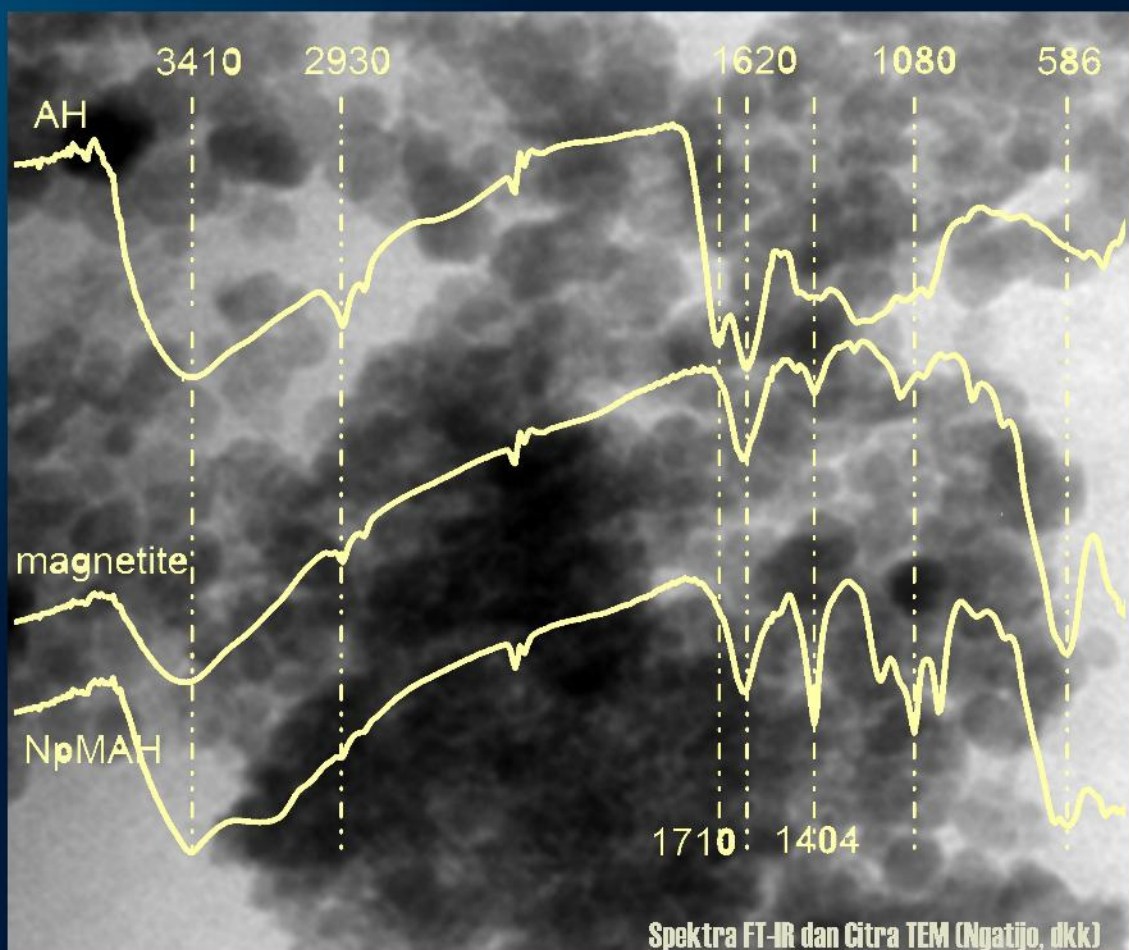




CHEESA

CHEMICAL ENGINEERING RESEARCH ARTICLES



EDITORIAL BOARD

CHEESA: Chemical Engineering Research Articles

<i>Publisher</i>	Universitas PGRI Madiun
<i>Editor in Chief</i>	Mohammad Arfi Setiawan, Universitas PGRI Madiun
<i>Associate (Handling) Editors</i>	Khoirul Ngibad, Universitas Maarif Hasyim Latif Dyan Hatining Ayu Sudarni, Universitas PGRI Madiun Andri Wahyu Wijayadi, Universitas Hasyim Asy'ari Ade Trisnawati, Universitas PGRI Madiun
<i>Editorial Advisory Board</i>	Salfauqi Nurman, Universitas Serambi Mekkah Rokiy Alfanaar, Universitas Ma Chung Wahyu Prasetyo Utomo, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Said Ali Akbar, Universitas Serambi Mekkah Viona Natalia, Universitas Sebelas Maret
<i>Reviewer</i>	Prof. Johnner P. Sitompul, Institut Teknologi Bandung Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, Universitas Sriwijaya Prof. Dr. Chandrawati Cahyani, Universitas Brawijaya Prof. Dr. Yandi Syukri, Universitas Islam Indonesia Rizqy Romadhona Ginting, Ph.D, Hiroshima University Mochamad Zakki Fahmi, Ph.D, Universitas Airlangga Agus Haryanto, Ph.D, Universitas Lampung Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, Universitas Lampung Dr.-Ing. Anton Irawan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Dr. rer. nat. Deni Rahmat, Universitas Pancasila Dr. Heri Septya Kusuma, UPN Veteran Yogyakarta Dr. Joko Waluyo, Universitas Sebelas Maret Dr. Dian Kresnadipayana, Universitas Setia Budi Rahmat Basuki, Universitas Pertahanan Ayu Ratna Permanasari, Politeknik Negeri Bandung Erni Misran, Universitas Sumatera Utara Felix Arie Setiawan, Universitas Jember Iman Mukhaimin, Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang Cucuk Evi Lusiani, Politeknik Negeri Malang Sri Budi Harmami, Pusat Penelitian Kimia-LIPI

Volume 4 Nomor 1, 2021

ISSN 2614-8757 (Print), ISSN 2615-2347 (Online)

Available online at: <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>

Copyright © 2021

UCAPAN TERIMA KASIH

CHEESA: Chemical Engineering Research Articles

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi – tingginya kami sampaikan kepada para reviewer yang telah menelaah naskah - naskah yang masuk dan memberikan saran kepada kami. Para reviewer yang berkontribusi pada terbitan ini antara lain,

1. Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani
2. Prof. Dr. Chandrawati Cahyani
3. Agus Haryanto, Ph.D
4. Rizqy Romadhona Ginting, Ph.D
5. Dr.-Ing. Anton Irawan
6. Dr. Heri Septya Kusuma
7. Dr. Joko Waluyo
8. Dr. Dian Kresnadipayana
9. Rahmat Basuki
10. Iman Mukhaimin
11. Erni Misran

dengan kesungguhan dan kecermatan para reviewer, membantu kami meningkatkan kualitas dan menjaga mutu penulisan pada Jurnal CHEESA: Chemical Engineering Research Articles Volume 4 Nomor 1, Juni 2021.

Terimakasih juga kami sampaikan kepada berbagai pihak yang telah membantu, sehingga edisi ini dapat diterbitkan secara online sesuai waktu yang telah ditentukan.

Redaksi
CHEESA

Volume 4 Nomor 1, 2021

ISSN 2614-8757 (Print), ISSN 2615-2347 (Online)

Available online at: <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>

Copyright © 2021

DAFTAR ISI

CHEESA: Chemical Engineering Research Articles

CHEESA merupakan jurnal yang menjadi media kajian kimia dan teknik kimia. Jurnal ini sebagai media publikasi hasil penelitian bidang kimia dan teknik kimia yang ditujukan untuk kalangan akademisi, praktisi dan masyarakat pada umumnya. Tulisan yang dimuat dalam Jurnal CHEESA telah melalui penyuntingan sesuai kaidah yang telah ditetapkan tanpa mengubah naskah asli.

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

Hasrul Anwar, Tri Widjaja, Danawati Hari Prajitno

..... 1-10

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit Dryer dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

Dimas Frananta Simatupang, Yunianto, Erwin Dani Winata Sihaloho

..... 11-17

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson

Lidya Elizabeth, Okky Indra Putra, Marthen Luther Doko

..... 18-30

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu

Surahman Latif Sahendra, Ridha Aulia Hamsyah, Khalimatus Sa'diyah

..... 31-38

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

Vibianti Dwi Pratiwi, Iman Mukhaimin

..... 39-50

Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

Ngatijo, Nurul Gusmaini, Restina Bemis, Rahmat Basuki

..... 51-64

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

Muhrinsyah Fatimura, Reno Fitriyanti

..... 65-74

Volume 4 Nomor 1, 2021

ISSN 2614-8757 (Print), ISSN 2615-2347 (Online)

Available online at: <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>

Copyright © 2021

Research Article

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

Biogas Production from Rice Straw Using Rumen Fluid and Cow Dung

Hasrul Anwar^{1*)}, Tri Widjaja²⁾, Danawati Hari Prajitno²⁾

¹⁾Universitas Lampung, Teknik Kimia, Indonesia

²⁾Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Kimia, Indonesia

*correspondence email: hasrul.anwar@eng.unila.ac.id

Received: 05/09/2020; Revised: 04/03/2021; Accepted: 05/03/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.7406.1-10

Abstrak

Jerami padi adalah salah satu limbah pertanian yang melimpah di Indonesia yang dapat digunakan sebagai sumber lignoselulosa untuk produksi biogas. Salah satu metode untuk meningkatkan produksi biogas adalah dengan menambahkan cairan rumen dan kotoran sapi. Penelitian ini membandingkan produksi biogas pada cairan rumen sapi (JP-R) dan campuran cairan rumen dan kotoran sapi (JP-RKS). Percobaan ini dilakukan dalam reaktor *batch* anaerob selama 30 hari dengan volume kerja 3,6 L pada suhu mesofilik. Parameter yang diukur pada penelitian ini seperti asam lemak volatil (VFA), *Chemical Oxygen Demand* (COD), total padatan (TS), volatil padatan (VS), dan komposisi biogas. COD JP-R dan JP-RKS masing-masing adalah 54,21 % dan 49,44%. *Yield* metana untuk JP-R dan JP-RKS masing-masing adalah 0,48 Nm³/kgCOD_{removal} dan 0,015 Nm³/kgCOD_{removal}. Komposisi biogas pada JP-R adalah 47,97% CH₄, 7% CO₂ dan 0,44% H₂, sedangkan pada JP-RKS komposisi biogas adalah 23,34% CH₄, 10,06% CO₂, dan 0,39% H₂.

Kata kunci: Asam lemak volatil; biogas; cairan rumen; jerami padi; kotoran sapi.

Abstract

Rice straw is one of the abundant agricultural wastes in Indonesia which can be used as a source of lignocellulose for biogas production. One method to improve the production of biogas is by adding rumen fluid and cow dung. This study compared the production of biogas in rumen fluid (JP-R) and a mixture of rumen fluid and cow dung (JP-RKS). This experiment was carried out in an anaerobic batch reactor for 30 days with a working volume of 3.6 L at mesophilic temperature. The parameters measured in this study were volatile fatty acids (VFA), Chemical Oxygen Demand (COD), total solids (TS), volatile solids (VS), and biogas composition. JP-R and JP-RKS COD are 54.21% and 49.44%, respectively. Yield of methane production for JP-R and JP-RKS were 0.48 Nm³/kgCOD_{removal} and 0.015 Nm³/kgCOD_{removal} respectively. The composition of biogas in JP-R was 47.97% CH₄, 7% CO₂, and 0.44% H₂, whereas in JP-RKS, the composition of biogas was 23.34% CH₄, 10.06% CO₂, and 0.39% H₂.

Keywords: Biogas; cow dung; rice straw; rumen fluid; volatile fatty acid.

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi terbarukan semakin meningkat seiring dengan menipisnya cadangan minyak bumi, meningkatnya populasi manusia, dan adanya tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Salah satu energi alternatif untuk memecahkan masalah di atas adalah pemanfaatan sumber daya yang selama ini belum dikelola secara maksimal khususnya di bidang pertanian. Biogas memiliki beberapa manfaat diantaranya mengurangi pencemaran air dan tanah, produksi pupuk organik, dan mendorong siklus perekonomian dan ramah lingkungan [1].

Bahan bakar turunan biomassa, khususnya biofuel gas, menawarkan pengurangan emisi GRK jauh lebih besar daripada biofuel cair karena keseimbangan energinya yang besar dan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap industri transportasi di masa yang akan datang [2]. Biogas memiliki beberapa kelebihan, selain merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan, tetapi juga menghasilkan berbagai jenis pupuk yang berkualitas tinggi [3].

Biogas merupakan energi terbarukan yang terdiri dari metana (CH_4) sekitar (40–65% v/v), karbon dioksida (CO_2) (35–55% v/v), dan hidrogen sulfida (H_2S) sekitar (0,1–3% v/v) [4]. Biogas diproduksi dalam digester anaerobik dari bahan baku organik melalui suatu proses yang dimediasi oleh mikroba. Proses produksi biogas terdiri dari empat fase, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis [5].

Saat ini, berbagai jenis limbah biomassa (misalnya limbah makanan, limbah lumpur, kotoran ternak, dan jerami) telah digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk bernilai tambah,

seperti biogas [6], pupuk hayati [7,8], bioetanol, dan biodiesel [9]. Jerami dianggap sebagai bahan baku yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan pemenuhan energi karena ketersediaannya yang besar [10].

Menurut FAO, jumlah panen padi pada tahun 2017 sekitar 770 ton, meningkat 1,5% dari biasanya. Oleh karena itu, produk samping seperti jerami padi juga meningkat signifikan. Jerami padi merupakan salah satu limbah lignoselulosa yang paling melimpah di dunia. Oleh karena itu, jerami padi adalah pilihan yang tepat untuk produksi biofuel di masa depan [11].

Cairan rumen mengandung 2×10^{15} bakteri dan 1 miliar protozoa. Banyak diantara bakteri tersebut adalah mikroorganisme selulolitik anaerobik yang mampu menghidrolisis selulosa dengan efisiensi yang tinggi. Mikroorganisme rumen mampu mendegradasi biomassa lignoselulosa menjadi produk antara (VFA) dan bioenergi (CH_4) dalam kondisi anaerobik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa cairan rumen mampu menghidrolisis lignoselulosa biomassa dengan efisiensi tinggi [12–14]. Penelitian telah menunjukkan bahwa lebih dari 90% lignoselulosa dapat didegradasi dan dikonversi menjadi asam lemak rantai pendek dan protein mikroba oleh bakteri rumen [15,16]. Henderson *dkk.* [17] menemukan bahwa bakteri rumen terdiri dari *Butyrivibrio*, *Prevotella*, *Ruminococcus*, *unclassified Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*, dan *Bacteroidales*.

Kotoran sapi mengandung sedikit selulosa, lignoselulosa, lignin, dan komponen organik yang baik untuk pertumbuhan bakteri dalam produksi biogas [18]. Kotoran sapi mengandung bakteri dan mikroorganisme sebagai

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

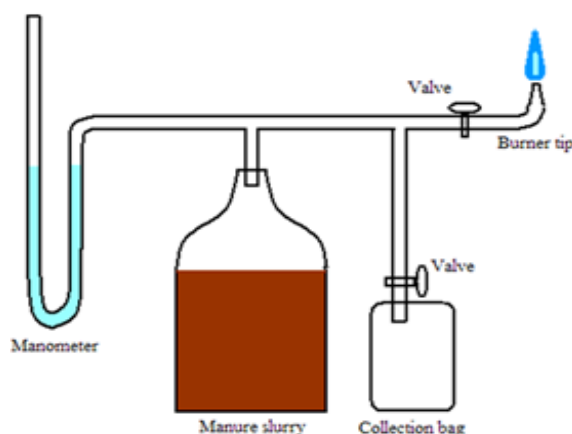
berikut: *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Enterobacteriaceae* (*E. Coli*), dan *Ruminococcus* [19].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan produksi biogas dari jerami padi menggunakan cairan rumen dan cairan rumen-kotoran sapi.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Autoclave* (Astell Scientific), *Hot plate & stirrer* (Snijders), *water bath*, *Spectrophotometer* (Cecil), *Analytical balance* (Ohaus), *Incubator* (Incucell), *Furnance Lin High Therm VMK 135* Germany, *Oven* (VWR Scientific 1350 G), *vortex* (VM-300), *Vacuum pump* (Weich), rangkaian alat reaktor *batch* seperti terlihat pada Gambar 1, manometer, gas chromatography (*Hewlett Packard*), tabung COD, reaktor COD, dan gas chromatography (*GC-2010 Plus-SHIMADZU*).



Gambar 1. Rangkaian Reaktor *Batch*

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi yang diperoleh dari lahan pertanian di Desa Sumenep, Madura. Cairan rumen dan kotoran sapi diperoleh dari RPH (Rumah Potong Hewan) Jl. Pegirian Kelurahan Semampir, Surabaya. Cairan rumen

didapatkan dengan memeras isi rumen, kemudian ditempatkan di dalam termos yang telah dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 39 °C. Selanjutnya cairan rumen disaring dengan kain kasa dan ditampung di dalam wadah yang telah ditempatkan di dalam *water bath* pada suhu 39 °C.

Kotoran sapi diambil sebanyak 3 kg kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang kedap udara. Kotoran sapi yang didapatkan diencerkan dengan *aquadest* dengan perbandingan 1:3, kemudian disaring menggunakan kain kasa untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam digester sesuai dengan volume yang telah ditentukan yaitu 15% dari volume kerja reaktor. Selain itu digunakan juga CH_3COONa , NH_4Cl , KH_2PO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Fe-EDTA , $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, NaOH , H_2SO_4 , *yeast extract*, glukosa, dan etanol.

2.2 Analisis Kadar Lignoselulosa

Analisis kadar selulosa dilakukan untuk menentukan konsentrasi awal selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Pada penelitian ini analisis selulosa, hemiselulosa, dan lignin menggunakan metode Chesson.

2.2.1 Kadar Hemiselulosa

Kandungan hemiselulosa dianalisis dengan metode Chesson [20], yaitu dengan mencampurkan 1-2 gram sampel dengan 150 mL air destilat, kemudian dipanaskan pada suhu 100 °C selama 2 jam, kemudian disaring menggunakan kertas saring dan terakhir dibilas dengan air destilat, kemudian bagian padatan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C hingga beratnya konstan (a). Selanjutnya sampel dicampur dengan 150 mL H_2SO_4 1 N, kemudian sampel dipanaskan pada suhu 100 °C selama 1 jam, difiltrasi dengan

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

kertas saring dan terakhir dibilas dengan air destilat. Kemudian bagian padatan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C sampai konstan dan ditimbang beratnya (b). Kadar hemiselulosa dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\text{Kadar Hemiselulosa (\%)} = \frac{b-c}{a} \times 100\% \text{ .(1)}$$

Keterangan:

- Penurunan berat kering sampel biomassa lignoselulosa
- Penurunan berat kering residu sampel refluks dengan air panas
- Penurunan berat kering residu sampel setelah direfluks dengan 0,5 M H₂SO₄

2.2.2 Kadar Selulosa

Kadar selulosa dianalisis dengan metode Chesson. Sampel yang telah dikeringkan pada analisis hemiselulosa (b) dicampur dengan larutan H₂SO₄ 72% (v/v) sebanyak 10 mL pada suhu kamar selama 4 jam, kemudian H₂SO₄ diencerkan hingga konsentrasinya 0,5 M. Kemudian sampel direfluks pada suhu 100 °C selama 2 jam. Kadar selulosa dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\text{Kadar Selulosa (\%)} = \frac{c-d}{a} \times 100\% \text{(2)}$$

Keterangan:

- Penurunan berat kering sampel biomassa lignoselulosa
- Penurunan berat kering residu sampel setelah direfluks dengan 0,5 M H₂SO₄
- Penurunan berat kering residu sampel setelah dicampur dengan 72% H₂SO₄ dan kemudian diencerkan menjadi 4% H₂SO₄

2.2.3 Kadar Lignin

Kadar lignin dianalisis dengan metode Chesson. Sampel yang telah dikeringkan pada analisis selulosa (c) difiltrasi menggunakan kertas saring, kemudian dibilas dengan air destilat. Selanjutnya, bagian padatan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C hingga

beratnya konstan (d). Kadar selulosa dihitung menggunakan persamaan (3).

$$\text{Kadar Lignin (\%)} = \frac{d-e}{a} \times 100\% \text{ (3)}$$

Keterangan:

- Penurunan berat kering sampel biomassa lignoselulosa
- Penurunan berat kering residu sampel setelah dicampur dengan 72% H₂SO₄ dan kemudian diencerkan menjadi 4% H₂SO₄
- Abu dari residu sampel

2.3 Produksi Biogas

Produksi biogas melalui proses anaerobik yang dilakukan dalam reaktor *batch* dengan volume 6 L dengan volume kerja 3,6 L. Variabel penelitian ini adalah cairan rumen sapi (JP-R) dan campuran cairan rumen dan kotoran sapi (JP-RKS). Volume cairan rumen dan campuran cairan rumen-kotoran sapi yang digunakan pada penelitian ini masing-masing sebesar 15% dari volume kerja reaktor yaitu 0,54 L. *Starter* dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 ml, kemudian ditambahkan 2 g/l CH₃COONa, 4 g/L NH₄Cl, 0,06 g/L KH₂PO₄, 0,025 g/L CaCl₂, 0,005 g/L NiCl₂, 0,005 g/L MnCl₂, 0,005 g/L CoCl₂, 0,1 g/L *yeast extract*, dan 0,025 g/L MgCl₂. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah COD, asam lemak volatil (VFA), total padatan (TS), padatan volatil (VS), dan komposisi biogas.

2.4 Analisis COD, TS, dan VS

Analisis COD, TS, dan VS dilakukan setiap tiga hari selama proses fermentasi selama 30 hari.

2.4.1 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD diukur dengan menambahkan larutan *digestion* (K₂Cr₂O₇) dengan 3,5 mL larutan H₂SO₄ dalam tabung COD, kemudian dihomogenkan (larutan menjadi panas), dibiarkan mengendap, kemudian

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

tambahkan 2,5 mL air destilasi sebagai blanko, homogenkan, kemudian dipanaskan pada suhu 148 °C selama 2 jam dengan menggunakan reaktor COD, biarkan sampai suhu kamar dan ukur dengan *spectrophotometer* pada panjang gelombang 620 nm.

2.4.2 Total Solid (TS)

Total Solid diidentifikasi sebagai jumlah padatan dalam bahan organik. Nilai TS dipengaruhi oleh lamanya proses fermentasi. Analisis TS dilakukan dengan memasukkan sampel 10 mL ke dalam cawan porselen, kemudian dipanaskan di dalam oven pada suhu 130 °C selama 4 jam, kemudian cawan tersebut ditimbang. Total padatan dapat ditentukan dengan menghitung perbedaan berat sampel sebelum dan sesudah pemanasan.

2.4.3 Volatile solid (VS)

Volatile solid adalah bagian padat yang berubah menjadi fase gas pada tahap pengasaman dan metanogenesis. *Volatile solid* menunjukkan berapa banyak bahan organik yang dapat dikonversi menjadi biogas. Analisis VS dilakukan dengan memasukkan sampel sebanyak 5 mL ke dalam cawan yang telah ditimbang. TS kemudian dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 550 °C selama 2 jam. Setelah itu cawan porselen didinginkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang kembali beratnya (*EPA Method 1684, 2001*).

2.5 Analisis VFA, CH₄, H₂ dan CO₂

Untuk analisis kandungan VFA, sampel *slurry* diambil melalui *sampling valve* digester dengan menggunakan *syringe* dan selang kemudian ditampung ke dalam *eppendoff* 1,5 mL, kemudian dihomogenkan dengan

centrifuge untuk memisahkan filtrat dan endapan. Filtrat kemudian di analisis dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC) HP-6890 pada kondisi operasi oven dengan temperatur awal 170 °C selama 18,57 menit. Kondisi operasi *injector* dengan temperatur awal 275 °C, tekanan 17,21 psi dan menggunakan Helium sebagai gas pembawa.

Metana (CH₄) dianalisis menggunakan kromatografi gas (Hewlett Packard, USA) dengan detektor ionisasi nyala (FID). Kromatografi menggunakan kolom Agilent 19095P-Q04 HP Plot Q untuk menentukan metana dalam campuran sebagai fungsi dari waktu *digestion*. Suhu *port* FID, oven dan *injector* masing-masing 280 °C, 150 °C, dan 275 °C. *Flowrate* 30 mL/menit. Helium digunakan sebagai gas pembawa. Persentase volume CH₄ dihitung dengan nilai interpolasi dari kurva kalibrasi yang diperoleh dengan CH₄ ultra murni. Sampel biogas dianalisis dengan mengumpulkan gas di *venoject* dan menyuntikkan ke kolom dengan jarum suntik. Gas H₂ dan CO₂ dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas (GC-2010 plus, Shimadzu, Jepang) yang dilengkapi dengan detektor konduktivitas termal (TCD). Nitrogen digunakan sebagai gas pembawa dengan waktu tinggal 6 menit dan volume injeksi adalah 0,2 mL.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Komposisi Lignoselulosa Jerami Padi

Komposisi lignoselulosa pada jerami padi dalam penelitian ini memiliki komposisi sebagaimana tercantum dalam Tabel 1. Hasil menunjukkan bahwa komposisi jerami padi dalam penelitian ini berbeda dengan hasil Garrote *dkk.* [21], yaitu mengandung selulosa (32-47%), hemiselulosa (19-27%), dan lignin (5-24%).

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

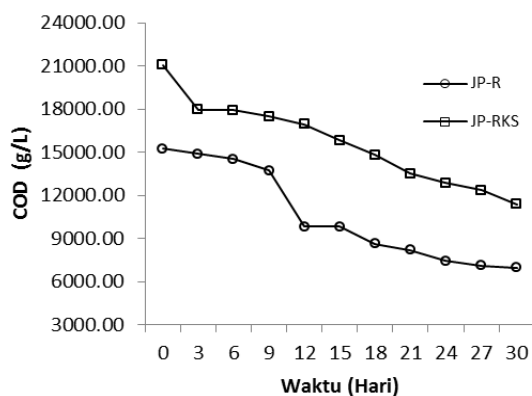
Perbedaan komposisi jerami padi disebabkan oleh perbedaan kadar abu dan pengaruh relativitas hasil ekstraksi oleh air panas pada saat analisis. Perbedaan komposisi juga bergantung pada berbagai faktor, termasuk iklim dan budidaya tanaman [22,23].

Tabel 1. Komposisi Lignoselulosa Jerami Padi

Komponen	Persentase
Selulosa	62,80%
Hemiselulosa	26,07%
Lignin	3,74%

3.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Hasil analisis COD ditunjukkan pada Gambar 2. Penurunan COD pada masing-masing perlakuan yaitu JP-R sebesar 54,21% dan JP-RKS sebesar 49,44%. Berdasarkan hasil analisis, COD mengalami penurunan setiap 3 hari baik JP-R dan JP-RKS. Hal ini menunjukkan bahwa biogas diproduksi.



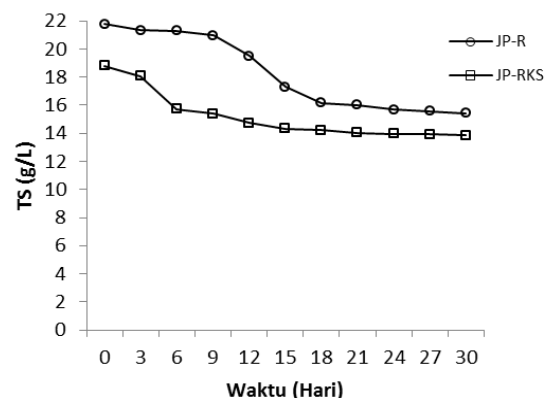
Gambar 2. Nilai COD pada JP-R dan JP-RKS

3.3 Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)

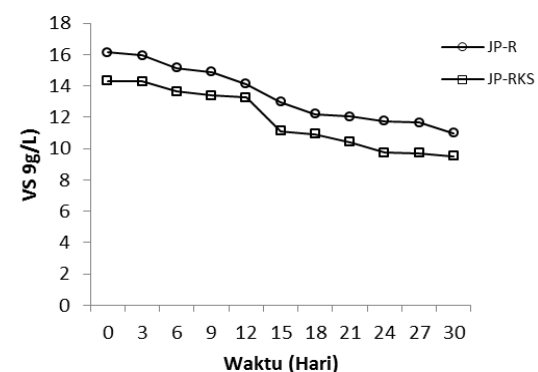
Berdasarkan hasil analisis TS dan VS pada Gambar 2 dan 3 dapat diketahui bahwa nilai TS dan VS pada JP-R dan JP-RKS menurun secara signifikan yaitu sebesar 29,09% dan 31,91% untuk JP-R, 26,28% dan 30,07% untuk JP-RKS dari awal fermentasi anaerobik karena proses

degradasi senyawa organik menjadi monosakarida, asam amino, alkohol, asam volatil karboksilat, asam hidroksi, keton, CO₂ dan H₂ [24].

Proses degradasi senyawa organik dibantu oleh bakteri seperti *bactericides*, *clostridia* dan fakultatif anaerobik seperti *streptococcus* [25]. Nilai TS dan VS dipengaruhi oleh peningkatan pertumbuhan mikroorganisme dari senyawa organik yang terdegradasi. Setelah hari ke-15, nilai TS dan VS menurun secara konstan untuk kedua perlakuan. Penurunan nilai TS dan VS pada JP-R lebih besar dibandingkan JP-RKS. Penurunan nilai TS dan VS pada JP-R yaitu 29,09% dan 31,91%, sementara nilai TS dan VS pada JP-RKS masing-masing adalah 26,28% dan 30,07% selama waktu fermentasi anaerobik 30 hari.



Gambar 3. Nilai TS pada JP-R dan JP-RKS



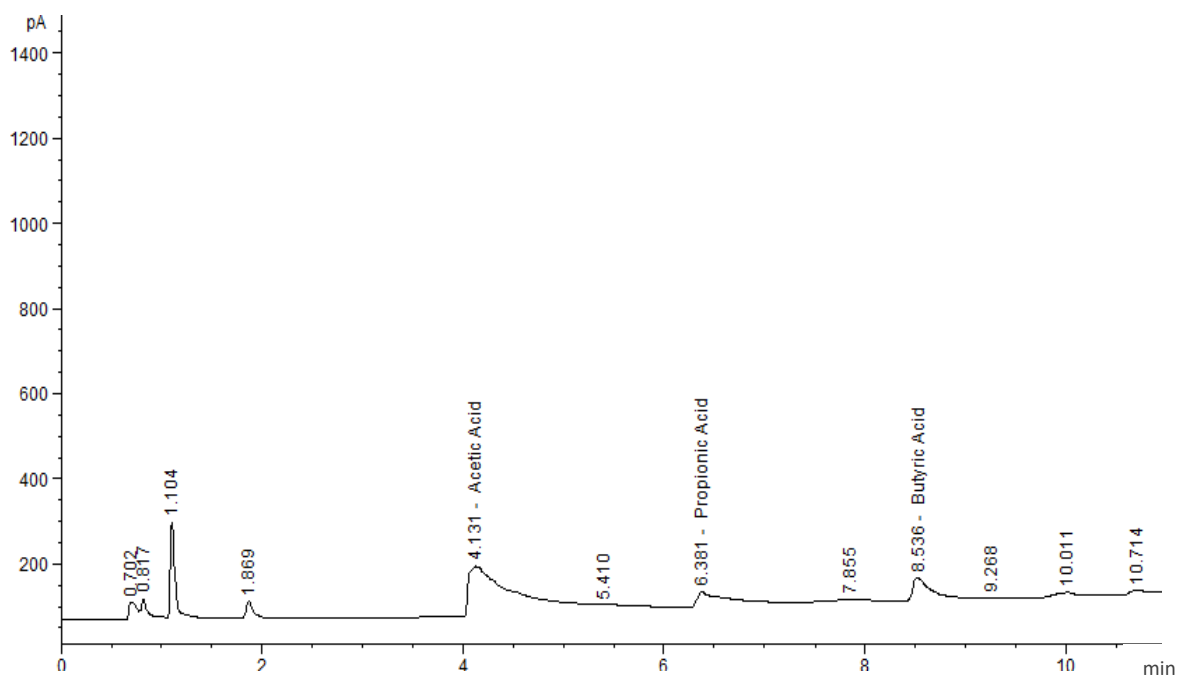
Gambar 4. Nilai VS pada JP-R dan JP-RKS

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

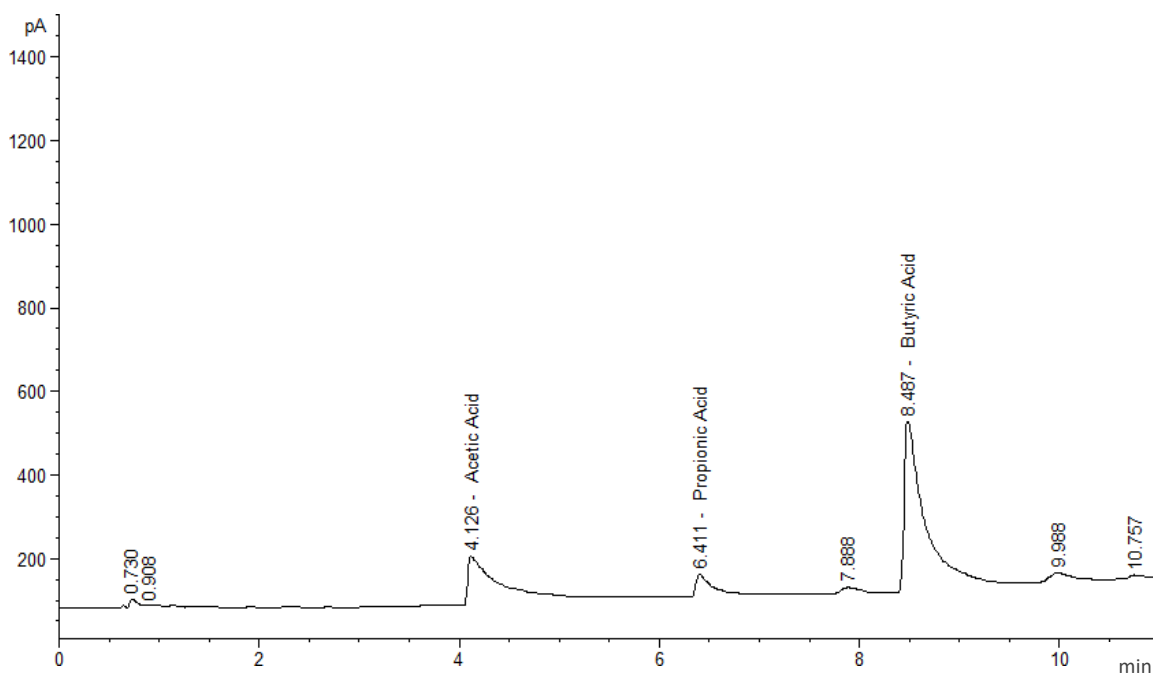
3.4 Volatile fatty acid (VFA)

Dalam penelitian ini, VFA ditemukan dalam bentuk asam asetat, propionat, dan butirat yang dibuktikan dari hasil kromatografi gas (GC). Hasil GC dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Asam-asam

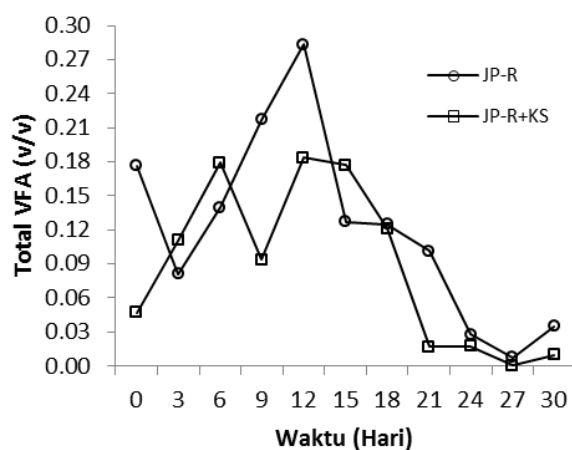
tersebut merupakan produk utama dalam proses pembentukan metana. Hasil analisis Total VFA (asam asetat, propionat, dan butirat) dapat ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Kromatogram Hasil GC pada JP-R



Gambar 6 Kromatogram Hasil GC pada JP-RKS

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi**Gambar 7.** Nilai VFA pada JP-R dan JP-RKS

VFA yang dihasilkan diperoleh dari jumlah konsentrasi asam asetat, asam propionat, dan asam butirat yang dihasilkan. Peningkatan produksi asam-asam volatil (asam asetat, asam propionat, dan asam butirat) pada masing-masing perlakuan menunjukkan pertumbuhan bakteri asetogenik meningkat, sedangkan penurunan asam-asam volatil pada hari tertentu menunjukkan adanya proses pembentukan metana. Konsentrasi asam-asam volatil ini menunjukkan produksi biogas yang akan dihasilkan [26].

Berdasarkan hasil perhitungan, konsentrasi asam-asam volatil (asetat, propionat, dan butirat terbesar pada JP-R yaitu sebesar 1,32% (v/v), sedangkan pada JP-RKS sebesar 0,96% (v/v). Mikroorganisme rumen memiliki kemampuan lebih tinggi dalam mendegradasi lignoselulosa biomassa dibandingkan mikroorganisme anaerobik lainnya [27,28].

Hasil analisis terhadap metana, diperoleh bahwa konsentrasi metana tertinggi diproduksi pada JP-R sebesar 126743 ppm. Nilai ini lebih besar dari konsentrasi metana yang diproduksi di JP-RKS, yaitu 47628,4 ppm. Produksi asam asetat dalam JP-R sebanding dengan metana yang dihasilkan. Pada tahap

metanogenesis, bakteri *methanogenic archaea* seperti *Methanosarcina Sp* dan *Methanothrix Sp* mengubah H_2 dan asam asetat menjadi CO_2 , CH_4 dan air, dan mengubah H_2 dan asam propionat menjadi CH_4 dengan bakteri *Methanobacterium*, *Methanococcuss*). Asam asetat dan asam propionat merupakan produk utama dalam produksi biogas secara anaerobik [29].

3.5 Komposisi Biogas

Komposisi biogas (CH_4 , CO_2 , H_2) dianalisis setelah 30 hari fermentasi anaerobik. Tabel 2 menunjukkan perbandingan komposisi biogas antar JP-R dan JP-RKS:

Tabel 2. Perbandingan komposisi biogas pada JP-R dan JP-RKS

Senyawa	JP-R (%)	JP-RKS (%)
CH_4	47,97	23,34
CO_2	7	10,06
H_2	0,44	0,39

Yield metana tertinggi dihasilkan pada JP-R sebesar $0,48 \text{ Nm}^3/\text{kgCOD}_{\text{removal}}$, sedangkan pada JP-RKS menghasilkan *yield* metana sebesar $0,015 \text{ Nm}^3/\text{kgCOD}_{\text{removal}}$.

4. Kesimpulan

Penggunaan cairan rumen pada produksi biogas lebih efektif dibandingkan campuran rumen dan kotoran sapi. Pada perlakuan menggunakan cairan rumen, komposisi metana dalam biogas yang dihasilkan sebesar 47,97% CH_4 dengan impuritis CO_2 sebesar 7%, sedangkan pada campuran cairan rumen dan kotoran sapi, komposisi metana dalam biogas yang dihasilkan sebesar 23,34% CH_4 dengan impuritis CO_2 sebesar 10,06%.

Daftar Rujukan

- [1] Jürgensen, L., Ehimen, E. A., Born, J., Holm-Nielsen, J. B. (2015). Dynamic biogas upgrading based on the Sabatier process: Thermodynamic and dynamic process simulation. *Bioresource Technology*. 178, 323–329, DOI: 10.1016/j.biortech.2014.10.069
- [2] Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z., Yu, X. (2015). Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 51, 521–532, DOI: 10.1016/j.rser.2015.06.029
- [3] Ghosh, P., Shah, G., Sahota, S., Singh, L., Vijay, V. K. (2020). Biogas production from waste: technical overview, progress, and challenges. *Bioreactors*, 89-104, DOI: 10.1016/B978-0-12-821264-6.00007-3
- [4] Ghosh, P., Shah, G., Chandra, R., Sahota, S., Kumar, H., Vijay, V. K., Thakur, I. S. (2019). Assessment of methane emissions and energy recovery potential from the municipal solid waste landfills of Delhi, India. *Bioresource Technology*. 272, 611–615, DOI: 10.1016/j.biortech.2018.10.069
- [5] Ghosh, P., Kumar, M., Kapoor, R., Kumar, S. S., Singh, L., Vijay, V., Vijay, V. K., Kumar, V., Thakur, I. S. (2020). Enhanced biogas production from municipal solid waste via co-digestion with sewage sludge and metabolic pathway analysis. *Bioresource Technolog*. 296, 122275. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122275
- [6] Ma, Y., Yin, Y., Liu, Y. (2017). Corrigendum to “New insights into co-digestion of activated sludge and food waste: Biogas versus biofertilizer”. *Bioresource Technology*. 241, 448–453, DOI: 10.1016/j.biortech.2017.07.152
- [7] Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Wainaina, S., Rajendran, K., Kumar, S., Quan, W., Duan, Y., Awasthi, S. K., Chen, H., Pandey, A., Zhang, Z., Jain, A., Taherzadeh, M. J. (2019). A critical review of organic manure biorefinery models toward sustainable circular bioeconomy: Technological challenges, advancements, innovations, and future perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 111, 115–131, DOI: 10.1016/j.rser.2019.05.017
- [8] Ma, Y., Shen, Y., Liu, Y. (2020). Food Waste to Biofertilizer: A Potential Game Changer of Global Circular Agricultural Economy. *J. Agric. Food Chem*. 68, 5021–5023, DOI: 10.1021/acs.jafc.0c02210
- [9] Ma, Y., Yin, Y., Liu, Y. (2017). A holistic approach for food waste management towards zero-solid disposal and energy/resource recovery. *Bioresoure Technology*. 228, 56–61, DOI: 10.1016/j.biortech.2016.12.090
- [10] Li, C., Chen, C., Wu, X., Tsang, C.-W., Mou, J., Yan, J., Liu, Y., Lin, C. S. K. (2019). Recent advancement in lignin biorefinery: With special focus on enzymatic degradation and valorization. *Bioresource Technology*. 291, 121898. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121898
- [11] Khaleghian, H., Karimi, K., Behzad, T. (2015). Ethanol production from rice straw by sodium carbonate pretreatment and *Mucor hiemalis* fermentation. *Ind. Crops Prod*. 76, 1079–1085, DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.08.008.
- [12] Li, F., Zhang, P., Zhang, G., Tang, X., Wang, S., Jin, S. (2017). Enhancement of corn stover hydrolysis with rumen fluid pretreatment at different solid contents: Effect, structural changes and enzymes participation. *Int. Biodeterior. Biodegrad*. 119, 405–412, DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.10.038
- [13] Lazuka, A., Auer, L., Bozonnet, S., Morgavi, D. P., O'Donohue, M., Hernandez-Raquet, G. (2015). Efficient anaerobic transformation of raw wheat straw by a robust cow rumen-derived microbial consortium. *Bioresource Technology*. 196, 241–249, DOI: 10.1016/j.biortech.2015.07.084
- [14] Xing, B.-S., Han, Y., Cao, S., Wen, J., Zhang, K., Yuan, H., Wang, X. C. (2020). Cosubstrate strategy for enhancing lignocellulose degradation during rumen fermentation in vitro: Characteristics and microorganism composition. *Chemosphere*. 250, 126104, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126104
- [15] Dai, X., Tian, Y., Li, J., Su, X., Wang, X., Zhao, S., Liu, L., Luo, Y., Liu, D., Zheng, H., Wang, J., Dong, Z., Hu, S., Huang, L. (2015). *Metatranscriptomic* Analyses of Plant Cell Wall Polysaccharide Degradation by Microorganisms in the Cow Rumen. *Appl. Environ. Microbiol*. 81, 1375–1386, DOI: 10.1128/AEM.03682-14

Produksi Biogas dari Jerami Padi Menggunakan Cairan Rumen dan Kotoran Sapi

- [16] Deng, Y., Huang, Z., Ruan, W., Zhao, M., Miao, H., Ren, H. (2017). Co-inoculation of cellulolytic rumen bacteria with methanogenic sludge to enhance methanogenesis of rice straw. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 117, 224–235, DOI: 10.1016/j.ibiod.2017.01.017
- [17] Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., Janssen, P. H. (2015). Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Sci. Rep.* 5, 14567. DOI: 10.1038/srep14567
- [18] Corro, G., Panigua, L., Pal, U., Banuelos, F., Rosas, M. (2013). Generation of Biogas from Coffee Pulp and Cow-Dung Co-Digestion: Infrared studies of postcombustion emission. *Energy Conversion and Management*, 74, 471–481, DOI: 10.1016/j.enconman.2013.07.017
- [19] Alfa, I. M., Dahunsi, S. O., Iorhemen, O. T., Okafor, C. C., Ajayi, S. A. (2014). Comparative evaluation of biogas production from Poultry droppings, Cow dung and Lemon grass. *Bioresource Technology*. 157, 270–277, DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.108
- [20] Isroi. (2013). *Analisis Kandungan Lignoselulosa dengan Metode Chesson-datta*. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia.
- [21] Garrote, G., Dominguez, H., Parajo, J.C. (2002). Autohydrolysis of corncob: study of non-isothermal operation for xylooligosaccharid production. *J. Food Eng.* 52, 211–218. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00108-X
- [22] Balan, V., da Costa Sousa, L., Chundawat, S. P. S., Vismeh, R., Jones, A. D., Dale, B. E. (2008). Mushroom spent straw: a potential substrate for an ethanol-based biorefinery. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35, 293–301. DOI: 10.1007/s10295-007-0294-5
- [23] Zhong, C., Lau, M. W., Balan, V., Dale, B. E., Yuan, Y.-J. (2009). Optimization of enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation from AFEX-treated rice straw. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 84, 667–676, DOI: 10.1007/s00253-009-2001-0
- [24] Gunter, B. (2011). Pre-treatment Technology for Biogas Production, Istanbul Bioenergy, *International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste and Energy Crop*, Turkey.
- [25] Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. *Bioresource Technology*. 95, 1–10, DOI: 10.1016/j.biortech.2004.02.010
- [26] Buyukkamaci, N., Filibeli, A. (2004). Volatile fatty acid formation in an anaerobic hybrid reactor. *Process Biochem.* 39, 1491–1494, DOI: 10.1016/S0032-9592(03)00295-4
- [27] Sonakya, V., Raizada, N., Dalhoff, R., Wilderer, P. A. (2003). Elucidation mechanism of organic acids production from organic matter (grass) using digested and partially digested cattle feed. *Water Sci. Technology*. 48, 255–259, DOI: 10.2166/wst.2003.0476
- [28] Lopes, W. (2004). Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste. *Bioresource. Technology*. 94, 261–266, DOI: 10.1016/j.biortech.2004.01.006
- [29] Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 38, 383–392. DOI: 10.1016/j.rser.2014.05.038

Research Article

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

Analysis of Coal Needs in Dryer Unit for Drying NPK Fertilizer at PT AGS Medan

Dimas Frananta Simatupang^{1*)}, Yunianto¹⁾, Erwin Dani Winata Sihalo¹⁾

¹⁾Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan, Teknik Kimia, Indonesia

*correspondence email: difratas@ptki.ac.id

Received: 17/11/2020; Revised: 22/03/2021; Accepted: 22/03/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.7830.11-17

Abstrak

PT. AGS Medan merupakan pabrik yang bergerak dalam produksi pupuk NPK yang salah satu produknya adalah formula 12.12.17 dengan komposisi 12% unsur nitrogen, 12% unsur fosfor dan 17% unsur kalium. Salah satu tahapan dalam proses pembuatan pupuk NPK yaitu proses pengeringan. Jenis *dryer* yang digunakan adalah *rotary dryer* dengan putaran 5 rpm dan kemiringan 20°. Pengering yang digunakan adalah udara panas yang berasal dari pembakaran batu bara jenis *bituminous* di dalam *furnace*. Untuk menentukan jumlah batu bara yang dibutuhkan dalam proses pengeringan pupuk NPK sebagai bahan bakar *furnace* maka diperlukan perhitungan jumlah panas. Pengambilan sampel, analisis kadar air dan suhu serta menghitung panas dengan prinsip neraca massa dilakukan dalam penelitian ini. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan untuk mengeringkan pupuk NPK dengan kapasitas pupuk NPK 7000 kg/jam dibutuhkan energi sebesar 6136268,402 Kkal/jam. Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk mengeringkan pupuk NPK adalah sebesar 789,219 kg/jam.

Kata kunci: batu bara; *dryer*; neraca massa; pupuk NPK

Abstract

PT. AGS Medan is a factory engaged in the production of NPK fertilizer where one of the products is 12.12.17 with a composition of 12% nitrogen, 12% phosphorus and 17% potassium. One of the stages in the process of making NPK fertilizer is the drying process. The type of dryer used is a rotary dryer with a rotation of 5 rpm and a slope of 20°. The dryer used was hot air from burning bituminous coal in furnace. To determine the amount of coal needed in drying process of NPK fertilizer as furnace fuel, it was necessary to calculate the amount of heat. Sampling, analysis of moisture content and temperature then calculating heat with mass balance principles were carried out in this study. Based on the calculations that have been made to dry NPK fertilizer with an NPK fertilizer capacity of 7000 kg/hour, energy was required of 6136268.402 Kcal/hour. The amount of fuel needed to dry NPK fertilizer is 789.219 kg/hour.

Keywords: Coal; Dryer; Mass balance; NPK fertilizer

1. Pendahuluan

Peran batu bara sebagai sumber energi terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun terutama di kawasan Asia misalnya di India, batu bara menjadi sumber yang dominan sebagai penghasil energi [1,2], di Indonesia digunakan sebagai sumber daya untuk energi listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap [3] dan banyak juga ditemukan penggunaannya pada *boiler* sebagai penghasil uap panas [4]. Batu bara telah menjadi pemasok energi kedua terbesar setelah minyak dengan kontribusi 26% dari total konsumsi energi dunia dan diprediksi akan terus meningkat menjadi 29% pada tahun 2030.

Penggunaan batu bara di Indonesia cenderung menggunakan batu bara berjenis *bituminous* dan *subbituminous* yang kualitasnya lebih tinggi dibandingkan batu bara lignit. Batu bara lignit dikenal kurang ekonomis dikarenakan sifatnya yang sangat berbeda tergantung pada asalnya dan juga hanya mengandung 40% komposisi dari total batu bara dan bahan baku yang dipasarkan dengan tingkat keamanan yang tinggi [5,6]. Berdasarkan tingkat kalori, distribusi batu bara di Indonesia yaitu batu bara kalori rendah (<5100 kal/gram) 326,40 miliar ton, kalori sedang (5100-6100 kal/gram) 82,26 miliar ton, kalori tinggi (6100-7100 kal/gram) 8,27 miliar ton dan kalori yang sangat tinggi (>7100 kal/gram) 2,11 miliar ton [7].

Tidak semua batu bara dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk *boiler* tetapi berdasarkan atas HHV (*High Heating Value*). Jika nilai HHV rendah maka akan menghasilkan panas yang relatif rendah setelah terjadi pembakaran sehingga mempengaruhi performa dari *boiler* itu sendiri [8].

PT. AGS Medan merupakan salah satu industri pengolah pupuk NPK yang menggunakan batu bara untuk proses pembakaran dan pengeringan. Pupuk NPK merupakan hasil olahan dari pencampuran bahan-bahan yang sudah ditentukan dengan formulasi tertentu yang kemudian dibentuk menjadi granul dengan cara membasahi bahan-bahan dalam alat *granulator*. Salah satu produk pupuk NPK dari pabrik ini yaitu pupuk NPK formula 12:12:17 yang merupakan pupuk majemuk yang mengandung 3 unsur hara yakni nitrogen 12%, fosfor 12%, dan kalium 17%. Pupuk ini didesain khusus untuk tanaman perkebunan yang mempunyai sistem *gradual release* (keluar secara bertahap) yang cocok untuk tanaman perkebunan khususnya untuk tanaman yang masih dalam pertumbuhan dan belum berbuah. Pemeliharaan tanaman yang optimal akan menentukan pertumbuhan dan produktivitas pada masa tanaman di lapangan. Kultur teknis yang paling utama pada saat pembibitan adalah pemupukan [9].

Untuk proses pengeringan pupuk NPK, PT. AGS Medan menggunakan *rotary dryer* di unit *dryer*. Proses pengeringan adalah proses perpindahan massa air atau pelarut lainnya dari zat padat atau semi padat dengan menggunakan penguapan. Pengeringan merupakan bagian sangat penting dalam kegiatan industri yang memanfaatkan bahan bakar sebagai sumber energi. *Rotary dryer* adalah salah satu jenis mesin pengering yang secara khusus digunakan untuk mengeringkan aneka bahan padatan yang biasanya berbentuk tepung atau granul/butiran [10]. Bahan padatan dimasukkan dari ujung *inlet* melalui *screw conveyor* dan dikeringkan sepanjang tabung/drum yang berputar. Adanya

kemiringan tabung dan sirip-sirip di dalam tabung/drum menyebabkan bahan akan keluar menuju ujung *screw conveyor outlet*. Penggunaan DCS (*Distributed Control System*) bertujuan untuk mengendalikan proses manufaktur secara terus menerus atau *batch-oriented*. DCS adalah suatu sistem kendali terpadu secara otomatis [9]. *Rotary dryer* paling cocok untuk mengeringkan material yang tidak mudah pecah dan tahan terhadap panas serta membutuhkan waktu pengeringan yang cepat. *Rotary dryer* memiliki keunggulan diantaranya dapat mengeringkan baik lapisan luar ataupun dalam dari suatu padatan, proses pencampuran yang baik, memastikan bahwa terjadinya proses pengeringan bahan yang merata, menghasilkan efisiensi panas tinggi dan kesinambungan operasi [11,12].

Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk menentukan banyaknya batu bara yang dibutuhkan untuk mengeringkan pupuk NPK PT AGS Medan menggunakan *rotary dryer firebrick* melalui banyaknya energi panas yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian diawali dengan mengumpulkan data primer dari pabrik PT. AGS Medan tepatnya pada unit *dryer* pada proses pengeringan pupuk NPK formula 12.12.17. Data primer tersebut meliputi laju pupuk yang masuk ke dalam unit *dryer*, temperatur udara dan kadar pupuk NPK yang masuk serta keluar dari unit *dryer*. Pengambilan data primer dilakukan sebanyak lima kali dengan kondisi dan parameter yang sama.

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *rotary dryer* dengan

kecepatan putar 5 rpm dan kemiringan 20°, *moisture analyzer* tipe Ohaus MB45, *Infrared thermometer* non-kontak EM520 dan *furnace*. Bahan yang digunakan sebagai sampel adalah pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *granulator* dan pupuk NPK granular yang keluar dari unit *dryer*.

2.2. Analisis Temperatur Pupuk NPK

Pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *granulator* dan pupuk NPK granular yang keluar dari unit *dryer* selanjutnya ditentukan temperaturnya dengan menembakkan sinar melalui alat *Infrared thermometer* non-kontak EM520 dan dicatat hasilnya.

2.3. Analisis Kadar Air Pupuk NPK

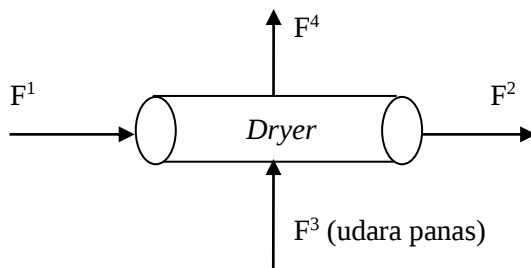
Sampel pertama adalah pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *granulator* diambil secukupnya kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang telah disiapkan. Kemudian sampel kedua adalah pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *dryer* diambil secukupnya kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang telah disiapkan. Masing-masing sampel secara bergantian dimasukkan ke dalam alat *moisture analyzer* sebanyak 5 gram. *Moisture analyzer* ditutup dan ditekan tombol *start* dengan suhu 160 °C. *Moisture analyzer* akan berbunyi setelah 10 menit dan dicatat berapa besar kadar air pada pupuk NPK granular yang tertera pada alat.

2.4. Perhitungan Neraca Massa

Kesetimbangan materi (*neraca massa*) dapat dirumuskan pada sistem konservatif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dengan F^1 merupakan laju pupuk NPK masuk ke *dryer*, F^2 merupakan laju pupuk NPK keluar *dryer*, F^3 merupakan laju udara masuk ke *dryer* dan

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

F^4 merupakan laju udara keluar dari *dryer*. Perhitungan neraca massa seperti pada Gambar 1 digunakan untuk menentukan jumlah pupuk NPK yang keluar dari *dryer* dan menentukan kadar air yang teruapkan.



Gambar 1. Neraca Massa Proses Pengeringan Pupuk NPK Formula 12.12.17

2.5. Penentuan Jumlah Udara Keluar *Dryer*

Untuk menentukan jumlah udara yang keluar dari unit *dryer* pada proses pengeringan pupuk NPK, diawali dengan menentukan debit aliran menggunakan persamaan (1). Kemudian menentukan massa udara dengan persamaan (2).

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(1)$$

dengan Q adalah debit aliran (m^3/jam); A adalah luas penampang (m^2); V adalah kecepatan udara (m/s) [13].

$$M_{\text{udara}} = Q \cdot \rho_{\text{udara}} \dots\dots\dots(2)$$

dengan m_{udara} adalah massa udara (kg/jam); Q adalah debit aliran (m^3/jam) dan ρ_{udara} adalah berat jenis udara (kg/m^3).

Selanjutnya untuk menghitung jumlah udara yang keluar dari unit *dryer* pada proses pengeringan pupuk NPK dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$F^4 = F^3 + A \dots\dots\dots(3)$$

dengan F^4 adalah laju udara yang keluar dari unit *dryer*; F^3 adalah laju udara yang masuk ke unit *dryer* dan A adalah laju air yang teruapkan.

2.6. Penentuan Panas dan Kebutuhan Batu Bara pada *furnace* dalam Pengeringan Pupuk NPK

Sebelum menentukan panas yang digunakan pada proses pengeringan pupuk, terlebih dahulu ditentukan kapasitas panas dari komponen penyusun pupuk NPK formula 12.12.17 dengan metode Goodman [14].

Panas yang digunakan ($Q_{\text{dibutuhkan}}$) dalam proses pengeringan pupuk NPK formula 12.12.17 ditentukan menggunakan persamaan (4)

$$Q_{\text{dibutuhkan}} = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots(4)$$

$Q_{\text{dibutuhkan}} = m_{\text{NPK}} \cdot C_{p\text{NPK}} \cdot \Delta T + m_{\text{vapor}} \cdot \lambda$
 m_{NPK} adalah Berat pupuk NPK masuk ke *dryer* (kg/jam); $C_{p\text{NPK}}$ adalah panas molar NPK pada temperatur 328 K; ΔT adalah selisih suhu NPK masuk dan keluar *dryer* (K); m_{vapor} adalah massa air teruapkan (kg/jam); dan λ adalah nilai *enthalphy of vaporization* Air (kkal/kg).

Selanjutnya untuk menghitung jumlah bahan bakar batu bara yang dibutuhkan (m_{bb}) untuk memanaskan udara pada pengeringan pupuk NPK digunakan persamaan (5).

$$Q_{\text{bahan bakar}} = Q_{\text{dibutuhkan}}$$

$$m_{\text{bb}} \cdot N_{\text{bb}} = Q_{\text{dibutuhkan}} \dots\dots\dots(5)$$

dengan N_{bb} adalah nilai kalor batu bara *sub bitminous* = 7777 kkal/jam [15].

3. Hasil dan Pembahasan

Data primer yang diperoleh langsung dari pabrik sangat penting untuk dapat menentukan kebutuhan batu bara yang digunakan dalam proses pengeringan pupuk NPK formula 12.12.17. Setelah diperoleh data primer maka dilanjutkan pengambilan sampel pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *granulator* dan pupuk NPK granular yang keluar dari unit

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

dryer. Sampel tersebut selanjutnya ditentukan temperatur dan kadar airnya.

Data-data tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Primer, Temperatur dan Kadar Air Pupuk NPK

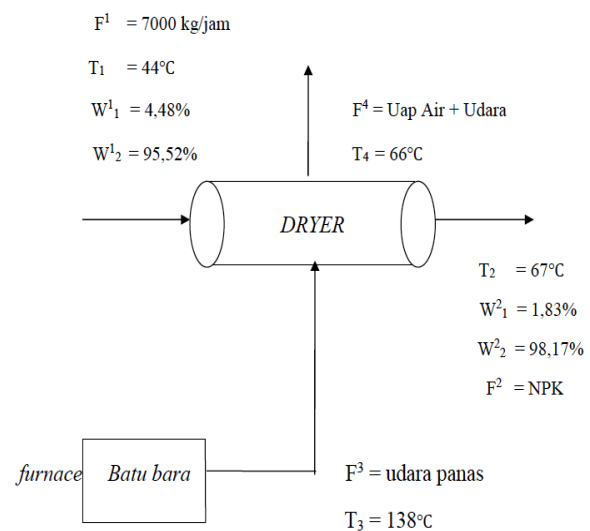
No	Laju Pupuk (kg/jam)	Temperatur Udara (°C)		Temperatur Pupuk NPK (°C)		Kadar Air (%)	
		In	Out	In	Out	In	Out
1	7000	138	67	44	66	4,48	1,83
2	7000	137	64	45	65	4,48	1,82
3	7000	136	66	43	64	4,47	1,86
4	7000	136	67	44	65	4,46	1,84
5	7000	136	66	45	63	4,45	1,83

3.1. Penentuan Jumlah Pupuk NPK yang Keluar dari *Dryer* dan Kadar Air Teruapkan

Prinsip neraca massa digunakan untuk menentukan jumlah pupuk NPK yang keluar dari unit *dryer* dengan sistem konservatif seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dengan T_1 adalah temperatur pupuk NPK masuk ke *dryer* (°C), T_2 adalah temperatur pupuk NPK keluar dari *dryer* (°C), T_3 adalah temperatur udara panas NPK ke *dryer* (°C), T_4 adalah temperatur udara panas NPK keluar dari *dryer* (°C), W^1_1 adalah kadar air pupuk NPK masuk ke *dryer* (%), W^2_1 adalah kadar air pupuk NPK keluar dari *dryer* (%), W^1_2 adalah kadar pupuk NPK masuk ke *dryer* (%), W^2_2 adalah kadar pupuk NPK keluar dari *dryer* (%), F^1 adalah laju pupuk NPK keluar dari *dryer* (kg/jam), F^2 adalah laju pupuk NPK keluar *dryer* (kg/jam) dan F^3 adalah laju udara masuk ke *dryer* (kg/jam).

Berdasarkan pada Gambar 2, untuk menghitung laju pupuk NPK yang keluar dari *dryer* maka digunakan rumus neraca komponen NPK pada persamaan (6).

$$\begin{aligned} F^1 \cdot W^1_2 &= F^2 \cdot W^2_2 \dots\dots\dots(6) \\ F^2 &= 6687,382 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



Gambar 2. Neraca Massa Proses Pengeringan Pupuk NPK

Dari perhitungan neraca komponen NPK diperoleh jumlah NPK yang keluar dari *dryer* sebesar 6687,382 kg/jam. Selanjutnya untuk menghitung kadar air yang teruapkan pada proses pengeringan pupuk NPK pada unit *dryer* dapat dihitung menggunakan rumus neraca massa pada persamaan (7).

$$\begin{aligned} F^4 \cdot W^4_1 &= F^1 \cdot W^1_1 - F^2 \cdot W^2_1 \dots\dots\dots(7) \\ F^4 \cdot W^4_1 &= 190,621 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dari perhitungan neraca komponen jumlah air yang teruapkan diperoleh jumlah air yang teruapkan pada unit *dryer* adalah 190,621 kg/jam.

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan**3.2. Penentuan Laju Udara Keluar dari *Dryer***

Untuk menentukan jumlah udara yang keluar dari unit *dryer* maka ditentukan terlebih dahulu komponennya yaitu debit aliran udara dan massa udara. Melalui perhitungan diperoleh debit aliran Q adalah 12380,141 m³/jam dengan luas penampang sebesar 1,719 m² dan kecepatan udara 2 m/s. Kemudian massa udara diperoleh melalui perhitungan rumus sebesar 10637,512 kg/jam dengan massa jenis udara sebesar 0,8592 kg/m³ melalui interpolasi data pada suhu 125 °C dan 150 °C. Lebih lanjut, laju udara yang keluar dari unit *dryer* ditentukan dengan persamaan (8) yang sesuai pada Gambar 2, sehingga laju udara keluar dari unit *dryer* diperoleh sebesar 10828,133 kg/jam.

$$F^4 = F^3 + F^4 \cdot W^1_4 \dots\dots\dots(8)$$

$$F^4 = 10637,512 \text{ kg/jam} + 190,621 \text{ kg/jam}$$

$$F^4 = 10828,133 \text{ kg/jam}$$

3.3. Jumlah Panas dan Batu Bara pada *furnace* dalam Pengeringan Pupuk NPK

Kapasitas panas dari komponen penyusun pupuk NPK formula 12.12.17

dengan metode *Goodman* [14] ditunjukkan pada Tabel 2 pada temperatur rata-rata 328 K.

Tabel 2. Kapasitas Panas Beberapa Komponen Pupuk NPK

Komponen	Konstanta (A)	Cp.m (Kkal/Kg.K)
CO(NH ₂) ₂	14,099036	0,005542
P ₂ O ₅	7,791104	0,00126786

Kapasitas panas dari komponen penyusun pupuk NPK formula 12.12.17 lainnya seperti KCl pada temperatur yang sama yaitu 328 K adalah sebesar 0,16396972 kkal/kg.K [14]. Kapasitas panas air pada temperatur 44 °C adalah 0,99825178 kkal/kg.K [16]. Dengan demikian maka kapasitas panas untuk pupuk NPK formula 12.12.17 ditentukan dengan persamaan (9), sehingga kapasitas panas total adalah 0,47589419 kkal/kg.K. Selanjutnya jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengeringkan pupuk NPK pada unit *dryer* melalui perhitungan diperoleh sebesar 6136939,939 kkal/jam.

$$C_{pNPK} = C_{pCO(NH_2)_2} \cdot \%CO(NH_2)_2 + C_{pP_2O_5} \cdot \%P_2O_5 + C_{pKCl} \cdot \%KCl + C_{pH_2O} \cdot \%H_2O \dots\dots(9)$$

Tabel 3. Tabulasi Data Jumlah Panas dan Kebutuhan Batu Bara

No	Suhu Pupuk NPK (°C)		Kadar Air (%)		Jumlah Panas	Jumlah bahan bakar
	In	Out	In	Out	Kkal/jam	Kg/jam
1	44	66	4,48	1,83	6136939,939	789,114
2	45	65	4,48	1,82	6135565,430	789,322
3	43	64	4,47	1,86	6136738,650	789,102
4	44	65	4,46	1,84	6136443,760	789,237
5	45	63	4,45	1,83	6135654,230	789,322

Dengan diperolehnya nilai jumlah panas maka dapat ditentukan kebutuhan bahan bakar yang dibutuhkan untuk memanaskan udara dalam proses

pengeringan pupuk NPK formula 12.12.17 yaitu sebesar 789,114 kg/jam. Dengan cara yang sama perhitungan kebutuhan panas dan kebutuhan bahan bakar pada

pengeringan pupuk NPK pada unit *dryer* dilakukan seperti data 2,3,4,5 dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

NPK dengan kapasitas 7000 kg/jam dibutuhkan energi sebesar 6136268,402 Kkal/jam Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk mengeringkan pupuk NPK adalah sebesar 789,219 kg/jam.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan untuk mengeringkan pupuk

Daftar Rujukan

- [1] Vasa, R., Ram, N., A. J. F., & Karthick, P. (2018). Performance analysis of steam turbine in Thermal Power plant, *International Journal of Trendy Research and Engineering and Technology*, 2(3), 33-38. Retrieved from <https://trendytechjournals.com/files/issues/volume2/issue3-8.pdf>
- [2] Srinivas, G. T., Kumar, D. R., Mohan, P. V. V. M., & Rao, B. N. (2017). Efficiency of a Coal Fired Boiler in a Typical Thermal Power Plant. *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2(1), 32. doi: 10.11648/j.ajmie.20170201.15
- [3] Sagaf, M. (2018). Analisis faktor-faktor penyebab perubahan efisiensi boiler jenis pulverized coal fired forced circulation sub-critical pressure menggunakan metode tak langsung. *Teknoin*, 24(2), 147–158. doi: 10.20885/teknoin.vol24.iss2.art5
- [4] Bureska-Joleska, L. (2017). Influence of coal quality to the boiler efficiency and opportunity for its improvement. *Termotehnika*, 43(1–4), 59–65. doi: 10.5937/termoteh1704059b
- [5] Plutecki, Z., Sattler, P., Ryszczuk, K., Duczowska, A., & Anweiler, S. (2020). Thermokinetics of brown coal during a fluidized drying process. *Energies*, 13(3), 24–26. doi: 10.3390/en13030684
- [6] Pusat, S., & Erdem, H. H. (2017). Drying characteristics of coarse low-rank-coal particles in a fixed-bed dryer. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 37(6), 303–313. doi: 10.1080/19392699.2016.1179638
- [7] Rahman, R., Widodo, S., Azikin, B., & Tahir, D. (2019). Chemical composition and physical characteristics of coal and mangrove wood as alternative fuel. *Journal of Physics: Conference Series*, 1341(5). doi: 10.1088/1742-6596/1341/5/052008
- [8] Solahuddin, M. I. (2018). Analisis Pengaruh Perbedaan Nilai HHV (High Heating Value) Batubara Terhadap Gas Hasil Pembakaran pada Boiler. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, 2(2), 30–34. doi: 10.31543/jtm.v2i2.157
- [9] Medan, P. A. (2017). *Katalog PT AGS Medan*.
- [10] Huang, Z. G., Weng, Y. X., Fu, N., Fu, Z. Q., Li, D., & Chen, X. D. (2016). Modeling and Simulation of a Co-current Rotary Dryer. *International Journal of Food Engineering*, 12(2), 189–194. doi: 10.1515/ijfe-2015-0159
- [11] Simanjuntak, M. E., Prabowo, Widodo, W. A., Sutrisno, & Sitorus, M. B. H. (2019). Experimental and numerical study of coal swirl fluidized bed drying on 100 angle of guide vane. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(11), 5499–5505. doi: 10.1007/s12206-019-1042-2
- [12] Zainullin, L. A., Karelin, V. G., Artov, D. A., Epishin, A. Y., & Spirin, N. A. (2017). Drying of Coal by a Solid Heat-Transfer Medium. *Metallurgist*, 60(9–10), 912–915. doi: 10.1007/s11015-017-0385-0
- [13] Asdak, C. (1995). *Hidrologi Pengolahan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- [14] Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (Eight.). New York: McGraw-Hill.
- [15] Dwi, R. C. (2008). *Studi Perbaikan Kualitas Tegangan dan RugiRugi Daya pada Penyulang Pupur dan Bedak Menggunakan Bank Kapasitor, Trafo pengubah Tap dan Penggantian Kabel Penyulang*. Universitas Indonesia.
- [16] Reklaitis, G. V. (1983). *Introduction to Material and Energy Balances*. USA: John &Wiley & Sons, Inc.

Research Article

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson

Modelling and Simulation Natural Gas Liquefaction with Peng Robinson Equation of State

Lidya Elizabeth^{1*)}, Okky Indra Putra²⁾, Marthen Luther Doko²⁾

¹⁾Politeknik Negeri Bandung, D3 Teknik Kimia, Indonesia

²⁾Institut Teknologi Nasional Bandung, Teknik Kimia, Indonesia

*correspondence email: lidya.elizabeth@polban.ac.id

Received: 12/01/2021; Revised: 24/03/2021; Accepted: 07/04/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.8316.18-30

Abstrak

Gas alam merupakan energi yang ramah lingkungan dibandingkan batu bara dan minyak bumi. Pencairan gas alam memudahkan pengangkutan pada jarak jauh. Tujuan pemodelan dan simulasi pencairan gas alam ini yaitu mengetahui pengaruh temperatur dan tekanan pada masukan kompresor. Simulasi dilakukan secara statis dan dinamis. Metode simulasi pencairan gas alam menggunakan perangkat Matlab dengan persamaan keadaan Peng Robinson dan aturan campuran (*mixing rules*). Pemodelan statis dilakukan pada temperatur masukan gas alam 298 K dan tekanan 20 atm. Hasil simulasi menunjukkan gas alam mengalami pencairan pada siklus kedua. Temperatur gas alam siklus pertama mencapai 182 K sedangkan kedua 112 K. Pemodelan dinamis memvariasikan temperatur masukan kompresor pada komposisi gas alam tetap dan variasi komposisi gas metana pada temperatur masukan kompresor tetap. Hasil menunjukkan semakin tinggi temperatur masukan kompresor, semakin tinggi temperatur keluaran kompresor akhir dan *throttling valve*. Pada variasi komposisi gas metana, semakin besar komposisi gas metana maka semakin rendah suhu keluaran kompresor.

Kata kunci: gas alam; LNG; pemodelan; persamaan Peng Robinson; simulasi

Abstract

Natural gas is environmentally friendly energy compared with coal and petroleum. Natural gas liquefaction is carried out to facilitate transportation over long distances. The objective of modelling and simulation natural gas liquefaction was to determine the effect of temperature and pressure on compressor inlet. Simulations were carried out both static and dynamic. The simulation method uses Matlab instrument with Peng Robinson equation of state and mixing rules. Static modelling carried out at inlet natural gas temperature 298 K and pressure 20 atm. The simulation results showed that natural gas liquefied in the second cycle. The temperature of natural gas in the first cycle reached 182 K while second cycle 112 K. Dynamic modelling carried out by varying the compressor inlet temperature with fixed natural gas composition and composition of methane gas variation at fixed compressor inlet temperature. The results showed that the higher compressor inlet temperature, the higher outlet temperature of final compressor and *throttling valve*. Meanwhile, in the variation of methane gas composition, the higher methane gas composition, the lower compressor outlet temperature.

Keywords: LNG; modelling; natural gas; Peng Robinson equation; simulation

1. Pendahuluan

Bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam diproyeksikan akan terus memenuhi 75% kebutuhan konsumsi energi global sampai tahun 2040 [1]. Pada tahun 2018, produksi minyak bumi 38,44 juta ton, batu bara 557,77 juta ton dan gas alam 68,26 juta ton [2]. Batu bara merupakan sumber energi fosil yang jumlahnya terbanyak, tetapi gas alam relatif lebih ramah lingkungan. Sedangkan minyak bumi yang jumlahnya lebih sedikit dari gas alam, harganya cenderung tidak stabil. Oleh karena itu, gas alam merupakan salah satu sumber energi yang sangat menjanjikan.

Gas alam merupakan salah satu sumber energi ataupun bahan baku pada proses produksi. Misalnya saja sebagai bahan bakar *boiler* di furnace, reformer, bahan baku produksi amoniak, metanol dan sebagainya [3]. Gas alam berharga murah, ramah lingkungan, aman dan sumber energi yang bermanfaat dibandingkan bahan bakar lainnya, serta mengeluarkan produk samping yang lebih sedikit saat dibakar [4]. Gas alam juga merupakan sumber energi yang sangat efisien untuk dikonversi menjadi energi pembangkit listrik [5].

Gas alam terdiri dari gas-gas hidrokarbon (C_nH_{2n+2}) dengan penyusun utama gas metana. Selain itu gas alam juga mengandung etana, propana, butana, pentana dan gas-gas yang mengandung sulfur. Pada keadaan murni, gas alam tidak berwarna, tidak berbentuk dan tidak berbau [6]. Gas alam yang berasal dari Indonesia diolah menjadi produk LNG (*liquefied natural gas*) dan LPG (*liquefied petroleum gas*). Dua produk tersebut adalah bahan bakar utama perindustrian seperti petrokimia dan rumah tangga. Sisa dari pencairan gas alam ini berupa kondensat [7].

Gas alam memiliki beberapa gas pengotor diantaranya CO_2 , H_2S dan merkaptan. Gas alam mentah mengandung CO_2 sekitar 20%-mol yang membuat gas alam tidak ekonomis [8]. Gas CO_2 tidak diinginkan karena mengandung racun pada katalis untuk sintesis amoniak dan metanol, mengurangi nilai bakar dari gas alam serta dapat menjadi padat (*icing*) saat proses pencairan gas alam [3]. Berbagai teknologi pemisahan CO_2 dari gas alam seperti absorpsi fisik dan kimia, pemisahan kriogenik dan pemisahan membran dilakukan agar dapat memenuhi kriteria transpor perpipaan dan atau proses likuifaksi untuk LNG [8].

Pada jarak dekat, gas alam ditransportasikan melalui perpipaan. Sedangkan untuk jarak jauh, gas alam ditransportasikan melalui lautan dalam bentuk *liquefied natural gas* (LNG) menggunakan tanki-tanki LNG yang terinsulasi kriogenik [9]. Ada berbagai cara untuk mengolah sumber gas alam tergantung dari lokasi, jumlah dan kualitasnya. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa transportasi gas alam melalui perpipaan tidak ekonomis atau tidak layak ketika jaraknya lebih dari 200 km [10]. Gas alam diubah fasanya menjadi *liquified natural gas* (LNG) untuk memudahkan penyimpanan dan pendistribusian pada jarak jauh. Kemudian LNG dipanaskan dan dilakukan regasifikasi menjadi fasa gas kembali untuk permintaan sampai pada pelanggan [11]. Pemisahan LNG dari sumber gas alam dilakukan berdasarkan prinsip absorpsi, ekspansi Joule-Thompson (JT), refrigerasi eksternal atau ekspansi turbo. Pada banyak kasus, kombinasi dari operasi-operasi ini dapat meningkatkan efisiensi energi dan jumlah produk. Pemilihan proses bergantung dari banyak faktor seperti komposisi gas, target

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson

kandungan panas gas serta kemampuan untuk meningkatkan jumlah produk sesuai spesifikasi yang diinginkan [1].

Likuifaksi gas alam dilakukan dalam kondisi kriogenik. Batasan kondisi kriogenik yaitu temperatur didih metana sekitar $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ (111 K) pada tekanan atmosfer (101,325 kPa). Metana adalah komponen utama LNG yaitu sekitar 90% pada *heavy* LNG dan 95% pada *light* LNG. Hal ini yang menyebabkan temperatur didih LNG mendekati temperatur didih metana murni [12].

Selama proses likuifaksi, volume gas alam berkurang dengan rasio 1/600. Pada kondisi ini, *liquefied natural gas* (LNG) dapat ditransportasikan dengan kapal-kapal dan disimpan di dalam tanki penyimpanan. Proses selanjutnya, LNG dipompa pada tekanan yang diinginkan dan diubah menjadi fasa uap. Fasa uap dari gas alam ini ditransfer ke dalam sistem perpipaan. Produksi LNG merupakan proses yang mengkonsumsi energi cukup besar [12]. LNG ini merupakan bahan bakar kriogenik yang memiliki perbedaan temperatur yang cukup besar dengan lingkungan luarnya. Pada saat pemakaian, berdasarkan faktor lingkungan dan kondisi operasinya, LNG akan berubah menjadi gas secara bertahap serta menjadi BOG yang terapung (*boil off gas*) pada bagian atas dari tanki penyimpanan. Hal ini akan meningkatkan tekanan dari tanki penyimpanan [13]. Sejumlah energi dikonsumsi pada pabrik LNG untuk melikuifaksi gas alam. Ketika regasifikasi LNG dilakukan, sejumlah besar energi yang disebut energi ‘cold’ atau kriogenik’ dilepaskan [14].

Proses pencairan gas alam menjadi LNG dioperasikan pada tekanan yang lebih tinggi dan temperatur lebih rendah dibandingkan proses pengolahan gas alam lainnya. Oleh karena itu, tercapainya

efisiensi energi dan keamanan proses sangat penting dilakukan [15]. Berdasarkan kondisi gas bumi dan spesifikasi produk LNG, proses pencairan gas bumi pada kilang LNG terdiri dari pemisahan gas CO_2 , pemisahan air, pemisahan hidrokarbon berat dan pencairan gas bumi [16].

Adapun tujuan simulasi proses pencairan gas alam adalah mengetahui pengaruh parameter fisik, terutama temperatur dan tekanan proses. Pembuatan simulasi dan pemodelan pencairan gas alam dengan perangkat Matlab ini memungkinkan pembelajaran likuifaksi gas alam secara komprehensif. Keuntungan simulasi ini dalam penggunaan *software* matlab yaitu kegagalan/*error* simulasi dapat ditelusuri dengan detail pada perangkat Matlab (karena persamaan perhitungan disusun sendiri), sedangkan pada perangkat lainnya, perhitungan persamaan keadaan Peng Robinson dan lainnya sudah terpasang sehingga sulit ditelusuri bagian mana dan mengapa *error* terjadi.

2. Metode Penelitian

Simulasi pencairan gas alam dilakukan dengan perangkat lunak Matlab. Sebelum program dijalankan, beberapa data yang perlu dimasukkan diantaranya:

- konstanta tetap proses seperti R (konstanta persamaan gas), P_c (tekanan kritis tiap komponen gas), T_c (temperature kritis tiap komponen gas), ω (nilai asentrik tiap komponen gas), dan A, B, C, D (konstanta dari persamaan kapasitas panas).
- nilai kondisi proses meliputi T1 (suhu masukan kompresor), P_1 (tekanan masukan kompresor) dan x (konsentrasi tiap komponen gas).

Gas alam terdiri dari berbagai campuran gas dengan karakteristik yang berbeda. Karakteristik yang menjadi

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson

parameter utama dalam pemodelan pencairan gas alam adalah temperatur dan tekanan. Pemodelan pencairan gas alam dilakukan dengan prinsip siklus likuifaksi dengan metode yang didasarkan atas persamaan keadaan Peng Robinson dan aturan campuran (*mixing rules*). Persamaan keadaan Peng Robinson dipilih karena adanya persamaan ‘kubik’ yang dibutuhkan dan dapat merepresentasikan sistem termodinamika berupa fasa cair dan uap. Hal ini ditunjukkan dengan adanya parameter tambahan yaitu faktor asentrik (ω) [17]. Metode yang digunakan untuk

penghitungan iterasi menggunakan metode *Newton Raphson*.

Persamaan keadaan Peng Robinson dalam bentuk fungsi dari faktor kompresibilitas, yaitu pada persamaan (1). Menurut Sandler [18], persamaan entalpi residu dan entropi residu untuk persamaan keadaan Peng-Robinson disusun ulang seperti pada persamaan (2). Sedangkan menurut Kyle [19], persamaan residu untuk entalpi dan entropi disederhanakan menjadi pada persamaan (3).

$$Z^3 - \left(\frac{bP}{RT} - 1\right)Z^2 - \left(\frac{\alpha a P}{R^2 T^2} - 3\frac{b^2 P^2}{R^2 T^2} - 2\frac{bP}{RT}\right)Z - \left(\frac{\alpha ab P^2}{R^3 T^3} - \frac{b^2 P^2}{R^2 T^2} - \frac{b^3 P^3}{R^3 T^3}\right) = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$H^R = H - H^{ig} = (Z - 1)RT + \frac{T\left(\frac{da}{dT}\right) - a}{2\sqrt{2}b} \ln \frac{Z + (1 + \sqrt{2})B}{Z + (1 - \sqrt{2})B} \dots\dots\dots(2a)$$

$$S^R = S - S^{ig} = R \ln(Z - B) + \frac{\left(\frac{da}{dT}\right)}{2\sqrt{2}b} \ln \frac{Z + (1 + \sqrt{2})B}{Z + (1 - \sqrt{2})B} \dots\dots\dots(2b)$$

$$S^R = S - S^{ig} = R \left[\ln(Z - B) - 2,078 \left(\frac{1 + \kappa}{\sqrt{T_r}} - \kappa \right) \sqrt{\alpha} \ln \frac{Z + (1 + \sqrt{2})B}{Z + (1 - \sqrt{2})B} \right] \dots\dots\dots(3a)$$

$$H^R = H - H^{ig} = RT_c \left[(Z - 1)T_r - 2,078(1 + \kappa) \sqrt{\alpha} \ln \frac{Z + (1 + \sqrt{2})B}{Z + (1 - \sqrt{2})B} \right] \dots\dots\dots(3b)$$

Untuk campuran gas, nilai parameter persamaan keadaan Peng Robinson menjadi seperti pada persamaan (4) dan (5). Komposisi gas alam yang digunakan pada simulasi ini disajikan pada Tabel 1.

$$a_m = \sum_i \sum_j y_i y_j (a_i a_j)^{0.5} (1 - \bar{k}_{ij}) \dots\dots\dots(4)$$

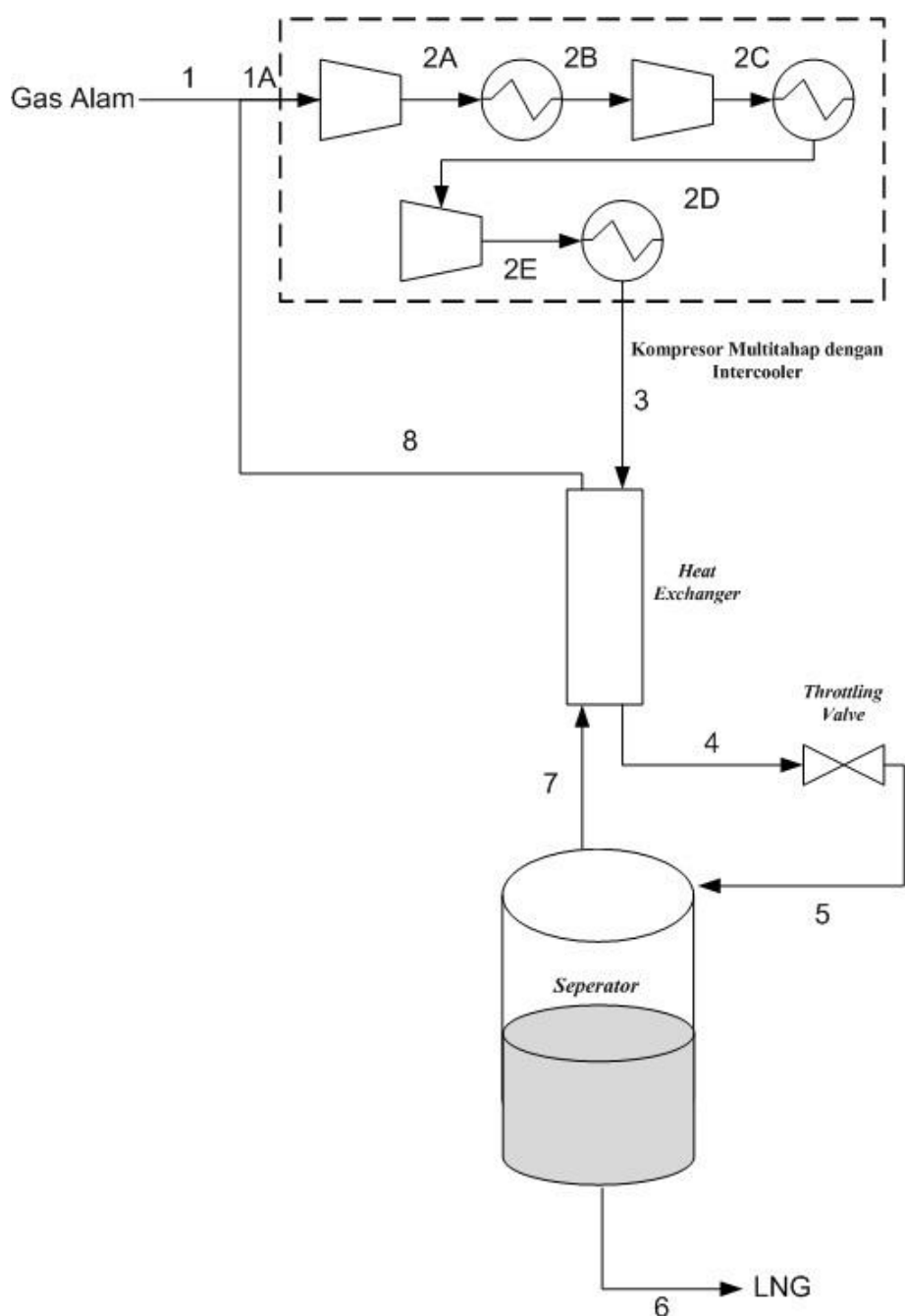
$$b_m = \sum_i y_i b_i \dots\dots\dots(5)$$

Simulasi pencairan gas alam dilakukan menggunakan metode *Ekspansi Joule-Thompson*. Metode ini melibatkan tiga alat utama yang menjadi fokus pada pencairan gas alam yaitu kompresor, unit *heat exchanger* dan *throttling valve*. Skema pencairan gas alam disajikan pada Gambar 1. Adapun tahapan simulasi pencairan gas alam disajikan pada Gambar 2-5.

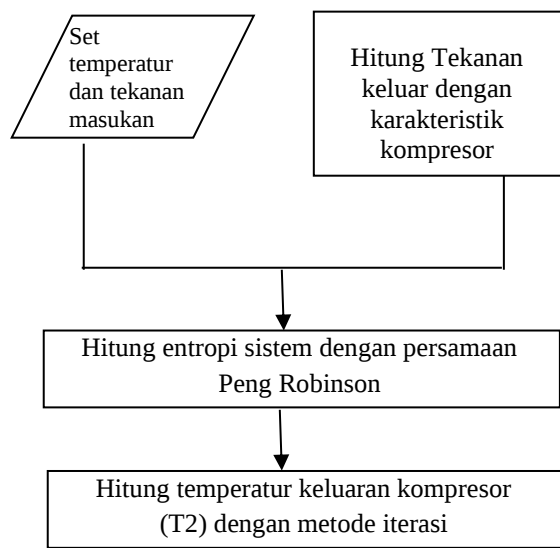
Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson**Tabel 1** Komposisi Gas Alam

No	Senyawa	Komposisi (%-mol)		
		Acuan ^[20]	Contoh ^[20]	Penelitian ini
1	metana	min.63	71,161	81,54
2	etana	max.10	9,245	6,62
3	propana	max.5	8,723	6,21
4	iso-butana	max.10	1,3705	1,64
5	n-butana		1,805	2,42
6	iso-Pentana	max.2	0,4083	0,88
7	n-Pentana		0,3156	0,6
8	heksana		0,3078	0,09

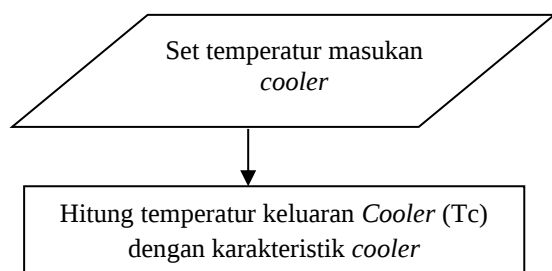
sumber: Khairunisa dkk. [20]

**Gambar 1.** Skema Pencairan Gas Alam

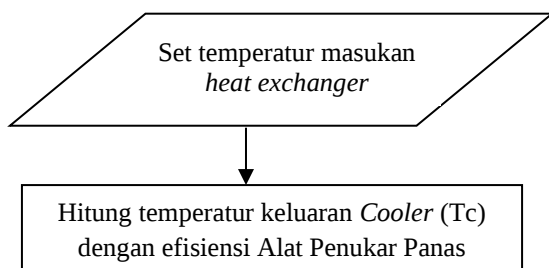
Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson



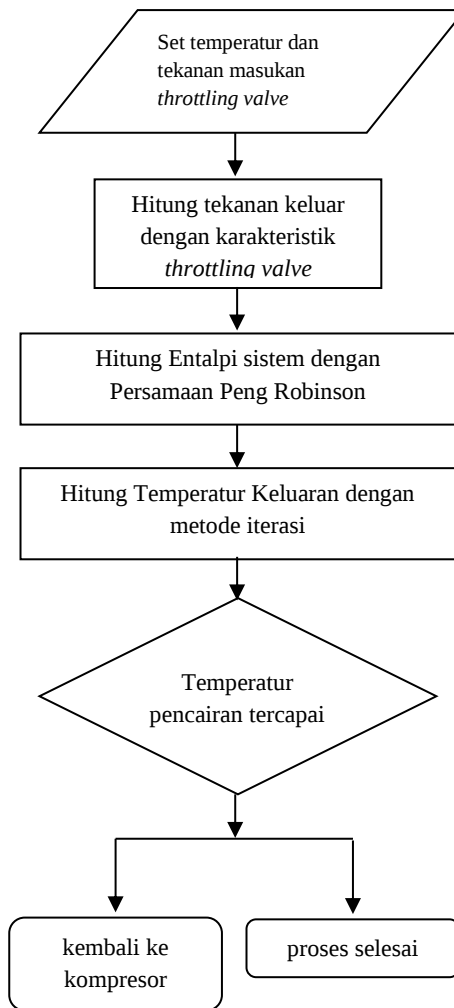
Gambar 2. Diagram Alir Perhitungan Proses dari 1A ke 2E



Gambar 3. Diagram Alir Perhitungan proses dari 2E ke 3



Gambar 4. Diagram Alir Perhitungan Proses dari 3 ke 4



Gambar 5. Diagram Alir Perhitungan Proses pada *throttling valve*

Pada proses pemrograman, nilai *Tout heat exchanger* (T4) pada siklus 1 telah ditentukan yaitu sama dengan nilai T1 (temperatur masuk kompresor 1). Nilai tersebut disajikan pada Tabel 2. Sedangkan rasio kompresor pada proses pemrograman ini adalah 2:2:3 dari kompresor 1 sampai 3. Data tekanan (Pout) target disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2 Temperatur pada T1 dan T4

Run	T1 (Kelvin)	T4 (Kelvin)
1	277	277
2	283	283
3	288	288
4	293	293
5	298	298

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson

Tabel 3 Tekanan pada kompresor

Tekanan	Nilai (atm)
P1A	20
P2A	40
P2C	80
P2E	240

3. Rancangan Simulasi

Secara umum, rancangan simulasi pencairan gas alam ini didasarkan pada persamaan neraca energi. Persamaan neraca energi yang digunakan berupa neraca entropi dan entalpi untuk mendapatkan suhu keluaran dari masing-masing alat, dari awal proses pada kompresor, sampai akhir proses pada *throttling valve*. Berikut penguraian fungsi entropi dan entalpi tersebut berdasarkan persamaan keadaan gas nyata Peng Robinson.

- Fungsi entropi

Fungsi entropi dapat ditulis sebagai

$$F(T) = \Delta S = S_2^R + \Delta S_{\text{Sig}} - S_1^R \dots\dots\dots(6)$$

Smith dkk. [21]

Apabila diuraikan, persamaan (6) ini menjadi

$$F(T)_{\text{entropi}} = \frac{S_2^R}{R} + \frac{1}{R} \int_{T_1}^T \frac{C_p^{\text{ig}}}{T} dT - \ln \frac{P_2}{P_1} - \frac{S_1^R}{R} = 0$$

.....(7) Smith dkk. [21]

Dari persamaan (7) nilai yang sudah bisa ditentukan adalah $\frac{S_1^R}{R}$ (disebut F1) dan $\ln \frac{P_2}{P_1}$ (disebut F2) sedangkan $\frac{S_2^R}{R}$ dan $\frac{1}{R} \int_{T_1}^T \frac{C_p}{T} dT$ yang merupakan fungsi temperatur dianggap sebagai subfungsi yaitu FT1 dan FT2. Dari persamaan (7) dibagi menjadi:

$$FT1 = \frac{S_2^R}{R}$$

$$FT2 = \frac{1}{R} \int_{T_1}^T \frac{C_p^{\text{ig}}}{T} dT$$

$$F2 = \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$F1 = \frac{S_1^R}{R}$$

Persamaan entropi keseluruhan menjadi $F(T) = FT1 + FT2 - F2 - F1$. Masing-masing fungsi ini diuraikan lebih rinci pada persamaan (8). Nilai FT1 ditentukan berdasarkan persamaan entropi residual.

$$F(T)_{\text{entropi}} = \ln \left(Z - \frac{B_1}{T} \right) - \left(\frac{D_1}{\sqrt{T}} - D_2 + D_3 \sqrt{T} \right) \ln \frac{ZT + 2,4142B_1}{ZT - 0,4142B_1} + a_0 \ln T + a_1 T + \frac{a_2}{2} T^2 + \frac{a_3}{3} T^3 - C_{pa} - F_1 - F_2 \dots\dots\dots(8)$$

Fungsi entropi sebagai fungsi temperatur di atas digunakan untuk menghitung suhu keluaran kompresor dengan cara iterasi fungsi entropi dan fungsi Z (faktor kompresibilitas) persamaan keadaan gas nyata Peng Robinson.

- Fungsi Entalpi

Fungsi entalpi pada simulasi pencairan gas alam dipakai untuk menghitung suhu keluaran dari kompresor dan *throttling valve*. Secara umum fungsi entalpi dapat ditulis

$$F(T) = \frac{H_2^{\text{ig}}}{R} + \frac{H_2^R}{R} - \frac{H_1^R}{R} \dots\dots\dots(9)$$

Smith dkk. [21]

Apabila diuraikan persamaan (9) menjadi

$$F(T) = \frac{1}{R} \int_{T_1}^T C_p^{\text{ig}} dT + \frac{H_2^R}{R} - \frac{H_1^R}{R} \dots\dots\dots(10)$$

Smith dkk. [21]

Nilai yang sudah bisa ditentukan adalah $\frac{H_1^R}{R}$ yang selanjutnya akan dianggap konstanta, F3 sedangkan $\frac{H_2^{\text{ig}}}{R}$ dan $\frac{H_2^R}{R}$ yang merupakan fungsi temperatur dianggap sebagai subfungsi yaitu FT3 dan FT4. Fungsi FT3 merupakan fungsi $\frac{H_2^{\text{ig}}}{R}$. Apabila dijabarkan, persamaannya dapat ditulis menjadi

$$\frac{H_2^{\text{ig}}}{R} = \frac{1}{R} \int_{T_1}^T C_p^{\text{ig}} dT \dots\dots\dots(11)$$

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson

C_p^{ig} merupakan fungsi temperatur yang dinyatakan sebagai:

$$C_p^{ig} = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Kemudian untuk suatu campuran

berlaku: $C_{p_{mix}}^{ig}$

$$\begin{aligned} C_{p_{mix}}^{ig} &= \sum x_i C_{p_i}^{ig} \\ &= \sum x_i (A + BT + CT^2 + DT^3) \\ &= \sum x_i A + \sum x_i BT \\ &\quad + \sum x_i CT^2 + \sum x_i DT^3 \\ &= \sum x_i A + T \sum x_i B \\ &\quad + T^2 \sum x_i C + T^3 \sum x_i D \\ &= a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 \end{aligned}$$

dengan

$$a_0 = \sum x_i A,$$

$$a_1 = \sum x_i B,$$

$$a_2 = \sum x_i C, \text{ dan}$$

$$a_3 = \sum x_i D$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{R} \int_{T_1}^T C_p^{ig} dT &= \int_{T_1}^T (a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3) dT \\ &= a_0 T + \frac{a_1}{2} T^2 + \frac{a_2}{3} T^3 + \frac{a_3}{4} T^4 - C_{pb} \end{aligned}$$

dengan $C_{pb} = a_0 T_1 + \frac{a_1}{2} T_1^2 + \frac{a_2}{3} T_1^3 + \frac{a_3}{4} T_1^4$

Fungsi FT4 merupakan fungsi $\frac{H_2^R}{R}$.

Nilai $\frac{H_2^R}{R}$ dijabarkan menjadi

$$\begin{aligned} \frac{H^R}{R} &= T_c (Z - 1) T_r - 2,078 T_c (1 + \kappa) \sqrt{\alpha} \ln \frac{Z + (1 + \sqrt{2})B}{Z + (1 - \sqrt{2})B} \dots\dots(11) \end{aligned}$$

dengan nilai konstanta B pada Persamaan Keadaan Peng Robinson yaitu:

$$B = 0,0778 \frac{P_r}{T_r} = 0,0778 \frac{P_r}{T_c} T_c,$$

misal $B_1 = 0,0778 P_r T_c$, sehingga: $B = \frac{B_1}{T}$

$$T_c (Z - 1) T_r = T_c (Z - 1) \frac{T}{T_c} = (Z - 1) T$$

$$\begin{aligned} T_c 2,078 (1 + \kappa) \sqrt{\alpha} &= T_c 2,078 (1 + \kappa) (1 + \kappa - \kappa \sqrt{T_r}) \\ &= T_c 2,078 (1 + \kappa)^2 - \frac{T_c 2,078 (1 + \kappa) \kappa}{\sqrt{T_c}} \sqrt{T} \dots\dots(12) \end{aligned}$$

Misal:

$$V_1 = T_c 2,078 (1 + \kappa)^2 \text{ dan}$$

$$V_2 = \frac{T_c 2,078 (1 + \kappa) \kappa}{\sqrt{T_c}}, \text{ maka:}$$

$$T_c 2,078 (1 + \kappa) \sqrt{\alpha} = V_1 - V_2 \sqrt{T}$$

Dari penguraian di atas maka persamaan (12) disusun ulang menjadi

$$\frac{H^R}{R} = (Z - 1) T - (V_1 - V_2 \sqrt{T}) \ln \frac{Z + 2,4142 \frac{B_1}{T}}{Z - 0,4142 \frac{B_1}{T}} \dots\dots(13)$$

$$\frac{H^R}{R} = (Z - 1) T - (V_1 - V_2 \sqrt{T}) \ln \frac{ZT + 2,4142 B_1}{ZT - 0,4142 B_1} \dots\dots(14)$$

Konstanta F3 merupakan konstanta $\frac{H_1^R}{R}$ yang nilainya dihitung dengan persamaan (14) dengan nilai T adalah temperatur awal. Dari penurunan fungsi F3, FT3 dan FT4 maka dari persamaan entropi disusun ulang fungsi keseluruhan menjadi persamaan (15).

$$\begin{aligned} F(T)_{\text{entropi}} &= a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + (Z - 1) - (V_1 - V_2 \sqrt{T}) \frac{-2,8284 B_1 Z}{Z^2 T^2 + 2 Z B_1 T - B_1^2} \\ &\quad + \frac{-V_2}{2 \sqrt{T}} \ln \frac{ZT + 2,4142 B_1}{ZT - 0,4142 B_1} \dots\dots\dots(15) \end{aligned}$$

4. Hasil dan Pembahasan

Simulasi pencairan gas alam dengan bahasa pemrograman matlab dilakukan dengan menguraikan tahapan perhitungan persamaan termodinamika pada masing-masing alat. Perhitungan tersebut dibuat dalam bentuk fungsi-fungsi matlab satu per satu secara bertahap dari kompresor sampai *throttling valve*. Simulasi yang dijalankan telah berhasil menunjukkan pencairan gas

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson

alam dengan menggunakan pemodelan statis. Pemodelan statis ini menggunakan hukum termodinamika untuk menghitung keadaan gas alam keluaran dari proses di setiap tahap operasi. Pemodelan statis ini menggunakan temperatur masukan gas alam 298 K dan tekanan 20 atm.

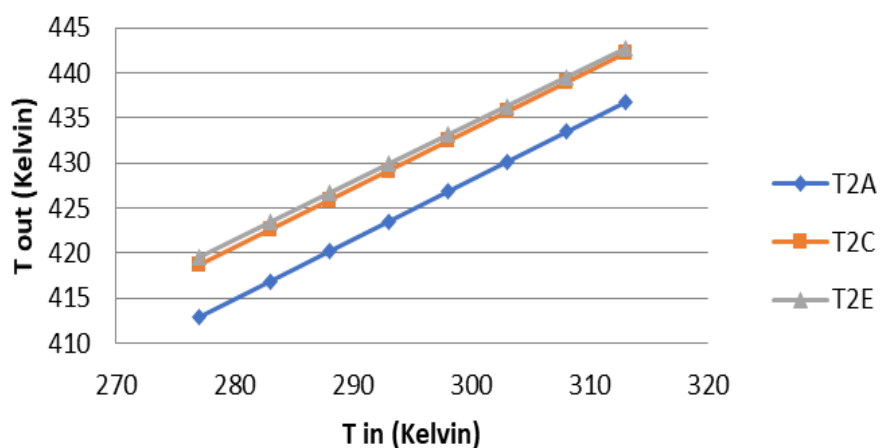
Hasil simulasi dengan model statis menunjukkan bahwa gas alam mengalami pencairan pada siklus kedua. Siklus pertama hanya menurunkan temperatur gas alam sampai temperatur 182 K. Pada siklus kedua, temperatur telah turun sampai melewati temperatur pencairan gas alam yaitu 112 K.

Setelah simulasi dengan pemodelan statis berhasil, dilanjutkan dengan pemodelan dinamis dengan menggunakan variasi temperatur masukan kompresor pada komposisi gas alam tetap dan variasi komposisi gas metana pada temperatur masuk kompresor tetap. Hasil simulasi disajikan dalam beberapa grafik untuk menunjukkan pengaruh temperatur masukan dan komposisi gas metana pada pemodelan.

Kurva pada Gambar 6 dan 7 menunjukkan bahwa pada *multistage* kompresor, kenaikan temperatur akan bertambah dari satu kompresor ke kompresor berikutnya dikarenakan adanya

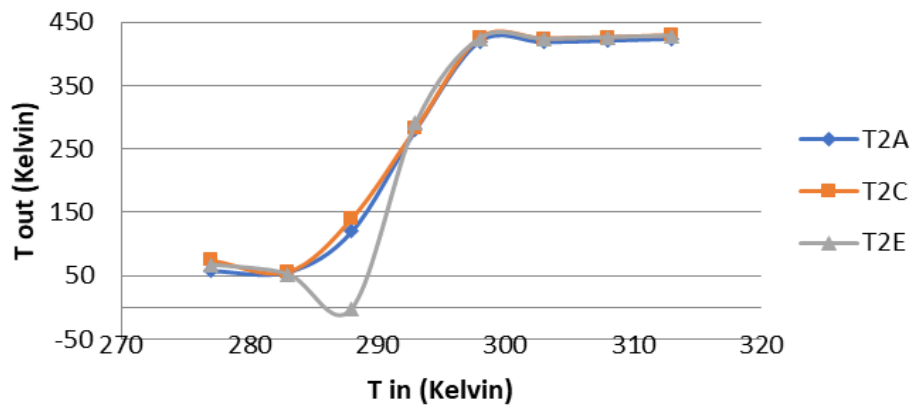
peningkatan tekanan. Temperatur pada keluaran kompresor 1 (T2A) meningkat seiring dengan kenaikan temperatur masukan kompresor baik pada siklus 1 maupun siklus 2. Namun pada siklus kedua terjadi sedikit penyimpangan perubahan temperatur yaitu pada temperatur keluaran kompresor 3 (T2E). Hal ini dapat disebabkan oleh kurang akuratnya data K_i (konstanta kesetimbangan) sehingga perubahan temperatur yang signifikan menyebabkan penyimpangan pada hasil perhitungan program.

Salah satu hal yang ingin dicapai pada proses desain dan operasi pencairan gas alam adalah meminimalisasi konsumsi energi pada kompresor. Hasil simulasi pencairan gas alam dengan empat *stage* kompresor memberikan hasil kisaran daya kompresor 200-438 kW [22]. Sedangkan simulasi dan pemodelan pencairan gas alam pada penelitian ini menghasilkan daya kompresor pada kisaran 200-350 kW dengan tiga *stage* kompresor (disajikan pada Gambar 8). Penelitian ini memungkinkan proses yang lebih efektif tetapi perlu dilakukan validasi data serta kajian lebih dalam karena kondisi simulasi dan jenis program yang digunakan berbeda.

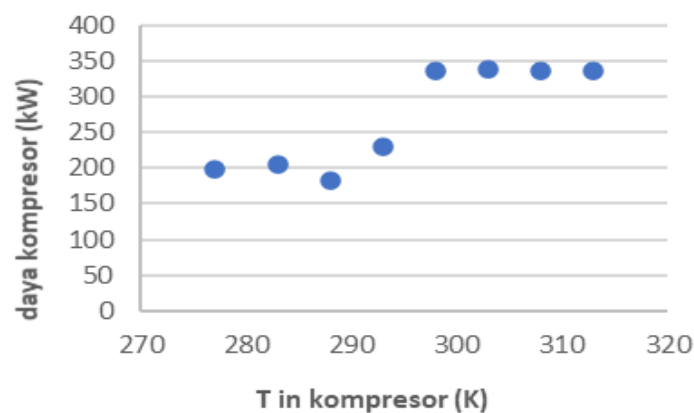


Gambar 6. Kurva Tin dengan Tout kompresor (siklus 1)

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson



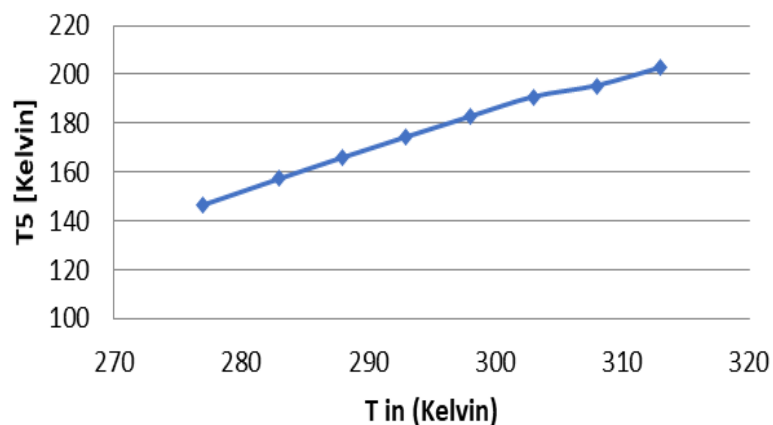
Gambar 7. Kurva Tin dengan Tout kompresor (siklus 2)



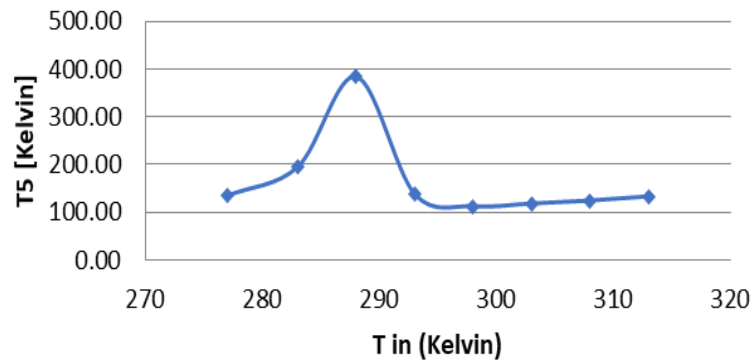
Gambar 8. Kurva Tin kompresor dengan daya kompresor

Pada Gambar 9 dan 10 terlihat bahwa T5 (temperatur keluaran *throttling valve*) bernilai semakin besar dengan adanya peningkatan Tin kompresor. Namun, ada penyimpangan pada siklus 2 yang cukup ekstrim yaitu pada suhu Tin kompresor 288 K, suhu T5 (suhu keluaran *throttling valve*) yang malah meningkat sampai 384,5 K.

Penyimpangan ini dapat disebabkan karena faktor kompresibilitas gas nyata Peng Robinson merupakan persamaan pangkat tiga yang memiliki nilai akar-akar yang bervariasi dan membuat perhitungan program menjadi sensitif.

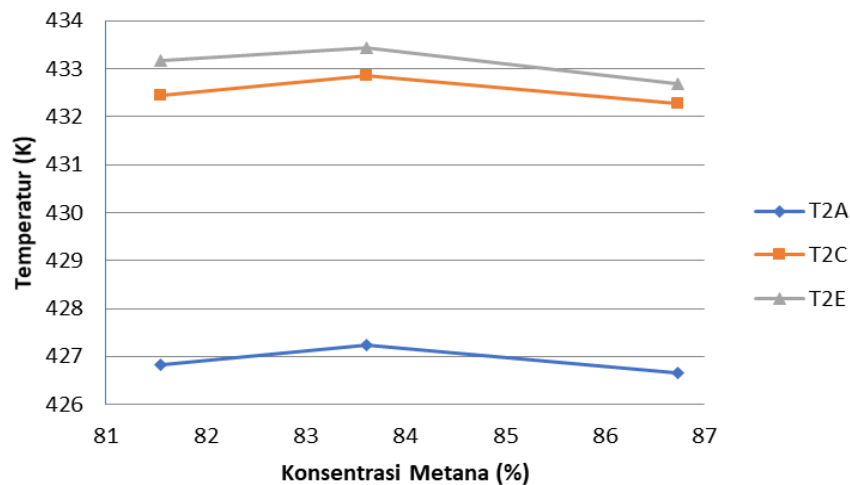
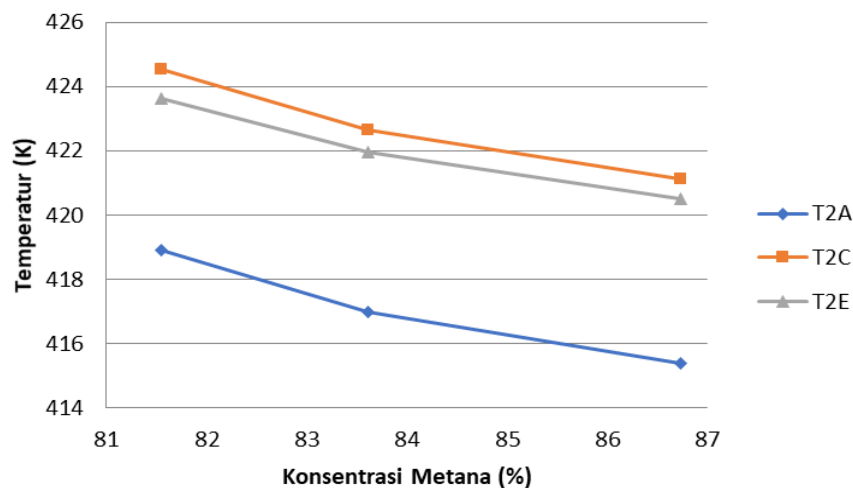


Gambar 9. Kurva Tin kompresor dengan T5 (T keluaran *throttling valve*) [siklus 1]

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson**Gambar 10.** Kurva Tin kompresor dengan T5 ($T_{\text{keluaran throttling valve}}$) [siklus 2]

Gambar 11 dan 12 menunjukkan pengaruh komposisi metana terhadap temperatur keluaran kompresor. Pada siklus pertama pengaruh komposisi pada temperatur keluaran tidak terlalu terlihat seperti pada siklus kedua. Siklus kedua menunjukkan bahwa semakin besar komposisi metana dalam gas alam,

temperatur keluaran kompresor semakin rendah. Hal ini dapat disebabkan temperatur didih metana paling rendah dibandingkan gas alam lainnya sehingga semakin besar komposisinya maka akan semakin rendah temperaturnya.

**Gambar 11.** Kurva komposisi metana terhadap temperatur keluaran kompresor (siklus 1)**Gambar 12.** Kurva komposisi metana terhadap temperatur keluaran kompresor (siklus 2)

5. Kesimpulan

Simulasi pencairan gas alam dengan pemodelan statis pada temperatur masukan kompresor 298 K dan tekanan masuk 20 atm memerlukan dua siklus dengan temperatur keluaran pada 112 K. Simulasi pencairan gas alam dengan pemodelan dinamis menunjukkan pengaruh temperatur masukan kompresor dan komposisi gas alam pada temperatur keluaran proses pencairan gas alam. Kondisi operasi

optimum pencairan gas alam dicapai pada 298 K dan tekanan 20 atm. Selain itu, semakin besar komposisi metana maka semakin rendah temperatur keluaran kompresor. Data konstanta kesetimbangan perlu dicari lebih lengkap agar tidak terjadi penyimpangan dan kesalahan perhitungan. Selain itu, perlu dilakukan simulasi pencairan gas alam dengan menggunakan bahasa pemrograman lain sebagai perbandingan.

Daftar Rujukan

- [1] AlNouss, A., Ibrahim, M., & Al-Sobhi, S. A. (2018). Potential energy savings and greenhouse gases (GHGs) emissions reduction strategy for natural gas liquid (NGL) recovery: Process simulation and economic evaluation. *Cleaner Production*, 194, 525–539, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.107
- [2] Setiawan, A., Wibowo, A. P., & Rosyid, F. A. (2020). Analisis Pengaruh Ekspor dan konsumsi Batubara terhadap Pertumbuhan Ekonomi Indonesia. *Teknologi Mineral dan Batubara*, 16 (2), 109–124, doi:10.30556/jtmb.Vol16.No2.2020.1081
- [3] Fatimura, M., & Fitriyanti, R. (2018). Penanganan Gas Asam (Sour Gas) Yang Terkandung Dalam Gas Alam Menjadi Sweetening Gas. *Redoks*, 3(2), 55, doi: 10.31851/redoks.v3i2.2390
- [4] Nakhjiri, A. T., Heydarinasab, A., Bakhtiari, O., & Mohammadi, T. (2020). Numerical simulation of CO₂/H₂S simultaneous removal from natural gas using potassium carbonate aqueous solution in hollow fiber membrane contactor. *Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104130, doi: 10.1016/j.jece.2020.104130
- [5] Park, J., You, F., Mun, H., & Lee, I. (2021). Liquefied natural gas supply chain using liquid air as a cold carrier: Novel method for energy recovery. *Energy Conversion and Management*, 227, 113611, doi:10.1016/j.enconman.2020.113611
- [6] Fahmi, M., Fauzi, M., & Wibawa, G. (2013). Studi Awal Desain LNG (Liquefied Natural Gas) Plant Dari Coal Bed Methane (CBM) Dengan Kapasitas Feed 40 MMSCFD. *Teknik ITS*, 2(2), B224–B227, doi:10.12962/j23373539.v2i2.3556
- [7] Nuswantara, M, R, P., Priharnanto, W., & Wibawa, G. (2014). Regasification of LNG (Liquefied Natural Gas). *Jurnal Teknik ITS*, 3(2), 149–152, doi:10.12962/j23373539.v3i2.6438
- [8] Akinola, T. E., Oko, E., & Wang, M. (2019). Study of CO₂ removal in natural gas process using mixture of ionic liquid and MEA through process simulation. *Fuel*, 236, 135–146, doi: 10.1016/j.fuel.2018.08.152
- [9] Rao, V. V., Adi Putra, Z., Bilad, M. R., Wirzal, M. D. H., & Nordin, N. A. H. M. (2020). Optimization of lng cold energy utilization via power generation, refrigeration, and air separation. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 5(3), 321–333, doi: 10.17509/ijost.v5i3.24888
- [10] Al-Breiki, M., & Bicer, Y. (2020). Technical assessment of liquefied natural gas, ammonia and methanol for overseas energy transport based on energy and exergy analyses. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(60), 34927–34937, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.04.181
- [11] Zhao, Z., Zhao, K., Jia, D., Jiang, P., & Shen, R. (2017). Numerical investigation on the flow and heat transfer characteristics of supercritical liquefied natural gas in an airfoil fin printed circuit heat exchanger. *Energies*, 10(11), doi: 10.3390/en10111828
- [12] Łaciak, M., Sztékler, K., Szurlej, A., & Włodek, T. (2019). Possibilities of Liquefied Natural Gas (LNG) use for power generation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 214(1), doi: 10.1088/1755-1315/214/1/012138

Pemodelan dan Simulasi Pencairan Gas Alam dengan Persamaan Keadaan Peng Robinson

-
- [13] Wang, Z., Han, F., Ji, Y., & Li, W. (2020). Case Studies in Thermal Engineering Analysis on feasibility of a novel cryogenic heat exchange network with liquid nitrogen regeneration process for onboard liquefied natural gas reliquefaction. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100760, doi: 10.1016/j.csite.2020.100760
 - [14] Sun, H., Zhu, H., Liu, F., & Ding, H. (2014). Simulation and optimization of a novel Rankine power cycle for recovering cold energy from liquefied natural gas using a mixed working fluid. *Energy*, 1–8, doi: 10.1016/j.energy.2014.03.128
 - [15] Yoon, S., Oh, J. S., & Kim, J. K. (2020). Dynamic simulation and control of Natural Gas Liquids recovery process. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120349, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120349
 - [16] Ismail, M. (2014). Proses Pemurnian Gas Bumi sebagai Bahan baku Kilang Mini (Studi kasus Ladang Marginal Cikarang-Area Operasi Barat EP Pertamina). *M.P.I*, 8(1), 25–38, doi:10.29122/mipi.v8i1.3645
 - [17] Zohuri, B. (2018). Chapter 2-Properties of Pure Substances. *Book Chapter of Physics of Cryogenics (An Ultralow Temperature Phenomenon)*, 53–79, doi: 10.1016/b978-0-12-814519-7.00002-1
 - [18] Sandler, S.I. (1999). *Chemical and Engineering Thermodynamics*. Singapore: John Wiley and Sons.
 - [19] Kyle, B.G. (1999). *Chemical and Process Thermodynamics*. :Prentice- Hall.
 - [20] Khairunisa, A., Prabu, U.A., & Suwardi, F.R. (2015). Evaluasi Persiapan dan Pelaksanaan Proyek Komersialisasi Gas Lapangan X untuk memenuhi Syarat Volume dan Tekanan pada Kontrak Perjanjian Jual Beli Gas (PJBG) di Pertamina EP Asset 1 Field Jambi. *Jurnal Ilmu Teknik*, 3(2), 1-6, Retrieved from <http://jit.unsri.ac.id/index.php/jit/article/view/146>
 - [21] Smith, J.M., Van Ness, H.C & Abbott, M.M. (2005). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 7th edition*. New York: McGraw-Hill.
 - [22] Wang, M., Zhang, J., & Xu, Q. (2012). Optimal design and operation of a C3MR refrigeration system for natural gas liquefaction. *Computers and Chemical Engineering*, 39, 84–95, doi:10.1016/j.compchemeng.2011.12.003

Research Article

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu

Wastewater Treatment of Sugar Factory Using Cow Dung and Bagasse as Adsorbent

Surahman Latif Sahendra¹⁾, Ridha Aulia Hamsyah¹⁾, Khalimatus Sa'diyah^{1*)}

¹⁾Politeknik Negeri Malang, D3 Teknik Kimia, Indonesia

*correspondence email: khalimatus22@gmail.com

Received: 21/01/2021; Revised: 12/04/2021; Accepted: 20/04/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.8416.31-38

Abstrak

Limbah cair seringkali dibuang ke sungai tanpa pengolahan yang memadai sehingga bahan-bahan organik yang terkandung di dalamnya cukup tinggi yang dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Adsorpsi merupakan salah satu cara untuk mengurangi kandungan bahan-bahan organik pada limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio massa dan waktu kontak adsorben campuran dari kotoran sapi dan ampas tebu terhadap parameter pengolahan limbah cair pabrik gula. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah nilai COD, BOD, TSS, dan pH. Variasi rasio massa adsorben terhadap volume air limbah yaitu 1%, 2%, 3%, 4%, sedangkan variasi waktu kontak adsorben terhadap sampel air limbah adalah 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Penurunan nilai COD dan TSS terbaik pada rasio adsorben 3% dan waktu kontak 3 jam. Nilai BOD mengalami kenaikan pada semua variabel tetapi tidak melebihi baku mutu limbah cair. Hasil penelitian terbaik diperoleh nilai COD 12 mg/L, TSS 26,67 mg/L, pH 6 dan BOD 28,72 mg/L.

Kata kunci: adsorpsi; ampas tebu; kotoran sapi; pengolahan limbah cair

Abstract

Wastewater is often disposed of into rivers without adequate treatment so that the organic materials contained in it are high enough to cause negative impacts on the environment. Adsorption is one way to reduce the content of organic materials in wastewater. This study aims to determine the effect of the mass ratio and contact time of the mixed adsorbent of cow dung and bagasse on the processing parameters of sugar factory liquid waste. In this study, the analysis carried out were the values of COD, BOD, TSS, and pH. The research variable of the adsorbent mass ratio was 1%, 2%, 3%, 4%. Variations in contact time are 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours. The best decrease in COD and TSS values was at 3% adsorbent ratio and 3 hours contact time. The BOD value increased in all variables but did not exceed the liquid waste quality standard. The best research results obtained COD values of 12 mg/L, TSS 26.67 mg/L, pH 6 and BOD 28.72 mg/L.

Keywords: adsorption; bagasse; cow dung; wastewater treatment

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu

1. Pendahuluan

Perkembangan industri gula di Indonesia membawa dampak yang dapat membahayakan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan. Menurut Sahu [1], tanpa adanya pengolahan, air limbah industri gula merupakan sumber bau, lalat, nyamuk, virus yang ditularkan melalui air, yang berperan sebagai media untuk berbagai penyakit. Kebutuhan oksigen yang tinggi dalam limbah mempengaruhi kesuburan tanah seperti pertumbuhan tanaman dan perkecambahan biji serta kehidupan akuatik. Kehadiran nitrogen dan fosfor dalam air limbah industri gula juga menyebabkan produksi alga mekar dan pertumbuhan tanaman di sungai, kolam, danau, dan waduk.

Salah satu proses pengolahan limbah cair yang dapat diterapkan yaitu dengan metode adsorpsi karena memiliki banyak keuntungan, seperti biaya proses yang rendah, mudah diterapkan, memungkinkan penggunaan dalam sistem *batch*, proses kontinuitas, dan penggunaan kembali adsorben [2][3].

Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan oleh zat padat (adsorben) terhadap zat pencemar (adsorbat). Adsorpsi dapat terjadi pada fase cair maupun gas. Proses adsorpsi hanya terjadi pada permukaan, sehingga banyaknya penyerapan zat pencemar tergantung pada luas permukaan adsorben [4][5].

Pembuatan adsorben dapat dilakukan melalui proses karbonisasi sehingga diperoleh arang. Arang hasil karbonisasi selanjutnya diaktivasi untuk memperbesar luas permukaan. Aktivasi yaitu suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat,

baik fisika maupun kimia yang mempengaruhi daya adsorpsi [6][7].

Aktivasi secara kimia menggunakan H_2SO_4 2N untuk menambah daya serap adsorben. Sa'diyah dkk. [8] menyebutkan bahwa aktivasi adsorben menggunakan H_2SO_4 2N terhadap adsorben memiliki daya serap yang cukup tinggi sebesar 60,59%.

Menurut Kaur dkk. [9] dan Chingono dkk. [10], adsorben dari kotoran sapi dan bagas tebu memiliki efisiensi terhadap penurunan kadar COD dalam limbah cair industri gula masing masing sebesar 79% dan 72%. Fito dkk. [11] juga menyebutkan bahwa efisiensi penyerapan adsorben dari bagas tebu terhadap COD sebesar 75,5%. Oleh sebab itu, pemanfaatan adsorben dari campuran kotoran sapi dan ampas tebu dapat menjadi alternatif baru untuk pengolahan limbah cair pabrik gula.

Pengolahan limbah cair ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio dan waktu kontak adsorben terhadap kadar polutan pada limbah cair industri gula. Selain itu, dilakukan uji morfologi adsorben sebelum dan sesudah proses adsorpsi dengan metode SEM (*scanning electron microscope*).

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi oven, serangkaian alat *reflux*, serangkaian alat titrasi, serangkaian alat *vacuum filtration*, botol winkler, inkubator, dan alat SEM TM3000.

Bahan utama (air limbah pabrik gula yang diambil dari PG. Pesantren Baru, kotoran sapi, ampas tebu), bahan pendukung (H_2SO_4 2N, akuades), bahan uji COD ($K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 yang mengandung Ag_2SO_4 , ferro amonium sulfat), bahan uji

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu

BOD (MnSO_4 , alkali-iodida, H_2SO_4 , amilum, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025 N, akuades).

2.2 Pembuatan Adsorben

Kotoran sapi dan ampas tebu dikeringkan dengan sinar matahari selama 2 hari dan ditimbang untuk mengetahui massa awal sebelum dilakukan proses karbonisasi secara terpisah dengan Oven pada suhu 250°C . Setelah dikarbonisasi, kotoran sapi dan ampas tebu diayak dengan ayakan ukuran 73 mesh.

Selanjutnya kotoran sapi dan ampas tebu dicampur dengan rasio 1:1 dan diaktivasi dengan cara perendaman menggunakan H_2SO_4 2N selama 5 jam. Setelah direndam, adsorben dicuci dengan akuades hingga pH netral (6-7) dan dilakukan pengeringan menggunakan oven dengan suhu 150°C selama 1 jam. Setelah kering, dilakukan pengayakan kembali dengan ukuran ayakan 45 mm.

2.3 Adsorpsi Limbah Cair Pabrik Gula

Sampel air limbah sebanyak 500 mL ditambahkan adsorben teraktivasi dengan komposisi kotoran sapi dan ampas tebu 1 : 1 dengan variasi rasio massa adsorben 1%, 2%, 3%, dan 4% terhadap volume sampel. Sampel kemudian diaduk dengan agitator pada kecepatan 100 rpm. Variasi lama pengadukan yaitu selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Sampel didiamkan hingga terjadi pengendapan. Sampel diambil dan dilakukan analisis.

2.4 Analisis Limbah Cair Pabrik Gula**Setelah Adsorpsi**

Parameter yang digunakan untuk analisis limbah cair hasil adsorpsi meliputi nilai COD yang dihitung melalui metode *reflux*, nilai TSS dengan metode gravimetri, BOD dengan metode uji oksigen terlarut secara iodometri dan pH.

Uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan menggunakan alat Hitachi TM3000 yang bertempat di Laboratorium Biologi Universitas Muhammadiyah Malang untuk mengetahui morfologi dari adsorben yang digunakan.

3. Hasil dan Pembahasan**3.1 Analisis Awal Limbah Cair**

Analisis awal yang dilakukan adalah mengukur parameter limbah cair meliputi kadar COD, TSS, BOD, dan pH.

Tabel 1. Kandungan Limbah Cair Pabrik Gula Sebelum Proses Pengolahan

No	Parameter	Sebelum Pengolahan	Permen LH Nomor 5 Tahun 2014
1	Kadar COD (mg/L)	276,00	100
2	Kadar TSS (mg/L)	746,67	50
3	Kadar BOD (mg/L)	18,10	60
4	Nilai pH	6	6

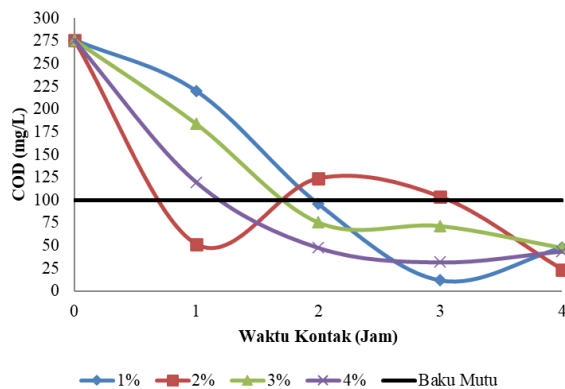
Berdasarkan analisis limbah cair pabrik gula sebelum dilakukan adsorpsi, menunjukkan bahwa kadar COD dan kadar TSS melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014. Oleh sebab itu, diperlukan pengolahan kembali terhadap sampel air limbah yang digunakan.

3.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia [12]. Gambar 1 menunjukkan pengaruh variasi waktu kontak dan rasio adsorben terhadap penurunan COD limbah cair pabrik gula. Kandungan awal COD pada limbah cair pabrik gula sebelum pengolahan adalah sebesar 276 mg/L. Kandungan tersebut

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu

masih diatas baku mutu air limbah industri gula KLHK No. 5 Tahun 2010, sehingga kandungan COD tersebut harus dikurangi dengan cara adsorpsi.



Gambar 1. Nilai COD Limbah Cair Pabrik Gula dengan Pengolahan Menggunakan Metode Adsorpsi

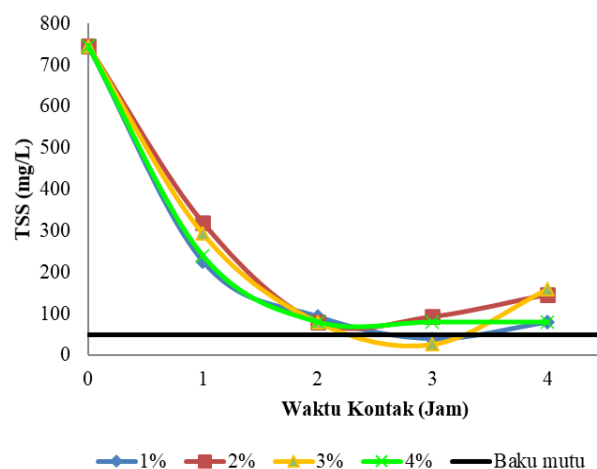
Menurut Gaikwad & Mane [13], kemampuan adsorpsi cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu kontak dan banyaknya adsorben. Berdasarkan hasil yang diperoleh semakin banyak rasio adsorben dan waktu kontak yang semakin lama tidak menentukan semakin besarnya penurunan COD dari limbah cair pabrik gula. Hal ini dikarenakan ada beberapa kemungkinan, yang pertama, semakin banyak adsorben yang digunakan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan setimbang. Kedua, kadar air dan zat mudah menguap yang terkandung di dalam adsorben dapat mempengaruhi daya serap adsorben terhadap adsorbat karena pori-pori adsorben tertutup sehingga adsorpsi tidak berlangsung secara optimal [10].

Rasio adsorben 1% dan waktu kontak 3 jam dipilih sebagai kondisi operasi terbaik dengan konsentrasi COD setelah adsorpsi adalah 12 mg/L dan persentase penyerapan 95,65%. Konsentrasi tersebut sudah berada dibawah standar yang diizinkan berdasarkan

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 mengenai Baku Mutu Air Limbah Industri Gula Kapasitas Produksi 2500–10.000 Ton/hari, yaitu sebesar 100 mg/L.

3.3 Total Suspended Solid (TSS)

TSS adalah jumlah padatan tersuspensi yang terkandung dalam air limbah. TSS juga digunakan sebagai parameter untuk mengukur kualitas air. Gambar 2 menunjukkan pengaruh variasi waktu kontak dan rasio adsorben terhadap penurunan TSS limbah cair pabrik gula. Kandungan TSS pada limbah cair pabrik gula sebelum pengolahan adalah sebesar 746,667 mg/L. Kandungan tersebut masih diatas baku mutu air limbah industri gula Permen HK No. 5 Tahun 2014.



Gambar 2. Nilai TSS Limbah Cair Pabrik Gula dengan Pengolahan Menggunakan Metode Adsorpsi

Penurunan TSS dengan beberapa variasi waktu kontak dan rasio adsorben mengalami penurunan yang sangat signifikan. Penurunan TSS terbaik terjadi pada rasio adsorben 3% dan waktu kontak selama 3 jam dengan kandungan TSS sebesar 26,670 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 96,428%. Hasil ini telah

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu

memenuhi baku mutu air limbah industri gula untuk kadar TSS maksimal sebesar 50 mg/L.

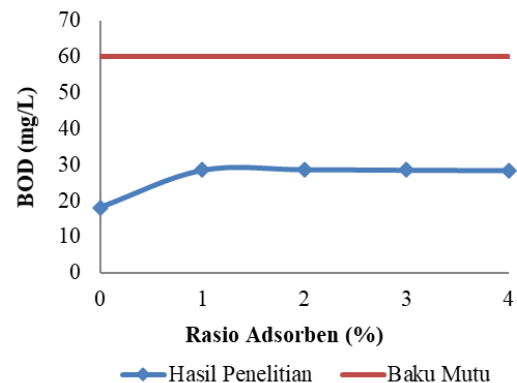
Kandungan TSS tidak sesuai dengan baku mutu terjadi pada rasio adsorben 2% dan 3% dengan waktu kontak selama 4 jam dapat disebabkan karena beberapa kemungkinan. Pertama, adsorben belum mengendap sempurna saat dilakukan dekantasi, sehingga beberapa material dapat menambah berat kertas saring. Kedua, adsorben yang digunakan mengalami masa jenuh sehingga tidak dapat menyerap padatan tersuspensi di dalam limbah tersebut, hal ini dapat menyebabkan material yang telah terserap oleh adsorben dapat terlepas kembali karena adanya pengadukan [14].

3.4 Biological Oxygen Demand (BOD)

Analisis BOD dilakukan dengan rentang waktu selama 5 hari. BOD adalah jumlah oksigen yang diperlukan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan buangan yang terkandung dalam air limbah, BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang diperlukan sehingga jika nilai BOD yang besar dapat menjadi acuan bahwa pencemaran pada air limbah tersebut juga besar [15]. Gambar 3 menunjukkan rasio adsorben campuran terhadap kadar BOD limbah cair pabrik gula dengan keempat rasio adsorben.

Nilai BOD sebelum dilakukan proses absorpsi yaitu sebesar 18,10 mg/L. Berdasarkan hasil penelitian, nilai BOD pada waktu kontak 4 jam mengalami kenaikan maksimal sebesar 36% yaitu 28,72 mg/L pada rasio adsorben sebesar 2%. Namun, nilai BOD tersebut masih dibawah baku mutu air limbah industri

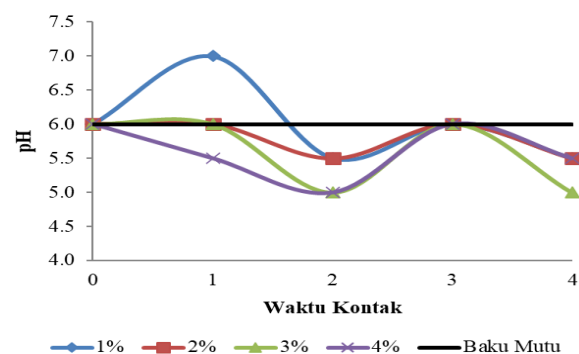
gula menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Kenaikan nilai BOD tersebut dapat disebabkan oleh adanya polutan zat organik yang masih terkandung dalam adsorben dari kotoran sapi dan ampas tebu yang digunakan.



Gambar 3. Pengaruh Rasio Adsorben Campuran Terhadap Kadar BOD Limbah Cair Pabrik Gula.

3.5 Nilai pH

Salah satu parameter baku mutu limbah cair pabrik gula menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 adalah kandungan pH. Gambar 4 menunjukkan pengaruh variasi waktu kontak dan rasio adsorben terhadap nilai pH limbah cair pabrik gula.



Gambar 4. Nilai pH Limbah Cair Pabrik Gula dengan Pengolahan Menggunakan Metode Adsorpsi

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu

Gambar 4 menunjukkan bahwa keempat rasio menunjukkan hasil yang fluktuatif. Pada waktu kontak 1 jam dan 2 jam, nilai pH dari seluruh sampel cenderung mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena adsorben masih bersuasana asam meskipun telah dilakukan pencucian berulang-ulang.

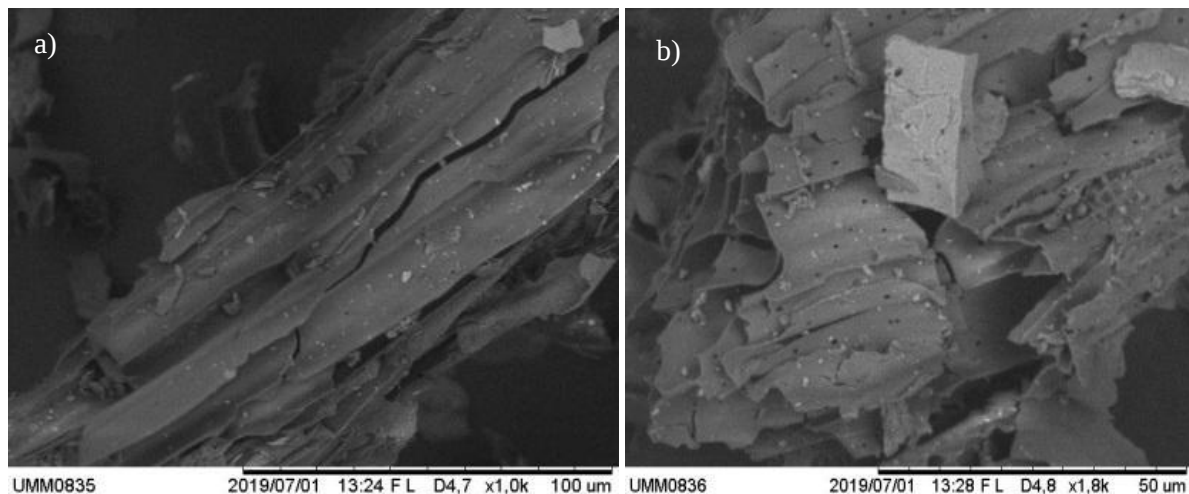
Kondisi operasi terbaik terjadi pada variasi waktu kontak selama 3 jam, karena keempat rasio memiliki nilai pH 6 dan sesuai dengan standar minimum baku mutu untuk nilai pH air limbah industri gula. Dapat disimpulkan bahwa pada waktu kontak 3 jam proses adsorpsi berlangsung optimal. Namun pada waktu kontak 4 jam, pH sampel dari keempat rasio kembali mengalami penurunan, hal ini dapat terjadi karena adsorben mengalami penurunan kemampuan adsorpsi karena lapisan luar pada adsorben telah jenuh sehingga tidak mampu mengadsorpsi senyawa organik/ion yang ada dalam limbah cair [16]. Selain itu

adanya pengadukan juga berdampak pada lepasnya polutan/ion yang terjerap di pori-pori adsorben, sehingga kondisi operasi tidak ideal.

3.6 Uji SEM pada Adsorben

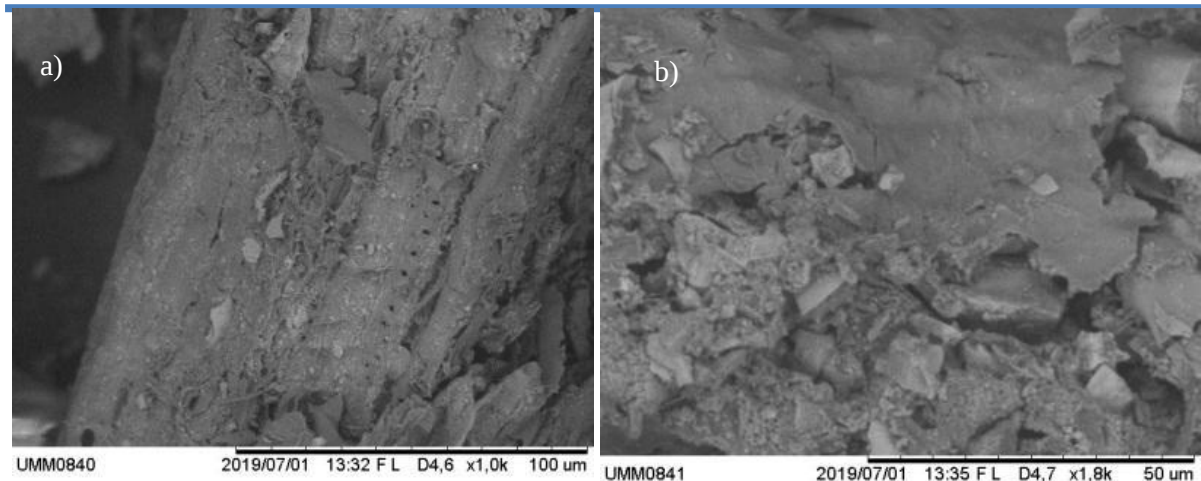
SEM digunakan untuk mengamati permukaan material/bahan tertentu dengan tujuan mendapatkan bentuk lebih detail (struktur mikro dan makro material). Sampel yang diujikan adalah adsorben teraktivasi sebelum proses adsorpsi dan sesudah proses adsorpsi. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 5 dan Gambar 6.

Gambar 5 menunjukkan bahwa permukaan adsorben memiliki struktur pori berbentuk lamelar. Setelah digunakan untuk melakukan adsorpsi limbah cair industri gula, struktur lamelar tersebut tertutup oleh adsorbat (Gambar 6).



Gambar 5. Mikrograf SEM adsorben teraktivasi H_2SO_4 2 N sebelum adsorpsi (a) perbesaran 1000x, (b) perbesaran 1800x

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu



Gambar 6. Mikrograf SEM adsorben campuran teraktivasi H_2SO_4 2 N sesudah adsorpsi (a) perbesaran 1000x, (b) perbesaran 1800x

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan limbah cair pabrik gula menggunakan abu kotoran sapi dan ampas tebu teraktivasi sebagai adsorben yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa variasi rasio adsorben campuran 3% pada pengolahan limbah cair pabrik gula adalah yang paling optimum. Hal ini dapat diketahui bahwa kadar COD, kadar TSS,

kadar BOD, dan nilai pH yang dihasilkan masing-masing telah sesuai dengan baku mutu industri gula dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Selain itu, waktu kontak paling baik untuk proses adsorpsi menggunakan adsorben campuran dari kotoran sapi dan ampas tebu teraktivasi diperoleh selama 3 jam.

Daftar Rujukan

- [1] Sahu, O. (2019). Electro-oxidation and chemical oxidation treatment of sugar industry wastewater with ferrous material: An investigation of physicochemical characteristic of sludge. *South African Journal of Chemical Engineering*, 28(January), 26–38. doi: 10.1016/j.sajce.2019.01.004
- [2] Tomasz, K., Anna, K., & Ryszard, C. (2019). Effective adsorption of lead ions using fly ash obtained in the novel circulating fluidized bed combustion technology. *Microchemical Journal*, 145, 1011–1025. doi: 10.1016/j.microc.2018.12.005
- [3] Rohmah, D. M. (2017). *Pengolahan Limbah Cair Industri Gula dengan Koagulan PAC (Poly Aluminium Chloride) dan Flokulan Organoclay {Bentonit-PolyDADMAC(Polydiallyldimethylammonium Chloride)}*. Skripsi: Kimia, UIN Sunan Kalijaga, Retrieved from <https://digilib.uin-suka.ac.id/26752/>
- [4] Prahutama, P., & Purnomo, Y. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit dengan Adsorpsi Abu Terbang Bagas. *JURNAL ENVIROTEK*, 10. doi: 10.33005/envirotek.v10i1.1152
- [5] Jamilatun, S., & Setyawan, M. (2014). Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair. *Spektrum Industri*, 12(1), 73. doi: 10.12928/si.v12i1.1651
- [6] Lakdawala, M. M., & Patel, Y. S. (2012). The effect of low cost material Bagasse Fly ash to the removal of COD Contributing component of combined waste water of Sugar Industry. *Scholars Archives of Applied Science Research*, 4(2), 852–857, Retrieved from <https://www.scholarsresearchlibrary.com/abstract/the-effect-of-low-cost-material-bagasse-fly->

Pengolahan Limbah Cair Pabrik Gula Menggunakan Adsorben dari Kotoran Sapi dan Ampas Tebu

-
- ash-to-the-removal-of-cod-contributing-component-of-combined-waste-water-of--1872.html
- [7] Rakholiya, V. V., & Puranik, S. A. (2012). COD reduction using modifying industrial effluent treatment flowsheet and low cost adsorbent as a part of cleaner production. *Advances in Applied Science Research*, 3(3), 1279–1291. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/COD-reduction-using-modifying-industrial-effluent-a-Rakholiya-Puranik/bf04c436515c95f780c05deef44bdf164256fb02>
- [8] Sa'diyah, K., Lusiani, C. E., Chrisnandari, R. D., Witasari, W. S., Aula, D. L., & Triastutik, S. (2020). Pengaruh Proses Aktivasi Kimia Terhadap Karakteristik Adsorben dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* L.). *Jurnal Chemurgy*, 4(1), 18. doi: 10.30872/cmg.v4i1.4074
- [9] Kaur, K., Mor, S., & Ravindra, K. (2016). Removal of chemical oxygen demand from landfill leachate using cow-dung ash as a low-cost adsorbent. *Journal of Colloid and Interface Science*, 469, 338–343. doi: 10.1016/j.jcis.2016.02.025
- [10] Chingono, K. E., Sanganyado, E., Bere, E., & Yalala, B. (2018). Adsorption of sugarcane vinasse effluent on bagasse fly ash: A parametric and kinetic study. *Journal of Environmental Management*, 224(April), 182–190. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.07.042
- [11] Fito, J., Tefera, N., & Van Hulle, S. W. H. (2017). Adsorption of distillery spent wash on activated bagasse fly ash: Kinetics and thermodynamics. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 5381–5388. doi: 10.1016/j.jece.2017.10.009
- [12] Pandia, S., Siahaan, A. D. Y., & Hutagalung, A. T. (2017). Pemanfaatan Adsorben Dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Untuk Menurunkan Chemical Oxygen Demand Pada Palm Oil Mill Effluent Utilization Of Adsorbent From Cocoa Peel (*Theobroma cacao* L.) To Reduce Chemical Oxygen Demand In Palm Oil Mill Efflu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(3), 34–40. doi: 10.32734/jtk.v6i3.1587
- [13] Gaikwad, S., & Mane, S. J. (2015). Reduction of Chemical Oxygen Demand by using Coconut Shell Activated Carbon and Sugarcane Bagasse Fly Ash. *International Journal of Science and Research*, 4(7), 642–645. Retrieved from https://www.ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=SUB156365
- [14] Estikarini, H. D., Hadiwidodo, M., & Luvita, V. (2016). Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Tekstil dengan Metode Ozonasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1).
- [15] Wirosoedarmo, R., Haji, A. T. S., & Hidayati, E. A. (2018). Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Kontak pada Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Karbon Aktif Tongkol Jagung untuk Menurunkan BOD dan COD. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 3(2), 31–38.
- [16] Siregar, R. D., Zaharah, T. A., & Wahyuni, N. (2015). Penurunan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Limbah Cair Industri Kelapa Sawit Menggunakan Arang Aktif Biji Kapuk (*Ceiba Petandra*). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(2), 62–66. Retrieved from <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/9724/9496>
-

Research Article

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

The Influence of Temperature and Types of Adhesive on Biobriquettes from Coffee Pulp with Torrefaction Method

Vibianti Dwi Pratiwi^{1*)}, Iman Mukhaimin²⁾

¹⁾Institut Teknologi Nasional Bandung, Teknik Kimia, Indonesia

²⁾Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang, Teknik Pengolahan Produk Perikanan, Indonesia

*correspondence email: vibiantidwi@itenas.ac.id

Received: 23/10/2020; Revised: 16/04/2021; Accepted: 21/04/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.7697.39-50

Abstrak

Penggunaan energi biomassa sebagai sumber energi alternatif terbarukan diupayakan untuk mengurangi emisi CO₂. Ampas kopi merupakan limbah biomassa yang dihasilkan dari proses produksi yang digunakan sebagai raw material dalam pembuatan biobriket. Limbah biomassa mempunyai calorific value yang relatif tinggi jika diolah menjadi biobriket dengan perekat. Jenis perekat yang digunakan adalah tepung tapioka dan getah pinus dengan komposisi tepung tapioka yang digunakan 0%, 10% dan 20% sedangkan jumlah perekat getah pinus 0%, 10%, 20%, dan 40%. Dengan mengetahui pengaruh jenis dan jumlah perekat dalam pembuatan biobriket menggunakan metode torefaksi, diharapkan limbah ampas kopi dapat menjadi biomassa sebagai energi alternatif. Penelitian dilakukan pada suhu torefaksi yaitu 200 °C, 250 °C dan 300 °C. Suhu torefaksi yang optimal untuk pembuatan biobriket dari ampas kopi adalah 300 °C dengan perekat getah pinus 40% yang menghasilkan biobriket lebih padat dan tidak mudah hancur dengan nilai kalori sebesar 6124 kal/gr.

Kata kunci: ampas kopi; biobriket; bioenergi; getah pinus; torefaksi

Abstract

Biomass energy as a renewable alternative energy source is made to reduce CO₂ emissions. Coffee grounds are biomass waste produced from the production process which is used as raw material in making biobriquettes. Biomass waste has a relatively high calorific value if it is processed into biobriquettes with adhesive. The types of adhesive used were tapioca flour and pine resin with a composition of 0%, 10% and 20% tapioca flour used, while the amount of adhesive for pine resin was 0%, 10%, 20%, and 40%. By knowing the effect of the type and amount of adhesive in making biobriquettes using the torrefaction method, it is hoped that coffee grounds waste can become biomass as an alternative energy. The types of adhesive used were starch and pine resin with starch's composition: 0%, 10%, and 20%, while amount of adhesive for pine resin: 0%, 10%, 20%, and 40%. The research was conducted at torrefaction temperatures: 200 °C, 250 °C and 300 °C. The optimal torrefaction temperature for make briquettes from coffee grounds is 300 °C using 40% pine resin adhesive so that produces biobriquette not easily destroyed with a calorific value of 6124 cal / gr.

Keywords: biobriquette; bioenergy; coffee pulp; pine resin; torrefaction

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang memiliki potensi sumber daya dalam pengembangan sumber energi terbarukan, tetapi hanya sebagian kecil yang digunakan. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan dan berkelanjutan yang memiliki potensi sangat besar yaitu 146,7 juta ton per tahun. Sementara potensi biomassa yang berasal dari sampah untuk tahun 2020 diperkirakan sebanyak 53,7 juta ton [1]. Biomassa membantu diversifikasi bahan bakar fosil seperti minyak bumi di dunia [2].

Berbagai upaya dilakukan untuk penghematan minyak bumi yang semakin menipis. Biobriket menjadi satu sumber energi alternatif terbarukan yang dapat digunakan untuk mengurangi permasalahan krisis energi. Limbah biomassa dikonversi menjadi biobriket atau pelet melalui teknologi sederhana yang relatif murah dan cocok dikelola oleh masyarakat dari kalangan menengah ke bawah maupun industri swasta [3].

Penggunaan biobriket sebagai bahan bakar padat menjadi salah satu solusi dalam menghemat pemakaian bahan bakar cair. Proses utama yang digunakan adalah penekanan tinggi pada temperatur tinggi, sehingga membentuk produk yang seragam. Pelet dapat diproduksi dengan mudah dari limbah kayu maupun bahan biomassa lainnya [4].

Sektor agroindustri yang berkembang memiliki potensi untuk menghasilkan limbah pertanian dimulai dari proses persiapan raw material hingga proses produksi. Alternatif dalam memanfaatkan limbah argoindustri dengan mengubah limbah tersebut sebagai bahan bakar padat seperti biobriket. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan nilai

tambah atau menaikkan harga jual limbah argoindustri.

Ampas kopi termasuk limbah yang dapat menjadi bahan biomassa. Pada umumnya, ampas kopi langsung dibuang, hal ini juga menjadi salah satu masalah pencemaran lingkungan seperti pencemaran tanah. Ampas kopi dalam jumlah yang cukup banyak tersebut hanya sebagian kecil yang dimanfaatkan untuk pakan ternak atau penambah nutrisi tanaman. Namun beberapa daerah, limbah ampas kopi langsung dibakar di lapangan terbuka sehingga menyebabkan polusi baik udara maupun tanah dan menjadi limbah biomassa yang sangat perlu diperhatikan [5].

Ampas dari kopi memiliki kandungan kimia organik relatif tinggi dengan pH tinggi. Aplikasi terbaik limbah dari kopi dengan mengubahnya menjadi bahan bakar padat karena mengandung *calorific value* sebesar 20,9 MJ/kg pada *dry basis* dan 14,6 MJ/kg pada *wet basis* [6]. Sumber unsur karbon pada ampas kopi cukup tinggi dan relatif mendekati berbagai limbah pengolahan argoindustri yang dijadikan bahan baku pembuatan bahan bakar padat biomassa pada perumahan maupun pabrik [7].

Khusna & Susanto [8] telah memanfaatkan limbah kopi dan menghasilkan *calorific value* sebesar 24,117 MJ/kg untuk biobriket ampas kopi dan 28,364 MJ/kg untuk arang kopi. Berdasarkan perhitungan dalam riset tersebut, ampas kopi yang diambil dari suatu industri kopi, setelah dibakar dengan reaktor pirolisis menghasilkan biobriket 129,6 ton/bulan atau 4,32 ton/hari. Hal tersebut dapat diasumsikan 1 kg limbah kopi menghasilkan 40% arang ampas kopi, dan tanpa pirolisis menghasilkan sekitar 329 ton/bulan biobriket. Kualitas biobriket

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

dengan dasar limbah dari kopi bergantung terhadap tingkat kepadatan, perbandingan campuran antara ampas kopi, arang kopi dan batu bara, jenis reaktor pembakaran dan udara berlebihnya [8].

Untuk menyempurnakan hasil pembriketan ada dua cara yaitu dengan atau tanpa pengikat (perekat). Pengikatan dibutuhkan supaya biomassa yang akan dibentuk menjadi biobriket lebih homogen selama teknik kompresi [14]. Tidak adanya perekat, biobriket menjadi mudah hancur saat dikeluarkan dari cetakan tersebut. Namun, adapula biomassa yang tidak membutuhkan perekat yaitu biomassa pada suhu dan tekanan relatif tinggi yang memiliki sifat sebagai perekat atau perekatnya sendiri [9].

Menurut Pratiwi [10] biobriket dari ampas kopi menggunakan perekat tapioka dengan metode pirolisi menghasilkan nilai kalor sebesar 7051 kal/gr. Pembuatan biobriket dari ampas kopi dengan proses torefaksi dan penambahan perekat getah pinus dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif bagi beberapa sektor di masyarakat. Selain penghasil kayu, potensi lain dari pohon pinus adalah getahnya, yang memiliki banyak manfaat yaitu sebagai bahan baku minyak terpentin, gondorukem, bahan sabun, perekat, cat, dan kosmetik [11].

Perbedaan antara getah pinus sebagai perekat dibandingkan dengan tapioka terletak pada kekuatan saat dijadikan briket. Perekat yang dihasilkan dari tapioka beragam kualitasnya tergantung dari proses pembuatannya terutama pencampuran air dan pada saat dimasak sampai mendidih. Sedangkan getah yang baik adalah getah yang segar biasanya mengandung banyak terpentin, berwarna putih bersih, dan bebas dari kotoran (daun, tatal, pasir, debu, dan sebagainya). Getah pinus merupakan

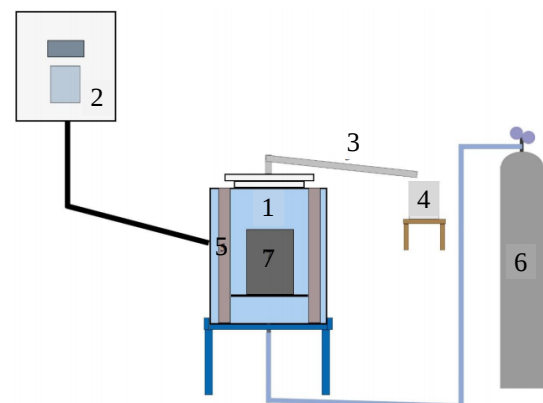
senyawa kompleks yang bersifat asam dan sangat peka terhadap waktu dan rusak akibat penuaan atau aging [19].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dengan mengetahui pengaruh jenis dan jumlah perekat dalam pembuatan biobriket menggunakan metode torefaksi, diharapkan dapat meningkatkan nilai jual ampas kopi dan dijadikan sebagai biomassa untuk energi alternatif. Kondisi optimum yang dilihat berdasarkan suhu torefaksi, jenis dan jumlah perekat yang diharapkan mampu menghasilkan kualitas biobriket dengan nilai kalor yang cukup tinggi sebagai bahan bakar alternatif.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat Penelitian

Alat utama yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari (1) Reaktor torefaksi, (2) *heater*, (3) kondensor, (4) wadah penampung, (5) elemen pemanas, (6) Tabung nitrogen, dan (7) pencetak briket. Skema alat yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian

Adapun beberapa alat penunjang yang digunakan untuk analisis seperti IKA C-2000 *bomb calorimeter*, saringan *mesh* (20-40 *mesh*), dan oven.

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

2.2 Bahan Penelitian

Ampas kopi yang digunakan sebagai bahan dalam penelitian ini diambil dari sebuah toko minuman dengan menu utama berbasis kopi. Ampas kopi yang dibuang pada toko tersebut sekitar 5,7 kg/hari yang kemudian dianalisis dengan uji ultimat dan nilai kalor di Laboratorium Tekmira Bandung. Bahan penunjang yang digunakan dalam penelitian antara lain perekat getah pinus dan tepung tapioka.

2.3 Prosedur Pembuatan Briket

Teknologi pembriketan adalah salah satu teknologi pemadatan dimana suatu bahan dikenai tekanan untuk membentuk produk yang mempunyai densitas lebih tinggi, moisture content yang relatif rendah, keragaman dalam ukuran dan sifat-sifat bahannya [12]. Teknologi pembriketan yang digunakan pada penelitian ini adalah pembriketan bertekanan sedang dengan bantuan alat pemanas dan bahan pengikat atau perekat.

Sebelum proses torefaksi, ampas kopi yang diperoleh dimasukkan ke dalam oven untuk pengeringan selama kurang lebih 2 jam dengan suhu 105 °C. Setelah kering, ampas kopi diayak pada 45-20 mesh. Selanjutnya 250 gram ampas kopi kering dicampur dengan perekat pada konsentrasi berbeda-beda yaitu 0%, 10%, 20% untuk jumlah tepung tapioka terhadap bahan baku dan 0%, 10%, 20%, 40% untuk getah pinus. Setelah biobriket dicetak menjadi silinder, kemudian dipanaskan dalam reaktor torefaksi selama 90 menit dengan mengalirkan gas nitrogen sehingga tidak ada udara dalam reaktor. Suhu torefaksi yang menjadi variabel penelitian adalah 200 °C, 250 °C, dan 300 °C. Biobriket yang telah dipanaskan ditimbang dan siap dianalisis.

2.4 Analisis Sampel

2.4.1 Analisis Kadar Air (SNI 01-6235-2000)

Ampas kopi sebanyak 2 gram dimasukkan ke dalam wadah yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam oven dan dipanaskan pada suhu 105 °C selama 3 jam. Setelah 3 jam, selanjutnya dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit kemudian ditimbang. Kadar air dihitung menggunakan persamaan (1)

$$\% \text{ kadar air} = \frac{(a - b)}{a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

% kadar air = persentase kadar air terikat (%)

a = massa sampel mula-mula (gram)

b = massa sampel setelah pemanasan pada 105 °C (gram)

2.4.2 Analisis Kadar Abu (SNI 01-6235-2000)

Sampel ditimbang sebanyak 2 gram dan dimasukan kedalam wadah. Kemudian dimasukkan ke dalam tanur pada suhu 750 °C dan selama 5 jam. Setelah 5 jam selanjutnya dimasukkan desikator selama 15 menit. Abu yang tersisa di wadah ditimbang dan dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\% \text{ kadar abu} = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_2 - W_1)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

% kadar abu = persentase abu pada sampel (%)

W₁ = berat wadah kosong (gram)

W₂ = berat wadah + sampel (gram)

W₃ = berat wadah + residu (gram)

2.4.3 Analisis *Calorific Value* (ASTM standar D 5865-07a, cal/gr)

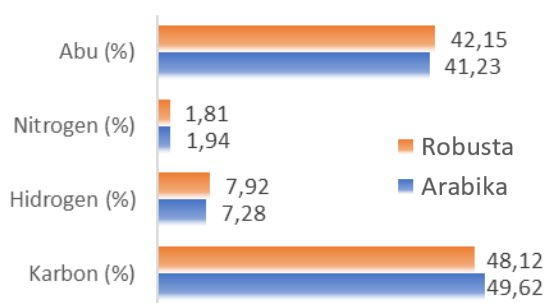
Satu gram biobriket ampas kopi ditimbang dalam cawan, lalu ditempatkan pada IKA C-2000 *bomb calorimeter*. 10 cm benang pembakar dari katun dipasang pada kawat penghubung kedua kutub *bomb head*, pelintir benang sampai ujungnya menyentuh biobriket. *Bomb head* yang

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

berisi biobriket dimasukkan kedalam alat kalorimeter, kemudian memutarnya sampai tertutup dan terkunci. Selanjutnya Tekan tombol “start”, lalu tekan tombol “continue”, memasukkan nama kode atau ID sampel biobriket kemudian tekan enter. Melihat ID bomb sesuaikan dengan kode *bomb head*-nya lalu tekan enter dan ketik bobot biobriket kemudian tekan enter lagi. Nilai kalor otomatis tercetak yang menandakan proses telah selesai.

3. Hasil dan Pembahasan

Ampas kopi berasal dari restoran atau industri kopi dapat dikategorikan dalam limbah argoindustri. Ampas kopi memiliki kandungan hidrokarbon menjadi poin utama sebagai bahan baku energi alternatif. Sebelum mengetahui kualitas biobriket yang dibuat berdasarkan pengaruh jenis dan jumlah perekat menggunakan metode torefaksi, perlu diadakan uji ultimat dan nilai kalor dari ampas kopi yang akan digunakan sebagai bahan biobriket. Hasil uji ultimat yang telah dilakukan pada Laboratorium Tekmira Bandung ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Uji Ultimat Ampas Kopi

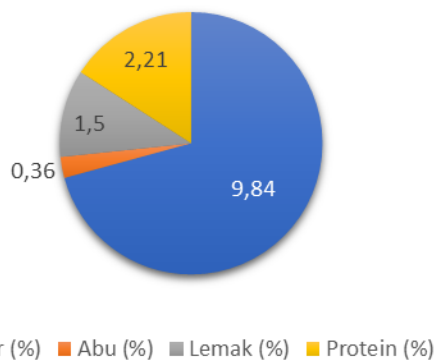
Gambar 1 menunjukkan bahwa ampas kopi arabika memiliki 7,28% hidrogen, 1,94% nitrogen, 49,62% karbon dan 41,23% bahan yang tidak terbakar seperti selulosa, oksigen atau abu. Pada

penelitian menggunakan ampas kopi jenis arabika karena kandungan karbon pada ampas kopi arabika lebih banyak dibandingkan dengan ampas kopi robusta. Ampas kopi arabika tersebut juga memiliki nilai kalor sekitar 3489,51 kal/gr sehingga perlu ditingkatkan dengan salah satu cara seperti metode torefaksi. Kandungan kimia organik yang telah dianalisis sesuai dengan hasil penelitian Baryatik *dkk.* [13] yaitu karbon sebesar 47,8–58,9 %, nitrogen sebesar 1,9–2,3%, abu sebesar 0,43–1,6% dan selulosa 8,6%.

Ampas kopi yang telah dianalisis dengan kandungan karbon sekitar 49,62% tersebut dikeringkan terlebih dahulu sebelum dicampur dengan perekat sesuai variabel penelitian. Setelah dicetak, ampas kopi tersebut dipanaskan dengan reaktor pemanas yang membantu proses pengikatan partikel-partikel biomassa. Selain itu, diperkuat dengan penambahan perekat untuk membentuk ikatan antar partikel-partikel biomassa. Perekat yang akan digunakan ada dua jenis yaitu tepung tapioka dan getah pinus. Bentuk silinder pada biobriket dipilih karena mempermudah dalam proses pembriketan. Selain itu, bentuk ini sangat umum terdapat dipasaran.

Pada umumnya, tepung tapioka digunakan sebagai perekat biobriket karena mudah ditemukan, relatif murah, dan cara penggunaannya mudah yaitu cukup dicampurkan dengan air lalu dipanaskan. Selama pemanasan, tapioka diaduk agar tidak menggumpal. Warna tapioka yang putih akan berubah menjadi tidak berwarna setelah beberapa menit dipanaskan dan terasa lengket [10]. Analisis proksimat dari tepung tapioka tercantum pada Gambar 2.

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi



Gambar 2. Analisis Proksimat Tepung Tapioka

Perekat getah pinus sifat fisiknya relatif sama dengan biobriket arang yang menggunakan getah karet. Kelebihan perekat dari getah pinus adalah daya benturannya yang relatif kuat dan mudah menyala saat dibakar. Namun kekurangan dari perekat ini adalah asap yang dihasilkan relatif banyak dan bau yang cukup menyengat [13].

Biobriket yang sudah dicetak selanjutnya dipanaskan pada reaktor torefaksi. Torefaksi berlangsung saat tekanan atmosfer dan rentang suhu yang diatur antara 200-350 °C [15]. Peningkatan suhu torefaksi akan berakibat pada komponen volatil yang bertambah akibat dari hasil pemecahan hemiselulosa, lignin, dan selulosa. Suhu torefaksi mempengaruhi komposisi dan hasil dari produk. Suhu rendah menghasilkan lebih banyak arang, suhu tinggi menghasilkan lebih sedikit arang [16].

Pada komponen kopi, sukrosa, polisakarida, gula pereduksi, protein, dan pektin akan cepat terdekomposisi pada suhu rendah dan lignin pada suhu tinggi. Lignin merupakan polimer kompleks [17] Menurut Basu [12] lignin dapat terdekomposisi pada temperatur 250-500 °C sedangkan sukrosa, polisakarida, gula pereduksi, protein, dan pektin merupakan

rantai karbon sederhana dan akan langsung terdekomposisi pada suhu rendah.

Pengukuran *moisture content* biobriket dilakukan setelah dikempa dan dikeringkan. *Moisture content* dalam pembuatan biobriket cukup berpengaruh terhadap kualitas biobriket. Semakin tinggi *moisture content* menyebabkan kualitas biobriket menurun, terutama berpengaruh terhadap *calorific value* biobriket dan akan lebih sulit untuk dinyalakan. Hal ini disebabkan karena energi yang dihasilkan akan lebih terserap untuk menguapkan air yang terkandung pada biobriket [17]. Hasil analisis kadar air ditunjukkan pada Gambar 3.

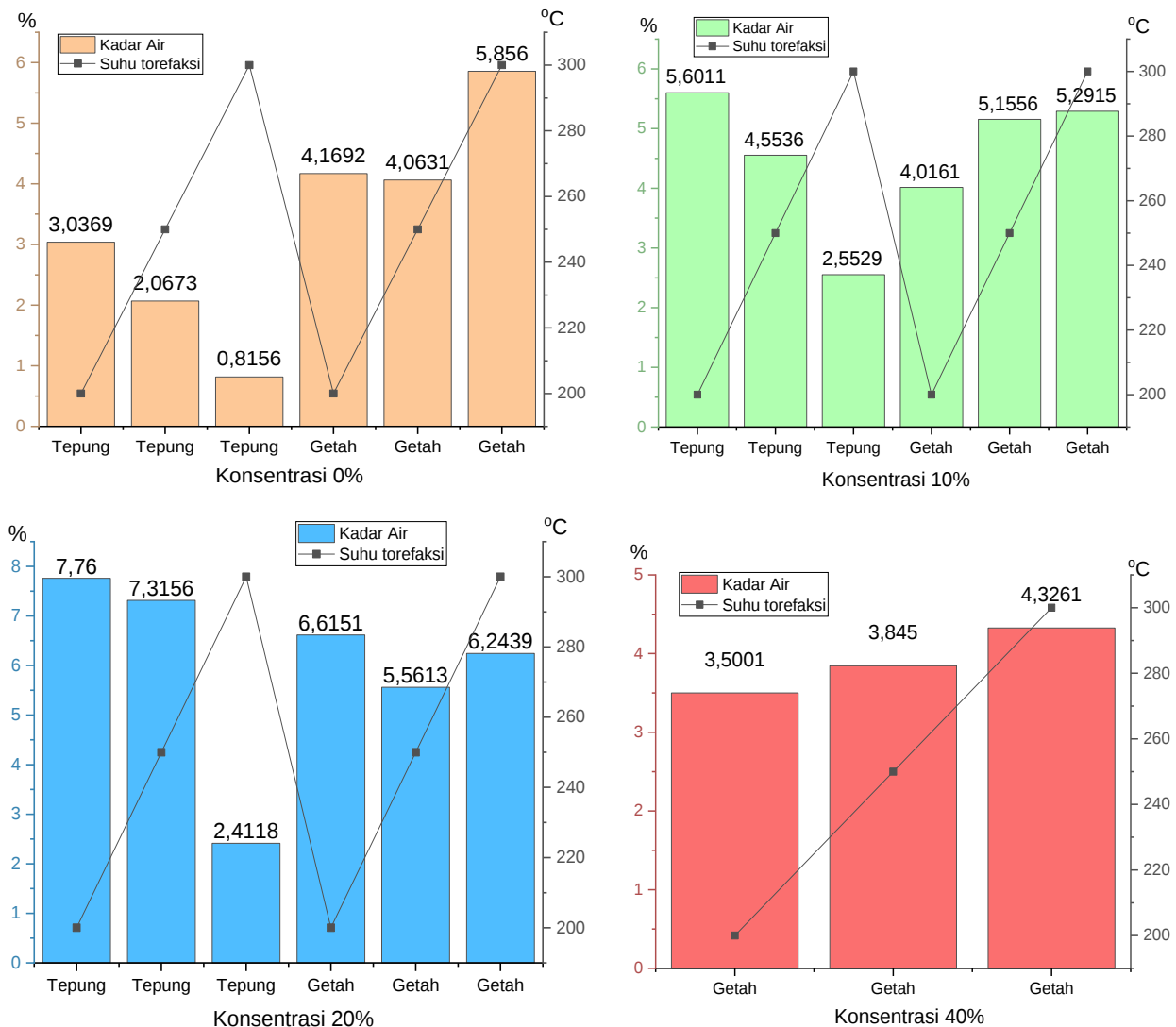
Menurut standar SNI 01-6235-2000 nilai kadar air maksimum pada biobriket sebesar 8%. Pada penelitian ini didapatkan biobriket dengan nilai kadar air kurang dari 8%. Hal tersebut menunjukkan bahwa biobriket yang dihasilkan memenuhi standar SNI 01-6235-2000. Kadar air terendah yang dihasilkan pada biobriket yaitu tanpa perekat tepung tapioka (konsentrasi 0%) sekitar 0,8156% sedangkan yang tertinggi pada biobriket menggunakan tepung tapioka 20% sebesar 7,7600%. Sedangkan berdasarkan komposisi perekat, kadar air tertinggi didapatkan pada komposisi perekat tepung tapioka sebesar 20% dan terendah didapatkan pada komposisi perekat getah pinus sebesar 40%.

Menurut Fitri [18] biobriket dengan perekat 40% getah pinus memiliki kadar air 3,93%. Hal ini menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara konsentrasi perekat dengan kadar air biobriket ampas kopi. Hasil yang didapat pada penelitian ini sesuai dengan teori yaitu semakin tinggi komposisi perekat yang digunakan maka semakin besar kadar air pada biobriket. Semakin banyak perekat yang digunakan

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

maka semakin banyak jumlah air yang dibutuhkan untuk mengubah perekat sehingga kadar air pada biobriket pun akan besar. Namun biobriket yang dihasilkan dengan menggunakan perekat getah pinus memiliki karakteristik yang berbeda dikarenakan perekat getah pinus memiliki

sifat hidrofobik [19]. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada hasil penelitian bahwa kadar air pada biobriket dari ampas kopi dengan perekat getah pinus relatif lebih rendah dibandingkan biobriket ampas kopi dengan perekat tepung tapioka.



Gambar 3. Kadar Air Biobriket dari Ampas Kopi

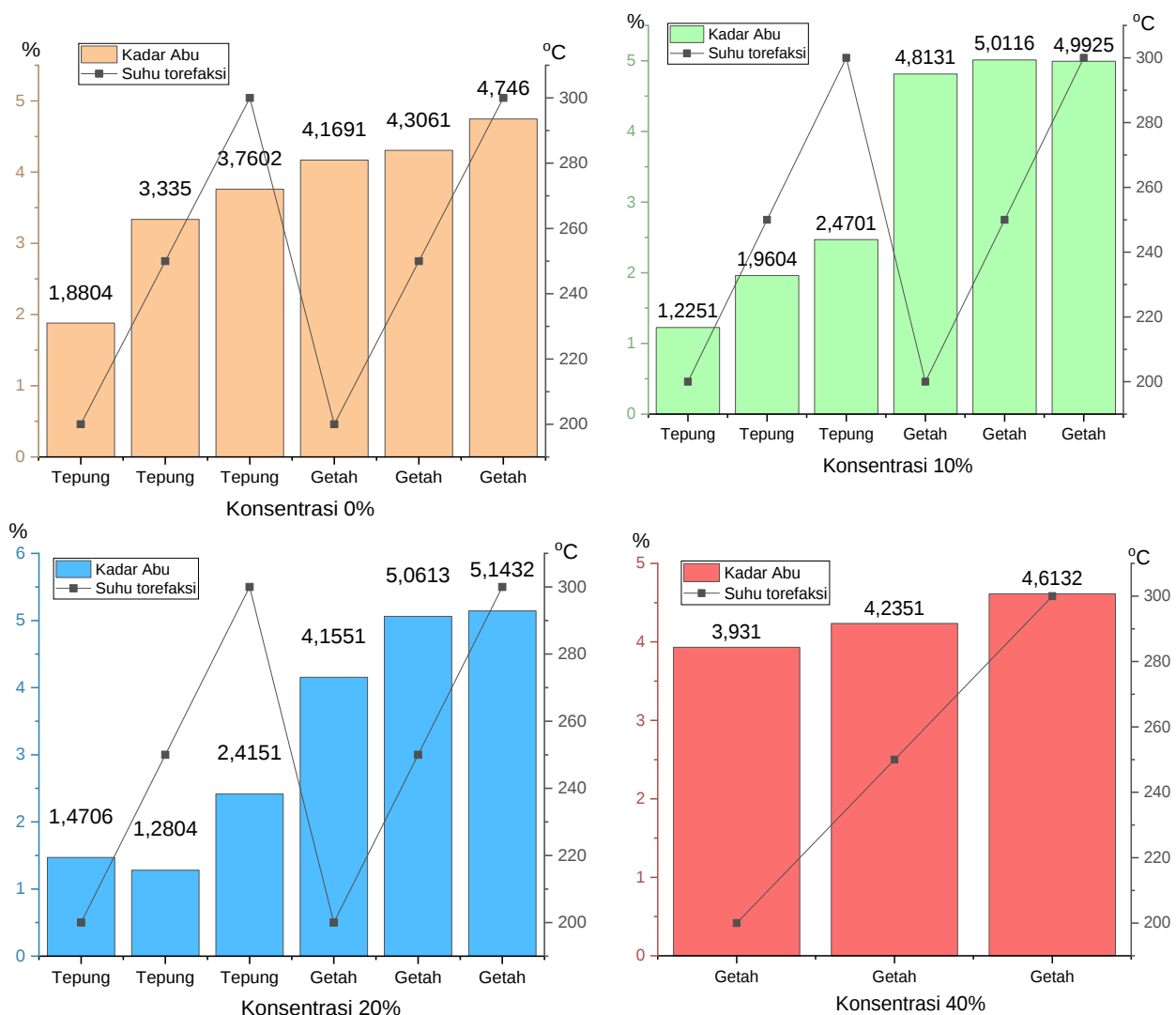
Hasil analisis kadar abu dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil tersebut, semakin tinggi suhu torefaksi yang digunakan, maka semakin tinggi *ash content* yang terkandung pada biobriket. Menurut standar SNI 01-6235-2000 nilai kadar abu maksimum pada biobriket

sebesar 8%. Pada penelitian ini didapatkan biobriket dengan nilai kadar abu kurang dari 8%. Hal tersebut menunjukkan bahwa biobriket yang dihasilkan baik menggunakan perekat tepung tapioka maupun getah pinus memenuhi standar SNI 01-6235-2000.

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

Selain pengaruh dari suhu torefaksi dan jumlah perekat, nilai *ash content* dapat dipengaruhi oleh *impurities* yang berada dalam air pembuat perekat sehingga komponen mineral biobriket relatif meningkat dan saat torefaksi menghasilkan *ash* sebagai sisa dari pembakaran. Kadar abu tertinggi pada penelitian ini terdapat pada biobriket dengan perekat getah pinus 20% yaitu sebesar 5,1432%. Berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fitri [18], biobriket dari kulit kopi dengan perekat getah pinus memiliki kadar abu 0,271%. Hal ini dikarenakan kulit dari kopi mempunyai komponen organik yang tinggi sehingga mudah untuk terikat pada

saat torefaksi dan menghasilkan zat sisa seperti mineral yang relatif rendah untuk menjadi abu [18]. Tingginya *ash content* disebabkan adanya pengotor. Pengotor ini berupa mineral yang tidak dapat dibakar atau dioksidasi oleh oksigen, seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , dan alkali karena pada proses torefaksi tidak melibatkan udara [20]. Pada getah pinus memiliki lebih banyak mineral dibandingkan tepung tapioka sehingga kadar abu yang dihasilkan pada biobriket dengan perekat getah pinus lebih tinggi dibandingkan biobriket dengan perekat tepung tapioka.

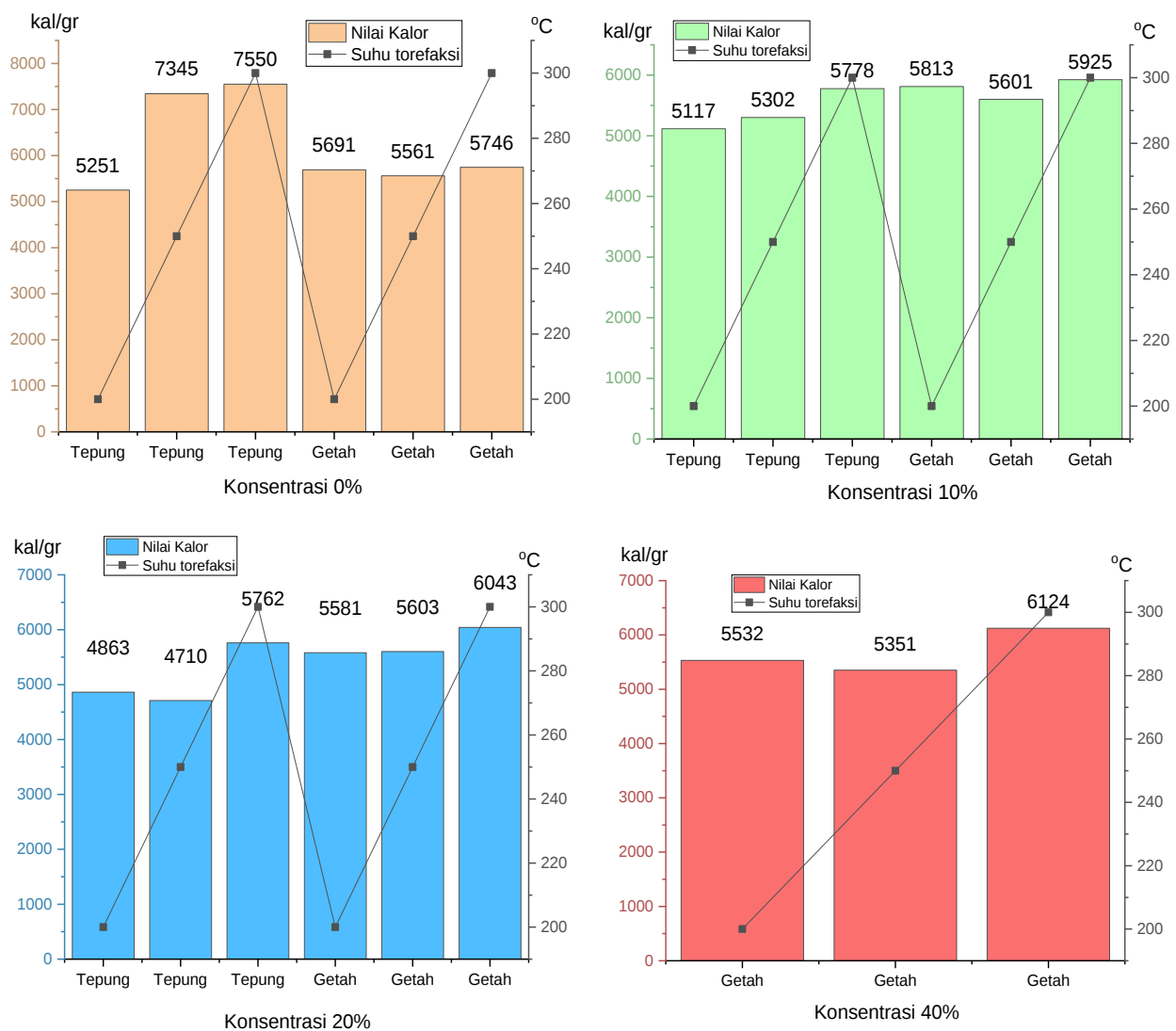


Gambar 4. Kadar Abu Biobriket dari Ampas Kopi

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

Pengukuran nilai kalor bertujuan untuk mengetahui nilai kalor pembakaran yang dihasilkan oleh biobriket dari ampas kopi. Analisis nilai kalor suatu bahan bakar padat maupun cair bertujuan untuk memperoleh data tentang energi panas yang dapat dihasilkan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi atau proses pembakaran [21]. Purnomo *dkk.* [22] menyatakan bahwa nilai kalor merupakan

parameter khusus yang paling penting untuk mengetahui kualitas biobriket sebagai bahan bakar padat. Semakin tinggi nilai kalor biobriket, semakin baik pula kualitasnya [22]. Berdasarkan SNI 01-6235-2000, nilai kalor untuk biobriket yang baik adalah di atas 5000 kal/gr. Hasil analisis nilai kalor biobriket dari ampas kopi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai Kalor Biobriket dari Ampas Kopi

Menurut teori, semakin tinggi suhu yang digunakan pada proses torefaksi maka semakin besar juga nilai kalor yang dimiliki oleh biobriket ampas kopi [12]. Pane *dkk.* [23] menyatakan bahwa semakin

kecil konsentrasi perekat maka akan menghasilkan nilai kalor optimum.

Gambar 5 menunjukkan turunnya nilai kalor yang dipengaruhi oleh berkurangnya jumlah/konsentrasi ampas

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

kopi saat proses torefaksi berlangsung, dapat diartikan bahwa komposisi bahan biobriket memberikan pengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Hal tersebut dapat terjadi karena penambahan perekat yang semakin tinggi menyebabkan air yang terkandung dalam perekat akan masuk dan terikat dalam pori biobriket, selain itu penambahan perekat yang semakin tinggi akan menyebabkan biobriket mempunyai kerapatan yang semakin tinggi pula sehingga pori-pori biobriket semakin kecil dan pada saat dilakukan proses torefaksi air yang terperangkap di dalam pori biobriket sukar menguap [24].

Nilai kalor tertinggi terdapat pada biobriket yang dibuat menggunakan perekat tepung tapioka 0% pada suhu torefaksi 300 °C yaitu 7550 kal/gr. Sedangkan pada biobriket yang menggunakan getah pinus memiliki nilai kalor tertinggi pada suhu torefaksi 300 °C dengan perekat 40% sebesar 6124 kal/gr. Hasil tersebut sama dengan hasil penelitian Fitri [18] yaitu nilai kalor untuk biobriket dari limbah kulit kopi menggunakan perekat getah pinus menghasilkan 6124 kal/gr. Hasil tersebut terdapat pada biobriket (70:30), sedangkan nilai kalor terendah sebesar 5532 kal/gr terdapat pada biobriket (10:90).

Berdasarkan SNI 01-6235-2000, nilai kalor untuk biobriket yang baik adalah di atas 5000 kal/gr, sehingga biobriket yang didapatkan pada penelitian ini sudah memenuhi standar kecuali pada biobriket dengan tepung tapioka 20% dengan suhu pembakaran 250 °C dan 300 °C. Nilai kalor pada biobriket dengan perekat getah pinus memiliki kecenderungan meningkat dengan penambahan konsentrasi getah pinus, hal ini dikarenakan getah pinus memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan tepung tapioka sehingga dapat meningkatkan nilai kalor dari biobriket [13].

4. Kesimpulan

Suhu torefaksi optimum untuk pembuatan biobriket dari ampas kopi adalah 300 °C tanpa menggunakan perekat yang menghasilkan nilai kalor sebesar 7550 kal/gr. Namun pada biobriket ampas kopi dengan perekat getah pinus 40% memiliki nilai kalor tertinggi sebesar 6124 kal/gr. Sehingga dalam pembuatan biobriket dari ampas kopi lebih baik menggunakan suhu torefaksi pada suhu 300 °C dengan perekat getah pinus sebesar 40% supaya biobriket yang dihasilkan cukup padat dan kokoh.

Daftar Rujukan

- [1] Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 5(2), 88–92. Retrieved from <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/2885>
- [2] Aprita, I. R. (2016). *Produksi Biopellet Dan Biobriket Ampas Seduhan Dan Cangkang Biji Kopi Dengan Dan Tanpa Pra Perlakuan Bahan Pada Berbagai Komposisi Perekat*. Bogor Agricultural University. Retrieved from <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/82767>
- [3] Suhartini, S., Hidayat, N., & Wijaya, S. (2011). Physical properties characterization of fuel briquette made from spent bleaching earth. *Biomass and Bioenergy*, 35(10), 4209–4214. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.07.002
- [4] Ryu, C., Yang, Y. Bin, Khor, A., Yates, N. E., Sharifi, V. N., & Swithenbank, J. (2006). Effect of fuel properties on biomass combustion: Part I. Experiments - Fuel type, equivalence ratio and particle size. *Fuel*, 85(7–8), 1039–1046. doi: 10.1016/j.fuel.2005.09.019

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

- [5] Hachicha, R., Rekik, O., Hachicha, S., Ferchichi, M., Woodward, S., Moncef, N., ... Mechichi, T. (2012). Co-composting of spent coffee ground with olive mill wastewater sludge and poultry manure and effect of *Trametes versicolor* inoculation on the compost maturity. *Chemosphere*, 88(6), 677–682. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.053
- [6] Romeiro, G. A., Salgado, E. C., Silva, R. V. S., Figueiredo, M. K. K., Pinto, P. A., & Damasceno, R. N. (2012). A study of pyrolysis oil from soluble coffee ground using low temperature conversion (LTC) process. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 93, 47–51. doi: 10.1016/j.jaap.2011.09.006
- [7] Tsai, W. T., Liu, S. C., & Hsieh, C. H. (2012). Preparation and fuel properties of biochars from the pyrolysis of exhausted coffee residue. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 93, 63–67. doi: 10.1016/j.jaap.2011.09.010
- [8] Khusna, D., & Susanto, J. (2015). Pemanfaatan Limbah Padat Kopi Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dalam Bentuk Briket Berbasis Biomass (Studi Kasus di PT. Santos Jaya Abadi Instan Coffee). *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, 247–260. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=19&ved=2ahUKEwiD_o66uYzkAhVRjOYKHaHBAI4QFjASegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fjurnal.itats.ac.id%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F11%2F28.-Dwi-kusna_itats1.pdf&usg=AOvVaw0MJGMzM_NljIcys61yC7hQ
- [9] Pratiwi, V. D., Isnaeni, I., Pratiwi, D. (2020). Variasi Perekat Dan Waktu Pemanasan Pada Biobriket Dari Ampas Kopi. (Laporan Penelitian Dosen, Institut Teknologi Nasional Bandung).
- [10] Pratiwi, V. D. (2020). Effect of Burning Temperature on The Quality of Alternatife Bio-energy from Coffee Waste. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(3), 615. doi: 10.26760/elkomika.v8i3.615.
- [11] Batoro, J. (2015). *Pengelolaan Lingkungan Dengan Pendekatan Etnobiologi-Etnobotani* (1st ed.). Malang: University of Brawijaya Press.
- [12] Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis - 1st Edition*. elsevier (1st ed.). united states: Academic Press. Retrieved from <https://www.elsevier.com/books/biomass-gasification-and-pyrolysis/basu/978-0-12-374988-8>
- [13] Baryatik, P., Pujiati, R. S., & Ellyke. (2016). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr) pada Limbah Cair Batik (Studi Kasus Industri Batik UD. Pakem Sari Desa Sumberpakem Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa 2016*, 1(1), 1–6. Retrieved from <https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/77363/PuputBaryatik.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] Lubis, H. A. (2011). Uji Variasi Komposisi Bahan Pembuat Briket Kotoran Sapi dan Limbah Pertanian. Retrieved from <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/28807>
- [15] Bergman, P. C. A., Boersma, A. R., Zwart, R. W. R., & Kiel, J. H. A. (2005). Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations. *BIOCOAL*. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20670903>
- [16] Maharsa, L., & Muhammad, M. (2012). Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Pada Biobriket Kulit Mete Dan Sekam Padi Terhadap Laju Pembakaran. *ROTASI*, 14(4), 15–22. doi: 10.14710/ROTASI.14.4.15-22
- [17] Chu, Y. (2013). *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention*. Wiley. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-us/Coffee%3A+Emerging+Health+Effects+and+Disease+Prevention-p-9780470958780>
- [18] Fitri, N. (2017). Pembuatan Briket dari Campuran Kulit Kopi (*coffea arabica*) dan Serbuk Gergaji dengan Menggunakan Getah Pinus Sebagai Perekat. (Skripsi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar). <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/7064/>
- [19] Suranto, Y. (2018). Karakter Dan Kualitas Gondorukem Kuna Hasil Penemuan Di Pemukiman Pecinan Kutoarjo Kabupaten Purworejo. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 12(2), 47–60. doi: 10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v12i2.188
- [20] Bezanson, A. 2009. *Pyrolysis and Torrefaction of Biomass*. Canada: Dalhousie University.

Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi

-
- [21] Ali, N. J., Anas, M., & Erniwati. (2020). Pengaruh Variasi Bahan Perekat terhadap Nilai Kalor dan Waktu Nyala Briket Arang Ban Bekas. *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, 5(4), 334–338.
 - [22] Purnomo, R. H., Hower, H., & Rizki Padya, I. (2015). Pemanfaatan limbah biomassa untuk briket sebagai energi alternatif. *Prosiding Seminar Agroindustri dan Lokakarya Nasional FKPT-TPI*, (September), 54–67. Retrieved from http://tip.trunojoyo.ac.id/semnas/wp-content/uploads/B54-B67-Rahmad-Hari-Purnomo_Univ-Sriwijaya.pdf
 - [23] Pane, J. P., Junary, E., & Herlina, N. (2015). Pengaruh Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka Dan Penambahan Kapur Dalam Pembuatan Briket Arang Berbahan Baku Pelepah Aren (*Arenga Pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2), 32–38. doi: 10.32734/jtk.v4i2.1468
 - [24] Alamsyah, R., Siregar, N. C., & Hasanah, F. (2018). Peningkatan Nilai Kalor Pellet Biomassa Cocopeat sebagai Bahan Bakar Terbarukan dengan Aplikasi Torefaksi. *Warta Industri Hasil Pertanian*, 33(01), 17–23

Research Article

Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

Methylene Blue Adsorption onto Humic Acid Coated Magnetite Nanoparticles: Isotherm and Kinetics Study

Ngatijo^{1*}, Nurul Gusmaini¹, Restina Bemis¹, Rahmat Basuki²

¹Universitas Jambi, Prodi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Indonesia

²Universitas Pertahanan, Departemen Kimia, Fakultas MIPA Militer, Indonesia

*correspondence email: tijo52@yahoo.co.id

Received: 22/01/2021; Revised: 26/05/2021; Accepted: 28/05/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.8433.51-64

Abstrak

Nanopartikel magnetit merupakan suatu material dengan sifat magnet yang stabil dan memiliki luas permukaan tinggi. Penyalutan nanopartikel magnetit dengan asam humat (AH) dilaporkan dapat meningkatkan stabilitas, kapasitas adsorpsi, dan kemudahan pemisahan pasca adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat (NpMAH) dengan metode ko-presipitasi dan menentukan parameter adsorpsinya sebagai adsorben *Methylene Blue* (MB) dengan metode *batch*. Keberhasilan sintesis ditunjukkan oleh karakterisasi NpMAH dengan FT-IR, XRD, SEM, dan VSM. Parameter isoterm adsorpsi mengindikasikan bahwa adsorpsi terjadi secara lapis tunggal dengan kapasitas adsorpsi sebesar 56,96 mg/g dan energi adsorpsi sebesar 26,31 kJ/mol pada pH optimum 6,0. Parameter kinetika menunjukkan bahwa adsorpsi mengikuti model kinetika Ho (*pseudo* orde kedua) dengan konstanta laju adsorpsi (k_{Ho}) sebesar 12688,71 g/mol menit dan perhitungan MB yang teradsorpsi pada kesetimbangan (q_e) sebesar $2,96 \times 10^{-5}$ mol/g. Perhitungan energi adsorpsi menggunakan model kinetika Santosa dan RBS berturut-turut 25,67 kJ/mol dan 41,25 kJ/mol.

Kata kunci: adsorpsi *methylene blue*; asam humat; isoterm adsorpsi; kinetika adsorpsi; nanopartikel magnetit

Abstract

Magnetite nanoparticles (NpM) are a magnetic material that is stable and possess high surface area. Coating of magnetite nanoparticles with humic acid was reported to improve stability, adsorption capacity, and ease of separation after adsorption. This work aims to synthesize humic acid coated magnetite nanoparticles (NpMAH) by co-precipitation procedure and determine its adsorption parameters as Methylene Blue (MB) adsorbent by batch method. The success of the NpMAH synthesis was characterized by FT-IR, XRD, SEM, and VSM. The adsorption isotherm parameter indicates that the adsorption occurs in a monolayer with the adsorption capacity of 56.96 mg/g and the adsorption energy of 26.31 kJ/mol at the optimum pH 6.0. The kinetics parameter showed that the adsorption followed the Ho kinetics model (*pseudo* second order) with adsorption rate constant of 12688.71 g/mol min and the calculation of the adsorbed MB at equilibrium (q_e) of 2.96×10^{-5} mol/g. The calculation of adsorption energy by Santosa and RBS kinetics model 41.25 kJ/mol and 25.67 kJ/mol, respectively.

Keywords: humic acid; isotherm adsorption; kinetics adsorption; magnetite nanoparticles; methylene blue adsorption

Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

1. Pendahuluan

Industri tekstil merupakan industri strategis yang skala produksinya stabil bahkan cenderung meningkat mengingat produk yang dihasilkan merupakan kebutuhan pokok [1]. Kegiatan produksi pada industri tekstil tidak dapat dipisahkan dari kegiatan pewarnaan produk pakaian, sehingga terjadi peningkatan limbah zat warna yang menyebabkan masalah lingkungan. Limbah zat warna yang masuk ke perairan selain menimbulkan masalah estetika, juga mengganggu dalam aktivitas kehidupan dalam perairan tersebut karena menghalangi sinar matahari untuk masuk lebih dalam pada perairan tersebut. Terganggunya aktivitas biota perairan tersebut menyebabkan pasokan oksigen dalam air menjadi berkurang dan memicu aktivitas organisme anaerob yang menghasilkan produk berbau tidak sedap [2]. Lebih jauh, limbah zat warna yang tak terdegradasi bersifat karsinogenik yang dapat terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup [3].

Salah satu zat warna yang digunakan secara luas dalam kegiatan pewarnaan adalah *Methylene Blue* (MB). Zat warna MB merupakan zat warna yang memberikan warna dasar biru yang sangat penting dan relatif murah dibandingkan dengan zat warna lainnya. Zat warna MB sering dipakai dalam pewarnaan tekstil, sutra, wol, dan kosmetik [2]. Luasnya penggunaan MB menyebabkan banyaknya limbah MB yang terbuang ke lingkungan. Adanya MB yang tidak terdegradasi pada perairan dapat menyebabkan efek toksik seperti mual, muntah, nyeri perut dan dada, dan hipertensi jika masuk ke dalam tubuh manusia [4]. Efek toksik yang lebih besar praktis dapat terjadi pada organisme perairan yang lebih kecil. Mengingat potensi bahaya limbah MB terhadap

lingkungan dan makhluk hidup perairan, pengurangan MB dalam lingkungan perairan menjadi hal yang sangat penting.

Beberapa teknik pengurangan limbah zat warna telah banyak dilaporkan oleh beberapa peneliti, diantaranya oksidasi dengan proses fenton [5], fotokatalisis [6], filtrasi [7], koagulasi [8], adsorpsi [1][9] dan lain-lain. Diantara teknik diatas, adsorpsi yang menggunakan adsorben ramah lingkungan merupakan metode yang dilaporkan efektif, murah, dan pemisahan adsorben pasca adsorpsi mudah [10]. Salah satu material ramah lingkungan yang memiliki kapasitas adsorpsi besar, murah, dan ketersediannya tinggi adalah asam humat [11].

Asam humat (AH) merupakan produk degradasi akhir dari senyawa organik yang umumnya terdapat dalam tanah gambut sebagai senyawa humus. Asam humat kaya akan gugus fungsi seperti karboksilat, fenolat, amin, tiol, alkoholat dan lain-lain. Asam humat dikenal dapat berinteraksi dengan lebih dari 50 senyawa yang terdiri dari ion logam berat, senyawa radioaktif, dan polutan organik (termasuk zat warna) [12]. Walaupun AH memiliki keunggulan sebagai adsorben, namun AH memiliki beberapa kelemahan diantaranya kestabilan yang rendah pada pH basa, mudah mengalami aglomerasi, dan pemisahan pasca adsorpsi yang relatif sulit [13].

Para peneliti sebelumnya telah melakukan modifikasi untuk meningkatkan kestabilan dan kapasitas adsorpsi AH diantaranya dengan menggunakan kitin [13, 14], karboksimetilselulosa (CMC) [15], perlit [16], titanium dioksida [17], attapulgit [18], dan magnetit [19–21]. Selain meningkatkan kestabilan dan kapasitas adsorpsi, modifikasi AH dengan magnetit juga memudahkan pengumpulan

Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

kembali adsorben pasca adsorpsi dengan magnet eksternal. Sumber AH yang telah dilaporkan peneliti juga bervariasi mulai dari tanah gambut Kalimantan [19], Palembang [20], dan Rawa Pening [21]. Namun, belum banyak dilaporkan mengenai modifikasi AH dari tanah gambut di daerah Jambi dimana daerah Jambi memiliki lahan gambut yang melimpah.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) memodifikasi AH yang berasal dari tanah gambut daerah Jambi dengan nanopartikel magnetit untuk memudahkan pemisahan adsorben pasca adsorpsi dan (2) mempelajari performa dari adsorben yang disintesis melalui kajian isoterm dan kinetika adsorpsi terhadap zat warna MB pada pH optimum. Isoterm adsorpsi dipelajari melalui aplikasi data adsorpsi variasi konsentrasi MB pada model isotherm: empat variasi Langmuir [22][23], Freundlich [24], Dubinin-Radushkevich (DR) [25], dan Temkin [26]. Kinetika adsorpsi dipelajari melalui aplikasi data variasi waktu pada model kinetika Lagergren (*pseudo* orde pertama) [27], Ho (*pseudo* orde kedua) [28], Santosa [29], dan Rusdiarso-Basuki-Santosa (RBS) [30, 31]. Lebih jauh, prediksi energi adsorpsi (E) dari data kinetika Santosa dan RBS akan dibahas menyeluruh dalam artikel ini.

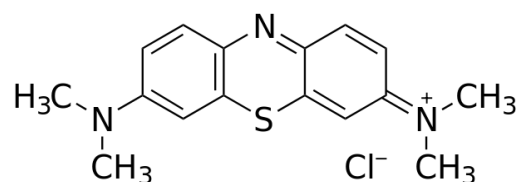
2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Asam humat (AH) diekstraksi dari tanah gambut yang diambil dari Hutan Geragai Provinsi Jambi dengan kedalaman 10-20 cm dari permukaan tanah. Bahan-bahan kimia untuk ekstraksi AH dan sintesis adsorben adalah NaOH pellet, larutan HCl 36%, larutan HF 48%, serbuk $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, serbuk $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan larutan NH_3 25% dengan kualitas *pro*

analyst dari Merck®. Studi adsorpsi menggunakan adsorbat zat warna MB dari Merck®. Adapun struktur kimia MB disajikan pada Gambar 1.

Instrumen yang digunakan sebagai karakterisasi adalah FT-IR (Shimadzu Prestige 21), XRD (Bruker D2 Phaser 2nd Gen), TEM (JOEL JEM 1400 yang dioperasikan pada 120 kV), dan VSM (OXFORD VSM 1.2H). Deteksi zat warna MB pasca adsorpsi diukur menggunakan UV-Vis spektrofotometer (Shimadzu UV-1800). Analisis ukuran partikel dilakukan dengan bantuan *free software* Image-J.



Gambar 1. Struktur kimia zat warna MB

2.2 Sintesis NpMAH

Sintesis nanopartikel magnetit-asam humat (NpMAH) diawali dengan ekstraksi AH dari tanah gambut Hutan Geragai, Provinsi Jambi. Ekstraksi AH dilakukan dengan metode alkali mengikuti prosedur yang direkomendasikan oleh IHSS (*International Humic Substance Society*) pada tekanan dan suhu kamar [32]. Sebanyak 500 g serbuk tanah gambut kering yang lolos ayakan 4 *mesh* direndam dalam 1 L NaOH 0,1 M selama 24 jam. Campuran kemudian diambil filtratnya dan diasamkan dengan HCl 36% sampai pH nya dibawah 1. Campuran kembali didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan. Endapan kemudian dipisahkan dari filtrat dengan cara sentrifugasi pada 5000 rpm selama 15 menit. Endapan kering dan lolos ayakan 100 *mesh* ditandai sebagai AH yang belum dimurnikan.

Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

Pemurnian AH dilakukan dengan metode HCl/HF (1:3) untuk menghilangkan silika, lempung, dan mineral lainnya [33]. Sebanyak 50 g AH yang belum dimurnikan direndam selama 24 jam dalam 250 mL campuran HCl 0,1 M dan HF 0,1 M dengan perbandingan 1:3. Padatan kemudian dipisahkan dengan cara sentrifugasi pada 5000 rpm selama 15 menit. Setelah 3× pengulangan proses pemurnian, padatan dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa Cl^- selama proses ekstraksi dan pemurnian. Pencucian dengan akuades dihentikan ketika sudah tidak terbentuk endapan putih (AgCl) bila air bekas pencucian ditetesi dengan larutan AgNO_3 .

Sintesis NpMAH dilakukan berdasarkan prosedur Liu dkk. (2008) dengan metode ko-presipitasi [34]. Sebanyak 1,53 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 1,05 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 25 mL akuades dipanaskan sampai 90°C . Setelah suhu tercapai, 12,5 mL larutan NH_3 25% dan larutan 12,5 g AH dalam 12,5 mL NaOH 0,1M ditambahkan secara bersamaan. Campuran dipanaskan pada 90°C sambil diaduk selama 1 jam. Campuran kemudian didiamkan selama 24 jam, kemudian sedimen hitam dipisahkan, dinetralkan dengan akuades dan dikeringkan sebagai Nanopartikel Magnetite-Asam Humat (NpMAH).

2.3 Penentuan pH Optimum Adsorpsi

Ditimbang masing-masing 20 mg NpMAH kemudian dikontakkan dengan 25 mL larutan MB 50 ppm pada berbagai pH yaitu antara 2,0–8,0. Pengaturan pH larutan dilakukan dengan penambahan larutan NaOH 0,01 M dan HNO_3 0,01 M. Campuran kemudian diaduk selama 20 menit, kemudian NpMAH dipisahkan dengan magnet eksternal. Filtrat kemudian

dinalisis dengan UV-Vis spektrofotometer pada panjang gelombang 660 nm. Banyaknya MB yang teradsorpsi pada NpMAH merupakan selisih antara konsentrasi MB pada filtrat dan kontrol (konsentrasi MB awal pada pH tertentu).

2.4 Isoterm Adsorpsi MB pada NpMAH

Ditimbang masing-masing 20 mg NpMAH kemudian dikontakkan pada 25 mL larutan MB yang telah divariasikan konsentrasinya dari 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm selama 180 menit pada pH optimum. Konsentrasi MB setelah adsorpsi diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 660 nm.

2.5 Kinetika Adsorpsi MB pada NpMAH

Ditimbang masing-masing 20 mg NpMAH kemudian dikontakkan pada 25 mL larutan MB 10 ppm selama 10, 30, 60, dan 120 menit pada pH optimum. Konsentrasi MB setelah adsorpsi diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 660 nm.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi NpMAH

Karakterisasi AH, magnetit, dan NpMAH menggunakan FT-IR ditunjukkan oleh Gambar 2. Terlihat bahwa AH memiliki lima serapan khas AH menurut Stevenson [32] yaitu pada bilangan gelombang sekitar 3400, 2900, 1720, 1600, dan $1000\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$. Serapan pada 3410 cm^{-1} menunjukkan ikatan hidrogen gugus O–H dari fenolat dan karboksilat. Puncak pada 2930 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C–H alifatik. Vibrasi ulur C=O dari COOH ditunjukkan pada munculnya serapan pada 1710 cm^{-1} . Puncak pada daerah sekitar 1400 cm^{-1} merupakan serapan ion karboksilat yang berasosiasi dengan serapan 1710 cm^{-1} . Identifikasi adanya

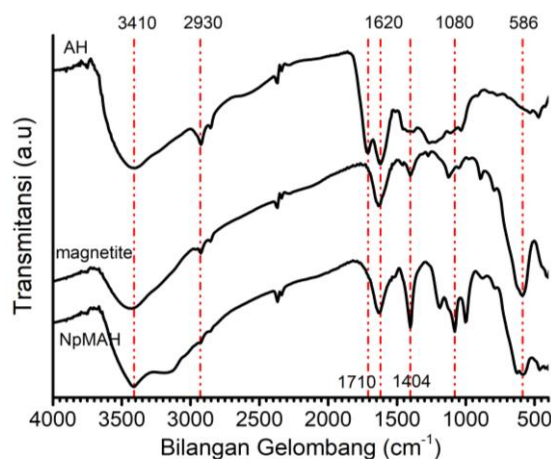
Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

ikatan C-C aromatik ditunjukkan oleh serapan pada panjang gelombang 1620 cm^{-1} .

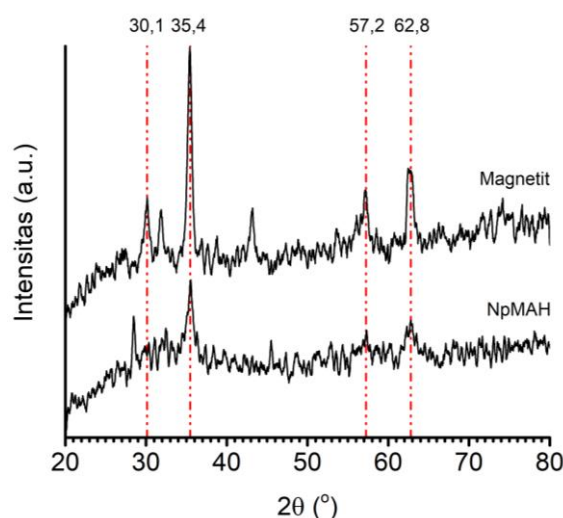
Keberhasilan penyalutan AH pada nanopartikel magnetit diidentifikasi dari menghilangnya serapan pada 1710 cm^{-1} dan munculnya serapan pada 1404 cm^{-1} dan 586 cm^{-1} . Hal ini dikaitkan dengan interaksi gugus C=O pada AH dengan oksida besi pada magnetit [34]. Interaksi serupa juga dilaporkan oleh peneliti sebelumnya [35].

Analisis kristalinitas menggunakan XRD ditunjukkan oleh Gambar 3. Terlihat bahwa magnetit memiliki 2 θ karakteristik yaitu pada $= 30,1^\circ$; $35,4^\circ$; $57,2^\circ$; dan $62,68^\circ$ yang sesuai dengan struktur spinel kubik terbalik (JCPDS 65-3107) [19]. NpMAH memiliki puncak 2 θ yang mirip dengan puncak karakteristik magnetit dengan intensitas tertinggi pada $35,4^\circ$. Hal ini mengindikasikan bahwa NpMAH bersifat semi-kristalin daripada amorf.

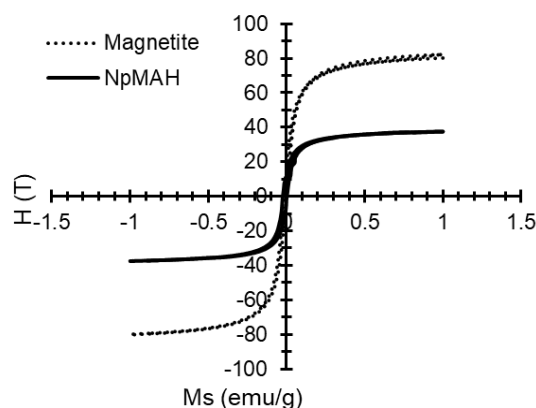
Keberhasilan modifikasi AH dengan magnetit juga dibuktikan dengan adanya penurunan kekuatan magnet dari $80,23\text{ emu/g}$ (magnetit) menjadi $30,63\text{ emu/g}$ (NpMAH). Penurunan kekuatan magnet mengindikasikan terjadinya penurunan kristalinitas pasca modifikasi magnetit dari $89,25\%$ (magnetit) menjadi $63,62\%$ (NpMAH). Namun, walaupun dengan kekuatan magnet $30,63\text{ emu/g}$, NpMAH masih tertarik dengan kuat dan cepat (kurang dari 2 menit) pada magnet eksternal saat pemisahan adsorben pasca adsorpsi.



Gambar 2. Spektrogram FT-IR dari AH, magnetit, dan NpMAH

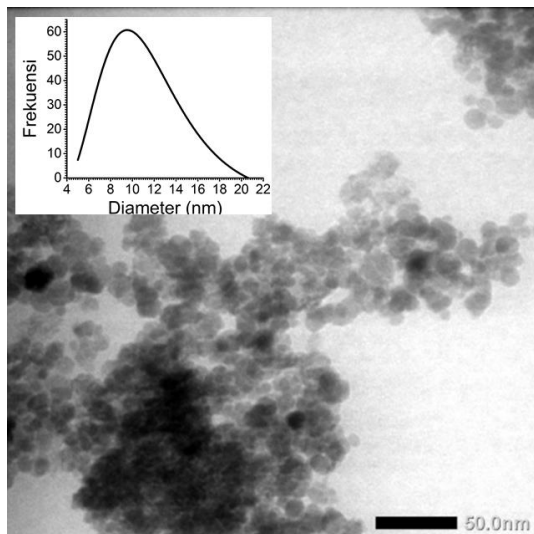


Gambar 3. Difraktogram magnetit dan NpMAH



Gambar 4. Kekuatan magnet NpMAH ($30,63\text{ emu/g}$) dan magnetit ($80,23\text{ emu/g}$)

Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika



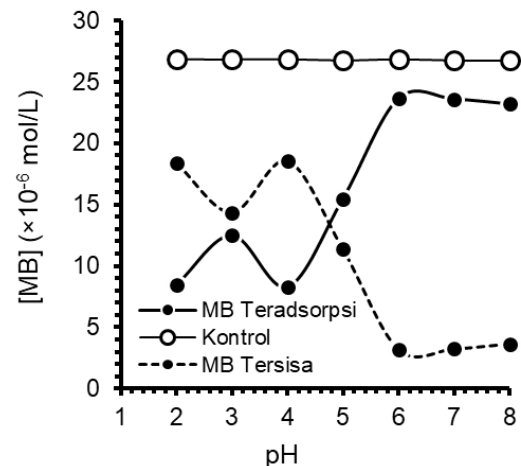
Gambar 5. Citra TEM dari NpMAH dan prediksi ukuran diameter NpMAH dengan Image-J

Hasil citra TEM dengan perbesaran skala 50 nm menunjukkan bahwa NpMAH yang disintesis memiliki ukuran nano, berbentuk bulat tidak beraturan dan teragregasi (Gambar 5). Menggunakan *free software* pengolah gambar TEM, yaitu *Image-J* diperoleh ukuran diameter rata-rata sekitar 10 nm (Inset Gambar 5). Hasil ini sesuai dengan penelitian Liu dkk. (2008) bahwa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AH}$ yang disintesis oleh Liu memiliki inti partikel nano dengan ukuran khas ~ 10 nm dengan seluruh permukaan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{AH}$ berada dalam bentuk agregat [34].

3.2 pH Optimum Adsorpsi

pH sangat mempengaruhi adsorpsi MB pada NpMAH. Pada pH rendah, NpMAH akan mengalami protonasi sehingga situs aktif menjadi tidak bermuatan dan MB yang bermuatan positif tidak teradsorpsi secara maksimal (Gambar 6). Namun, seiring dengan naiknya pH, NpMAH akan mengalami deprotonasi dan situs aktif akan bermuatan negatif sehingga adsorpsi terjadi secara maksimal. pH optimum adsorpsi terjadi pada pH 6,0

dimana MB teradsorpsi paling banyak pada NpMAH. Beberapa penelitian adsorpsi MB juga memiliki pH optimum yang mirip [36][37]. Pada $\text{pH} > 6,0$ adsorpsi MB sedikit mengalami penurunan akibat kompetisi antara adsorben yang bermuatan negatif dengan ion OH^- yang juga berinteraksi dengan MB [38].



Gambar 6. pH optimum adsorpsi MB pada NpMAH

3.3 Isoterm Adsorpsi MB pada NpMAH

Parameter isoterm adsorpsi dihasilkan dari aplikasi data eksperimen variasi konsentrasi pada model linier dari 4 ekspresi isoterm Langmuir (Persamaan 1-4) [22][23], Freundlich (Persamaan 5) [24], DR [25] (Persamaan 6), dan Temkin (Persamaan 7) [26].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L b} + \frac{1}{b} C_e \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{b} + \frac{1}{b K_L C_e} \quad \text{.....(2)}$$

$$q_e = b - \frac{q_e}{K_L C_e} \quad \text{.....(3)}$$

$$\frac{q_e}{C_e} = b K_L - q_e K_L \quad \text{.....(4)}$$

$$\ln q_e = \ln B + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{.....(5)}$$

$$\ln q_e = \ln q_D - B_D \epsilon^2 \quad \text{.....(6)}$$

Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e \quad \text{.....(7)}$$

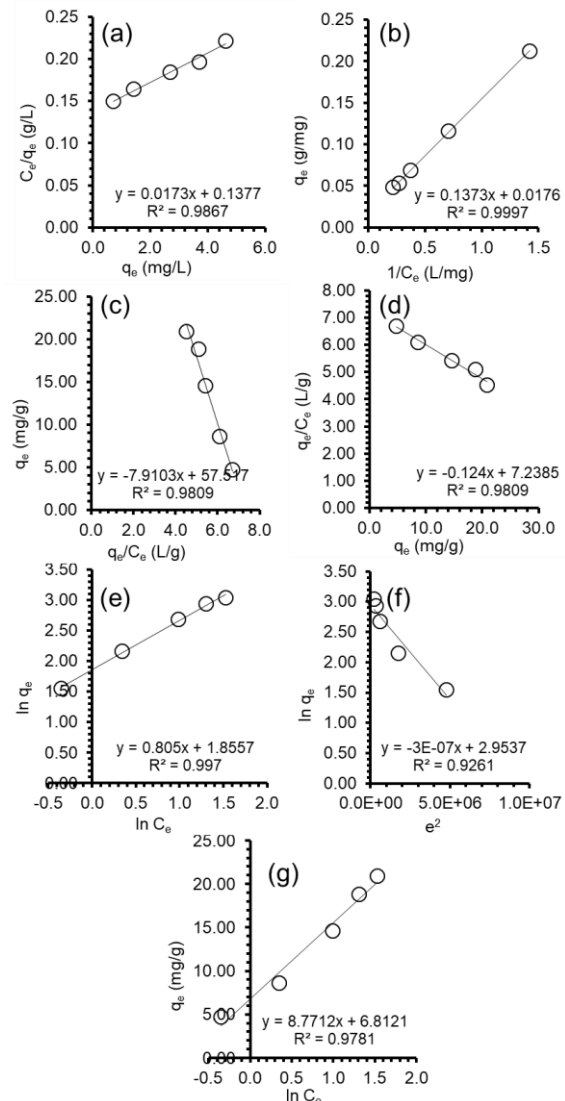
Aplikasi data terhadap *plot* pada Persamaan (1)-(7) disajikan pada Gambar 7. Terlihat bahwa tiap model memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) yang bervariasi, dengan R^2 terbaik diperoleh dari model Langmuir-2. Berdasarkan model Langmuir-2 diperoleh kapasitas adsorpsi MB pada NpMAH sebesar 56,96 mg/g dengan energi adsorpsi (E_L) sebesar 26,31 kJ/mol (Tabel 2). Kapasitas adsorpsi NpMAH pada penelitian ini relatif lebih besar jika dibandingkan penelitian sebelumnya seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan kapasitas adsorpsi MB terhadap beberapa adsorben dalam literatur

No	Adsorben	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Referensi
1.	Kulit pohon kelapa	14,93	[40]
2.	Limbah agroindustri	17,43	[41]
3.	Serbuk kertas bekas	30,77	[42]
4.	Limbah pohon pepaya	32,25	[43]
5.	Kulit walnut	36,62	[44]
6.	NpMAH	56,96	Penelitian ini
7.	Humin	60,20	[37]
8.	Kaolinit	72,57	[45]
9.	AH-Perlit	82,80	[16]
9.	AH/Fe ₃ O ₄	93,08	[38]
10.	AH-Magnetit	200,00	[46]

Besarnya energi adsorpsi ini mengindikasikan bahwa adsorpsi MB pada NpMAH terjadi melalui interaksi fisik atau pertukaran ion [39]. Kecocokan data isoterm dengan model isoterm Langmuir menunjukkan bahwa MB teradsorpsi secara lapis tunggal (*monolayer*), tidak ada

interaksi antar MB setelah teradsorpsi, dan satu situs diasumsikan hanya dapat mengikat satu molekul MB.



Gambar 7. Adsorpsi MB pada NpMAH menggunakan model linear dari (a) Langmuir-1, (b) Langmuir-2, (c) Langmuir-3, (d) Langmuir-4, (e) Freundlich, (f) Dubinin-Radushkevich, dan (g) Temkin.

Hasil aplikasi data pada model Freundlich menunjukkan bahwa terdapat beberapa situs yang mampu melakukan adsorpsi secara multilapis (*B*) dengan kapasitas adsorpsi yang cukup besar yaitu $1,73 \times 10^4$ mg/g (sekitar 303 kali dari adsorpsi lapis tunggal Langmuir-2). Walau

Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

demikian, lapisan terluar memiliki energi adsorpsi yang sangat lemah yaitu 0,28 kJ/mol yang terukur dari energi adsorpsi Temkin (Tabel 2). Pada lapis diantara lapis pertama (Langmuir) dengan lapis terluar (Freundlich), isoterm DR mengukur bahwa pada kapasitas 1356,83 mg/g (q_D , lapis ke-24 dari lapis pertama) energi adsorpsi terukur sebesar 9,6 kJ/mol. Hasil ini memberikan fakta bahwa semakin luar lapisan MB yang teradsorpsi pada NpMAH, maka energi adsorpsinya akan semakin kecil.

3.4 Kinetika Adsorpsi MB pada NpMAH

Investigasi kinetika adsorpsi dilakukan menggunakan aplikasi variasi waktu pada model linear dari Lagergren (Persamaan 8) [27], Ho (Persamaan 9) [28], Santosa (Persamaan 10) [29], dan Rusdiarso-Basuki-Santosa/RBS (Persamaan 11) [30, 31].

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_{Lag} t \quad \text{.....(8)}$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_{Ho}(q_e^2)} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{.....(9)}$$

$$\frac{1}{C_0 - Xq_e} \ln \left(\frac{q_e(C_0 - Xq_t)}{C_0(q_e - q_t)} \right) = k_s t \quad \text{.....(10)}$$

$$\ln \left(\frac{C_0 C_b - x_e x}{x_e - x} \right) = k_a \left(\frac{C_0 C_b - x_e^2}{x_e} \right) t - \ln \left(\frac{x_e}{C_0 C_b} \right) \quad \text{.....(11)}$$

Profil adsorpsi MB pada NpMAH sebagai fungsi waktu disajikan pada Gambar 8a. Adsorpsi MB terjadi dengan cepat pada 30 menit pertama, kemudian melambat dan mencapai kesetimbangan setelah 120 menit. Banyaknya MB yang teradsorpsi saat tercapai kesetimbangan dicatat sebagai q_e eksperimen, yaitu terukur sebesar $2,89 \times 10^{-5}$ mol/g adsorben. Aplikasi data kinetika pada persamaan (8)-(11) disajikan pada Gambar 8b-8f. Model yang paling mewakili sistem kinetika penelitian ini berdasarkan linearitasnya adalah model kinetika Ho, yaitu dengan R^2 sebesar 0,9997 (Tabel 3). Parameter yang dihasilkan dari kinetika Ho adalah konstanta laju adsorpsi (k_{Ho}) sebesar 12688,71 g/mol menit dan MB yang teradsorpsi pada kesetimbangan (q_e) sebesar $2,96 \times 10^{-5}$ mol/g.

Tabel 2. Penentuan parameter isoterm adsorpsi MB pada NpMAH

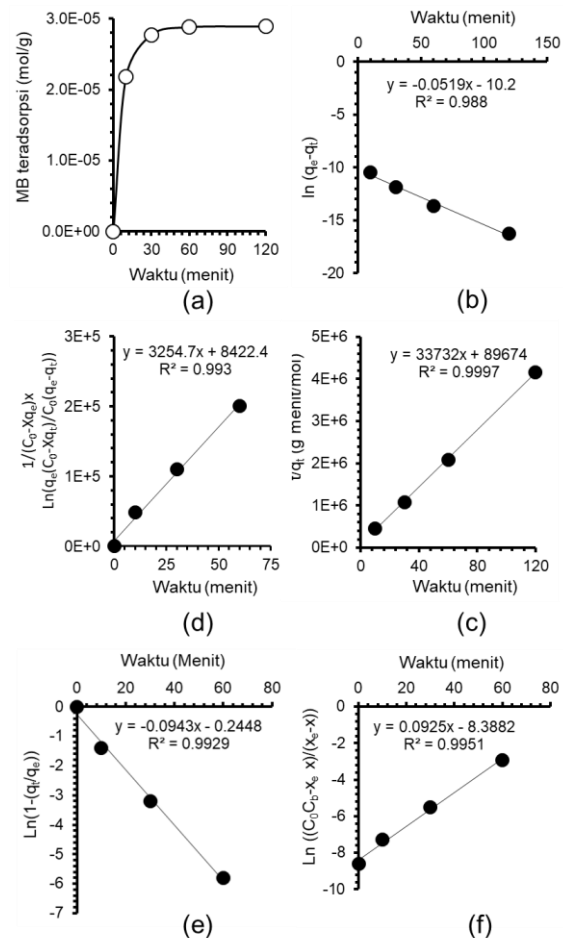
Parameter	Isoterm Model			
	Langmuir-1	Langmuir-2	Langmuir-3	Langmuir-4
R^2	0,9867	0,9997	0,9809	0,9809
b (mol/g)	$1,80 \times 10^{-4}$	$1,78 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-4}$
b (mg/g)	57,68	56,96	64,00	58,38
K_L (L/mol)	40268,70	40895,85	50000	39661
E_L (kJ/mol)	27,27	26,31	26,81	26,23
	Freundlich	DR	Temkin	
R^2	0,9970	0,9261	0,9781	
n	1,24	-	-	
B (mol/g)	$5,4 \times 10^{-2}$	-	-	
B (mg/g)	$1,73 \times 10^4$	-	-	
q_D (mol/g)	-	$4,24 \times 10^{-3}$	-	
q_D (mg/g)	-	1356,83	-	
E_D (kJ/mol)	-	9,60	-	
b_T (kJ/mol)	-	-	0,28	
A_T (L/g)	-	-	2,17	

Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

Walaupun memiliki linearitas terbaik, model kinetika Ho memiliki beberapa kelemahan yaitu parameter yang dihasilkan sangat minim untuk dilakukan studi silang dengan parameter lain, misalnya parameter isoterm adsorpsi. Parameter yang dihasilkan dari kinetika Ho adalah k_{Ho} dan q_e hasil perhitungan. Sedangkan untuk dilakukan studi silang dengan parameter isoterm adsorpsi, model kinetika perlu menghasilkan tetapan laju desorpsi (k_{des}). Melalui hubungan $K = k_{ads}/k_{des}$, dimana K merupakan parameter isoterm adsorpsi, maka studi silang antara parameter kinetika dan isoterm adsorpsi dapat dilakukan. Namun, satu-satunya hal yang dapat dibandingkan dari parameter Ho adalah hasil perhitungan q_e dengan eksperimental q_e . Perbandingan hasil perhitungan q_e ($2,96 \times 10^{-5}$ mol/g) dan hasil eksperimental q_e ($2,89 \times 10^{-5}$ mol/g) pada penelitian ini memiliki nilai yang sangat dekat, yang mengkonfirmasi bahwa adsorpsi benar-benar mengikuti model kinetika Ho.

Santosa [29] dan Rusdiarso *dkk.* [30][31] mengembangkan model kinetika yang menghasilkan parameter k desorpsi (k_{des}) yang dapat dibandingkan dengan parameter isoterm adsorpsi (K), melalui hubungan $k_{ads}/k_{des} = K$ sehingga dapat dilakukan studi silang apakah parameter kinetika tersebut benar-benar menggambarkan nilai aslinya. Hasil aplikasi data kinetika penelitian ini pada model Santosa menunjukkan nilai R^2 yang cukup baik (0,9930) dengan tetapan laju adsorpsi (k_s) dan desorpsi (k_{ds}) berturut-turut sebesar 3254,70 L/mol menit dan $1,92 \times 10^{-4}$ menit⁻¹. Tetapan laju desorpsi (k_{ds}) model Santosa didapat dari *plot* $\ln(1 - \{q/q_e\})$ lawan t (Santosa-2, Gambar 8e) dengan slope merupakan fungsi dari $k_s C_0 + k_{ds}$. Menggunakan rumus energi

adsorpsi, $E_s = -RT \ln K_s$ dimana K_s merupakan k_s/k_{ds} maka diperoleh $E_s = 41,25$ kJ/mol. Nilai E_s cukup jauh dari nilai E_L dari Langmuir sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai k_s dan k_{ds} tidak menggambarkan adsorpsi MB pada NpMAH.



Gambar 8. (a) Profil adsorpsi MB pada NpMAH sebagai fungsi waktu, dan model linear dari model kinetika adsorpsi (b) Lagergren, (c) Ho, (d) Santosa-1, (e) Santosa-2, dan (f) RBS.

Linieritas (R^2) aplikasi data variasi waktu pada model kinetika RBS juga cukup baik (0,9951). Parameter yang dihasilkan dari model RBS adalah $k_a = 567,19$ L/mol menit, $k_d = 1,82 \times 10^{-2}$ menit⁻¹, dan $q_e = 2,36 \times 10^{-5}$ mol/g (Tabel 3). Dengan perhitungan yang sama dengan E_s ,

Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

diperoleh nilai $E_{RBS} = 25,67$ kJ/mol, dimana nilai E_{RBS} ini sangat dekat dengan nilai E dari Langmuir-2 (26,31 kJ/mol). Selain itu, perbandingan nilai perhitungan q_e dari model kinetika RBS ($2,36 \times 10^{-5}$ mol/g) dan hasil eksperimental q_e ($2,89 \times 10^{-5}$ mol/g) pada penelitian ini memiliki nilai yang

cukup dekat. Dari hasil analisis ini, dapat disimpulkan bahwa model kinetika RBS relatif sesuai untuk menggambarkan adsorpsi MB pada NpMAH dan dapat digunakan untuk memprediksi energi adsorpsi hanya dari data kinetika.

Tabel 3. Parameter kinetika adsorpsi MB pada NpMAH

Parameter	Model Kinetika			
	Lagegren	Ho	Santosa	RBS
R^2	0,9880	0,9997	0,9930	0,9951
k_{Lag} (menit ⁻¹)	0,0519	-	-	-
q_e (mol/g)	$3,72 \times 10^{-5}$	$2,96 \times 10^{-5}$	-	$2,36 \times 10^{-5}$
k_{Ho} (g/mol menit)	-	12688,71	-	-
k_s (L/mol menit)	-	-	3254,70	-
k_{ds} (menit ⁻¹)	-	-	$1,92 \times 10^{-4}$	-
K_s (L/mol)	-	-	$1,70 \times 10^7$	-
k_a (L/mol menit)	-	-	-	567,19
k_d (menit ⁻¹)	-	-	-	$1,82 \times 10^{-2}$
K_{RBS} (L/mol)	-	-	-	31180

4. Kesimpulan

Penyalutan nanopartikel magnetit dengan AH dari tanah gambut Hutan Geragai (NpMAH), Provinsi Jambi telah berhasil dilakukan. Keberhasilan penyalutan diidentifikasi dari karakterisasi dengan FT-IR, XRD, VSM dan TEM. Adsorpsi MB pada NpMAH terjadi secara lapis tunggal dengan kapasitas adsorpsi sebesar 56,96 mg/g dan energi adsorpsi sebesar 26,31 kJ/mol pada pH optimum 6,0. Nilai kapasitas adsorpsi NpMAH pada penelitian ini terlihat cukup besar dibandingkan dengan adsorben MB pada beberapa literature sebelumnya. Kajian kinetika adsorpsi MB pada NpMAH mengikuti model Ho (*pseudo* orde kedua) dengan k_{Ho} sebesar 12688,71 g/mol menit dan q_e sebesar $2,96 \times 10^{-5}$ mol/g. Studi silang terhadap prediksi energi adsorpsi menggunakan model kinetika Santosa dan RBS menunjukkan bahwa model RBS memiliki nilai energi adsorpsi (25,67

kJ/mol) yang lebih dekat dengan nilai energi adsorpsi dari isoterm Langmuir (26,31 kJ/mol).

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Universitas Jambi yang telah memberikan dukungan finansial melalui skema Penelitian Gambut (No Kontrak: 453/UN21.18/PG/SPK/2020).

Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

Daftar Rujukan

- [1] Hikmawati, D. I., & Haqiqi, E. R. (2019). Surface Chemical Structure and Morphological Analysis of Fallen Teak Leaves (*Tectona grandis*) Powder for Methylene Blue Adsorption. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 2(1), 42–49.
- [2] Fitriani, D., Dwita Oktiani, L., & others. (2015). Pemanfaatan Kulit Pisang Sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue. *GRADIEN: Jurnal Ilmiah MIPA*, 11(2), 1091–1095.
- [3] Sanjaya, H. (2017). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-Peg Dengan Metode Fotosonolisis. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), 21–29.
- [4] Huda, T., & Yulitaningtyas, T. K. (2018). Kajian adsorpsi methylene blue menggunakan selulosa dari alang-alang. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 1(01), 9–19.
- [5] Weng, C.-H., & Huang, V. (2015). Application of Fe⁰ aggregate in ultrasound enhanced advanced Fenton process for decolorization of methylene blue. *Journal of industrial and Engineering Chemistry*, 28, 153–160.
- [6] Adeleke, J. T., Theivasanthi, T., Thiruppathi, M., Swaminathan, M., Akomolafe, T., & Alabi, A. B. (2018). Photocatalytic degradation of methylene blue by ZnO/NiFe₂O₄ nanoparticles. *Applied surface science*, 455, 195–200.
- [7] Widyaningsih, S., Dwiasi, D. W., & Hidayati, D. (2014). Penurunan konsentrasi zat warna dalam limbah batik menggunakan membran dari *Sargassum* sp. *Molekul*, 9(2), 166–174.
- [8] Lestari, N. D., & Agung, T. (2014). Penurunan TSS Dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektro Koagulasi. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(1), 37–44.
- [9] Ngatijo, N., Basuki, R., Rusdiarso, B., & Nuryono, N. (2020). Sorption-desorption profile of Au (III) onto silica modified quaternary amines (SMQA) in gold mining effluent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103747. doi: 10.1016/j.jece.2020.103747
- [10] Ngatijo, N., Basuki, R., Nuryono, N., & Rusdiarso, B. (2019). Comparison of Au(III) Sorption on Amine-Modified Silica (AMS) and Quaternary Amine-Modified Silica (QAMS): A Thermodynamic and Kinetics Study. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(2), 337–346. doi: 10.22146/ijc.33758
- [11] Santosa, S. J., Siswanta, D., & Sudiono, S. (2014). *Dekontaminasi Ion Logam Dengan Biosarben Berbasis Asam Humat, Kitin, dan Kitosan*. UGM PRESS.
- [12] Barot, N. S., & Bagla, H. K. (2009). Extraction of humic acid from biological matrix - dry cow dung powder. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 2(4), 217–221. doi: 10.1080/17518250903334290
- [13] Rusdiarso, B., & Basuki, R. (2020). Stability Improvement of Humic Acid as Sorbent through Magnetite and Chitin Modification. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 23(5), 152–159. doi: 10.14710/jksa.23.5.152-159
- [14] Santosa, S. J., Siswanta, D., Sudiono, S., & Utarianingrum, R. (2008). Chitin-humic acid hybrid as adsorbent for Cr(III) in effluent of tannery wastewater treatment. *Applied Surface Science*, 254(23), 7846–7850. doi: 10.1016/j.apsusc.2008.02.102
- [15] Lu, S., Liu, W., Wang, Y., Zhang, Y., Li, P., Jiang, D., ... Li, Y. (2019). An adsorbent based on humic acid and carboxymethyl cellulose for efficient dye removal from aqueous solution. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 790–797. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.095
- [16] Luo, W. J., Gao, Q., Wu, X. L., & Zhou, C. G. (2014). Removal of Cationic Dye (Methylene Blue) from Aqueous Solution by Humic Acid-Modified Expanded Perlite: Experiment and Theory. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 49(15), 2400–2411. doi: 10.1080/01496395.2014.920395
- [17] Chen, Q., Yin, D., Zhu, S., & Hu, X. (2012). Adsorption of cadmium(II) on humic acid coated titanium dioxide. *Journal of Colloid and Interface Science*, 367(1), 241–248. doi: 10.1016/j.jcis.2011.10.005
- [18] Zhang, X., Lei, Q., Wang, X., Liang, J., Chen, C., Luo, H., ... Jiang, J. (2019). Removal of Cr(III) Using Humic Acid-Modified Attapulgite. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 145(6), 1–9. doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001541
- [19] Koesnarpadi, S., Santosa, S. J., Siswanta, D., & Rusdiarso, B. (2017). Humic Acid Coated Fe₃O₄ Nanoparticle for Phenol Sorption. *Indonesian Journal of Chemistry*, 17(2), 274–283. doi: <https://doi.org/10.22146/ijc.22545>

Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

- [20] Basuki, R., Santosa, S. J., & Rusdiarso, B. (2017). The novel kinetics expression of Cadmium (II) removal using green adsorbent horse dung humic acid (Hd-Ha). In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1823). doi: 10.1063/1.4978074
- [21] Kustomo, K., & Santosa, S. J. (2019). Studi kinetika dan adsorpsi zat warna kation (metilen biru) dan anion (metil orange) pada magnetit terlapis asam humat. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(2), 64–69.
- [22] Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surface of glass, mica, and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, 40(9), 1361–1403. doi: 10.1021/ja02242a004
- [23] Basuki, R., Yusnaidar, Y., & Rusdiarso, B. (2018). Different style of Langmuir isotherm model of non-competitive sorption Zn(II) and Cd(II) onto horse dung humic acid (HD-HA). *AIP Conference Proceedings*, 2026, 020009. doi: 10.1063/1.5064969
- [24] Freundlich, H. (1906). Über die Adsorption in Lösungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 57U(1), 385–470. doi: 10.1515/zpch-1907-5723
- [25] Dubinin, M. M., & Radushkevich, L. V. (1947). The equation of the characteristic curve of the activated charcoal USSR. *Proceedings of the Academy of Sciences, Physical Chemistry Section*, 55, 331–337.
- [26] Tempkin, M. I., & Pyzhev, V. (1940). Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalyst. *Acta Phys. Chim. USSR*, 12(1), 327–356.
- [27] Lagergren, S. (1898). Kungliga svenska vetenskapsakademiens. *Handlingar*, 24(4), 1–39.
- [28] Ho, Y. S., McKay, G., Wase, D. A. J., & Forster, C. F. (2000). Study of the sorption of divalent metal ions on to peat. *Adsorption Science and Technology*, 18(7), 639–650. doi: 10.1260/0263617001493693
- [29] Santosa, S. J. (2014). Sorption kinetics of Cd(II) species on humic acid-based sorbent. *Clean - Soil, Air, Water*, 42(6), 760–766. doi: 10.1002/clen.201200684
- [30] Rusdiarso, B., Basuki, R., & Santosa, S. J. (2016). Evaluation of Lagergren kinetics equation by using novel kinetics expression of sorption of Zn 2+ onto horse dung humic acid (HD-HA). *Indonesian Journal of Chemistry*, 16(3), 338–346. doi: 10.22146/ijc.1158
- [31] Basuki, R., Ngatijo, Santosa, S. J., & Rusdiarso, B. (2018). Comparison the new kinetics equation of noncompetitive sorption Cd(II) and Zn(II) onto green sorbent horse dung humic acid (HD-HA). *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13(3), 475–488. doi: 10.9767/bcrec.13.3.1774.475-488
- [32] Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: John Wiley & Sons.
- [33] Basuki, R., Santosa, S. J., & Rusdiarso, B. (2017). Ekstraksi adsorben ramah lingkungan dari matriks biologi : asam humat tinja kuda. *Chempublish Journal*, 2(1), 13–25.
- [34] Liu, J. F., Zhao, Z. S., & Jiang, G. Bin. (2008). Coating Fe₃O₄ magnetic nanoparticles with humic acid for high efficient removal of heavy metals in water. *Environmental Science and Technology*, 42(18), 6949–6954. doi: 10.1021/es800924c
- [35] Illés, E., & Tombácz, E. (2003). The role of variable surface charge and surface complexation in the adsorption of humic acid on magnetite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 230(1–3), 99–109. doi: 10.1016/j.colsurfa.2003.09.017
- [36] El-Sayed, G. O. (2011). Removal of methylene blue and crystal violet from aqueous solutions by palm kernel fiber. *Desalination*, 272(1–3), 225–232. doi: 10.1016/j.desal.2011.01.025
- [37] Santosa, S. J., Kunarti, E. S., Aprilita, N. H., Wulandari, B., & Bawani, D. N. (2019). Sorption mechanism and performance of peat soil humin for Methylene blue and p-Nitrophenol. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(1), 198–210. doi: 10.22146/ijc.33635
- [38] Zhang, X., Zhang, P., Wu, Z., Zhang, L., Zeng, G., & Zhou, C. (2013). Adsorption of methylene blue onto humic acid-coated Fe₃O₄ nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 435, 85–90. doi: 10.1016/j.colsurfa.2012.12.056
- [39] Siyal, A. A., Shamsuddin, M. R., Rabat, N. E., Zulfiqar, M., Man, Z., & Low, A. (2019). Fly ash based geopolymer for the adsorption of anionic surfactant from aqueous solution. *Journal of Cleaner Production*, 229, 232–243. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.384
- [40] Parvin, S., Rahman, M. W., Saha, I., Alam, M. J., & Khan, M. M. R. (2019). Coconut tree bark as a potential low-cost adsorbent for the removal of methylene blue from wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 146, 385–392. doi: 10.5004/dwt.2019.23598

Adsorpsi Methylene Blue pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

- [41] Meili, L., Lins, P. V. S., Costa, M. T., Almeida, R. L., Abud, A. K. S., Soletti, J. I., ... Erto, A. (2019). Adsorption of methylene blue on agroindustrial wastes: Experimental investigation and phenomenological modelling. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 141, 60–71. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2018.07.011
- [42] Labiebah, G., Gunawan, G., Djunaidi, M. C., Haris, A., & Widodo, D. S. (2019). Removal of Methylene Blue Using Used Paper Powder. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 22(1), 23–28.
- [43] Rangabhashiyam, S., Lata, S., & Balasubramanian, P. (2018). Biosorption characteristics of methylene blue and malachite green from simulated wastewater onto Carica papaya wood biosorbent. *Surfaces and Interfaces*, 10, 197–215.
- [44] Uddin, M. K., & Nasar, A. (2020). Walnut shell powder as a low-cost adsorbent for methylene blue dye: isotherm, kinetics, thermodynamic, desorption and response surface methodology examinations. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. doi: 10.1038/s41598-020-64745-3
- [45] Mouni, L., Belkhiri, L., Bollinger, J.-C., Bouzaza, A., Assadi, A., Tirri, A., ... Remini, H. (2018). Removal of Methylene Blue from aqueous solutions by adsorption on Kaolin: Kinetic and equilibrium studies. *Applied Clay Science*, 153, 38–45. doi: 10.1016/j.clay.2017.11.034
- [46] Chen, R. P., Zhang, Y. L., Wang, X. Y., Zhu, C. Y., Ma, A. J., & Jiang, W. M. (2015). Removal of methylene blue from aqueous solution using humic-acid coated magnetic nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, 55(2), 539–548. doi: 10.1080/19443994.2014.916233

Adsorpsi *Methylene Blue* pada Nanopartikel Magnetit tersalut Asam Humat: Kajian Isoterm dan Kinetika

Nomenklatur

A_T	Parameter Temkin (L/g)
b	Kapasitas adsorpsi lapis tunggal Langmuir (mol/g atau mg/g)
B	Kapasitas multilapis Freundlich (mol/g atau mg/g)
B_D	Energi bebas DR (mol^2/J^2)
b_T	Parameter energi adsorpsi Temkin (J/mol)
C_0	Konsentrasi awal MB (mol/L)
C_b	Konsentrasi MB teradsorpsi dalam volume tertentu [$C_b = bw/v$] (mol/L)
C_e	Konsentrasi MB pada kesetimbangan (mol/L)
DR	Dubinin-Radushkevich
ε	Potensial Polanyi [$\varepsilon = RT \ln (1 + 1/C_e)$] (J^2/mol^2)
E_D	Energi adsorpsi isoterm DR [$E_D = (2B_D)^{-1/2}$] (kJ/mol)
E_L	Energi adsorpsi isoterm Langmuir [$E_L = -RT \ln K_L$] (kJ/mol)
E_{RBS}	Energi adsorpsi kinetika RBS [$E_{RBS} = -RT \ln K_{RBS}$] (kJ/mol)
E_S	Energi adsorpsi kinetika Santosa [$E_S = -RT \ln K_S$] (kJ/mol)
k_{ads}	Tetapan laju adsorpsi secara umum
k_{des}	Tetapan laju desorpsi secara umum
k_{dS}	Kontanta laju desorpsi kinetika Santosa [k_{dS} didapat dari $k_S C_0 + k_{dS}$ yang merupakan <i>slope</i> dari <i>plot</i> $\ln (1 - \{q_t/q_e\})$ lawan t] (menit ⁻¹)
k_d	Konstanta laju desorpsi kinetika RBS [$k_d = k_a(C_0 - x_e)(C_b - x_e)/x_e$] (menit ⁻¹)
k_{Ho}	Konstanta laju adsorpsi kinetika Ho (L/mol menit)
k_{Lag}	Konstanta laju adsorpsi kinetika Lagergren (menit ⁻¹)
K_L	Konstanta kesetimbangan Langmuir (L/mol)
k_{RBS}	Konstanta laju adsorpsi kinetika RBS (L/mol menit)
K_{RBS}	Tetapan kesetimbangan kinetika RBS [$K_{RBS} = k_{RBS}/k_d$] (L/mol)
k_S	Konstanta laju adsorpsi kinetika Santosa (L/mol menit)
K_S	Tetapan kesetimbangan kinetika Santosa [$K_S = k_S/k_{dS}$] (L/mol)
MB	<i>Methylene Blue</i>
m_r	Berat molekul adsorbat (MB) (g/mol)
n	parameter heterogenitas permukaan adsorben (tanpa satuan)
T	Temperatur mutlak (K)
q_D	Konstanta kapasitas isoterm DR (mol/g)
q_e	Banyaknya MB yang teradsorpsi pada kesetimbangan (mol/g)
q_t	Banyaknya MB yang teradsorpsi pada waktu t (mol/g)
t	Waktu (menit)
R	Tetapan gas ideal (8,314 J/mol K)
R^2	Koefisien korelasi/Linearitas (0 – 1)
RBS	Rusdiarso-Basuki-Santosa
v	Volume medium adsorpsi (L)
w	Berat adsorben (g)
x	Konsentrasi MB teradsorpsi setelah waktu t (mol/L)
x_e	Konsentrasi MB teradsorpsi pada kesetimbangan (mol/L)
X	Hasil dari $w/v m_r$ persamaan Santosa (g/L)

Research Article

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

Variation of Condensate Flow Rate on the Yield of Basil Leaf Essential Oil Using Steam Distillation Method

Muhrinsyah Fatimura^{1*}, Reno Fitriyanti¹⁾

¹⁾Universitas PGRI Palembang, Prodi Teknik Kimia, Indonesia

*correspondence email: m.fatimura@univpgri-palembang.ac.id

Received: 07/01/2021; Revised: 27/05/2021; Accepted: 30/05/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.8274.65-74

Abstrak

Distilasi *steam* merupakan salah satu metode ekstraksi minyak atsiri dengan *steam* yang dihasilkan berasal dari *boiler*. Ekstraksi minyak atsiri kemangi berdasarkan perbedaan tekanan uap komponen penyusun tanaman tersebut. Tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh variasi laju kondensat terhadap volume kondensat, rendemen, dan karakteristik minyak kemangi yang dihasilkan. Penelitian ini merancang alat distilasi *steam* dengan variabel bebas massa kemangi 2 kg, 4 kg, 6 kg dan laju alir kondensat 0,0831 mL/s, 0,329 mL/s, 0,4023 mL/s serta variabel tetap kondisi operasi *boiler* pada tekanan <1 kg/cm² dengan temperatur 95 °C dan lama distilasi 120 menit. Hasil penelitian minyak atsiri kemangi berbentuk cair, berwarna kuning, rasanya kelat dan berbau khas kemangi, massa jenis 0,9524 g/mL, indeks bias 1,4622, kelarutan dalam alkohol 95% 1:1, bilangan asam yang di dapat 0,6067 mgKOH/g. Karakteristik ini masih memenuhi standar yang di tetapkan *Essential Oil Association* (EOA) hanya indeks bias yang masih dibawah parameter EOA. Volume kondensat paling banyak 2.886,20 mL pada massa kemangi 2 kg, dengan rendemen sebesar 0,1155% pada laju alir kondensat 0,4023 mL/s.

Kata Kunci: boiler; distilasi *steam*; kondensat; laju alir; minyak atsiri

Abstract

Steam distillation method is one of the methods of extracting essential oils where the steam comes from the boiler. Extraction of essential oil of basil from aromatic leaves based on differences in vapor pressure of constituent components of the plant. The aim of this study was to determine the variation of condensate rate on the volume of condensate, yield, and characteristics of the resulting basil oil. This study designed a steam distillation device with mass independent variables of 2 kg, 4 kg, 6 kg basil and a condensate flow rate of 0.0831 mL/s, 0.329 mL/s, 0.4023 mL/s and fixed variables were operating conditions of the boiler at a pressure of <1 kg/cm² Temperature 95°C distillation time 120 minutes. The results showed that the maximum characteristics of basil essential oil were liquid, yellow in color, chewy and smelly. typical basil, specific gravity 0.9524 g/mL, refractive index 1.4622, solubility in alcohol 95% 1:1, the acid number obtained is 0.6067 mgKOH/g. This characteristic still meets the standards set by the Essential Oil Association (EOA), only the refractive index is still below the EOA parameter. Volume of condensate was 2,886.20 mL at 2 kg basil mass with the yield was 0.1155% at 0.4023 mL/s condensate flow rate.

Keywords: boiler; condensate; essential oil; flow rate; steam distillation

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

1. Pendahuluan

Minyak atsiri merupakan senyawa alami yang dianggap sebagai sumber utama bahan kimia penyedap dan aromatik dalam produk farmasi, makanan dan industri [1]. Minyak atsiri yang berasal dari tanaman basil atau selasih (*Ocimum spp.*, *Lamiaceae*) banyak mengandung senyawa monoterpenoid dan fenolik [2]. Kemangi jenis *Ocimum x citriodorum* merupakan contoh tanaman jenis basil di Indonesia yang banyak digunakan dalam bidang kuliner tradisional karena aroma yang khas. Khususnya di daerah Sumatera Selatan kemangi digunakan sebagai tambahan dalam masakan pindang.

Tanaman kemangi sering digunakan untuk pengobatan tradisional, diantaranya untuk meredakan kelelahan, demam, kejang urat, rhinitis dan dapat membantu pada luka akibat sengatan [3]. Pemanfaatan minyak atsiri atau *essential oil* sebagai aroma terapi semakin banyak digunakan untuk pengobatan dengan meneteskan minyak atsiri ke dalam *humidifier*. Bahan baku minyak atsiri berasal dari bunga daun, biji, buah, batang kayu, kulit kayu, akar atau rimpang yang masing-masing mempunyai karakteristik berbeda, sehingga metode pengolahannya juga berbeda. Minyak atsiri kemangi memiliki komponen utama seperti *linalool*, *eugenol*, *bornyl acetate*, dan *aucalyptol* [4].

Dari manfaat minyak atsiri kemangi yang banyak perlu dilakukan isolasi untuk mengambil kandungan minyak atsiri tersebut. Untuk mengisolasi minyak atsiri terdapat beberapa metode ekstraksi antara lain *maceration*, *soxhlet extraction*, dan *hydrodistillation extraction* [5]. Daryono dkk. [6] menggunakan metode *soxhlet extraction* untuk mengekstrak minyak atsiri kemangi dengan pelarut n-heksana.

Hasil yang diperoleh memiliki rendemen tertinggi 1,3% dengan variabel suhu ekstraksi 55 °C dengan waktu 150 menit.

Selain metode *soxhlet extraction*, pengambilan minyak atsiri dapat dilakukan dengan metode distilasi yaitu salah satu proses yang pemisahan minyak atsiri dari bahan bakunya menggunakan uap air, karena adanya perbedaan polaritas minyak. Kandungan minyak dalam kondensat berbeda untuk setiap jenis bahan minyak atsiri [7]. Metode distilasi minyak atsiri ada tiga jenis yaitu: hidrodistilasi, distilasi uap-air dan distilasi *steam* [8]. Fachrudin dkk. [9] menggunakan metode hidrodistilasi dengan umpan bunga cempaka menghasilkan minyak atsiri sebesar 0,1684%. Yuliarto dkk. [10], melakukan ekstraksi minyak atsiri dari kulit kayu manis dengan metode distilasi uap-air. Muhtadin dkk. [11] menggunakan metode distilasi *steam* minyak atsiri kulit jeruk menggunakan umpan kulit jeruk yang didapat hasil rendemen 0,65% dan 1,05%.

Dari hasil penelitian di atas yang membedakan tiga metode distilasi minyak atsiri terletak dari kontak umpan dengan uap air. Distilasi hidrodistilasi umpan diredam dengan air, uap yang terjadi akan membawa minyak atsirinya. Untuk distilasi uap-air, umpan dan air dimasukkan ke dalam menara distilasi dimana umpan dan air dibatasi dengan sekat yang memiliki lubang-lubang tempat uap mengalir, sedangkan pada distilasi *steam*, umpan dan uap terpisah yaitu umpan berada di menara distilasi sedangkan uap berasal dari *boiler* yang akan mengalir ke dalam menara distilasi [12].

Penggunaan metode distilasi *steam* mampu menghasilkan rendemen yang banyak dalam proses produksi minyak esensial, tetapi masih jarang digunakan kalangan petani karena dianggap rumit

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi *Steam*

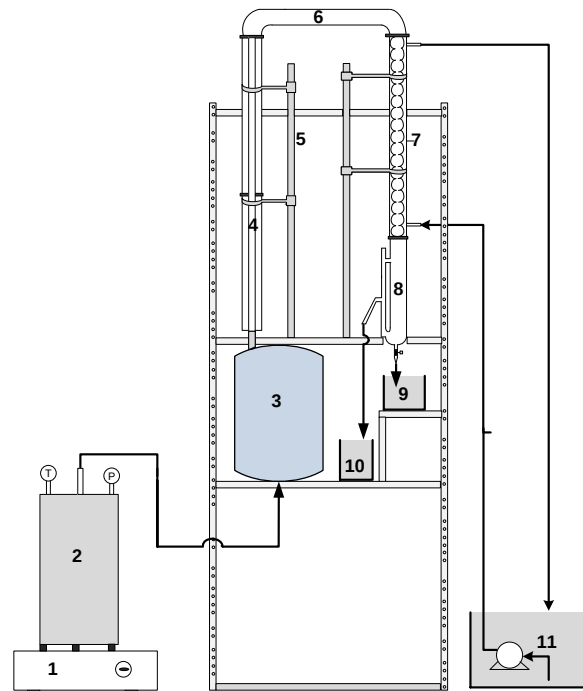
dalam pengoperasian. Untuk itu, mengingat besarnya manfaat penggunaan distilasi *steam* dalam produksi minyak esensial dan untuk menghilangkan kesan proses distilasi yang rumit, perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan rancangan alat distilasi *steam* yang sederhana seperti pada Gambar 1. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi operasi (laju alir kondensat) yang tepat dalam menghasilkan kondensat yang baik secara kuantitas dan kualitas dengan melihat pengaruh variasi laju kondensat terhadap volume kondensat, rendemen, dan karakteristik minyak kemangi yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, kolom distilasi, *boiler* kapasitas 15 liter, kondensor, pompa kondensor, tangki pendingin, tabung pemisah minyak dan air, selang tahan panas, *pressure gauge*, *thermocouple*, kompor, gas LPG, *stopwatch*, refraktometer, piknometer. Setelah peralatan lengkap dilakukan pemasangan rangkaian alat distilasi minyak atsiri daun kemangi yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu daun kemangi untuk campuran pindang dan daun kemangi untuk lalapan daun yang dibeli dari pasar Jakabaring Palembang, Alkohol 98 %, KOH dan fenolftalein.



Keterangan:

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| 1. Heater | 7. Kondensor |
| 2. Boiler | 8. Separator Minyak |
| 3. Distilator | 9. Penampungan Minyak Atsiri |
| 4. Pipa Kondensor | 10. Penampungan Hidrosol |
| 5. Klem dan statif | 11. Cooling Water Sistem |
| 6. Konektor Distilasi | |

Gambar 1. Rangkaian Alat Distilasi *Steam* Minyak Atsiri Daun Kemangi.

2.2 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan bertujuan untuk menentukan rendemen terbaik antara kemangi campuran pindang dan lalapan. Selanjutnya diberi perlakuan kondisi segar utuh, segar cacah, layu utuh, layu cacah terhadap daun kemangi dengan rendemen terbaik

Daun kemangi campuran pindang sebanyak 1 kg diumpukan ke dalam kolom distilasi. Air umpan *boiler* dimasukan sebanyak 7 liter atau kurang lebih setengah dari tinggi *boiler*, dan dipanaskan. Pompa kondensor dihidupkan, sirkulasi air diamati. Jika *steam* telah terbentuk *valve steam* yang menuju kolom distilasi dibuka. Distilat yang keluar dari kondensor ditampung di tempat penampungan. Distilasi ini

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

dilakukan selama 2 jam. Minyak atsiri yang dihasilkan dipisahkan dari air (hidrosol) menggunakan corong pemisah. Volume minyak atsiri diukur dengan gelas ukur kemudian persen rendemen dihitung. Cara yang sama dilakukan untuk daun kemangi lalapan.

Setelah didapat rendemen yang paling baik antara kemangi untuk campuran pindang dan untuk lalapan, dengan prosedur yang sama kemudian dilakukan uji lanjut perlakuan daun kemangi untuk mengetahui kondisi mana yang paling baik, kondisi segar utuh, segar cacah, layu utuh, layu cacah. Setelah diketahui kondisi rendemen yang baik diantara perlakuan daun kemangi maka selanjutnya dilakukan penelitian utama.

2.3 Distilasi Minyak Atsiri

Boiler diisi dengan air sebanyak 7 liter kemudian *heater* dihidupkan. Pada menit ke 20 *steam* akan terbentuk dengan temperatur *steam* mencapai 95 °C (kondisi operasi ini sudah dilakukan trial terlebih dahulu). Daun kemangi yang dipilih dari uji pendahuluan yaitu layu cacah, pelayuan dilakukan dengan dijemur di bawah sinar matahari. Setelah itu ditimbang sesuai massa daun kemangi yang akan digunakan yaitu 2 kg, 4 kg dan 6 kg. Daun kemangi kemudian dimasukkan ke dalam kolom distilasi. Kolom distilasi ditutup kemudian pipa distilator dihubungkan ke kondensor. Pompa air pendingin dihidupkan sampai aliran air pendingin tersirkulasi dimana temperatur air pendingin dijaga (temperatur air pendingin masuk 23 °C dan temperatur air pendingin keluar 30 °C). *Steam* yang berasal dari *boiler* dihubungkan ke kolom distilasi. Kondensat yang pertama kali terjadi sebagai awal mulai mengukur waktu distilasi, kondensat ini terdiri dari minyak

dan air yang belum mengalami proses pemisahan.

Untuk menentukan laju alir kondensat dilakukan pengukuran dengan gelas ukur dan *stopwatch*, dengan cara mengatur level pemanasan pada *heater* dari posisi 1 suhu *heater* terukur 200,2 °C menghasilkan laju alir sebesar 0,0831 mL/s, posisi 2 suhu terukur 233,3 °C menghasilkan laju alir sebesar 0,329 mL/s dan posisi 3 suhu terukur 256,6 °C menghasilkan laju alir sebesar 0,4023 mL/s. Temperatur kondensat yaitu 32 °C. Distilasi dilakukan dari massa 2 kg dengan laju alir kondensat 0,0831 mL/s selama 2 jam dilanjutkan dengan laju kondensat 0,329 mL/s, dan 0,4023 mL/s. Kemudian dilakukan distilasi minyak daun kemangi analog dengan proses di atas dengan massa 4 kg dan 6 kg dengan laju kondensat 0,0831 mL/s, 0,329 mL/s, dan 0,4023 mL/s. Minyak atsiri kemangi dan air dipisahkan menggunakan *oil separator* kemudian ditimbang dan diukur volumenya. Minyak yang dihasilkan ditampung dalam botol.

2.4 Karakterisasi Minyak Atsiri Daun Kemangi

Karakterisasi minyak atsiri daun kemangi terdiri dari massa jenis, indeks bias, kelarutan dalam alkohol, dan bilangan asam.

2.4.1. Penentuan Massa Jenis

Minyak atsiri yang telah dipisahkan, terlebih dahulu diatur suhunya sampai temperatur 25 °C. Piknometer kosong ditimbang dan dicatat massa. Minyak atsiri kemudian dimasukkan ke dalam piknometer sampai tanda batas. Massa piknometer + minyak atsiri ditimbang dan dicatat. Berat jenis dihitung dengan persamaan (1).

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

$$\text{Massa jenis} = \frac{M_{12} - M_1}{V} \dots\dots\dots(1)$$

M_{12} = Massa Piknometer + Minyak Atsiri

M_1 = Massa Piknometer Kosong

V = Volume Minyak Atsiri

2.4.2 Indeks Bias

Penentuan indeks bias menggunakan refraktometer. Indeks bias adalah rasio antara kecepatan cahaya merambat di udara dan dalam material [13].

2.4.3 Kelarutan dalam alkohol

Pengujian kelarutan alkohol menggunakan metode kimiawi. Sampel minyak atsiri sebanyak 1 mL ditambahkan alkohol 96% sebanyak 1 mL. Selanjutnya dilakukan dengan ratio perbandingan 1:4 dan 1:10 diamati kelarutan minyak atsiri terhadap alkohol.

2.4.4. Penentuan bilangan asam

Sebanyak 1 gram minyak atsiri dimasukkan ke labu erlenmeyer 250 mL ditimbang kemudian 15 mL etanol 95% dan 3 tetes fenolftalein ditambahkan. Larutan yang dibuat dititrasasi dengan KOH 0,1 N hingga tercapai warna merah muda dan mencatat volume KOH yang digunakan. Apabila dalam penentuan ini diperlukan KOH 0,1 lebih dari 10 mL, maka pengulangan harus dilakukan dengan sampel 1 gram minyak yang dititrasasi dengan KOH 0,5 N. Bilangan asam suatu minyak didefinisikan sebagai jumlah milligram KOH/NaOH yang diperlukan untuk menetralkan asam bebas dalam 1 gram minyak atsiri [14] dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$\text{Bilangan asam} = \frac{V \times N \times 56,1}{W} \dots\dots\dots(2)$$

V : Volume KOH titran dalam mL

N : normalitas KOH

W : berat sampel

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Uji Pendahuluan

Dari dua jenis kemangi yang ada di pasaran yaitu kemangi untuk campuran pindang dan kemangi untuk lalapan, hasil uji distilasi tahap awal pada Tabel 1, didapat kemangi untuk campuran pindang memiliki rendemen 0,11% sedangkan kemangi untuk lalapan rendemennya 0,05%. Jadi dipilih kemangi untuk campuran pindang sebagai umpan pada penelitian ini. Pemilihan dua jenis kemangi yang ada di pasaran berdasarkan atas bau khas kemangi yang berbeda antara kemangi yang digunakan untuk pindang dan lalapan (kemangi campuran pindang lebih menyengat dibandingkan untuk lalapan).

Tabel 1. Hasil % rendemen untuk kemangi campuran pindang dan kemangi lalapan.

Parameter	Kemangi Campuran Pindang	Kemangi Lalapan
Minyak Atsiri kemangi (gram)	1,1	0,5
%Rendemen	0,11	0,05

Tabel 2. Hasil Uji Pendahuluan di pilih kemangi campuran pindang dengan beberapa perlakuan

Parameter		Daun Kemangi (1kg)			
		Segar utuh	Segar cacah	Layu Utuh	Layu cacah
Minyak	mL	0,35	0,50	0,8	1,35
Atsiri	gram	0,33	0,41	0,77	1,25
%Rendemen		0,033	0,041	0,077	0,125

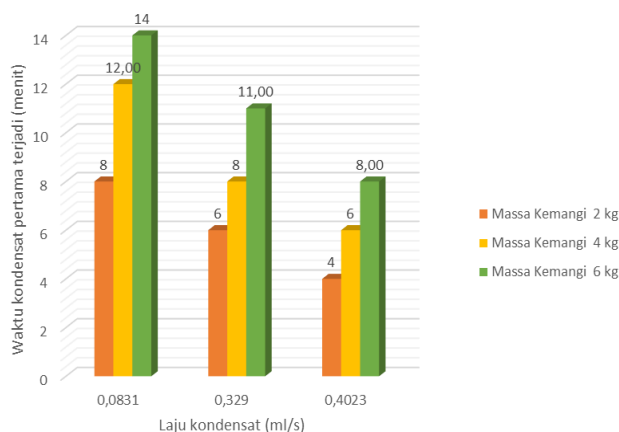
Selanjutnya dari hasil yang didapat dari Tabel 1, kemangi dengan rendemen yang paling baik digunakan untuk uji selanjutnya yaitu diberikan beberapa perlakuan yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil yang didapat, daun kemangi campuran pindang yang diberi perlakuan

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi *Steam*

layu cacah memiliki rendemen yang paling baik yaitu sebesar 0,125%. Dengan demikian, daun kemangi yang dijadikan umpan pada penelitian ini adalah daun kemangi campuran pindang dengan kondisi layu dan dicacah.

3.2 Distilasi Minyak Atsiri

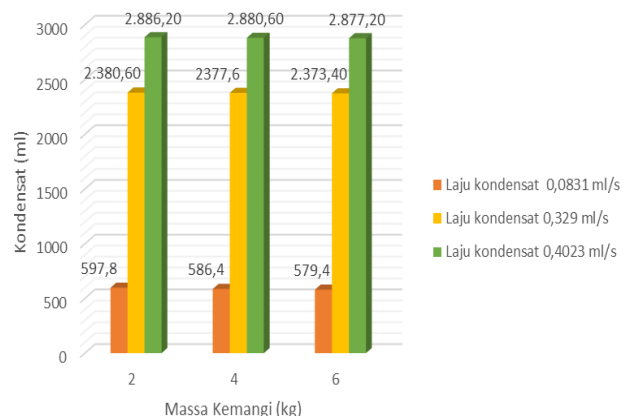
Semakin besar laju kondensat maka semakin cepat kondensat terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 2. Hal ini karena semakin besar laju kondensat semakin tinggi pula laju aliran uap untuk menembus pori-pori kemangi. Massa umpan kemangi akan mempengaruhi laju aliran uap menembus daun kemangi. Bertambahnya massa kemangi menyebabkan kerapatan daun kemangi semakin padat, sehingga menghambat laju alir uap. Pada laju 0,4023 mL/s dengan massa kemangi 2 kg kondensat terjadi pada menit ke 4, pada saat ditambah massa kemangi menjadi 6 kg kondensat terjadi pada menit ke 8. Semakin banyak massa bahan yang diumpangkan, maka hambatan yang dialiri oleh uap air juga menjadi semakin besar, akibatnya kecepatan distilasi rendah. Uap air tidak dapat menembus pori-pori tanaman, sehingga ekstraktor tidak dapat dimaksimalkan [15].



Gambar 2. Perbandingan waktu kondensat yang pertama kali terjadi

Pada Gambar 3, massa umpan 2 kg pada laju kondensat 0,0831 mL/s didapat volume kondensat 597,8 mL lebih banyak dibandingkan dengan massa 4 kg dan 6 kg yaitu masing-masing 586,4 mL dan 579,4 mL. Hal ini dikarenakan massa umpan pada 4 kg dan 6 kg lebih banyak, sehingga laju alir uap yang menembus daun kemangi terhalang sehingga menyebabkan volume kondensat menurun. Untuk laju kondensat 0,329 mL/s dan 0,4023 mL/s juga mengalami penurunan pada saat massa daun kemangi 4 kg dan 6 kg.

Pada laju alir kondensat 0,4023 mL/s, daun kemangi banyak menerima panas, sehingga daun kemangi lebih maksimal dalam melepaskan minyak atsiri yang dapat dilihat dari banyaknya jumlah kondensat yang diperoleh, seperti terlihat pada Gambar 3. Laju alir kondensat berhubungan dengan laju alir uap yang akan mempengaruhi panas yang mengenai bahan dan besarnya tekanan uap air dalam kolom distilasi [16].

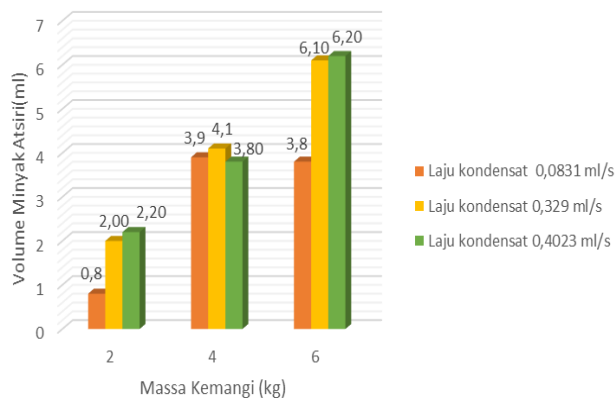


Gambar 3. Perbandingan volume kondensat yang dihasilkan pada berbagai laju kondensat

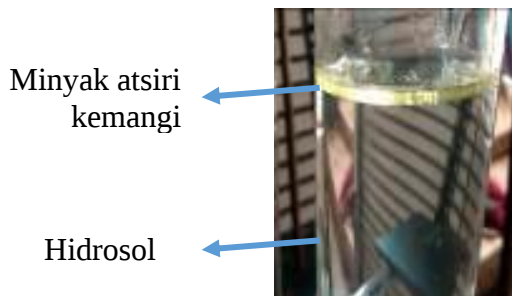
Berdasarkan hasil minyak atsiri pada Gambar 4, massa umpan kemangi 6 kg dengan laju kondensat 0,4023 mL/s diperoleh minyak atsiri kemangi yang paling besar yaitu 6,2 mL. Semakin besar laju kondensat semakin banyak uap yang

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

akan mengalir ke dalam menara distilasi dan akan mendorong minyak atsiri kemangi.



Gambar 4. Perbandingan volume minyak atsiri yang dihasilkan pada berbagai laju kondensat

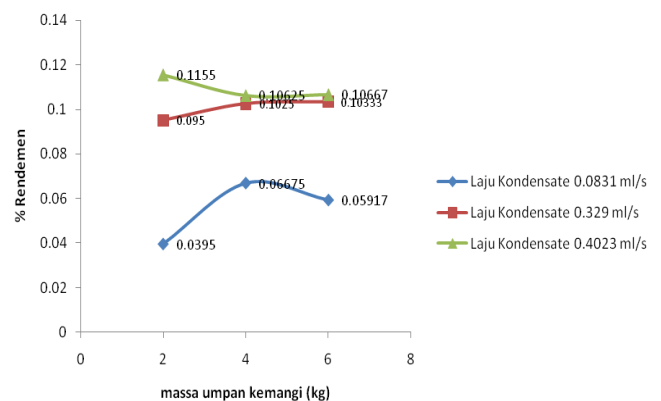


Gambar 5. Kondensat Hasil Distilasi Steam

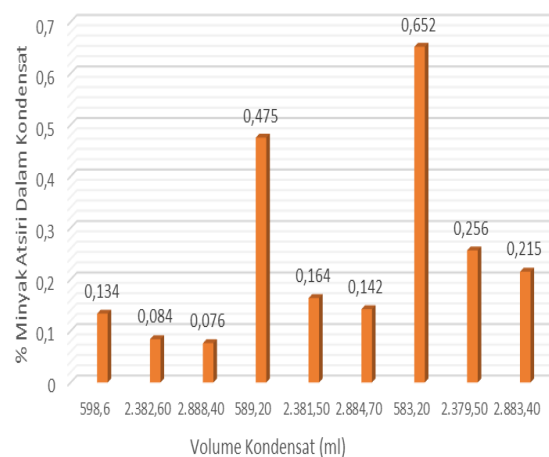
Proses pelepasan minyak atsiri dari daun kemangi yaitu uap air yang berasal dari boiler akan kontak dengan daun kemangi. Uap yang berasal dari boiler mendorong sel-sel pada jaringan tanaman yang mengandung minyak atsiri, sehingga terbuka dan membebaskan komponen volatil di dalamnya. Komponen-komponen volatil dalam minyak atsiri akan menguap dan bergabung dengan uap sebagai campuran fase gas [2]. Karena adanya perbedaan polaritas, minyak atsiri kemangi tidak larut dengan air. Kondensat ditampung pada separator minyak yang akan terpisah secara otomatis karena perbedaan massa jenis, minyak akan berada dibagian atas dan air dibagian bawah seperti terlihat pada Gambar 5. Air yang

dipisahkan dari minyak atsiri kemangi disebut juga hidrosol [6].

Massa umpan kemangi dan laju kondensat sangat berpengaruh besar terhadap rendemen yang dihasilkan. Semakin besar laju kondensat semakin besar pula rendemen yang dihasilkan. Rendemen minyak atsiri daun kemangi yang paling besar yaitu pada massa umpan 2 kg dengan laju kondensat 0,4023 mL/s yaitu sebesar 0,1155% seperti terlihat pada Gambar 6. Hal ini disebabkan massa umpan daun kemangi mempengaruhi tekanan uap yang mendorong minyak atsiri dalam daun kemangi. Sedangkan persentase minyak atsiri kemangi yang paling besar diperoleh pada kondensat dengan volume 583,20 mL yaitu sebesar 0,652% atau 3,8 mL yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Perbandingan rendemen minyak atsiri kemangi yang dihasilkan.



Gambar 7. Persentase minyak atsiri dalam volume kondensat

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

3.3 Karakterisasi Minyak Atsiri Kemangi

3.3.1 Massa jenis

Massa jenis minyak atsiri yang dihasilkan dari berbagai umpan rata-rata sebesar 0,9524 g/mL dengan lama distilasi 2 jam dan temperatur 95 °C. Hasil ini masih memenuhi standar dari EOA. Waktu dan suhu pemanasan yang tinggi dapat mempengaruhi massa jenis [17]. Menurut standar *Essential Oil Association (EOA)* Standar massa jenis minyak atsiri kemangi (*O.basilicum*) 0,952 – 0,973 g/mL [18] .

3.3.2 Indeks Bias

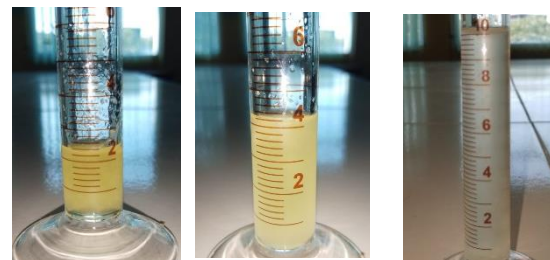
Indeks bias dilakukan untuk menentukan keberadaan air dalam kandungan minyak, semakin banyak kadar minyak, semakin kecil nilai indeks bias. Indeks bias yang didapatkan dari 3 massa umpan daun kemangi rata-rata 1,4622. Nilai indeks bias untuk minyak atsiri secara umum berkisar antara 1,3–1,7 dimana adanya kandungan air dalam minyak akan mempengaruhi besaran nilai indeks bias [17]. Berdasarkan standar *Essential Oil Association (EOA)* nilai indeks bias yaitu sebesar 1,510-1,5165 [19]. Dari hasil penelitian yang dilakukan nilai indeks bias masih diluar standar mutu EAO.

3.3.3 Kelarutan dalam Alkohol

Kelarutan minyak atsiri kemangi dalam alkohol dilakukan dengan ratio 1:1 yaitu 1 mL minyak atsiri kemangi dan 1 mL alkohol dicampur. Minyak atsiri dapat larut, terlihat dari warna campuran berubah menjadi putih kekuningan seperti terlihat pada Gambar 8. Ketika ratio ditambah 1:4 warna masih keruh yang menunjukkan masih adanya minyak atsiri kemangi yang belum larut. Ketika ratio ditambah menjadi 1:10 warna yang dihasilkan semakin jernih. Hal ini menandakan kelarutan minyak atsiri dalam alkohol semakin sempurna. Dari

hasil uji perbandingan ratio alkohol 96% diketahui bahwa minyak atsiri kemangi dapat larut dengan mudah dalam alkohol 96% yang dapat dilihat pada Gambar 8.

Kelarutan yang semakin sukar, semakin baik kualitas minyak atsiri. Minyak atsiri akan sukar larut dalam alkohol jika di dalam minyak atsiri terkandung senyawa terpen dan asam lemak [20].



Ratio 1: 1 Ratio 1:4 Ratio 1: 10
Gambar 8. Kelarutan minyak atsiri dalam alkohol.

3.3.4 Warna

Warna merupakan salah satu parameter yang menjelaskan mutu dan kemurnian dari minyak atsiri kemangi [17]. Warna minyak atsiri berdasarkan *Essential Oil Association of O. basilicum* *Essential Oil* adalah *light yellow* [18]. Minyak atsiri yang dihasilkan pada penelitian ini berwarna kuning yang dapat dilihat pada Gambar 9. Beberapa warna minyak atsiri dari berbagai jenis kemangi seperti *lemon basil (O. citriodorum)* berwarna kuning; *red Holy basil (O. sanctum var. Shyama)* berwarna jernih; *Thai basil (O. basilicum var.thyrsiflorum)* berwarna kuning; *tree basil (O. gratissimum)* berwarna *orange*; *white Holy basil* jernih [21].



Gambar 9. Warna minyak atsiri daun kemangi yang dihasilkan

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

3.3.5 Bilangan Asam

Bilangan asam dapat mempengaruhi kualitas minyak atsiri. Bilangan asam menunjukkan kadar asam bebas dalam minyak atsiri. Semakin tinggi kadar asam lemak bebas dalam minyak atsiri daun kemangi, maka semakin tinggi pula bilangan asamnya [17]. Bau khas dari minyak atsiri dapat berubah karena ada kandungan senyawa asam tersebut. Rata-rata bilangan asam minyak atsiri hasil penelitian ini sebesar 0,6067 mg KOH/g. Berdasarkan EOA nilai bilangan asam minyak *Ocimum spp.* sebesar < 1 , sehingga hasil penelitian masih memenuhi standar EOA tersebut.

4. Kesimpulan

Laju alir kondensat dan massa umpan kemangi sangat mempengaruhi volume kondensat yang dihasilkan. Volume kondensat paling banyak 2.886,20 mL pada massa kemangi 2 kg dengan laju alir kondensat 0,4023 mL/s, dengan rendemen yang didapat sebesar 0,1155%. Karakteristik minyak yaitu berwarna kuning, rasanya kelat dan berbau khas kemangi, massa jenis 0,9524 g/mL, indeks bias 1,4622, kelarutan dalam alkohol 95% 1:1, bilangan asam yang didapat 0,6067 mg KOH/g. Karakteristik ini masih memenuhi standar yang ditetapkan EOA kecuali indeks bias.

Daftar Rujukan

- [1] Abed, K. M., Kurji, B. M., & Abdulmajeed, B. A. (2018). Extraction of ocimum basilicum oil by solvents methods. *Asian Journal of Chemistry*, 30(5), 958–960. doi: 10.14233/ajchem.2018.21032
- [2] Dewi, L. K., Friatnasary, D. L., Herawati, W., Nurhadianty, V., & Cahyani, C. (2018). Studi Perbandingan Metode Isolasi Ekstraksi Pelarut dan Destilasi Uap Minyak Atsiri Kemangi terhadap Komposisi Senyawa Aktif. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 2(1), 13–19. Retrieved from <https://rbaet.ub.ac.id/index.php/rbaet/article/view/54>
- [3] Bilal, A., Jahan, N., Ahmed, A., Bilal, N. S., Habib, S., & Hajra, S. (2012). Phytochemical and Pharmacological Studies on Ocimum Basilicum Linn - a Review -. *International Journal of Current Research and Review*, 4(23). Retrieved from http://ijcr.com/article_html.php?did=1538
- [4] Kartika, J. G., Suketi, K., & Mayasari, N. (2016). Produksi Biomassa dan Minyak Atsiri Kemangi (*Ocimum basilicum* L.) pada Berbagai Dosis Pupuk Nitrogen dan Pupuk Cair Hayati. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 7(1), 56. doi: 10.29244/jhi.7.1.56-63
- [5] Clarizka, C., Fulanah, D., Zullaikah, S., & Rachimoellah. (2015). Ekstraksi Minyak Daun Kemangi dengan sanitizer, 1–5. Retrieved from <https://repository.its.ac.id/756/1/2312106006-2312106013-Paper.pdf>
- [6] Daryono, E. D., Pursitta, A. T., & Isnaini, A. (2014). Ekstraksi Minyak Atsiri Pada Tanaman Kemangi dengan Pelarut n-heksana. *Jurnal Teknik Kimia*, 9(1), 1–7. Retrieved from <http://ejournal.upnjatim.ac.id/index.php/tekkim/article/view/720>
- [7] Ma'mun. (2014). *Petunjuk Teknis Penanganan Bahan Dan Penyulingan Minyak Atsiri*. Bogor .Unit Penerbitan dan Publikasi BALITRO.
- [8] Nurcahyo, H. (2014). Pembuatan Destilasi Kapasitas 100 Kg. *Parapemikir*, 3(02), 1–3. Retrieved from <https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/parapemikir/article/view/212>
- [9] Fachrudin, F., Velayas, A. I., Mahfud, & Qadariyah, L. (2016). Ekstraksi Minyak Bunga Cempaka dengan Metode Hidrodistilasi dan Hidrodistilasi dengan Aliran Udara. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 232–235. doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16788
- [10] Yulianto, F. T., Khasanah, L. U., & Anandito, R. B. K. (2012). Pengaruh Ukuran Bahan dan Metode Destilasi (Destilasi Airdan Destilasi Uap Air) Terhadap Kualitas Minyak Atsiri Kulit Kayu Manis (*cinnamomum burmannii*). *Jurnal Teknosains Pangan*, 1(1), 12–23. Retrieved from <https://jurnal.uns.ac.id/teknosains-pangan/article/view/4178>

Variasi Laju Alir Kondensat Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Daun Kemangi Menggunakan Metode Distilasi Steam

-
- [11] Muhtadin, F. A., Wijaya, R., Prihatini, P., & Mahfud. (2013). Pengambilan Minyak Atsiri dari Kulit Jeruk dengan menggunakan Metode Steam Distillation. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 98–101. Retrieved from <https://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/2351>
- [12] Akdag, A., & Ozturk, E. (2019). Distillation methods of essential oils. *Nisan*, 45(1), 22–31. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/705385>
- [13] Zamroni, A. (2013). Pengukuran Indeks Bias Zat Cair Melalui Metode Pembiasan Menggunakan Plan Paralel. *Jurnal Fisika Unnes*, 3(2), 80094. doi: 10.15294/jf.v3i2.3818
- [14] Suroso, A. S. (2013). Kualitas Minyak Goreng Habis Pakai Ditinjau dari Bilangan Peroksida , Bilangan Asam dan Kadar Air. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*, Vol 3(2), 77–88. Retrieved from <http://ejournal.litbang.kemkes.go.id/index.php/jki/article/view/4058>
- [15] Zuliansyah, H., Susilo, B., & HS, S. (2013). Distillation Plant Performance Test of Patchouli (*Pogostemon cablin* , Benth). *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 1(1), 62–72. Retrieved from <https://jbkt.ub.ac.id/index.php/jbkt/article/view/104>
- [16] Nurhadiyanty, V., Sulaeman, Di. A. A., Hamdalla, D. N., & Cahyani, C. (2019). Peningkatan Rendemen Dan Komposisi Citronelal pada Minyak Daun Jeruk Purut Melalui Optimasi Laju Alir Kondensat. *Indonesian Journal of Essential Oil*, 3(2), 98–104. Retrieved from <https://ijeo.ub.ac.id/index.php/ijeo/article/view/64>
- [17] Aina, R. Q, Hawa, L. C., & Yulianingsih, R. (2015). Aplikasi Pra-Perlakuan Microwave Assisted Extraction (MAE) Pada Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum sanctum*) Menggunakan Rotary Evaporator (Studi Pada Variasi Suhu dan Waktu Ekstraksi). *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 3(1), 32–38. Retrieved from <https://jbkt.ub.ac.id/index.php/jbkt/article/view/172>
- [18] Hikmawanti, N. P. E., Hariyanti, Nurkamalia, & Nurhidayah, S. (2019). Chemical Components of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum tenuiflorum* L. Stem Essential Oils and Evaluation of Their Antioxidant Activities Using DPPH Method. *Pharmaceutical Sciences and Research*, 6(3), 149–154. doi: 10.7454/psr.v6i3.4576
- [19] Hadipoentyanti, E., & Wahyuni, S. (2008). Keragaman Selasih (*Ocimum* Spp.) Berdasarkan Karakter Morfologi, Produksi Dan Mutu Herba. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 14(4), 141. doi: 10.21082/jlitri.v14n4.2008.141-148
- [20] Arrayyan, M. A., Dwiloka, B., & Susanti, S. (2019). Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Lemak Enflaurasi Nabati Terhadap Aktivitas Antioksidan Dan Karakteristik Fisik Minyak Atsiri Kemangi (*Ocimum americanum* L .). *Jurnal Teknologi Pangan*, 3(2), 221–227. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/tekpangan/article/view/23828>
- [21] Tangpao, T., Chung, H. H., & Sommano, S. R. (2018). Aromatic profiles of essential oils from five commonly used Thai basils. *Foods*, 7(11), 1–13. doi: 10.3390/foods7110175



9 772614 875DD8



Kampus 3 Universitas PGRI Madiun
Jl. Auri No 14-16 Kartoharjo Madiun
Email: cheesa@unipma.ac.id
<http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>

