,03% dan 6,89%. Hal ini menjadi penyebab morfologi permukaan kristal tampak tidak rata dan banyak endapan putih yang menyelimuti permukaan kristal.



**Gambar 3** Hasil SEM Pada *Seed Material* Pasir Silika Setelah Proses Kristalisasi Menggunakan Reaktor *Fluidized Bed*

### KESIMPULAN

1. Kecepatan aliran memiliki pengaruh pada proses penyisihan dan recovery fosfat. Kecepatan aliran 0,014 m/s merupakan kecepatan aliran efektif dalam proses kristalisasi dengan menghasilkan efisiensi penyisihan fosfat di dalam limbah cair sebesar 89%. Semakin rendah kecepatan aliran pada reaktor *fluidized bed* maka semakin meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat dan semakin memperlama waktu induksi yang diperlukan sehingga pembentukan kristal struvite dapat lebih optimal.
2. Hasil uji analisis SEM menunjukkan bahwa *seed material* pasir silika merupakan media permukaan yang baik untuk pembentukan nukleus dan pertumbuhan kristal struvite, hal ini ditandai dengan banyaknya kristal *struvite* yang menempel pada permukaan *seed material* pasir silika. Bentuk kristal *struvite* yaitu rod like irregular yang

menyerupai balok memanjang dengan permukaan tidak rata. Hasil uji analisis EDX menunjukkan bahwa N, P, O, dan Mg merupakan unsur utama penyusun *struvite*. Kehadiran pengotor berupa Ca dan F menyebabkan struktur morfologi kristal menjadi tidak rata. Permukaan kristal banyak tertutupi oleh endapan putih.

## REFERENCES

- Bhuiyan, M. I. H., Mavinic, D. S., & Koch, F. A. (2008). Phosphorus recovery from wastewater through struvite formation in fluidized bed reactors: A sustainable approach. *Water Science and Technology*. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.002>
- Bps, K. (n.d.). *Proyeksi Penduduk Indonesia Indonesia Population Projection*.
- Fitriana, A. R., & Warmadewanthi, I. (2016). *Penurunan Kadar Amonium dan Fosfat pada Limbah Cair Industri Pupuk*. 5(2).
- Guadie, A., Xia, S., Jiang, W., Zhou, L., Zhang, Z., Hermanowicz, S. W., ... Shen, S. (2014). Enhanced struvite recovery from wastewater using a novel cone-inserted fluidized bed reactor. *Journal of Environmental Sciences (China)*. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60469-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60469-6)
- Ibad, M. M. (2013). *Bioremediasi Limbah Cair PT Petrokimia Gresik dengan Bakteri*.
- Ikhlas, N., Pembimbing, D., Magister, P., Lingkungan, J. T., Teknik, F., & Dan, S. (2017). *PENGARUH PH , RASIO MOLAR , JENIS PRESIPITAN , DAN ION PENGANGGU DALAM RECOVERY AMONIUM DAN*

*FOSFAT PADA EFFECT OF PH , MOLAR RATIO , PRECIPITANT TYPES , AND IMPURITIES IONS IN RECOVERY OF AND PHOSPHATE FOR PT PETROKIMIA GRESIK WASTEWATER USING.*

- Iswarani, W. P., & Warmadewanthi, I. (2018). *Recovery Fosfat dan Amonium Menggunakan*. 7(1), 7–9.
- Rahaman, M. S., Ellis, N., & Mavinic, D. S. (n.d.). *Effects of Various Process Parameters on Struvite Precipitation*. (1999), 535–542.
- Su, C. C., Abarca, R. R. M., de Luna, M. D. G., & Lu, M. C. (2014). Phosphate recovery from fluidized-bed wastewater by struvite crystallization technology. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.04.002>
- Su, C., Docena, L., Lourdes, M., Dalida, P., & Lu, M. (2014). Magnesium phosphate crystallization in a fluidized-bed reactor: Effects of pH , Mg : P molar ratio and seed. *SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY*, 125, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.01.019>
- Tang, P., & Ma, H. (2016). *Effects of Solution pH and Seed Material on MAP Crystallization*. 4(6), 171–177. <https://doi.org/10.11648/j.ijepp.20160406.13>
- Tarragó, E., Puig, S., Ruscalleda, M., Balaguer, M. D., & Colprim, J. (2016). *Controlling struvite particles ' size using the up-flow velocity*. 302, 819–827. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.036>
- Wang, J., Burken, J. G., & Zhang, X. J. (2006). *Effect of Seeding Materials and Mixing Strength on Struvite Precipitation*.



## BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



Email : [yessie.kusuma@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:yessie.kusuma@ft.um-surabaya.ac.id)

**Yessie Ardina Kusuma**

**Dosen Teknik Industri — Fakultas  
Teknik Universitas MUHAMMADIYAH  
SURABAYA**

Yessie Ardina Kusuma, Lahir di Surabaya pada 8 Oktober 1982, menempuh pendidikan S1 pada Tahun 2000 di jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi, Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Pada tahun 2008, melanjutkan studi di Jurusan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya dan mendapatkan gelar Sarjana Pendidikan. Pada tahun 2017, melanjutkan studi Program Pascasarjana di jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mendapatkan gelar Magister Teknik pada tahun 2019. Kesibukannya saat ini adalah mengajar di prodi Teknik Industri dan melakukan penelitian sesuai bidang keahliannya terkait Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), Ergonomi dan Pengolahan Limbah Industri.

# **LITERATUR REVIEW: KAJIAN MANAJEMEN RISIKO BENCANA DI KOTA SURABAYA**

**Anna Rosytha**

1) Universitas Muhammadiyah Surabaya

## **Abstrak**

Salah satu upaya Pemerintah dalam penanggulangan bencana telah tertuang dalam Rencana Nasional Penanggulangan Bencana (RENAS BP) 2020-2024 yang diarahkan kepada lembaga penanggulangan bencana pada tingkat pusat atau pun daerah, pemerintah maupun non pemerintah. Arah kebijakan penyelenggaraan Penanggulangan Bencana adalah tanggap bencana yang diartikan bahwa Indonesia mampu menahan, menyerap, beradaptasi dan memulihkan diri akibat bencana dan perubahan iklim secara tepat waktu, efektif dan efisien. Kota Surabaya sebagai daerah yang mempunyai tinggi kerawaran bencana, yaitu bencana banjir atau genangan, kebakaran, angin puting beliung dan gempa tektonik. Berdasarkan pada konsep teoritis dan fenomena empiris terkait dengan kebencanaan yang terjadi khususnya di Kota Surabaya perlu diwaspadai dan dicegah sedini mungkin. Hasil dari review literature ini dapat ditarik kesimpulan tentang teori manajemen risiko bencana yang diharapkan akan menjadi satu bagian dalam mitigasi kebencanaan.

**Kata kunci** : Manajemen Risiko, Bencana, Mitigasi

## PENDAHULUAN

Manajemen risiko bencana adalah suatu rangkaian proses kegiatan secara sistematis yang dimulai dari proses investigasi, perencanaan penanggulangan dampak dari bencana di suatu daerah sebagai usaha untuk meminimalkan dampak akibat dari bencana melalui pemanfaatan secara maksimal sumber daya fisik atau non fisik (Simarata & Suryandaru,2015). Berdasarkan pendapat UNISDR (2004) dalam Ebert at.al (2009), risiko suatu bencana dipengaruhi oleh bahaya (*hazard*), kerawanan wilayah (*vulnerability*), dan kegiatan suatu wilayah dalam menghadapi bencana (*capacity*). Dampak bencana pada suatu daerah dapat berupa kerusakan infrastruktur fisik, terganggunya kondisi sosial ekonomi daerah maupun adanya korban jiwa (Lanssa,2011; UNISDR,2011; Wijaya Bustanul, Bisri, & Aritenang 2017).

Indonesia menempati posisi tertinggi kedua di Asia Pasifik jumlah korban akibat bencana alam (Ulum,2013). Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat, terdapat 2.208 kejadian bencana alam di Indonesia sejak 1 Januari sampai dengan 14 Oktober 2021. Akibat bencana tersebut sebanyak 130.515 rumah dan 2.989 fasilitas public mengalami kerusakan ± 6,4 juta orang menderita dan mengungsi (EN-DAT,2021). Berdasarkan data BNPB terdapat kenaikan kejadian bencana alam sebesar 19,4% dari tahun 202. Fenomena La Nina yang membaca peningkatan frekuensi dan intensitas curah hujan tinggi masih berlangsung hingga Januari – Februari 2022. Dengan banyaknya serangkaian bencana hidrometeorologi basah perlu peningkatan kesiapsiagaan dan mitigasi yang merujuk pada peringatan dini BMKG (suara.suarabaya.net, 2021). Salah satu upaya Pemerintah dalam penanggulangan bencana

telah tertuang dalam Rencana Nasional Penanggulangan Bencana (RENAS BP) 2020-2024 yang ditujukan untuk lembaga terkait dengan penanggulangan bencana pada tingkat pusat ataupun daerah, pemerintah mau pun non pemerintah. Arah kebijakan penyelenggaraan penanggulangan bencana adalah daerah tanggap bencana yang berarti Indonesia mampu bertahan, beradaptasi dan melakukan pemulihan diri dari akibat bencana dan perubahan iklim secara tepat waktu, efektif dan efisien. Peningkatan ketanggapan bencana perlu diintegrasikan dengan perkembangan teknologi sesuai dengan kebutuhan akan jenis kebencanaannya. Kolaboratif aktif antar Lembaga penanggulangan bencana, informasi, teknologi dan kepakaran perlu diwadahi dalam suatu kolaborasi sistem informasi *Big Data* yang dapat menghasilkan teknologi keselamatan bencana dan sistem pendukung pengambilan keputusan yang cepat, akurat dan handal.

Kota Surabaya sebagai kota terbesar ke dua di Indonesia, dimana pembangunan kota yang cukup pesat tetapi memiliki potensi tinggi terhadap empat bencana, yaitu banjir atau genangan, kebakaran, angin puting beliung dan gempa tektonik berdasarkan pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Surabaya 2016-2021. Banjir yang terjadi di Kota Surabaya merupakan banjir akibat *backwater* yang terjadi di pesisir pantai Surabaya dan Kali Lamong. Hampir 70% wilayah Surabaya pernah terendam banjir, daerah yang paling sering terjadi banjir adalah daerah sekitar Kali Lamong. Dari data Badan Penangan Bencana (BPB Linmas) Surabaya, untuk tinggi dan durasi genangan di Surabaya sudah mengalami penurunan yang cukup bagus sejak 2018 sampai dengan 2021, dimana pada Tahun 2018 terdapat  $\pm 697,79$  hektare saat ini

tinggal  $\pm 462,64$  hektare. Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Surabaya 2021-2026 pengendalian banjir atau genangan menjadi prioritas pemerintah kota saat ini (Jawapos.com,2021). Pemerintah Kota Surabaya telah menyusun pedoman pengendalian banjir yang termuat dalam *Surabaya Drainage Master Plan 2018-2023* dimana telah dilakukan pemetaan daerah rawan banjir dan rencana penyelesaian permasalahan banjir dengan kebijakan berupa operasi dan pemeliharaan saluran secara berkala, pembangunan rumah pompa, pengembangan area tampungan air, penyediaan jalur evakuasi dan sistem peringatan dini, pengembangan sistem pintu air laut dan pemanfaatan daerah konservasi mangrove sebagai penekan arus.

Dalam kurun waktu lima tahun terakhir BMKG mencatat peningkatan aktifitas kegempaan di wilayah Jawa Timur khususnya bagian selatan. Berdasarkan hasil penelitian dari kementerian PUPR pada Oktober 2017 yang dituangkan dalam buku pusat gempa nasional (Pusgen), menjelaskan tentang peta sumber dan bahaya gempa di Indonesia. Hasil dari investigasi Pusat Studi Kebumihan dan Perubahan Iklim (PSKBPI) ITS, di Surabaya terdapat sumber gempa tektonik dengan kekuatan mencapai  $\pm 6$  *Secala Rechter* dari pergerakan Sesar Kendeng yang berada di sisi selatan Surabaya (Meilano et al,2016). Pergerakan sesar kendeng diperkirakan sebesar  $\pm 0,5$  cm/tahun dengan tingkat bahaya rendah sampai dengan sedang. Pakar geologi dari Pusat Studi Kebumihan dan Perubahan Iklim (PSKBPI) ITS, Dr. Amien Widodo mengingatkan potensi gempa yang mungkin akan terus terjadi di jalur sesar kendeng karena sesar tersebut masih aktif.

Sesar Kendeng yang melewati Surabaya ada dua jalur yaitu Sesar waru dan sesar Surabaya. Sesar Waru membentang mulai dari bukit dikawasan Karang Pilang sampai dengan Sidoarjo, Jombang Nganjuk. Sedangkan sesar Surabaya dimulai dari perbatarasan Jl. Mayjen Sungkono – Margomulyo sampai Cerme. BMKG mencatat pada Sabtu (3/7/2021) terjadi gempa magnitudo 3 di Kecamatan Ngimbang Kabupaten Lamongan, meski akibat dari gempa ini tidak dirasakan peristiwa ini menjadi tanda untuk diwaspadai. Sesar Kendeng ini terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan yang dapat diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah Jawa Timur, sesar Kendeng sendiri melewati Surabaya, Sidoarjo utara, Mojokerto utara, Jombang utara, Madiun utara sampai Cepu (jatim.idntimes.com,2021)

Belum dilakukannya penelitian secara mendalam oleh pemerintah terkait keaktifan dua sesar yang berada di Surabaya, Dr. Amien Widodo menyarankan kepada Pemerintah Kota Surabaya untuk segera dilakukan pemetaan wilayah berisiko gempa dengan melakukan pemetaan penilaian kualitas bangunan dan sifat fisik tanah di Kawasan Surabaya (Kompas.com,2021).

Dampak kejadian bencana secara signifikan merugikan kota Surabaya. Pamungkas & Iranata (2017) dalam studinya mengenai pengukuran *indeks resiliensi* melalui *Climate and Disaster Resilience Index* (CDRI) pada aspek kelembagaan oleh menyatakan bahwa strategi yang berhubungan dengan kegiatan minimalisir risiko bencana kota Surabaya masih kurang baik, dalam artian bahwa tata ruang Kota Surabaya belum sepenuhnya dapat mengakomodasi upaya manajemen risiko bencana secara menyeluruh.

Berdasarkan pada konsep teoritis dan fenomena empiris terkait dengan kebencanaan yang terjadi khususnya di Kota Surabaya perlu diwaspadai dan dicegah sedini mungkin. Penelitian ini merupakan penelitian literatur yang membahas manajemen risiko kebencanaan yang ditinjau dari aspek infrastruktur, tata ruang wilayah dan system informasi geografis.

## **METODE**

Penelitian ini dilakukan dengan menggali informasi kebencanaan dari penelitian-penelitian terdahulu yang bersangkutan dengan tema penelitian ini, diantaranya berupa buku, hasil penelitian, dokumen rencana tata ruang, tugas akhir serta artikel di internet dan media massa. Informasi dari literatur-literatur tersebut dibahas dan dianalisa dengan metode diskriptif. Penjelasan dari literatur akan dirumuskan sehingga dapat ditarik kesimpulan tentang teori manajemen risiko bencana yang diharapkan akan menjadi satu bagian dalam mitigasi kebencanaan.

## **TELAAH PUSTAKA**

### **Manajemen Risiko Bencana**

Definisi bencana berdasarkan UU No. 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan Bencana disebutkan bahwa bencana adalah suatu rangkaian kejadian, secara alamiah atau faktor non alam serta faktor manusia, yang dapat mengancam dan mengganggu kehidupan sehingga menimbulkan kerugian harta benda, hilangnya nyawa, kerusakan lingkungan dan dampak psikologis lainnya.

Manajemen risiko bencana (*disaster risk management*) adalah proses pengelolaan secara sistematis dan terencana

penerapan strategi dan kebijakan penanggulangan bencana dengan menekan pada aspek – aspek pengurangan faktor risiko bencana. Perhatian utamanya adalah pencegahan untuk mengurangi dampak bencana dari serangkaian kegiatan dan tindakan pencegahan, mitigasi dan kesiapsiagaan. Sehingga tujuan dari manajemen risiko bencana ini untuk mengurangi faktor – faktor yang mendasari munculnya risiko serta menciptakan kesiapsiagaan terhadap bencana (bencanapedia.id,2021).

### **Aspek – aspek Manajemen Risiko Bencana**

Pada manajemen risiko bencana perhatian utamanya pada pada faktor – faktor yang bertujuan untuk mengurangi risiko saat sebelum terjadinya bencana. Aspek yang menjadi perhatian dalam manajemen risiko bencana, yakni :

1. Pencegahan bencana adalah rangkaian kegiatan yang dilaksanakan sebagai kegiatan untuk meminimalkan resiko bencana .
2. Mitigasi kebencana diartikan sebagai rangkaian usaha untuk meminimalkan risiko bencana, baik melalui pembangunan infrastruktur maupun sosialisai kemasyarakatan untuk tanggap dalam menghadapi bencana.
3. Kesiapsiagaan dimaksudkan sebagai rangkaian upaya untuk mengantisipasi bencana melalui organisasi kemasyarakatan yang sistematis secara tepat dan berdaya guna. Dalam kesiapsiagaan terdapat *early warning* atau peringatan dini yang dilaksanakan oleh Lembaga yang berwenang sebagai peringatan kepada masyarakat mengenai kemungkinan terjadinya bencana..





Gambar 1. Alur Penanggulangan Bencana  
 Sumber : Perka BNPB 4/2008

## Resiliensi

Resiliensi di definisikan sebagai daya tahan dan kelenmturan dari suatu individu, komunitas atau masyarakat yang terdampak bencana untuk melawan, menyerap, mengakomodasi dan memulihkan diri dari dampak suatu bencana secara cepat dan efisien, untuk kemudian melakukan upaya pemulihan struktur dan fungsi dasar yang penting (UNISDR, 2009). Resiliensi merupakan gabungan dari tiga karekter utama (Barrett & Constas, 2013) :

1. *Absorb shock* yaitu kemampuan untuk menahan perubahan dan tekanan
2. *Bounce back* yaitu kemampuan system Kembali ke keadaan sebelum bencana
3. *Learning and adaption* yaitu kampuan system untuk belajar dan beradaptasi

Resiliensi merupakan bentuk upaya dari suatu proses sosial yang mencoba untuk menjelaskan bagaimana kelompok masyarakat mengatasi kesulitan dalam hal ini bencana (Kuig, Edge, Joce & Deer, 2008).

### **Proses Sistematis Manajemen Risiko Bencana**

Berdasarkan pada teori resiliensi yakni mengenai kapasitas individu maupun kelompok masyarakat dalam menghadapi bencana dan mengurangi dampak buruk akibat bencana dapat diartikan bahwa Manajemen Risiko Bencana meliputi identifikasi dan pemantauan risiko bencana, perencanaan partisipatif penanggulangan bencana, pengembangan budaya sadar bencana, peningkatan komitmen terhadap pelaku penanggulangan bencana, serta penerapan upaya secara fisik maupun non fisik dan penanggulangan bencana.

### **Perencanaan Spasial**

Perencanaan spasial atau keruangan seperti yang tertuang didalam UU No. 26 tahun 2007 bagian pertama yang berisi tentang rencana tata ruang yang menyatakan bahwa penataan tata ruang adalah proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang dan pengendalian pemanfaatan ruang, dengan tujuan untuk menciptakan harmonisasi lingkungan alam dan buatan yang multifungsi dengan mempertimbangkan manusia (Healy, 1997, Alberchts, 2006, King, Gurtner, Firdaus, Harwood & Cottrel, 2016).

Keterkaitan antara keruangan dan manajemen risiko bencana menurut tan et al. (2011) dan UNISDR (2009) adalah upaya antisipasi untuk mengurangi risiko bencana secara sistematis dalam upaya mengurangi dampak bencana serta

keputusan administratif yang dalam tinjauan spasial dengan rencana tata ruang kota.

Dalam konteks spasial manajemen risiko bencana meliputi pengaturan pemanfaatan ruang dalam hal ini berupa pemetaan atau pembuatan peta daerah rawan, keteknikan yang berupa rekayasa teknik terhadap infrastruktur, Pendidikan dan pemberdayaan serta kesiapan secara kelembagaan.

## **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Perspektif manajemen risiko bencana merupakan perkembangan dari cara pandang terhadap bencana, jika sebelumnya bencana didefinisikan sebagai kejadian tiba – tiba yang disebabkan oleh gejala alam dan tidak bisa di prediksi sehingga mengakibatkan kerusakan serius untuk masyarakat terdampak bencana, pada saat ini bencana merupakan suatu bagian dalam siklus kehidupan manusia dalam keseluruhan kehidupan. Sehingga perencanaan pembangunan dikondisikan dalam kondisi terjadinya bencana yang terintegrasi sebagai upaya untuk mencegah, mengurangi dampak serta mengantisipasi risiko bencana. Pada saat ini penanganan bencana tidak hanya dilihat sebagai rangkaian keadaan darurat, namun sudah menjadi bagian dari manajemen risiko sehingga dampak buruk dari suatu kejadian dapat dikurangi.

Dari hasil review literatur terhadap manajemen risiko bencana di Kota Surabaya dikelompokkan untuk jenis bencana sebagai berikut :

Jenis Bencana	Penyebab	Penulis
<b>Banjir</b>	Banjir yang terjadi di kota Surabaya, merupakan banjir rob atau banjir akibat <i>backwater</i> dari laut dan terjadi di bagian hilir saluran primer.	[4], [15], [16]  [16],[17],[18],[19]
	Banjir terbesar di Surabaya saat ini berada di wilayah perbatasan Surabaya dan Gresik, banjir tersebut diakibatkan oleh kapasitas eksisting kalilamong yang tidak bisa menampung debit banjir maksimum Ketika terjadi hujan	[2],[3],[4],[5], [6],[7],[9] [3],[5],[7],[8],[9] [11],[12],[13], [15],[18],[19]
<b>Gempa</b>	Kondisi topografi, tata guna lahan dan sistem drainase	[15],[21],[22]
	Perubahan Iklim yang menyebabkan meluapnya sungai Bengawan Solo dan sungai Brantas juga menyebabkan kejadian banjir di Kota Surabaya.	[8],[10],[15],[21], [22]

Jenis Bencana	Penyebab	Penulis
<p>Pemutakhiran data kebumian yang berkaitan dengan peta sumber dan bahaya gempa di Indonesia ada tahun 2017 terdapat 2 sesar /patahan di kota Surabaya yakni sesar Surabaya dan Sesar Waru menjadikan kota Surabaya menjadi waspada terhadap risiko potensi gempa bumi</p>	<p>[2], [6],[7],[9], [11]</p>	
<p>Peningkatan aktifitas gempa pada 2 sesar gempa di Surabaya yakni sesar Surabaya dan sesar Waru</p>		
<p>Kondisi tanah dan kondisi bangunan yang berada pada 2 sesar gempa di surabaya</p>		

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari beberapa studi dari penelitian yang sudah dilakukan potensi risiko bencana banjir dan gempa di kota Surabaya dapat dikategorika sebagai berikut:

a. Risiko Banjir :

1. Banjir yang terjadi di kota Surabaya, merupakan banjir rob atau banjir akibat backwater dari laut dan terjadi di bagian hilir saluran primer.
2. Banjir terbesar di Surabaya saat ini berada di wilayah perbatasan Surabaya dan Gresik, banjir tersebut diakibatkan oleh kapasitas eksisting kalilamong yang tidak bisa menampung debit banjir maksimum Ketika terjadi hujan
3. Kondisi topografi, tata guna lahan dan system drainase sangat berpengaruh pada kondisi banjir maupun dampak dari banjir yang ada di kota Surabaya.
4. Perubahan Iklim yang menyebabkan meluapnya sungai Bengawan Solo dan sungai Brantas juga menyebabkan kejadian banjir di Kota Surabaya.

b. Risiko Gempa

1. Pemutakhiran data kebumian yang berkaitan dengan peta sumber dan bahaya gempa di Indonesia ada tahun 2017 terdapat 2 sesar /patahan di kota Surabaya yakni sesar

- Surabaya dan Sesar Waru menjadikan kota Surabaya menjadi waspada terhadap risiko potensi gempa bumi
2. Peningkatan aktifitas gempa pada 2 sesar gempa di Surabaya yakni sesar Surabaya dan sesar Waru
  3. Kondisi tanah dan kondisi bangunan yang berada pada 2 sesar gempa di Surabaya

Dari penelitian-penelitian terdahulu sudah banyak dilakukan mengenai potensi risiko banjir dan gempa di kota Surabaya tapi di sisi yang lain masih minim penelitian mengenai strategi dalam mengurangi risiko maupun menanggulangi dampak daripada bencana banjir dan gempa tersebut dalam bentuk analisa teknis sekaligus menunjukkan bahwa masih kurangnya penelitian DRR (Disaster Reduction Risk) di kota Surabaya. Untuk itu kedepannya penelitian-penelitian yang akan dilakukan hendaknya juga mengkaji mengenai *Disaster Risk Reduction* pada kota Surabaya.

## REFERENSI

- 100 Resilient Cities. (2016). *Resilient Semarang Strategy Book : Resilient Semarang – Moving together towards a resilient Semarang*. Pemerintah Kota Semarang, 168.
- Antasari,E.,Daly, M., Glassey, P., Grace, E., & Coomer, M. (2017). *Disaster Risk Reduction (DRR) Capacity and Capability of Local Government in Indonesia*.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-54466-3>

- Asian Disaster Preparedness Center. (2011). RCC Guideline 3.2: *Promoting Use of Disaster Risk Information in Land-use Planning*, 2 (June), 1-40
- Bakornas PB. (2007) Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasi di Indonesia (S. Triutomo, B.W. Widjaja & M.R. Amri, Eds) (2<sup>nd</sup> ed). Jakarta : Direktorat Mitigasi, Lakhar BAKORNAS PB
- Bank, A.D. (2016). *Reducing Disaster Risk by Managing Urban Land Use : Guidance Notes for Planners*.
- Barret, C. B. & Conostas, M. (2013). *Resilience to avoid and escape chronic proverty: Theoretical Foundations and Measurement Principles*. Washington DC : Cornell University
- Costella, C., Bachofen, C., & Marcondes, G. (2017). 7 Things to Know about Managing Climate Risk Through Social Protection. Retrieved March 13, 2018 from <http://www.braces.org/resources/i/?id=394db34f-1a14-4fe5-9daa-d3a1921003fb>
- Daryono. (2016) Aktifitas Gempa Bumi di Jawa Timur. Surabaya
- Effendi,Z. (2017) Bakesbangpol Surabaya Dipecah, lahirilah Badan Penanggulangan Bencana, Retrieves January 5, 2017 from <https://news.detik.com/jawatimur/338894/bankesbangpol-surabaya-dipecah-lahirilah-badan-penanggulangan-bencana>
- EM-DAT. (2015). The International Disaster Database. Centre For Reasech on The Epidemiology of Disasters. <http://doi.org/www.em-dat.net>



- King,D., Gurtner, Y.,Firdaus,A.,Harwood,S.,&Cottrell,A, (2016) *Land use planning for disaster risk reduction and climate change adaptation : Operationalizing policy and legislation at local level*. International Journal of Disaster Resilience in the Build Environment, 7(2), 158-172
- King,D.,Harwood,S.,Cottrell, A.,Gurtner,Y.,& Firdaus,A. (2013). *Land Use Palnning For Disaster Risk Reduction and climate Change Adaption : Operationalizing Policy And Legislation At Local Level*. The United Nationas Office For Disaster Risk Reduction, INPUT PAPE (December 2013),1-20. <http://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.05.001>
- Kulig,J.C.,Edge,D.D.,Joyce,B.,& Deer, R.(2008). *Understanding Community Resiliency in Rural Communities Through Multimethod Research*, *Journal of Rural and Community Development*,3 (3),77-94
- Lasminto,U. (2015). Evaluasi Genangan Kota Surabaya. In Prsiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW) (pp.83-98) Surabaya
- Pamungkas,A.,& Iranata,D (2017). *Building Urban Resilience to Earthquake in Surabaya Through Development Regulation*, Surabaya
- Santoso,E.,B., (2013). Manajemen Resiko Bencana Banjir Kali Lamong Pada Kawasan Peri-Urban Surabaya – Gresik Melalui Pendekakatan Kelembagaan [https://www.researchgate.net/publication/281109229\\_MANAJEMEN\\_RISIKO\\_BENCANA\\_BANJIR\\_KALI\\_LAMONG\\_PADA\\_KAWASAN\\_PERI-URBAN\\_SURABAYA-](https://www.researchgate.net/publication/281109229_MANAJEMEN_RISIKO_BENCANA_BANJIR_KALI_LAMONG_PADA_KAWASAN_PERI-URBAN_SURABAYA-)

GRESIK\_MELALUI\_PENDEKATAN\_KELEMBAGA  
AN

- Setyowati,A.,& Yunita (2021) STUDI KELAYAKAN  
PENGADAAN TANAH GUNA PENGENDALIAN  
BANJIR PADA SUNGAI KALI LAMONG  
KABUPATEN GRESIK.  
<http://repository.ub.ac.id/185730/>
- UNISDR (2005b). *Knows Risk, Tudor Rose*
- UNISDR. (2009). *Terminology on Disaster Risk Reduction*.  
Geneva
- UNISDR. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk  
Reduction 201-2030. In Third World Conference Risk  
Reduction, Sendai, Japan,14-18 March 2015 (pp. 1-25)*.
- Widodo,A. (2018) Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Kota  
Surabaya. Surabaya
- Zakia, N. & Pamunkas, A (2018). *Integrasi Manajemen Resiko  
Bencana Untuk Rencana Tata Runag Kota Surabaya,  
Tugas Akhir*

## **BIOGRAFI SINGKAT PENULIS**

Anna Rosytha kelahiran Surabaya 23 Desember 1979 dosen aktif program studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surabaya, menyelesaikan Pendidikan S1 dan S2 bidang Penginderaan Jauh Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Beberapa karya yang telah dipublikasikan adalah :

Studi Analisa Banjir Dengan Menggunakan Teknologi SIG DI Kabupaten Bojonegoro ; Proseding Seminar Nasional VII 2011 Teknik Sipil ITS Surabaya ISBN 978-979-99321-6

Perencanaan Sistem Drainase Kota Mulyorejo Dan Sekitarnya DI Kota Surabaya; Universitas Muhammadiyah Surabaya

Pengelolaan Aset Irigasi Daerah Irigasi Kening (2,522 Ha)

Menggunakan Aplikasi PDSA-PAI Kabupaten Tuban; Ge-

STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil 1 vol. 2, 2019

Studi Sistem Jaringan Drainase Tersir (SJDT) Pada Sub Sistem Pematusan Greges Di Kota Surabaya;

Studi Dampak Pengembangan Pemukiman di Wilayah Pesisir Surabaya Timur; AGREGAT 1 vol. 2, 2016