

VOL. 2/DESEMBER/2017

SEM INAR NASIONAL  
TEKNIK MESIN  
**SISTEM** 

ISSN : 2541-6987

# PROSIDING

Seminar Nasional Teknik Mesin

JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017

# ***PROSIDING SISTEM 2017***

INOVASI PENEMUAN TERBARU DI BIDANG KETEKNIKAN

ISSN : 2541-6987

Hak Cipta © 2017  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Jember

Dilarang memproduksi, mendistribusikan bagian dari publikasi ini dalam segala bentuk maupun media tanpa seijin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik - Universitas Jember

Dipublikasi dan didistribusikan oleh  
**Jurusan Teknik Mesin**  
Fakultas Teknik  
Universitas Jember  
Jalan Kalimantan 37 Kampus Tegal Boto  
Jember 68121  
INDONESIA

Telp. (0331) 484977  
Fax. (0331) 339029  
Website : [www.mesin.teknik.unej.ac.id](http://www.mesin.teknik.unej.ac.id)  
Email : [sistem@unej.ac.id](mailto:sistem@unej.ac.id)



-  [sistem.teknik.unej.ac.id](http://sistem.teknik.unej.ac.id)
-  [facebook.com/sistem.unej](https://facebook.com/sistem.unej)
-  [@sistemunej](https://twitter.com/sistemunej)
-  [@sistemunej](https://www.instagram.com/sistemunej)

## KATA PENGANTAR

Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM) adalah acara tahunan yang diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Jember. Dari hasil seminar diharapkan dapat memberikan dampak secara luas kepada masyarakat, sehingga topik yang konkrit dan terbaru selalu diusung menjadi tema utama seminar. Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM) kali ini mengusung tema “Inovasi Penemuan Terbaru di Bidang Keteknikan”.

Kualitas penelitian yang baik dalam bidang Teknik Mesin memiliki kontribusi yang besar dalam meningkatkan daya saing dan inovasi industri. Melalui Seminar Nasional Teknik Mesin ini, karya-karya penelitian yang telah terkumpul diharapkan memberikan solusi efektif, efisien, dan ramah lingkungan terhadap masalah-masalah di bidang keteknikan, sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan daya saing bangsa melalui penelitian dan inovasi pada bidang keteknikan untuk menghadapi persaingan global.

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sebab hanya oleh karena rahmat dan anugerah-Nya maka acara Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM) dapat terselenggara. Ruang lingkup makalah pada Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM) dikelompokkan menjadi empat bidang, yaitu: Konversi Energi, Manufaktur, Desain, Metalurgi dan Material. Lebih lanjut, kualitas makalah dijaga dengan baik melalui proses review yang ketat.

Akhir kata kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan prosiding SISTEM ini. Terlepas dari segala kekurangan yang ada, kiranya segenap upaya yang telah dilakukan dapat bermanfaat bagi kemajuan, penguasaan ilmu pengetahuan & teknologi di Indonesia dan menjadi pendorong untuk menghasilkan karya-karya penelitian lanjutan yang lebih baik.

Jember, 21 Desember 2017

**Tim Editor**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
REVIEWER	iv
PANITIA PELAKSANA	v
<b>1. PENGARUH UKURAN DIAMETER <i>INLET</i> - <i>OUTLET</i> MESO SCALE COMBUSTOR TERHADAP KESTABILAN NYALA API PEMBAKARAN <i>LIQUIFIED PETROLEUM GAS</i> (LPG)</b>	<b>1</b>
Andi Sanata <sup>1*</sup> , ING. Wardana <sup>2</sup> , Lilis Yuliaty <sup>2</sup> , Mega Nur Sasongko <sup>2</sup>	
<b>2. ANALISIS KEBOCORAN <i>FLUKS</i> DAN PEMBEBANAN TERHADAP RUGI-RUGI INTI BESI DENGAN MENGGUNAKAN <i>FINITE ELEMENT METHOD</i> (FEM) PADA TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA</b>	<b>6</b>
Erinna Dyah Atsari <sup>1*</sup> , Bambang Sri Kaloko <sup>2</sup> , Dedy Kurnia Setiawan <sup>2</sup>	
<b>3. DESAIN DAN PEMBUATAN MESIN PAN <i>GRANULATOR</i> PUPUK ORGANIK BERKAPASITAS 250 KG/JAM</b>	<b>12</b>
Dwi Djumhariyanto <sup>1*</sup> , Robertus Sidartawan <sup>1</sup>	
<b>4. IMPLEMENTASI SCADA PADA <i>GENERATOR</i> PENGUATAN TERPISAH DENGAN ARDUINO MEGA 2560</b>	<b>16</b>
Ibrahim Saiful Millah <sup>1*</sup> , Moch. Gozali <sup>2</sup> , Triwahju Hardianto <sup>2</sup>	
<b>5. TINJAUAN TERHADAP PENGEMBANGAN POTENSI PANAS BUMI BLAWAN-IJEN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK 2×55 MW</b>	<b>22</b>
Haeruddin <sup>1*</sup>	
<b>6. KOMPOSIT KONDUKTIF BERBASIS BIODIOKSIDA ECENG GONDOK</b>	<b>27</b>
Azam Muzakhim Imammuddin <sup>1*</sup> , Sudjito Soeparman <sup>2</sup> , Wahyono Suprpto <sup>2</sup> , Achmad As'ad Sonief <sup>2</sup>	
<b>7. PERANCANGAN DAN SOSIALISASI KEPADA KELOMPOK TANI MESIN PENGHANCUR BAHAN ORGANIK KAPASITAS 250 KG/JAM</b>	<b>31</b>
Santoso Mulyadi <sup>1*</sup> , Dwi Nurtanto <sup>1</sup>	
<b>8. STUDI PENGARUH FRAKSI UKURAN PADA PROSES SIANIDASI <i>CARBON IN LEACH</i> (CIL)</b>	<b>37</b>
Siti Aminah <sup>1*</sup>	
<b>9. OPTIMASI PERENCANAAN JARINGAN LTE E-UTRAN PADA <i>EVOLVED NODE B EXISTING</i> MENGGUNAKAN METODE PROBABILITAS MONTE CARLO</b>	<b>43</b>
Nurul Hidayah <sup>1*</sup> , Dodi Setiabudi <sup>2</sup> , Catur Suko Sarwono <sup>2</sup>	
<b>10. NANOTEKNOLOGI PADA INDUSTRI MINYAK DAN GAS: APLIKASI <i>NANOMATERIAL</i> LOGAM OKSIDA</b>	<b>50</b>
Riska Laksmi Sari <sup>1*</sup>	
<b>11. TINJAUAN KONSEP DAN APLIKASI <i>VORTEX INDUCED VIBRATION AQUATIC CLEAN ENERGY</i> (VIVACE)</b>	<b>57</b>
Muammar Kadhafi <sup>1*</sup> , Agus Triono <sup>1</sup>	
<b>12. RANCANG BANGUN MESIN PENGHALUS GARAM UNTUK PEMBERDAYAAN GARAM RAKYAT DI KABUPATEN JENEPONTO</b>	<b>62</b>
Muhammad Syahid <sup>1*</sup> , Azwar Hayat <sup>1</sup> , Firman <sup>2</sup>	
<b>13. <i>SMART SUPPLY SYSTEM</i> MENGGUNAKAN <i>FISH BONE</i> DIAGRAM (PEMILIHAN PEMASOK DI INDUSTRI BAJA)</b>	<b>65</b>
Agus Ristono <sup>1*</sup> , Pratikto <sup>1</sup> , Purnomo Budi Santoso <sup>2</sup> , Ishardita Pambudi Tama <sup>2</sup>	

**14. ANALISIS PERUBAHAN PROPAGASI DAN *TILT* ANTENA FREKUENSI 1800 MHZ TERHADAP PERENCANAAN CAKUPAN AREA SISTEM *LONG TERM EVOLUTION* (LTE) MENGGUNAKAN *PHYSICAL CELL IDENTITY* (PCI)**

**70**

Dahlia Fatmawati<sup>1\*</sup>, Dodi Setiabudi<sup>2</sup>, Catur Suko Sarwono<sup>2</sup>

**REVIEWER**

1. Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, MM.
2. Dr. Nasrul Ilminnafik, ST., MT.
3. Dr. R. Koekoeh K.W, ST., M.Eng.
4. Dr. Agus Triono, ST., MT.
5. Boy Arief Fachri, ST., MT., Ph.D.
6. Dr. Gaguk Djatisukamto, ST., MT.
7. Dr. Amalia Sholeha, S.Si., M.Si.
8. Dr. Muh. Syahid, ST., MT
9. Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST.MT

## PANITIA PELAKSANA

<b>Pelindung</b>	Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
<b>Penanggungjawab</b>	Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember
<b>Ketua Panitia</b>	Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.
<b>Sekretaris</b>	Danang Yudistiro, S.T., M.T.
<b>Anggota</b>	Rika Dwi Hidayatul Q., S.T., M.T. M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T. Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. R. Puranggo Ganjar Widityo, S.T., M.T. Robertus Sidartawan, S.T., M.T. Skriptyan Noor Hidayatullah Syuhri, S.T., M.T. Rahma Rei Sakura, S.T., M.T. Hery Indria Dwi Puspita, S.Si., M.T. Fadila Rahmana, S.Si., M.T. Siti Halimah



**PENGARUH UKURAN DIAMETER INLET - OUTLET MESO SCALE COMBUSTOR TERHADAP KESTABILAN NYALA API PEMBAKARAN LIQUIFIED PETROLEUM GAS (LPG)**

Andi Sanata<sup>1\*</sup>, ING. Wardana<sup>2</sup>, Lilis Yuliaty<sup>2</sup>, Mega Nur Sasongko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Doktor Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

<sup>2</sup>Staf Dosen Pengajar, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Email: \*andisanata\_uj@yahoo.co.id

**ABSTRAK**

Penelitian ini membahas tentang pengaruh ukuran diameter *inlet* ( $D_1$ ) - *outlet* ( $D_2$ ) *meso scale combustor* dengan suatu laluan bertingkat (*backward facing step*) terhadap kestabilan nyala api pembakaran *Liquid Petroleum Gas* (LPG). Tembaga (Cu) digunakan sebagai material *inlet* dan pipa kaca pyrex sebagai material *outlet meso-scale combustor*. Dilakukan variasi pada ukuran diameter *inlet - outlet* dengan rasio  $D_1/D_2$  sama sebesar 0.7 yaitu  $D_1/D_2 = 2.45/3.5$  mm dan  $D_1/D_2 = 3.29/4.7$  mm untuk mendapatkan optimalisasi ukuran yang memberikan kestabilan nyala api yang lebih baik. *Liquid Petroleum Gas* (LPG) digunakan sebagai bahan bakar dengan udara sebagai pengoksidatornya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan rasio  $D_1/D_2$  yang sama (0.7), semakin besar ukuran diameter *inlet - outlet meso scale combustor*, luasan *flammability limit range* yang terbentuk juga semakin besar dan titik - titik kestabilan nyala api yang dihasilkan semakin banyak. Hasil visualisasi nyala api menunjukkan bahwa semakin besar ukuran diameter *inlet - outlet*, memberikan nyala api yang semakin dekat dengan *backward facing step* dan dinding *combustor*. Pada ukuran diameter yang besar, kecepatan reaktan yang masuk ke daerah pembakaran relatif lebih kecil dan reaktan dapat segera memenuhi seluruh area penampang *combustor*, sehingga pembakaran di dalam *meso-scale combustor* dengan ukuran diameter yang lebih besar menjadi lebih stabil dengan letak nyala api yang lebih dekat ke daerah *facing step* dan luas penampang api yang hampir memenuhi luas penampang *combustor*. Pada variasi ukuran diameter yang lebih kecil kecepatan reaktan yang masuk ke daerah pembakaran meningkat, serta letak nyala api semakin jauh dari *facing step* dengan luas penampang api yang semakin mengecil yang akan menurunkan kestabilan nyala api.

Kata Kunci: *meso-scale combustor, backward facing step, flammability limit*

**PENDAHULUAN**

Miniaturisasi pembangkit energi berskala kecil yang tergolong pada *Micro Electro Mechanical System (MEMS)* telah marak dikembangkan oleh berbagai pihak. *Meso Scale Combustor* merupakan komponen utama *Micro Thermo Photovoltaic (M-TPV)* yang termasuk dalam *Micro Electro Mechanical System (MEMS)* untuk peralatan listrik *portable* yang telah menjadi kebutuhan yang sangat penting di masyarakat. *Meso-scale combustor* berperan mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi termal melalui sebuah proses pembakaran. Energi termal dari hasil pembakaran tersebut nantinya akan dikonversikan menjadi energi listrik [1].

Pembakaran pada *meso-scale combustor* harus stabil untuk menjamin kontinuitas pembakaran energi termal. Beberapa kekurangan dari *meso-scale combustor* tersebut adalah tidak stabilnya api pada saat pembakaran berlangsung. Ketidakstabilan tersebut disebabkan oleh skala

pembakaran yang diperkecil, sehingga perbandingan kerugian kalor (*heat loss*) yang terbangun ke sistem sekitar dan lingkungan dengan energi yang dibangkitkan akan meningkat [2]. Tentunya tidak mudah mengingat terbatasnya waktu pembakaran dalam ruang bakar (*fuel residence time*) dan laju kehilangan kalor (*heat loss*) yang mengakibatkan ketidakstabilan pembakaran. Agar api saat pembakaran stabil maka upaya yang dilakukan adalah meningkatkan *fuel residence time*, kecepatan reaksi pembakaran dan mengurangi *heat loss* [3].

Semakin kecil diameter *combustor* maka daerah stabilitas api yang digambarkan pada diagram kecepatan-*equivalence ratio* semakin sempit. Penyebabnya adalah kehilangan panas yang lebih tinggi dan keterbatasan waktu nyala api yang tidak memadai akibat meningkatnya *surface to volume ratio* [4]. Nyala api mampu stabil dengan baik apabila pada *meso combustor* memiliki

*area/volume ratio (surface to volume ratio)* pada rentang tertentu [5].

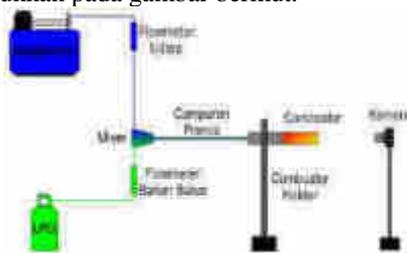
Pemberian *wire mesh* pada *meso combustor* mampu menambah *residence time* dari reaktan. Selain itu, pemberian *wire mesh* tersebut juga mampu berperan sebagai pemegang nyala api (*flame holder*), sehingga posisi nyala api dapat bertahan di dalam *combustor*. Dengan demikian distribusi temperatur dapat lebih merata terhadap dinding *combustor* [6]. Selain itu, nyala api yang stabil juga mampu dihasilkan oleh *meso-scale channel* yang diberikan suatu rongga atau biasa disebut *wall cavities* [7].

Kestabilan nyala api dapat meningkat juga dengan diberikannya suatu laluan bertingkat atau biasa disebut *backward facing step*. Selain itu, pemberian *backward facing step* mampu mengontrol posisi nyala api dan menambah *residence time* reaktan. Pemberian *backward facing step* mampu mensirkulasikan ulang reaktan, sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik [8].

Dalam *review* penelitian - penelitian terdahulu, pemberian *backward facing step* telah mampu meningkatkan kestabilan pembakaran, meningkatkan *residence time*, dan sekaligus sebagai *flame holder* yang mampu mengatur posisi nyala api. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan komposisi ukuran diameter inlet ( $D_1$ ) dan diameter outlet ( $D_2$ ) *combustor* dengan rasio diameter inlet dan diameter outlet ( $D_1/D_2$ ) yang konstan, untuk mengetahui optimalisasi ukuran diameter inlet - outlet *meso-scale combustor* dengan laluan bertingkat (*backward facing step*) yang ditunjang oleh parameter-parameter utama yaitu grafik *flammability limit* dan visualisasi nyala api.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental dimana dilakukan suatu pengamatan langsung terhadap alat uji pembakaran berskala meso. Data hasil pengamatan tersebut akan ditampilkan dengan bentuk grafik kecepatan-*equivalence ratio* atau yang biasa disebut grafik *flammability limit* dan visualisasi nyala api dengan tampak samping dan depan. Untuk menghasilkan parameter-parameter penelitian tersebut, pada penelitian ini ditunjang oleh suatu rangkaian alat uji seperti ditunjukkan pada gambar berikut.

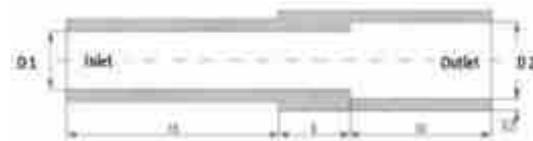


Gambar 1. Skematik alat uji

Dalam hal ini, skematik alat uji ditampilkan pada Gambar 1 berdasarkan alat dan bahan yang diperlukan dalam proses pengujian dan pengambilan data. Pada penelitian ini, *Liquidified Petroleum Gas (LPG)* digunakan sebagai bahan bakar dengan penggunaan udara sebagai oksidator. Sebuah tabung LPG bertekanan yang didalamnya terdapat campuran antara Butana dan Propana dengan rasio 1:1 digunakan sebagai input bahan bakar, sedangkan udara yang bertekanan didapatkan dari sebuah kompresor udara. Dua buah *flowmeter* (Kofloc RK 1250) digunakan sebagai alat kontrol terhadap debit bahan bakar dan udara yang memasuki *combustor*. Sebuah pencampur (*mixer*) yang digunakan untuk mendapatkan campuran *premixed* dari bahan bakar dan oksidator. Sebuah *meso-scale combustor* dengan *backward facing step* digunakan dengan diberikan suatu dudukan atau *combustor holder*. Kamera (Canon EOS 60D) digunakan untuk pengambilan visualisasi nyala api.

Pengujian pada pembakaran skala meso ini dilakukan untuk mendapatkan data hasil yang benar-benar optimal. Rangkaian alat uji yang ditetapkan berdasarkan prosedur pengujian merupakan penunjang pokok keberhasilan suatu penelitian. Dalam penelitian ini, reaktan yang merupakan campuran antara bahan bakar dan oksidator yang diinputkan dari tabung bertekanan dan kompresor udara. Reaktan tersebut dialirkan pada dua buah *flowmeter* guna untuk diatur debit bahan bakar dan udara yang akan masuk ke dalam *combustor*. Namun, sebelum memasuki *combustor*, udara dan bahan bakar dialirkan unuk melalui sebuah alat pencampur untuk didapatkan campuran *premixed*. Selanjutnya campuran *premixed* antara udara dan bahan bakar dialirkan pada sebuah *meso-scale combustor* untuk dilakukan proses pembakaran.

Pada penelitian ini, grafik *flammability limit* ditampilkan berdasarkan data yang didapatkan pada saat melakukan pengamatan dengan material *combustor* adalah tembaga (Cu), sedangkan visualisasi nyala api diasumsikan dengan mekanisme pembakaran pada *meso-scale combustor* dengan material tembaga (Cu) pada daerah *inlet* dan kaca (Pyrex) pada daerah *outlet*. Hal ini dilakukan mengingat pada *combustor* dengan material tembaga tidak dapat dilakukan visualisasi nyala api, sehingga diasumsikan pada *combustor* dengan material kaca (Pyrex).



Gambar 2. *Meso-scale combustor* dengan *backward facing step*

Sebuah *cylindrical meso-scale combustor* dengan *backward facing step* seperti pada Gambar 2. difabrikasi berdasarkan kebutuhan penelitian ini yaitu untuk mengetahui optimalisasi komposisi ukuran diameter inlet (D1) - diameter outlet (D2). Pengaturan efek geometri terhadap kestabilan nyala api pada sebuah ruang bakar berskala kecil memang memberikan dampak yang cukup besar. Dalam penelitian ini, fabrikasi *combustor* yang digunakan diatur berdasarkan perubahan pada komposisi ukuran diameter *inlet* dan diameter *outlet* dengan rasio D1/D2 yang konstan. Variasi geometri tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dimana detail geometri *combustor* diberikan.

Tabel 1. Geometri *meso-scale combustor*

Rasio (%)	D <sub>inlet</sub> (D1) (mm)	D <sub>outlet</sub> (D2) (mm)
70	2,45	3,5
70	3,29	4,7

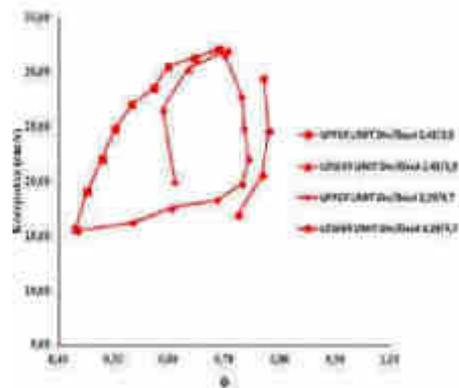
Untuk material *combustor* sendiri terbuat dari tembaga (Cu), sedangkan untuk pengambilan visualisasi nyala api diasumsikan dengan *combustor* dengan material tembaga dan kaca *pyrex*. Dengan demikian, akan memberikan gambaran mengenai pengaruh diameter *combustor*, terhadap grafik *flammability limit* dan visualisasi nyala api.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Grafik Flammability limit

Gambar 3 merupakan grafik *flammability limit* untuk pembakaran bahan bakar LPG pada *meso-scale combustor* dengan *backward facing step* pada variasi ukuran diameter inlet (D1) - outlet (D2) dengan rasio diameter inlet - outlet (D1/D2) yang sama (70%). Komposisi ukuran diameter *inlet* - *outlet combustor* pertama adalah 2.45/3.5 sedangkan komposisi ukuran diameter *inlet* - *outlet combustor* kedua adalah 3.29/4.7. Grafik *flammability limit* merupakan suatu bentuk grafik yang memberikan gambaran mengenai kestabilan nyala api. Pada grafik *flammability limit*, memiliki suatu kisaran (*flammability limit range*) yang biasa disebut batas mampu nyala atas (*upper limit*) dan batas mampu nyala bawah (*lower limit*). Dari penelitian ini telah didapatkan *flammability limit range* pada setiap *meso-scale combustor* seperti terlihat pada Gambar 3. Terlihat bahwa masing-masing *combustor* memiliki *flammability limit* yang berbeda-beda yang tentunya memiliki nilai kecepatan dan *equivalence ratio* yang berbeda-beda. Kinerja ruang bakar mikro yang dalam hal ini dipengaruhi oleh perbedaan komposisi diameter inlet - outlet sangat berperan penting terhadap *flammability limit range* yang dihasilkan oleh *combustor*. Luasan daerah kestabilan nyala api juga berpengaruh, karena sangat menentukan

terhadap jumlah titik nyala api yang dimiliki masing-masing *combustor*.



Gambar 3. Grafik *flammability limit meso-scale combustor* dengan *backward facing step*

Beberapa hal yang menunjang terhadap kisaran *flammability limit* pada grafik kecepatan-*equivalence ratio* telah berhasil didapatkan pada penelitian ini. Pengaruh kestabilan nyala api yang menyebabkan besar ataupun kecilnya kisaran *flammability limit* pada suatu *combustor* sangat jelas terlihat. Semakin besar luasan grafik *flammability limit* (*flammability limit range*), maka kestabilan nyala api yang terjadi semakin baik.

Kestabilan nyala api juga ditunjang oleh nilai *equivalence ratio* pada suatu *meso-scale combustor*. Pada Gambar 3 terlihat bahwa untuk setiap *combustor* memiliki kisaran nilai *equivalence ratio* terendah dan tertinggi. Hal ini memberikan kita gambaran bahwa ketika nilai *equivalence ratio* melebihi batas atasnya, maka api tidak bisa menyala, demikian juga berlaku jika nilai *equivalence ratio* melebihi batas bawahnya, maka api juga tidak bisa menyala. Oleh sebab itu, kestabilan nyala api pada setiap *combustor* sangat ditunjang oleh nilai *equivalence ratio*, dimana titik kestabilan nyala api yang terbaik ditentukan oleh nilai *equivalence ratio* pada rentang tertentu. Selain itu juga terlihat bahwa pada ketiga *meso-scale combustor* tersebut berada pada rentang *equivalence ratio* yang rendah, dengan artian bahwa pembakaran yang terjadi pada *combustor* tersebut berada pada campuran miskin bahan bakar.

Grafik *flammability limit* dengan diameter *combustor* 2.45/3.5 menunjukkan daerah *flammability limit* yang lebih sempit dibandingkan daerah *flammability limit* dengan diameter *combustor* 3.29/4.7. Dapat dilihat bahwa *equivalence ratio* terendah pada diameter *combustor* 3.29/4.7 adalah 0.43 dengan kecepatan reaktan sebesar 15.50 cm/s, *equivalence ratio* tertinggi adalah 0.74 dengan kecepatan reaktan sebesar 30.59 cm/s. Sedangkan *equivalence ratio*

terendah pada diameter *combustor* 2.45/3.5 adalah 0.58 dengan kecepatan reaktan 20.59 cm/s dan *equivalence ratio* tertinggi terletak pada nilai 0.77 dengan kecepatan reaktan 26.68 cm/s.

Pada grafik pada gambar 3 terlihat kecenderungan perbedaan luas daerah *flammability limit* yang dipengaruhi oleh besarnya ukuran diameter *combustor*. Tinggi atau rendahnya diameter *combustor* sangat berpengaruh terhadap grafik *flammability limit* yang dihasilkan. Pada Gambar 3 terlihat bahwa titik nyala api yang dimiliki oleh *combustor* dengan diameter 3.29/4.7 memiliki jumlah titik nyala api yang lebih banyak daripada *combustor* dengan diameter 2.45/3.5. Hal ini mengindikasikan bahwa, titik kestabilan nyala api yang dimiliki oleh *combustor* dengan diameter 3.29/4.7 lebih baik daripada diameter *combustor* 2.45/3.5. Dengan kata lain, semakin besar diameter *combustor* dengan rasio antara diameter inlet dan outlet yang sama, maka kestabilan nyala api akan semakin meningkat karena dipengaruhi oleh jumlah titik nyala api yang mampu dimiliki oleh suatu *combustor*.

Pada dasarnya, jumlah titik nyala api tersebut sangat dipengaruhi oleh jumlah debit reaktan yang memasuki *combustor*. Pada *combustor* dengan diameter yang besar, debit reaktan yang masuk akan semakin beragam, mulai dari debit terendah, hingga debit tertingginya. Sebaliknya, pada *combustor* dengan diameter yang lebih kecil, debit reaktan yang mampu melalui *combustor* akan sangat terbatas, hal ini akan mempengaruhi jumlah titik nyala api pada *combustor*. Semakin besar jumlah debit reaktan yang mampu dimiliki oleh suatu *combustor*, maka titik nyala api akan semakin banyak. Sehingga dengan titik nyala api yang semakin banyak, menyebabkan *flammability limit range* semakin luas pula, yang mengindikasikan bahwa kestabilan nyala api yang tercapai semakin meningkat.

**Visualisasi Nyala Api**

Pengambilan data visualisasi nyala api dilakukan dengan menentukan titik-titik pengambilan data. Dilakukan penentuan beberapa titik pengambilan data untuk mengetahui karakteristik visualisasi nyala api dimana untuk semua titik pengambilan data yang dilakukan api dapat menyala stabil dalam *combustor*. Penentuan titik tersebut dilakukan dengan mengambil nilai tengah diantara *upper* dan *lower limit* pada masing-masing *combustor*. Hal ini dilakukan untuk mencari titik kestabilan nyala api diantara nilai batas mampu nyala atas (*upper limit*) dan nilai batas mampu nyala bawah (*lower limit*). Karena masing-masing *combustor* memiliki jumlah titik nyala api yang berbeda-beda, maka kestabilan nyala api yang divisualisasikan juga berbeda-beda.

Hasil visualisasi nyala api pada masing-masing titik pengambilan data pada kondisi

kestabilan nyala api yang diasumsikan oleh *combustor* dengan material inlet tembaga dan outlet kaca pyrex ditunjukkan oleh Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Visualisasi nyala api *meso-scale combustor* dengan *backward facing step*

1. Variasi D1-D2 : 2,45/3,5 mm

Kecepatan (%)	Qr (ml/min)	Qa (ml/min)		φ		Vmax (cm/s)		Tampak Samping	Tampak Depan
		Qa min	Qa max	Upper Limit	Lower Limit	Vmin	Vmax		
10	2.53	95.48	117.50	0.61	0.72	14.09	20.12		
	3.24	115.57	150.73	0.50	0.77	20.59	26.68		
	4.05	138.68	179.88	0.68	0.78	24.72	30.38		
	4.66	163.80	189.87	0.71	0.77	29.31	32.15		
20	2.53	105.13	129.60	0.57	0.66	18.73	21.34		
	3.24	120.60	145.73	0.69	0.74	21.48	23.83		
	3.95	140.69	163.00	0.63	0.77	23.07	29.42		
30	2.53	115.57	139.84	0.58	0.66	20.47	23.09		
	3.24	123.61	145.71	0.61	0.72	21.89	25.62		
	3.95	130.64	153.70	0.66	0.83	23.33	27.68		

2. Variasi D1-D2 : 3,29/4,7 mm

No	Qr (ml/min)	Qa (ml/min)		φ		Vmax (cm/s)		Tampak Samping	Tampak Depan
		Qa min	Qa max	Upper Limit	Lower Limit	Vmin	Vmax		
1	2.53	118.77	140.78	0.43	0.44	15.50	15.70		
2	3.24	165.80	195.84	0.45	0.55	18.21	19.14		
3	3.95	178.88	226.01	0.48	0.60	17.57	22.11		
4	4.66	185.90	254.21	0.50	0.69	18.32	24.88		
5	5.38	200.98	278.31	0.53	0.73	18.83	27.07		
6	6.09	224.07	291.30	0.57	0.74	22.12	32.59		
7	6.80	238.20	311.47	0.60	0.74	24.86	30.59		
8	7.51	291.33	318.50	0.65	0.73	27.78	31.33		
9	8.22	321.32	336.54	0.66	0.70	31.69	32.18		

Pada Tabel 2 terlihat bahwa kecenderungan perbedaan letak posisi api dipengaruhi oleh kecepatan yang masuk pada *combustor*. Dengan semakin bertambahnya kecepatan aliran reaktan pada suatu *combustor*, maka posisi nyala api akan semakin menjauhi step dengan warna nyala api yang semakin terang dan kehijau-hijauan. Sebaliknya, dengan semakin berkurangnya kecepatan aliran reaktan, maka posisi nyala api akan semakin mendekati step dengan nyala api yang semakin biru. Hal ini dikarenakan, dengan bertambahnya kecepatan aliran reaktan yang memasuki *combustor*, maka nyala api akan cenderung terdorong untuk keluar *combustor*, sehingga kestabilan nyala api akan berkurang dikarenakan residence time dari reaktan juga berkurang. Sebaliknya, pada kecepatan aliran reaktan yang rendah, *residence time* dari reaktan akan bertambah, sehingga reaksi pembakaran dapat lebih lama berada pada *combustor*. Dengan demikian, kestabilan nyala api akan bertambah, dikarenakan pada reaksi pembakaran yang baik, titik nyala api akan bertambah pula.

Tabel 2 juga memperlihatkan bahwa pada posisi nyala api yang mendekati step mampu dicapai pada *meso-scale combustor* dengan

diameter 3.29/4.7. Selain itu, warna api yang beragam, juga mampu dimiliki oleh *combustor* ini. Pada *combustor* diameter 3.29/4.7, kondisi kestabilan nyala api yang baik mampu tercapai ketika kecepatan reaktan berada pada kisaran antara 15.70 cm/s sampai 22.25 cm/s dengan warna nyala api yang biru. Sebaliknya, pada kecepatan reaktan di atas 22.25 cm/s kestabilan nyala api berkurang, sehingga nyala api seakan-akan memiliki bentuk nyala api yang berbeda dengan yang lainnya. Hal ini dikarenakan, pada kecepatan yang terlalu tinggi, akan mengakibatkan terjadinya *blow off* yang mempengaruhi kestabilan nyala api.

Perbedaan lain ketika diameter *combustor* ditingkatkan adalah posisi nyala api yang mendekati step mampu tercapai pada *combustor* diameter 3.29/4.7. Hal ini memberikan gambaran bahwa fungsi *flame holder* yang dimiliki oleh *backward facing step* mampu tercapai dengan baik. Fungsi *flame holder* ini sangat penting untuk dimiliki suatu *combustor* dengan *backward facing step*, karena dengan *flame holder* maka posisi api dapat dikontrol. Selain itu, dengan adanya mekanisme *flame holder* akan mampu menambah *fuel residence time* dan mampu memperbaiki sirkulasi ulang reaktan selama berada di dalam *combustor*. Dengan demikian proses pembakaran yang dapat berlangsung secara lebih baik dan kestabilan nyala api dapat tercapai dengan baik.

## KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan tentang hasil penelitian yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang terkait tentang penelitian ini. Kesimpulan ini merupakan suatu bentuk optimalisasi pembakaran pada *meso-scale combustor* dengan *backward facing step*, yang dipengaruhi oleh *flammability limit* dan visualisasi nyala api pada variasi komposisi ukuran diameter inlet dan diameter outlet, yaitu:

*Flammability limit* pada *meso-scale combustor* dengan *backward facing step* dipengaruhi oleh diameter *combustor*. Semakin besar diameter *combustor* maka daerah *flammability limit* juga semakin luas.

Posisi nyala api dipengaruhi oleh diameter *inlet combustor*, dimana semakin besar diameter *inlet combustor*, maka posisi nyala api akan semakin mendekati step.

Dengan ditingkatkannya diameter *combustor* dengan rasio yang sama dapat membuat fungsi *flame holder* pada *backward facing step*

semakin baik dikarenakan nyala api semakin mendekati step.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chou S.K., Yang W.M., Li J., Li Z.W., 2010, *Porous Media Combustion for Micro Thermophotovoltaics System Application*, Applied Energy 87 (2010) 2862-2867
- [2] Li Z.W., Chou S.K., Shu C., Xue H., Yang W.M., 2005, *Characteristics of premixed flame in microcombustors with different diameters*, Applied Thermal Engineering 25 (2005) 271-281
- [3] Yang W.M., Chou S.K., Shu C., Li Z.W., Xue H., 2002, *Combustion in micro-cylindrical combustors with and without a backward facing step*, Applied Thermal Engineering 22 (2002) 1777-1787
- [4] Yuliati, L., Seo, T., Mikami, M. 2013. *Liquid-fuel combustion in a narrow tube using an electrospray technique*. Combustion and Flame 159 (2012) 462-464
- [5] Wirawan. 2014. *Kinerja Pembakaran Mikro Sebagai Pembangkitan Daya Densitas Tinggi*. Disertasi. Universitas Brawijaya Malang. Indonesia
- [6] Mikami M., Matsui K., Seo T., Yuliati L., 2013, *Combustion of gaseous and liquid fuels in meso-scale tubes with wire mesh*, Proceedings of the Combustion Institute 34 (2013) 3387-3394
- [7] Wan J., Fan A., Liu Y., Yao H., Liu W., Gou X., Zhao D., 2014, *Experimental investigation and numerical analysis on flame stabilization of CH<sub>4</sub>/air mixture in mesoscale channel with wall cavities*, Combustion and Flame xxx (2014) xxx-xxx
- [8] Xue H., Yang W.M., Chou S.K., Shu C., Li Z., 2005, *Microthermophotovoltaics Power System for Portable MemS Devices*, Microscale Thermophysical Engineering, 9:85-97.
- [9] J. Li, S.K Chou, G. Huang, W.M. Yang, Z.W. Li, 2009, *Study on premixed combustion in cylindrical micro combustors: Transient flame behavior and wall heat flux*, Applied Experimental Thermal and Fluid Science 33 (2009) 764-773
- [10] Yang, W. M., Chou, S.K., Shu, C., Xue, H., Li, Z.W., Li, D.T., Pan, J.F. 2003, *Microscale combustion research for application to micro thermophotovoltaic systems* 44 (2003) 2625-2634

## ANALISIS KEBOCORAN *FLUKS* DAN PEMBEBANAN TERHADAP RUGI-RUGI INTI BESI DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD* (FEM) PADA TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA

Erinna Dyah Atsari<sup>1\*</sup>, Bambang Sri Kaloko<sup>2</sup>, Dedy Kurnia Setiawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

<sup>2</sup>Staff Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*erinna.dyah@gmail.com

### ABSTRAK

Proses pengujian kebocoran *fluks* dan rugi-rugi inti besi pada *transformator* menjadi hal yang penting untuk dilakukan. Nilai kebocoran *fluks* sangat berpengaruh terhadap kinerja tegangan pada sisi primer dan akan mengakibatkan kinerja *transformator* tidak optimal. Nilai kebocoran *fluks* dapat digunakan untuk menentukan kualitas pada kinerja *transformator*. Sistem pengujian kebocoran *fluks* ini bisa dilakukan dengan banyak cara baik secara manual maupun secara otomatis. Namun jika dilakukan secara manual, maka akan membutuhkan waktu yang cukup lama dan kurang efektif. Sehingga diperlukan sebuah cara yang dapat bekerja secara otomatis yaitu dengan menggunakan *software* Matlab dengan menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu dengan membuat *software* pada Matlab secara otomatis dengan memberikan beberapa parameter. Metode pada sistem *Finite Element Method* (FEM) pada *software* Matlab dapat menghasilkan nilai kebocoran *fluks* dan rugi-rugi inti besi sehingga dapat mengetahui kinerja dari titik optimal *transformator*. Dari hasil analisis dan pengujian diketahui bahwa nilai kebocoran *fluks* tidak mempengaruhi beban dan nilai kebocoran *fluks* terhadap tegangan kerja berbanding lurus. Semakin besar tegangan kerja yang diberikan maka semakin besar pula nilai kebocoran *fluks*.

Kata Kunci: kebocoran *fluks*, inti besi *transformator*, finite element method (FEM), MATLAB

### PENDAHULUAN

Perusahaan Listrik Negara (PLN) merupakan perusahaan yang beroperasi dalam bidang kelistrikan dan erat kaitannya dengan pelayanan masyarakat. Dalam menghadapi konsumen, PLN selalu berusaha memberikan pelayanan yang terbaik, tidak sedikit masalah yang timbul saat melakukan pengoperasian penyaluran listrik, salah satunya pada *transformator*. *Transformator* merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya melalui aksi medan magnet (Roy, 1999). *Transformator* termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis dan berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi sama.

*Transformator* yang telah diproduksi, terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan. Dasar dari *transformator* apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet, sehingga akan

timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) (Wahyono, 2004).

Dengan adanya Gaya Gerak Listrik (GGL) yang mengalir ke inti besi secara terus menerus maka lempengan-lempengan besi yang terisolasi tersebut akan mengakibatkan kebocoran *fluks* inti besi. Kebocoran *fluks* pada inti besi dapat menimbulkan perubahan nilai *fluks* sehingga akan menimbulkan nilai arus eddy (eddy current) yang berbeda pula. Akibat dari kebocoran *fluks* inti besi dapat mengurangi kinerja *transformator*. Salah satu pengujian adalah dengan memberi tegangan pada sirkit *transformator* dalam keadaan terbuka untuk mengetahui kebocoran *fluks* yang terdapat pada inti besi tersebut. Dari uraian diatas maka kebocoran *fluks* sangat bahaya bila dibiarkan dan perlu adanya penanganan yang baik.

Gangguan *transformator* pada inti besi sangat berpengaruh pada sistem kelistrikan. Gangguan yang diakibatkan oleh *transformator* bisa menyebabkan pemutusan daya ke konsumen rumah tangga maupun perusahaan. Untuk mengatasi hal tersebut tidak disarankan untuk mengganti *transformator*, karena *transformator* merupakan aset yang mahal. Penggantian *transformator* untuk meningkatkan keandalan sistem secara ekonomis bukan pilihan yang tepat.

Oleh karena itu, perlu adanya pengujian pada bagian yang mengalami gangguan, salah satunya yang paling membutuhkan perhatian dan perawatan yaitu inti besi dalam transformator yang merupakan bagian penting dalam menyalurkan listrik (Kashtiban, 2015).

Fungsi utama dari inti besi adalah untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh “Eddy Current”. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak-balik pada inti besi tersebut. Inti besi pada transformator mempunyai arus I1 yang akan menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada inti besi. Akibatnya adanya fluks magnet yang berubah-ubah pada kumparan primer dan akan timbul GGL induksi  $e_p$ .

Berdasarkan latar belakang uraian diatas, perlu adanya analisis kebocoran fluks pada transformator sehingga dapat mengetahui presentase hasil kebocoran fluks pada inti besi dengan menggunakan software Matlab. Kebocoran fluks itu sendiri sangat berpengaruh terhadap rugi-rugi inti besi. Selain itu, mengetahui hubungan kebocoran fluks terhadap rugi-rugi inti besi dan mengetahui hubungan antara pembebanan terhadap rugi-rugi inti besi.

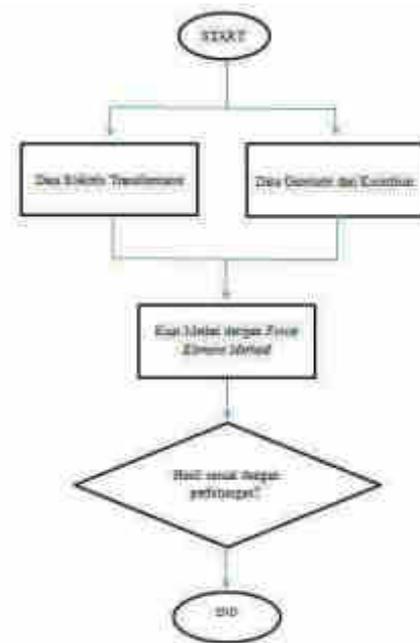
## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tentang “Analisis Kebocoran Fluks dan Pembebanan Terhadap Rugi-rugi Inti Besi dengan Menggunakan Finite Element Method (FEM) pada

Transformator Daya 60 MVA” ini dilaksanakan di Laboratorium PT. CG Power System Indonesia. Dengan data yang dibutuhkan yaitu data elektrik dan data geometri transformator daya kapasitas 60 MVA.

### Flowchart Sistem

Pada penelitian ini diperlukan perancangan sistem untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Perancangan sistem pada penelitian ini antara lain:



Gambar 1. Flowchart Sistem

Pemodelan transformator transmisi dengan kapasitas 60 MVA, 150/22 kV dilakukan untuk menganalisis kebocoran fluks medan magnet pada inti transformator yang disimulasikan dengan software Matlab. Dengan software Matlab dapat dikomputasikan, sehingga mempermudah analisis kebocoran fluks medan magnet pada inti besi transformator. Pada inti transformator transmisi yang dimodelkan, bahan material yang digunakan adalah Rolled Silicon Steel dengan tipe 23PHD85 (Hi – B CRGO Grades). Nilai konduktivitas termal ( $\sigma$ ) sebesar  $2.08 \times 10^6$  S/m, permeabilitas relative ( $\mu_r = 3000$ , permeabilitas ruang hampa,  $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$  H/m), dan frekuensi transformator sebesar 50 Hz.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil yang sudah dicapai dari pembuatan program. Pembahasan akan lebih ditekankan pada pengujian kebocoran fluks yang digunakan serta parameter elektrik dan geometri transformator 60 MVA.

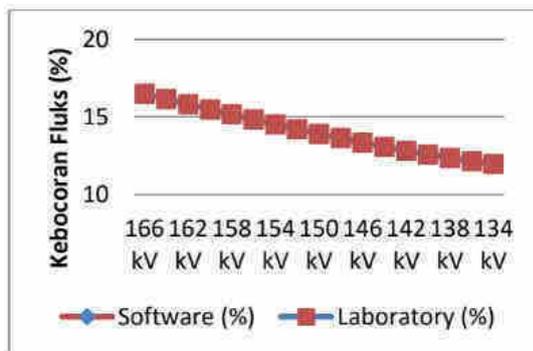
### Hubungan Tegangan Terhadap Kebocoran Fluks

Pada penelitian ini menganalisis mengenai kebocoran fluks inti besi pada transformator yang akan dihubungkan dengan tegangan kerja. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dalam penelitian ini menggunakan data +10% dari nilai tegangan kerja nominal, tegangan kerja nominal, -10% tegangan kerja nominal. Penambahan atau pengurangan tegangan kerja sebesar 2 kV secara berskala sehingga dalam penelitian ini terdapat 17 step dengan menggunakan tegangan nominal sebesar 150 kV yang dapat di lihat seperti pada

tabel 1 berikut ini. Banyaknya step yang ditentukan pada step kontrol agar setiap pergerakan aliran fluks medan magnet pada inti besi dapat terdeteksi dan presentase kebocoran fluks dapat terlihat perubahan gerakannya secara lebih spesifik.

Tabel 1. Perbandingan nilai kebocoran fluks

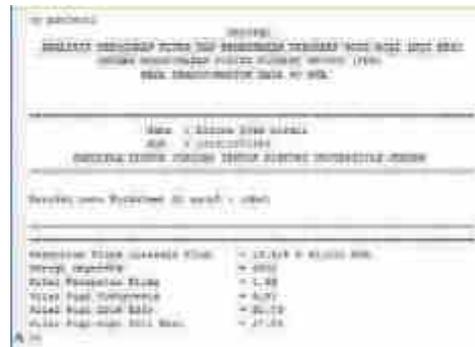
kV	Leakage Flux	
	Laboratorium	Software Matlab
166	16,48%	16,49%
164	16,14%	16,15%
162	15,80%	15,82%
160	15,47%	15,48%
158	15,15%	15,16%
156	14,83%	14,84%
154	14,51%	14,52%
152	14,20%	14,21%
150	13,90%	13,91%
148	13,62%	13,62%
146	13,33%	13,35%
144	13,07%	13,08%
142	12,81%	12,82%
140	12,57%	12,58%
138	12,35%	12,36%
136	12,14%	12,15%
134	11,96%	11,97%



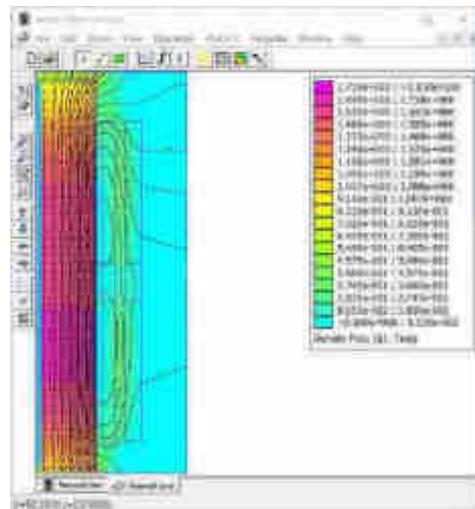
Gambar 2. Grafik nilai kebocoran fluks

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan baik dari hasil pengujian di laboratorium maupun dengan menggunakan *software* Matlab maka akan didapatkan hasilnya pada tabel 1. dan dapat dilihat grafik nilai kebocoran fluks pada gambar 2. Pada hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai yang didapatkan dari pengujian di laboratorium PT. CG Power System Indonesia maupun dengan *software* Matlab menghasilkan nilai persentase kebocoran fluks yang relatif sama yaitu pada kondisi nominal menghasilkan nilai kebocoran fluks sebesar 13.98% dalam hasil di laboratorium PT. CG Power System Indonesia dan pada *software* Matlab didapatkan nilai kebocoran fluks sebesar 14.01%. Sedangkan kerapatan yang dihasilkan adalah

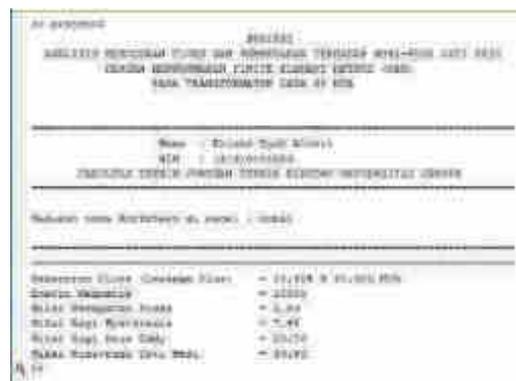
sebesar 1.66 Tesla pada kondisi tegangan nominal. Berikut ini merupakan hasil yang didapatkan pada *software* Matlab dengan menggunakan *Finite element method* (FEM):



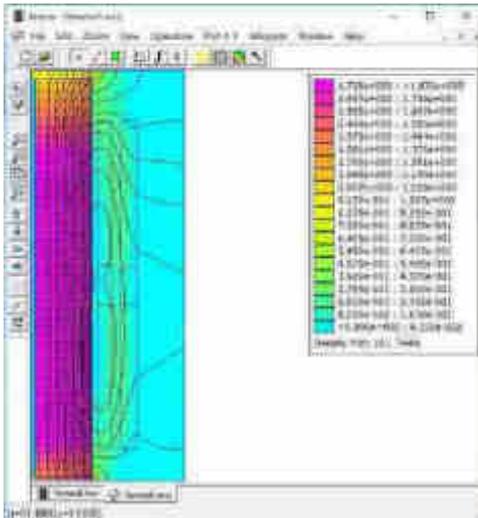
Gambar 3. Hasil pada kondisi tegangan nominal



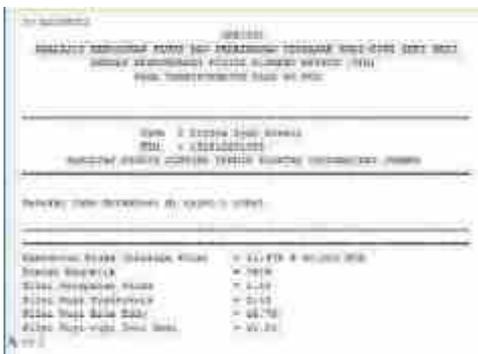
Gambar 4. Hasil FEM pada kondisi tegangan nominal



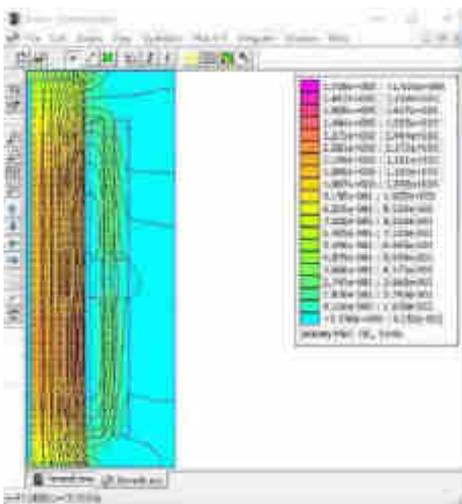
Gambar 5. Hasil pada kondisi tegangan maksimal



Gambar 6. Hasil FEM pada kondisi tegangan maksimal



Gambar 7. Hasil pada kondisi tegangan minimal



Gambar 8. Hasil FEM pada kondisi tegangan minimal

Pada gambar 3. menjelaskan mengenai kerapatan fluks dengan menggunakan *Finite Element Method*. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa ada beberapa warna yang berbeda-

beda. Warna tersebut mengartikan kerapatan fluks pada inti besi transformator. Pada setiap titik dalam inti besi, memiliki kerapatan fluks yang berbeda-beda sehingga menghasilkan warna yang berbeda-beda pula. Pada titik bagian ujung akan menghasilkan kerapatan fluks sebesar 0.83 T dan menghasilkan warna kuning kehijauan atau memiliki batas warna berkisar 0.83 – 0.91 T.

Pada titik tengah inti besi akan menghasilkan kerapatan fluks sebesar 1.67 T dan menghasilkan warna pink atau memiliki batas warna berkisar 1.64 – 1.73 T. Pada kondisi ini, memiliki nilai yang relatif sama seperti pada perhitungan. Pada perhitungan menghasilkan nilai kerapatan fluks sebesar 1.66 T. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan maka akan diperoleh pula hasil dari perhitungan yang akan dibandingkan dengan hasil yang telah didapatkan pada *software* Matlab.

### Hubungan Kebocoran Fluks Terhadap Rugi Inti Besi

Dalam penelitian ini, dapat memudahkan dalam menganalisis nilai kebocoran fluks pada transformator tanpa harus menguji transformator yang telah di rakit dan siap untuk di uji dalam laboratorium. Ketika penggunaan transformator yang tidak sesuai dengan standart maka akan menimbulkan kebocoran fluks yang sangat besar dan akan berakibat pada rugi-rugi inti besi yang sangat besar pula. Pada kondisi tegangan nominal yaitu bernilai 150 kV maka akan mendapatkan rugi-rugi inti besi yang dijelaskan pada tabel 4.3. Apabila rugi-rugi inti besi yang sangat besar, maka juga akan berpengaruh pada kondisi transformator. Sedangkan inti besi merupakan bagian penting dalam mengalirkan gaya gerak listrik yang akan menimbulkan fluks.

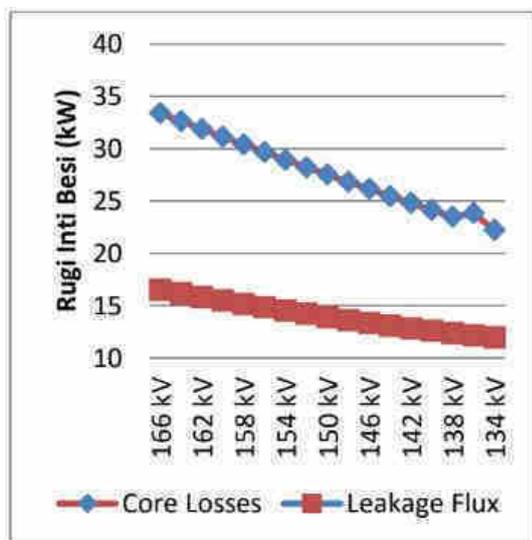
Rugi-rugi inti besi terdiri atas *rugi histerisis* dan *rugi arus eddy*. Besarnya rugi-rugi histerisis bergantung pada jenis besi yang digunakan untuk inti transformator. Dengan demikian, dalam praktiknya pemilihan bahan inti besi harus dipertimbangkan dengan baik untuk menghindari rugi-rugi histerisis yang terlalu besar. Seperti telah disebutkan sebelumnya, transformator hanya bekerja untuk suplai tegangan bolak-balik. Jadi, arus yang digunakan untuk membangkitkan fluks inti akan berubah terus menerus dari nilai positif ke nilai negatif.

Rugi inti besi yang diakibatkan oleh *eddy current* (*eddy current losses*). Kerugian karena *eddy current* disebabkan oleh aliran sirkulasi arus yang menginduksi logam. Ini disebabkan oleh aliran fluks magnetik disekitar inti besi. Karena inti besi transformator terbuat dari konduktor (umumnya besi lunak), maka arus eddy yang menginduksi inti besi akan semakin besar. *Eddy current* dapat menyebabkan kerugian daya pada sebuah transformator karena pada saat terjadi

induksi arus listrik pada inti besi, maka sejumlah energi listrik akan diubah menjadi panas. Cara menghitung besar rugi-rugi inti besi antara lain berdasarkan gabungan dari rugi histerisis dan rugi arus eddy.

Tabel 2. Perbandingan nilai kebocoran fluks terhadap rugirugi inti besi

Step	Tegangan	Kebocoran Fluks	Rugi-rugi Inti Besi
1	166 kV	16,49 %	33,40 kW
2	164 kV	16,15 %	32,64 kW
3	162 kV	15,82 %	31,88 kW
4	160 kV	15,48 %	31,13 kW
5	158 kV	15,16 %	30,40 kW
6	156 kV	14,84 %	29,67 kW
7	154 kV	14,52 %	28,94 kW
8	152 kV	14,21 %	28,23 kW
9	150 kV	13,91 %	27,53 kW
10	148 kV	13,62 %	26,83 kW
11	146 kV	13,35 %	26,15 kW
12	144 kV	13,08 %	25,47 kW
13	142 kV	12,82 %	24,80 kW
14	140 kV	12,58 %	24,14 kW
15	138 kV	12,36 %	23,49 kW
16	136 kV	12,15 %	23,84 kW
17	134 kV	11,97 %	22,21 kW



Gambar 9. Grafik perbandingan kebocoran fluks terhadap rugi-rugi inti besi

### Hubungan Pembebanan Terhadap Rugi Inti Besi

Berdasarkan hasil analisis ketika arus transformator diberikan beban maka tidak akan berpengaruh terhadap arus pada sisi primer. Kebocoran fluks pada inti besi, akan menyebabkan

panas pada sisi primer dan akan menghasilkan arus eddy. Arus eddy adalah arus yang bersikulasi di dalam inti transformator yang diakibatkan oleh terjadinya perubahan fluks magnetik. Arus eddy ini dapat dikurangi dengan membuat inti dari lempenganlempengan besi yang terlaminasi dimana masing-masing laminasi inti terisolasi satu sama lainnya. Rugi-rugi inti besi merupakan rugi-rugi tidak bergantung pada besarnya beban.

Dalam kondisi tanpa beban ataupun berbeban penuh, transformator akan memiliki rugi-rugi besi yang sama. Rugi hysteresis terjadi karena respon yang lambat dari material inti. Hal ini terjadi karena masih adanya medan magnetik residu yang bekerja pada material, jadi saat arus eksitasi bernilai 0, fluks tidak serta merta berubah menjadi 0 namun perlahan-lahan menuju 0. Sebelum fluks mencapai nilai 0 arus sudah mulai mengalir kembali atau dengan kata lain arus sudah bernilai tidak sama dengan 0 sehingga akan membangkitkan fluks kembali.

Rugi hysteresis ini memperbesar arus eksitasi karena medan magnetik residu yang mempunyai arah yang berlawanan dengan medan magnet yang dihasilkan oleh arus eksitasi. Oleh karena itu, hal ini membuktikan bahwa nilai kebocoran fluks yang akan mengakibatkan perubahan nilai rugi-rugi inti besi juga tidak akan mempengaruhi besarnya beban pada transformator daya. Rugi-rugi inti besi tidak bergantung pada besarnya beban. Dalam kondisi tanpa beban atau berbeban penuh, transformator akan memiliki rugi-rugi inti besi yang sama.

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Dalam pengujian kebocoran fluks tanpa dilakukan dengan perbandingan pada *software* Matlab dan hasil perhitungan dari Laboratorium. Pada penelitian ini nilai tegangan sangat berpengaruh terhadap nilai kebocoran fluks karena berbanding lurus. Semakin besar nilai tegangan kerja maka semakin besar pula nilai kebocoran fluks pada inti besi.
2. Kebocoran fluks dapat mempengaruhi nilai rugi-rugi inti besi karena akan merubah nilai fluks yang dihasilkan pada inti besi. Semakin besar nilai rugirugi inti besi maka dapat mempengaruhi kinerja optimal dalam transformator daya kapasitas 60 MVA.

Rugi-rugi inti besi tidak bergantung pada besarnya beban. Dalam kondisi tanpa beban atau berbeban penuh, transformator akan memiliki rugi-rugi inti besi yang sama.

## SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa saran antara lain:

1. Pada penelitian ini tidak membahas keseluruhan biaya dalam proses berjalannya transformator, dan tidak membahas mengenai biaya dalam pembuatan inti besi, untuk penelitian selanjutnya dapat membahas keseluruhan biaya dalam proses berjalannya transformator tersebut.
2. Dalam tugas akhir ini membahas rugi-rugi inti besi dan tidak membahas mengenai rugi-rugi tembaga, untuk penelitian selanjutnya dapat membahas rugirugi tembaga.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyono, Teguh. 2004. *Sistem*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [2] Thompson Roy, Lecky. 1999. *Constructive Appraisals*. London: Marshall Publishing.
- [3] Sumanto. 1991. *Teori Transformator*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [4] Kwon, Y. W. and Bang, H. 1996. *The Finite Element Method Using MATLAB*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- [5] Akin, J. E. (1994). *Finite Elements for Analysis and Design*. San Diego: Academic Press.
- [6] Ding, Guohua. 2011. Analysis of Leakage Flux in Large Transformer by Using Field-Circuit Couple Finite Element Method. IEEE Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. Pages: 1-4, DOI: 10.1109/APPEEC.2011.5748546.
- [7] Andersen. 2013 Transformer Leakage Flux Program Based on The Finite Element Method. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Volume: PAS-92, Issue: 2. Pages: 682 - 689, DOI: 10.1109/TPAS.1973.293773.
- [8] Wu. H. 2015. Calculation of Magnetic Flux Leakage and Temperature Field in New Power Transformer. IEEE Magnetics Conference (INTERMAG). Pages: 1-1, DOI: 10.1109/INTMAG.2015.7157212.
- [9] Kashtiban. 2015. Finite Element Calculation of Winding Type Effect on Leakage Flux in Single Phase Shell Type Transformers. IEEE Electrical Machines and Systems. Volume: 3. Pages: 1755-1758 Vol. 3, DOI: 10.1109/ICEMS.2005.202860.
- [10] Luo, Min. 2016. Leakage Flux Modelling of Multi-Winding Transformer using Permeance Magnetic Circuit. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). Pages:1108 -1114, DOI: 10.1109/APEC.2016.7468009.

## DESAIN DAN PEMBUATAN MESIN PAN GRANULATOR PUPUK ORGANIK BERKAPASITAS 250 KG/JAM

Dwi Djumhariyanto<sup>1\*</sup>, Robertus Sidartawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Email: \*dwidjumhariyanto@yahoo.com

### ABSTRAK

Desain ini bertujuan untuk membuat mesin granulasi pupuk organik untuk membantu masyarakat yang tinggal di lereng bukit Argopuro. Lereng bukit Argopuro merupakan lahan kritis karena telah mengalami penggundulan hutan sehingga lapisan humus telah terkikis oleh air hujan. Daerah ini sekarang merupakan daerah yang tandus sehingga tanaman pertanian susah hidup didaerah ini. Tanaman pertanian yang ditanam petani biasanya tanaman yang tahan terhadap kekurangan air seperti Jagung, Tembakau, Kedelai dan Ketela pohon. Penanaman tumbuhan produksi bisa tumbuh subur bila dilakukan pemupukan, biasanya petani disini memupuknya dengan membeli pupuk kimia dikios-kios resmi yang sudah ditunjuk oleh pemerintah, namun pada saat musim tanam masalah utama yang sering terjadi adalah kelangkaan pupuk dan harganya sangat mahal, sehingga petani daerah ini tanamannya hanya dipupuk ala kadarnya seperti pemberian kotoran hewan untuk membantu sementara agar tanamannya bisa tumbuh. Untuk mengatasi hal maka dilakukan pembuatan pupuk granul organik sebagai pengganti pupuk kimia yang selama ini dikeluhkan warga. Penyelesaian dilakukan secara komprehensif, meyeruruh dan tuntas. Tahapannya adalah: Tahapan penyelesaian pupuk granul organik yang terdiri atas mesin granulasi (pan granulator) dan tahapan alih teknologi ke masyarakat mitra, tahapan pemasaran dan pembukuan. Hasil rancangan didapatkan dimensi mesin pan granulator adalah: diameter pan 175 cm, tinggi pan 25 cm, diameter pulley 50 cm, rasio *reducer* 1:30, putaran pan granulator 15 rpm dan kapasitas granulasi 250 kg/jam. Sehingga dengan kehadiran kegiatan ini diharapkan akan menyelesaikan masalah yang dihadapi oleh kelompok masyarakat lereng Argopuro, terbentuknya ketentraman masyarakat dan akan menambah tenaga kerja baru dibidang usaha produksi pupuk granul organik.

Kata Kunci: pan granulator, pupuk organik dan alih teknologi

### PENDAHULUAN

Penduduk Indonesia pada tahun 2035 diperkirakan akan bertambah menjadi dua kali lipat dari jumlah sekarang, menjadi kurang lebih 400 juta jiwa. Akibatnya hingga kurun waktu tersebut, Indonesia memerlukan tambahan persediaan pangan lebih dari dua kali persediaan saat ini (Husodo, 2001). Krisis ekonomi yang berkepanjangan telah meningkatkan jumlah kelompok miskin di Indonesia. Tak kurang dari 40 juta rakyat Indonesia berada di bawah batas kemiskinan (BPS, 2000). Krisis juga telah menurunkan daya beli masyarakat terhadap bahan kebutuhan pangan. Hal tersebut jelas akan menyebabkan makin rapuhnya ketahanan pangan, karena aksesibilitas pangan yang semakin merosot. [Prمودya dan Budijanto, 2001] Penurunan ketahanan pangan ini juga diakibatkan oleh menurunnya kemampuan pemenuhan kebutuhan beras dalam negeri karena berbagai alasan seperti masalah menurunnya kesuburan tanah akibat erosi, pemakaian bahan kimia berlebihan,

terjadi *levelling off* dari peningkatan produktivitas tanaman pangan, penciptaan lahan dan berbagai masalah lain.

Apalagi tingkat konsumsi beras perkapita sebesar 130,1 kg/tahun merupakan tantangan yang berat. Terwujudnya ketahanan pangan pada tingkat rumah tangga merupakan komitmen nasional sebagaimana diamanatkan dalam GBHN 2001/2004, dan tercermin dari tersedianya pangan yang cukup beragam dengan harga yang cukup terjangkau oleh daya beli masyarakat dan serta beranekaragam konsumsi pangan masyarakat pada tingkat wilayah yang berbasis agroekosistem, budaya dan kondisi sosial ekonomi. [Ahmad Subagio, 2010]

Untuk meningkatkan produktivitas hasil pertanian biasanya petani menggunakan pupuk, yang merupakan bahan kimia/organisme yang menyediakan unsur bagi tanaman, baik secara langsung atau tidak langsung. Sedangkan pupuk anorganik atau yang lebih dikenal dengan pupuk kimia seperti Urea, NPK, KCl adalah hasil

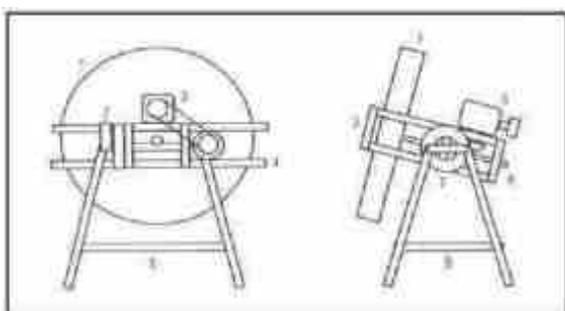
rekayasa industri secara kimia, fisik, dan biologis. Kandungan dalam pupuk kimia bermacam-macam dan sebagian besar mengandung unsur pembawa. Unsur pembawa tersebut berupa molekul kimiawi yang diketahui berdampak buruk bagi kesuburan tanah. Seperti yang telah diketahui bahwa pupuk kimia adalah zat substitusi yang dibutuhkan tanaman, sehingga sangat penting keberadaannya. Tidak semua zat tersebut dapat diserap oleh tanaman, sebagian molekul kimiawi akan merusak regenerasi humus tanah. Dewasa ini, ketergantungan petani akan pupuk kimia semakin besar. Hal tersebut berdampak pada penggunaan pupuk kimia yang berlebihan, sehingga dapat menimbulkan kesuburan tanah yang lambat laun mengalami penurunan [Musta'im Romli, 2012].

## METODOLOGI

### Pembuatan Mesin Pan Granulator

Dasar perancangan mesin pemotong adonan krupuk ini adalah poros horisontal yang dilengkapi dengan sepasang roda gigi penahan pan granul, terdapat penyemprot air dan mekanisme pengadukan. Pan granulator dapat dimiringkan sampai sudut 90° sehingga memudahkan untuk memindahkan produk pupuk dengan cara memutar mekanisme kemiringan pan/wadah. Mesin pan granulator ini digerakkan dengan motor penggerak bertenaga 5.5 HP digerakkan dengan putaran 1400 rpm.

Mesin ini dilengkapi pulley, kemudian dihubungkan dengan sabuk v-belt untuk memutar pan granulator. Mesin pan granulator dengan mekanisme piringan horisontal ini akan dapat membutuhkan adonan kompos menjadi butiran kecil berdiameter 5 mm dengan ukuran yang hampir seragam dengan kapasitas 300 kg/jam. Konstruksinya menggunakan mekanisme V-belt sehingga mudah pengoperasian dan perawatannya. Dengan kehadiran mesin ini maka permasalahan mitra akan segera terselesaikan.



Gambar 1. Desain mesin pan granulator kapasitas 250 kg/jam

### Pendekatan Alih Teknologi

Pendekatan alih teknologi kepada mitra, keberhasilan pengoperasian mesin granulasi (pan

granulator) juga sangat tergantung dari aspek sosialisasi dan pelatihan. Oleh karena ini pemasyarakatan sistem ini juga perlu dibarengi dengan kaji-tindak dan sosialisasi kelompok melalui pelatihan dan pendidikan mengenai pengoperasian mesin granulasi (pan granulator). Untuk dapat mengimplementasikan/sosialisasi sistem pengelolaan usaha pupuk organik ini diperlukan beberapa kegiatan pendukung seperti: pengorganisasian unit kegiatan dan alih teknologi sebagai bagian dari manajemen pengelolaan pupuk organik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan teknologi pemupukan dalam dekade terakhir telah menunjukkan makin banyak tanda-tanda kelelahan tanah (*fatigue soils*) akibat aplikasi input kimia puluhan tahun. Tanah-tanah yang semula subur karena mengandung cukup bahan organik makin tidak mampu lagi mendukung produktivitas tanaman secara ekonomis. Menyusutnya kadar bahan organik tanah akibat budidaya intensif dan minimnya input organik mengakibatkan efisiensi pemupukan kimia menurun drastis. Satu-satunya kunci untuk mengembalikan kesuburan tanah tersebut adalah dengan pemberian *ameliorant* (pembenah) tanah, seperti pupuk organik, pupuk hayati, dan/atau pupuk mineral alami. Kekuatan tanah dalam memberikan kehidupan terletak terutama pada kandungan bahan organiknya. Bahan organik merupakan sumber kehidupan karena memberikan energi bagi makhluk hidup di dalam tanah termasuk tanaman di atasnya. Mikroba yang berguna dalam penyediaan hara bagi tanaman sangat menggantungkan sumber karbon (C) dari senyawa organik di dalam tanah. Secara umum bahan organik tanah berasal dari sisa-sisa sampah organik dan kompos.

Akan tetapi kompos ini dalam pemupukan bentuknya masih tidak beraturan (heterogen) karena bersal dari fermentasi bahan organik yang dikeringkan sehingga bentuknya ada bongkahan besar dan ada yang halus sekali sehingga tidak siap pakai untuk para petani. Untuk itu perlu diperlukan sebuah mesin granulasi (pan granulator) untuk membuat kompos menjadi sebuah butiran yang seragam.

1. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan terbuatnya sebuah mesin granulasi (pan granulator) yang dapat mengubah bahan organik/kompos menjadi bernilai jual. Suatu mesin granulasi (pan granulator) yang dapat membutuhkan bahan organik yang diharapkan dapat menjawab permasalahan tersebut.
2. Mesin granulasi (pan granulator) pupuk organik ini mempunyai keunggulan: menggunakan teknologi sederhana, dapat dioperasikan cukup 2 orang, ekonomis dan ramah lingkungan. Dengan adanya kegiatan

pengabdian ini maka permasalahan utama kelompok masyarakat desa Candijati, kec. Arjasa, Jember mengenai pengolahan pupuk organik segera dapat teratasi.



Gambar 2. Mesin pan granulator kapasitas 250 kg/jam

Beberapa kegiatan yang telah dilakukan adalah:

1. Pertemuan dengan ketua kelompok masyarakat Desa Candijati kec. Arjasa, hal yang didiskusikan adalah permasalahan yang dihadapi oleh warga, penentuan metode/mesin yang akan digunakan serta lokasi mesin yang akan ditempati. Berdasarkan kesepakatan lokasi penempatan mesin di rumah Bp. Eko Hadi Cahyono selaku ketua kelompok masyarakat/kelompok tani disamping itu juga alih teknologi kepada anggota mitra.
2. Pembuatan mesin granulasi (pan granulator) bahan organik/pupuk organik sistem rotary pan dengan spesifikasi sebagai berikut:
  - Menggunakan tenaga penggerak mesin bensin 5.5 Hp.
  - Dimensi mesin: panjang x lebar x tinggi = 2 x 1.75 x 2 meter.
  - Kapasitas granulasi pupuk organik 250 kg/jam.
  - Dapat dioperasikan oleh 1 orang.
  - Konstruksi besi UCP 10 cm dan plat eser tebal 2 mm.

Kegiatan pengabdian ini difokuskan pada pembuatan mesin granulasi (pan granulator) dan alih teknologi. Dengan adanya mesin granulasi ini maka tujuan dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini akan tercapai, diantaranya: kapasitas granulasi 250 kg/jam, mudah pengoperasiannya dan tercipta mesin granulasi yang ergonomis sehingga lebih nyaman bagi operatornya. Dengan adanya kegiatan ini memberikan peluang usaha dibidang pembuatan pupuk organik dan pengolahan bahan organik/kompos sehingga akan berdampak pada peningkatan pendapatan dan juga penyerapan tenaga kerja baru.

## KESIMPULAN

Dari kegiatan pengabdian ini dapat disimpulkan bahwa:

- a. Pembuatan mesin granulasi (pan granulator) dapat dilaksanakan dengan baik sesuai dengan rencana semula.
- b. Hasil pengolahan bahan organik akan memberikan peluang usaha sehingga akan menyerap tenaga kerja baru.
- c. Tenaga penggerak yang digunakan mesin bensin 5.5 HP dengan putaran 1400 rpm akan menghasilkan kapasitas mesin granulasi sebesar 250 kg/jam.
- d. Secara umum kualitas hasil granulasi akan menghasilkan ukuran 5 - 7 mm dapat terbentuk butiran dengan prosentase keberhasilan 85 % (berdasarkan uji coba).

## SARAN

Untuk menjaga keawetan mesin granulasi (pan granulator) perlu dilakukan perawatan secara rutin setiap 200 jam kerja pada bearing dan pergantian oli gearbox reduser.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DRPM – DIKTI atas biaya penelitian dari Hibah Pengabdian Iptek Bagi Masyarakat (IbM) tahun anggaran 2017 sehingga kegiatan pengabdian ini dapat terlaksana dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] \_\_\_\_\_, 2012, *Jawa Timur Dalam Angka 2011*, BPS dan BAPPEDA Jawa Timur, Surabaya.
- [2] \_\_\_\_\_, 2012, *Jember Dalam Angka 2011*, BPS dan BAPPEDA Kab. Jember, Jember. Ahmad Subagyo, 2010, *Pengembangan Usaha Aneka Produk Pangan dengan Bahan Baku*
- [3] Tepung MOCAF di Koperasi Gemah Ripah Loh Jinawi Kabupaten Trenggalek, Laporan Pengabdian IPTEKDA LIPI., Jember.
- [4] Arba Syarofin, 2003, *Potensi Pupuk Organik dan Masa Depan*, Harian Kedaulatan Rakyat Agustus 2003, Jogjakarta
- [5] BPS, 1998, *Statistik Kebutuhan Pupuk Kimia dan Pupuk Organik*, Biro Pusat Statistik, Jakarta BPS, 1999, *Konsumsi Karbohidrat, Kalori dan Protein Penduduk Jawa Timur*, Biro Pusat Statistik Jawa Timur, Surabaya.
- [6] Budiharjo Agus, Sasongko, Djoko Purnomo, 1997, *Studi Pola Industri Kecil di Perkotaan*, Argapura Universitas Jember no 17(1/2) 1997, Badan Penerbit Universitas Jember, Jember, hal 1-12
- [7] Eko P.W., 2001, *TTG: Membuat Pupuk Organik Granul*, Trubus, Jakarta.
- [8] Heru B., 1998, *Perekonomian Jawa Timur dari Struktur Industri*, Makalah Seminar Di

- Fakultas Sosial Dan Politik Universitas Airlangga Surabaya 29 Oktober 1998.
- [9] Juniarta, 2003, *Teknik Pembuatan Pupuk Organik Granul*, PT. Penebar Swadaya, Jakarta.
- [10] Musta'im Romli, 2012. Dampak penggunaan pupuk kimia yang berlebihan pada kesuburan dan struktur tanah, *Harian Kedaulatan Rakyat* Agustus 2012, Yogyakarta.
- [11] Pramodya dan Budijanto, 2001. Krisis daya beli masyarakat terhadap bahan pangan dan rapuhnya ketahanan pangan. LP3ES, Jakarta.
- [12] Prajitno. *Elemen Mesin Pokok Bahasan Transmisi Sabuk dan Rantai*. Jurusan Teknik Mesin UGM. 2001
- [13] Suhardjo, 2002, *Pangan, Gizi dan Pertanian*, UI Press, Jakarta.
- [14] Sularso, 1991, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, PT. Pradya Paramita, Jakarta Sularso. 1997. *Dasar-dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Pradnya Paramita.
- [15] Jakarta
- [16] Sularso. 2002. *Dasar-Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta Utara: CV. Rajawali
- [17] Surdia T. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

## IMPLEMENTASI SCADA PADA GENERATOR PENGUATAN TERPISAH DENGAN ARDUINO MEGA 2560

Ibrahim Saiful Millah<sup>1\*</sup>, Moch. Gozali<sup>2</sup>, Triwahju Hardianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*ibrahimsaifulmillah@gmail.com

### ABSTRAK

Permasalahan pada kesetabilan tegangan generator DC saat dibebani maka *output* generator DC akan menimbulkan efek drop tegangan. Drop tegangan diatasi dengan SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). SCADA merupakan suatu sistem yang dapat memonitor dan mengontrol suatu peralatan atau sistem secara *real time*. SCADA digunakan untuk mengontrol *output* generator dengan kontrol fuzzy untuk menstabilkan tegangan *output*. Terinspirasi dari permasalahan diatas topik ini hangat untuk diangkat. Sehingga tujuan penelitian ini untuk menerapkan sistem SCADA pada Arduino dengan generator DC penguatan terpisah sehingga diperoleh kestabilan *output* tegangan generator DC. SCADA dibangun dengan merancang buck converter yang digunakan untuk menstabilkan tegangan dari feedback tegangan *output* generator menggunakan kontrol *fuzzy*. Tahapan selanjutnya merancang dan memonitoring tegangan preover, tegangan input eksitasi, tegangan *output* generator dan arus *output* generator akan disimpan pada database master station. Hasil pengujian generator tanpa kontrol di dapatkan drop tegangan ketika tanpa beban tegangannya 100V, ketika dibebani 15W sebesar 95.7V, 25W sebesar 94.8, 40W sebesar 90.5V, 50W sebesar 90.2V dan 65W sebesar 86.1V. ketika diberi *feedback* kontrol *fuzzy* dengan setpoint 100 di dapatkan tegangan *output* tanpa beban 100V dan berbeban mulai 15W-65W sebesar 99V. artinya sistem scada ini mampu mengatasi drop tegangan yang terjadi.

Kata Kunci: SCADA, eksitasi generator, arduino, *buck converter*, kontrol *fuzzy*, PLC, I2C.

### PENDAHULUAN

Sektor Industri dan energi menduduki posisi teratas dalam penyumbang devisa negara [1]. Para pekerja yang bekerja pada sektor ini dituntut untuk memiliki sifat pekerja keras, inovatif, dan konsentrasi yang tinggi terutama di bidang industri listrik. Tetapi pada kenyataan saat ini, pekerja di sektor ini bekerja dengan menggunakan metode konvensional yaitu dengan cara mengecek, mengontrol serta mengukur kondisi sistem yang sedang berjalan pada umumnya menggunakan cara yang manual. Proses ini memakan waktu yang lama dan melelahkan. Secara psikologis ini akan mempengaruhi kondisi dari pekerja tersebut. Sehingga data dan pekerjaan yang di lakukan kurang baik. Hal ini bisa berdampak buruk terhadap mesin dan komponen yang berada di lapangan. Komponen dan peralatan dalam industri seperti PLC, sensor-sensor dan aktuator sangatlah mahal sehingga jika terjadi kesalahan maka pembangkit tersebut harus di matikan sementara untuk perbaikan. Hal ini akan mengakibatkan kerugian besar terhadap perusahaan. Pekerja dalam bidang industri listrik juga di tuntutan untuk menjaga kesetabilan

tegangan dari generator DC. Permasalahan pada kesetabilan tegangan dari generator DC saat dibebani dari *output* generator DC akan menimbulkan efek *drop* tegangan. Pada umumnya untuk tegangan *output* akan cenderung turun bila arus beban semakin besar. Mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan cara meningkatkan tegangan induksi ( $E_a$ ) pada jangkar generator DC. Tegangan induksi jangkar dapat ditingkatkan dengan cara menaikkan kecepatan putaran atau flux pada medan generator DC. Kecepatan putaran generator DC sulit dikendalikan karena dibutuhkan pengontrol kecepatan yang terdiri dari kontrol mekanis atau elektrik yang rumit, terlebih pada kecepatan yang tinggi. Oleh karena itu, untuk meningkatkan tegangan induksi pada jangkar generator DC akan lebih mudah bila diatur arus eksitasi pada medan generator DC sehingga nilai *flux* pada medan akan meningkat [2].

Pesatnya perkembangan ilmu dan teknologi membuat kehidupan manusia jauh lebih efektif dan efisien dalam mengerjakan suatu pekerjaan. Keefektifan dan keefisienan ini dapat meningkatkan produktivitas kerja seorang pekerja terutama pada sektor industri dan energi. Upaya dalam meningkatkan produktivitas pekerja dengan

membuat suatu sistem berbasis SCADA. SCADA adalah sistem yang mengumpulkan informasi atau data-data dari lapangan dan kemudian mengirimkannya ke sebuah komputer pusat yang akan mengatur dan mengolah data-data tersebut. Protokol komunikasi SCADA juga digunakan pada sistem otomatisasi kontrol di industri sebagai sistem komunikasi data untuk memantau dan mengontrol peralatan industri. SCADA pada industri saat ini masih menggunakan sistem kontrol PLC (*programmable logic controller*) [3].

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) sangat dibutuhkan untuk lebih mempermudah pekerjaan. SCADA memberikan keleluasaan mengatur maupun mengkonfigurasi sistem [4]. Kita bisa menempatkan sensor dan kendali di setiap titik kritis didalam proses. Seiring dengan teknologi sistem SCADA yang semakin baik, kita bisa menempatkan lebih banyak sensor di banyak tempat sehingga semakin banyak hal yang bisa dipantau, semakin detail operasi yang bisa dilihat, dan semuanya bekerja secara *real-time*, yaitu kondisi pengoperasian dari suatu sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang dibatasi oleh rentang waktu dan memiliki tenggang waktu yang jelas, relatif terhadap waktu suatu peristiwa atau operasi terjadi. Tidak peduli serumit apapun prosesnya, kita bisa melihat operasi proses dalam skala besar maupun kecil, dan setidaknya bisa melakukan penelusuran jika terjadi kesalahan dan sekaligus meningkatkan efisiensi. Namun ditinjau dari segi ekonomis, biaya pengadaan dan pembuatan sistem SCADA sangatlah mahal di dalam sistem pembangkit listrik.

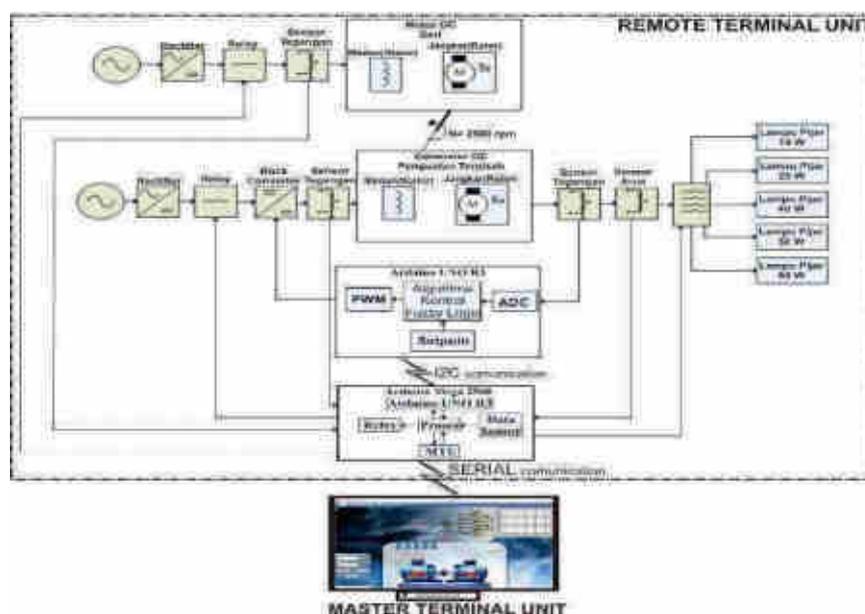
Terinspirasi dari sistem yang sangat kompleks, tingkat *safety* yang tinggi, pengolahan data serta harga yang mahal membuat topik ini hangat untuk diangkat. Peneliti ingin mengangkat topik permasalahan tentang implementasi SCADA pada generator DC penguatan terpisah. Sistem ini menggunakan kontroller arduino mega 2560 dan aplikasi yang dibangun dari microsoft visual studio yang diharapkan lebih ekonomis. Menggunakan *buck converter* yang di kontrol secara *close loop* oleh Arduino mega 2560 melalui MTU (*master terminal unit*). Untuk mengatur arus eksitasi pada medan generator DC sehingga nilai flux pada medan akan meningkat yang di harapkan akan membuat *output* generator DC stabil. Dari penelitian ini diharapkan sistem SCADA jadi lebih ekonomis dan efektif.

### METODE PENELITIAN

Penelitian tentang “Implementasi sistem SCADA pada generator penguatan terpisah menggunakan arduino mega 2560” ini dilaksanakan di Laboratorium konversi energi listrik, Dengan merancang RTU (*remote terminal unit*) untuk mengontrol eksitasi generator dengan buck converter menggunakan kontrol fuzzy dan monitoring tegangan *output* generator. Setelah kontrol kestabilan *output* generator selesai dirancang kemudian merancang kontrol pembebanan generator dan monitoring arus generator, tegangan input eksitasi, dan tegangan input prime mover. Kemudian merancang master station untuk monitoring sistem keseluruhan.

### Blok Sistem

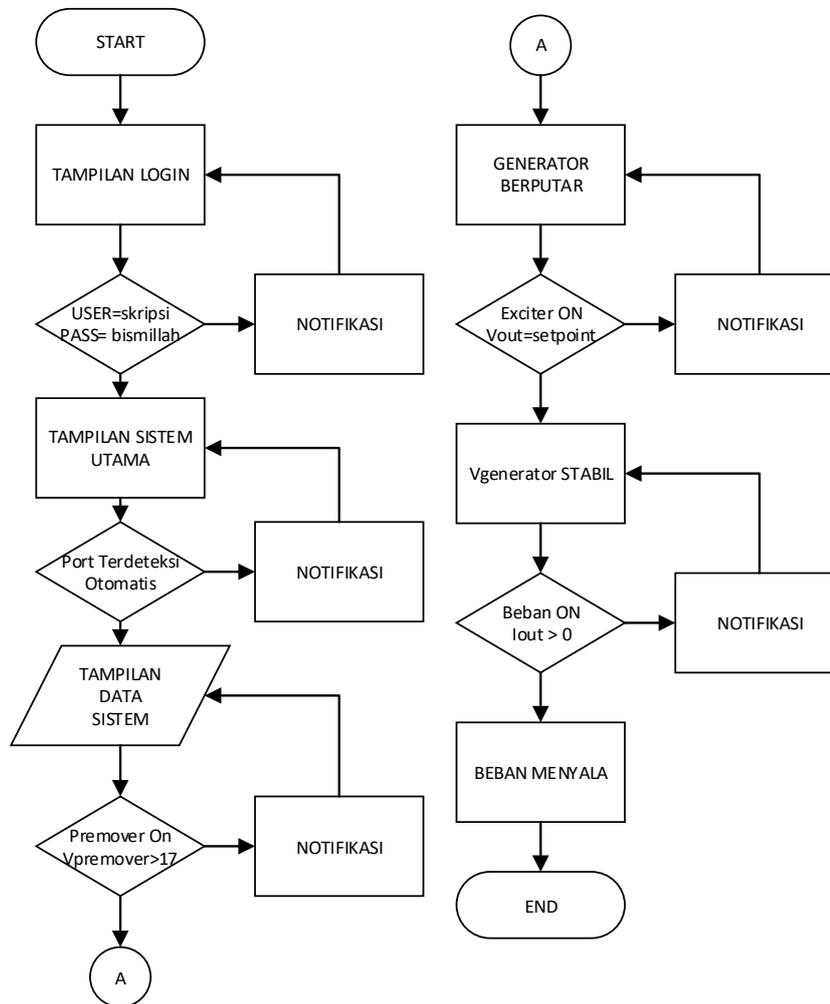
Perancangan dan pembuatan alat ini dibuat sesuai dengan blok diagram pada gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Pada penelitian ini blok diagram terdiri dari 2 bagian pertama RTU dan MTU. RTU menggunakan Arduino Uno dan Arduino Mega 2560. Arduino Uno hanya berguna sebagai

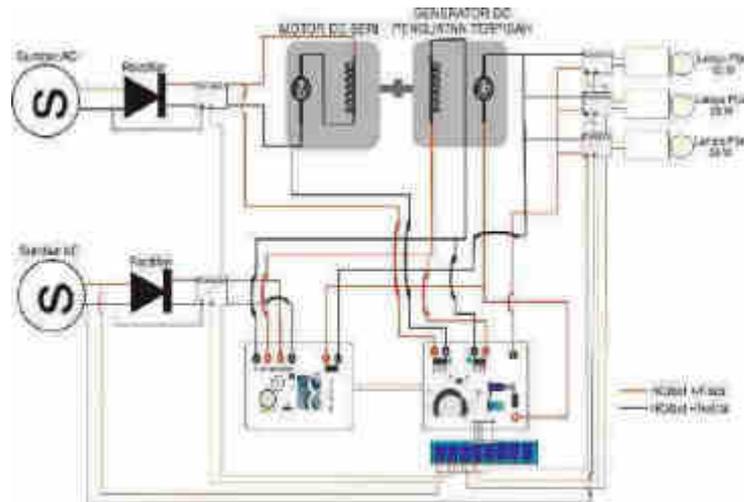
kontrol *output* generator. Sedangkan Arduino Mega 2560 berguna sebagai pusat kontrol dan komunikasi pada RTU. Flowchart sistem yang digunakan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart sistem

Flowchart tersebut menjelaskan proses kerja dari sistem SCADA. Mulai dari tampilan HMI sampai beban menyala. Saat sistem mendeteksi adanya permasalahan pada saat sistem sedang berjalan maka system akan memberi notifikasi secara langsung. Agar dapat mempercepat

proses perbaikan. Untuk wiring diagram dari implementasi sistem SCADA pada generator penguatan terpisah seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Wiring diagram

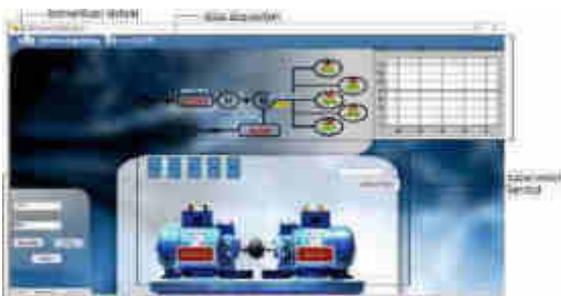
Penelitian ini menggunakan beban lampu 15 W, 25 W dan 25 W yang kemudian dikombinasikan menjadi 15 W, 25 W, 40 W, 50 W dan 65 W untuk menguji kemampuan kontrol terhadap tegangan *output* dari generator. Proses kontrol sendiri diatur seluruhnya pada *master terminal unit*. Lampu-lampu tersebut dikontrol oleh kontaktor yang mendapatkan kontak koil dari relay.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan akan lebih ditekankan pada pengujian sistem agar mampu bekerja dengan baik dengan perintah yang diberikan oleh *master terminal unit* dan langsung termonitor oleh *master terminal unit*.

#### Pengujian Master Terminal Unit

Sistem ini di bangun menggunakan Microsoft visual studio, dimana di dalam tampilan tersebut dalam satu layar terdapat waktu dan tanggal, port komunikasi data, diagram dari sistem, grafik, serta *user interface* kontrol yang menarik sehingga tidak membuat operator tidak jenuh ketika mengakses sistem ini seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Human machine interface sistem SCADA

Pengujian selanjutnya yaitu mengenai kemampuan penyimpanan database menggunakan file dengan format txt. Data yang disimpan mulai dari waktu, data-data sensor, *setpoint*, data pembebanan sistem seperti pada Gambar 5.

File	Edit	Format	View	Help	Time	V1	V2	V3	V4	V5
10:32:47	0.00	92.95	47.15	100.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10:32:49	0.00	89.97	47.20	100.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10:32:52	0.00	92.98	47.25	100.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10:32:53	0.00	92.98	47.25	100.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10:32:54	0.00	92.98	47.25	100.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10:32:57	0.00	89.97	47.46	100.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10:32:59	0.00	92.98	47.45	100.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Gambar 5. Hasil database

pengiriman data dan penyimpanan data berhasil dikirim secara real time dan mampu disimpan dengan baik di database. Pengujian selanjutnya adalah RTU agar data yang dikirimkan akurat dan kontrol dapat berfungsi.

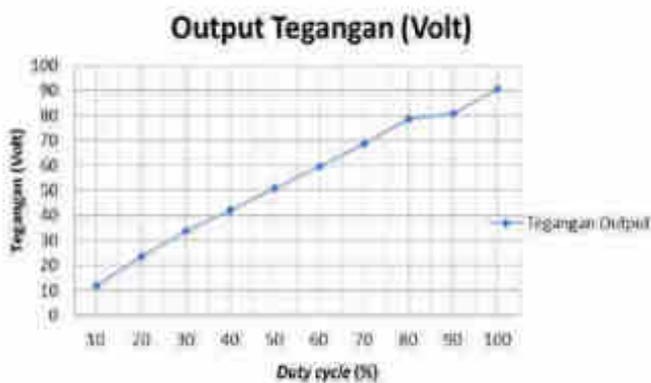
#### Pengujian Remote Terminal Unit

Pengujian terhadap sensor untuk mengukur tegangan *output* dari generator, kemudian hasilnya dibandingkan antara tegangan yang diukur sensor dengan alat ukur tegangan berupa Avometer maka didapatkan data seperti pada Tabel 1.

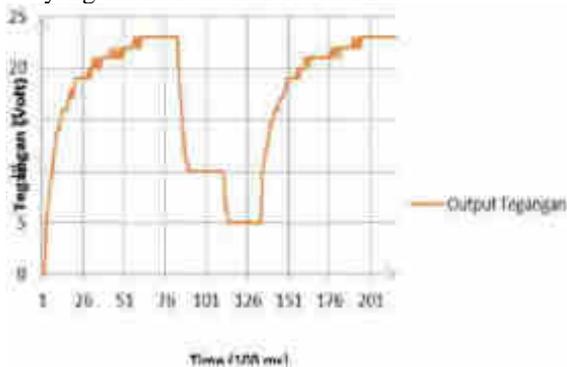
Tabel 1. Hasil pengujian sensor tegangan *output*

Terukur	Sensor	Error %
120.6 V	120 V	0.497512 %
110.3 V	110 V	0.271985 %
90.3 V	90 V	0.332226 %
100.4 V	100 V	0.398406 %
90.3 V	90 V	0.332226 %
80.5 V	80 V	0.621118 %
70.7 V	70 V	0.990099 %

Pada pengujian selanjutnya untuk mengetahui karakteristik buck converter terhadap sensor tegangan *output* generator seperti pada gambar 6.

Gambar 6 Perbandingan grafik duty cycle terhadap tegangan *output*

Pada pengujian *buck converter* dikontrol dengan fuzzy logic agar *output* tegangan yang dihasilkan tetap pada *setpoint* yang telah ditentukan sebesar 24.

Gambar 7. Perbandingan grafik tegangan *output* terhadap waktu

Pengujian terhadap sensor untuk mengukur tegangan *premove* dan *eksitasi*, kemudian hasilnya dibandingkan antara tegangan yang diukur sensor dengan alat ukur tegangan berupa Avometer yang digunakan untuk monitoring.

Tabel 2. hasil pengujian sensor tegangan

Terukur	Sensor	Error %
120 V	119.8 V	0.166667 %
111.7 V	111.4 V	0.268577 %
100.8 V	100.26 V	0.535714 %
90.3 V	89.35 V	1.052049 %
80.9 V	80.15 V	0.92707 %
70.7 V	68.9 V	2.545969 %

Pengujian terhadap sensor untuk mengukur arus menggunakan acs 712, kemudian hasilnya dibandingkan antara tegangan yang diukur sensor dengan alat ukur tegangan berupa Avometer yang digunakan untuk monitoring.

Tabel 3. hasil pengujian sensor arus

Terukur (A)	Sensor(A)	Error %
0	0	0%
0.12	0.12	0 %
0.25	0.26	4 %
0.41	0.41	0 %
0.54	0.55	1.8 %
0.69	0.69	0 %
0.79	0.79	0 %
0.88	0.88	0 %
1.02	1.03	0.98 %

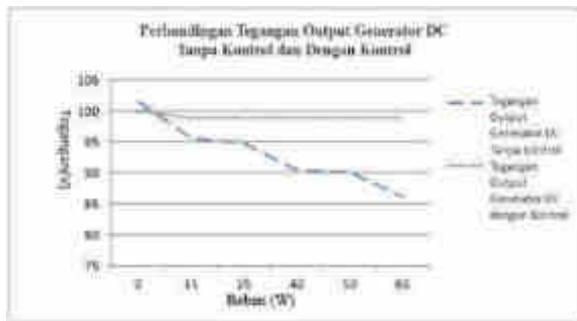
Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon dan kinerja relay ketika digunakan *supply* langsung dari Arduino, selain itu juga untuk memastikan apakah data yang di program dan dikirim dari *master station* dapat dilaksanakan dengan baik

Tabel 4. hasil pengujian relay

Relay	Serial yang dikirim	Kondisi relay
Relay <i>premove</i>	200	Menyala
	201	Mati
Relay <i>eksitasi</i>	100	Menyala
	101	Mati
Relay beban 15 W	300	Menyala
	301	Mati
Relay beban 25 W	400	Menyala
	401	Mati
Relay beban 25 W	500	Menyala
	501	Mati

Perlakuan yang diberikan terhadap generator dc ada 2 yaitu dengan terkontrol dan tanpa kontrol melalui *master terminal unit*.

Perlakuan tanpa kontrol tujuannya untuk melihat *drop* tegangan ketika dibebani dan control fuzzy logic mampu mengatasi drop tegangan dengan baik.



Sistem SCADA menggunakan Arduino dapat diimplementasikan dengan baik. Perlakuan terhadap RTU, MTU sehingga *device* tersebut mengirim dan menerima data melalui module Bluetooth HC-05, didapatkan catatan waktu untuk waktu pengiriman dari RTU ke MTU sebesar 0,95 detik. Sedangkan untuk waktu pengiriman dari MTU ke RTU sebesar 3 detik. Control eksitasi untuk menyetabilkan tegangan mampu berjalan secara optimal semakin besar beban tegangan eksitasi juga naik sehingga tegangan *output* stabil sesuai tegangan yang diinginkan MTU.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut;

1. Visual studio 2015 sebagai tampilan dari SCADA mampu sinkron dengan baik Bersama Arduino dengan komunikasi

serial menggunakan Bluetooth 2.4 GHz dan Arduino dapat menggantikan PLC-SCADA yang harganya relatif mahal.

2. Scada menggunakan arduino uno mampu mengontrol tegangan eksitasi yang membuat *output* generator menjadi stabil sesuai set point yang diberikan, hal ini dibuktikan dengan seiring naiknya beban maka eksitasi juga naik untuk menyetabilkan tegangan *output*.
3. Kontrol fuzzy yang diterapkan mampu mengatasi drop tegangan dengan optimal saat generator tidak dibebani dan dibebani berjalan sesuai setpoint sebesar 100 dan saat tidak dibebani 100 Volt dan di bebani 99 volt.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesia, B. -S. (2010). *Ringkasan Metadata Kegiatan Statistik*. Jakarta: BPS – Statistics Indonesia.
- [2] Chapman, S. (2005). *Electric Machinery Fundamentals Fifth Edition*. Melbourne: The McGraw-Hill Companies.
- [3] Kusriyanto, M., & Syariffudin, M. (n.d.). Mini SCADA Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 32 Dengan Komunikasi MODBUS RS 485 dan Sistem Monitoring Menggunakan Visual Basic. *Seminar Nasional ke-9: Rekayasa Teknologi Industri dan informasi*, (pp. 243-248).
- [4] Novel, R. (2009). *analisa perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan Universitas Indonesia*. Depok: universitas indonesia

**TINJAUAN TERHADAP PENGEMBANGAN POTENSI PANAS BUMI BLAWAN-IJEN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK 2×55 MW**Haeruddin<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*haeruddin@unej.ac.id

**ABSTRAK**

Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat, maka kebutuhan akan energi listrik juga semakin meningkat. Untuk itu, usaha untuk meningkatkan pasokan energi listrik harus dilakukan secara serius melalui peningkatan kapasitas pembangkit atau penemuan cadangan energi baru. Sehubungan dengan itu, Indonesia mempunyai 40% potensi energi panas bumi di dunia, namun sampai saat ini hanya 4% yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Wilayah Jawa Timur mempunyai potensi panas bumi yang tersebar di 13 lokasi, salah satunya adalah Blawan-Ijen yang ditandai dengan adanya mata air panas dan solfatara. Potensi yang terdapat di Blawan-Ijen memiliki sumber daya 92 MW (hipotetik) dan cadangan 185 MW (terduga). Dari hasil eksplorasi diperkirakan bahwa puncak reservoir berada di kedalaman 1200-1400 m dengan temperatur reservoir sebesar 250-300°C. Adapun kapasitas terpasang untuk PLTP direncanakan pada tahun 2021 dan 2022 dengan kapasitas masing-masing adalah 55 MW. Dengan demikian, pengembangan potensi panas bumi memerlukan kajian secara komprehensif agar pemanfaatan panas bumi dapat berjalan sesuai dengan waktu yang sudah direncanakan.

Kata Kunci: panas bumi, eksplorasi, Blawan-Ijen

**PENDAHULUAN**

Pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat menyebabkan kebutuhan energi di berbagai sektor juga meningkat. Sementara itu, energi fosil masih mendominasi untuk memenuhi kebutuhan ini. Di masa depan, diharapkan tren pengembangan energi akan bergeser dari energi berbasis fosil menjadi energi baru terbarukan (EBT) sepanjang keekonomiannya memenuhi. Hal ini disebabkan karena energi fosil merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbarui sehingga lambat laun akan habis, padahal Indonesia mempunyai sumber daya EBT yang signifikan [1]. Berdasarkan bauran energi nasional tahun 2015, pemanfaatan EBT masih sangat rendah yaitu 5%, sedangkan sisanya masih tergantung pada energi fosil. Pada tahun 2025, pemanfaatan EBT diharapkan mencapai 23% dari bauran energi nasional, sedangkan pada tahun 2050 diharapkan mencapai 31,2% [2].

Panas bumi merupakan salah satu sumber daya EBT yang ramah lingkungan (*clean energy*) dibandingkan dengan sumber energi fosil. Dalam proses eksplorasi dan eksploitasinya tidak membutuhkan lahan permukaan yang terlalu besar. Energi panas bumi bersifat tidak dapat diekspor, maka sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri [3].

Lokasi Indonesia yang berada di *ring of fire* dunia memberikan dampak positif akan tersedianya potensi energi panas bumi. Potensi panas bumi Indonesia mencapai 28.579 MW dengan sumber daya 11.073 MW dan cadangan 17.506 MW. Namun dalam pemanfaatannya untuk menghasilkan energi listrik hanya 1.643,5 MW (5,8%) yang tersebar di 12 lapangan panas bumi di seluruh Indonesia [4]. Dalam hal pemanfaatan potensi panas bumi, Indonesia masih berada di bawah Amerika Serikat dan Filipina, padahal Indonesia mempunyai potensi paling besar di dunia [5]. Pengembangan panas bumi untuk tenaga listrik diproyeksikan sebesar 7,2 GW pada tahun 2025 dan 17,6 GW pada tahun 2050 atau 59% dari potensi panas bumi sebesar 29,5 GW. Potensi tersebut dapat meningkat seiring dengan peningkatan eksplorasi dan penemuan cadangan baru [2].

Sementara itu, Pulau Jawa mempunyai potensi 9.575 MW yang tersebar di 71 lokasi [5]. Saat ini, lokasi potensi panas bumi yang sudah beroperasi terdapat di Jawa Barat (5 lokasi) dan Jawa Tengah (1 lokasi). Berbeda dengan dua provinsi tersebut, Jawa Timur belum mempunyai pembangkit listrik tenaga panas bumi, namun sudah direncanakan PLTP pertama akan beroperasi pada tahun 2021, salah satunya terdapat di daerah Blawan-Ijen [6].

### Potensi Panas Bumi di Provinsi Jawa Timur

Sistem panas bumi Jawa Timur umumnya berasosiasi dengan gunung api kuarter, sistem *outflow*, berasosiasi dengan non-vulkanik dan berasosiasi dengan gunung api tersier. Jika merujuk pada data tahun 2012, Jawa Timur tercatat mempunyai potensi panas bumi yang tersebar di 10 lokasi. Dalam hal ini, potensi tersebut yaitu 3 lokasi dalam tahap eksplorasi, 4 lokasi dalam survey pendahuluan, 2 lokasi dalam tahap rekonais, dan 1 lokasi masih dalam proses pengusulan untuk ditetapkan sebagai Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) [7].

Data terbaru menyebutkan bahwa Jawa Timur mempunyai potensi panas bumi dengan sumber daya 362 MW dan cadangan 1.012 MW [2]. Namun sampai saat ini, Jawa Timur belum mempunyai PLTP, padahal potensi panas bumi sangat besar yang tersebar di 13 lokasi. Pada tahun 2017, potensi panas bumi yang sudah masuk dalam tahap eksplorasi antara lain G. Lawu (332 MW), Arjuno-Wilerang (302 MW), Blawan-Ijen (277 MW), Telaga Ngebel (120 MW). Potensi yang masih dalam persiapan lelang yaitu Iyang-Argopuro (277 MW), G. Pandan (60 MW), G. Wilis (50 MW), Songgoriti (MW). Adapun potensi yang masih dalam survey pendahuluan adalah Cangar (280 MW), Melati (25 MW), Rejosari (25 MW), G. Lamongan (129 MW), dan Tirtosari (10 MW) [6].

Sampai saat ini kapasitas pembangkit yang terpasang di Jawa Timur sebanyak 27 pembangkit yang terdiri dari PLTA, PLTU, PLTG dan PLTGU dengan kapasitas terpasang 9.475 MW. Untuk memenuhi kebutuhan konsumsi listrik dari tahun 2017 – 2025, direncanakan akan dibangun 39 pembangkit dengan total kapasitas 5.769 MW [8]. Adapun pengembangan PLTP di Jawa Timur direncanakan tersebar di 8 lokasi (Tabel 1). Dalam rentang tahun 2021-2025, direncanakan terdapat 14 pembangkit yang akan beroperasi dengan total kapasitas 630 MW [6].

Tabel 1. Rencana kapasitas terpasang untuk PLTP Jatim [6].

PLTP Jatim	Tahun				
	2021	2022	2023	2024	2025
G. Lawu		55		55	110
Arjuno-Welirang					
Blawan-Ijen	55	55			
Iyang-Argopuro					55
G. Pandan					40
G. Wilis					2×10
Songgoriti					20
Talaga Ngebel	55			2×55	

### Tinjauan Terhadap Eksplorasi Potensi Panas Bumi Blawan-Ijen, Jawa Timur

Kompleks panas bumi Blawan-Ijen adalah salah satu gunung api aktif yang terletak di bagian timur pulau Jawa, dan terkenal dengan kawah besar yang sangat asam ( $pH < 1$ ) dan suhu permukaan  $35^{\circ}C$  [9]. Dataran tinggi Ijen mempunyai kaldera dengan lebar 20 km yang terbentuk lebih dari 50.000 tahun yang lalu akibat runtuhnya gunung *stratovolcano* Ijen. Sebelah utara dibatasi oleh setengah dinding kaldera Kendeng dan di selatan dibatasi oleh kaldera gunung Merapi, Ranteh, dan Jampit (Gambar 2.1). Beberapa *vent* berada dalam kaldera, sejajar sepanjang tren timur-barat yang membentang dari Kawah Ijen sampai Gunung Suket [10].



Gambar 1. Kompleks Blawan-Ijen, Jawa Timur [10]

Analisa dan interpretasi citra menunjukkan bahwa pola-pola kelurusan morfologi yang terdapat di daerah Blawan-Ijen mempunyai *trend* umum (dominan) berarah baratlaut – tenggara dan utara - selatan dengan sebagian lainnya berarah timurlaut – baratdaya. Selain pola kelurusan tersebut, juga teridentifikasi pola-pola struktur melingkar (*circular feature*) yang merupakan ekspresi titik kawah, amblesan melingkar, dinding kaldera maupun kerucut vulkanik yang berhubungan dengan sumber panas (*heat sources*) bagi sistem panas bumi di daerah Blawan-Ijen [6]. Dari citra satelit juga didapatkan bahwa suhu permukaan tanah berkisar  $21-34^{\circ}C$ , sedangkan suhu permukaan tanah di Kompleks Ijen adalah  $16-40^{\circ}C$  dan sebagian besar mempunyai temperatur  $21-25^{\circ}C$  (Gambar 2a) [11]. Lebih lanjut, terlihat bahwa struktur patahan Blawan (F1) diikuti oleh pola suhu permukaan yang tinggi, sehingga diperkirakan patahan tersebut merupakan pengontrol terbentuknya manifestasi panas bumi di daerah Blawan-Ijen (Gambar 2b) [12].

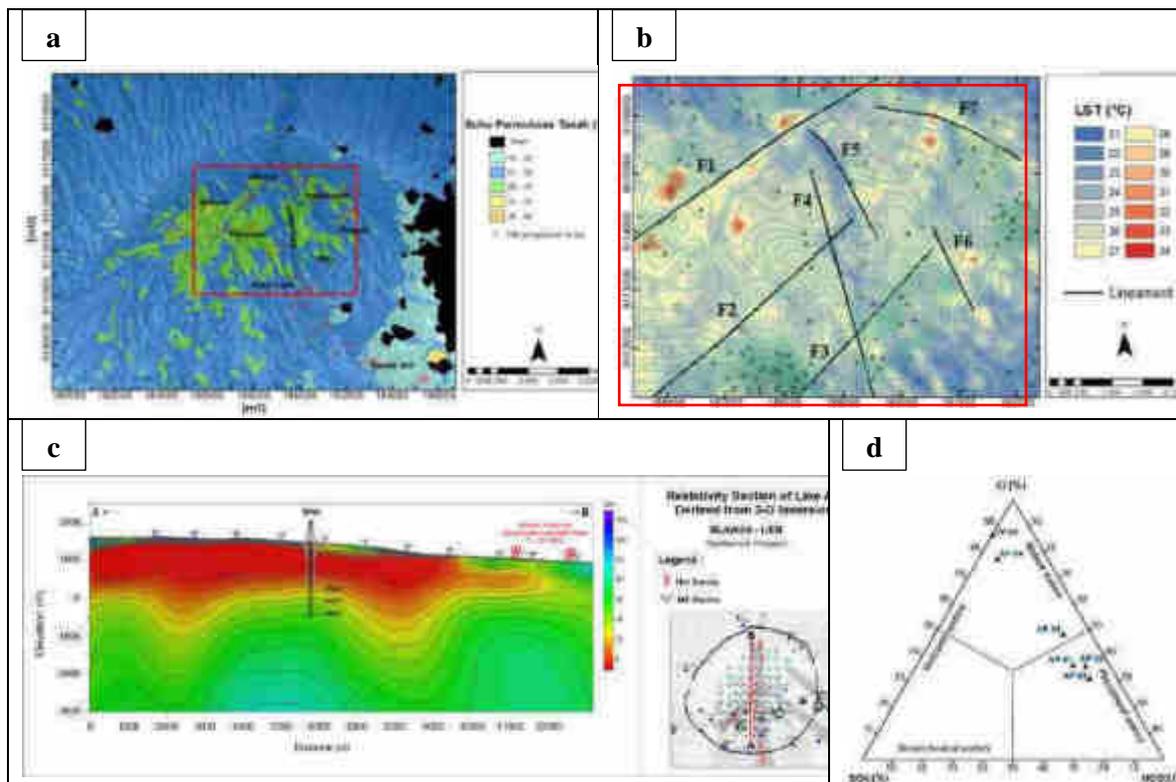
Berbagai penelitian eksplorasi geofisika telah banyak dilakukan di antaranya dengan metode gaya berat [13], geomagnetik [14], dan magnetotelurik [15; 16] yang menunjukkan adanya potensi panas bumi di Blawan-Ijen. Penelitian

menggunakan gaya berat menunjukkan berdasarkan analisis anomali bouger, reservoir panas bumi diperkirakan berada di daerah dengan densitas paling rendah ( $2,58 \text{ gr/cm}^3$ ) dengan porositas dan tingkat permeabilitas yang tinggi [13]. Berdasarkan Gambar 2b, patahan Blawan mengikuti kontur rapat antara anomali Bouger positif dan negatif. Kerapatan yang tinggi di ujung utara patahan Blawan diinterpretasikan sebagai fluida panas intrusi di sekitar patahan dan reservoir panas bumi [12]. Hasil penelitian dengan menggunakan geomagnetik menunjukkan bahwa reservoir panas bumi terdapat di kedalaman sekitar 1900m dengan temperatur  $100^\circ\text{C}$ , hal ini ditunjukkan dengan nilai susceptibilitas yang rendah [14].

Hasil analisis menggunakan magnetotelurik dengan metode inversi 3D menunjukkan adanya zona yang menarik di bagian tengah kaldera Kendeng. Zona ini berkorelasi dengan aktifitas gunung api muda, dimana zona *upflow* (bagian tengah) dan zona *outflow* (bagian selatan) yang dikendalikan oleh adanya struktur geologi. Hasil ini menjadi rekomendasi untuk menjadi target pemboran. Pengeboran sumur dilakukan secara vertikal sampai kedalaman 2000m dan ditemukan kondisi di bawah permukaan dengan temperatur

$283^\circ\text{C}$  (Gambar 2c) [16]. Hasil MT 3D ini menunjukkan hasil yang sesuai dengan hasil pengeboran dimana *base of conductor* (BOC) diperkirakan berada pada kedalaman 1.300-1.500 m (200-0 m dpl). Litologi yang ditemukan terdiri dari 3 lapisan, dimana lapisan 1 didominasi oleh lava, lapisan 2 didominasi oleh batuan piroklastik dengan alterasi argilitik, dan lapisan 3 masih didominasi oleh batuan piroklastik dengan alterasi propilitik. Kedalaman puncak reservoir diperkirakan 1200-1400 meter dengan temperatur reservoir  $250\text{-}300^\circ\text{C}$  [6].

Analisis geokimia di sumber mata air panas Blawan dilakukan pada enam sampel yang mempunyai pH netral. Berdasarkan hasil diagram terner, didapatkan bahwa kandungan  $\text{HCO}_3^-$  yang tinggi kemungkinan dihasilkan dari pencampuran air tanah permukaan dengan uap yang kaya  $\text{CO}_2$  yang dipanaskan dalam sistem hydrothermal. Kandungan konsentrasi Cl yang tinggi menunjukkan mata air panas berasal dari reservoir dan adanya zona permeabel di daerah ini (Gambar 2d) [17]. Berdasarkan analisis sampel di daerah Ijen, didapat kesimpulan bahwa bagian baratdaya di Kawah Ijen merupakan daerah *outflow*, yang dicirikan oleh kandungan Cl yang tidak tinggi dan  $\text{SO}_4$  yang tinggi, serta  $\text{HCO}_3^-$  yang tinggi [6].



Gambar 2. (a). Distribusi temperatur berdasarkan data citra satelit [11], (b). *Overlay* antara temperatur permukaan, patahan dan anomali Bouger [12], (c). Korelasi antara hasil MT 3D dan pengeboran [16], (d). Diagram terner Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> di lokasi mata air panas Blawan [17].

### **Pengembangan Panas Bumi Blawan-Ijen Sebagai Pembangkit Listrik 2×55 MW**

Pada tahun 2008, pemerintah pusat menetapkan daerah Blawan-Ijen sebagai WKP dengan luas daerah 62,62 Ha. Secara administratif, lapangan panas bumi Blawan-Ijen berada di Kabupaten Banyuwangi, Bondowoso, dan Situbondo [18]. WKP tersebut berada dalam kawasan hutan lindung, konservasi dan produksi. Adapun potensi panas bumi Blawan-Ijen yaitu sumberdaya 92 MW (hipotesis) dan cadangan 185 MW (terduga) [6].

Pada bulan Juni 2011, PT. Medco Cahaya Geothermal memenangkan kontrak untuk mengembangkan pembangkit listrik Blawan-Ijen 2x55 MW dari Pemerintah Jawa Timur [19]. Pada tahun 2012, PT. MCG sudah melakukan studi geologi dan geofisika untuk menentukan cadangan panas bumi [19]. Pada bulan Februari 2013, PT. MCG telah menandatangani Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik dengan PT. PLN Pusat, dimana PT. MCG sebagai *Independent Power Producer* (IPP) akan membangun, mengoperasikan dan memelihara 2×55 MW PLTP Blawan-Ijen [19].

Kementerian Kehutanan mengeluarkan izin pemakaian lahan seluas 1.300 ha untuk di daerah Blawan-Ijen di tahun 2014. Selain izin pemakaian lahan, proyek ini juga mendapatkan izin lingkungan dari Pemerintah Daerah Bondowoso [19]. Pada tahun 2015, PT. MCG mengubah Izin Usaha Pertambangan menjadi Izin Panas Bumi yang berlaku untuk jangka waktu 35 tahun [19]. *Slim hole drilling campaign* dilakukan sejak awal Januari 2016 dan berhasil menyelesaikan satu sumur (IJN-01) sedalam 2.000 meter. Selain itu, PT. MCG memperoleh perpanjangan kesatu jangka waktu eksplorasi dari kementerian ESDM yang berlaku sampai 24 Mei 2017 [19, 20]. Adapun perpanjangan kedua jangka waktu eksplorasi diperoleh pada tahun 2017 yang berlaku sampai 24 Mei 2018 [20].

Berdasarkan rencana pengoperasian panas bumi Blawan-Ijen yang disusun pada tahun 2012, pengoperasian PLTP direncanakan pada tahun 2018 dengan kapasitas terpasang 55 MW. Namun pada tahun 2014, rencana pengoperasian ini berubah menjadi tahun 2019. Lebih lanjut, pada tahun 2015 proyek ini merubah perencanaannya menjadi tahun 2020. Saat ini, berdasarkan RUPTL PLN tahun 2017–2026, pengoperasian PLTP ditargetkan pada tahun 2021, dan pengoperasian pembangkit kedua direncanakan pada tahun 2022 dengan kapasitas 55 MW. Berdasarkan data ini, dapat diketahui bahwa sejak tahun 2012 rencana pengoperasian panas bumi molor dari waktu yang sudah direncanakan. Agar pemanfaatan panas bumi sesuai dengan waktu yang direncanakan, maka kajian secara komprehensif sangat diperlukan. Pengembangan energi panas bumi di daerah Blawan-Ijen akan berdampak pada kondisi

sosial, ekonomi dan lingkungan. Dalam hal ini, keberadaan energi panas bumi bergantung pada sumber daya manusia sebagai faktor kunci dalam pengembangannya. Manajemen industri dalam perusahaan panas bumi (eksplorasi dan eksploitasi) membutuhkan biaya investasi yang tinggi, memiliki risiko tinggi (risiko ketidakpastian geologi, teknis, ekonomi, dan politik) dan membutuhkan teknologi modern [12]. Dengan demikian, diperlukan kerja sama yang kuat antara pemerintah, *stakeholders*, maupun elemen masyarakat dalam mewujudkan pengembangan potensi panas bumi sebagai pembangkit listrik 2×55 MW. Selain itu, pengembangan panas bumi diharapkan memberikan dampak positif secara langsung dan memberikan kontribusi yang nyata terhadap pembangunan suatu daerah khususnya kabupaten Bondowoso dan sekitarnya.

### **KESIMPULAN**

Indonesia mempunyai potensi panas bumi yang sangat besar, namun dalam hal pemanfaatannya masih rendah. Salah satu daerah yang menunjukkan adanya potensi panas bumi yaitu daerah Blawan-Ijen, hal ini ditandai ditemukannya manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan solfatara. Lebih lanjut, hasil eksplorasi menggunakan penginderaan jauh, geofisika, geokimia, dan pengeboran semakin meyakinkan akan adanya potensi panas bumi ini. Adapun PLTP Blawan-Ijen direncanakan beroperasi pada tahun 2021 dan 2022 dengan kapasitas masing-masing 55 MW. Dengan demikian, pengembangan potensi panas bumi memerlukan kajian secara komprehensif agar pemanfaatannya dapat berjalan sesuai dengan waktu yang sudah direncanakan. Selain itu, pengembangan potensi panas bumi harus memberikan kontribusi yang jelas dalam pembangunan daerah khususnya kabupaten Bondowoso dan sekitarnya.

### **UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LP2M Universitas Jember yang telah mendukung penelitian ini melalui hibah penelitian Skema Pembinaan tahun anggaran 2017.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] BPPT. 2016. Outlook Energi Indonesia 2016. Hal 17 – 18.
- [2] Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional.
- [3] Wahyuningsih, R. 2005. Potensi dan wilayah kerja pertambangan panas bumi di Indonesia, *Kolokium Hasil Lapangan-DIM*.
- [4] Kementerian ESDM. 2017a. *Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia*. Hal 99 – 103.

- [5] Pambudi, A. N. 2017. Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [6] Kementerian ESDM. 2017b. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Hal 634 – 639.
- [7] Dinas ESDM Jawa Timur. 2012. Potensi Panas Bumi di Jawa Timur.
- [8] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang RUPTL PT. PLN (Persero) tahun 2017-2016.
- [9] Hochstein, M. P., dan Sudarman, S. 2013. Indonesian Volcanic Geothermal Systems. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*.
- [10] Hinsberg, V. V., Berlo, K., Bergen, V. B., dan Jones, A. W. 2010. Extreme alteration by hyperacidic brines at Kawah Ijen volcano, East Java, Indonesia: I. Textural and mineralogical imprint. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. **198**. 253 – 263.
- [11] Azhari, A. P., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. 2016. Identifikasi struktur geologi dan pengaruhnya Terhadap suhu permukaan tanah berdasarkan data Landsat 8 di lapangan panasbumi blawan. *Jurnal Penginderaan Jauh*. **13**. 1 – 11.
- [12] Maryanto, S., Wicaksono, A. S., Azhari A. P., Dewi. C. N., Foster, J., Nadhir, A., dan Abdurrouf. 2015. Multi geophysical observations at blawan - ijen volcano geothermal complex for regional development. *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*. **02**. 105 – 113.
- [13] Raehanayati, Rachmansyah, A., dan Maryanto, S. 2013. Studi Potensi Energi Geothermal Blawan-Ijen, Jawa Timur Berdasarkan Metode Gravity. *Jurnal Neutrino*. **6**. 31 – 39.
- [14] Afandi, A., Maryanto, S., dan Rachmansyah. 2013. Identifikasi reservoir daerah panasbumi dengan metode geomagnetik daerah blawan kecamatan Sempol kabupaten Bondowoso. *Jurnal Neutrino*. **6**. 1 – 10.
- [15] Dewi, C. N., Maryanto, S., dan Rachmansyah. 2015. Sistem panasbumi daerah blawan, jawa timur berdasarkan survei magnetotelurik. *Riset Geologi dan Pertambangan*. **25**. 111 – 119.
- [16] Daud, Y., Nuqramadha, W. A., Fahmi, F., Pratama, S. A., Rahman, K. R., dan Subroto, W. 2017. Discovering “Hidden” Geothermal Reservoir in Blawan-Ijen Geothermal Area (Indonesia) Using 3-D Inversion of MT Data.
- [17] Maryanto, S., Dewi, N. D., Syahra, V., Rachmansyah, A., Foster, J. H., Nadhir, A., dan Santoso, D. R. 2017. Magnetotelluric-Geochemistry Investigations of Blawan Geothermal Field, East Java, Indonesia. *Geosciences*. **7**. 1 – 13.
- [18] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor: 2472 K/30/MEM/2008
- [19] Laporan tahunan 2011 PT Medco Energi International Tbk. 2011.
- [20] <https://finance.detik.com/energi/3641482/meco-kantongi-perpanjangan-izin-eksplorasi-panas-bumi-di-ijen>

## KOMPOSIT KONDUKTIF BERBASIS BIOKARBON ECENG GONDOK

Azam Muzakhim Imammuddin<sup>1\*</sup>, Sudjito Soeparman<sup>2</sup>, Wahyono Suprpto<sup>2</sup>, Achmad As'ad Sonief<sup>2</sup><sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang

Email: \*azam@polinema.ac.id

## ABSTRAK

Komposit merupakan bahan yang bersifat sebagai isolator listrik dan untuk menjadikannya sebagai bahan yang bersifat konduktif maka pengisi komposit dapat berupa serbuk logam, serat dan karbon atau karbon aktif. Dalam perkembangannya, pengisi karbon jenis karbon aktif dapat diperoleh dari bahan alam. Oleh karena itu, dalam rangka mengembangkan bahan alam sebagai bahan dasar karbon aktif atau biokarbon yang digunakan pengisi komposit maka diteliti untuk bahan dasar yang berasal dari tanaman eceng gondok. Biokarbon eceng gondok didapatkan dari serbuk eceng gondok yang dikarbonisasi pada temperatur 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Komposit konduktif dibuat dari 30% Bakelit dan 70% biokarbon eceng gondok dengan ketebalan 3 mm. Hasil yang didapatkan komposit biokarbon eceng gondok memiliki konduktivitas listrik dengan nilai tertinggi  $3,73 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$ , termasuk dalam bahan semikonduktor dan bahan konduktif yang dapat diaplikasikan sebagai perisai EMI (*Electromagnetic Interference*).

Kata Kunci: komposit, konduktif, biokarbon, eceng gondok

## PENDAHULUAN

Komposit dibuat dari dua atau lebih bahan penyusun dengan sifat fisika atau kimia yang berbeda, dan akan tetap terpisah dan berbeda dalam struktur akhirnya[1]. Dengan tujuan untuk mendapatkan kelebihan-kelebihan sifat fisika dan kimia dari bahan penyusunnya, sehingga didapatkan sifat mekanik dan fisik yang belum ada sebelumnya. Sehingga komposit merupakan bahan yang sangat heterogen; artinya, sifat komposit bervariasi dari titik ke titik dalam materi, tergantung pada fase material mana intinya terletak di dalamnya[2]. Pada umumnya, komposit merupakan bahan yang bersifat sebagai isolator listrik dan termal dan untuk menjadikannya sebagai bahan yang bersifat konduktif maka penguat komposit dapat berupa serbuk logam, serat dan karbon atau karbon aktif[3]. Aplikasi dari komposit konduktif adalah sebagai penyimpan energi, biosensing, antistatik dan material perisai gelombang elektromagnetik (EMI)[3-5]. Pada saat ini karbon aktif atau biokarbon dapat diperoleh dari alam yang bersifat sampah atau gulma, seperti dari sabut kelapa, batok kelapa, kulit kemiri, bambu, sekam padi dan eceng gondok. Dan pada penelitian ini digunakan biokarbon atau karbon aktif yang berasal dari eceng gondok. Karbon aktif berbentuk amorf, memiliki luas permukaan antara 300 – 2000m<sup>2</sup>/gram, dan memiliki daya serap yang sangat besar yaitu antara 25-1000% terhadap berat karbon aktif[6]. Karbon aktif memiliki tiga jenis pori yaitu yaitu: pori mikro (*micropores*) dengan

ukuran  $\leq 2\text{nm}$ , pori meso (*mesopores*) dengan ukuran 2 – 50 nm, dan pori makro (*macropores*) dengan ukuran  $\geq 50 \text{ nm}$ [7].

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) merupakan tumbuhan air yang tumbuh di rawa-rawa, danau, waduk dan sungai yang alirannya tenang. Eceng gondok yang telah dewasa, terdiri dari akar, bakal tunas, tunas atau stolon, daun, petiole, dan bunga. Daun-daun eceng gondok berwarna hijau terang berbentuk telur yang melebar atau hamper bulat dengan garis tengah sampai 15 sentimeter. Secara umum penyusun tumbuhan eceng gondok ada tiga komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dalam batang tumbuhan kandungan selulosa 50%, Lignin 30%, dan sisanya adalah Hemiselulosa dan memiliki kandungan kimia yang tergantung dari unsur hara tempatnya tumbuh[8].

Bakelit merupakan salah satu matrik komposit yang bersifat isolator listrik. Bakelit adalah polimer turunan yang tersusun atas fenol dan formaldehid. Bakelit merupakan jenis plastik termoseting yang tahan terhadap guncangan, keras tetapi ringan. Bakelit mempunyai sifat polimer yang tidak dapat melunak dan dibentuk ulang. Bakelit dapat dibentuk ketika panas dan kemudian solid dan menjadi plastik yang keras. Bakelite memiliki sifat tahan panas dan mudah dibentuk. Bakelit digunakan untuk peralatan listrik, kaca kapal perang, dan kaca jendela pesawat terbang.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang memiliki beberapa tahapan sebagai berikut:

### Preparasi Eceng Gondok

Preparasi yang dilakukan adalah pemotongan pencucian dan pengeringan eceng gondok. Eceng gondok yang digunakan adalah bagian batang dan daunnya. Eceng gondok yang digunakan berasal dari daerah sumber air Wendit Malang. Proses pengeringan dilakukan menggunakan oven dengan temperatur 70°C selama 4 hari. Kemudian eceng gondok dijadikan serbuk dengan ukuran 80 mesh. Hal ini dilakukan agar distribusi panas saat proses karbonisasi merata.

### Karbonisasi

Serbuk eceng gondok diletakkan di dalam tungku vakum. Serbuk eceng gondok dipanaskan dari temperatur ruangan ke temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C. kemudian ditahan pada temperatur akhir selama 1 jam, kemudian didinginkan secara alami sampai mencapai temperatur ruangan.

### Pembuatan Komposit

Pembuatan komposit dilakukan dengan komposisi 70 % serbuk biokarbon eceng gondok dan 30% berat *phenol formaldehyde* (PF). Kemudian dicampur dengan menggunakan ballmill. Campuran tersebut kemudian dicetak dalam bentuk persegi empat dengan panjang 22,86 mm, lebar 10,16 mm, dan ketebalan spesimen 3 mm, menggunakan *hot press* dengan tekanan sebesar 300 kg/cm<sup>2</sup> pada temperatur 180°C selama 10 menit.

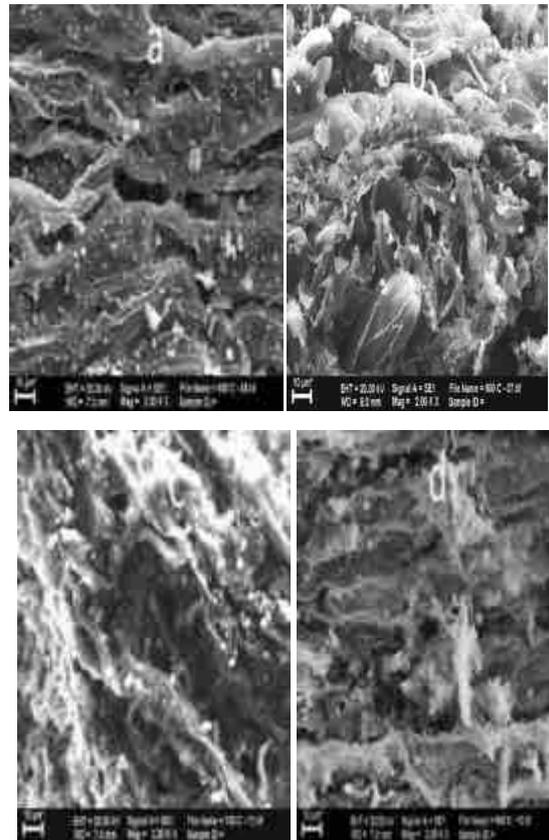
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan dua pengujian yaitu pengujian menggunakan *scanning electron microscope (SEM)* EVO MA 10, yang digunakan untuk mengetahui mikrostruktur dari biokarbon eceng gondok dan pengujian konduktivitas listrik dengan menggunakan LCR Meter type HP 4262A (Hawlett Packard).

### Hasil Pengujian SEM

Setelah dilakukan pengujian SEM pada biokarbon eceng gondok maka didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Hasil karbonisasi pada temperatur 500°C (Gambar 1.a) menunjukkan bahwa, pori-pori biokarbon eceng gondok sudah mulai terbuka tapi masih banyak yang tertutup. Pada temperatur 600°C (Gambar 1.b), pori-pori biokarbon pada permukaan sudah terbuka semua dan mulai membuka pori-pori yang ada di area dalam. Pada temperatur 700°C (Gambar 1.c) menunjukkan bentuk dari pori-pori biokarbon eceng gondok, yang berbentuk seperti karang atau *sponge* yang asimetris. Dan pada temperatur 800°C (Gambar 1.d) menunjukkan pori-pori biokarbon eceng gondok bagian dalam yang semakin terbuka dan pori-pori bagian luar yang bertambah tipis. Hal

ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur karbonisasi membuat semakin terbukanya pori-pori dari biokarbon eceng gondok.



Gambar 1. Hasil Pengujian SEM biokarbon eceng gondok berdasarkan temperatur karbonisasi (a)500°C, (b)600°C, (c)700°C, dan (d)800°C dengan pembesaran 2000x

### Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

Pada pengujian konduktivitas listrik dari komposit biokarbon eceng gondok dibuat sebanyak 3 spesimen untuk setiap temperatur karbonisasi, sehingga ada sebanyak 12 spesimen dalam penelitian ini. Pengukuran konduktivitas listrik pada spesimen komposit biokarbon eceng gondok menggunakan LCR Meter type HP 4262A (Hawlett Packard) pada frekuensi 1 KHz pada temperatur ruang. Sampel komposit dijepit di antara dua elektroda tembaga dari dudukan pengukuran konduktivitas listrik seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Nilai konduktivitas listrik ( $\sigma$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan[9]:

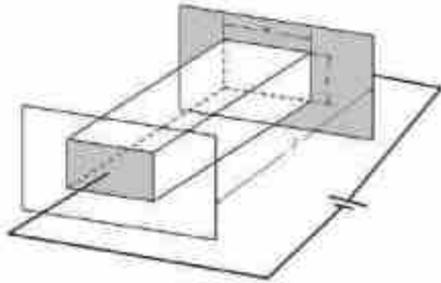
$$\sigma = \frac{l}{RA} \quad (1)$$

Dimana  $l$  = panjang

$A = w \times t$  dengan

$w$  = lebar,  $t$  = tebal

Hasil pengukuran yang didapatkan dari LCR Meter masih dalam bentuk nilai resistansi seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Gambar 3. Dengan menggunakan persamaan 1 maka didapatkan nilai konduktivitas listrik seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Gambar 4.



Gambar 2. Pengukuran konduktivitas listrik

Tabel 1. Hasil Pengukuran Resistansi Listrik spesimen komposit biokarbon eceng gondok

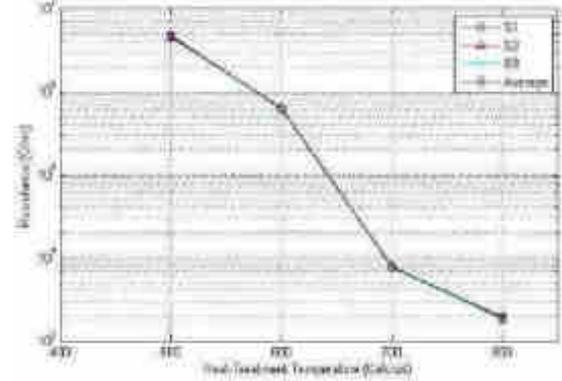
Temperatur Karbonisasi (°C)	Nilai Resistansi ( $\Omega$ )			
	S1	S2	S3	Rata-Rata
500	$4,79 \times 10^6$	$4,5 \times 10^6$	$4,57 \times 10^6$	$4,62 \times 10^6$
600	$621,1 \times 10^3$	$633 \times 10^3$	$611 \times 10^3$	$621,7 \times 10^3$
700	$7,81 \times 10^3$	$8 \times 10^3$	$7,61 \times 10^3$	$7,81 \times 10^3$
800	$1,93 \times 10^3$	$1,81 \times 10^3$	$1,86 \times 10^3$	$1,87 \times 10^3$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Konduktivitas Listrik spesimen komposit biokarbon eceng gondok

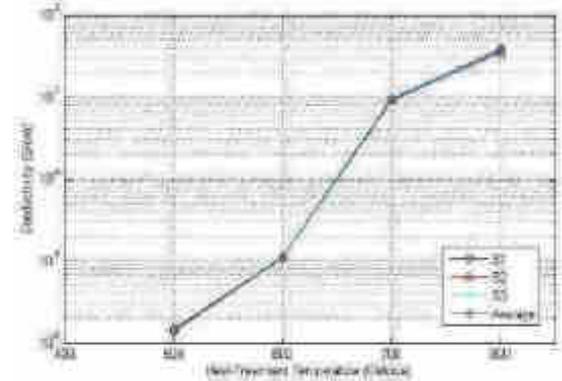
Temperatur Karbonisasi (°C)	Nilai Konduktivitas Listrik (S/cm)			
	S1	S2	S3	Rata-Rata
500	$1,38 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$1,439 \times 10^{-6}$
600	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,09 \times 10^{-5}$	$1,14 \times 10^{-5}$	$1,11 \times 10^{-5}$
700	$9,19 \times 10^{-4}$	$9,27 \times 10^{-4}$	$9,49 \times 10^{-4}$	$9,32 \times 10^{-4}$
800	$3,46 \times 10^{-3}$	$3,91 \times 10^{-3}$	$3,82 \times 10^{-3}$	$3,73 \times 10^{-3}$

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3, menunjukkan bahwa kenaikan temperatur karbonisasi biokarbon eceng gondok memberikan pengaruh penurunan nilai resistansi listrik komposit, dimana bernilai sekitar 4,62 M ohm untuk komposit dengan temperatur karbonisasi 500°C menjadi sekitar 1,87 K ohm untuk temperatur 800°C. Hal tersebut berkebalikan dengan nilai konduktivitas listrik,

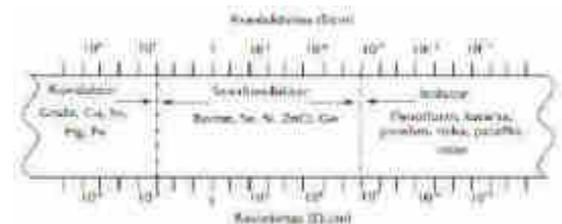
yang bertambah besar dengan bertambahnya temperatur karbonisasi dari nilai  $1,439 \times 10^{-6}$  S/cm untuk temperatur 500°C menjadi  $3,73 \times 10^{-3}$  S/cm untuk temperatur 800°C. Seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur karbonisasi biokarbon eceng gondok menyebabkan kenaikan nilai konduktivitas listrik komposit. atau dengan kata lain, semakin banyak pori-pori biokarbon eceng gondok yang terbuka, maka semakin tinggi nilai konduktivitas listrik dari kompositnya. Sehingga mengubah komposit yang bersifat isolator menjadi konduktif.



Gambar 3. Resistansi Listrik Spesimen Komposit biokarbon Eceng Gondok berdasarkan temperatur Karbonisasi

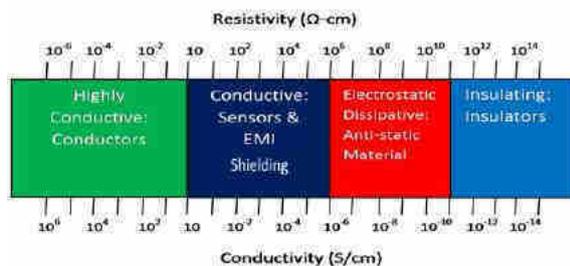


Gambar 4. Konduktivitas Listrik Spesimen Komposit biokarbon Eceng Gondok berdasarkan temperatur Karbonisasi



Gambar 5. Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas [10]

Dari besarnya nilai konduktivitas komposit yang dihasilkan mulai  $1,439 \times 10^{-6}$  untuk temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  sampai  $3,73 \times 10^{-3}$  S/cm untuk temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  maka komposit biokarbon eceng gondok termasuk dalam bahan semikonduktor berdasarkan Gambar 5 dan termasuk dalam bahan konduktif berdasarkan Gambar 6. Oleh karena itu komposit ini cocok digunakan sebagai sensor dan perisai EMI.



Gambar 6. Klasifikasi dari Aplikasi Conductive Polymer Composites yang bergantung pada Resistivitas atau Konduktivitas listrik[11]

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karbonisasi membuat pori-pori biokarbon eceng gondok terbuka, bertambahnya temperatur karbonisasi akan menambah banyak pori-pori biokarbon yang terbuka.
2. Bertambahnya pori-pori biokarbon eceng gondok yang terbuka mengakibatkan bertambahnya nilai konduktivitas listrik dari komposit dengan nilai tertinggi  $3,73 \times 10^{-3}$  S/cm.
3. Komposit biokarbon eceng gondok yang dihasilkan termasuk dalam bahan semikonduktor dan komposit konduktif yang cocok diaplikasikan sebagai sensor dan perisai EMI.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberi dukungan dana terhadap penelitian ini melalui hibah Penelitian Disertasi Doktor.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Masuelli, M. A. (2013). Introduction of Fibre-Reinforced Polymers – Polymers and Composites: Concepts, Properties and

- Processes. In *Fiber Reinforced Polymers - The Technology Applied for Concrete Repair* (pp. 3–40). <https://doi.org/10.5772/54629>
- [2] Zweben, C. (2006). CHAPTER 10 - COMPOSITE MATERIALS. In M. Kutz (Ed.), *Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Mechanical Design, Volume 1, Third Edition* (Vol. 1, pp. 380–417). John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Jing, L. ., Yern, C. ., Gan, S. N., Rozali, S., & Julai, S. (2016). Effects of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber on Electrical and Mechanical Properties of Conductive. *BioResources*, 11(1), 913–928.
- [4] Khan, S. ud D., Arora, M., Puri, C., Wahab, M. A., & Saini, P. (2014). Synthesis and characterization of acrylic resin / activated carbon composites. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, 52(April), 251–254.
- [5] Mittal, G., Rhee, K. Y., & Park, S. J. (2016). The effects of cryomilling CNTs on the thermal and electrical properties of CNT/PMMA composites. *Polymers*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/polym8050169>
- [6] Salamah, S. (2008). Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Buah Mahoni dengan Perlakuan Perendaman Dalam Larutan KOH. In *Prosiding Seminar Nasional Teknoin* (pp. 55–59).
- [7] Hao, W. (2014). *Refining of hydrochars/ hydrothermally carbonized biomass into activated carbons and their applications*. Stockholm University.
- [8] Ratnani, R. D. (2005). Proses Pirolisis Eceng Gondok ( Eichhornia Crassipes) Menjadi Karbon Aktif Dengan Bahan Pengaktif Natrium Klorida ( NaCl). *Momentum*, 1(1), 5–10
- [9] Rani, A., Nam, S.-W., Oh, K.-A., & Park, M. (2010). Electrical Conductivity of Chemically Reduced Graphene Powders under Compression. *Carbon Letters*, 11(2), 90–95. <https://doi.org/10.5714/CL.2010.11.2.090>
- [10] Irzaman, Erviansyah, R., Syafutra, H., Maddu, A., & Siswadi. (2010). Studi Konduktivitas Listrik Film Tipis Ba<sub>0.25</sub>Sr<sub>0.75</sub>TiO<sub>3</sub> Yang Didadah Ferium Oksida (BFST) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition. *Berkala Fisika*, 13(1), 33–38.
- [11] Pang, H., Xu, L., Yan, D. X., & Li, Z. M. (2014). Conductive polymer composites with segregated structures. *Progress in Polymer Science*, 39(11), 1908–1933. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.07.007>

**PERANCANGAN DAN SOSIALISASI KEPADA KELOMPOK TANI MESIN PENGHANCUR  
BAHAN ORGANIK KAPASITAS 250 KG/JAM**

Santoso Mulyadi<sup>1\*</sup>, Dwi Nurtanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember

Email: \*santosomulyadi32@yahoo.co.id

**ABSTRAK**

Kegiatan ini bertujuan untuk merancang dan membuat mesin pengolah sampah yang strukturnya bisa dibuat secara mudah dan murah oleh masyarakat, dan dapat dioperasikan secara sederhana, digerakkan oleh mesin diesel 8 hp. Mesin ini dapat menghancurkan sampah organik sebagai bahan baku pupuk kompos. Dari kegiatan ini dapat diharapkan bahwa: pembuatan mesin pengolah sampah dapat menyelesaikan permasalahan utama yang dihadapi oleh kelompok masyarakat desa Temuasri kecamatan Sempu Banyuwangi. Pembuatan mesin penghancur sampah organik dengan sistem *rotary* ini dapat dilaksanakan dengan baik sesuai dengan rencana waktu yang telah ditentukan, Permasalahan utama mitra mengenai pengolahan sampah dengan kehadiran mesin ini diharapkan ketergantungan terhadap Dinas Kebersihan kota Sempu dapat dikurangi dan tercipta masyarakat swakelola sampah untuk bahan organik. Hasil dari mesin pengolahan sampah ini berupa sampah organik sebagai bahan baku kompos dengan ukuran 2-3 cm. Hasil cacahan bahan organik bisa dimanfaatkan pupuk kompos, sehingga memberikan peluang usaha baru dengan basis industri pupuk pertanian sehingga secara tidak langsung dapat meningkatkan pendapatan masyarakat desa Temuasri dan juga menyerap tenaga kerja baru.

Kata Kunci: sampah organik, mesin pencacah dan pupuk organik

**PENDAHULUAN**

Sampah perkotaan merupakan salah satu permasalahan kompleks yang dihadapi oleh negara-negara berkembang. Kota-kota besar bahkan ibukota negara dari seluruh negara berkembang mengalami persoalan yang sama yaitu pengelolaan sampah. Sistem pengumpulan yang tidak tuntas, kurangnya alat angkut sampah, kurangnya fasilitas-fasilitas pendukung dan terbatasnya kapasitas tempat pengolahan akhir sampah (TPA) menjadi permasalahan yang khas. Permasalahan sampah tidak hanya bersifat teknis, tetapi menyangkut pada aspek-aspek lain khususnya sosial dan budaya. (Azwar, 2001)

Permasalahan lain dari cara penanganan sampah yang kurang baik antara lain tidak dimanfaatkannya sampah organik secara maksimal, padahal di dalamnya terkandung potensi ekonomi yang menguntungkan, yaitu bisa dijadikan kompos. Disamping itu didalam sampah termapur ada material plastik logam besi dan logam non ferous yang biasanya oleh masyarakat langsung dibuang bercampur dengan sampah, padahal bila sampah tersebut dikelola akan berpotensi ekonomi. Untuk itu perlu kiranya ditumbuhkan kesadaran masyarakat akan pentingnya penanganan sampah dengan baik dimulai dari rumah tangga hingga lingkungan RT,

RW, kelurahan atau kecamatan. Dengan demikian kegiatan sosialisasi melalui penyebar luasan informasi, pelatihan dan penyuluhan kepada masyarakat haruslah dibuat secara terprogram dengan terpadu. (*Liputan6.com*).

Di desa Temuasri kota Sempu Banyuwangi merupakan wilayah dengan tingkat kepadatan penduduk yaitu antara 8000 – 15000 jiwa/km<sup>2</sup> dengan luas wilayah 99.33 km<sup>2</sup>. dan tingkat kepadatan penduduk 5251 jiwa/km<sup>2</sup>.

Pada desa ini terdapat 3 buah RW dan 10 RT. Kegiatan pengabdian dilakukan pada RW I yang memiliki 3 buah RT, hal ini karena pada RW ini jumlah penduduknya yang paling banyak dibanding dengan RW lain. Pada RW I ini terdapat 97 kepala keluarga dengan perincian 34 KK pada RT 1, 32 KK pada RT 2 dan 31 KK pada RT 3. (*Survey, Maret 2009*)

Dari 97 kepala keluarga ini didapatkan volume sampah setiap hari sebesar 1200 kg atau 36 ton setiap bulannya. Penanganan sampah dilingkungan ini dilakukan oleh dinas kebersihan dan pertanaman (DKP) kota Sempu. Namun penanganan yang dilakukan oleh DKP belum optimal karena terkendala jumlah armada pengangkut sampah, akhirnya jumlah sampah sampai menumpuk berhari-hari yang mengakibatkan bau busuk yang menyengat. Warga

biasanya membuang sampah ke sungai dan lahan kosong disekitarnya. Akhir-akhir ini ada warga yang terserang penyakit karena sanitasi yang kurang diperhatikan, selain itu ada petani yang protes akibat saluran irigasi untuk lahan pertanian tersumbat akibat pembuangan sampah. Untuk menjamin tingkat kualitas lingkungan dan sanitasi tetap terpelihara serta kelancaran irigasi para petani, maka perlu dibuatkan mesin pengolah sampah dengan sistem penghancur dan pemisah jenis sampah. Sehingga tingkat kualitas lingkungan tetap terjaga dan tidak mengganggu saluran irigasi para petani.

Sehingga untuk lebih menjaga tingkat kualitas lingkungan dan kelancaran irigasi petani di desa Temuasri kota Sempu maka perlu pembinaan dalam bidang pengolahan sampah dengan penggunaan teknologi tepat guna yang cocok diterapkan setingkat desa. Serta perlunya peningkatan sumber daya manusia yang akan mampu mengelola manajemen sampah. Berdasarkan permasalahan yang ada maka sudah sepatutnya untuk segera mengambil tindakan berupa kegiatan yang membantu masalah sampah yang dihadapi oleh warga desa Temuasri kota Sempu. Lokasi desa Temuasri, kota Sempu, Kabupaten Banyuwangi berada pada arah utara kota atau dari Banyuwangi (Universitas Jember) lebih kurang berjarak 30 km kearah utara. Desa ini terdapat 3 buah RW dan 10 buah RT berpenduduk 97 kepala keluarga dan ditengah desa ini terdapat sungai tempat saluran irigasi para petani sekaligus tempat pembuangan sampah penduduk wilayah ini.

Untuk mendapatkan data dari masyarakat desa Temuasri dilakukan survei terhadap responden. Survei dilakukan dalam rangka mendapatkan gambaran secara langsung keadaan saat ini (existing condition) pada RW I desa Temuasri kota Sempu. Wawancara dilakukan menggunakan daftar pertanyaan yang sudah disiapkan. Informasi yang dikumpulkan dari responden mencakup umur, jenis kelamin, jumlah anggota keluarga, tingkat pendidikan, jumlah anggota keluarga, jenis sampah yang diproduksi dan cara membuang sampah. Karena itu diperlukan suatu kegiatan untuk membantu menyelesaikan permasalahan yang dihadapi oleh masyarakat desa Temuasri kota Sempu, berupa pembuatan mesin pengolah sampah dengan sistem penghancur dan pemisah jenis sampah. Sehingga dengan keberadaan mesin pengolah sampah ini akan tercipta masyarakat swakelola sampah sehingga dapat menjaga kelestarian lingkungan dan ketergantungan terhadap petugas DKP dapat dikurangi. Disamping itu juga dengan mesin ini akan menambah pendapatan masyarakat sekitar dari hasil penjualan pengomposan sampah dan pemisahan sampah besi/plastik/logam nonferous

yang masih bernilai jual cukup tinggi sehingga dapat membuka lapangan kerja baru.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Mesin Penghancur Sampah Organik

Mesin penghancur sampah organik dibuat dengan menggunakan penggerak motor diesel. Prinsip kerja alat ini yaitu sebagai berikut Motor dihidupkan lalu putaran yang dihasilkan oleh motor ditransmisikan pulley yang terdapat pada poros yang langsung menggerakkan pisau penghancur. Sampah yang dimasukan ke dalam mesin ini akan dicacah oleh pisau penghancur yang terdapat didalam drum penghancur. Setelah sampah dihancurkan, serpihan atau butiran sampah akan keluar melalui lubang tempat keluarnya serpihan atau butiran sampah dengan ukuran 5 mm sampai 2 mm.

### Perencanaan Daya

Daya diperlukan untuk menggerakkan poros. Dimana besarnya tergantung kapasitas mesin. Dalam proses mencacah sampah ini menggunakan tenaga penggerak yaitu motor listrik. Daya yang direncanakan dihitung menurut persamaan-persamaan berikut:

- a. Torsi yang terjadi (Sularso, 2002):

$$T = F \cdot r$$

Keterangan:

T = Torsi (kg.mm)

F = Gaya yang terjadi (kg)

r = Jari-jari dudukan pisau (mm)

- b. Daya yang diperlukan untuk mencacah sampah (Sularso, 2002):

$$P = \frac{(T/1000)(2\pi \cdot n_2 / 60)}{102}$$

Keterangan:

P = Daya nominal input poros (kW)

T = Torsi pencacah sampah (kg.mm)

n<sub>2</sub> = Putaran poros (rpm)

- c. Untuk menjaga keamanan maka daya dikalikan faktor koreksi (f<sub>c</sub>) sehingga didapat daya rencana (Sularso, 2002):

$$P_d = f_c \cdot P$$

Keterangan:

P<sub>d</sub> = Daya Rencana (kW)

f<sub>c</sub> = Faktor koreksi daya yang ditransmisikan

1,2 – 2,0 : Untuk daya rata-rata yang diperlukan

0,8 – 1,2 : Daya maksimum yang diperlukan

1,0 – 1,5 : Daya yang di transmisikan

### Perencanaan pulley

Pulley merupakan salah satu bagian dari mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya

dari motor untuk menggerakkan alat tujuan, ukuran perbandingan pulley dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Antara pulley penggerak dan pulley yang digerakan, dihubungkan dengan sabuk V sebagai penyalur daya dari motor penggerak.

a. Gaya pada pulley

Gaya pada pulley yang bekerja yaitu akibat tegangan dari sabuk dan berat pulley itu sendiri. Tegangan sisi tarik sabuk ( $T_1$ ) dapat dicari dengan rumus (Khurmi, 1984):

$$T_1 = T - T_c$$

Tegangan maksimum sabuk (Khurmi, 1984):

$$T = f \times a$$

Tegangan sentrifugal antara sabuk dengan pulley (Khurmi, 1984):

$$T_c = \frac{W \times V^2}{G}$$

Keterangan:

T = Tegangan maksimum sabuk (kg.mm)

$T_c$  = Tegangan sentrifugal antara sabuk dengan pulley (kg)

F = Kekuatan tarik sabuk (kg.cm<sup>2</sup>)

A = Luas penampang sabuk (cm<sup>2</sup>)

W = Berat persatuan panjang (kg/m)

V = Kecepatan keliling sabuk (m/s)

b. Tegangan sabuk pada sisi kendor ( $T_2$ ) dapat dicari dengan rumus (Khurmi, 1984):

$$2,3 \log T_1 = \mu \cdot \theta \cos ec \alpha$$

Keterangan:

$T_2$  = Tegangan sabuk sisi kendor (kg)

$\mu$  = Koefisien gesek antara sabuk dengan pulley

### Perencanaan bantalan

Bantalan digunakan untuk menumpu poros berbeban. Penggunaan bantalan disesuaikan dengan beban yang bekerja pada poros tersebut, sehingga poros dapat bekerja dengan baik dan pemakaian bantalan tahan lama. Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan gerak bantalan terhadap poros
  - a. Bantalan luncur
  - b. Bantalan gelinding
2. Berdasarkan arah beban terhadap poros
  - a. Bantalan radial
  - b. Bantalan aksial

## METODOLOGI PENELITIAN

### Perancangan dan Pengembangan

Setelah melakukan pencarian data dan pembuatan konsep yang didapat dari literatur studi kepustakaan serta dari hasil survey, maka dapat direncanakan elemen-elemen mesin (bagian dinamis) dari perancangan dan pembuatan mesin

pencacah sampah organik. Perencanaan dan Perancangan merupakan langkah awal dari pembuatan mesin, perencanaan pembuatan mesin ini harus dilakukan dengan benar agar mesin yang dibuat nanti dapat bekerja secara maksimal, perencanaan yang dilakukan meliputi:

1. Perencanaan daya;
2. Perencanaan kapasitas;
3. Perencanaan pisau pencacah;
4. Perencanaan pulley dan sabuk-v;
5. Perencanaan poros dan pasak;
6. Perencanaan bantalan.

### Proses Pembuatan

Proses pembuatan dilakukan setelah semua proses perencanaan dan perancangan selesai.

1. Pembuatan poros
2. Pembuatan pisau pencacah  
Pisau pencacah dibuat dari pelat dengan panjang 160mm. Untuk dudukan pisau juga dibuat dari pelat berbentuk tabung dengan diameter 250 mm dan panjang 500 mm.

### Proses Perakitan

Proses perakitan dilakukan setelah proses pembuatan (permesinan) selesai, sehingga akan membentuk "Mesin Pencacah Sampah". Proses perakitan bagian-bagian mesin pencacah sampah meliputi:

1. Memasang bantalan pada rangka;
2. Memasang pisau pencacah pada poros;
3. Memasang bodi penutup pencacah;
4. Memasang poros pada bantalan;
5. Memasang pulley pada poros;
6. Memasang motor sekaligus pulley motor;
7. Mengatur jarak pulley motor dengan pulley poros;
8. Memasang sabuk-V.

### Pengujian Mesin

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah mesin pencacah sampah dapat bekerja dengan baik. Hal-hal yang dilakukan dalam pengujian alat sebagai berikut:

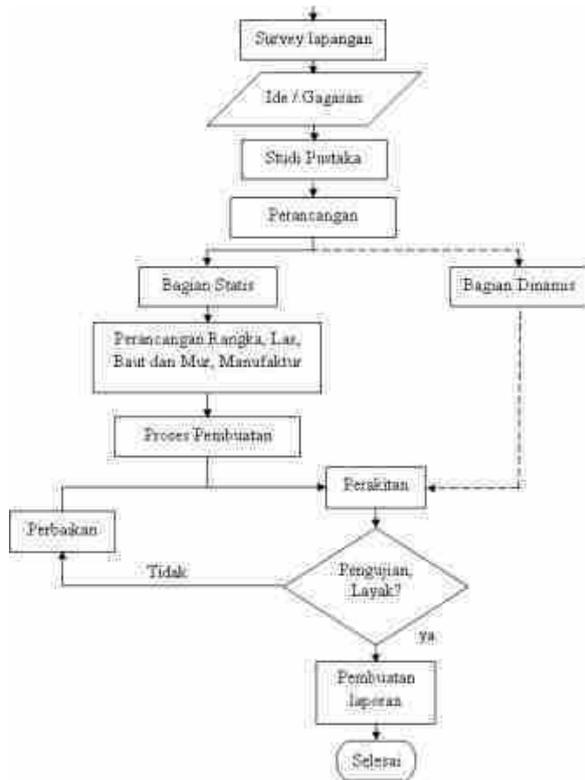
1. Melihat apakah elemen mesin bekerja dengan baik;
2. Melihat apakah baut pengikat elemen mesin tidak lepas, tidak mengendor, dan tidak putus;
3. Mengukur waktu untuk pencacahan;
4. Melihat hasil pencacahan.

### Penyempurnaan Mesin

Penyempurnaan mesin ini dilakukan apabila tahap pengujian alat terdapat masalah atau kekurangan, sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik sesuai prosedur, tujuan dan perencanaan yang dilakukan.

### Diagram Alir Pembuatan Mesin

Pembuatan mesin penghancur sampah organik ini mengikuti alur berikut:



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Suatu mesin pengolah sampah yang dapat menghancurkan sampah organik direncanakan memiliki kapasitas 1200 kg/ 8 jam. Mesin pengolah sampah ini mempunyai keunggulan: menggunakan teknologi sederhana, dapat dioperasikan cukup 2 orang, ekonomis dan perawatannya yang mudah.

Mesin penghancur sampah ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Panjang x lebar x tinggi = 1.5 x 1.25 x 1.25 meter.
2. Kapasitas pengolahan sampah = 1200 kg / 8 jam kerja.
3. Menggunakan penggerak mesin diesel dengan daya 20 Hp untuk menggerakkan pisau putar/rotary.
4. Model penghancur sampah model rotary pisau tegak 90°.



Gambar 1. Mesin penghancur sampah organik hasil rancangan.

### Hasil Perencanaan Daya

Besar gaya potong pencacah sampah ( $F$ ) adalah 0,4 kg. Dengan jari jari tabung pencacah 277,5mm. Maka torsi yang terjadi ( $T$ ) adalah 320 kg.mm. Daya yang diperlukan untuk memotong sampah ( $P$ ) adalah 390 W, harga faktor koreksi ( $f_c$ ) adalah 0,8, maka besarnya daya yang direncanakan ( $P_d$ ) adalah 630 W.

### Perencanaan Kapasitas

Setelah diketahui luas penampang pisau ( $A$ ) adalah 0,0016 mm<sup>2</sup>,  $n = 1200$  rpm kemudian menghitung volume sampah dari hasil percobaan ( $V$ ) adalah 0,01413 m<sup>3</sup>. Dari volume tersebut dapat dicari massa jenis pencacah sampah ( $\rho$ ) adalah 70 kg/m<sup>3</sup>, kecepatan pisau potong ( $V$ ) adalah 282,6 m/menit. Maka kapasitas mesin pencacah sampah ( $Q$ ) adalah 70 kg/menit.

### Hasil Perencanaan Pulley dan Sabuk V-Belt

Motor yang digunakan adalah 22 HP dan kecepatan putaran motor sebesar 2200 rpm. Diameter pulley penggerak = 95 mm dan diameter pulley yang digerakkan = 180 mm, panjang sabuk yang digunakan  $L = 1044$  mm. jarak sumbu poros ( $C$ ) = 1226 mm. Perbandingan reduksi yang diperlukan ( $i$ ) = 1,83. Dari data tersebut maka sabuk yang digunakan adalah tipe B dengan spesifikasi sebagai berikut  $\alpha = 36^\circ$ ;  $W = 16,07$ ;  $L_0 = 12,5$ ;  $K = 5,5$ ;  $K_0 = 9,5$ ;  $e = 19,0$ ;  $f = 12,5$ . (Sularso, 1997).

### Perencanaan Poros dan Pasak.

Bahan poros yang akan digunakan, yaitu S30C Dengan spesifikasi kekuatan tarik ( $\sigma_B$ ) = 48 kg/mm<sup>2</sup> berat pisau adalah 16,4 kg, berat pulley

adalah 1 kg, gaya tarik pulley adalah 7,17 kg. Gaya pada  $R_A = 0,97$  kg dan  $R_B = 17,37$  kg.

Momen terbesar yang terjadi adalah 2336 kg dengan besar torsi ( $T_2$ ) = 319,7 kg.mm. faktor keamanan ( $Sf_1$ ) dan ( $Sf_2$ ) yang dipakai 6 (karena menggunakan bahan S-C) dan 2,0 (karena poros diberi alur pasak) sedangkan faktor lenturan ( $K_m$ ) diambil nilai sebesar 1,5 karena beban tumbukan yang terjadi besar, faktor puntiran ( $K_t$ ) diambil nilai 2,0 karena terjadi kejutan/tumbukan besar, tegangan lentur yang diijinkan ( $\tau_a$ ) = 4 kg/mm<sup>2</sup>.

Untuk merancang pasak harus mengetahui gaya tangensial (F), besarnya gaya tangensial adalah F = 16,82 kg. Diameter poros adalah 38 mm dengan bahan pasak S30C dengan kekuatan tarik ( $\sigma_B$ ) = 48 kg.mm dengan faktor keamanan ( $Sf_1$ ) = 6 dan ( $Sf_2$ ) = 2,0. Panjang pasak ( $l_k$ ) = 65 mm, lebar pasak ( $b$ ) = 10 mm, dan tinggi pasak ( $h$ ) = 5 mm.

### Hasil Perencanaan Bantalan

Bantalan yang akan dipergunakan adalah bantalan gelinding bola sudut dalam keadaan terpasang dengan nomor bantalan jenis terbuka UC208-24, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:  $d = 38$  ;  $D = 80$  ;  $B = 20$  ;  $r = 1$ .

Beban radial pada bantalan ( $F_r$ ) = 17,37 kg dan beban aksial bantalan ( $F_a$ ) = 0 Sehingga faktor  $X = 0,56$ ,  $V = 1$  dan faktor  $Y = 0$ , karena bantalan yang digunakan adalah bantalan radial maka beban ekuivalen bantalan 9,72 kg. Faktor kecepatan bantalan adalah ( $f_n$ ) = 0,01, dan faktor umur bantalan adalah ( $f_h$ ) = 6,59. Umur nominal bantalan ( $L_h$ ) = 143095,59 jam dengan faktor keandalan umur bantalan ( $L_n$ ) = 143095,59 jam.

### Pengujian Mesin Pencacah Sampah Organik

Pengujian mesin ini dilaksanakan di laboratorium Las Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Banyuwangi. Adapun tujuan dari percobaan mesin adalah:

- Mengetahui unjuk kerja dari mesin pencacah sampah.
- Mengetahui hasil pencacahan.
- Mengetahui kapasitas mesin pencacah sampah.
- Mengetahui tingkat keberhasilan pencacahan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Mesin Pencacah Sampah:

Pengujian	$W_1$ (kg)	$W_2$ (kg)	t (menit)
1	1,024	0,620	1
2	0,391	0,338	1,05
3	0,618	0,549	1
4	0,522	0,495	1,6
Total	2,56	2,002	4,65

Keterangan :

$W_1$  = Berat sampah sebelum dimasukkan hopper (kg)

$W_2$  = Berat sampah yang keluar (kg)

t = Waktu pencacahan bahan (menit)

Sampah yang tercacah & keluar

$$= \frac{W_2}{W_1} \times 100\%$$

$$= \frac{2,002 \text{ kg}}{2,56 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$= 78,20\% \text{ dari berat awal}$$

Jadi dalam setiap sekali proses, sampah yang tidak keluar 21,8 % atau sebesar 0,558 kg. Kapasitas mesin (Q) = 2,56 kg dalam 4,65 menit, jadi kapasitas yang diperoleh sebesar 70 kg/jam. Setelah dilakukan pengujian, besarnya kapasitas mesin sesuai dengan yang di harapkan.



Gambar 2. Hasil penghancuran sampah organik

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian mesin penghancur sampah organik, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Daya yang diperlukan untuk menghancurkan sampah organik adalah 390 W.
- Diameter pulley penggerak 95 mm dan diameter pulley yang digerakan adalah 180 mm.
- Bahan poros yang digunakan adalah S30C dengan kekuatan tarik ( $\sigma_B$ ) = 48 kg/mm<sup>2</sup>. Diameter poros yang digunakan 38 mm dan panjang poros 780 mm;
- Berdasarkan hasil pengujian, prosentase sampah yang keluar 92,8 % sisanya 7,2 % atau sebesar 0,558 kg tidak keluar, hal ini terjadi dalam setiap sekali proses.
- Kapasitas mesin penghancur sampah organik sebesar 1200 kg / 8 jam pada putaran 1400 rpm dan sampah tercacah dengan ukuran 2-3 cm.

## SARAN

Dalam pelaksanaan perancangan dan pembuatan mesin penghancur sampah organik ini masih terdapat hal-hal yang perlu di Sempurnakan, antara lain:

1. Dianjurkan untuk memberikan putaran mesin diesel yang lebih tinggi (diatas 1400 rpm) agar sampah dapat tercacah dengan cepat dan halus.
2. Dianjur pembuatan drum menggunakan bahan plat yang lebih tebal (diatas 3 mm) agar suara mesin tidak terlalu bising.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] \_\_\_\_\_, 2002, *Jawa Timur Dalam Angka 2001*, BPS dan BAPPEDA Jawa Timur, Surabaya.
- [2] \_\_\_\_\_, 2002, *Banyuwangi Dalam Angka 2001*, BPS dan BAPPEDA Kab. Banyuwangi, Banyuwangi.
- [3] DKP, 2000, *Produksi Sampah di Kota Sempu Dijual di JTV*, Dinas Kebersihan dan Pertamanan, Banyuwangi.
- [4] DKP, 1998, *Harga Barang Bekas Olahan dari sampah organik dan anorganik*, Dinas Kebersihan dan Pertamanan, Banyuwangi.
- [5] BPS, 1999, *Konsumsi Makanan Berkemasan Penduduk Jawa Timur*, Biro Pusat Statistik Jawa Timur, Surabaya.
- [6] Anonim, (1998). Mengekspor Sampah, Kenapa Tidak?, Harian Suara Pembaruan, edisi 22 Februari.
- [7] Anonim, (2005). Daur ulang sampah dimulai dari rumah tangga. Intisari April.
- [8] Hidayati, Nur. (2006). Mengelola sampah, mengelola gaya hidup. Walhi on line 11 maret.
- [9] Ibnu Rois, (2005). Pemanfaatan sampah organik sebagai Bahan Bakar dalam Bentuk Briket, Esai, KINas MIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [10] Rochim Taufik, (2001). Proses pemesinan, Penerbit ITB.
- [11] Rusdiana Setyaningtyas, (2008). Pengolahan sampah organik menggunakan reaktor komos dari bahan bambu apus, Jurnal Dimensi, Unmuh Banyuwangi.
- [12] Sabijanto A. (2006). Pentingnya program daur ulang sampah, pikiran rakyat Online. 18 Januari
- [13] Sriati Japrie, (2003). Material Teknik, Universitas Indonesia, Press.
- [14] Sularso, (2001). Perencanaan elemen mesin, Pradnya Paramitha, Jakarta
- [15] Totok Dwi Kuryanto, (2007). Reduksi jumlah sampah melalui program daur ulang sampah rumah tangga, Jurnal Dimensi, Unmuh Banyuwangi.
- [16] Yuni Hermawan, Ary Setyawan, (2005). Design mesin penghancur sampah *portable* skala rumah tangga, Tugas akhir mahasiswa DIII Teknik, Univ Banyuwangi, Banyuwangi.
- [17] Zuhul, (1999). Dasar teknik tenaga listrik , Erlangga Jakarta.

Siti Aminah<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*sitia33598@gmail.com

**ABSTRAK**

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan persen ekstraksi emas dalam proses sianidasi, antara lain dengan optimasi konsentrasi oksigen terlarut, konsentrasi sianida, penambahan suatu reagen tertentu, dan variasi fraksi ukuran. Fraksi ukuran sangat berpengaruh dalam proses sianidasi, karena dapat meningkatkan persen ekstraksi apabila fraksi ukuran yang digunakan sesuai dengan derajat liberasi ukuran partikel emas. Pada percobaan ini, dipelajari pengaruh fraksi ukuran terhadap persen ekstraksi emas pada proses sianidasi *Carbon in Leach*. Preparasi dilakukan terhadap sampel emas *as received* dari Palu yang meliputi *crushing*, *grinding* dan *sieving* sehingga akan didapatkan bijih dengan fraksi ukuran tertentu. Sampel yang sudah dipreparasi, akan digunakan untuk karakterisasi dan sianidasi. Karakterisasi bijih meliputi analisis mineragrafi, XRD, XRF dan *fire assay*. Selanjutnya dilakukan percobaan sianidasi *Carbon in Leach* dengan variasi fraksi ukuran. Pada percobaan ini sianidasi dilakukan menggunakan *bottle roll test* dengan variasi fraksi ukuran yaitu -100+200 mesh, -200+270 mesh, -270+325 mesh, -325+400 mesh dan -400 mesh. Hasil percobaan menunjukkan bahwa persen ekstraksi tertinggi pada proses sianidasi *Carbon in Leach* diperoleh pada fraksi ukuran -400 mesh, yaitu mencapai 83,7%.

Kata Kunci: ekstraksi, sianidasi, emas, dan *carbon in leach***PENDAHULUAN**

Emas merupakan logam mulia yang banyak digunakan dan memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Emas termasuk ke dalam golongan logam mulia karena keterdapatannya di bumi yang langka dan memiliki sifat spesifik tertentu. Emas dapat ditemukan dalam bentuk mineral dimana emas sebagai logam berharga yang dominan, misalnya logam (*native*), *electrum*, *calaverite*, *sylvanite* dan mineral dimana emas sebagai unsur minor, misalnya *arsenopyrite*, *pyrite*, *chalcopyrite*, dan lainnya. Berdasarkan kemudahannya diekstraksi, bijih emas diklasifikasikan menjadi bijih emas *free-milling*, bijih emas kompleks dan bijih emas refraktori. Bijih emas *free-milling* dapat diolah dengan metode sianidasi konvensional dengan ukuran yang tidak terlalu halus. Untuk bijih emas kompleks akan memerlukan konsumsi reagen pelindi yang lebih banyak selama proses sianidasi sementara bijih emas refraktori memerlukan proses *pre-treatment* terlebih dahulu sebelum pelindian.

Metode ekstraksi emas yang sampai saat ini masih banyak digunakan untuk keperluan eksploitasi emas untuk skala industri pertambangan adalah metode sianidasi dan metode amalgamasi (Hiskey, 1985 dan Lee, 1994). Pada metode amalgamasi, penggunaan merkuri dapat memberikan dampak yang negative terhadap

lingkungan, yaitu dapat mencemari lingkungan secara langsung (Steele et al., 2000). Pada metode sianidasi memiliki beberapa kelebihan antara lain persen ekstraksi yang relatif tinggi untuk bijih *free-milling*, dan membutuhkan konsumsi reagen yang lebih rendah dibandingkan apabila menggunakan reagen lain seperti thiourea dan thiosulfat. Metode sianidasi ini juga dapat digunakan untuk mengestraksi emas dalam rentang fraksi ukuran bijih yang lebar, dari yang kasar sampai halus. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja ekstraksi dengan menggunakan proses sianidasi antara lain adalah konsentrasi reagen sianida yang digunakan, lama proses sianidasi, konsentrasi oksigen terlarut, persen padatan, fraksi ukuran partikel bijih, pH larutan, dan intensitas pengadukan.

Salah satu factor yang mempengaruhi persen ekstraksi emas adalah fraksi ukuran partikel bijih emas yang digunakan. Ukuran partikel yang digunakan selama proses sianidasi harus sesuai dengan ukuran keberadaan emas dan juga akan dipengaruhi oleh mineral ikutan di dalam bijih emas. Dalam penelitian ini, akan dilakukan 5 variasi fraksi ukuran sehingga akan diketahui pada ukuran partikel berapa, emas dapat terekstraksi lebih banyak.

## MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan untuk mempelajari pengaruh fraksi ukuran bijih emas terhadap persen ekstraksi emas pada proses sianidasi. Pada proses pelindian digunakan sampel bijih dari Palu dan karbon aktif yang digunakan pada percobaan CIL adalah karbon aktif yang biasa digunakan di PT Cibaliung Sumberdaya.

Sampel bijih *as received* dikeringkan di dalam oven selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air di dalam bijih. Preparasi dimulai dengan menghancurkan semua bijih menggunakan *jaw crusher*, *roll crusher* dan grinding hingga didapatkan ukuran bijih P<sub>80</sub> -200#. Semua bijih dicampur dan dihomogenisasi dengan menggunakan *rotary splitter* pada berbagai ukuran sehingga akan dihasilkan paket-paket contoh bijih yang sudah homogeny dan siap digunakan untuk proses penelitian selanjutnya. Paket-paket bijih ini akan digunakan untuk uji karakterisasi dan proses sianidasi CIL.

Karakterisasi bijih dilakukan terhadap sampel bijih untuk mengidentifikasi jenis dan sifat dari bijih yang akan digunakan untuk penelitian. Analisis mineragrafi sayat poles dilakukan untuk menentukan letak dan ukuran emas dalam bijih serta mineral pengikutnya. Analisis komposisi unsur kimia dalam bijih dilakukan dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Fire Assay*. Identifikasi jenis mineral dominan yang terdapat dalam bijih dilakukan dengan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD).

Setelah karakterisasi sampel selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan serangkaian percobaan sianidasi dan CIL di Laboratorium Hidro dan Elektrometalurgi, Progam Studi Teknik Metalurgi, FTTM-ITB. Percobaan sianidasi dilakukan dengan variasi fraksi ukuran partikel. Fraksi ukuran yang digunakan adalah -100+200#, -200+270#, -270+325#, -325+400# dan -400#.

Untuk menentukan konsentrasi Au, Ag, Cu dan Fe terlarut akan dilakukan proses analisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), yang selanjutnya dilakukan perhitungan persen ekstraksi masing-masing logam. Pada tahap pelindian sianidasi, dilakukan sampling pada jam ke 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36 dan 48. Setiap proses sampling, akan diukur sianida terlarut, konsentrasi oksigen terlarut dan pH larutan.

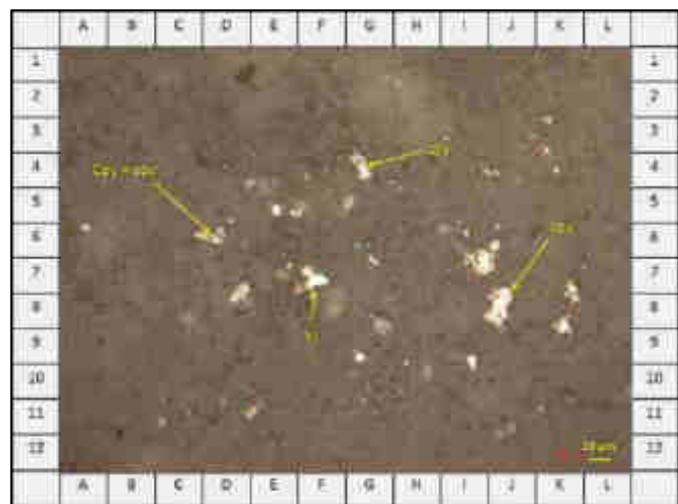
Penelitian ini diawali dengan uji mineragrafi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa emas berada di bijih dalam bentuk elektum

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Karakterisasi Sampel

Penelitian ini diawali dengan uji mineragrafi. Dalam analisis mineragrafi, contoh sampel perlu dibuat preparat yang sesuai agar

analisis dilakukan dengan baik. Preparat yang digunakan dalam analisis adalah sayatan poles. Pengambilan gambar dilakukan di bawah cahaya pantul Nikon Eclipse 50 iPol. Dari hasil pengamatan mineragrafi, diketahui bahwa bijih sampel sebagian besar terdiri dari kuarsa, serta sedikit mineral sulfida yaitu kalkopirit, spalerit, pirit, dan kovelit. Dalam bijih ini juga ditemukan kalsit, yang dapat berpotensi menyebabkan sifat *preg-robbling*. Mineral emas secara megaskopis tidak terlihat, akan tetapi pada pengamatan mineragrafi ditemukan keberadaan emas dalam bentuk mineral electrum. Mineral electrum yang ditemukan jumlahnya sangat sedikit dan memiliki kenampakan warna putih krem, berukuran sangat halus hingga 5 µm yang tersebar secara acak dan terinklusi dalam kuarsa.



Gambar 1. Mikrografi sampel A, dibawah mikroskop refleksi, Kumulat inklusi detritus mineral sulfida dalam kristal kuarsa urat, cov = covellite, cpy = chalcopyrite, el = electrum



Gambar 2. Mikrografi sampel A, dibawah mikroskop refleksi, Detritus sulfide mengandung elektum, qz = quartz, cpy = chalcopyrite, el = electrum

Tabel 1. Komposisi unsur yang terkandung dalam contoh sampel

Senyawa	Komposisi (%)	Unsur	Komposisi (%)
SiO <sub>2</sub>	65.64	Si	30.69
TiO <sub>2</sub>	0.259	Ti	0.155
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.66	Al	3.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.15	Fe	2.89
MnO	0.0679	Mn	0.0526
CaO	9.75	Ca	6.97
MgO	2.78	Mg	1.68
Na <sub>2</sub> O	1.00	Na	0.745
K <sub>2</sub> O	1.90	K	1.58
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.132	P	0.0576
SO <sub>3</sub>	0.476	S	0.191
LOI	6.86	-	-
ZnO	0.0101	Zn	0.0081
CuO	0.0062	Cu	0.0050
SrO	0.0714	Sr	0.0604
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0132	V	0.0074
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0314	Cr	0.0215
BaO	0.0534	Ba	0.0478
Rb <sub>2</sub> O	0.0086	Rb	0.0079
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0018	Ga	0.0002

Tabel 2. Hasil analisis fire assay dan ICP

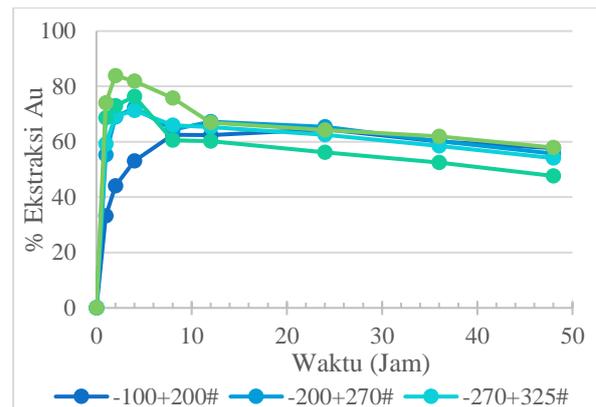
Elemen	Kadar	Elemen	Kadar
Au	5.2 ppm	Cd	< 0.05 ppm
Ag	< 0.5 ppm	Co	< 0.1 ppm
Al	< 0.01 %	Cr	< 5 ppm
As	2 ppm	Cu	2 ppm
B	< 5 ppm	Fe	< 5 ppm
Ba	< 10 ppm	Ga	< 2 ppm
Be	< 5 ppm	Hg	< 5 ppm
Bi	< 2 ppm	In	< 5 ppm
Ca	< 0.01 ppm	K	0.22 %

Berdasarkan hasil analisis fire assay, didapatkan bahwa kadar Au dalam sampel bijih adalah 5,2 ppm dan kadar Ag adalah <0,5 ppm. Sedangkan untuk preg-robbing test, sampel bijih memiliki sifat preg-robbing, yaitu bijih memiliki kecenderungan untuk mengambil kembali kompleks Au(CN)<sub>2</sub><sup>-</sup> yang terlarut di dalam larutan sehingga dapat terjadi penurunan ekstraksi emas pada jam tertentu. Karakteristik preg-robbing ini biasanya disebabkan oleh keberadaan karbon dalam bijih, untuk sampel bijih diketahui bahwa karbon hadir dalam bentuk mineral kalsit (CaCO<sub>3</sub>). Karbon merupakan salah satu *carbonaceous matter* dalam bijih juga dapat menyebabkan emas terperangkap di dalamnya sehingga menghalangi pelindian emas.

### Hasil Percobaan Pelindian Menggunakan *Bottle Roll*

Proses pengecilan ukuran bijih yang digunakan sebagai sampel pada percobaan ini sangatlah penting karena berdasarkan hasil uji mineragrafi, elektor berukuran halus dan berasosiasi dengan kuarsa, kalkopirit, kovelit, kalkosit atau digenit. Emas yang berasosiasi dengan silika harus benar-benar terliberasi dari silika agar dapat terlarut dalam larutan pelindi. Demikian juga elektor yang berasosiasi dengan kalkopirit dan ubahannya.

Pada percobaan ini proses pelindian telah dilakukan menggunakan *bottle roll test* dengan variasi fraksi ukuran yaitu -100+200 mesh, -200+270 mesh, -270+325 mesh, -325+400 mesh dan -400 mesh. Percobaan dilakukan selama 48 jam pada temperatur ruangan dan tekanan atmosfer, persen padatan 40%, konsentrasi sianida 1000 ppm, konsentrasi oksigen terlarut ≥ 8 ppm, rentang pH 10,5-11 dan kecepatan putaran botol sebesar 70 rpm. Profil persen ekstraksi Au, dan Ag sebagai fungsi waktu pada berbagai fraksi ukuran bijih ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

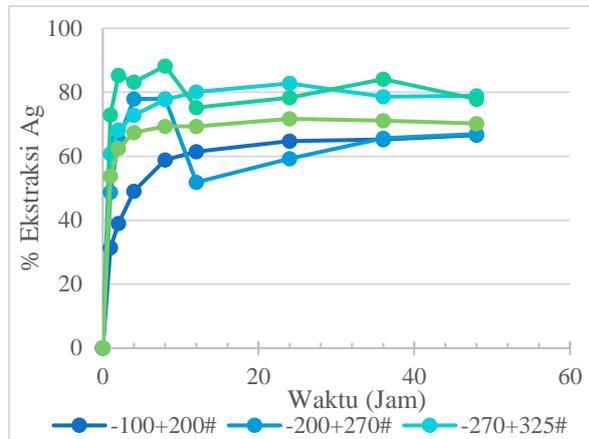


Gambar 3. Profil % ekstraksi Au pada berbagai fraksi ukuran

Pada Gambar 3 dapat terlihat pengaruh fraksi ukuran terhadap persen ekstraksi Au. Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai ekstraksi emas tertinggi diperoleh pada fraksi ukuran -400 mesh, yaitu sebesar 83,87%. Pada fraksi ukuran yang semakin halus, persen ekstraksi emas juga semakin tinggi. Berdasarkan hasil mineragrafi menunjukkan bahwa emas berada pada ukuran yang halus sehingga pada fraksi ukuran paling halus, derajat liberasi emas akan semakin tinggi. Laju pelindian akan semakin meningkat dan persen ekstraksi juga akan meningkat.

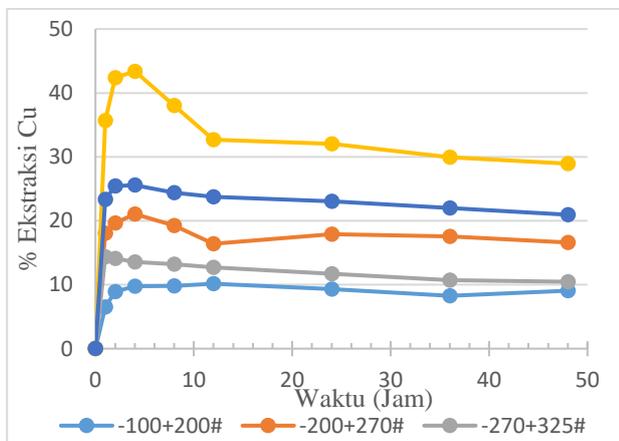
Untuk semua fraksi ukuran, ekstraksi yang tertinggi adalah ketika pelindian terjadi pada jam ke-4. Setelah itu akan terjadi penurunan persen ekstraksi dari emas. Hal ini mengindikasikan bahwa bijih bersifat preg-robbing. Sifat *preg-robbing* ini disebabkan oleh kalsit (CaCO<sub>3</sub>) yang

terkandung di dalam mineral bijih sebanyak 8-10%. Sifat ini akan diverifikasi dengan pengujian pregrubbing yang dibahas pada bab sebelumnya.

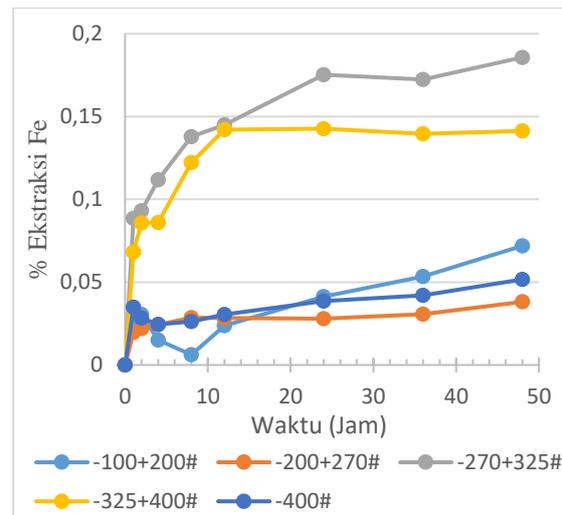


Gambar 4. Profil % ekstraksi Ag pada berbagai fraksi ukuran

Berdasarkan hasil percobaan yang disajikan pada Gambar 4, nilai persen ekstraksi Ag tertinggi juga terjadi pada fraksi ukuran -325+400 mesh, yaitu sebesar 88,22%. Semakin lama waktu pelindian, persen ekstraksi Ag juga terlihat menurun setelah jam ke-8. Hal ini semakin menunjukkan bahwa bijih mempunyai sifat *pregrubbing*.



Gambar 5. Profil % ekstraksi Cu pada berbagai fraksi ukuran



Gambar 6. Profil % ekstraksi Fe pada berbagai fraksi ukuran

Persen ekstraksi Cu tertinggi adalah sebesar 43,39% pada fraksi ukuran -325+400 mesh. Sedangkan untuk persen ekstraksi Fe sangat rendah yaitu sebesar 0,18% pada fraksi ukuran -270+325 mesh.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Sampel bijih cenderung bersifat *pregrubbing* dengan kandungan utama silika, beberapa mineral sulfide (kalkopirit, pirit), dan kalsit, dimana emas berukuran sangat halus hingga 5  $\mu$ m terperangkap dalam mineral sulfida dan silika. nilai ekstraksi emas tertinggi diperoleh pada fraksi ukuran -400 mesh, yaitu sebesar 83,87%. Nilai persen ekstraksi Ag tertinggi juga terjadi pada fraksi ukuran -325+400 mesh, yaitu sebesar 88,22%.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Beasiswa Pendidikan Pascasarjana dalam Negeri (BPPDN) Kemenristek DIKTI, dan PT. Citra Palu Minerals dalam membantu penyelesaian penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmadi, S. S. 1990. Kimia Kayu. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas. Ilmu Hayat. Institut Pertanian Bogor.
- [2] "Activated Carbon 101", <http://www.carbochem.com>.
- [3] Adams, M. D. 2005. Advances in Gold Ore Processing. Elsevier.
- [4] Adhikari, B. B., Gurung, M., Alam, S., Tolnai, B., Inoue, K., 2013. Kraft mill lignin – A potential source of bio-adsorbents for gold recovery from acidic chloride solution. Chemical Engineering Journal 231, 190–197.

- [5] "Air Filtration", <http://buildingprotection.rdecom.army.mil/basica/af.htm>
- [6] Alekhina, M., Ershova, O., Ebert, A., Heikkinen, S., Sixta, H., 2014. Softwood kraft lignin for value-added applications: Fractionation and structural characterization. *Industrial Crops and Products* 66, 220–228.
- [7] Al-Ghoutia, M. A., Li, J., Salamh, Y., Al-Laqtah, N., Walkeb, G., Ahmad, M. N. M., 2009. Adsorption mechanisms of removing heavy metals and dyes from aqueous solution using date pits solid adsorbent. *Journal of Hazardous Materials* 176, 510–520.
- [8] Al-Saidi, H. M., 2013. The fast recovery of gold(III) ions from aqueous solutions using raw date pits: Kinetic, thermodynamic and equilibrium studies. *Journal of Saudi Chemical Society*, xxx, xxx–xxx
- [9] Antoine Duval, Martin Lawoko. 2014. A review on lignin-based polymeric, micro- and nano-structured materials. *Reactive & Functional Polymers* 85 (2014) 78–96.
- [10] Awual, M. R., Khaleque, M. A., Ferdows, M., Chowdhury, A. M. F., Yaita, T., 2013. Rapid recognition and recovery of gold (III) with functional ligand immobilized novel mesoporous adsorbent. *Microchemical Journal* 110, 591–598
- [11] Behin, J. an Azizian, S. (2004), *Kinetic models of sorption: a theoretical analysis*, *Journal of Colloid and Interface Science*, 276(1): 47-52.
- [12] Braun, Patrick. Method Manual Volume 1 Gold Analysis in Alkaline Cyanide Solutions. Society of Mineral Analysts Sparks, Nevada.
- [13] Cateto, C. A., Barreiro, M. F., Rodrigues, A. E., Belgacem, M. N., 2011. Kinetic study of the formation of lignin-based polyurethanes in bulk. *Reactive & Functional Polymers* 71, 863–869.
- [14] Chakar, F. S., Ragauskas, A. J., 2004. Review of current and future softwood kraft lignin process chemistry. *Industrial Crops and Products* 20, 131–141.
- [15] Chandra and M. Z. Mubarak. 2016. On the Use of Lignin-based Biopolymer in Improving Gold and Silver Recoveries During Cyanidation Leaching. *Minerals Engineering* 89, 1-9.
- [16] Duval, A., Lawoko, M., 2014. A review on lignin-based polymeric, micro- and nano-structured materials. *Reactive & Functional Polymers* 85, 78–96.
- [17] Fengel, D. dan G. Wegener. 1995. Kayu: Kimia, Ultrastruktur dan Reaksi. Gadjah Mada Press University. Yogyakarta.
- [18] Fletcher, Asleigh, (2008), "Porosity and Sorption Behaviour", [www.staff.ncl.ac.uk/a.j.fletcher/adsorption.htm](http://www.staff.ncl.ac.uk/a.j.fletcher/adsorption.htm)
- [19] Gomes, C. P., Almeida, M. F., Loureiro, J. M., 2000. Gold recovery with ion exchange used resins. *Separation and Purification Technology* 24, 35–57.
- [20] Habashi, F., *A Textbook of hydrometallurgy, metallurgie extractive*, Quebec, Enrc Canada 1993.
- [21] Judoamidjojo, R. M., E.G. Said dan L. Hartoto. 1989. Biokonversi. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [22] Kinoshita, T., Akita, S. S., Ozawa, S., Nii, S., Kawaizumi, F., Takahashi, K., 2004. Continuous Recovery of Gold(III) via Foam Separation with Nonionic Surfactant. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 3, No.1, 53-63.
- [23] Kirk R. E. dan D. F. Othmer. 1952. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol.8. Pp.327-338. The Interscience Encyclopedia, Inc., New York.
- [24] Lelifajri. 2010. Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Menggunakan Lignin dari Limbah Serbuk Gergaji. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, Vol. 7, No. 3, 126-129.
- [25] Li, Z., Ge, Y., Wan, L., 2014. Fabrication of a green porous lignin-based sphere for the removal of lead ions from aqueous media. *Journal of Hazardous Materials* 285, 77–83.
- [26] Marsden, John and C. Iain House. 2006. *The Chemistry of Gold Extraction*, 2nd edition. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. : USA.
- [27] Mc. Cabe, W. Smith, J., Harriot, P. 1993. "Unit Operation of Chemical Engineering", 5th ed, Mc Graw-Hill, inc. New York
- [28] McKay, Gordon; C. K., Danny; Tsang, David H. K.; Potter, John F., (2003), "Applications of Multipore Model for the Mechanism Identification during the Adsorption of Dye on Activated Carbon and Bagasse Pith", *Langmuir*, 19, 722-730.
- [29] Ouyang X, Qiu X, Chen P. 2006. Physico-Chemical Characterization of Calcium Lignosulfonate. A Potentially Useful Water Reducer *Colloids and Surfaces A: Physico-Chem. Eng. Aspects*. 283-286;489-497.
- [30] Pionera Biopolymer. *Pioneering Solution in Mineral Processing*. 2012.
- [31] Rahmawati, N. 1999. Struktur Lignin Kayu Daun Lebar dan Pengaruhnya terhadap Laju Delignifikasi. *Tesis*. Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [32] Rosen M. J. Dan M. Dahanayake. 2000. Industrial Utilization of Surfactant: Principle and Practice. Illinois AOCS Press, Champaign.
- [33] Salminah, M. 2001. Karakteristik Lignin Hasil Isolasi Larutan Sisa Pemasak Pulp Proses

- Semi Kimia pada Berbagai Tingkat pH. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [34] Seader, J. D., Henley, E. J. (1998). “*Separation Process Principles*”. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- [35] Stewart, D., 2008. Lignin as a base material for materials applications: Chemistry, application and economics. *Industrial Crops and Products* 27, 202–207.
- [36] Syukri. 1999. *Kimia Dasar 3*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [37] Watkins, D., Nuruddin, M., Hosur, M., Narteh, A. T., Jeelani, S., 2014. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *J Mater Res Technol.* 2014; x x x(x x):xxx–xxx.

**OPTIMASI PERENCANAAN JARINGAN LTE E-UTRAN PADA *EVOLVED NODE B EXISTING* MENGGUNAKAN METODE PROBABILITAS MONTE CARLO**Nurul Hidayah<sup>1\*</sup>, Dodi Setiabudi<sup>2</sup>, Catur Suko Sarwono<sup>2</sup><sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*dhierule06@gmail.com

**ABSTRAK**

Peningkatan kapasitas pelanggan dan kualitas layanan diperlukan agar infrastruktur perencanaan yang dibangun memberikan layanan yang optimal. Infrastruktur jaringan yang terus menerus ditingkatkan adalah *Node B*. Hal tersebut menuntut jaringan telekomunikasi dapat melayani komunikasi data dengan kecepatan tinggi salah satunya adalah 4G LTE. LTE adalah standart komunikasi akses data kecepatan tinggi untuk memperbaiki teknologi sebelumnya (3G). Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat menyebabkan calon pengguna layanan 4G LTE belum terlayani saat ini. Maka hal tersebut menjadi acuan perencanaan agar teknologi LTE dapat diimplementasikan. penelitian ini dilakukan optimasi perencanaan jaringan LTE menggunakan probabilitas Monte Carlo untuk menentukan pemetaan site dan untuk mengetahui jumlah *site eNode B* di kota Jember. Optimasi perencanaan menggunakan tiga tahap perencanaan yaitu pendimensian jaringan, perencanaan kapasitas dan optimasi simulasi Monte Carlo. Hasil dari optimasi perencanaan didapatkan 108 *site* untuk perencanaan 5 tahun kedepan dari 2017 – 2022 dengan 52 *site* merupakan *existing* dan 56 *site* merupakan *eNode B* baru. Berhasilnya simulasi Monte Carlo ditentukan oleh signal level. Daerah dengan level sangat baik terletak pada kecamatan kaliwates dengan level -70 dBm dan luas total 4.16 km<sup>2</sup> serta user yang terhubung sebesar 97.3%.

Kata Kunci: *eNode B*, LTE, monte carlo, perencanaan kapasitas**PENDAHULUAN**

Untuk meningkatkan kapasitas pelanggan dan kualitas layanan maka diperlukan metode yang efisien untuk peningkatan tersebut. Infrastruktur yang baik juga diperlukan agar perencanaan yang dibangun dapat memberikan pelayanan yang optimal. Parameter untuk melihat kualitas layanan diantaranya adalah presentase berhasilnya panggilan yang dilakukan dan tidak terputusnya hubungan pada saat berkomunikasi. Dengan bertambahnya jumlah pelanggan yang semakin banyak mencapai 300 juta pelanggan di Indonesia.[1] Maka diperlukan coverage area yang lebih luas yaitu dengan cara memperbaiki perancangan yang ada. Dalam pembangunan menara BTS, sangat dibutuhkan suatu perencanaan yang sistematis untuk menentukan jumlah dan posisi *eNode B*. Hal tersebut menuntut jaringan system telekomunikasi yang dibangun harus mampu melayani komunikasi data dengan kecepatan tinggi. Salah satu teknologi baru yang memiliki kecepatan tinggi ialah teknologi 4G LTE. Namun pada kenyataannya saat ini teknologi 4G hanya dapat dibangun di kota besar dan persebarannya belum merata. Dari permasalahan tersebut dapat dilakukan penelitian mengenai penentuan lokasi *Node B* yang dapat digunakan

sebagai *site* 3G dan *site* 4G. Dimana sistem 3G yang ada dapat digunakan dalam system 4G. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan perencanaan jaringan UMTS untuk menentukan *site* pada *Node B* yang digunakan sebagai *site* 3G pada BTS Existing pada salah satu provider yang ada di kota Malang menggunakan Monte Carlo.[2] Penelitian tersebut menghasilkan optimasi perencanaan membangun jaringan 3G berdasarkan *site* 3G sesuai BTS yang ada. Sedangkan penelitian sebelumnya dilakukan mengenai perencanaan jaringan LTE di wilayah Magelang menggunakan BTS Existing.[3] Penelitian tersebut meliputi perencanaan secara cakupan dan perencanaan secara kapasitas. Serta pada penelitian sebelumnya dilakukan penelitian mengenai perencanaan jaringan Long Term Evolution (LTE) berdasarkan *Node B* 3G existing di kota Pekanbaru.[4] Pada penelitian tersebut dilakukan perencanaan berdasarkan cakupan dan kapasitas menggunakan BTS existing kota Pekanbaru. Dari beberapa penelitian tersebut, hal yang menjadi kendala adalah menentukan letak BTS yang akan dibangun jaringan LTE. Sehingga pada penelitian ini dilakukan penelitian mengenai perencanaan jaringan LTE E-UTRAN untuk menentukan *site* 4G pada *Node B* Existing menggunakan simulasi

Monte Carlo. Dalam perencanaannya menggunakan data distribusi penduduk dengan acuan BTS Existing sebagai penempatan site pada kandidat site menggunakan parameter morfologi dan kapasitas kanal berdasarkan throughput. Karena faktor adanya ketidakpastian yang berupa variabel acak sulit untuk diselesaikan. Maka dari itu digunakan metode probabilitas Monte Carlo karena metode tersebut untuk membentuk kembali distribusi peluang yang didasarkan pada pilihan bilangan acak. Teknologi LTE telah berkembang dikota – kota khususnya wilayah Jember kota. Pertumbuhan penduduk semakin pesat terutama pada sub urban sehingga menyebabkan calon pengguna layanan 4G belum terlayani saat ini. Keadaan tersebut menjadikan sebuah potensi besar bagi operator untuk menjadikan layanan 4G yang menjangkau sub urban dan rural.

### LANDASAN TEORI

Long Term Evolution (LTE) adalah sebuah nama yang diberikan pada projek Third Generation Partnership Project (3GPP) sebagai standar komunikasi akses data wireless kecepatan tinggi untuk memperbaiki standar teknologi seluler generasi ketiga (3G) yaitu UMTS. LTE merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya yaitu teknologi UMTS (3G) dan HSDPA (3.5G) yang mana LTE disebut juga sebagai teknologi seluler generasi keempat (4G). Pada teknologi 4G LTE ini kemampuan dalam hal transfer data dapat mencapai 100 Mbps pada sisi downlink dan 50 Mbps pada sisi uplink dengan bandwidth channel sampai 20MHz. Secara keseluruhan LTE mengadopsi teknologi EPS (Evolved Packet System). Didalamnya terdapat tiga komponen penting yaitu UE (User Equipment), E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) adalah sistem arsitektur LTE yang memiliki fungsi menangani sisi radio akses dari UE ke jaringan core. pada sistem LTE E-UTRAN hanya terdapat satu komponen yakni Evolved Node B (eNode B) yang telah menggabungkan fungsi Node B dan RNC dan EPC (Evolved Packet Core) yang sangat penting untuk layanan pengiriman IP secara end to end pada LTE. Model propagasi menunjukkan perkiraan rata-rata kuat sinyal yang diterima pada jarak tertentu dari pemancar. Model propagasi empiris yang digunakan untuk memperkirakan besarnya redaman selama perambatan sinyal akibat rugi-rugi lintasa propagasi adalah didasarkan pada model yang diperkenalkan oleh Okumura-Hatta. Perencanaan dapat dibagi dalam perencanaan cakupan dan perencanaan kapasitas. Perencanaan cakupan digunakan untuk menentukan cell radius dan mengestimasi jumlah eNode B yang diperlukan dalam suatu wilayah. Untuk menentukan cell radius maka harus dilakukan perhitungan radio link budget. Perencanaan

kapasitas merupakan tahap awal dalam perencanaan kapasitas yang bertujuan untuk menentukan cell radius dan mengestimasi jumlah Node B yang diperlukan. Menentukan jumlah cell radius pada perencanaan kapasitas adalah dengan mengetahui nilai luas sel terlebih dahulu. Simulasi adalah sebuah metode analitik yang bertujuan untuk membuat imitasi dari sebuah sistem yang mempunyai sifat acak, dimana jika digunakan model lain menjadi sangat mathematically complex atau terlalu sulit untuk dikembangkan.[5] Monte Carlo adalah algoritma komputasi untuk mensimulasikan berbagai perilaku sistem fisika dan matematika. Penggunaan klasik metode ini adalah untuk mengevaluasi integral definit, terutama integral multidimensi dengan syarat dan batasan yang rumit. Jika suatu sistem mengandung elemen yang mengikut sertakan faktor kemungkinan, model yang digunakan adalah model Monte Carlo. Dasar simulasi dari Monte Carlo adalah percobaan elemen kemungkinan dengan menggunakan sampel random (acak).

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada *software*, dimana bahan yang digunakan untuk simulasi adalah data yang diadaptasi dari salah satu provider ternama di Indonesia wilayah Jawa Timur Area Jember sebagai data *existing* dalam melakukan optimasi perencanaan.

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan pendimensian jaringan yang terdiri dari menentukan daerah layanan, menentukan *demand* dengan acuan jumlah penduduk yang ada di kabupaten Jember. Melakukan Perencanaan Kapasitas meliputi estimasi jumlah pelanggan terhadap pertumbuhan perencanaan 5 tahun kedepan yaitu dari tahun 2017 hingga 2022, melakukan perhitungan terhadap kepadatan pelanggan. Dimana kepadatan tersebut sebagai acuan perencanaan dalam simulasi serta melakukan perhitungan Kepadatan trafik dan dilakukan perhitungan Jumlah sel.

### Flowchart



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Setelah data perhitungan dibuat, yang harus dilakukan adalah melakukan pemetaan *site*. Pemetaan dilakukan untuk mengetahui jumlah *site* yang akan digunakan dalam perencanaan. Pemetaan dibagi 6 kecamatan. Pemetaan dilakukan untuk menentukan koordinat *eNodeB* tiap kecamatan. Setiap kecamatan memiliki jumlah kebutuhan *site* yang berbeda. Jumlah *site* mengikuti bentuk dan luas wilayah yang ada pada masing – masing kecamatan. Kemudian Untuk mengetahui berhasilnya sebuah perencanaan dilakukan prediksi untuk mengetahui kualitas sinyal dari hasil pemetaan *site* yang ada. Penentuan letak *eNodeB* dalam penelitian ini berdasarkan efisiensi atau ukuran keberhasilan sebagai berikut.

$$radius = \sum_{n=1}^x \{site(n,3) \times (\pi \times site(n,6)^2)\}$$

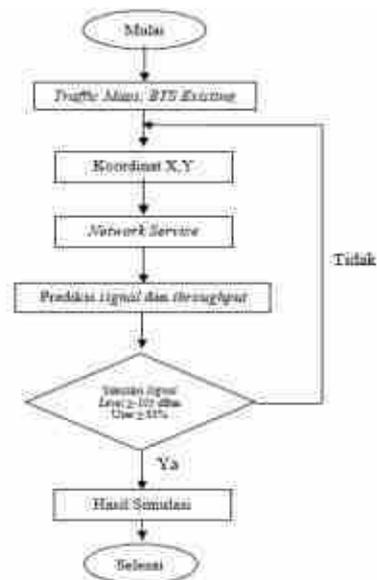
Variabel  $x$  merupakan jumlah total *site* hasil simulasi,  $site(n,3)$  merupakan sektor *site* yang terhubung, variabel  $(n,6)$  merupakan radius BTS.

$$eff_{Pelanggan} = \frac{\frac{coverage}{radius} \times Pend}{Total Penduduk} \times 100\%$$

Total luas cakupan dikalikan luas perencanaan,  $pend$  merupakan jumlah estimasi pelanggan dan total penduduk merupakan total 6 estimasi pelanggan.

Selanjutnya melakukan simulasi Monte Carlo, parameter yang perlu dibangun yaitu *Traffic*

Map dan *subscribe list* atau data pelanggan. Tipe *Traffic Maps* terdiri dari pola peta, garis vektor, peta *existing* dan peta pelanggan atau *user*. Dalam model simulasi Monte Carlo terdapat beberapa tahap untuk menghasilkan simulasi percobaan. Pada optimasi ini tahapan yang dilakukan antara lain Menentukan distribusi kemungkinan, Melakukan fungsi probabilitas, Menentukan Interval, Membangkitkan bilangan angka *random*(acak) dan Melakukan Simulasi Percobaan.



Gambar 2. Flowchart Simulasi Monte Carlo

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dihasilkan perencanaan jaringan untuk 5 tahun kedepan yaitu perencanaan dari tahun 2017 hingga 2022. Penelitian dilakukan pada teknologi jaringan kota jember dengan meliputi 6 kecamatan terpilih sesuai dengan kepadatan penduduk. Berikut merupakan kepadatan pelanggan sesuai perhitungan.

Tabel 1. Kepadatan Pelanggan Seluler

Kecamatan	Estimasi Jumlah Pelanggan	Luas Area (Km <sup>2</sup> )	Kepadatan Pelanggan (user/Km <sup>2</sup> )
Kaliwates	50790	24,94	2033
Sumbersari	55110	37,05	1487
Rambipuji	31400	52,8	594
Patrang	39907	36,99	1078
Pakusari	15601	29,11	517
Kalisat	31370	53,48	586

Dengan jumlah kepadatan pelanggan diatas maka perencanaan pada 6 kecamatan tersebut dapat dibangun jaringan LTE sesuai dengan kriteria

daerah yang padat penduduknya lebih dari 500 pelanggan/Km<sup>2</sup>.

Tabel 2. Perhitungan Jumlah *eNodeB*

No	Kecamatan	Luas Area	Luas Sel	Jumlah Sel
1	Kaliwates	24,94	1,031788	24,17164
2	Sumbersari	37,05	1,41271	26,22618
3	Rambipuji	52,8	3,374614	15,64623
4	Patrang	36,99	1,945875	19,00944
5	Pakusari	29,11	4,057333	7,174664
6	Kalisat	53,48	3,579573	14,94033
Total				107,1685

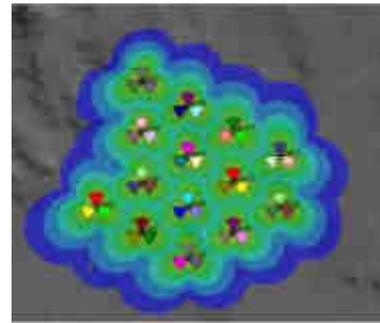
Jumlah sel dikatakan sebagai jumlah *site* atau jumlah *eNodeB* yang didapatkan dari hasil perhitungan yang digunakan sebagai acuan jumlah *site* pada simulasi yang dilakukan dengan memperhitungkan data *existing* yang ada.

Pada analisa Simulasi terdapat beberapa tahapan yang diperoleh yaitu pertama dilakukan konfigurasi parameter, selanjutnya didapatkan hasil pemetaan *eNode B* masing – masing kecamatan, hasil simulasi *level signal* luas total cakupan serta analisis hasil simulasi Monte Carlo dan hasil optimasi kebutuhan *site* pada Monte Carlo.

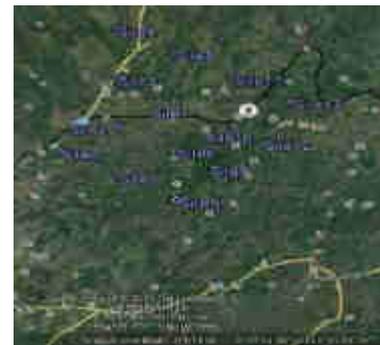
Pada Kecamatan Kalisat terdapat 26 *site*. *Site* tersebut dipengaruhi oleh luas wilayah pada saat pemilihan titik lokasi pada peta. Perbedaan *site* juga disebabkan karena belum dilakukan simulasi Monte Carlo. Jumlah *site* pemetaan pada *software* dan pada *google earth* dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4. Letak titik koordinat kecamatan kalisat dapat dilihat pada tabel 3.

Untuk prediksi *level signal* dapat dilihat pada gambar 5. Pada histogram tersebut hasil rata – rata yang didapatkan adalah -78,37 dBm yang berarti kuat sinyal yang dihasilkan sangat baik dengan disimbolkan warna kuning pada histogram. Luas total coverage pada prediksi tersebut sebesar 9,6 km<sup>2</sup>.

Pertumbuhan *user* atau pelanggan dapat dilihat pada gambar 6 yang memiliki perubahan bentuk pada peta yang terletak pada warna hijau disekitar *site* yang berarti menandakan adanya pelanggan. Berhasilnya simulasi Monte Carlo dapat dilihat dari perubahan peta. *Node* berwarna hijau disekitar *site* itu merupakan jumlah *user* atau pelanggan yang ada pada setiap kecamatan yang dirancang. Berhasilnya simulasi Monte Carlo juga dilihat dari *users* dan *throughput* yang terhubung.



Gambar 3. Jumlah Site Kalisat



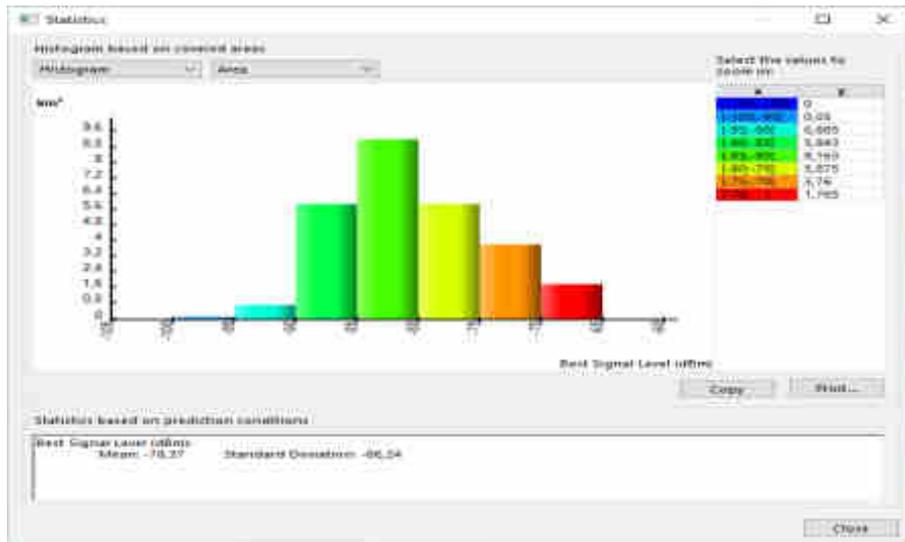
Gambar 4. Pemetaan Pada Google Earth

Berikut merupakan koordinat penempatan *site* pada peta.

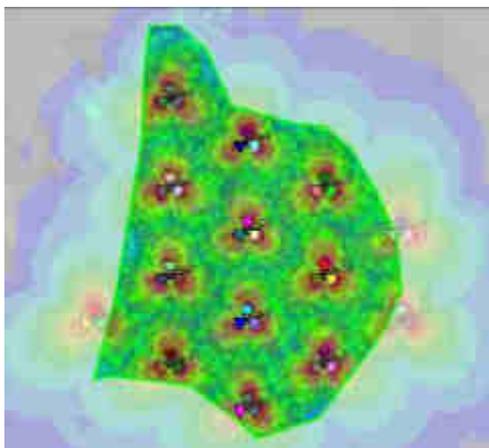
Tabel 3. Koordinat Pada Peta

<i>site</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>
<i>Site0</i>	113,73768496E	8,138398234S
<i>Site1</i>	113,75069273E	8,145764503S
<i>Site10</i>	113,7765038E	8,130680458S
<i>Site11</i>	113,77640129E	8,115773017S
<i>Site12</i>	113,78951156E	8,138045329S
<i>Site13</i>	113,78940847E	8,123138059S
<i>Site2</i>	113,75059098E	8,130856746S
<i>Site3</i>	113,75048942E	8,115948978S
<i>Site4</i>	113,75038805E	8,101041197S
<i>Site5</i>	113,76370088E	8,153130193S
<i>Site6</i>	113,76359855E	8,138222606S
<i>Site7</i>	113,76349642E	8,123315007S
<i>Site8</i>	113,76339448E	8,108407396S
<i>Site9</i>	113,77660651E	8,145587887S

Pada simulasi prediksi cakupan level sinyal dilakukan untuk mengetahui luas total dari setiap level sinyal setelah dilakukan perencanaan.



Gambar 5. Histogram Simulasi Kecamatan Kalisat

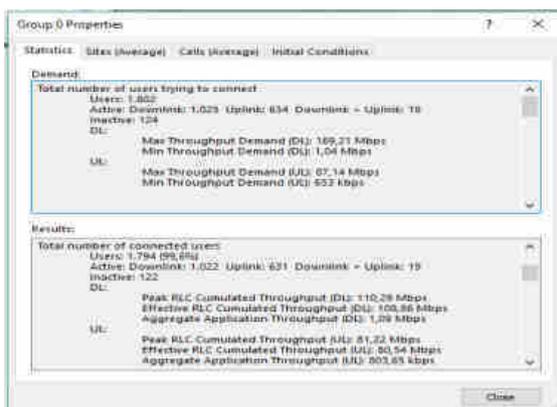


Gambar 6. Simulasi Monte Carlo

bahwa dari 100% *user* terdapat 97,3% *user* mendapatkan layanan dari *eNodeB*. Sedangkan sisanya tidak dilayani atau tidak mendapatkan layanan dari *eNodeB*. Total *user* 5242 *user*. Berikut merupakan hasil simulasi Monte Carlo pada masing – masing kecamatan.

Tabel 4. Hasil Simulasi Monte Carlo

Kecamatan	Jumlah Site Terhubung	Total Pelanggan terhubung	Throughput Layanan (Mbps)					
			F2/P		File Transfer			
			DL	UL	DL	UL		
Kaliwate	23	5242	1.44	1.45	37.01	37.34	432.68	221.62
Sumberjati	24	3622	2.56	2.24	24.1	26.78	308.65	162.18
Rambahpuji	22	1334	1.28	1.12	9.28	9.79	118.12	56.1
Patrang	33	3600	2.64	2.88	23.2	25.3	305.8	154.8
Paknari	35	1077	0.72	0.80	6.62	7.73	99.72	47.94
Kalisat	11	1802	0.80	1.04	12.36	13.39	156.26	73.84



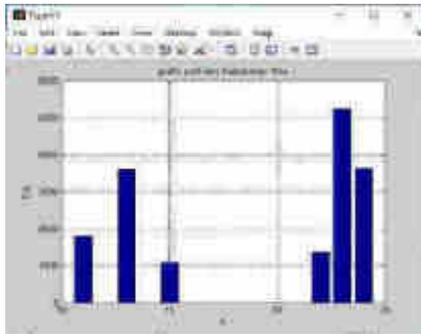
Gambar 7. Hasil Monte Carlo Kecamatan Kalisat

Presiksi pada gambar 7 berguna untuk melihat banyaknya *user* yang dilayani oleh *eNodeB* baik *downlink*, *uplink* maupun keduanya. Gambar diatas menunjukkan hasil dari simulasi Monte Carlo, dari gambar tersebut dapat dilihat

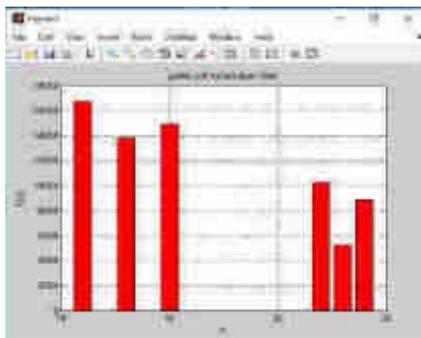
Dari total 52 Node B *existing*, untuk memenuhi cakupan daerah layanan dalam perencanaan lima tahun kedepan yaitu dari tahun 2017 hingga 2022 dibutuhkan penambahan 56 *site eNodeB*. sehingga total *eNodeB* hasil simulasi perencanaan yang terhubung adalah 108 *site*. Hal ini sama dengan total estimasi sebelumnya. Pada estimasi perhitungan di enam kecamatan tersebar sebanyak 107 *site*. Maka dapat dikatakan perencanaan simulasi dengan perhitungan sama atau sebanding.

perencanaan pembangunan jaringan LTE dapat dilakukan dengan menghitung jumlah *site* yang didapatkan dari hasil simulasi perencanaan. Dalam model simulasi Monte Carlo terdapat 5 tahap untuk menghasilkan simulasi percobaan. Dalam penggunaannya, metode yang dilakukan menggunakan elemen kemungkinan sehingga dapat memunculkan angka *random*(acak). Untuk

memulai proses terlebih dahulu harus membuat distribusi kemungkinan. Sehingga didapatkan variabel acak dan distribusi probabilitasnya. Pola distribusi didekati menggunakan fungsi kerapatan probabilitas (*pdf*) dan fungsi distribusi kumulatif (*cdf*). Gambar 8 dan gambar 9 merupakan grafik kebutuhan pelanggan.

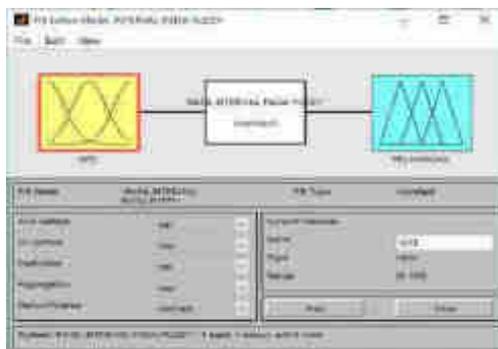


Gambar 8. Grafik Kebutuhan Site Fungsi *pdf*



Gambar 9. Grafik Kebutuhan Site Fungsi *cdf*

Selanjutnya menentukan interval dari kebutuhan yang ada. Interval ditentukan dengan memperhatikan hasil dari jumlah pelanggan pada perencanaan simulasi. Berikut merupakan interval pada program yang telah dibuat.



Gambar 10. *System Interval Pada Fuzzy*

*System* pada gambar 10 terdiri dari satu *input* dan satu *output* dan delapan *rules*. Input pada *system* tersebut merupakan jumlah *site* sedangkan *output*nya berarti jumlah pelanggan. Range pada *input* yaitu antara 0 – 100 *site*. Jika ditabelkan maka dapat diketahui interval dari simulasi sebelumnya dapat dilihat pada tabel 5 berikut. Interval angka *random* tidak beraturan nilainya, ini disebabkan bahwa hasil dari simulasi *site* tidak berbanding naik dengan kebutuhan pelanggan.

Tabel 5. Interval Angka *Random* Hasil Simulasi

Permintaan (Jumlah Site)	kemungkinan	kemungkinan kumulatif	interval angka <i>random</i>
23	0,3139	0,3139	0 – 3139
24	0,2169	0,5308	3140 – 5308
22	0,0811	0,6119	5309 – 6119
13	0,2156	0,8275	6120 – 8275
15	0,0645	0,8920	8276 – 8920
11	0,1079	1,0000	8921 - 10000

Berikut merupakan simulasi dari asumsi 6 kecamatan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Simulasi Percobaan

Kecamatan	Angka <i>Random</i> (Jumlah Pelanggan)	Simulasi (Permintaan Site)
1	1,1005	23
2	0,6087	22
3	4,8143	13
4	0,5687	22
5	2,0853	22
6	4,9733	11
	Total	113

Dari pemilihan 6 angka *random* menurun, hasil simulasi dari rangkaian percobaan tersebut didapatkan 113 *site* dari 6 kecamatan. Jadi dalam 6 wilayah yang diharapkan membutuhkan 113 *site eNodeB* agar wilayah tersebut dapat dibangun jaringan LTE. Pada hasil simulasi sebanyak 108 *site* sebagai acuan bahwa pada optimasi hasilnya tidak terlalu jauh dari angka simulasi yang telah dilakukan karena pada optimasi dilakukan perkiraan sesuai nilai yang ada dilapangan.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Perencanaan *site* jaringan LTE ditentukan berdasarkan luas wilayah dan koordinat masing – masing kecamatan. Berdasarkan BTS *existing* didapatkan 108 *site* untuk perencanaan 5 tahun kedepan dari 2017 – 2022 dengan 52 *site* merupakan *existing* dan 56 *site* merupakan *eNodeB* baru. Penentuan *site* terbesar terletak dikecamatan Summersari sebesar 24 *site* dengan luas wilayah 37.05 km<sup>2</sup> yang terletak diantara koordinat X

113,72065441E dan Y 8,199720111S pada *site24*.

2. Penentuan jumlah *site* simulasi Monte Carlo menghasilkan luas total cakupan *signal level* bervariasi. Daerah dengan level sangat baik terletak pada kecamatan Kaliwates dengan level -70 dBm dan luas total 4.16 km<sup>2</sup> serta *user* yang terhubung sebesar 97.3%. Namun daerah tersebut sebagian besar wilayahnya sudah terdapat *eNodeB existing* dan berada dalam tahap perkembangan. Untuk daerah yang dapat dibangun jaringan baru yaitu terletak di kecamatan Kalisat dengan luas cakupan *signal level* -70 dBm sebesar 1.765 km<sup>2</sup> dengan jumlah *user* yang terhubung sebesar 1802 *user* atau 99.6% serta *demand throughput downlink* 169.21 Mbps dan *uplink* sebesar 87.14 Mbps.

#### SARAN

Dilakukan penelitian pada penetrasi LTE terhadap interferensi dan noise dan Perencanaan simulasi Monte Carlo menggunakan data yang lebih lengkap agar hasilnya optimal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menkominfo. (2016). *Pengguna Internet Indonesia Nomor Enam Dunia*. Diambil

kembali dari KEMENTERIAN KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA REPUBLIK INDONESIA:

<https://www.kominfo.go.id/content/detail/4286/pengguna-internet-indonesia-nomor-enam-dunia/0/sorotan-media>

- [2] Hamdana, E. N. (2012). *Optimasi Perencanaan Jaringan UMTS pada Node B Menggunakan Probabilitas Monte Carlo*.
- [3] Hermawan, V. L. (2016). *perencanaan jaringan LTE 1800Mhz di wilayah magelang menggunakan BTS existing operator xyz. prosiding SNST*.
- [4] Rahman, F. (2017). *perencanaan jaringan Long Term Evolution (LTE) berdasarkan Node B 3G existing di kota Pekanbaru*.
- [5] Cahyo, W. N. (2008). *PENDEKATAN SIMULASI MONTE CARLO UNTUK PEMILIHAN ALTERNATIF DENGAN DECISION TREE PADA NILAI OUTCOME YANG PROBABILISTIK*
- [6] Report, A. (2016). *Digital Accelerating. Indonesia*.
- [7] TELKOM. (2015). *Laporan Tahunan Telkom*.
- [8] Statistik, B. P. (2014). *Jember Dalam Angka*.
- [9] Forsk. (2011). *ATOLL LTE FEATURE*.
- [10] Usman, U. K. (2012). *Fundamental Teknologi Seluler LTE*. Bandung: Rekayasa sains.

AUMT-2017-019

## NANOTEKNOLOGI PADA INDUSTRI MINYAK DAN GAS: APLIKASI NANOMATERIAL LOGAM OKSIDA

Riska Laksmi Sari<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*riskalaksmi@gmail.com

### ABSTRAK

Meningkatnya permintaan akan energi yang berasal dari bahan bakar fosil serta penurunan produksi akan sumber energi tersebut, menjadi faktor utama dilakukan upaya peningkatan produksi hidrokarbon. Berbagai jenis proses peningkatan produksi telah dilakukan salah satunya dengan menggunakan nanoteknologi. Penggunaan nanoteknologi pada industri minyak dan gas mengalami perkembangan yang signifikan. Sifat fisis dan kimiawi nanomaterial yang unik memungkinkan pengaplikasian di segala aspek industri minyak dan gas. Pada tulisan ini disajikan studi komperhensif terkait aplikasi nanomaterial logam oksida sebagai *Filler/additif* pada proses pengeboran dan perekahan hidrolik, Kontrol mobilitas selama produksi, *Wettability agent*, *Enhanced Oil Recovery (EOR)*, *Reservoir Imaging*, Katalis, Deteksi metana dan pemulihan pencemaran oleh minyak. Studi komperhensif terkait penelitian nanomaterial pada industri migas perlu dilakukan untuk mencapai penelitian yang lebih baik kedepannya.

Kata Kunci: nanomaterial, *wettability agent*, *enhanced oil recovery (EOR)*, *reservoir imaging*, *filler*.

### PENDAHULUAN

Perkembangan nanoteknologi pada saat ini begitu pesat. Nanoteknologi merupakan teknologi yang berkaitan dengan desain, karakterisasi, produksi dan aplikasi material serta perangkat pada skala nano (1). Aplikasi nanoteknologi telah diterapkan pada segala bidang, diantaranya pada elektronika, dunia penerbangan, kedokteran, farmasi, material dan energi (2-4). Nanomaterial memiliki karakteristik fisikadan kimia yang unik dikarenakan ukuran partikelnya yang kecil dan area permukaan yang lebih besar. Ketika ukuran partikel diperkecil sampai mendekati atau kurang dari panjang gelombang konduksi elektron, beberapa karakteristik seperti kemagnetan, perilaku optik, ketahanan panas, kimiawi dan aktivitas katalis, titik luluh dan tekanan internal akan berubah. Hal ini dikarenakan rasio permukaan/volume membesar secara eksponensial dan jumlah atom di permukaan menjadi lebih signifikan dengan mempertimbangkan jumlah atom pada *bulk* (4). Prinsip nanoteknologi yaitu mengontrol karakteristik dari suatu materi melalui modifikasi dalam tingkat atom dan molekul. Hal ini menawarkan proses industrial yang lebih efisien.

Pada dekade terakhir, pengembangan nanoteknologi begitu pesat dalam indutri minyak dan gas. Berbagai macam variasi nanomaterial disintesa dan digunakan dalam rangka meningkatkan peningkatan produksi minyak dan gas. Beberapa variasi nanomaterial yang telah

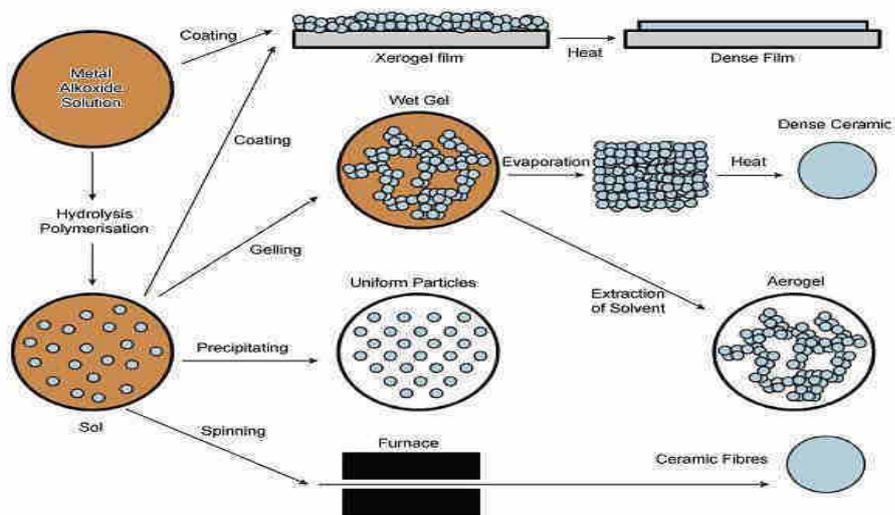
dikembangkan antara lain; nanopartikel logam, nanopartikel logam oksida, Carbon Nanotubes (CNT's) dan nanopartikel manetik (5). Nanoteknologi digunakan pada proses *downstream* ataupun *upstream*. Beberapa kegunaanya antara lain pada proses reservoir mapping. Proses pemboran dan kompleksi, sebagai *filler* atau *additif*, Proses produksi, *Enhanced Oil Recovery (EOR)*, Katalis dan Pemulihan lingkungan. Fabrikasi nanomaterial secara umum dibagi menjadi enam metode, yaitu ; *Chemical Vapour Deposition (CVD)*, *Plasma Arcing*, elektrodeposisi, sintesis sol gel, *ball milling* dan penggunaan nanopartikel alami (6). Pada artikel ini akan dibahas mengenai fabrikasi dan aplikasi dari nanomaterial logam oksida.

### FABRIKASI NANOPARTIKEL LOGAM OKSIDA

Nanopartikel logam oksida adalah salah satu jenis nanomaterial yang sering dimanfaatkan dalam segala aspek industri minyak dan gas. Hal ini dikarenakan karakteristik fisika dan kimianya yang unik seperti, Konduktivitas panas dan perpindahan panasnya (7). Perpindahan nanopartikel melalui media berpori yang memiliki ukuran mikro, tidak menyumbat pori dan mengurangi permeabilitas. Nanopartikel memiliki area permukaan yang besar. Karakteristik ini membatu terjadinya perpindahan massa diantara fase fase yang ada dan membantu merubah karakteristik fluida seperti yang diinginkan (8).

Nanopartikel logam oksida yang sering dimanfaatkan antara lain  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ , dan  $\text{TiO}_2$  (9). Secara umum, fabrikasi nanopartikel logam oksida berdasarkan transformasi fase dibagi menjadi dua kategori, yaitu *liquid-solid* dan *gas-solid* (9). Diantara kedua kategori proses, proses *liquid-solid* lebih sederhana dan kontrol morfologi seperti ukuran dan bentuk nanopartikel yang dihasilkan lebih mudah (5). Metode fabrikasi pada kategori proses liquid soild antara lain : ko-presipitasi (10), Pemrosesan Sol Gel (11), Mikroemulsi (12 ), Metode solvothermal (13), dan Hydrothermal (14). Pada proses *liquid-solid* dan *gas-solid*, *metal salts* dan *organometallics* dapat digunakan sebagai

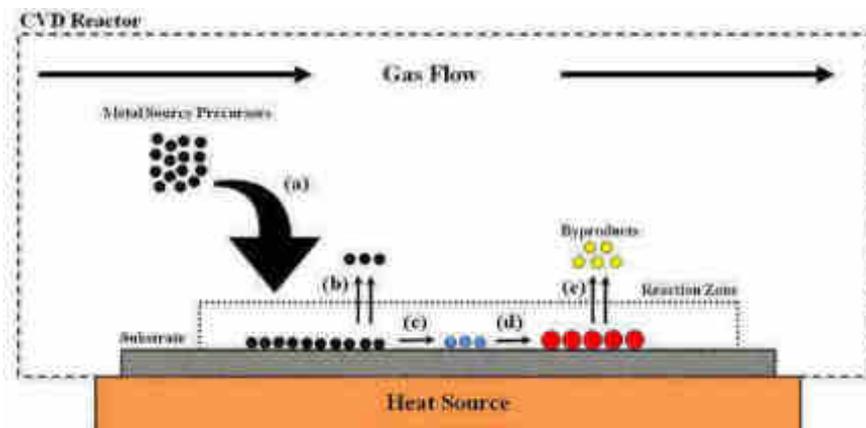
prekursor logam. Beberapa tipe surfaktan dan polimer sering digunakan untuk mengontrol pertumbuhan partikel dan agregasi (5). Diantara metode fabrikasi nanopartikel dalam kategori liquid-Solid diatas, proses sol Gel merupakan metode yang memiliki tingkat keberhasilan tinggi. Sintesa sol-gel dideskripsikan sebagai proses pembuatan jaringan terpadu melalui formasi suspensi koloid (Sol) menjadi fase gel. Reaksi kimia yang terjadi dalam proses ini antara lain hidrolisis, Poli-Kondensasi dan Gelation. Koloid disintesis dari ion logam atau elemen *metalloid* yang dikelilingi oleh berbagai *ligands* reaktif yang berbeda (15). Gambaran tahapan dari sintesa sol-gel dapat dilihat pada gambar 1,



Gambar 1. Tahapan Sintesis Sol-Gel (15)

Proses fabrikasi nanopartikel logam oksida yang kedua adalah melalui transformasi *gas-solid*. Tidak seperti *liquid-solid*, *gas-solid* hanya terbatas pada *Chemical Vapour Deposition* (CVD) dan *Pulsed Laser Deposition* (PLD) (5). Pada CVD, beberapa teknik dapat digunakan untuk

memproduksi partikel logam oksida yang sangat halus., antara lain ; pirolisis atau PLD (9). Secara prinsip, CVD mensintesa nanomaterial dari fase gas (5). Skema proses CVD dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Skema Proses CVD (a) Transpor dan adsorpsi prekursor logam pada substrate, (b) desorption prekursor logam, (c) reaksi dan difusi pada permukaan, (d) Pertumbuhan Partikel, (e) Pelepasan Produk volatile (9)

Pada proses CVD, prekursor yang digunakan antara lain *metal salts*, logam organik, hidrat dan karbonil dalam bentuk gas, cair atau padatan (9). Transformasi gas-solid juga dapat dilakukan dengan menggunakan *Pulsed Laser Deposition* (PLD). Pada proses ini, prekursor akan dipanaskan dengan menggunakan sinar laser didalam suatu kotak vakum. Pemanasan dengan sinar laser memicu terjadinya proses evaporasi, ionisasi dan dekomposisi sampel. Sebagai hasilnya, gas akan mendapatkan energi kinetik dan berkondensasi menuju substrat dan selanjutnya partikel kristal akan tumbuh (9).

### APLIKASI NANOPARTIKEL LOGAM OKSIDA PADA INDUSTRI MINYAK DAN GAS

Industri minyak dan gas membutuhkan berbagai disiplin ilmu yang berbeda dalam prakteknya, namun yang paling utama adalah bagaimana terjadinya integrasi yang baik untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Nanoteknologi dalam hal ini memainkan perang dalam segala aspek industri migas, diantaranya pada geologi eksplorasi, pemboran, i, produksi, dan remediasi lingkungan.

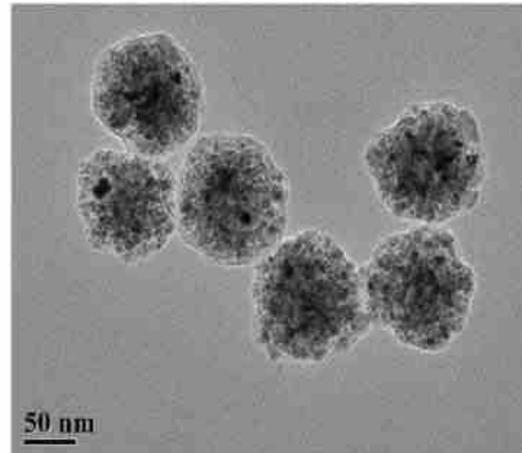
#### Eksplorasi

Proses eksplorasi pada industri migas merupakan aktivitas yang membutuhkan biaya tinggi dengan tingkat resiko yang tinggi pula. Tujuan dari proses eksplorasi adalah menemukan cadangan hidrokarbon pada permukaan bumi. Salah satu metode yang umum digunakan adalah survey seismik 3D dan 4D.

Aplikasi nanoteknologi pada proses eksplorasi hidrokarbon telah diteliti. Nanopartikel yang memiliki karakteristik unik secara optik, kimia dan kelistrikan, memungkinkan dijadikan sebagai Nano-sensor. Nano-sensor lebih mudah untuk berpindah melalui pori pada struktur geologi sehingga informasi karakteristik reservoir dan interaksi batuan-fluida lebih mudah didapatkan. Salah satu nanopartikel logam oksida yang banyak dikembangkan adalah nanopartikel berbasis elektromagnet untuk pemetaan dan karakterisasi reservoir. Nanopartikel magnetik memiliki kemampuan untuk memberikan resolusi pengukuran magnetik dengan cara merubah permeabilitas magnetik formasi batuan dan fluida reservoir pada frekuensi yang sangat rendah (17). Pada studi yang telah dilakukan sebelumnya, nanopartikel magnetik dapat memprediksi distribusi fluida yang tak bercampur melalui *interface* minyak-air.

Salah satu studi terkait nanomaterial logam oksida pada proses eksplorasi adalah meningkatkan proses penaksiran distribusi ukuran pori dan ketersambungan pori pada sistem porositas berlipat dengan menggunakan nanopartikel besi oksida dan pengukuran NMR (21). Pada studi ini,

Nanopartikel besi oksida superparamagnetik (SPION) diinjeksikan pada sampel batuan dengan sistem porositas berlipat (termasuk batuan rekah alami), diukur dengan menggunakan Nuclear Magnetic Resonance (NMR) kemudian Data NMR sebelum dan sesudah injeksi dibandingkan (Karakterisasi Distribusi ukuran pori dan keterhubungan pori).



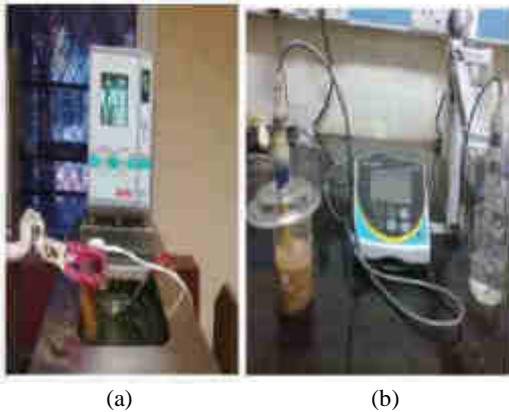
Gambar 3. Hasil TEM pada Sintesa SPION (21).

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa Distribusi Rekah alami, pori besar yang terisolasi tidak terhubung dan pori intra-granular kecil dapat secara akurat dapat dibedakan pada NMR dengan penambahan SPION. Pengukuran lebih akurat dibandingkan dengan tidak ditamahnya SPION.

#### Pemboran

Pemboran merupakan salah satu tahapan produksi suatu sumur yang sangat penting. Berbagai macam upaya dilakukan untuk membuat proses pemboran yang efisien. Karakteristik reservoir menentukan proses pemboran seperti pemilihan fluida pemboran. Tidak semua fluida sesuai dengan situasi pemboran. Fluida dengan berbagai jenis cairan dasar, unsur yang dominan dalam larutannya dan additif kimia dipilih yang paling sesuai dengan kondisi pemboran. Berbagai faktor yang mempengaruhi pemilihan fluida pemboran antara lain, masalah keamanan (kontrol sumur, gas hidrat), zona evaporasi, tekanan dan temperatur yang tinggi, pertimbangan lingkungan, zona *loss*, masalah shale dan kelurusan lintasan sumur (17). Untuk mengatasi berbagai permasalahan terkait kondisi pemboran, berbagai macam nanopartikel ditambahkan dalam fluida pemboran sebagai additif. Beberapa studi terkait penambahan nanopartikel pada fluida pemboran antara lain sebagai penambah densitas, *thinner* dan untuk lapisan yang *impermeable* sebagai pelindung pada rekahan mikro selama operasi pemboran berlangsung (18-20).

Salah satu studi terkait aplikasi nanomaterial logam oksida pada proses pemoran adalah efek nanofluid CuO dan ZnO pada *Polyethylene Glycol* dan *Polyvinylpyrrolidone* terhadap sifat panas, kelistrikan dan *filtration loss* fluida pemoran berbasis air (22). Nanofluid CuO dan ZnO dipersiapkan pada berbagai fluida dasar seperti *Polyethylene Glycol* and *Polyvinylpyrrolidone*. Langkah pengujianya yaitu, Nanofluid CuO dan ZnO dipersiapkan pada berbagai fluida dasar seperti *Polyethylene Glycol* dan *Polyvinylpyrrolidone*. Kemudian pengukuran sifat kelistrikan, panas dan *fluid-loss* dari *Nano-fluid-enhanced drilling mud* (NWBM) lalu Membandingkan hasil investigasi NWBM dengan *microfluid-enhanced drilling mud* (MWBM) CuO dan ZnO.



Gambar 4. (a) Pengukuran Konduktivitas Panas NWBM (b) Pengukuran Konduktivitas Listrik NWBM (22)

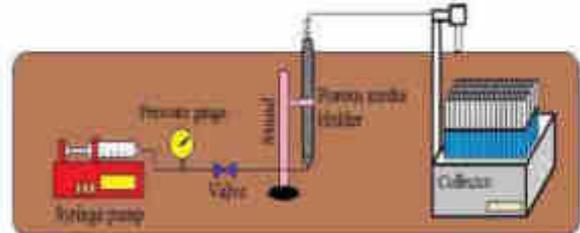
Kesimpulan yang didapat antara lain Penambahan nanofluid pada WBM, meningkatkan sifat thermal/panasnya, berkaitan dengan efisiensi pendinginan pada *downhole*, Tingkat *Fluid-Loss* berkurang, seiring penambahan nanofluid pada

WBM dan performa penggunaan nanofluid lebih baik dibanding *microfluid* terkait *fluid-loss*.

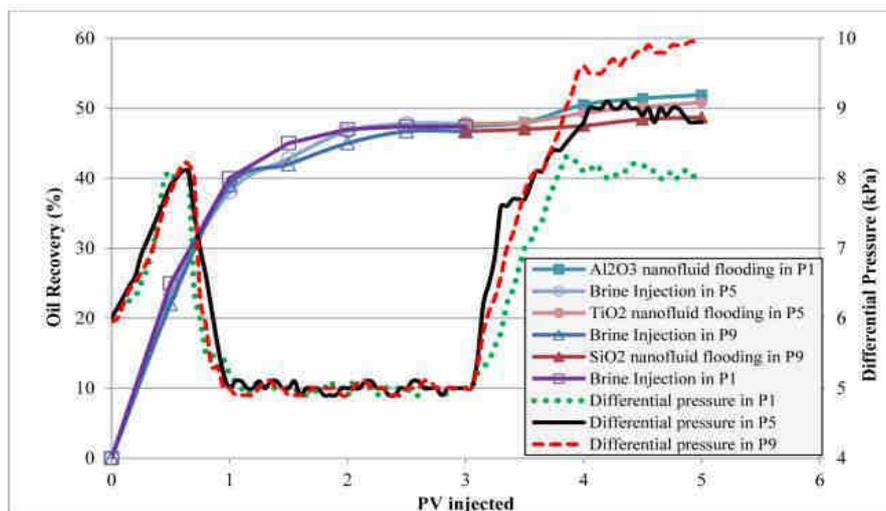
### Produksi

Salah satu tantangan terbesar pada produksi minyak dan gas saat ini adalah terkait sumber hidrokarbon nonkonvensional seperti minyak berat, shale gas, coal bed methane (CBM) dan bitumen. Karakteristik kimia dan kondisi geologi dari sumber-sumber tersebut membutuhkan penanganan khusus. Salah satu teknologi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah nanoteknologi yang berfokus pada kontrol formasi selama produksi berjalan, Perekahan Hidraulik dan Peningkatan produksi melalui *Enhanced Oil Recovery* (EOR).

Nanomaterial logam oksida memiliki karakteristik yang unik terkait kelistrikan, panas, optik dan kemagnetannya. Salah satunya sebagai katalis yang mereduksi viskositas pada aspal selama *thermal recovery* minyak berat (23). Studi lainnya terkait aplikasi nanopartikel adalah analisa perpindahan nanopartikel logam oksida melalui berbagai macam media berpori untuk *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Pada studi ini dilakukan uji dengan mendispersikan Nanopowder  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  pada air de-ionisasi yang kemudian diinjeksikan pada *Volume Pack* limestone dan pasir kuarsa, hasilnya dianalisa melalui spektrometri UV-VIS untuk mendapatkan kurva *breakthrough* dan dilanjutkan dengan tes perpindahan filtrasi.



Gambar 5. Skema Diagram Tes Perpindahan (23)



Gambar 6. Grafik Oil Recovery pada limestone (23)

Dari pengujian tersebut didapat kesimpulan antara lain, mobilitas tertinggi pada limestone adalah  $\text{SiO}_2$ , Nanopartikel dengan mobilitas tertinggi memiliki *Oil Recovery* tertinggi pula, ketika dibandingkan dengan mikropartikel, Nanopartikel logam oksida meningkatkan mobilitas lebih cepat pada proses EOR.

### Remediasi Lingkungan

Lingkungan adalah salah satu faktor terpenting yang menjadi fokus pada proses produksi minyak dan gas. Telah terjadi beberapa kejadian terkait pencemaran lingkungan akibat minyak yang tumpah atau merembes, diantaranya terjadi pada laut. Segala macam metode telah dilakukan untuk menanggulangnya. Kesulitan terbesar adalah memisahkan lumpur yang bercampur minyak pada wilayah perairan.

Perkembangan nanoteknologi menawarkan solusi terkait permasalahan tersebut. Hal ini menyangkut karakteristik kemagnetan yang dimiliki oleh nanomaterial.

Salah satu studi terkait remediasi lingkungan dengan menggunakan logam oksida adalah alur kerja efektif untuk pembersihan tumpahan minyak dengan menggunakan nanopartikel feromagnetik (25). Percobaan dilakukan dengan menuangkan minyak pada air di gelas beker, gelas beker tersebut diletakan pada tempat yang terkena cahaya matahari langsung selama sehari kemudian nanopartikel ditambahkan dengan berbagai variasi konsentrasi, observasi secara visual dilakukan untuk setiap konsentrasi kemudian nanopartikel dihilangkan dengan menggunakan magnet yang kuat. Hasil pengujian dapat dilihat di tabel 1.

Tabel 1. Hasil Observasi dari eksperimen (25)

	125 ppm	250 ppm	500 ppm	1000 ppm	1500 ppm	2000 ppm
<b>Refined Oil</b>	Beberapa minyak tertinggal	Beberapa minyak tertinggal	Minyak tidak ada yang tertinggal	Teragregasi dan mengendap	teragregasi dan mengendap	teragregasi dan mengendap
<b>Unrefined Crude Oil</b>	Beberapa minyak tertinggal	Beberapa minyak tertinggal	Beberapa minyak tertinggal	Minyak tidak ada yang tertinggal	Sedikit mengendap	teragregasi dan mengendap

### TANTANGAN DI MASA DEPAN

Beberapa studi komperhensif yang telah dilakukan, terdapat berbagai tantangan yang dihadapi terkait pengaplikasian nanomaterial logam oksida pada industri minyak dan gas. Salah satu tantangan terbesar terkait dengan kestabilan nanopartikel logam oksida pada media cair. Kestabilan nanopartikel logam oksida tergantung pada lingkungan media yang digunakan dan dikenai. Salah satu contohnya, lingkungan dengan karakteristik tertentu seperti *High Pressure High Temperature* (HPHT) tentunya membutuhkan penanganan yang berbeda dengan lingkungan dengan gas hidrat tinggi, Salah satu studi terkait kestabilan logam oksida adalah stabilisasi suspensi koloid nanopartikel logam oksida dengan menggunakan dispersan polimer (26). Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa penambahan gugus polimer meningkatkan efisiensi dispersi.

Tantangan yang lainnya adalah terkait perpindahan nanopartikel logam oksida pada batuan reservoir. Proses *Enhanced Oil Recovery* (EOR) merupakan salah satu fokus studi terkait perpindahan nanopartikel. Studi terkait EOR contohnya adalah pemodelan perpindahan dan retensi nanopartikel besi oksida pada media berpori untuk stimulasi pemanasan menggunakan

elektromagnetik (27). Hasil yang didapatkan adalah tes adsorpsi langmuir dapat digunakan untuk meningkatkan keakuratan prediksi perpindahan dan retensi nanopartikel pada batuan reservoir terkait.

Selain hal diatas, metode sintesa yang efektif dan murah menjadi salah satu fokus peningkatan nanoteknologi pada industri minyak dan gas. Hal ini dikarenakan metode sintesa yang dilakukan selama ini masih kurang efisien dalam segi biaya.

### KESIMPULAN

- Berbagai studi terkait penggunaan nanopartikel pada area yang berbeda di dunia Industri Minyak dan gas. Pada review ini dikhususkan pada aplikasi nanomaterial logam oksida pada area eksplorasi, pemboran, produksi dan remediasi lingkungan pada industri minyak dan gas.
- Sebagian besar aplikasi nanomaterial logam oksida adalah pada peningkatan produksi minyak dan gas melalui *Enhanced Oil Recovery* (EOR).
- Tantangan terkait aplikasi nanomaterial logam oksida adalah kestabilan material pada media cair dan lingkungan disekitarnya, perpindahan nanomaterial logam oksida pada batuan

reservoir dan metode sintesa nanomaterial yang mudah dan tidak mahal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] I.Evdokimov, N. Eliseev, A. Losev, M. Novikov, Emerging Petroleum oriented nanotechnologies for reservoir engineering, SPE Russian Oil and Gas Technical conference, 2006
- [2] Shen W, Zhang X, Huang Q, Xu Q, Song W, Preparation of solid silver nanoparticles for inkjet printer flexible electronics with high conductivity. *Nanoscale* 2014.
- [3] Subbiah R, Veerapandian M. Yun KS. Nanoparticles: functionalization and multifunctional applications in biomedical sciences. *Curr Med Chem* 2010 : 17:4599-77.
- [4] Serrano E, Rus G, Garcia-Martinez J. Nanotechnology for sustainable energy. *Renew Sustain Energy Rev* 2009 : 13.
- [5] Khalil.Munawar, Jan. Badrul Mohammed, Wen Tong.Chong, Berawi, Mohammed. Advanced Nanomaterials in Oil and gas Industry : Designs, applications and Challenges. *Applied Energy* 287-310. 2017
- [6] M.Wilason, K. Kannangara, G. Smith, M.Simmons, B.Raguse. Nanotechnology, Chapman & Hall /CRC, Florida, 2002.
- [7] Swihart MT. Vapour-phase synthesis of nanoparticles. *Curr Opin Colloid Interface Sci* 2003 ;8:127-133.
- [8] Al-Farsi. Hajir, Pourashfary. Peyman, Application of Nanoparticles to improve the performance of Microwave assisted Gravity Drainage (MWAGD) as a Thermal Oil Recovery Method. In SPE 179764-MS : Presented in SPE EOR Conference ini Oman, 21-23 March 2016.
- [9] Fernandez-Garcia, M and Rodriguez, J.A. Metal Oxide Nanoparticles, Brookhaven National Laboratory, New York, 2007.
- [10] Kandpal ND, Sah N, Loshali R, Joshi R, Prasaf J., Co-precipitation method of synthesis and Characterization. *J.Sci Ind Res* 2014 : 73:87-90.
- [11] Niederberger M. Nonaqueous Sol-Gel Routes to metal oxide nanoparticles. *Acc Chem Res* 2007 : 40: 793-800.
- [12] Sancez-Dominguez M, Boutonnet M, Solans C. A Novel approach to Metal and Metal Oxide Nanoparticles Synthesis : The Oil –in-Water Microemulsion Reaction method. *J Nanopart Res* 2009;11:1823-9.
- [13] Soutanidis N, Zhou W, Kiely CJ, Wong mS. Solvothermal Synthesis of UltraSmall Tungsten Oxide Nanoparticles. *Langmuir* 2012 ; 28:17771-7.
- [14] Xiao A, Zhou S, Zuo C, Zhuan Y, Ding X. Hydrothermal Synthesis of Msoporous Metal Oxide Arrays with enhanced properties for electrochemical energy storage. *Mater Res Bull* 2015 : 61:54-57.
- [15] J.A Eastman, S.U.S Choi, S.Li, L.J. Thompson, S.Less, Enhanced Thermal Conductivity through the development of NanoFluis, *mat. Res. Soc.* (1996) 457.
- [16] Rahmani AR, Athey AE, Ahmadian M, Wilt M, Chen J, Bryant SL, et al. Crosswell Magnetic Sensing of Superparamagnetic nanoparticles for subsurface application. In: SPE 166140 Presented at SPE annual technical. September 30. Louisiana.
- [17] Bleler, Roger. Selecting a Drilling, SPE, M-I Drilling Fluids Co.
- [18] Yao R, Guancheng J, Wei L, Tianqing D, Hongxia Z. Effect of water-based drilling fluid components on filter cake structure. *Powder Technologies* 2014;262:51–61.
- [19] Amanullah M, Al-Arfaj MK, Al-Abdullatif Z. Preliminary test result of nanobased drilling fluids for oil and gas field application. In: SPE/IADC 139534 presented at the SPE/IADC drilling conference and exhibition, Amsterdam, March 1–3, The Netherlands.
- [20] Cheraghian G, Hemmati M, Masihi M, Bazgir S. An experimental investigation of the enhanced oil recovery and improved performance of drilling fluids using titanium dioxide and fumed silica nanoparticles. *J Nanostruct Chem* 2013;3(78):1–9
- [21] Cheng K, Chi L. Improved Assesment of Pore-Size Distribution and Pore Connectivity in Multiple-Porosity Systems using Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles and NMR Measurements. SPE 170792, Presented in SPE Exhibition in Amsterdam, 27-29 October 2014.
- [22] Ponmani S, Nagarajan R. Effect of Nanofluids of CuO and ZnO in Polyethyelene Glycol and Polyvinylpyrrolidone on the thermal, Electrical, and Filtration-loss Properties Water-Based Drilling Fluids. *SPE Journal* 178919. April 2016
- [23] Greff JH, Babadagli T. Catalytic Effects of Nano-size metals Ions in Breaking Asphaltene Molecules during Thermal Recovery of Heavy Oil. SPE 146604, Presented in SPE Exhibitions, Colorado. 30 October 2011.
- [24] Bayat AE, Junin R. Transportation of Metal Oxide Nanoparticles Through Various Porous Media for Enhanced Oil Recovery. SPE 176365 MS, presented in SPE Exhibition Bali, 20 October 2015.
- [25] Kakde R, Bagga S. Effective Workflow to Clean Up Oil Spill Using Ferromagnetic Nano-Particles. SPE 183185-MS, Presented at Abu Dhabi International Petroleum Exhibition, 7 Nopember 2016.
- [26] Stamatia G, Rokidi, dkk. Iron Oxide Colloidal Suspension Stabilization by Polymeric

- Dispersants. NACE-2016-7530, Presented in CORROSION 2016, 6 Maret, Vancouver.
- [27] R K Santoso, S Rachmat, dkk. Transport and Retention Modelling of Iron Oxide Nanoparticles in Core Scale Porous Media for Electromagnetic Heating Well-Stimulation Optimization. Presented in 2nd Materials Research of Indonesia Meeting. 2016.

**TINJAUAN KONSEP DAN APLIKASI VORTEX INDUCED VIBRATION AQUATIC CLEAN ENERGY (VIVACE)**Muammar Kadhafi<sup>1\*</sup>, Agus Triono<sup>1</sup><sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

Email: \*muammar.kadhafi@unej.ac.id

**ABSTRAK**

Di Indonesia, potensi energi terbarukan khususnya energi yang berasal dari arus dan gelombang laut belum dimanfaatkan secara optimal, maka perlu dilakukan upaya-upaya berupa penelitian dan pengembangan teknologi guna pemanfaatan energi tersebut. Pemanfaatan tersebut dapat dilakukan dengan konsep *Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy* (VIVACE), dengan menangkap gerakan translasi silinder lingkaran yang dikenai aliran arus dan gelombang menjadi gerakan rotasi untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik. Makalah ini memuat tinjauan konsep dan aplikasi *Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy* (VIVACE). Metode yang digunakan, konstruksi alat, model matematis serta aplikasinya dibahas secara detail dalam makalah ini. Sehingga dengan mengetahui konsep dan aplikasinya, maka dapat dilakukan penelitian lebih lanjut sampai pada tahap pembuatan *prototype* alat.

Kata Kunci: VIVACE, energi terbarukan, arus, gelombang

**PENDAHULUAN**

Di Indonesia, potensi energi terbarukan khususnya energi yang berasal dari arus dan gelombang laut belum dimanfaatkan secara optimal. Energi laut berupa gelombang, arus, pasang surut, termal dan gradien salinitas dapat memberikan persediaan energi terbarukan yang bersih dan melimpah [1]. Beberapa penelitian telah membuktikan kelimpahan energi laut tersebut secara umum [2] dan lebih khusus energi dari arus laut [1]. *Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy* (VIVACE) merupakan konsep pembangkit listrik tenaga arus laut dengan menangkap gerakan translasi silinder lingkaran yang dikenai aliran arus menjadi gerakan rotasi untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik. Gerakan silinder disebabkan oleh pelepasan vortex (vortex shedding) dari aliran fluida yang melewati permukaan silinder. Salah satunya yang dikembangkan oleh Bernitsas dan Raghavan di Universitas Michigan Amerika Serikat serta telah dipatenkan [3-6].

*Vortex Induced Vibration* (VIV) pada dasarnya merupakan fenomena yang memberi dampak negatif berupa kerusakan pada struktur bangunan baik di darat, udara maupun struktur bangunan dilaut. Sejak Leonardo da Vinci pertama kali mengamati VIV, sekitar tahun 1500 an, dalam bentuk "Aeolian Tones", para insinyur lalu mencoba untuk mengarahkan aliran vortex dan

menekan VIV untuk mencegah kerusakan peralatan dan struktur. Selanjutnya, Von Karman di Cal Tech membuktikan bahwa runtuhnya jembatan Tacoma Narrows pada tahun 1940 disebabkan oleh VIV [7].

Konsep VIVACE converter berangkat dari ide sederhana dimana gerakan akibat vortex dibiarkan semaksimal mungkin. VIVACE bersifat skalabel dan dapat mengekstrak energi dari arus dari kecepatan 0,5 knot sampai 5 knot ke atas [5]. Paper ini mencoba melakukan review teori dan aplikasi VIV untuk mendapatkan energi dari arus laut sehingga bisa menghasilkan listrik.

**KONVERSION ENERGI LAUT**

Persyaratan umum yang harus dipenuhi untuk perangkat konversi energi laut [8-9] adalah: (1) menghasilkan energy yang besar, (2) tidak mengganggu navigasi, (3) tidak mengganggu aktivitas daerah pantai, (4) ramah terhadap biota dan lingkungan laut, (5) biaya perawatan rendah, (6) ekonomis, (7) kuat, (8) mampu beroperasi 10-20 tahun. Mengkombinasikan semuanya menjadi tantangan tersendiri bagi para peneliti, dimana lebih dari 40 tahun para peneliti di Eropa dan Jepang telah melakukan upaya untuk menyelesaikan persoalan tersebut dan telah menghasilkan berbagai paten serta sebagiannya telah diujicobakan [1, 10-11].



Gambar 1. Sumber energi laut

Sumber energy dari laut terdiri dari lima: arus, gelombang, pasang surut, gradient termal dan gradient salinitas [12-19], ditunjukkan pada Gambar 1.

**LITERATUR REVIEW**

**a. Vortex Induced Vibrations pada Silinder**

Vortex-Induced Vibration (VIV) adalah gerakan turbulensi pada *bluff body* yang menghasilkan gerakan periodic pada bluff body berupa gerakan osilasi seperti yang terlihat pada Gambar 2. VIV pada struktur dapat menyebabkan fenomena kelelahan struktur, sedangkan untuk pembangkitan energy vortex dibiarkan semaksimal mungkin. Fenomena Vortex Induced Vibrations sudah dikenal secara umum, dan telah dilakukan eksperimen dan simulasi [21-26]. Pada VIVACE gerakan silinder tegak lurus terhadap arah arus dengan pengkondisian agar bergerak pada satu derajat kebebasan saja berupa gerakan osilasi [23].



Gambar 2: Bentuk aliran vortex

**b. Angka Reynolds**

Salah satu parameter non-dimensional yang sangat penting adalah Nomor Reynolds (Re) [20]. Digunakan untuk memprediksi pola aliran dari aliran fluida yang berbeda-beda. Angka Reynolds menunjukkan rasio antara gaya inersia terhadap viskositas. Rumus Angka Reynolds adalah:

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} \tag{1}$$

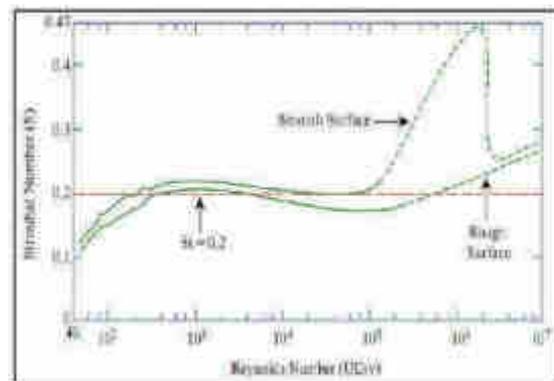
Dimana,  $\rho$  adalah massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ ),  $U$  adalah kecepatan aliran ( $\text{m/s}$ ),  $D$  adalah diameter silinder ( $\text{m}$ ) dan  $\mu$  adalah viskositas fluida ( $\text{Ns/m}^2$ ).

**c. Angka Strouhal**

Parameter non-dimensional lain yang penting untuk menganalisis aliran unsteady penyebab gerakan osilasi pada silinder adalah Strouhal Number, yang merupakan rasio antara gaya inersia akibat aliran unsteady dengan gaya inersia akibat perubahan kecepatan. Rumus Angka Strouhal adalah:

$$St = \frac{fD}{U} \tag{2}$$

Hubungan antara Angka Reynolds dan Angka Strouhal ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 : Hubungan St dan Re

**d. Fenomena Lock-in**

Jika kecepatan aliran yang mengenai silinder terus meningkat, maka terjadi pelepasan vortex yang semakin besar. Fenomena *lock-in* terjadi jika frekuensi pelepasan vortex mendekati dan menyamai frekuensi natural silinder [7].

Frekuensi natural silinder dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3).

$$f_n = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{k}{m_{app}}} \quad (3)$$

Dimana,

$$m_{app} = m_{pipe} + m_{dis} \quad (4)$$

Massa pipa diperoleh dengan menggunakan rumus (5)-(7).

$$m_{pipe} = \rho_{cyl} \times Volume \quad (5)$$

$$Volume = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \quad (6)$$

$$m_{dis} = \rho_{water} \times Volume \quad (7)$$

Dimana D diameter silinder, L panjang silinder,  $\rho_{water}$  massa jenis air laut dan  $\rho_{cyl}$  massa jenis pipa.

Dengan mencocokkan frekuensi alami silinder dengan frekuensi vortex pada kondisi lock-in, nilai kekakuan pegas (k) dihitung dengan :

$$k = [f_s \times 2\pi]^2 \times m_{app} \quad (8)$$

#### e. Lift Force Silinder

Berdasarkan penelitian sebelumnya, diperoleh nilai *lift coefficient* silinder dengan permukaan halus sebesar 0,6 [29]. Jika *lift coefficient* silinder dianggap konstan, maka untuk mendapatkan nilai lift force menggunakan persamaan (9).

$$F_L = 0,5\rho_{fluid}U^3DLC_L \quad (9)$$

Dimana D adalah diameter silinder (m),  $\rho_{fluid}$  adalah massa jenis air, U kecepatan aliran, L panjang silinder, dan  $C_L$  adalah *lift coefficient* yang diperoleh melalui percobaan.

#### f. Maximum Amplitude Silinder

Amplitude gerakan silinder dapat diperoleh dengan menggunakan pendekatan rumus (10).

$$y(t) = \frac{F_L \sin(\omega_n t + \frac{\pi}{2})}{k \sqrt{\left(1 - \left(\frac{f_n}{f_s}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f_s}{f_n}\right)^2}} \quad (10)$$

Dimana k adalah kekakuan pegas,  $f_n$  adalah frekuensi natural dan  $f_s$  frekuensi silinder sedangkan  $\zeta$  adalah damping yang nilai pendekatannya 0.06 [29].

#### g. Y-velocity Silinder

Nilai y-velocity silinder diperoleh dengan menurunkan persamaan amplitude silinder pada persamaan (11) dan (12).

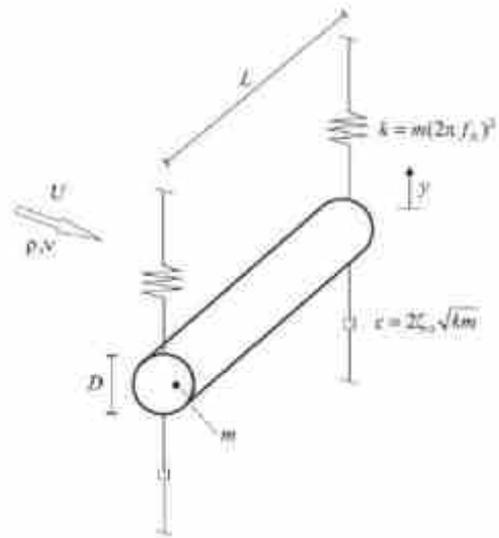
$$v(t) = \frac{d}{dt} y(t) \quad (11)$$

$$v(t) = \frac{d}{dt} \left( \frac{F_L \sin(\omega_n t + \frac{\pi}{2})}{k \sqrt{\left(1 - \left(\frac{f_n}{f_s}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f_s}{f_n}\right)^2}} \right) \quad (12)$$

Perhitungan kecepatan silinder penting untuk menentukan frekuensi gerakan kondisi lock-in silinder.

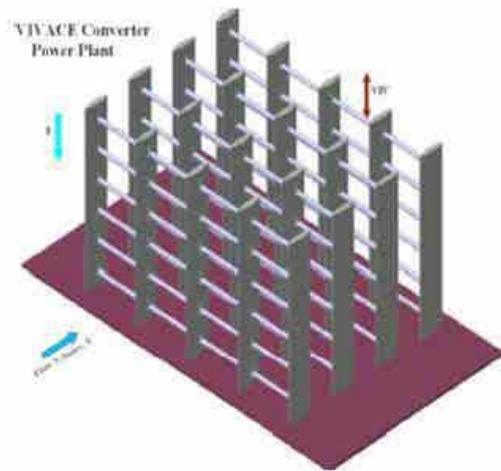
#### REVIEW DESAIN

Konsep dasar dari desain VIVACE terdiri dari silinder dengan posisi horisontal yang dijepit oleh pegas pada bagian atas dan peredam pada bagian bawahnya, seperti terlihat pada Gambar 4 [30]. Konsep desain ini dapat dimodifikasi dengan menempatkan pegas dan peredam pada posisi sejajar di bagian atas silinder.

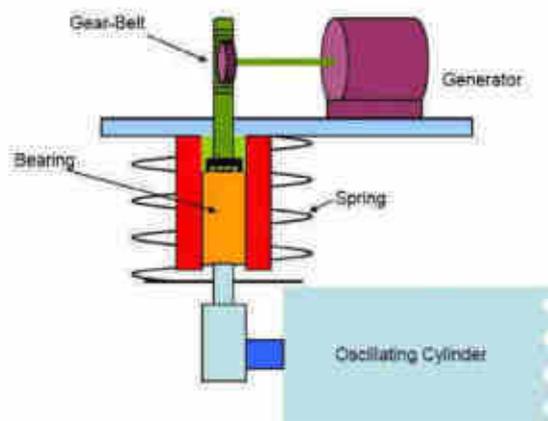


Gambar 4 : Konsep desain VIVACE

Untuk memperoleh energy output yang lebih besar maka dapat dibuat berupa module VIVACE yang terdiri dari banyak silinder, seperti pada Gambar 5 [7]. Sedangkan untuk detail module VIVACE lengkap dengan mekanisme konversi menjadi listrik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5 : Module VIVACE



Gambar 6: Detail Module

## KESIMPULAN

Dari pembahasan dalam makalah ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Potensi energi dari laut tersedia secara melimpah dan masih terbuka peluang untuk dimanfaatkan.
- Konsep VIVACE menjadi solusi untuk mendapatkan energi listrik dari tenaga arus laut dan sungai dengan cara sederhana dan tidak membutuhkan teknologi yang sulit.
- VIVACE dapat dikembangkan sesuai dengan karakteristik lokasi dimana akan diletakkan.
- Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan berupa simulasi dan pengujian skala laboratorium hingga membuat prototipe alat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Pontes, M. T., 2001, "Ocean Energies: Resources and Utilization," Proceedings of 18th WEC Congress, Buenos Aires, Oct.
- World Energy Council, 2001, Survey of Energy Resources, 19th ed., World Energy Council, London.

- Bernitsas, M. M., and Raghavan, K., 2004, "Converter of Current/Tide/Wave Energy," Provisional Patent Application, U.S. Patent and Trademark Office Serial No. 60/628,252.
- Bernitsas, M. M., and Raghavan, K., 2005 "Supplement to the U.S. Provisional Patent Application titled Converter of Current, Tide, or Wave Energy'," University of Michigan Ref. No. 2973.
- Bernitsas, M. M., and Raghavan, K., 2005, "Fluid Motion Energy Converter," U.S. Patent Application, U.S. Patent and Trademark Office Serial No. 11/272,504.
- [6] Bernitsas, M. M., and Raghavan, K., 2005, "Fluid Motion Energy Converter," International Provisional Patent Application, U.S. Patent and Trademark Office.
- Bernitsas, M. M., and Raghavan, K., 2008, VIVACE "Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy : A New Concept in Generation of Clean and Renewable Energy From Fluid Flow", Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 130.
- California Energy Commission, <http://www.energy.ca.gov/>
- Department of Energy, <http://www.energy.gov/>
- WaveNet, European Wave Energy Thematic Network 2003, [http://www.waveenergy.net/Library/WaveNet%20Full%20Report\(11.1\).pdf](http://www.waveenergy.net/Library/WaveNet%20Full%20Report(11.1).pdf)
- Thorpe, T. W.,1998, "An Overview of Wave Energy Technologies," Future Energy Solutions.
- <https://www.boem.gov/Ocean-Current-Energy/>
- <http://oceanenergydevelopment.blogspot.co.id/2011/03/teknologi-pengembangan-energi-kelautan.html>
- <http://buildipedia.com/aec-pros/public-infrastructure/pelamis-wave-energy-converter-renewable-energy-from-ocean-waves>
- <https://www.treehugger.com/renewable-energy/hawaii-flips-switch-ocean-thermal-energy-conversion-plant-harvesting-clean-energy-sea.html>
- <http://grist.org/article/2011-11-15-tidal-power-is-now-a-legit-source-of-renewable-energy/>
- <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/enermar-project>
- <http://www.marinebuzz.com/2007/10/25/wat-is-ocean-thermal-energy-conversion-otec/>
- <http://www.climatetechwiki.org/technology/jiqweb-ro>

- [20] X. Wang, B. Su and B. Su, Experimental study of vortex-induced vibrations of a tethered cylinder, *Journal of Fluids and Structures*, vol. 34, pp. 51-57, 2012.
- [21] Carberry, J., 2001, "Wake States of a Submerged Oscillating Cylinder and of a Cylinder Beneath a Free Surface," Ph.D thesis, Monash University, Australia.
- [22] Gopalkrishnan, R., 1993, "Vortex Induced Forces on Oscillating Bluff Cylinders," Ph.D. thesis, Department of Ocean Engineering, MIT, Cambridge.
- [23] Khalak, A., and Williamson, C. H. K., 1997, "Fluid Forces and Dynamics of a Hydroelastic Structure With Very Low Mass and Damping," *J. Fluids Struct.*, 11, pp. 973-982.
- [24] Khalak, A., and Williamson, C. H. K., 1999, "Motions, Forces and Mode Transitions in Vortex-Induced Vibrations at Low Mass-Damping," *J. Fluids Struct.*, 13, pp. 813-851.
- [25] Klamo, J. T., Leonard, A., and Roshko, A., 2005, "On the Maximum Amplitude for a Freely Vibrating Cylinder in Cross-Flow," *J. Fluids Struct.*, 21, pp. 429-434.
- [26] Sumer, B. M., and Fredsoe, J., 1997, *Hydrodynamics Around Cylindrical Structures*, World Scientific, Singapore.
- [27] Norberg, C. 1994, "An Experimental Investigation of the Flow Around a Circular Cylinder: Influence of Aspect Ratio," *J. Fluid Mech.*, 258, pp. 287-316.
- [28] Szepessy, S., and Bearman, P. W., 1992, "Aspect Ratio and End Plate Effects on Vortex Shedding from a Circular Cylinder," *J. Fluid Mech.*, 234, pp. 191-218.
- [29] A. Hall-Stinson, C. Lehrman, and E. Tripp, *Energy Generation from Vortex Induced Vibration*, Thesis (B.S.), Worcester Polytechnic Institute, United States, 2011.
- [30] Antonio Barrero-Gil., *Extracting energy from Vortex-Induced Vibrations: A parametric study*, Applied Mathematical Modelling, 2011.

AUMF-2017-004

## RANCANG BANGUN MESIN PENGHALUS GARAM UNTUK PEMBERDAYAAN GARAM RAKYAT DI KABUPATEN JENEPONTO

Muhammad Syahid<sup>1\*</sup>, Azwar Hayat<sup>1</sup>, Firman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Kampus Tamalanrea, Makassar

<sup>2</sup>Staf Pengajar Program Studi Sosial Ekonomi Perikanan, Universitas Hasanuddin, Kampus Tamalanrea, Makassar

Email: \*syahid.arsjad@unhas.ac.id

### ABSTRAK

Petani garam di Jeneponto menjual produksi dalam bentuk garam kasar sehingga harganya rendah bahkan tidak terserap oleh pasar. Permintaan garam industri cukup tinggi tetapi memiliki standar mutu yang tinggi yaitu kehalusan, kadar yodium dan kadar NaCl. Rancang bangun mesin ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas produksi garam rakyat khususnya proses penghalusan dan penambahan yodium. Mesin penghalus garam ini menggunakan sistem *disk mill* kapasitas 50 kg/jam. Material yang digunakan adalah stainless steel dengan penggerak motor bensin 5 Hp. Dengan adanya mesin ini diharapkan mampu meningkatkan nilai jual dan harga garam produksi petani.

Kata Kunci: penghalus garam, *disk mill*

### PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan garam nasional selama ini dilakukan melalui produksi sendiri dan impor. Potensi garam dari laut yang besar tidak memberikan kecukupan kebutuhan garam nasional. Dengan potensi dan daya dukung alam kelautan tersebut seharusnya Indonesia mampu memproduksi dan memenuhi kebutuhan garam sendiri. Pada tahun 2010 pemerintah mengimpor garam 2,2 juta ton impor yang berasal dari Australia 80%, India 15%, China 3%, dan sisanya dari berbagai negara lain [1]. Hal ini menunjukkan bahwa produksi garam dalam negeri tidak dapat memenuhi kebutuhan garam sehingga mengakibatkan Indonesia masih mengimpor garam.

Salah satu permasalahan pokok yang dihadapi petani garam adalah masalah pemasaran. Garam krosok hasil produksi mereka tidak terserap oleh pasar, atau diserap dengan harga yang sangat rendah. Masalah yang kemudian muncul adalah ketidakmampuan petani untuk menyimpan hasil produksi mereka dalam waktu yang lama karena membutuhkan tempat (gudang) yang besar. Hal ini akan bertambah runyam jika memasuki musim penghujan [3].

Oleh karena itu dibutuhkan pangsa pasar yang lebih besar yang mampu menyerap hasil produksi mereka. Salah satu cara untuk menambah pangsa pasar adalah dengan meningkatkan kualitas garam petani menjadi garam industri. Pada standar garam industri dibutuhkan kadar NaCl 95%, ukuran serbuk 1 mm dan kandungan yodium [3]. Diperlukan proses pengolahan tambahan untuk bisa memasuki pasar garam industri. Salah satu

teknologi yang dibutuhkan adalah mesin penghalus garam.

Mesin penepung berdasarkan prinsip kerjanya dapat dibedakan menjadi empat tipe yaitu: (1) *hammer mill*, (2) *disc mill*, (3) *roller mill*, dan (4) *cutter mill*

Type *disc mill* lebih banyak digunakan untuk proses penghalusan garam karena tidak membutuhkan gaya yang tinggi sehingga tidak membutuhkan daya yang tinggi dan hasil yang lebih homogen [4]. Komponen utama mesin penepung tipe *disc* yang digunakan terdiri dari: (hopper), (2) rumah penepungan, (3) kipas penghalus dan (4) lubang keluar tepung (output).

Oleh karena itu melalui program Ipteks bagi Masyarakat (IbM) kami membuat rancang bangun mesin penghalus garamn type *disc mill* untuk program pemerdayaan garam rakyat melalui bantuan mesin penghalus garam pada kelompok petani garam di kabupaten Jeneponto.

### METODE PELAKSANAAN

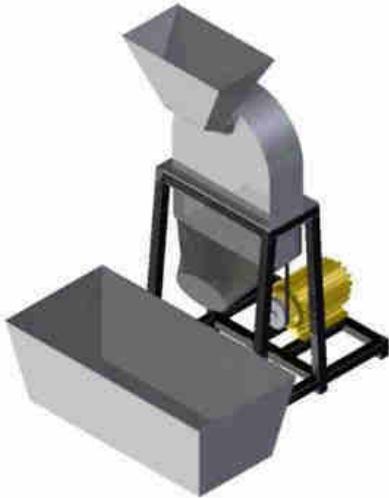
Metode pembuatan mesin penghalus garam kapasitas 50 kg/jam ini dimulai dengan membuat desain, melakukan pemotongan material dan pembelian komponen, proses perakitan, uji coba dan selanjutnya diserahkan kepada petani yang membutuhkan. Jenis mesin yang dipilih adalah DISC MILL. Material mesin diskmill adalah stainless steel, material rangka adalah baja siku.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Desain mesin penghalus garam

Mesin penghalus garam didesain sesuai dengan spesifikasi berikut ini yaitu :

Bahan : stainless steel 304 dan konstruksi baja  
 Diameter : 60 centimeter  
 Lebar : 15 cetimeter  
 Tinggi : 150 centimeter  
 Kapasitas : 50 kg/ jam  
 Sumber energy : Mesin bensin 5 hp



Gambar 1. Desain mesin penghalus garam

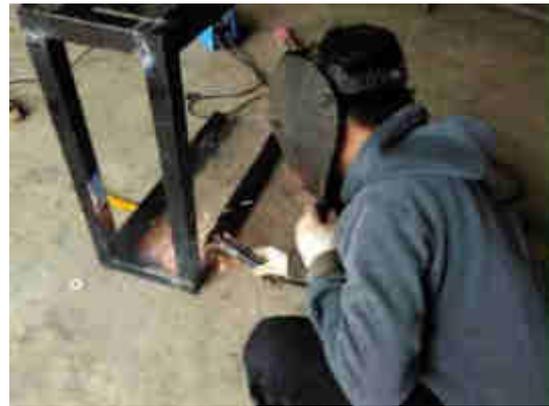
Komponen mesin penghalus garam terdiri dari rangka yang berfungsi menopang mesin bensin dan diskmill, mesin bensin kapasitas 5,5 Hp, *disc mill*, pulley dan sabuk sebagai transmisi. Mesin Penghalus garam yang dibuat menggunakan sumber energy dari motor kapasitas kapasitas 5 hp, sumber daya lain yang bisa digunakan sebenarnya adalah motor listrik. Namun berdasarkan hasil diskusi dengan kelompok tani (pengguna) mereka masih lebih banyak menyukai mesinbensin dibanding motor listrik karena tidak bergantung pada jaringan listrik. Hal lain yang menjadi pertimbangan adalah kemudahan dan tingkat keamanan pemakaian.

#### Perakitan mesin

Proses perakitan terdiri dari 2 tahapan yaitu:

- a. Tahap pembuatan rangka
- b. Tahap pebuatan *disc mill*

Rangka mesin penghalus garam dibuat dari besi baja. Fungsi dari rangka ini adalah menopang diskmill yang berputar. Putaran diskmill menimbulkan getaran, sehingga rangka yang dibuat harus mampu menahan getaran.



Gambar 2. Pemotongan dan pembuatan rangka

Mesin penghalus garam dibuat dengan menggunakan system *disc mill*. Keunggulan system diskmill adalah kecepatan produksi yang tinggi dan tingkat kehalusan yng baik dibandingkan dengan hammer mill. *disc mill* ini dibuat dengan bahan stainless steel agar tidak mudah berkarat apalagi material yang akan diolah adalah garam. Dimensi *disc mill* yang dibuat berdiameter 60 cm agar mampu mencapai kecepatan produksi 50 kg/jam. Plat stainless dipotong dengan menggunakan mesin potong dan gerinda potong. Bagian sisi *disc mill* di bending. Komponen diskmill yang berputar dirakit dengan pengelasan.



Gambar 3. Pemotongan material dan Perakitan diskmill

Sistem penggerak dari poros mesin bensin ditransmisi ke mesin diskmill menggunakan pulley dan sabuk dengan perbandingan 1: 1. Kecepatan diskmill dapat diatur berdasarkan bukaan *throttle* pada mesin bensin.

#### Proses Uji Coba Mesin

Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pengujian mesin penghalus garam untuk memastikan performa mesin terutama pada kualitas serbuk yang dihasilkan dan kapasitas hasil

tepung garam yang diproduksi. Pada proses pengujian pertama diperoleh masalah kadar air pada sample. Meskipun terlihat kering, sample yang masih memiliki kandungan air akan menggumpal dan basah saat di masukkan ke mesin tepung sehingga tertinggal pada *kipas penghalus*. Setelah sample dikeringkan sampai benar-benar kering, masalah ini bisa teratasi



Gambar 4. a. Mesin diskmill yang telah diuji coba b. Tepung garam yang dihasilkan

Masalah berikutnya yang dihadapi adalah kecilnya kapasitas produksi yang dihasilkan. Setelah dilakukan pemeriksaan ternyata jarak antara kipas potong dengan saringan terlalu jauh (10 mm) sehingga tidak mampu menekan tepung garam yang telah digerus oleh kipas potong sehingga tepung yang bias melewati saringan sangat lambat. Setelah jarak antara kipas penghalus dan saringan direduksi menjadi (5 mm) maka kapasitas produksi bias ditingkatkan menjadi 50 kg/jam dengan menggunakan saringan 60 mesh.



Gambar 5. Penyerahan bantuan mesin tepung pada kelompok tani di Jeneponto

Mesin tepung yang telah diuji coba kemudian diberikan kepada kelompok tani di kecamatan arung keke, kabupaten jeneponto.

### KESIMPULAN

Rancang bangun mesin penghalus garam ini dibuat untuk meningkatkan nilai tambah hasil produksi petani garam di Kecamatan Arung Keke Kab. Jeneponto

Mesin penghalus garam system DISC MILL dengan sumber energy motor bensin 5 HP dapat menghasilkan produksi 50 kg/jam dengan ukuran 60 mesh

### ACKNOWLEDGEMENT

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM-DIKTI atas pendanaan melalui hibah IbM DIKTI.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadiawati, Mardiana E. Fahry, dkk, *Evaluasi Program Pemberdayaan Usaha Garam Rakyat (Pugar) di kabupaten Jeneponto*, Jurusan Kelautan Perikanan Unhas
- [2] T Intan Bararoh, Bagiyo swasono, dkk, *Rancang bangun disc mill (Mesin Pelembut) Garam dalam konteks pemberdayaan rakyat*, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan UHT
- [3] Unhas Jadikan Jeneponto Sentra pengembangan garam, [www.upeks.co.id](http://www.upeks.co.id) diakses tanggal 25 Mei 2016
- [4] Pemkab Jeneponto Berdayakan Petani Garam, [www.upeks.co.id](http://www.upeks.co.id) diakses tanggal 25 Mei 2016

**SMART SUPPLY SYSTEM MENGGUNAKAN FISH BONE DIAGRAM (PEMILIHAN PEMASOK DI INDUSTRI BAJA)**Agus Ristono<sup>1\*</sup>, Pratikto<sup>1</sup>, Purnomo Budi Santoso<sup>2</sup>, Ishardita Pambudi Tama<sup>2</sup><sup>1</sup>Mechanical Engineering Department, University of Brawijaya<sup>2</sup>Industrial Engineering Department, University of Brawijaya

Email: \*agus.ristono@upnyk.ac.id

**ABSTRAK**

Pada prinsipnya, sistem manajemen yang cerdas merupakan upaya sistematis untuk membuat suatu sistem berjalan secara efektif dan efisien. Upaya tersebut melibatkan cara penyiapan yang terintegrasi. Dalam masalah industri, yang terpenting adalah kualitas. Faktor penyebab masalah kualitas harus dibedah dari dua aspek, yaitu supplier dan perusahaan. Setiap kondisi yang terjadi pada pemasok harus mempengaruhi perusahaan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, cara untuk melacak akar penyebab masalah dari pemasok ke perusahaan sangat dibutuhkan. Metode yang digunakan adalah smart supply system, yang dalam penelitian ini menggunakan diagram tulang ikan. Sambungan antara diagram tulang ikan dapat menyebabkan beberapa kriteria dalam pemilihan pemasok. Contoh kasus di industri baja digunakan sebagai penjelasan metode yang diusulkan.

Kata Kunci: kriteria, diagram *fish bone*, *smart management system*, kualitas, pemilihan pemasok.

**PENDAHULUAN**

*Smart management system* (SMS) didefinisikan dengan beberapa arti. Namun, banyak definisi tersebut memiliki satu makna, yakni sistem manajemen yang efektif dan efisien. Dalam implementasinya, SMS dapat dibagi menjadi dua, yakni SMS makro dan SMS mikro. SMS mikro menekankan pada sistem penyelesaian masalah yang bersifat lokal dan lingkungannya cukup kecil. Penerapannya biasanya menggunakan kecerdasan buatan dalam banyak bidang. Contoh implementasi SMS mikro, antara lain di bidang penghematan konsumsi energi (Ihsan-ullah et al., 2015) (Liu et al., 2016) dan penghematan air di perkotaan (Shahanas dan Sivakumar, 2016). Dalam penelitian-penelitian tersebut, menekankan bahwa efisiensi dan efektivitas dalam pengaturan energi dan sumber daya air adalah sangat penting untuk tercapainya *sustainability*.

Namun, SMS makro lebih luas cakupan, sehingga sudut pandangnya adalah sistem makro. *Sustainability* dalam SMS makro adalah keberlanjutan ekonomi makro dan mikro (perusahaan), dan bukan lagi lingkup satusumber daya saja. SMS makro harus melihat dari segala aspek. Tentunya aspek efisiensi dan efektivitasnya lebih bersifat general dan makro. Aspek efisien dalam cakupan ini adalah *lean management*. Maksud dari kata *lean* disini adalah mampu dan dapat meminimalkan atau bahkan

menghilangkan segala bentuk *waste* yang ada. Kata sampah disini adalah segala bentuk bahan, perlakuan, dan proses yang tidak menambah nilai bagi produk hasil. Oleh sebab itu, sebuah perusahaan yang menerapkan *lean management* akan berupaya menciptakan proses manufaktur yang bersih dari *reject*, *material handling* yang minim, *availability* mesin yang tinggi, tingkat *breakdown* yang rendah, dan lainnya.

Adapun makna efektif dari aspek SMS makro adalah bahwa pelaksanaan kegiatan manajerial adalah tepat sasaran. Dalam dunia industri, ada tujuh alat yang digunakan untuk mencapai *smart management system*. Ketujuh alat tersebut saling terkait dimulai dari yang pertama hingga terakhir. Meskipun demikian, penggunaan sebagian alat tersebut secara terpisah juga diperbolehkan. Hanya saja, kebanyakan praktisi di industri dalam memanfaatkannya belum optimal. Misalkan saja untuk dapat mengatasi sebuah masalah, maka perlu dicari akar masalahnya, sehingga digunakan diagram sebab akibat atau *fish bone diagram*. Namun, sebagaimana diketahui bahwa sebuah perusahaan adalah seperti manusia yang tidak bisa hidup sendiri. Dengan demikian, pencarian masalah tidaklah hanya fokus mencari sebab akibat yang ada di dalam perusahaan, namun juga harusnya yang ada di luar perusahaan. Karena konsep *smart management system* tidak akan tercapai jika tidak mengintegrasikan rantai pasok atau *supply chain* di sebuah perusahaan.

Secara logika dapat dijelaskan sebagai berikut. Sebesar dan sehebat apapun sebuah perusahaan, namun tidak mendapatkan bahan baku dengan baik atau bahkan pasokan bahan bakunya terhenti sama sekali, maka akan berakibat fatal. Demikian pula jika pasokan bahan bakunya sudah baik, tetapi sistem pemasaran atau distribusi produk jadinya tidak berjalan baik, maka ini pun juga akan dapat menghancurkan perusahaan tersebut.

Oleh sebab itu, penelitian ini mengusulkan sebuah cara sederhana yang mengintegrasikan sebab akibat dari dua sisi, yakni perusahaan dan pemasok. Dengan demikian, akan ada koneksi antara *fish bone* diagram yang ada di perusahaan dengan yang ada di pemasok. Penelitian ini menggunakan kasus di industri baja.

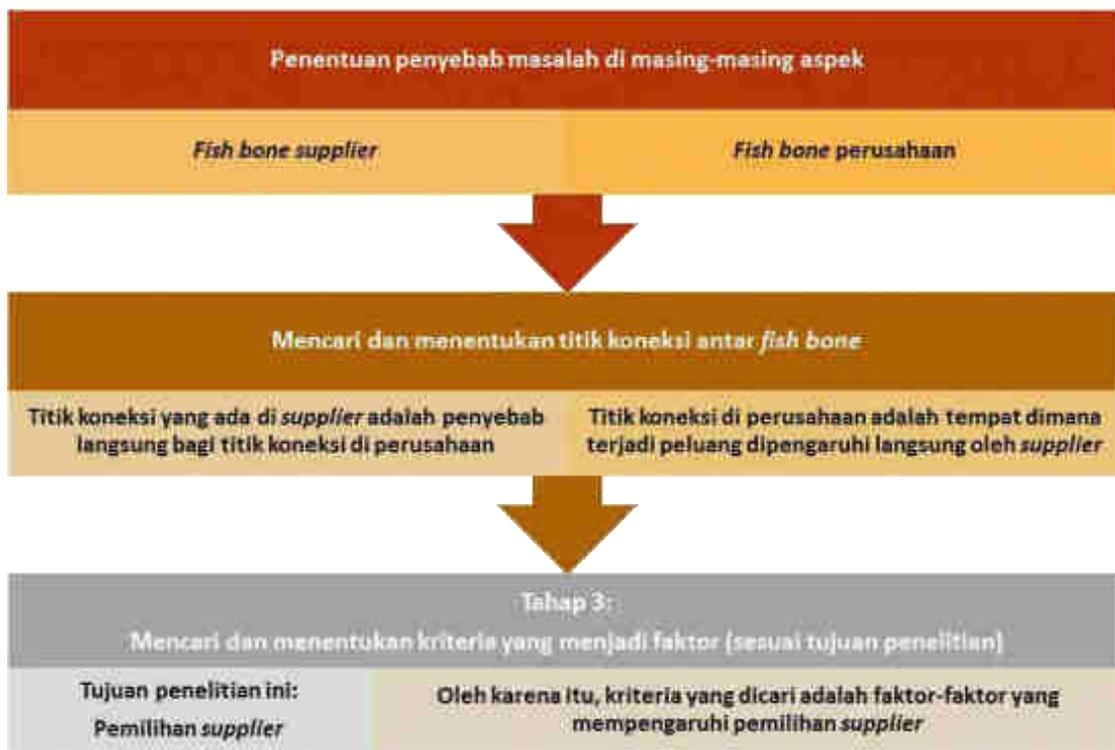
#### METODE

Diagram *fish bone* diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Kaoru Ishikawa pada tahun 1960 di Kobe Shipyards, Jepang. Meskipun ada kelemahan, namun sudah banyak penelitian yang menggunakan diagram ini. Kelemahan utamanya

adalah ketuntasan dalam pencarian sebab suatu masalah belum terjamin. Oleh karena itu, dalam tiga tahun terakhir sudah ada penelitian yang memperbaiki kelemahan tersebut. Van-loon *et al.* (2014) menggunakan *diagram completion task* untuk menyempurnakan proses pembuatan diagram *fish bone*. Penambahan diagram ini dianggap sangat efektif dan efisien dalam pembuatan diagram *fish bone*, sehingga diharapkan pencarian sebab suatu masalah bisa tuntas.

Penelitian dari Van-loon *et al.* (2014) ini masih kurang sempurna, Karen masih dimungkinkan akan terjadi konflik antar sebab dan ini justru membuat proses akan menjadi tidak efektif dan efisien lagi. Oleh sebab itu, Dobruskin (2016) mengusulkan cara identifikasi konflik ini dalam proses pembuatan diagram *fish bone*, sehingga dapat mengatasi kelemahan penelitian yang sebelumnya.

Sebetulnya ketuntasan dan konflik antar sebab dalam diagram *fish bone*, dapat diatasi dengan menggunakan integrasi antara *input* dan *out put*. Dimana masing-masing tersebut dicari sebab akibatnya, dan kemudian dikoneksikan. Dengan demikian, kelemahan kedua penelitian tersebut sebenarnya dapat diatasi dengan metode usulan.



Gambar 1. Tahapan penelitian

## 1. METODE PENGUMPULAN DATA

Survei dan observasi dilakukan di semua perusahaan pipa baja yang ada di Indonesia. Perusahaan tersebut adalah PT. Alim Ampuh Jaya Steel, PT. Sarana Sentral Baja Utama, PT. Swarna Baja Pacific, PT. Bumi Kaya Steel Industries, PT. Fumira, PT. Bumi Raya Steel Industries, PT. Sri Rejeki Perdana, PT. Jakarta Steel, PT. Bakrie Pipe Industries, PT. Raja Besi, dan PT. Industri Pipa Baja Indonesia (SPINDO). Ada beberapa perusahaan yang menghentikan produksi pipa baja, karena kondisi internal perusahaan dan peraturan pemerintah. Mereka adalah PT. Alim Ampuh Jaya Steel, PT. Sarana Sentral Baja Utama, PT. Swarna Baja Pacific, dan PT. Fumira, PT. Baja Jakarta disewa oleh perusahaan lain, kemudian memproduksi produk baja selain pipa baja. PT. Bumi Kaya Steel mengakuisisi PT. Bumi Raya Steel, sehingga menjadi satu perusahaan saja, dan masih memproduksi pipa baja. PT. SPINDO hanya memproduksi pipa baja seamless, sedangkan penelitian ini berfokus pada perusahaan yang memproduksi pipa las lurus. Oleh karena itu, hanya ada tiga perusahaan yang menjadi objek penelitian ini, yaitu PT. Bumi Kaya Steel, PT. Bakrie Pipe Industries, dan PT. Raja Besi.

## 2. METODE ANALISIS DATA

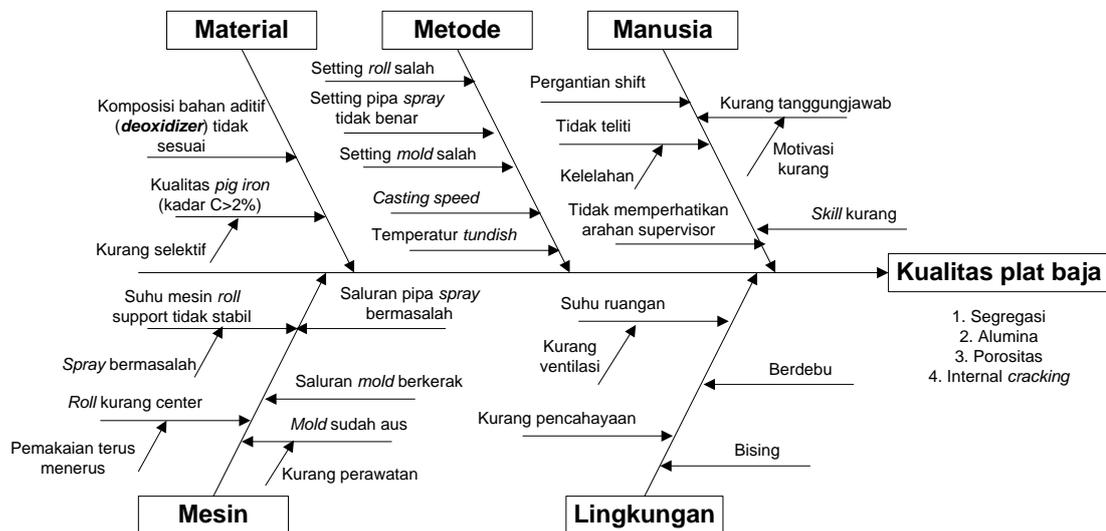
Analisis data dilakukan secara integral dengan mengkombinasikan antara perusahaan pemasok dengan perusahaan yang dipasok. Dengan demikian akan digunakan *fish bone* yang mengakomodasi dari kedua pihak tersebut. Konseksi yang dihasilkan dari keduanya adalah dasar kriteria sebagai acuan di tujuan dari penelitian ini. Karena tujuan yang menjadi studi kasus dalam penelitian ini adalah pemilihan pemasok, maka koneksi yang dilahirkan adalah kriteria yang menjadi dasar dalam pemilihan tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, digunakan kasus di industri baja. Fokus yang menjadi bahasan dalam kasus tersebut adalah kualitas pipa. Kualitas ini tentunya terkait dengan bahan baku materialnya. Sedangkan bahan baku ini dipasok dari *supplier*. Oleh sebab itu perlu digunakan *fish bone* dari aspek kualitas pipa yang diproduksi oleh perusahaan, dan *fish bone* dari aspek kualitas bahan baku plat yang diproduksi oleh *supplier*.

### 1. DARI ASPEK SUPPLIER

Kualitas dari plat dapat dilihat dari kecacatan yang ada dalam plat tersebut. Kecacatan tersebut antara lain segregasi, alumina, porositas, dan *internal cracking*. *Fish bone* dari aspek *supplier* ada di Gambar 2.

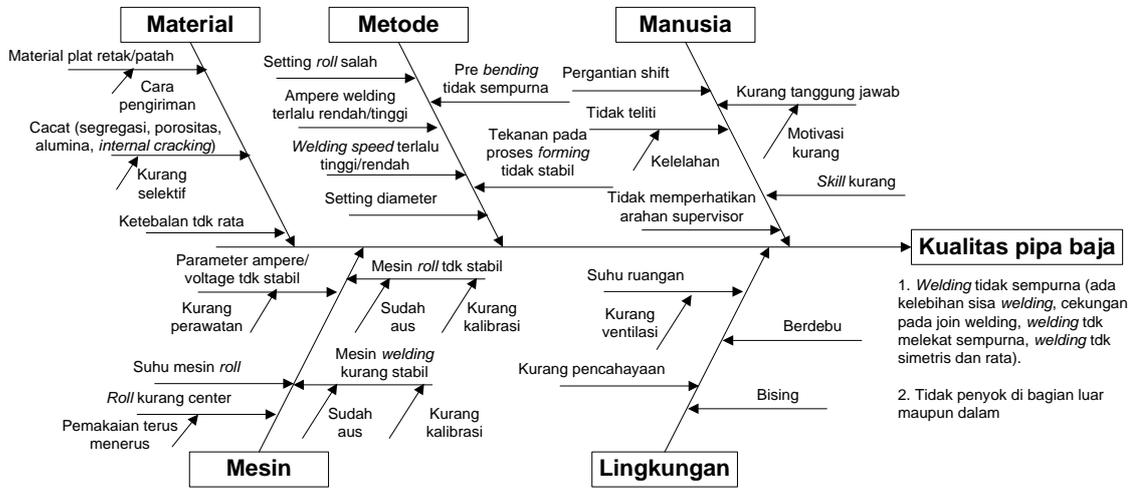


Gambar 2. Diagram *fish bone* produk *supplier*

**2. DARI ASPEK PERUSAHAAN**

Kualitas untuk pipa baja dapat ditentukan dari adanya *welding* yang tidak sempurna (ada kelebihan sisa *welding*, cekungan pada join *welding*, *welding* yang tidak melekat sempurna,

*welding* tidak simetris dan rata. Selain itu ada lagi kecacatan yang secara visual akan Nampak jelas, yakni penyok di bagian luar maupun bagian dalam. *Fish bone* dari aspek perusahaan ada di Gambar 3.

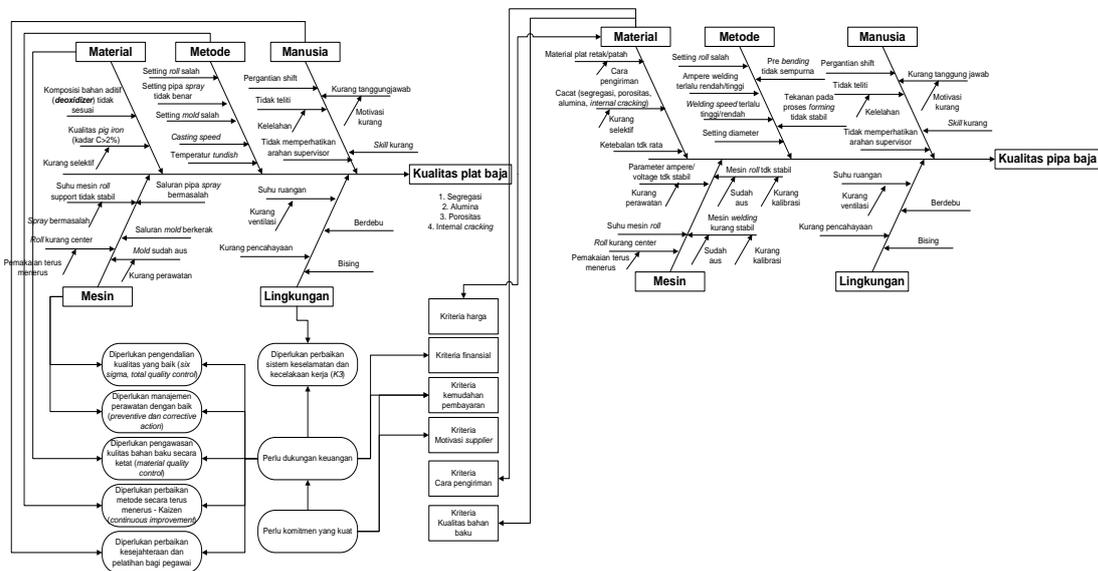


Gambar 3. Diagram fish bone produk perusahaan

**3. DARI ASPEK SUPPLIER-PERUSAHAAN**

Kualitas pipa baja sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan baku plat yang dipasok dari *supplier*.

Apabila digabungkan antara aspek *supplier* dengan pemasok, maka dapat diperoleh hasil seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Koneksi dua diagram fish bone

Berdasarkan pada Gambar 4, maka dapat dilihat bahwa dengan membuat koneksi antara fish bone kualitas bahan baku dari *supplier* dengan fish bone kualitas produk jadi yang ada di perusahaan, akan memberikan informasi kriteria apa saja yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan *supplier*. Kriteria tersebut antara lain harga, finansial, kemudahan pembayaran, motivasi, cara pengiriman, dan kualitas.

Kriteria yang dominan adalah finansial. Dominasi disini berarti bahwa kriteria tersebut memiliki alur penyebab yang paling banyak terhadap banyak faktor, dimana faktor-faktor tersebut merupakan penyebab tercapainya kualitas bahan baku *supplier* yang baik. Ini berarti bahwa perusahaan dalam memilih *supplier*, lebih memprioritaskan status modal dan aset yang dimiliki *supplier*. *Supplier* yang memiliki cukup uang, akan

dapat mengendalikan kualitas proses dengan baik, mampu merawat mesin secara optimal, dapat memberikan pengawasan yang ketat terhadap bahan materialnya, memberikan dana yang cukup buat riset guna mendukung perbaikan terus menerus, serta dapat memberikan kesejahteraan bagi pegawainya.

Dengan melakukan perawatan mesin secara optimal dan melakukan pengendalian kualitas proses dengan baik, maka mesin akan selalu dapat menghasilkan produk bahan baku plat baja dengan kualitas baik. Perbaikan metode secara terus menerus akan memberikan hasil kualitas plat dengan kualitas yang lebih baik. Pengawasan dalam pemilihan material bahan baku yang cermat akan dapat menghilangkan dampak terhadap kecacatan produk, sehingga kualitas terjaga. Demikian pula, jika kesejahteraan operator produksi terpenuhi maka semangat kerja meningkat dan kegiatan proses produksi tidak terganggu.

Namun demikian, faktor komitmen *supplier* juga sangat penting. Mengingat hanya dengan komitmen inilah, *supplier* akan memiliki tekad memberikan dukungan dananya guna tercapai kualitas hasil yang baik. Demikian juga, dengan komitmen inilah, *supplier* mempunyai motivasi untuk bekerjasama dengan perusahaan sekaligus akan memberikan kemudahan dalam pembayaran.

Adapun untuk kriteria kualitas, maka bobotnya akan sangat kecil, jika kriteria finansial terpenuhi. Karena dengan kecukupan modal, maka *supplier* akan mampu memperbaiki dari berbagai aspek, yakni mesin, metode, material, dan manusia sehingga menghasilkan produk yang berkualitas. Kriteria cara pengiriman memiliki bobot tersendiri. Hal ini dikarenakan kriteria tersebut lebih banyak dipengaruhi oleh karakteristik kondisi lalu lintas dan jenis armada yang digunakan. Selain itu, dipengaruhi pula oleh volume barang yang dipesan.

## KESIMPULAN

Penyelesaian masalah dalam pemilihan pemasok dapat lebih sempurna dalam hasil jika melibatkan pemasok dan perusahaan. Cara efektif dalam penentuan kriteria pemilihan pemasok adalah interkoneksi diagram *fish bone*. Model ini merupakan salah satu *smart supply system* yang sederhana namun berdaya guna.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Kemristek Dikti, Republik Indonesia yang telah membantu secara finansial melalui PDD.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Van-Loon, M. H., De Bruin, A. B. H., Van-Gog, T., Van-Merriënboer, J. J. G., and Dunlosky, J. (2014). Can students evaluate their understanding of cause-and-effect relations? The effects of diagram completion on monitoring accuracy. *Acta Psychologica*, 151: p. 143–154.
- [2] Dobruskin, C. (2016). On the identification of contradictions using Cause Effect Chain Analysis. *Procedia CIRP*, 39: p. 221 – 224.
- [3] Liu, Y., Qiu, B., Fan, X., Zhu, H., and Han, B. (2016). Review of Smart Home Energy Management Systems. *Energy Procedia*, 104: p. 504 – 508.
- [4] Ullah, I., Javaid, N., Khan, Z. A., Qasim, U., Khan, Z. A., Mehmood, S. A. (2015). An Incentive-based Optimal Energy Consumption Scheduling Algorithm for Residential Users. *Procedia Computer Science*, 52: p. 851 – 857.
- [5] Shahanas, M. and Sivakumar, B. (2016). Framework for a smart water management system in the context of smart city initiatives in India. *Procedia Computer Science*, 92: p. 142 – 147.

AUDS-2017-003

## ANALISIS PERUBAHAN PROPAGASI DAN *TILT* ANTENA FREKUENSI 1800 MHZ TERHADAP PERENCANAAN CAKUPAN AREA SISTEM *LONG TERM EVOLUTION* (LTE) MENGGUNAKAN *PHYSICAL CELL IDENTITY* (PCI)

Dahlia Fatmawati<sup>1\*</sup>, Dodi Setiabudi<sup>2</sup>, Catur Suko Sarwono<sup>2</sup><sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: \*dahliafatmawati12@gmail.com

### ABSTRAK

*Long Term Evolution* (LTE) merupakan teknologi seluler generasi ke-4 yang keseluruhannya berbasis *Internet Protocol* (IP). Pemerataan cakupan area teknologi LTE di berbagai daerah termasuk Surabaya bagian urban sering mengalami gangguan, salah satu gangguan yang terjadi yaitu pada bagian *backlobe* antena, sehingga mengakibatkan pola pancar jangkauan antena berkurang, kualitas sinyal dan kuat sinyal. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis perubahan propagasi dan tilt antena untuk mengetahui model propagasi yang mempunyai *radius cell* terjauh dan pada *tilt* antena untuk mengetahui seberapa jauh pengurangan jarak jangkauan antena selain itu dilakukan pula penerapan *Physical Cell Identity*. Hasil yang diperoleh yaitu model propagasi *Standard Propagation Model* menghasilkan *radius cell* yang lebih jauh daripada model propagasi Cost 231 Hatta baik secara perhitungan maupun secara simulasi, Dengan menambah *tilt* antena jarak jangkauan yang dihasilkan semakin kecil. Pada penerapan PCI hasil yang diperoleh yaitu sebelum menggunakan PCI nilai rata-rata  $C/(I+N)$  yang diperoleh sebesar 2.12 dB, setelah menggunakan PCI nilai rata-rata  $C/(I+N)$  yang diperoleh sebesar 9.09 dB. Pada BLER penggunaan PCI dapat meningkatkan area cakupan dari sebelum PCI sebesar 68.5 km<sup>2</sup> dan setelah PCI sebesar 133.7 km<sup>2</sup>. Pada *throughput* sebelum menggunakan PCI sebesar 7.705,18 kbps dan setelah menggunakan PCI sebesar 22.278,15 kbps.

Kata Kunci: atoll, BLER,  $C/(I+N)$ , cakupan area, LTE, model propagasi, PCI, *throughput*, tilt anten

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi dan informasi saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat terutama pada telekomunikasi nirkabel (*wireless*) untuk menunjang kebutuhan informasi dan media internet. Sehubungan dengan kondisi tersebut penyedia layanan komunikasi harus melakukan peningkatan terhadap kemampuan jaringan nirkabelnya. Salah satu jaringan yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut adalah jaringan *Long Term Evolution* (LTE). LTE merupakan teknologi seluler generasi ke-4 yang keseluruhannya berbasis *Internet Protocol* (IP) yang mendukung transfer paket data dengan *data rate* yang tinggi, mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*.

Aktivitas komunikasi di daerah yang belum tercakupi jaringan LTE sering terganggu, salah satu gangguan yang terjadi yaitu pada *backlobe* antena. *Backlobe* antena merupakan pancaran yang letaknya berlawanan dengan pancaran utama dari pola radiasi antena. Gangguan yang sering terjadi

pada bagian *backlobe* yaitu ukuran *backlobe* yang terlalu besar, sehingga mengakibatkan pola radiasi antena akan berekurang dan mempengaruhi pola pancar pada *mainlobe*. Selain itu adanya gangguan pada *backlobe* antena mengakibatkan kualitas sinyal (SINR) dan kuat sinyal (RSRP) berkurang. Oleh karena itu untuk memperbaiki dan meningkatkan pemerataan kualitas sinyal pada lingkup daerah yang belum tercakup oleh jaringan LTE diperlukan perencanaan cakupan jaringan LTE yang lebih baik dari sebelumnya sehingga diharapkan dapat melakukan kegiatan komunikasi dengan baik.

Pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan pengoptimalan jaringan LTE menggunakan perubahan model propagasi dan *tilt* antena serta fungsi tambahan *Physical Cell Identity* (PCI) yang akan dilakukan di wilayah Surabaya bagian morfologi urban. Tujuan dari perubahan model propagasi yaitu untuk mengetahui model propagasi yang menghasilkan *radius cell* terjauh baik secara perhitungan maupun simulasi. Sedangkan perubahan *tilt* antena

bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh pengurangan jarak jangkauan antena pada setiap penambahan *tilt* antena sebesar 1°. Dan untuk penggunaan *Physical Cell Identity* (PCI) untuk mengetahui hasil sebelum dan sesudah dilakukan *Physical Cell Identity* (PCI) agar antar *cell* tidak saling menginterferensi dengan pemberian identitas di setiap *cell*. Perencanaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh PCI terhadap *Carrier Interference Noise* atau  $C/(I+N)$ , *throughput* dan *Block Error Rate* (BLER).

### LANDASAN TEORI

Landasan teori pada penelitian ini mengacu pada beberapa literatur yang terkait dengan penelitian yang dilakukan. Teori yang diambil berupa teknologi LTE, *coverage planning*, model propagasi, *tilt* antena dan *Physical Cell Identity* (PCI).

#### Long Term Evolution (LTE)

*Long Term Evolution* (LTE) adalah sebuah nama yang diberikan pada sebuah *project* dari *Third Generation Partnership project* (3GPP) untuk memperbaiki standar *mobile phone* generasi ke-3 atau (3G) yaitu UMTS WCDMA. LTE memiliki kemampuan dalam memberikan kecepatan dalam hal transfer data mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*.

#### Coverage planning

*Coverage Planning*, digunakan untuk mengetahui jumlah *base station* atau eNode B yang dibutuhkan untuk mampu menangani trafik dan wilayah cakupan area yang ada. Perhitungan *coverage planning* menghitung area dimana sinyal dapat diterima oleh *user* atau *receiver*. Hal ini menunjukkan maksimum area yang dapat dicover oleh *Base Station*.

#### Model Propagasi

*Standard propagation model* merupakan model propagasi yang didasarkan dari model propagasi Okumura-Hatta yang mendukung frekuensi yang lebih tinggi dari 1500 MHz. Standard propagation model didasari oleh persamaan dibawah ini.

$$L_u = K_1 + K_2 \log d + K_3 \log H_{T_{\text{eff}}} + K_4 + K_5 (\log d (\log H_{T_{\text{eff}}}) + K_6 H_{R_{\text{eff}}} + K_{\text{clutter}}) \dots \dots \dots (1)$$

K merupakan konstanta yang digunakan pada standard propagation model dengan keterangan sebagai berikut:

- K<sub>1</sub> = Frekuensi Konstan (dB)
- K<sub>2</sub> = Jarak redaman konstan
- K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub> = Jarak antara transmitter dan receiver

K<sub>5</sub>, K<sub>6</sub> = koefisien koreksi dari tinggi mobile station

K<sub>clutter</sub> = koefisien koreksi dari redaman clutter

H<sub>T<sub>eff</sub></sub> = tinggi efektif dari transmitter pada base station

H<sub>R<sub>eff</sub></sub> = receiver pada mobile station

Perencanaan dengan frekuensi 1800 MHz untuk LTE menggunakan model propagasi Cost 231 Hatta yang bekerja pada frekuensi 1500-2000 MHz. Model Cost 231 Hatta digunakan untuk mengetahui radius sel pada wilayah urban.

$$PL = 46,3 + 33,9(\log f_c) - 13,82 \log h_T - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log h_T) \log - C_M \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

f = frequency transmisi

h<sub>R</sub> = tinggi antena receiver

d = jarak (km)

h<sub>T</sub> = tinggi antena transmitter

a = faktor koreksi tinggi antena

C<sub>M</sub> = urban = 3 dB

dense urban = 0 dB

#### Physical Cell Identity (PCI)

Untuk dapat mengakses jaringan diperlukan *Physical Cell Identity* (PCI) yang digunakan oleh UE untuk identifikasi *cell*, dengan sinkronisasi waktu dan frekuensi. Prinsip kerja dari PCI hampir sama dengan pengalokasian *scrambling code* (SC) yang digunakan untuk membedakan dan memberi identitas sel dalam sistem WCDMA. PCI memiliki 504 kode dengan pembagiannya terdapat 168 grup pada 3 identitas *cell*. Tiga identitas *cell* dalam 1 grup biasanya disebut *cell* sektor yang dikontrol dalam eNodeB yang sama.

#### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada wilayah Surabaya bagian urban, dimana bahan yang digunakan untuk simulasi adalah data yang diperoleh dari *provider*. Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan observasi berupa objek yang akan diteliti. Setelah menemukan objek yang akan diteliti lalu mengumpulkan data-data yang berhubungan dengan objek tersebut yaitu tentang jaringan *Long Term Evolution* (LTE). Kemudian menentukan daerah yang akan direncanakan cakupan area LTE. Penentuan daerah tersebut hasil dari observasi yang dilakukan oleh peneliti dengan mengumpulkan data berupa luas wilayah daerah yang akan diteliti. Pada penelitian ini akan dilakukan di wilayah Surabaya bagian urban.

Setelah itu akan dilakukan perencanaan cakupan area *Long Term Evolution* (LTE) dengan perhitungan *link budget*, data untuk perhitungan

link budget diperoleh dari *provider*. Model propagasi yang digunakan yaitu *Standard Propagation Model* dan *Cost 231 Hata* untuk mencari radius *cell*. Setelah melakukan perencanaan menggunakan perhitungan kemudian melakukan perancangan pada simulasi *software* Atoll, lalu melakukan simulasi model propagasi yang berbeda untuk mengetahui masing-masing radius *cell* dan simulasi *tilt* antena untuk mengetahui jarak jangkauan antena dengan penambahan nilai *tilt* antena. Setelah itu melakukan *neighbor planning* dan mengalokasikan *Physical Cell Identity* (PCI) pada tiap *cell*. Langkah terakhir yaitu pengambilan dan analisis data dari hasil perhitungan dan simulasi. Untuk *Flowchart* penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini dilakukan dengan perhitungan link budget dan model propagasi. Untuk spesifikasi perhitungan link budget dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Parameter *Link Budget* Arah *Uplink*

GENERAL	TANDA
Bandwidth (MHz)	10
Resource Block	50
eNode B	TANDA
Max Total Tx Power (dBm)	46
Sub-Carrier Power (dBm)	18.22
Cable Loss	2
Antenna Gain (dB)	18
EIRP Subcarrier	16.81
USER EQUIPMENT (UE)	TANDA
SINR	-7
UE Noise Figure (dB)	2
Thermal Noise (dB)	132.22
Receiver sensitivity (dBm)	130.22
UE Body Loss (dB)	0
UE cable Loss (dB)	0
Interference Margin (dB)	4
MSRS (dBm)	134.22
Penetration Loss (dB)	22
Shadow Fading Margin (dB)	0
Maximum Allowable Path Loss (dBm)	-160.39

Untuk arah *uplink power receiver* digambarkan sebagai *receiver sensitivity* (RS) dari arah *User Equipment* (UE) arah *uplink*, berdasarkan persamaan (2.1)

$$\begin{aligned}
 RSeNodeB &= SINR + TNeNodeB + NfeNodeB \\
 &= -7 + 132.22 + 2 \\
 &= 127.22 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan *RseNodeB*, sehingga diperoleh persamaan (2.2) *Minimum Signal Reception Strenght* (MSRS) *uplink* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MSRS &= RSeNodeB + Lcable + IM + GR \\
 &= 127.22 + 0 + 1 + 18 \\
 &= 146.2 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MAPLuplink &= EIRPsubcarrier - MSRS - PL - SF \\
 &= 16.81 - 146.2 - 22 - 9 \\
 &= -160.39 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Parameter *Link Budget* Arah *Downlink*

GENERAL	TANDA
Bandwidth (MHz)	10
Resource Block	50
eNode B	TANDA
Max Total Tx Power (dBm)	46
Sub-Carrier Power (dBm)	18.22
Cable Loss	2
Antenna Gain (dB)	18
EIRP Subcarrier	16.81
USER EQUIPMENT (UE)	TANDA
SINR	-7
UE Noise Figure (dB)	2
Thermal Noise (dB)	132.22
Receiver sensitivity (dBm)	130.22
UE Body Loss (dB)	0
UE cable Loss (dB)	0
Interference Margin (dB)	4
MSRS (dBm)	134.22
Penetration Loss (dB)	22
Shadow Fading Margin (dB)	0
Maximum Allowable Path Loss (dBm)	-160.39

Untuk arah *Downlink*, persamaan (2.4) *Equivalent Isotropic Radiated Power* (EIRP) *subcarrier* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{EIRP}_{\text{subcarrier}} &= P_{\text{subcarrier}} + \text{GT} - \text{L}_{\text{cable}} \\ &= 18.22 + 18 - 2 \\ &= 34.22 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk *Receiver Sensitivity* (SR) persamaan (2.5) arah *downlink* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{RS}_{\text{ue}} &= \text{TN} + \text{NF}_{\text{ue}} + \text{SINR} \\ &= 132.22 + 7 + (-9) \\ &= 130.22 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Sehingga akan didapatkan persamaan (2.6) *Minimum Signal Reception Strength* (MSRS) *downlink* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{MSRS} &= \text{RS}_{\text{ue}} + \text{LR}_{\text{body}} + \text{IM} \\ &= 130.22 + 0 + 4 \\ &= -134.22 \text{ dBm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MAPL}_{\text{downlink}} &= \text{EIRP}_{\text{subcarrier}} - \text{MSRS} - \text{PL} - \text{SF} \\ &= 34.22 - 134.22 - 22 - 9 \\ &= -131 \text{ dBm} \end{aligned}$$

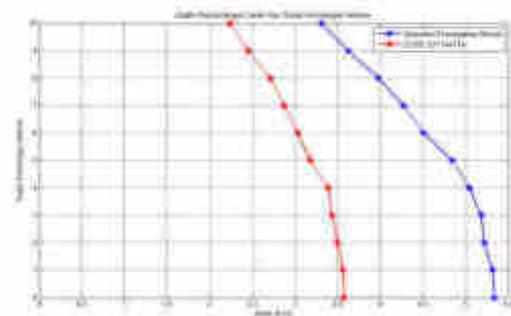
### Pengaruh Perubahan Propagasi Terhadap Radius Cell Antena

Tabel 4.3 Perbandingan Radius *cell* Antena *Standard Propagation Model* dan *Cost 231* Hatta

Model Propagasi	Perhitungan	Simulasi
Standard Propagation Model	5.432 Km	5.335 Km
Cost 231 Hatta	4.256 Km	3.578 Km

Berdasarkan tabel diatas model propagasi *Standard Propagation Model* menghasilkan radius *cell* yang lebih jauh dari pada model propagasi *Cost 231* Hatta baik secara perhitungan maupun simulasi. Secara perhitungan model propagasi *Standard Propagation Model* menghasilkan jarak sebesar 5.432 km, sedangkan secara simulasi menghasilkan jarak 5.335 km. Untuk model propagasi *Cost 231* Hatta menghasilkan jarak 4.256 km secara perhitungan, sedangkan secara simulasi menghasilkan jarak 3.578 km.

### Pengaruh Perubahan Tilt Antena Terhadap Jarak Jangkauan Antena

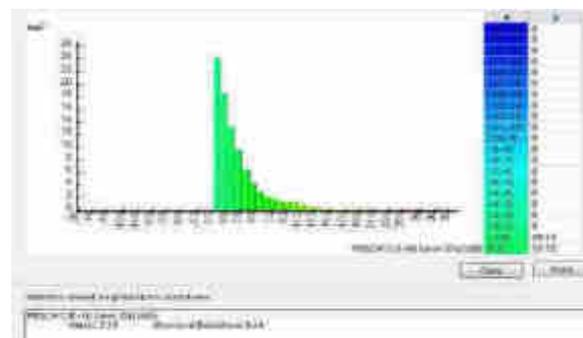


Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Jarak Jangkauan Antena Berdasarkan Perubahan *Tilt* Antena

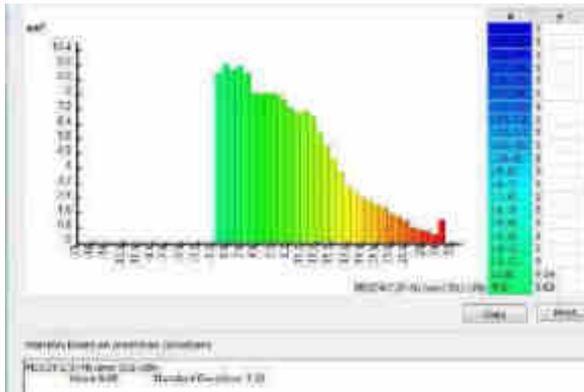
Gambar 4.1 merupakan grafik perbandingan jarak jangkauan antena berdasarkan perubahan *tilt* antena. Perubahan *tilt* antena yang digunakan adalah 0° sampai 10°. Pada model propagasi *Standard Propagation Model* dengan *tilt* antena 0° jarak jangkauannya sebesar 5.335 km dan dengan *tilt* antena 10° jarak jangkauannya sebesar 3.309 km. Pada model propagasi *Cost 231* Hatta dengan *tilt* antena 0° jarak jangkauannya sebesar 3.578 km dan dengan *tilt* antena 10° jarak jangkauannya sebesar 2.243 km.

*Tilt* antena berpengaruh terhadap jarak jangkauan antena, dimana semakin besar *tilt* antena maka jarak jangkauan antena semakin kecil. Pada tiap-tiap perubahan sudut mengalami perubahan jarak yang tidak konstan, yang mana setiap satu derajat perubahan sudut untuk sudut 0°, 1°, 2°, 3° hingga 10° terjadi perubahan jarak yang tidak sama, ini berlaku untuk kedua model propagasi yang diujikan. Secara keseluruhan dapat diketahui dengan perubahan *tilt* antena sebesar 10° jarak jangkauan pada *Standard Propagation Model* berkurang sebesar 2.026 km dan untuk model propagasi *Cost 231* Hatta berkurang sebesar 1.335 km.

### Hasil Penerapan *Physical Cell Identity* Terhadap *Carrier Interference Noise*



Gambar 4.2 Histogram Sebelum PCI

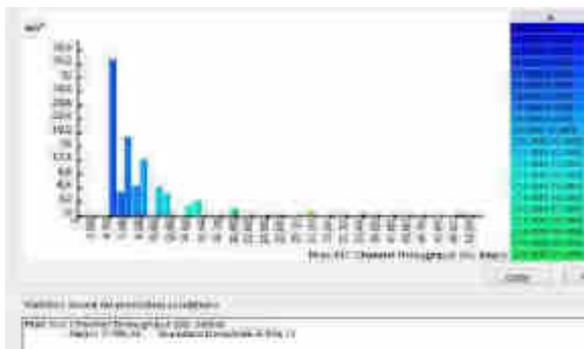


Gambar 4.3 Histogram Setelah PCI

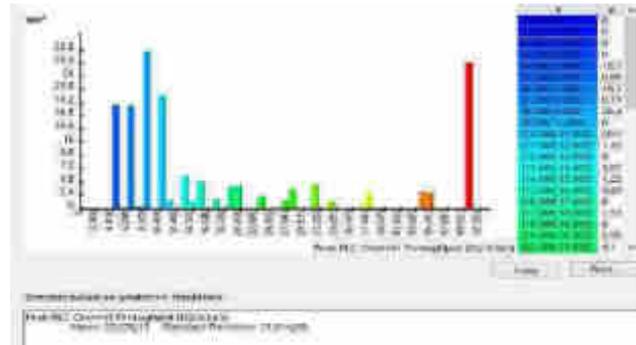
Berdasarkan gambar 4.2 sebelum menggunakan PCI nilai rata-rata *Carrier to Interference Noise* yang diperoleh pada simulasi sebesar 2.12 dB. Sedangkan pada gambar 4.3 setelah menggunakan PCI nilai rata-rata *Carrier to Interference Noise* yang diperoleh pada simulasi sebesar 9.09 dB. Sehingga, dapat diketahui bahwa penggunaan *Physical Cell Identity* (PCI) dapat meningkatkan nilai rata-rata *Carrier to Interference Noise*.

Pada Prediksi *coverage by C(I+N)* setelah PCI dapat pula diketahui kualitas sinyal (SINR) dari perencanaan. Pada gambar 4.57 prediksi ini mempunyai rentang nilai dari - 20 dBm dengan warna biru untuk nilai yang terburuk dan > 30dBm dengan warna merah untuk hasil yang terbaik, pada prediksi ini nilai yang didapatkan rata – ratanya sebesar 9,09 dB yang berarti kualitas sinyal yang ada pada daerah perencanaan bagus atau normal, akan tetapi dapat dilihat pada gambar 4.57 ada bagian dari area perencanaan yang tidak mendapatkan *coverage C(I+N)*.

**Hasil Penerapan *Physical Cell Identity* Terhadap *Throughput***



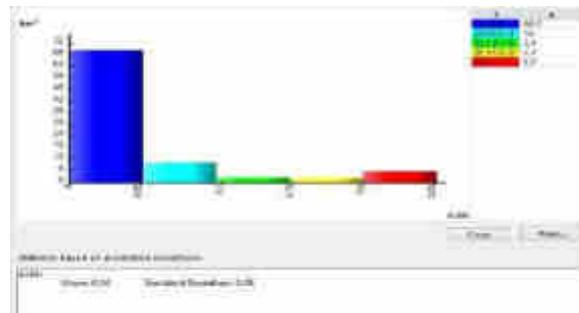
Gambar 4.4 Histogram Sebelum PCI



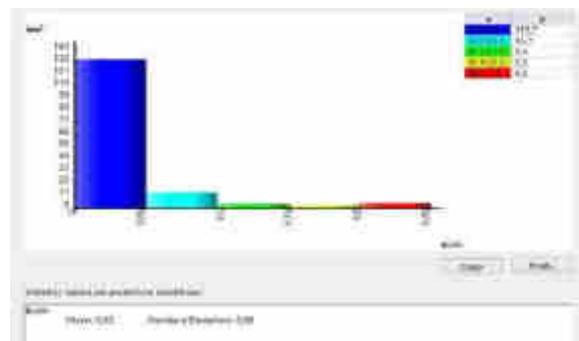
Gambar 4.5 Histogram Setelah PCI

Berdasarkan gambar 4.4 hasil simulasi sebelum menggunakan *Physical Cell Identity* (PCI) rata-rata nilai *throughput* yang dihasilkan sebesar 7.705,18 kbps. Sedangkan pada simulasi setelah menggunakan *Physical Cell Identity* (PCI) diperoleh nilai rata-rata *throughput* sebesar 22.278,15 kbps. Setelah membandingkan nilai rata-rata *throughput* sebelum dan sesudah menggunakan PCI dapat diketahui bahwa menggunakan PCI dapat meningkatkan nilai rata-rata *throughput* sebesar 14.579,97 kbps.

**Hasil Penerapan *Physical Cell Identity* Terhadap *BLER***



Gambar 4.6 Histogram Sebelum PCI



Gambar 4.7 Histogram Setelah PCI

Pada hasil simulasi gambar 4.6 sebelum PCI diperoleh nilai rata-rata BLER sebesar 0.04 dan setelah menggunakan PCI nilai rata-rata BLER sebesar 0.02. Untuk nilai dengan presentase terbesar yaitu pada *range* 0 - 0.05. Semakin kecil nilai BLER maka semakin bagus transmisi

datanya. Dari segi BLER hasil simulasi menunjukkan bahwa menggunakan PCI dapat meningkatkan daerah yang tercakup, dengan nilai BLER semakin baik yaitu sebesar 133.7 km<sup>2</sup>, sedangkan sebelum menggunakan PCI hanya sebesar 68.5 km<sup>2</sup>, seperti pada gambar 4.6.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Model propagasi *Standard Propagation Model* menghasilkan radius *cell* yang lebih jauh daripada model propagasi Cost 231 Hatta baik secara perhitungan maupun secara simulasi dan perubahan sudut kemiringan antena berpengaruh terhadap jarak jangkauan yang dihasilkan, semakin besar sudut kemiringan antena maka jarak jangkauan yang dihasilkan semakin kecil. Dengan perubahan sudut 10° jarak jangkauan pada *Standard Propagation Model* dan Cost 231 Hatta berkurang sebesar 2.026 km dan 1.335 km.
2. Penggunaan *Physical Cell Identity* (PCI) dapat meningkatkan nilai rata-rata *Carrier to Interference Noise*, sebelum menggunakan PCI nilai rata-rata  $C/(I+N)$  sebesar 2.12 dB dan setelah menggunakan PCI nilai rata-rata sebesar 9.09 dB. Dari segi *throughput* juga mengalami peningkatan sebelum menggunakan PCI sebesar 7.705,18 kbps, sedangkan setelah menggunakan PCI sebesar 22.278,15 kbps dan pada BLER penggunaan PCI dapat meningkatkan area cakupan dari sebelum PCI sebesar 68.5 km<sup>2</sup> dan setelah PCI sebesar 133.7 km<sup>2</sup>.

## SARAN

Untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan model propagasi lain, seperti Okumura Hatta, COST-231 Walfisch-Ikegami Model dan melakukan perencanaan pada kapasitas.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amirijoo, Mehdi dkk. *Neighbor Cell Relation List and Physical Cell Identity Self-Organization in LTE*. Ericsson Research, Sweeden.
- [2] Febrianto, Riano., Uke Kurniawan Usman, & Rendi Munadi. *Perencanaan Coverage dan Capacity Jaringan Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 700 Mhz Pada Tol Cipularang (Cikampek-Purwakarta Padalarang) Menggunakan Metode Physical Cell Identity*. Bandung: Universitas Telkom.
- [3] Marhadi, A., Uke Kurniawan Usman. *Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 1800 MHz Di Jembatan Suramadu Dengan Physical Cell Identity (PCI)*. Bandung: Universitas Telkom.
- [4] Nkordeh, N.S., dkk. 2014. *LTE Network Planning Using the Hatta-Okumura and the Cost -231 Hatta Pathloss Models*. London: World Congress on Engineering.
- [5] Putra, Firman Juniardi. 2014. *Analisis Kualitas Propagasi Teknologi 4G- Long Term Evolution Sebagai Parameter Penting Untuk Perencanaan Jaringan di Daerah Terrestrial*. Jember: Universitas Jember.
- [6] Rani, M.S., dkk. 2012. *Comparison of Standard Propagation Model (SPM) and Stanford University Interim (SUI) Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE)*. India: Department of ECE, Chaitanya Engineering College Visakhapatnam.
- [7] Septian, Y., Imam Santoso, Ajub Julian. *Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE Time Division Duplex (TDD) 2300 MHz Di Semarang Tahun 2015-2020*. Semarang: Universitas Diponegoro.) *Time Division Duplex (TDD) 2300 MHz Di Semarang Tahun 2015-2020*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [8] Usman, Uke Kurniawan., dkk. 2012. *Fundamental Teknologi Seluler LTE*. Bandung: Rekayasa Sains.
- [9] Wardhana, Lingga., dkk. 2014. *4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta Selatan: www.nulisbuku.com.