

# Bioenergi

ENERGI HIJAU  
DARI ALAM



# Bioenergi

ENERGI HIJAU  
DARI ALAM



## **Hak Cipta Dilindungi**

*Dilarang memperbanyak atau memindahkan  
sebagian atau seluruh buku ini ke dalam bentuk  
apapun tanpa izin tertulis dari penerbit*

**(All Rights Reserved)**

Judul  
**Bioenergi**  
**Energi Hijau dari Alam**

**Penulis**  
Muhammad Daud | Baharuddin | Hikmah |  
Samsul Samrin

**Editor**  
Harmoko  
**Layouter**  
Dicky Wahyudi Rifai

**Desain Cover**  
Arfida

Cetakan Pertama, Juli 2025  
**ISBN. 978-634-96178-6-4**

Diterbitkan Oleh:  
**ALINEA INDONESIA**  
Jl. Pt. Dulungge, Kel. Unyi. Dua Boccoe  
Kab. Bone, Sulawesi Selatan/ 92753  
Email. [Alineaindonesia8@gmail.com](mailto:Alineaindonesia8@gmail.com)  
Website. [www.alineaindonesia.com](http://www.alineaindonesia.com)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku ini yang berjudul “*Bioenergi: Energi Hijau dari Alam*” dapat disusun dan hadir di tengah pembaca. Buku ini merupakan upaya sederhana untuk memperkenalkan konsep bioenergi secara praktis, ringan, dan mudah dipahami oleh berbagai kalangan baik pelajar, mahasiswa, pendidik, praktisi lapangan, maupun masyarakat umum.

Dalam beberapa dekade terakhir, dunia menghadapi tantangan serius berupa krisis energi, perubahan iklim, dan degradasi lingkungan. Salah satu solusi yang mulai berkembang adalah pemanfaatan energi terbarukan, termasuk bioenergi yang bersumber dari alam seperti kayu, limbah pertanian, hasil hutan bukan kayu (HHBK), serta sisa-sisa organik lainnya.

Indonesia sebagai negara tropis dengan kekayaan sumber daya hayati yang luar biasa memiliki potensi besar dalam pengembangan bioenergi, baik untuk kebutuhan rumah tangga, komunitas desa, maupun skala industri kecil. Sayangnya, masih banyak masyarakat yang belum memahami bahwa energi bisa dihasilkan dari sumber-sumber lokal yang tersedia di sekitar mereka.

Buku ini mencoba menjawab tantangan tersebut dengan menyajikan informasi dasar mengenai bioenergi: mulai dari apa itu bioenergi, jenis-jenisnya, sumbernya,

hingga cara pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari. Disusun secara sistematis dan komunikatif, buku ini juga menampilkan contoh-contoh praktis serta menyoroti peluang pemberdayaan masyarakat melalui pengembangan energi berbasis lokal.

Penulis berharap buku ini tidak hanya menjadi bahan bacaan, tetapi juga inspirasi dan panduan awal bagi siapa pun yang ingin ikut terlibat dalam gerakan energi bersih, mandiri, dan berkelanjutan. Energi hijau bukan hanya milik para teknokrat atau ilmuwan, tetapi juga hak dan peluang bagi seluruh lapisan masyarakat.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan masukan dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini membawa manfaat dan menjadi bagian dari kontribusi kecil dalam membangun masa depan energi yang lebih ramah lingkungan dan berkeadilan.

**Makassar, Juli 2025**

**Tim Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>BAB 1 APA ITU BIOENERGI? .....</b>	<b>1</b>
1.1.    Pengertian Bioenergi dan Biomassa .....	1
1.2.    Mengapa Bioenergi Penting? .....	3
1.3.    Bioenergi sebagai Bagian dari Energi Terbarukan .....	6
<b>BAB 2 SUMBER BIOENERGI DARI ALAM.....</b>	<b>9</b>
2.1.    Tanaman Energi: Kayu, Bambu, dan HHBK Lainnya.....	9
2.2.    Limbah Pertanian dan Kehutanan .....	11
2.3.    Sumber Bioenergi dari Limbah Organik Rumah Tangga.....	15
<b>BAB 3 JENIS-JENIS BIOENERGI.....</b>	<b>19</b>
3.1.    Bioenergi Padat: Kayu Bakar, Briket, dan Pelet	19
3.2.    Bioenergi Cair: Bioetanol dan Biodiesel .....	22
3.3.    Bioenergi Gas: Biogas dan Syngas.....	25
<b>BAB 4 PROSES PEMBUATAN BIOENERGI.....</b>	<b>29</b>
4.1.    Proses Sederhana: Kompor Biomassa dan Digester Biogas .....	29
4.2.    Proses Skala Industri: Gasifikasi dan Fermentasi .....	32
4.3.    Teknologi Tepat Guna dan Ramah Lingkungan	36
<b>BAB 5 MANFAAT BIOENERGI BAGI LINGKUNGAN .....</b>	<b>40</b>

5.1.	Mengurangi Ketergantungan Energi Fosil.....	40
5.2.	Mengurangi Limbah Organik.....	42
5.3.	Menurunkan Emisi Gas Rumah Kaca .....	45
<b>BAB 6 BIOENERGI DAN HUTAN TROPIS.....</b>		<b>48</b>
6.1.	Hutan sebagai Sumber Biomassa .....	48
6.2.	Pemanfaatan Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) .....	50
6.3.	Menjaga Keberlanjutan Hutan dalam Pengembangan Energi .....	53
<b>BAB 7 BIOENERGI DALAM KEHIDUPAN SEHARI- HARI.....</b>		<b>57</b>
7.1.	Contoh Penggunaan Bioenergi di Rumah dan Desa.....	57
7.2.	Energi Alternatif untuk Dapur, Penerangan, dan Pengeringan.....	61
7.3.	Studi Kasus: Pemanfaatan Biogas dan Briket di Masyarakat .....	64
<b>BAB 8 TANTANGAN DAN SOLUSI PENGEMBANGAN BIOENERGI .....</b>		<b>69</b>
8.1.	Hambatan Teknologi dan Pembiayaan .....	69
8.2.	Kurangnya Pemahaman Masyarakat .....	72
8.3.	Solusi Berbasis Edukasi, Pelatihan, dan Pendampingan .....	74
<b>BAB 9 BIOENERGI DAN PEMBERDAYAAN MASYARAKAT .....</b>		<b>78</b>
9.1.	Bioenergi sebagai Peluang Usaha Desa.....	78
9.2.	Peningkatan Ekonomi dari Energi Mandiri .....	81
9.3.	Peran Perempuan, Pemuda, dan Koperasi Lokal dalam Inisiatif Bioenergi .....	84
<b>BAB 10 MASA DEPAN ENERGI HIJAU .....</b>		<b>88</b>

10.1.	Potensi Pengembangan Bioenergi di Indonesia .	88
10.2.	Sinergi antara Alam, Teknologi, dan Manusia...	91
10.3.	Harapan untuk Generasi Mendatang: Energi Bersih untuk Semua.....	94
<b>BAB 11 BIOENERGI DAN TITIK BALIK</b>		
<b>PERADABAN.....</b>		<b>97</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>100</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>		<b>109</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Jenis Sumber Bioenergi dan Contohnya.....	18
Tabel 2 Perbandingan Biogas dan Syngas.....	27
Tabel 3 Jenis Bioenergi Berdasarkan Bentuknya .....	28
Tabel 4 Manfaat Bioenergi untuk Lingkungan dan Masyarakat .....	47

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Siklus Bioenergi .....	4
Gambar 2 Diagram Proses Fermentasi Anaerobik pada Biogas.....	35
Gambar 3 Contoh Gambar Kompos Biomassa .....	58
Gambar 4 Diagram Sistem Biogas Rumah Tangga dari Kotoran Sapi .....	59
Gambar 5 Biobriket untuk Bahan Bakar .....	62

# BAB 1

## APA ITU BIOENERGI?

### 1.1. Pengertian Bioenergi dan Biomassa

Bioenergi merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang dihasilkan dari bahan-bahan organik atau hayati, yang dikenal sebagai biomassa. Secara umum, bioenergi didefinisikan sebagai energi yang berasal dari materi biologis yang dapat diperbarui, termasuk residu tanaman, limbah pertanian, kotoran hewan, limbah makanan, hingga hasil hutan bukan kayu. Energi ini dapat diubah menjadi bentuk panas, listrik, atau bahan bakar cair dan gas melalui berbagai teknologi konversi.

Keunggulan utama dari bioenergi adalah kemampuannya menjadi *carbon neutral*. Artinya, jumlah karbon dioksida yang dilepaskan saat pembakaran biomassa setara dengan jumlah karbon yang diserap oleh tanaman saat tumbuh. Hal ini menjadikan bioenergi sebagai solusi strategis dalam mitigasi perubahan iklim karena tidak menambah beban emisi karbon ke atmosfer secara bersih (Demirbaş, 2021).

Di samping manfaat ekologis, bioenergi juga memberikan keuntungan sosial dan ekonomi. Di banyak negara berkembang, bioenergi berperan penting dalam menyediakan energi di daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik nasional. Selain itu, bioenergi juga menciptakan lapangan kerja baru dalam pengumpulan, pengolahan, dan distribusi biomassa.

Bioenergi juga memiliki nilai penting dalam transisi energi global karena ketersediaannya yang melimpah, sifatnya yang dapat diperbarui, dan kemampuannya untuk dikembangkan di berbagai skala, dari rumah tangga hingga industri. Di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, bioenergi dapat menjadi solusi alternatif energi bagi wilayah pedesaan dan terpencil yang belum sepenuhnya dijangkau oleh infrastruktur energi modern (Jenkins, Williams, & Gildart, 2020).

Dengan memanfaatkan limbah organik dan sumber daya lokal, bioenergi tidak hanya menyediakan energi, tetapi juga berkontribusi terhadap pengelolaan limbah, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan pemberdayaan ekonomi masyarakat lokal. Oleh karena itu, pengembangan bioenergi berbasis biomassa menjadi semakin relevan dalam konteks pembangunan berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim.

Dengan perkembangan teknologi, efisiensi konversi biomassa menjadi energi semakin meningkat. Teknologi modern memungkinkan pengolahan biomassa menjadi bioetanol, biogas, biodiesel, dan pelet kayu untuk berbagai kebutuhan, mulai dari rumah tangga hingga pembangkit listrik skala besar (Daud 2010); (Daud et al., 2012a); (Daud et al., 2012a); (Daud, 2014).

Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat besar, terutama dari sektor kehutanan, pertanian, dan perkebunan. Limbah serbuk gergaji, batang jagung, kulit kelapa, dan limbah kelapa sawit merupakan contoh sumber biomassa yang tersedia melimpah dan belum

sepenuhnya dimanfaatkan secara optimal (Daud et al., 2013); (Daud et al., 2014); (Daud et al., 2018);

Sebagai energi alternatif yang dapat diperbarui, bioenergi menjadi solusi penting untuk mendukung ketahanan energi nasional, sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah, akademisi, dan masyarakat luas untuk mendorong pemanfaatan bioenergi secara bijak, efisien, dan berkelanjutan

## **1.2. Mengapa Bioenergi Penting?**

Bioenergi memainkan peran strategis dalam transisi menuju sistem energi yang lebih bersih, mandiri, dan berkelanjutan. Dalam konteks krisis iklim global, meningkatnya permintaan energi, serta terbatasnya cadangan energi fosil, bioenergi muncul sebagai salah satu solusi utama yang tidak hanya memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga mendukung pembangunan ekonomi dan pelestarian lingkungan.

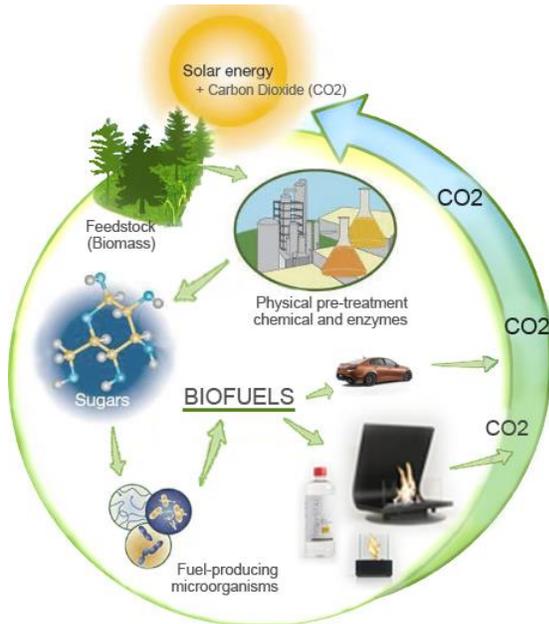
### **1. Energi Terbarukan dan Dapat Diperbarui**

Berbeda dengan bahan bakar fosil yang membutuhkan jutaan tahun untuk terbentuk, bioenergi berasal dari biomassa yang siklus produksinya relatif singkat. Tanaman energi, limbah pertanian, dan limbah kehutanan dapat dipanen dalam hitungan bulan atau tahun, menjadikan bioenergi sebagai sumber daya terbarukan yang dapat diperbarui secara berkelanjutan.

### **2. Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca**

Pembakaran biomassa secara teoritis bersifat netral karbon karena karbon yang dilepaskan saat proses

pembakaran adalah karbon yang sebelumnya diserap oleh tanaman selama fotosintesis. Jika rantai pasokannya dikelola dengan baik, bioenergi dapat mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan dibandingkan energi fosil (Baharuddin et al., 2014); (Daud et al., 2014); (Daud et al., 2015); (Demirbaş, 2021).



Gambar 1 Siklus Bioenergi  
(Sumber: Williams et al., 2015)

### 3. Pemanfaatan Limbah Organik

Bioenergi mendorong pemanfaatan limbah organik yang sebelumnya dianggap tidak bernilai. Limbah pertanian, limbah makanan, limbah peternakan, dan limbah industri agroforestri dapat diolah menjadi energi dalam bentuk biogas, briket, atau bioetanol. Hal

ini tidak hanya menghasilkan energi, tetapi juga mengurangi volume sampah dan pencemaran lingkungan.

#### **4. Peningkatan Ketahanan Energi**

Ketersediaan energi lokal dari sumber biomassa dapat meningkatkan ketahanan energi, terutama di daerah pedesaan dan terpencil. Ketergantungan terhadap pasokan bahan bakar fosil impor dapat ditekan, sehingga mengurangi kerentanan terhadap fluktuasi harga energi global dan gangguan rantai pasok.

#### **5. Peluang Ekonomi dan Lapangan Kerja**

Pengembangan bioenergi menciptakan banyak peluang ekonomi, mulai dari budidaya tanaman energi, pengumpulan limbah biomassa, pengolahan bahan bakar hayati, hingga distribusi produk bioenergi. Sektor ini dapat mendorong pertumbuhan ekonomi lokal dan menciptakan lapangan kerja baru, terutama di daerah agraris dan kehutanan (Jenkins et al., 2020).

#### **6. Mendukung Transisi Energi Nasional**

Sebagai negara dengan potensi biomassa sangat besar, Indonesia memiliki peluang untuk menjadikan bioenergi sebagai tulang punggung bauran energi nasional. Pemerintah menargetkan kontribusi energi baru dan terbarukan mencapai 23% pada tahun 2025, dan bioenergi dapat memainkan peran penting dalam mencapai target tersebut.

#### **7. Energi Terdesentralisasi dan Mandiri**

Bioenergi dapat dikembangkan dalam sistem skala kecil atau menengah yang terdesentralisasi.

Contohnya, biogas rumah tangga, kompor biomassa, atau pembangkit listrik biomassa mini-grid. Model ini memungkinkan masyarakat menghasilkan dan mengelola energinya sendiri, tanpa harus tergantung pada sistem kelistrikan pusat.

## **8. Mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)**

Pengembangan bioenergi selaras dengan beberapa Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), antara lain: SDG 7 (energi bersih dan terjangkau), SDG 13 (penanganan perubahan iklim), dan SDG 12 (konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab). Dengan kata lain, bioenergi tidak hanya soal energi, tetapi juga alat untuk mencapai keadilan sosial dan kelestarian lingkungan.

### **1.3. Bioenergi sebagai Bagian dari Energi Terbarukan**

Energi terbarukan adalah sumber energi yang berasal dari alam dan dapat dipulihkan secara alami dalam waktu relatif singkat. Beberapa bentuk utama energi terbarukan meliputi energi surya (matahari), energi angin, energi air (hidro), energi panas bumi (geothermal), dan bioenergi. Di antara semua bentuk tersebut, bioenergi memiliki keunikan karena berasal dari materi organik yang hidup atau baru mati, menjadikannya energi terbarukan yang sangat terkait dengan sistem biologis dan ekosistem.

Sebagai bagian dari bauran energi terbarukan, bioenergi menonjol karena kemampuannya untuk

menyediakan energi dalam berbagai bentuk: listrik, panas, dan bahan bakar cair seperti bioetanol dan biodiesel. Fleksibilitas ini menjadikannya lebih unggul dibanding beberapa bentuk energi terbarukan lain yang umumnya hanya menghasilkan listrik. Selain itu, bioenergi dapat disimpan dan diangkut dengan mudah, memberikan kelebihan dalam hal keandalan pasokan dan logistik.

Peran bioenergi dalam transisi energi global sangat penting. Menurut International Energy Agency (IEA), bioenergi menyumbang lebih dari 50% dari seluruh konsumsi energi terbarukan global saat ini, menjadikannya komponen terbesar di antara energi terbarukan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun energi surya dan angin mengalami pertumbuhan pesat, bioenergi tetap menjadi tulang punggung pemanfaatan energi hijau di banyak negara, terutama di sektor pemanas, transportasi, dan industri.

Keunggulan lain dari bioenergi sebagai energi terbarukan adalah keterlibatannya dalam siklus karbon yang relatif seimbang. Tanaman yang dijadikan bahan baku bioenergi menyerap karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari atmosfer selama proses fotosintesis. Ketika biomassa dibakar atau diubah menjadi energi,  $\text{CO}_2$  tersebut dilepaskan kembali. Selama siklus ini dijaga secara berkelanjutan (misalnya dengan replanting atau pengelolaan limbah yang baik), maka bioenergi dapat dianggap sebagai carbon neutral, berbeda dari bahan

bakar fosil yang menambahkan karbon baru ke atmosfer.

Namun demikian, bioenergi sebagai energi terbarukan juga menghadapi tantangan. Salah satunya adalah risiko konflik lahan dengan produksi pangan, terutama jika tanaman energi dibudidayakan pada lahan subur yang seharusnya digunakan untuk pertanian pangan. Oleh karena itu, strategi pengembangan bioenergi harus mempertimbangkan pendekatan berkelanjutan, seperti pemanfaatan limbah, agroforestri, atau tanaman energi yang tumbuh di lahan marginal.

Integrasi bioenergi ke dalam kebijakan energi nasional juga menjadi bagian penting dalam pengembangan energi terbarukan. Banyak negara telah mengadopsi target bauran energi terbarukan yang mencakup kontribusi bioenergi. Di Indonesia, Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 menetapkan bauran energi baru dan terbarukan mencapai 23% pada tahun 2025, di mana bioenergi diharapkan menjadi komponen signifikan melalui program biodiesel, biomassa, dan biogas.

Dengan demikian, bioenergi bukan hanya pelengkap dalam peta energi terbarukan, tetapi merupakan fondasi penting dalam strategi ketahanan energi, pengurangan emisi, dan pembangunan berkelanjutan. Ke depan, optimalisasi pemanfaatan bioenergi harus terus didorong melalui inovasi teknologi, dukungan kebijakan, dan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya energi hijau dari alam.

## BAB 2

### SUMBER BIOENERGI DARI ALAM

#### 2.1. Tanaman Energi: Kayu, Bambu, dan HHBK Lainnya

Tanaman energi adalah jenis tumbuhan yang secara khusus dimanfaatkan untuk menghasilkan energi, baik dalam bentuk panas, listrik, maupun bahan bakar cair dan gas. Di antara berbagai sumber tanaman energi, kayu, bambu, dan hasil hutan bukan kayu (HHBK) menempati posisi penting, terutama di negara tropis seperti Indonesia yang kaya akan keanekaragaman hayati dan sumber daya hutan.

##### 1. Kayu sebagai Sumber Bioenergi

Kayu merupakan salah satu bentuk biomassa padat yang paling umum digunakan sebagai bahan bakar. Di banyak daerah pedesaan di Indonesia dan negara berkembang lainnya, kayu bakar masih menjadi sumber energi utama untuk memasak dan pemanas. Jenis kayu energi umumnya berasal dari pohon cepat tumbuh seperti *Calliandra*, *Gliricidia*, *Leucaena*, dan *Acacia*. Selain digunakan langsung sebagai kayu bakar, kayu juga dapat diolah menjadi arang, pelet kayu, briket, atau bahkan biooil dan syngas melalui proses pirolisis dan gasifikasi.

Salah satu keunggulan kayu sebagai tanaman energi adalah ketersediaannya yang luas serta teknologi penggunaannya yang relatif sederhana. Namun, pemanfaatan kayu secara tidak terkendali berisiko terhadap deforestasi dan degradasi hutan, sehingga

penting dilakukan dalam sistem agroforestri atau hutan tanaman energi yang berkelanjutan.

## **2. Bambu sebagai Tanaman Energi Alternatif**

Bambu merupakan tanaman yang cepat tumbuh, memiliki siklus panen pendek (3–5 tahun), serta daya regeneratif tinggi. Karakteristik ini menjadikannya sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan. Beberapa spesies bambu seperti *Gigantochloa*, *Bambusa*, dan *Dendrocalamus* telah diteliti dan digunakan sebagai bahan baku briket, pelet, dan arang bambu.

Bambu juga memiliki keunggulan ekologis: ia membantu mencegah erosi, memperbaiki kesuburan tanah, dan menyerap karbon dalam jumlah besar. Selain sebagai bahan energi, bagian-bagian bambu dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri lain seperti kerajinan, bangunan, dan tekstil, menjadikannya tanaman multiguna.

## **3. Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) sebagai Biomassa Energi**

Hasil hutan bukan kayu (HHBK) mencakup semua produk hutan selain kayu batang, seperti biji-bijian, daun-daunan, kulit kayu, getah, buah, dan serat alam. Beberapa HHBK memiliki potensi besar sebagai sumber bioenergi. Contohnya adalah biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) dan kemiri sunan (*Reutealis trisperma*), yang minyaknya dapat diolah menjadi biodiesel. Selain itu, limbah HHBK seperti sabut kelapa, kulit buah, dan daun kering juga dapat dijadikan bahan

bakar padat melalui teknologi briketisasi.

HHBK menawarkan pendekatan yang lebih lestari dalam pemanfaatan hutan, karena dapat dipanen tanpa menebang pohon. Ini sangat sesuai untuk pendekatan konservasi berbasis masyarakat, di mana energi diperoleh sembari menjaga keberlanjutan ekosistem hutan.

#### **4. Potensi dan Strategi Pemanfaatan**

Pemanfaatan kayu, bambu, dan HHBK sebagai sumber energi memerlukan strategi terintegrasi: pemilihan jenis yang tepat, sistem budidaya yang efisien, serta dukungan teknologi konversi biomassa. Kombinasi dari ketiganya dapat menghasilkan sumber energi yang murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

Pemanfaatan tanaman energi ini juga harus mempertimbangkan aspek sosial-ekonomi, seperti keterlibatan masyarakat lokal, insentif ekonomi, dan penguatan kelembagaan petani atau pengelola hutan. Model hutan energi rakyat atau kebun energi desa dapat menjadi alternatif yang menjanjikan bagi ketahanan energi lokal.

Dengan potensi alam Indonesia yang melimpah, pengembangan tanaman energi dari kayu, bambu, dan HHBK bukan hanya realistis, tetapi juga strategis dalam menjawab tantangan krisis energi dan perubahan iklim secara bersamaan.

#### **2.2. Limbah Pertanian dan Kehutanan**

Limbah pertanian dan kehutanan merupakan sumber biomassa yang sangat potensial untuk

dikembangkan sebagai bahan baku bioenergi. Ketersediaannya yang melimpah dan penyebarannya yang luas menjadikannya alternatif energi yang murah dan berkelanjutan. Pemanfaatan limbah ini juga berkontribusi pada pengurangan pencemaran lingkungan serta peningkatan efisiensi dalam sistem produksi pertanian dan kehutanan.

### **1. Limbah Pertanian sebagai Sumber Energi**

Limbah pertanian adalah hasil samping dari kegiatan budidaya tanaman pangan dan perkebunan. Contohnya meliputi jerami padi, tongkol jagung, batang tebu, sekam padi, kulit kacang tanah, ampas singkong, dan limbah sawit seperti tandan kosong, cangkang, dan serat. Sebagian besar limbah ini biasanya dibakar langsung di lahan atau dibuang, yang justru menimbulkan masalah pencemaran udara dan kesehatan masyarakat.

Dengan teknologi tepat guna seperti briketisasi, gasifikasi, fermentasi anaerob (untuk menghasilkan biogas), dan pirolisis, limbah pertanian tersebut dapat diubah menjadi energi dalam bentuk panas, listrik, atau bahan bakar cair dan gas. Misalnya, limbah jerami dapat dikonversi menjadi biogas melalui proses fermentasi anaerobik, sementara tandan kosong kelapa sawit dapat dijadikan briket atau digunakan sebagai bahan bakar boiler di pabrik.

Selain itu, pemanfaatan limbah pertanian untuk energi juga membuka peluang ekonomi baru bagi petani dan masyarakat desa. Pendekatan ini memungkinkan

terjadinya diversifikasi pendapatan dan penguatan ketahanan energi lokal.

## **2. Limbah Kehutanan dan Potensinya**

Limbah kehutanan berasal dari aktivitas penebangan, pemanenan, dan pengolahan hasil hutan. Limbah ini dapat berupa ranting, daun, kulit kayu, serbuk gergaji, potongan batang, dan sisa hasil industri pengolahan kayu seperti papan partikel, tripleks, atau pulp. Di banyak tempat, limbah ini dibiarkan membusuk atau dibakar, padahal memiliki nilai kalor cukup tinggi yang cocok untuk dikonversi menjadi energi.

Salah satu contoh penerapan nyata adalah penggunaan serbuk gergaji dan kulit kayu sebagai bahan baku pelet kayu (*wood pellet*), yang kini menjadi komoditas energi biomassa ekspor, terutama ke negara-negara Asia Timur seperti Jepang dan Korea Selatan. Selain itu, limbah kayu juga bisa digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga biomassa (*biomass power plant*), yang sudah mulai dikembangkan di beberapa wilayah Indonesia.

## **3. Keuntungan Pemanfaatan Limbah sebagai Energi**

- a. Mengurangi limbah dan pencemaran: Penggunaan limbah sebagai energi membantu mengatasi masalah penumpukan limbah organik dan mengurangi pembakaran terbuka yang mencemari udara.
- b. Ramah lingkungan: Jika dikelola dengan benar, energi dari limbah termasuk dalam kategori

karbon netral.

- c. Memberikan nilai tambah ekonomi: Limbah yang sebelumnya tidak bernilai dapat diubah menjadi komoditas energi, sehingga meningkatkan pendapatan masyarakat.
- d. Menopang ketahanan energi lokal: Teknologi pengolahan biomassa berskala kecil dapat dimanfaatkan oleh desa atau kelompok tani secara mandiri.

#### **4. Tantangan dan Strategi Pengelolaan**

Meskipun potensinya besar, pemanfaatan limbah pertanian dan kehutanan menghadapi beberapa tantangan. Di antaranya adalah rendahnya kesadaran masyarakat, kurangnya teknologi sederhana yang terjangkau, serta keterbatasan dukungan kebijakan dan infrastruktur.

Strategi yang dapat dikembangkan meliputi:

- a. Penerapan sistem integrasi pertanian-energi.
- b. Penguatan kapasitas petani dan kelompok usaha melalui pelatihan teknologi bioenergi.
- c. Penyediaan insentif bagi pelaku usaha energi biomassa.
- d. Kolaborasi antara pemerintah, perguruan tinggi, dan sektor swasta dalam riset dan pengembangan teknologi pengolahan limbah menjadi energi.

Pemanfaatan limbah pertanian dan kehutanan sebagai sumber bioenergi adalah langkah konkret menuju ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan. Potensi besar ini harus didukung dengan

pendekatan teknologi yang tepat, kebijakan yang mendorong, dan kolaborasi antar sektor agar bisa menjadi solusi nyata bagi krisis energi dan lingkungan.

### **2.3. Sumber Bioenergi dari Limbah Organik Rumah Tangga**

Limbah organik rumah tangga merupakan salah satu jenis biomassa yang kerap dianggap sebagai sampah, padahal menyimpan potensi besar sebagai sumber energi terbarukan. Setiap hari, rumah tangga menghasilkan limbah berupa sisa makanan, kulit buah, sayuran busuk, dan limbah dapur lainnya yang bersifat biodegradable. Jika dikelola dengan tepat, limbah ini dapat dikonversi menjadi bioenergi, seperti biogas, kompos panas, atau bio-slurry, yang berguna untuk energi maupun pupuk.

#### **1. Potensi Limbah Rumah Tangga sebagai Bioenergi**

Di kota-kota besar Indonesia, limbah domestik didominasi oleh limbah organik (>60%). Rata-rata keluarga menghasilkan 1–2 kg limbah organik per hari. Skala ini mungkin terlihat kecil, namun dalam konteks komunitas atau desa, volume ini bisa mencukupi kebutuhan energi harian untuk memasak atau penerangan, jika dimanfaatkan dengan sistem biogas sederhana.

Pemanfaatan limbah organik rumah tangga sebagai energi adalah contoh pendekatan ekonomi sirkular, di mana sampah dari konsumsi dikembalikan ke

siklus produksi sebagai sumber daya. Teknologi seperti digester anaerob skala rumah tangga memungkinkan konversi limbah organik menjadi gas metana ( $\text{CH}_4$ ), yang dapat digunakan untuk memasak.

## **2. Teknologi Konversi Limbah Rumah Tangga**

Beberapa pendekatan pengolahan bioenergi dari limbah organik rumah tangga antara lain:

### **a. Fermentasi anaerob (Biogas)**

Limbah organik dimasukkan ke dalam biodigester kedap udara, di mana bakteri metanogenik mengubah materi organik menjadi gas metana dan karbon dioksida. Hasilnya adalah biogas yang bisa digunakan untuk kompor gas atau genset, serta residu padat berupa *bio-slurry* yang dapat dijadikan pupuk organik cair.

### **b. Pirolisis skala mikro**

Walau jarang digunakan di rumah tangga, teknologi pirolisis dapat mengubah limbah organik kering menjadi biochar dan gas. Teknologi ini masih lebih umum untuk limbah padat non-biodegradable seperti kayu, tapi sedang dikembangkan untuk limbah dapur.

### **c. Komposting termal dengan pemanfaatan panas**

Dalam beberapa sistem, panas yang dihasilkan dari proses pengomposan aktif dapat ditangkap dan dimanfaatkan, misalnya untuk penghangat air.

### **3. Keuntungan Pemanfaatan Energi dari Limbah Rumah Tangga**

a. Mengurangi beban TPA

Pemrosesan limbah organik di sumbernya sendiri mengurangi volume sampah yang harus diangkut dan ditimbun di Tempat Pembuangan Akhir (TPA), serta menekan emisi gas rumah kaca dari pembusukan terbuka.

b. Menghasilkan energi bersih dan murah

Biogas dari limbah dapur cukup untuk keperluan memasak harian satu keluarga, tanpa biaya tambahan untuk bahan bakar.

c. Memberdayakan masyarakat secara mandiri

Sistem energi dari limbah rumah tangga mendorong kemandirian energi rumah tangga atau komunitas, dan cocok dikembangkan dalam skema desa mandiri energi.

d. Menghasilkan pupuk organik tambahan

Produk sampingan berupa *bio-slurry* memiliki nilai ekonomis sebagai pupuk cair atau padat yang memperbaiki kualitas tanah.

### **4. Tantangan dan Solusi**

Beberapa tantangan dalam pengelolaan limbah organik rumah tangga sebagai energi antara lain: keterbatasan pengetahuan masyarakat, keterjangkauan teknologi, serta kurangnya kebijakan insentif untuk adopsi teknologi ini. Solusi yang dapat dikembangkan meliputi:

- a. Edukasi publik melalui sekolah dan komunitas.
- b. Bantuan alat sederhana seperti biodigester dari pemerintah atau NGO.
- c. Kemitraan antara perguruan tinggi, pemerintah daerah, dan UMKM untuk pengembangan model teknologi murah dan efektif.

Sumber energi tidak selalu harus berasal dari infrastruktur besar atau teknologi canggih. Di tingkat rumah tangga, limbah organik yang selama ini menjadi masalah dapat menjadi solusi melalui pemanfaatan bioenergi. Dengan dukungan teknologi sederhana, pendidikan masyarakat, dan kebijakan pro-lingkungan, energi dari limbah rumah tangga bisa menjadi bagian dari sistem energi nasional yang inklusif dan berkelanjutan.

Tabel 1 Jenis Sumber Bioenergi dan Contohnya

No.	Jenis Sumber Bioenergi	Contoh	Potensi Pemanfaatan
1	Tanaman Energi	Kayu, bambu, kelapa, tebu	Briket, pelet, bioetanol
2	Limbah Pertanian dan Kehutanan	Sekam padi, serbuk gergaji, tongkol jagung	Biogas, bahan bakar padat
3	Limbah Organik Rumah Tangga	Sisa makanan, kotoran ternak	Biogas, kompos, pupuk organik
4	Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK)	Rotan, getah, damar	Bioenergi berbasis resin atau getah

## BAB 3

### JENIS-JENIS BIOENERGI

#### 3.1. Bioenergi Padat: Kayu Bakar, Briket, dan Pelet

Bioenergi padat merupakan bentuk paling tradisional dan umum digunakan dari energi berbasis biomassa. Bentuk ini meliputi kayu bakar, briket, dan pelet kayu, yang semuanya digunakan sebagai sumber panas atau bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, industri kecil, dan bahkan pembangkit listrik. Di banyak wilayah pedesaan di Indonesia dan negara berkembang lainnya, bioenergi padat masih menjadi sumber energi utama, terutama untuk memasak dan pemanasan.

##### 1. Kayu Bakar: Energi Tradisional yang Masih Dominan

Kayu bakar adalah bentuk paling sederhana dari bioenergi padat. Penggunaannya telah berlangsung selama ribuan tahun, dan hingga saat ini, masih menjadi sumber energi utama di banyak rumah tangga pedesaan. Kayu digunakan karena tersedia secara lokal, murah, dan mudah diakses. Namun, pembakaran kayu secara langsung sering kali tidak efisien dan menghasilkan emisi gas rumah kaca serta partikel berbahaya yang berdampak pada kesehatan.

Efisiensi energi kayu bakar biasanya hanya mencapai 10–15%. Penggunaan tungku tradisional (seperti tiga batu) memperburuk pemborosan energi dan memperparah polusi dalam ruangan. Karena itu, berbagai program nasional dan internasional telah mendorong adopsi tungku hemat energi untuk

meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi.

## **2. Briket: Pemanfaatan Limbah Biomassa**

Briket merupakan bahan bakar padat yang dibentuk dari limbah biomassa seperti serbuk gergaji, sekam padi, tempurung kelapa, cangkang pangi, dan sampah organik lainnya yang dikeringkan dan dipadatkan (Mutmainnah et al., 2023). Bentuknya yang seragam memudahkan penyimpanan, distribusi, dan penggunaannya lebih efisien dibanding kayu bakar.

Briket memiliki nilai kalor yang cukup tinggi dan pembakarannya cenderung lebih bersih. Selain itu, teknologi pembuatannya relatif sederhana dan dapat diterapkan di tingkat rumah tangga atau kelompok usaha kecil. Di berbagai daerah di Indonesia, program pembuatan briket dari limbah pertanian telah dikembangkan sebagai alternatif energi untuk masyarakat desa, sekaligus menjadi solusi pengelolaan limbah organik.

## **3. Pelet Kayu: Bioenergi Padat Modern untuk Industri**

Pelet kayu (wood pellet) merupakan bentuk bioenergi padat modern dengan ukuran kecil, silindris, dan seragam. Dibuat dari limbah kayu seperti serbuk gergaji dan serpihan kayu yang dikeringkan, digiling, dan dipadatkan di bawah tekanan tinggi. Pelet ini banyak digunakan di negara-negara maju sebagai bahan bakar pemanas ruangan, boiler industri, bahkan untuk pembangkit listrik berbasis biomassa.

Keunggulan utama pelet dibandingkan kayu bakar dan briket adalah nilai kalor yang lebih tinggi (sekitar 17–19 MJ/kg), kadar air yang rendah (<10%), serta kemudahan transportasi dan penyimpanan. Di Indonesia, produksi pelet kayu sedang berkembang pesat, terutama untuk pasar ekspor ke Korea Selatan, Jepang, dan Eropa, yang mencari alternatif bahan bakar rendah karbon.

#### **4. Keunggulan Bioenergi Padat**

- a. Terbarukan: Sumbernya berasal dari biomassa yang dapat diperbaharui melalui daur alam.
- b. Ekonomis: Biaya produksi dan teknologi relatif rendah, cocok untuk skala rumah tangga dan UMKM.
- c. Ramah lingkungan: Jika dikelola dengan baik, emisinya lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil.
- d. Meningkatkan ketahanan energi lokal: Mengurangi ketergantungan pada LPG atau minyak tanah.

#### **5. Tantangan Pengembangan Bioenergi Padat**

- a. Ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan.
- b. Kebutuhan terhadap teknologi pembakaran yang efisien dan aman.
- c. Standarisasi produk untuk pasar internasional.
- d. Kurangnya insentif dan regulasi yang mendukung pengembangan bioenergi padat skala kecil.

Bioenergi padat merupakan bentuk energi biomassa yang paling mudah diakses, berbiaya rendah, dan dapat digunakan di berbagai skala, mulai dari rumah tangga hingga industri. Transformasi dari kayu bakar ke bentuk modern seperti briket dan pelet memberikan peluang besar untuk efisiensi energi, pengurangan emisi, serta peningkatan ekonomi lokal. Namun, keberhasilannya sangat bergantung pada kebijakan energi yang inklusif, edukasi masyarakat, dan dukungan terhadap riset dan teknologi.

### **3.2. Bioenergi Cair: Bioetanol dan Biodiesel**

Bioenergi cair adalah bentuk energi terbarukan yang berasal dari bahan organik dan diolah menjadi bahan bakar cair seperti bioetanol dan biodiesel. Jenis bioenergi ini dirancang untuk menggantikan atau dicampur dengan bahan bakar fosil dalam kendaraan bermotor dan mesin industri. Karena memiliki bentuk cair, bioenergi ini lebih kompatibel dengan infrastruktur bahan bakar yang sudah ada, seperti pompa bensin dan mesin pembakaran internal.

#### **1. Bioetanol: Bahan Bakar dari Fermentasi Gula dan Pati**

Bioetanol adalah alkohol hasil fermentasi gula atau pati dari tanaman seperti tebu, jagung, singkong, atau sorgum. Dalam proses produksinya, bahan baku mengandung karbohidrat yang diubah menjadi glukosa, kemudian difermentasi menggunakan ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) menjadi etanol.

Bioetanol biasanya digunakan sebagai campuran bensin, seperti dalam produk E10 (10% bioetanol dan 90% bensin) atau E85 di negara-negara yang lebih maju dalam kebijakan biofuel. Di Indonesia, program BBN (Bahan Bakar Nabati) juga menargetkan pengembangan bioetanol dari singkong dan sorgum sebagai alternatif bahan bakar kendaraan.

## **2. Keunggulan bioetanol:**

- a. Mengurangi emisi CO<sub>2</sub> hingga 60–90% dibandingkan bensin konvensional.
- b. Sumber energi terbarukan dan dapat diproduksi secara lokal.
- c. Proses produksi relatif sederhana dan dapat dilakukan di skala industri kecil hingga besar.

Namun, tantangan bioetanol termasuk kebutuhan bahan baku yang tinggi, potensi konflik dengan ketahanan pangan, dan efisiensi energi yang masih perlu ditingkatkan.

## **3. Biodiesel: Energi dari Minyak Nabati dan Lemak**

Biodiesel adalah bahan bakar cair yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak nabati (seperti minyak sawit, jarak pagar, kedelai, atau kemiri sunan) atau lemak hewan dengan metanol/etanol menggunakan katalis. Hasilnya adalah metil ester (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping.

Biodiesel digunakan untuk menggantikan solar (diesel) dan dapat langsung digunakan dalam mesin diesel tanpa banyak modifikasi. Di Indonesia, program biodiesel telah berjalan cukup maju, dengan

pencampuran B35 (35% biodiesel dan 65% solar) secara nasional.

#### **4. Keunggulan biodiesel:**

- a. Lebih ramah lingkungan karena emisi SO<sub>x</sub> dan partikel lebih rendah.
- b. Mengurangi ketergantungan terhadap impor solar.
- c. Dapat diproduksi dari limbah minyak goreng atau minyak industri bekas.

Namun, produksi biodiesel skala besar harus mempertimbangkan keberlanjutan sumber bahan baku, terutama dampaknya terhadap deforestasi dan perubahan penggunaan lahan, khususnya dari kelapa sawit.

#### **5. Tantangan Umum Bioenergi Cair**

- a. Ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan: Bahan pangan seperti jagung dan singkong yang digunakan untuk bioetanol berisiko menimbulkan konflik pangan-energi.
- b. Dampak lingkungan: Perlu pendekatan berbasis *life cycle assessment* untuk memastikan bahwa bioenergi benar-benar lebih rendah emisi dibandingkan bahan bakar fosil.
- c. Biaya produksi: Masih relatif tinggi dibandingkan bahan bakar fosil, terutama jika subsidi energi fosil masih berlaku.
- d. Kebutuhan teknologi dan investasi awal: Infrastruktur produksi dan distribusi membutuhkan investasi besar.

Bioenergi cair seperti bioetanol dan biodiesel menawarkan solusi nyata dalam transisi energi bersih, terutama di sektor transportasi. Dengan pengembangan teknologi yang berkelanjutan, pemanfaatan limbah sebagai bahan baku, dan kebijakan yang mendukung, bioenergi cair bisa menjadi pilar penting dalam ketahanan energi nasional dan mitigasi perubahan iklim.

### **3.3. Bioenergi Gas: Biogas dan Syngas**

Bioenergi gas adalah bentuk energi terbarukan yang dihasilkan dari proses konversi biomassa menjadi gas yang dapat dibakar untuk menghasilkan panas atau listrik. Dua jenis utama bioenergi gas yang paling umum digunakan adalah biogas dan syngas (gas sintetik). Keduanya berperan penting dalam transisi menuju energi bersih karena berasal dari limbah organik dan prosesnya relatif rendah emisi karbon.

#### **1. Biogas: Energi dari Limbah Organik**

Biogas adalah gas yang dihasilkan melalui proses degradasi anaerobik (tanpa oksigen) oleh mikroorganisme terhadap bahan organik, seperti limbah pertanian, kotoran hewan, limbah rumah tangga, dan limbah makanan. Komponen utama biogas adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 50–70% dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebesar 30–50%, dengan sejumlah kecil hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan uap air.

Proses pembentukan biogas biasanya dilakukan dalam reaktor biodigester tertutup. Gas yang dihasilkan dapat digunakan langsung untuk memasak, penerangan, atau pembangkit listrik, sedangkan residu padat/sisa

cairannya (digestat) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.

Keunggulan biogas:

- a. Memanfaatkan limbah organik secara produktif.
- b. Mengurangi emisi gas rumah kaca, terutama metana dari kotoran ternak.
- c. Menghasilkan energi bersih dan pupuk alami secara bersamaan.
- d. Cocok untuk diterapkan di pedesaan dan peternakan.

Contoh penerapan di Indonesia: Program *biogas rumah tangga* dan *biogas komunal* dari limbah peternakan sapi yang dikembangkan oleh Kementerian ESDM, NGO, serta pesantren dan kelompok tani di daerah pedesaan.

## **2. Syngas: Gas Sintetik dari Biomassa**

Syngas (synthesis gas atau gas sintetik) adalah campuran karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan dari proses gasifikasi biomassa, yaitu konversi termokimia dari bahan organik (seperti serpihan kayu, sekam padi, tongkol jagung) dalam kondisi terbatas oksigen dan suhu tinggi (700–1.000°C).

Proses ini berbeda dengan pembakaran langsung, karena menghasilkan gas yang dapat dibersihkan dan digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk:

- a. Bahan bakar mesin pembakaran internal (genset)
- b. Bahan baku industri kimia (misalnya amonia, metanol)

- c. Produksi listrik di pembangkit listrik biomassa skala kecil hingga menengah

**3. Keunggulan syngas:**

- a. Fleksibel untuk berbagai aplikasi energi dan industri.
- b. Dapat diproduksi dari limbah biomassa kering yang tidak cocok untuk fermentasi.
- c. Efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibanding pembakaran langsung.

Namun, teknologi gasifikasi masih menantang dari segi investasi, pengendalian tar (senyawa kompleks), dan kesiapan teknis operator, terutama di daerah yang belum memiliki kapasitas teknologi.

Tabel 2 Perbandingan Biogas dan Syngas

Aspek	Biogas	Syngas
Bahan Baku	Limbah organik basah (kotoran, sampah)	Biomassa kering (serpih kayu, jerami)
Proses Produksi	Fermentasi anaerob	Gasifikasi termokimia
Komponen Utama	Metana (CH <sub>4</sub> ), CO <sub>2</sub>	CO, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
Aplikasi	Memasak, penerangan, listrik kecil	Genset, pembangkit listrik, bahan kimia
Skala	Rumah tangga hingga komunal	Industri kecil-menengah

Bioenergi gas, baik berupa biogas maupun syngas, merupakan teknologi penting dalam transisi

energi bersih yang berkelanjutan. Biogas sangat cocok untuk daerah pedesaan dengan sumber limbah organik berlimpah, sedangkan syngas menjanjikan efisiensi tinggi dan fleksibilitas pemanfaatan di industri energi. Pengembangan keduanya mendukung pengurangan emisi, pengelolaan limbah, serta ketahanan energi lokal dan nasional.

Tabel 3 Jenis Bioenergi Berdasarkan Bentuknya

No.	Bentuk Bioenergi	Contoh Produk	Teknologi Produksi
1	Padat	Kayu bakar, briket, pelet	Pengeringan, pemadatan
2	Cair	Bioetanol, biodiesel	Fermentasi, transesterifikasi
3	Gas	Biogas, syngas	Digester anaerob, gasifikasi

## **BAB 4**

### **PROSES PEMBUATAN BIOENERGI**

#### **4.1. Proses Sederhana: Kompor Biomassa dan Digester Biogas**

Proses pembuatan bioenergi dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, mulai dari teknologi canggih berskala industri hingga teknologi sederhana yang dapat diadopsi oleh rumah tangga atau komunitas lokal. Pada subbab ini, akan dibahas dua contoh penerapan proses sederhana: kompor biomassa dan digester biogas. Keduanya sangat relevan bagi masyarakat pedesaan atau wilayah dengan akses terbatas terhadap energi komersial.

##### **1. Kompor Biomassa**

Kompor biomassa adalah alat yang dirancang untuk membakar bahan biomassa padat, seperti kayu, sekam padi, tempurung kelapa, tongkol jagung, dan briket dari limbah pertanian, secara lebih efisien daripada tungku tradisional. Kompor ini memiliki ruang pembakaran tertutup dan ventilasi udara yang diatur agar proses pembakaran berlangsung lebih sempurna.

Keunggulan kompor biomassa:

- a. Menghemat penggunaan bahan bakar hingga 30–50% dibandingkan tungku konvensional.
- b. Menghasilkan panas yang lebih stabil dan bersih.
- c. Mengurangi asap dan polusi udara dalam ruangan.
- d. Dapat dibuat dengan bahan lokal dan biaya rendah.

Terdapat berbagai jenis kompor biomassa, seperti kompor rakitan lokal, kompor roket (rocket stove), dan kompor gasifikasi mini yang memungkinkan proses pembakaran dua tahap (primary dan secondary combustion), sehingga lebih efisien dan bersih. Studi oleh Bhattacharya et al. (2002) menunjukkan bahwa kompor biomassa efisien mampu mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 40% dan emisi partikulat secara signifikan dibandingkan tungku konvensional.

## **2. Digester Biogas**

Digester biogas adalah reaktor tertutup yang digunakan untuk mengolah limbah organik seperti kotoran ternak, sisa dapur, atau limbah pertanian melalui proses fermentasi anaerobik (tanpa oksigen), menghasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang dapat digunakan untuk memasak, penerangan, atau pembangkit listrik skala kecil.

Digester biogas adalah instalasi sederhana yang mengubah limbah organik (misalnya kotoran ternak, sisa makanan, limbah dapur) menjadi biogas melalui proses fermentasi anaerobik. Biogas yang dihasilkan terdiri dari 50–70% metana, yang dapat digunakan untuk memasak, penerangan, atau bahkan pembangkitan listrik skala kecil. Sisa padatnya yang dikenal sebagai digestat juga sangat berguna sebagai pupuk organik alami.

Model yang paling banyak digunakan di masyarakat adalah fixed dome dan floating drum digester, yang dapat dibangun dari bahan lokal seperti bata, semen, atau drum bekas. Menurut Katuwal &

Bohara (2009), penerapan digester biogas di pedesaan Nepal tidak hanya meningkatkan kualitas hidup masyarakat, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada kayu bakar dan menekan laju deforestasi.

### **3. Komponen utama digester biogas sederhana:**

- a. Tangki digester: Tempat fermentasi limbah.
- b. Inlet: Lubang pemasukan bahan (limbah + air).
- c. Outlet: Lubang pengeluaran lumpur sisa fermentasi (digestat).
- d. Gas holder: Penampung gas biogas yang dihasilkan.
- e. Saluran pipa: Mengalirkan biogas ke kompor atau lampu gas.

### **4. Keuntungan digester biogas:**

- a. Mengolah limbah menjadi energi bersih.
- b. Menghasilkan pupuk organik cair (digestat).
- c. Mengurangi bau dan pencemaran lingkungan.
- d. Dapat dibangun dengan teknologi lokal (misalnya dari drum bekas atau semen cor).

Di Indonesia, program biogas rumah tangga telah diterapkan oleh berbagai NGO, koperasi petani, dan lembaga pemerintah sebagai solusi energi terbarukan berbasis masyarakat.

### **5. Tantangan Penerapan Teknologi Sederhana**

Meskipun teknologi sederhana ini mudah diakses, ada sejumlah tantangan yang perlu diperhatikan:

- a. Perawatan dan pemeliharaan: Kompor atau digester perlu dibersihkan secara berkala.

- b. Pelatihan pengguna: Agar masyarakat memahami cara operasional dan keamanannya.
- c. Ketersediaan bahan baku: Seperti limbah organik atau biomassa yang konsisten.
- d. Kesadaran dan minat masyarakat: Perlu pendekatan edukatif dan partisipatif.

Teknologi bioenergi sederhana seperti kompor biomassa dan digester biogas merupakan solusi nyata untuk menjawab kebutuhan energi bersih di tingkat rumah tangga dan komunitas. Dengan pendekatan tepat, pelatihan, dan dukungan kelembagaan, teknologi ini dapat meningkatkan kemandirian energi masyarakat, mengurangi emisi, serta memberikan manfaat ekonomi dari limbah yang sebelumnya terbuang.

## **4.2. Proses Skala Industri: Gasifikasi dan Fermentasi**

Bioenergi skala industri menggunakan teknologi konversi yang lebih kompleks, efisien, dan terstandar. Dua proses utama yang banyak diterapkan di tingkat industri adalah gasifikasi dan fermentasi. Keduanya memungkinkan pemanfaatan biomassa dalam jumlah besar untuk menghasilkan energi dalam bentuk gas, cair, maupun produk turunannya, yang dapat menggantikan bahan bakar fosil dalam sektor pembangkitan listrik, transportasi, dan industri.

### **1. Gasifikasi: Konversi Termokimia Biomassa**

Gasifikasi adalah proses konversi biomassa padat menjadi gas sintetik (syngas) melalui pemanasan pada suhu tinggi (700–1000°C) dengan suplai oksigen

terbatas. Bahan baku yang digunakan umumnya berupa residu pertanian dan kehutanan kering, seperti:

- a. Serbuk gergaji
- b. Sekam padi
- c. Tempurung kelapa
- d. Serpih kayu

Gas hasil gasifikasi mengandung karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang dapat dimanfaatkan sebagai:

- a. Bahan bakar mesin pembangkit listrik
- b. Bahan baku industri (misal: pembuatan metanol)
- c. Energi panas untuk proses industri

Penerapan gasifikasi biomassa berskala besar telah berkembang pesat di beberapa negara seperti India, Swedia, dan Jerman. Menurut Basu (2010), efisiensi energi pada sistem gasifikasi modern dapat mencapai 75% tergantung pada desain sistem dan kualitas bahan baku. Teknologi ini dinilai cocok untuk negara berkembang karena mampu memanfaatkan limbah lokal dan menghasilkan energi secara berkelanjutan.

## **2. Fermentasi: Produksi Bioetanol dan Biogas**

Fermentasi adalah proses biokimiawi di mana mikroorganisme seperti ragi atau bakteri memecah senyawa organik kompleks menjadi energi dalam bentuk biofuel cair atau gas. Dalam skala industri, dua jenis fermentasi utama digunakan:

- a. Fermentasi Alkoholik (untuk Bioetanol)

Dilakukan oleh ragi (*Saccharomyces*)

*cerevisiae*) untuk mengubah gula sederhana (glukosa) dari bahan nabati seperti tebu, singkong, jagung, dan molase menjadi bioetanol. Reaksi utamanya:



Bioetanol digunakan sebagai bahan campuran atau pengganti bensin dalam kendaraan bermotor (misalnya E10, E20). Negara seperti Brasil dan Amerika Serikat telah berhasil mengintegrasikan bioetanol ke dalam sistem energi nasional mereka.

b. Fermentasi Anaerobik (untuk Biogas)

Seperti dijelaskan pada subbab sebelumnya, fermentasi anaerobik digunakan untuk memproduksi biogas dari limbah organik. Dalam skala industri, reaktor biogas dilengkapi dengan sistem pemanasan, agitator, pengontrol pH, dan pemurni gas untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan.

Menurut Keparaju et al. (2009), peningkatan kontrol parameter lingkungan dalam digester skala industri dapat meningkatkan produksi metana hingga 30% dibandingkan skala rumah tangga.

c. Tantangan Industri Bioenergi

Beberapa tantangan dalam penerapan proses industri bioenergi meliputi:

- 1) Investasi awal tinggi (biaya peralatan, instalasi, dan operasional)

- 2) Kebutuhan bahan baku stabil dan berkualitas
- 3) Teknologi pemurnian dan pembersihan gas
- 4) Pengelolaan residu dan emisi proses
- 5) Regulasi dan kebijakan energi yang mendukung

Namun, dengan insentif yang tepat dan dukungan teknologi, bioenergi industri dapat menjadi bagian penting dari strategi dekarbonisasi energi nasional. Proses industri seperti gasifikasi dan fermentasi memungkinkan skala produksi bioenergi yang besar dan efisien. Teknologi ini menjembatani kebutuhan energi bersih yang dapat diandalkan sekaligus membuka peluang ekonomi berbasis biomassa. Kombinasi teknologi ini dengan pendekatan keberlanjutan sumber daya akan memperkuat kontribusi bioenergi terhadap ketahanan energi dan mitigasi perubahan iklim.



Gambar 2 Diagram Proses Fermentasi Anaerobik pada Biogas

### **4.3. Teknologi Tepat Guna dan Ramah Lingkungan**

Pengembangan bioenergi tidak hanya menuntut efisiensi dalam menghasilkan energi, tetapi juga harus memperhatikan aspek lingkungan dan sosial. Teknologi tepat guna dan ramah lingkungan menjadi pendekatan yang mengintegrasikan kemudahan penggunaan, keterjangkauan, keberlanjutan sumber daya, serta minimnya dampak negatif terhadap lingkungan. Teknologi ini menjadi solusi utama bagi masyarakat pedesaan dan negara berkembang dalam transisi menuju energi hijau yang inklusif dan berkeadilan.

#### **1. Pengertian Teknologi Tepat Guna dalam Bioenergi**

Teknologi tepat guna (appropriate technology) adalah teknologi yang dirancang agar sesuai dengan kebutuhan, kondisi sosial, ekonomi, budaya, serta kemampuan masyarakat lokal. Dalam konteks bioenergi, teknologi ini dapat mencakup alat dan sistem konversi biomassa menjadi energi yang:

- a. Biaya rendah
- b. Mudah dioperasikan dan dirawat
- c. Memanfaatkan sumber daya lokal
- d. Dapat dikembangkan secara mandiri oleh komunitas

Contohnya adalah kompor biomassa efisien, briket limbah pertanian, biogas mini, dan pembangkit listrik tenaga biomassa skala mikro.

#### **2. Ciri-ciri Teknologi Ramah Lingkungan**

Teknologi ramah lingkungan ditandai dengan:

- a. Emisi gas rumah kaca rendah
- b. Mengurangi pencemaran air dan udara
- c. Tidak menghasilkan limbah berbahaya
- d. Efisiensi energi tinggi
- e. Memperpanjang daur hidup material

Dalam bioenergi, teknologi ini juga harus menjamin bahwa pengambilan biomassa tidak melebihi laju regenerasinya, serta tidak mengganggu fungsi ekologis hutan atau lahan.

### **3. Contoh Implementasi Teknologi Tepat Guna Bioenergi**

- a. Briket Biomassa dari Limbah Pertanian

Serbuk gergaji, jerami, tempurung kelapa, atau sekam padi dapat dikompresi menjadi briket yang memiliki nilai kalor tinggi dan pembakaran bersih. Mesin cetak briket sederhana bahkan dapat dibuat dengan rangka besi lokal.

- b. Kompor Gasifikasi Mini

Menggunakan prinsip dua tahap pembakaran, kompor ini mengurangi asap dan mengoptimalkan panas dari kayu kecil atau serpih biomassa, cocok untuk kegiatan rumah tangga atau UMKM.

- c. Reaktor Biogas Drum Plastik

Teknologi biogas skala kecil berbahan drum bekas dapat digunakan untuk mengolah limbah dapur atau kotoran ternak menjadi energi memasak, serta menghasilkan pupuk cair.

d. **Pembangkit Listrik Biomassa Skala Mikro**

Di daerah terpencil, pembangkit listrik berbahan bakar sekam padi atau potongan kayu dari limbah pengolahan kayu bisa menyediakan listrik untuk komunitas tanpa jaringan PLN.

**4. Manfaat Sosial dan Lingkungan**

- a. Mengurangi ketergantungan pada kayu bakar dan LPG
- b. Meningkatkan kualitas udara dalam rumah
- c. Memberdayakan ekonomi lokal melalui produksi energi mandiri
- d. Mengurangi emisi karbon dan deforestasi
- e. Memanfaatkan limbah pertanian yang selama ini terbuang

**5. Tantangan dan Solusi**

Beberapa tantangan yang masih dihadapi dalam penerapan teknologi tepat guna bioenergi antara lain:

- a. Kurangnya pelatihan teknis bagi masyarakat
- b. Keterbatasan pendanaan awal
- c. Akses terhadap bahan baku berkualitas
- d. Perlu penguatan kelembagaan lokal dan dukungan kebijakan

Solusinya adalah melalui program pelatihan teknis, pendampingan masyarakat, kolaborasi universitas–industri–komunitas, serta insentif pemerintah untuk adopsi energi terbarukan. Teknologi tepat guna dan ramah lingkungan dalam bioenergi memainkan peran kunci dalam penguatan ketahanan energi berbasis komunitas dan pengurangan dampak

lingkungan. Dengan mengedepankan prinsip efisiensi, keberlanjutan, dan pemberdayaan, teknologi ini bukan hanya solusi teknis, tetapi juga instrumen perubahan sosial dan ekologis di era transisi energi.

## **BAB 5**

### **MANFAAT BIOENERGI BAGI LINGKUNGAN**

#### **5.1. Mengurangi Ketergantungan Energi Fosil**

Salah satu manfaat utama dari pengembangan bioenergi adalah kemampuannya dalam mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Energi fosil merupakan sumber daya tidak terbarukan yang terbentuk dalam waktu jutaan tahun, sementara laju konsumsinya sangat tinggi. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil tidak hanya menyumbang besar terhadap emisi gas rumah kaca (GRK), tetapi juga menjadikan sistem energi global tidak berkelanjutan.

##### **1. Bioenergi sebagai Alternatif Terbarukan**

Bioenergi merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang berasal dari biomassa atau bahan organik hidup dan limbahnya. Sumber-sumber bioenergi seperti limbah pertanian, residu kehutanan, dan limbah organik rumah tangga sangat melimpah dan dapat diperbarui secara alami dalam waktu relatif singkat.

Dengan memanfaatkan bioenergi sebagai bahan bakar alternatif, maka permintaan terhadap minyak bumi dan batu bara bisa ditekan. Misalnya:

- a. Bioetanol dapat menggantikan bensin pada kendaraan bermotor.
- b. Biodiesel dapat menjadi substitusi untuk solar.
- c. Biogas dapat menggantikan LPG atau gas alam untuk kebutuhan rumah tangga dan industri.

## **2. Dampak Langsung terhadap Ketahanan Energi**

Diversifikasi sumber energi melalui bioenergi membantu negara mengurangi impor bahan bakar fosil, terutama di negara berkembang yang rawan terhadap fluktuasi harga minyak dunia. Hal ini memperkuat ketahanan energi nasional, sekaligus menciptakan sistem energi yang lebih mandiri dan resilient.

Menurut International Energy Agency (IEA), bioenergi berkontribusi terhadap lebih dari 55% energi terbarukan global saat ini, dan memainkan peran penting dalam skenario transisi energi dunia menuju emisi nol bersih (IEA, 2021).

## **3. Emisi Lebih Rendah**

Dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil, pembakaran bioenergi umumnya menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah, apalagi jika siklus karbonnya tertutup yakni karbon yang dilepaskan saat pembakaran dapat kembali diserap oleh tanaman baru yang tumbuh.

Contoh:

- a. Biogas menghasilkan sekitar 50% lebih rendah CO<sub>2</sub> dibandingkan gas LPG untuk jumlah energi yang sama.
- b. Penggunaan briket biomassa dari limbah pertanian mengurangi pembakaran terbuka yang sering terjadi di musim panen.

## **4. Mendorong Inovasi Lokal**

Substitusi bahan bakar fosil dengan bioenergi juga mendorong pengembangan teknologi lokal, seperti

kompor biomassa, briket limbah, atau reaktor biogas. Ini berkontribusi pada ekonomi lokal sekaligus memperluas akses energi bersih secara merata di seluruh wilayah, terutama desa-desa terpencil.

Dengan segala potensi dan kemampuannya dalam menggantikan energi fosil, bioenergi memiliki peran strategis dalam menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan, bersih, dan adil. Penerapan bioenergi yang tepat akan mempercepat transisi energi global serta membantu pencapaian target pengurangan emisi karbon di tingkat nasional dan internasional.

## **5.2. Mengurangi Limbah Organik**

Bioenergi tidak hanya berkontribusi sebagai sumber energi terbarukan, tetapi juga berperan penting dalam pengelolaan limbah organik. Salah satu tantangan lingkungan yang dihadapi banyak negara, khususnya negara berkembang, adalah tingginya volume limbah organik dari rumah tangga, pertanian, dan industri. Limbah ini seringkali tidak dikelola secara optimal dan justru menjadi sumber pencemaran udara, air, serta menimbulkan emisi gas rumah kaca seperti metana.

### **1. Bioenergi sebagai Solusi Limbah Organik**

Limbah organik dapat dikonversi menjadi energi melalui berbagai teknologi bioenergi seperti:

- a. Fermentasi anaerobik → menghasilkan biogas
- b. Gasifikasi atau pirolisis → menghasilkan syngas atau biochar
- c. Pengeringan dan pengepresan → menghasilkan briket dan pelet

Dengan mengolah limbah menjadi bahan bakar atau gas bioenergi, jumlah limbah yang masuk ke TPA (Tempat Pembuangan Akhir) dapat ditekan secara signifikan.

## **2. Sumber Limbah Organik untuk Bioenergi**

Beberapa jenis limbah organik yang umum dimanfaatkan:

- a. Limbah rumah tangga: sisa makanan, kulit buah, sayuran busuk
- b. Limbah pertanian: jerami, batang jagung, ampas tebu, sekam padi
- c. Limbah peternakan: kotoran sapi, ayam, kambing
- d. Limbah industri agro: ampas kelapa, ampas sawit, limbah tahu-tempe

Menurut Kothari et al. (2014), pemanfaatan limbah organik sebagai sumber bioenergi tidak hanya mengurangi volume limbah, tetapi juga mengurangi beban TPA, menurunkan potensi pencemaran, dan mengurangi emisi metana.

## **3. Manfaat Ganda: Energi dan Pengelolaan Lingkungan**

Konversi limbah menjadi bioenergi memberikan manfaat ganda:

- a. Menghasilkan energi yang dapat digunakan langsung (biogas untuk memasak atau listrik)
- b. Mengurangi pencemaran akibat penumpukan limbah
- c. Mengurangi emisi metana dari proses

pembusukan alami

- d. Menghasilkan produk samping seperti pupuk organik cair dan padat dari proses fermentasi biogas

#### **4. Studi Kasus: Biogas Rumah Tangga**

Di berbagai daerah di Indonesia, program digester biogas skala rumah tangga telah berhasil mengelola kotoran ternak menjadi energi untuk memasak. Sisa padatannya (digestat) digunakan petani sebagai pupuk organik alami, menggantikan pupuk kimia. Hal ini memperkuat konsep ekonomi sirkular berbasis desa.

#### **5. Tantangan dan Upaya Solusi**

Beberapa tantangan yang dihadapi:

- a. Kurangnya edukasi dan teknologi pengolahan di tingkat masyarakat
- b. Kesulitan logistik dalam pengumpulan dan pemilahan limbah
- c. Minimnya insentif bagi pengelola limbah untuk produksi energi

Solusinya dapat berupa:

- a. Program pelatihan dan penyuluhan teknologi bioenergi
- b. Pembangunan infrastruktur bank sampah organik
- c. Dukungan kebijakan pemerintah melalui insentif atau subsidi teknologi

Pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku bioenergi adalah langkah nyata menuju ekonomi hijau,

pengurangan limbah, dan kemandirian energi. Dengan pendekatan yang tepat, limbah tidak lagi menjadi beban, melainkan sumber daya energi yang bernilai tinggi bagi lingkungan dan masyarakat.

### **5.3. Menurunkan Emisi Gas Rumah Kaca**

Salah satu kontribusi paling signifikan dari bioenergi terhadap lingkungan adalah kemampuannya dalam menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK). Emisi GRK, seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), dan dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), merupakan penyebab utama perubahan iklim global. Sektor energi, khususnya yang bergantung pada bahan bakar fosil, menjadi kontributor terbesar terhadap peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer. Dalam konteks ini, bioenergi menawarkan alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan.

#### **1. Bioenergi dan Siklus Karbon Netral**

Salah satu alasan utama mengapa bioenergi dianggap lebih ramah lingkungan adalah sifatnya yang berpotensi karbon netral. Tanaman dan organisme yang menjadi sumber biomassa menyerap  $\text{CO}_2$  dari atmosfer selama proses fotosintesis. Saat biomassa dibakar atau diolah menjadi energi, karbon yang dilepaskan setara dengan yang telah diserap selama masa hidupnya.

Meskipun terdapat emisi pada saat produksi dan konversi (seperti dalam pengangkutan dan pembakaran), jumlah emisi tersebut jauh lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil, yang menambahkan karbon baru ke atmosfer (Demirbas, 2008).

## **2. Pengurangan Emisi Metana dari Limbah Organik**

Bioenergi yang berasal dari limbah organik juga dapat mengurangi emisi metana, gas rumah kaca yang 25 kali lebih kuat dari CO<sub>2</sub> dalam menjebak panas. Limbah organik yang membusuk secara terbuka di tempat pembuangan akhir (TPA) akan menghasilkan metana dalam jumlah besar. Namun, jika limbah tersebut dikelola melalui sistem biodigester untuk menghasilkan biogas, maka metana dapat ditangkap dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar, bukan dilepas ke atmosfer.

## **3. Studi dan Temuan Global**

Menurut laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), penggunaan bioenergi yang dikelola secara berkelanjutan dapat menurunkan emisi GRK hingga 80–90% dibandingkan bahan bakar fosil, tergantung pada teknologi dan jenis biomassa yang digunakan (IPCC, 2014). Sebagai contoh, penggunaan biodiesel dari minyak jelantah menghasilkan emisi gas rumah kaca sekitar 85% lebih rendah dibandingkan solar konvensional (Hill et al., 2006). Demikian juga, bioetanol dari tebu memiliki emisi sekitar 60–70% lebih rendah dibandingkan bensin.

## **4. Manfaat Jangka Panjang terhadap Iklim**

Dengan berkurangnya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan penurunan emisi dari sektor limbah organik, bioenergi berkontribusi pada:

- a. Penurunan jejak karbon sektor energi
- b. Penguatan komitmen nasional (NDC) terhadap

## Paris Agreement

### c. Adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal

Selain itu, pemanfaatan bioenergi juga memperkuat sistem ekonomi rendah karbon dan menciptakan peluang kerja ramah lingkungan. Pemanfaatan bioenergi secara optimal, efisien, dan berkelanjutan merupakan strategi penting dalam upaya menurunkan emisi gas rumah kaca dan mengatasi krisis iklim global. Potensinya yang besar sebagai energi bersih menjadikan bioenergi sebagai pilar utama transisi energi menuju masa depan yang lebih hijau.

Tabel 4 Manfaat Bioenergi untuk Lingkungan dan Masyarakat

<b>Aspek</b>	<b>Manfaat Bioenergi</b>
Lingkungan	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mengurangi emisi gas rumah kaca</li><li>- Menekan limbah organik</li><li>- Menghemat energi fosil</li></ul>
Sosial dan Ekonomi	<ul style="list-style-type: none"><li>- Meningkatkan kemandirian energi desa</li><li>- Menciptakan lapangan kerja hijau</li></ul>
Kehutanan	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mendorong pemanfaatan HHBK berkelanjutan</li><li>- Menjaga hutan melalui nilai ekonomi</li></ul>

## **BAB 6**

### **BIOENERGI DAN HUTAN TROPIS**

#### **6.1. Hutan sebagai Sumber Biomassa**

Hutan tropis merupakan salah satu ekosistem paling kaya dan produktif di dunia. Selain menyediakan jasa ekosistem penting seperti pengaturan iklim dan konservasi keanekaragaman hayati, hutan juga berfungsi sebagai penyedia utama biomassa, bahan baku yang sangat potensial untuk produksi bioenergi. Biomassa hutan berasal dari berbagai bagian vegetasi seperti kayu, ranting, dedaunan, bambu, dan hasil hutan bukan kayu (HHBK) lainnya yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.

##### **1. Sumber Biomassa dari Hutan**

Biomassa dari hutan tropis dapat dikategorikan menjadi:

- a. Kayu energi: Potongan cabang, batang kecil, kayu hasil pemangkasan atau tebangan yang tidak dimanfaatkan industri (residu logging).
- b. Limbah pemanenan: Sisa tebangan di lokasi Hutan Tanaman Industri (HTI) dan Hutan Rakyat.
- c. HHBK: Seperti biji-bijian, damar, getah, rotan, dan bambu yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.
- d. Limbah hasil pengolahan kayu: Serbuk gergaji, kulit kayu, dan potongan kayu sisa industri.

Pemanfaatan residu dan limbah tersebut untuk bioenergi membantu mengurangi limbah, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya hutan, serta

menyediakan alternatif ekonomi bagi masyarakat sekitar hutan.

## **2. Potensi Hutan Tropis Indonesia**

Indonesia, sebagai negara dengan salah satu kawasan hutan tropis terluas di dunia, memiliki potensi besar dalam mendukung produksi bioenergi berbasis hutan. Hutan tanaman seperti sengon (*Albizia chinensis*), jabon (*Anthocephalus cadamba*), dan gamal (*Gliricidia sepium*) tumbuh cepat dan cocok untuk sistem agroforestri energi. Selain itu, potensi bambu sebagai biomassa cepat tumbuh juga mulai mendapat perhatian sebagai komoditas bioenergi yang ramah lingkungan (Widiyanto et al., 2021).

## **3. Pemanfaatan Berkelanjutan**

Namun demikian, penting untuk memastikan bahwa pemanfaatan biomassa dari hutan tidak merusak fungsi ekologisnya. Prinsip pengelolaan hutan lestari (PHL) harus menjadi dasar dalam pengambilan biomassa, baik dari hutan alam maupun hutan tanaman. Pendekatan seperti pemanenan selektif, rotasi tebang, pemanfaatan limbah, dan reboisasi sangat penting untuk menjamin kesinambungan sumber energi sekaligus konservasi ekosistem hutan.

## **4. Kontribusi terhadap Energi Terbarukan dan Masyarakat**

Pemanfaatan biomassa hutan secara bijak dapat:

- a. Mengurangi tekanan terhadap hutan alam, jika diarahkan pada hutan tanaman energi.
- b. Memberikan peluang ekonomi bagi masyarakat

desa melalui kegiatan produksi dan pengolahan bahan baku bioenergi.

- c. Meningkatkan nilai tambah hasil hutan dan memperluas diversifikasi produk dari kawasan hutan.

## **5. Risiko yang Harus Diantisipasi**

Jika tidak dikelola dengan hati-hati, peningkatan permintaan biomassa untuk bioenergi dapat memicu:

- a. Konversi hutan alam menjadi hutan tanaman energi, yang berisiko menurunkan keanekaragaman hayati.
- b. Overekstraksi biomassa, yang menyebabkan degradasi tanah dan penurunan kualitas ekosistem.
- c. Konflik lahan antara kepentingan energi, konservasi, dan masyarakat lokal.

Hutan tropis merupakan sumber biomassa yang sangat potensial dalam mendukung pengembangan bioenergi. Namun, pemanfaatan tersebut harus dilakukan dengan memperhatikan aspek kelestarian hutan dan pemberdayaan masyarakat lokal. Dengan pendekatan kehutanan sosial dan prinsip pengelolaan berkelanjutan, bioenergi dari hutan dapat menjadi solusi energi yang ramah lingkungan, adil, dan berkelanjutan.

## **6.2. Pemanfaatan Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK)**

Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) merupakan komponen penting dalam pengelolaan hutan tropis yang berkelanjutan dan inklusif. HHBK meliputi semua

produk hutan selain kayu, seperti daun, buah, biji, getah, damar, rotan, bambu, dan tanaman penghasil minyak atsiri. Di tengah upaya diversifikasi energi dan transisi menuju sumber energi terbarukan, HHBK memiliki potensi besar sebagai sumber bioenergi yang belum tergarap secara optimal.

### **1. Potensi HHBK sebagai Sumber Bioenergi**

HHBK menawarkan keunggulan sebagai sumber biomassa alternatif karena bersifat terbarukan, tersebar luas, dan ramah lingkungan. Beberapa jenis HHBK yang berpotensi besar dalam produksi bioenergi antara lain:

- a. Bambu: Tumbuh cepat, memiliki nilai kalor tinggi, dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku briket atau pelet.
- b. Minyak biji kemiri, nyamplung (*Calophyllum inophyllum*), dan jarak pagar (*Jatropha curcas*): Digunakan sebagai bahan baku biodiesel.
- c. Getah damar dan resin: Memiliki nilai kalor tinggi dan dapat digunakan sebagai biofuel padat atau bahan bakar tambahan.
- d. Buah dan kulit buah hutan (seperti aren, kelapa hutan): Sumber bioetanol melalui proses fermentasi.

Pemanfaatan HHBK ini memberikan kesempatan pengembangan energi berbasis komunitas, karena sebagian besar HHBK dapat dikelola oleh masyarakat sekitar hutan tanpa perlu modal industri besar.

## **2. Manfaat Sosial dan Ekonomi**

Selain sebagai sumber energi alternatif, HHBK juga:

- a. Mendorong kemandirian energi desa, terutama di daerah terpencil yang belum terjangkau listrik PLN.
- b. Menjadi sumber pendapatan tambahan bagi masyarakat adat dan kelompok tani hutan.
- c. Mendukung ekonomi sirkular, karena banyak HHBK dapat dimanfaatkan dari limbah hasil panen atau olahan.

Program pemanfaatan HHBK untuk energi juga sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya dalam pengentasan kemiskinan, energi bersih, dan aksi iklim.

## **3. Tantangan dalam Pemanfaatan HHBK untuk Bioenergi**

Meski berpotensi besar, terdapat sejumlah tantangan:

- a. Keterbatasan teknologi pengolahan skala kecil di tingkat masyarakat.
- b. Kurangnya data potensi HHBK secara kuantitatif dan spasial di tingkat tapak.
- c. Masih minimnya dukungan kebijakan spesifik terhadap HHBK sebagai bahan baku bioenergi.

Maka dibutuhkan kolaborasi lintas sektor antara pemerintah, akademisi, LSM, dan swasta untuk membangun rantai nilai HHBK yang efisien dan berkelanjutan.

#### **4. Studi Kasus**

Beberapa proyek pemanfaatan HHBK untuk bioenergi telah berhasil diterapkan, seperti:

- a. Pengembangan biodiesel dari minyak nyamplung di Nusa Tenggara Timur.
- b. Produksi briket dari limbah bambu di Jawa Barat.
- c. Pemanfaatan aren untuk bioetanol di Sulawesi Selatan.

Keberhasilan ini menunjukkan bahwa HHBK dapat menjadi sumber energi lokal yang dapat diandalkan, dengan pendekatan berbasis masyarakat.

HHBK merupakan aset strategis dalam pengembangan bioenergi, khususnya dalam konteks hutan tropis. Potensinya yang melimpah dan dapat diperbarui membuka peluang besar untuk menciptakan sistem energi desa yang inklusif, berkelanjutan, dan berbasis potensi lokal. Ke depan, penguatan kelembagaan masyarakat hutan dan peningkatan teknologi pengolahan HHBK menjadi kunci keberhasilan pemanfaatan bioenergi dari sumber ini.

#### **6.3. Menjaga Keberlanjutan Hutan dalam Pengembangan Energi**

Pemanfaatan hutan sebagai sumber bioenergi merupakan peluang strategis untuk mendukung transisi energi bersih. Namun, di balik potensi tersebut, terdapat tantangan besar dalam memastikan bahwa eksploitasi sumber daya hutan untuk bioenergi tidak menimbulkan degradasi ekologis maupun konflik sosial. Oleh karena

itu, konsep keberlanjutan harus menjadi fondasi utama dalam pengembangan bioenergi berbasis hutan.

## **1. Prinsip Dasar Keberlanjutan**

Keberlanjutan dalam konteks pengembangan bioenergi dari hutan mencakup tiga aspek utama:

1. Ekologis: Menjaga fungsi dan keanekaragaman hayati hutan.
2. Sosial: Melibatkan dan memberdayakan masyarakat lokal secara adil.
3. Ekonomi: Menciptakan nilai ekonomi yang berkelanjutan tanpa mengorbankan fungsi ekosistem.

Tanpa pengelolaan yang hati-hati, produksi biomassa untuk bioenergi justru berpotensi menjadi pemicu deforestasi, degradasi hutan, dan penurunan daya dukung lingkungan.

## **2. Strategi Menjaga Keberlanjutan**

### **a. Pemanfaatan Hutan Tanaman Energi**

Fokus pemanfaatan harus diarahkan pada hutan tanaman rakyat atau hutan energi yang memang dirancang untuk menghasilkan biomassa. Tanaman seperti sengon, gamal, kaliandra, jabon, dan bambu sangat cocok sebagai sumber energi karena pertumbuhannya cepat dan tidak mengganggu hutan alam.

### **b. Pengelolaan Berbasis Lanskap**

Pendekatan lanskap terintegrasi mendorong keseimbangan antara kawasan lindung, produksi energi, dan wilayah

pemukiman serta pertanian. Pendekatan ini mampu menjaga jasa ekosistem dan mencegah fragmentasi habitat.

c. Pemanfaatan Limbah dan Residu

Menggunakan limbah biomassa dari hasil tebang atau proses industri kehutanan (seperti serbuk gergaji dan kulit kayu) lebih aman secara ekologi daripada menebang pohon baru untuk energi. Ini juga mengurangi limbah dan emisi metana dari dekomposisi alami.

d. Penerapan Sistem Sertifikasi dan Monitoring

Sertifikasi seperti FSC (Forest Stewardship Council) dan sistem pengawasan bioenergi berkelanjutan dapat menjadi instrumen penting untuk memastikan bahwa pemanfaatan hutan untuk energi tetap mengikuti prinsip kelestarian.

e. Pemberdayaan Masyarakat

Masyarakat adat dan lokal adalah penjaga utama hutan. Melibatkan mereka dalam rantai pasok bioenergi mulai dari penanaman, pemanenan, hingga pengolahan mendorong rasa kepemilikan dan menjamin keberlanjutan sosial proyek energi.

### **3. Risiko Jika Tidak Dikelola dengan Baik**

Tanpa pendekatan keberlanjutan, pengembangan bioenergi dari hutan bisa:

- a. Menyebabkan konversi hutan alam ke lahan tanaman energi.

- b. Mengancam spesies endemik dan keanekaragaman hayati.
- c. Memicu konflik agraria dan ketimpangan akses terhadap sumber daya.
- d. Menurunkan kapasitas hutan dalam menyerap karbon, bertolak belakang dengan tujuan mitigasi iklim.

#### **4. Peran Kebijakan dan Ilmu Pengetahuan**

Pemerintah dan institusi ilmiah perlu menyediakan:

- a. Kerangka regulasi yang mendorong pengelolaan hutan lestari dalam konteks energi.
- b. Data potensi dan batas daya dukung hutan yang dapat digunakan sebagai acuan pengambilan keputusan.
- c. Inovasi teknologi untuk pemanenan dan pengolahan biomassa secara efisien dan ramah lingkungan.

Keberhasilan bioenergi hutan tropis sangat bergantung pada penerapan prinsip keberlanjutan yang ketat. Dengan memadukan pengelolaan hutan yang bertanggung jawab, teknologi tepat guna, dan pemberdayaan masyarakat lokal, bioenergi dari hutan tidak hanya menjadi sumber energi alternatif, tetapi juga menjadi alat konservasi dan pembangunan berkelanjutan.

## **BAB 7**

### **BIOENERGI DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI**

#### **7.1. Contoh Penggunaan Bioenergi di Rumah dan Desa**

Bioenergi tidak hanya menjadi solusi dalam skala industri atau nasional, tetapi juga telah banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, terutama di tingkat rumah tangga dan komunitas pedesaan. Penggunaan bioenergi skala kecil ini menjadi sangat relevan bagi daerah-daerah yang belum sepenuhnya terjangkau oleh jaringan listrik nasional atau yang ingin beralih dari bahan bakar fosil ke sumber energi terbarukan.

##### **1. Kompor Biomassa dan Briket**

Salah satu bentuk bioenergi paling umum di rumah tangga adalah penggunaan kompor biomassa, yang memanfaatkan bahan seperti:

- a. Briket arang dari tempurung kelapa, sekam padi, atau limbah pertanian.
- b. Pelet kayu atau bambu yang dibakar dalam kompor bertekanan rendah.

Teknologi ini hemat biaya, mudah digunakan, dan dapat dibuat secara lokal oleh kelompok masyarakat. Selain ramah lingkungan, kompor biomassa menghasilkan asap lebih sedikit dibandingkan kayu bakar tradisional, sehingga lebih aman bagi kesehatan.



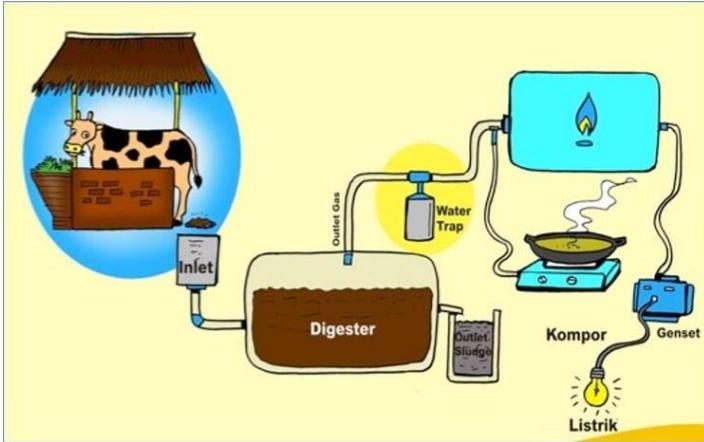
Gambar 3 Contoh Gambar Kompos Biomassa

## 2. Biogas Rumah Tangga

Biogas skala rumah tangga dibuat dari limbah organik seperti kotoran ternak dan sisa dapur yang difermentasi dalam digester anaerobik. Gas metana yang dihasilkan dapat digunakan untuk:

- a) Memasak.
- b) Menyalakan lampu gas sederhana.
- c) Mengoperasikan genset kecil.

Sisa dari proses fermentasi (slurry) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik, menutup siklus limbah dan menambah nilai ekonomi.



Gambar 4 Diagram Sistem Biogas Rumah Tangga dari Kotoran Sapi

### 3. Penerangan Berbasis Bioenergi

Di beberapa daerah pedesaan, bioenergi digunakan sebagai sumber penerangan alternatif, terutama melalui:

- a. Genset berbahan biodiesel dari minyak jelantah, minyak jarak, atau nyamplung.
- b. Lentera biogas yang menggunakan gas metana dari limbah organik.

Ini sangat bermanfaat bagi desa terpencil yang tidak terjangkau jaringan PLN atau saat terjadi pemadaman listrik.

### 4. Pemanas Air dan Ruang

Di daerah dataran tinggi, masyarakat menggunakan kompor pelet atau tungku biomassa untuk memanaskan air dan ruangan. Teknologi ini menggantikan pemanas listrik atau LPG yang lebih mahal dan berisiko terhadap lingkungan.

## 5. Unit Bioenergi Komunal

Beberapa desa mengembangkan sistem bioenergi komunal yang mengelola limbah pertanian dan peternakan secara kolektif. Contohnya:

- a. Instalasi biogas desa dengan kapasitas menengah.
- b. Produksi briket dari jerami dan serbuk gergaji yang dikoordinasikan oleh kelompok tani atau BUMDes.

Sistem ini selain menyuplai energi, juga memperkuat ekonomi lokal melalui penciptaan lapangan kerja baru.

## 6. Aplikasi pada Usaha Mikro

Usaha kecil seperti warung makan, usaha gorengan, dan industri rumah tangga banyak memanfaatkan:

- a. Kompor briket sebagai pengganti LPG.
- b. Biogas untuk kebutuhan dapur.
- c. Biodiesel sederhana untuk menjalankan mesin giling atau pompa air.

Penggunaan bioenergi ini membantu mengurangi biaya operasional dan memperkuat ketahanan energi sektor informal.

## 7. Edukasi dan Demonstrasi Teknologi

Beberapa sekolah dan pesantren kini mulai mengadopsi sistem bioenergi edukatif:

- a. Kompor biomassa untuk praktik IPA.
- b. Instalasi biogas mini sebagai bagian dari kurikulum lingkungan hidup.

Langkah ini penting untuk membangun kesadaran generasi muda tentang pentingnya energi terbarukan. Penggunaan bioenergi di rumah dan desa mencerminkan bagaimana energi bersih dapat diakses secara langsung dan praktis oleh masyarakat. Melalui pendekatan berbasis lokal, bioenergi tidak hanya menyediakan energi, tetapi juga mendorong kemandirian, mengurangi limbah, dan meningkatkan kualitas hidup. Dengan dukungan pelatihan, teknologi tepat guna, dan kebijakan yang memadai, potensi bioenergi dalam kehidupan sehari-hari dapat diperluas secara signifikan di seluruh pelosok Indonesia.

## **7.2. Energi Alternatif untuk Dapur, Penerangan, dan Pengeringan**

Bioenergi telah menjadi solusi energi alternatif yang praktis dan aplikatif untuk berbagai kebutuhan rumah tangga dan desa, khususnya dalam tiga sektor penting: dapur, penerangan, dan pengeringan. Ketiga fungsi ini sangat vital dalam kehidupan sehari-hari dan kerap menjadi tantangan tersendiri, terutama di daerah terpencil atau wilayah yang belum sepenuhnya dijangkau oleh infrastruktur energi konvensional seperti listrik atau gas LPG.

### **1. Energi Alternatif untuk Dapur: Kompor Biomassa dan Biogas**

Sektor dapur merupakan tempat konsumsi energi terbesar di tingkat rumah tangga. Dalam konteks ini, kompor biomassa dan biogas menjadi alternatif yang efisien, murah, dan ramah lingkungan:

- a. Kompor briket dan pelet: Menggunakan bahan seperti serbuk gergaji, sekam padi, atau tempurung kelapa, kompor ini mampu menghasilkan panas stabil untuk memasak. Teknologi pembakarannya dirancang agar menghasilkan emisi minimal, cocok untuk rumah tangga dan usaha kuliner skala kecil.



Gambar 5 Biobriket untuk Bahan Bakar

- b. Kompor biogas: Menggunakan metana dari hasil fermentasi limbah organik atau kotoran ternak, kompor ini telah banyak diterapkan di desa-desa berbasis pertanian dan peternakan. Selain bebas asap, biogas juga mengurangi ketergantungan terhadap gas LPG yang mahal dan terbatas distribusinya di pelosok.
- 2. Energi Alternatif untuk Penerangan: Lentera Biogas dan Genset Biodiesel**

Penerangan menjadi aspek penting untuk kegiatan malam hari, terutama di daerah yang belum dialiri listrik atau sering mengalami pemadaman. Alternatif bioenergi di sektor ini mencakup:

- a. Lentera biogas: Menggunakan tekanan rendah gas metana yang dihasilkan dari digester skala kecil, lentera ini mampu menerangi ruangan selama beberapa jam dengan biaya hampir nol.
- b. Genset biodiesel skala kecil: Menggunakan bahan bakar dari minyak jarak, nyamplung, atau limbah minyak goreng, genset ini mampu mengaliri beberapa rumah dengan lampu LED dan peralatan elektronik ringan.

Selain murah, sistem ini memperkuat kemandirian energi desa, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan memperkecil jejak karbon.

### **3. Energi Alternatif untuk Pengeringan: Tungku dan Dryer Biomassa**

Di sektor pertanian dan industri rumah tangga, pengeringan merupakan proses penting dalam penanganan hasil panen maupun produksi makanan. Teknologi berbasis bioenergi telah banyak digunakan dalam:

- a. Tungku pengering biomassa: Menggunakan kayu bakar atau briket untuk menghasilkan panas dalam ruang pengering, cocok untuk mengeringkan hasil pertanian seperti jagung, kopi, kakao, dan rempah-rempah.
- b. Solar-biomass hybrid dryer: Kombinasi sinar matahari dan panas dari pembakaran biomassa, teknologi ini meningkatkan efisiensi pengeringan dan menjaga kualitas hasil pertanian.

Teknologi ini sangat cocok diterapkan di desa-desa pertanian dan kehutanan karena memanfaatkan sumber daya lokal, efisien, dan mudah dirawat.

#### **4. Manfaat Sosial dan Lingkungan**

Pemanfaatan energi alternatif berbasis bioenergi tidak hanya meningkatkan akses energi, tetapi juga memberikan manfaat nyata seperti:

- a. Peningkatan kesehatan: Mengurangi paparan asap dari pembakaran terbuka.
- b. Pengurangan limbah organik: Limbah rumah tangga dan pertanian diolah menjadi energi.
- c. Peningkatan ekonomi: Mengurangi pengeluaran energi rumah tangga dan menciptakan usaha baru dalam produksi energi.

Energi alternatif berbasis bioenergi memberikan jawaban konkret terhadap tantangan energi dapur, penerangan, dan pengeringan, terutama di daerah terpencil dan masyarakat berpenghasilan rendah. Dengan pendekatan yang inklusif dan berbasis teknologi tepat guna, bioenergi mampu menjembatani ketimpangan energi sambil menjaga lingkungan dan memberdayakan masyarakat lokal.

#### **7.3. Studi Kasus: Pemanfaatan Biogas dan Briket di Masyarakat**

Penggunaan bioenergi dalam bentuk biogas dan briket telah terbukti berhasil meningkatkan kualitas hidup masyarakat di berbagai daerah di Indonesia. Studi kasus berikut menggambarkan bagaimana energi alternatif berbasis sumber daya lokal dapat

dimanfaatkan secara efektif, efisien, dan berkelanjutan.

### **1. Studi Kasus Biogas - Usaha Dangke di Kabupaten Enrekang, Sulawesi Selatan**

Kabupaten Enrekang dikenal sebagai sentra produksi dangke, olahan susu sapi tradisional yang menjadi ikon pangan lokal. Produksi dangke secara besar-besaran menghasilkan limbah utama berupa kotoran sapi, yang sebelumnya menimbulkan pencemaran dan bau tak sedap di sekitar lokasi peternakan. Kini, sebagian pelaku usaha dangke di Enrekang mulai memanfaatkan limbah tersebut sebagai sumber biogas.

#### **Penerapan Teknologi:**

- a. Kotoran sapi dikumpulkan dari lokasi peternakan di sekitar rumah tangga produsen dangke.
- b. Digester biogas skala rumah tangga dipasang oleh inisiatif warga, didampingi oleh dinas terkait dan lembaga mitra.
- c. Gas metana yang dihasilkan dimanfaatkan untuk memasak dangke dan kebutuhan dapur lainnya.

#### **Dampak dan Manfaat:**

- a. Mengurangi biaya produksi usaha dangke hingga 30% karena berkurangnya kebutuhan LPG.
- b. Lingkungan lebih bersih karena limbah tidak dibiarkan menumpuk.
- c. Slurry hasil fermentasi dijadikan pupuk untuk pakan hijauan dan kebun sayur.
- d. Meningkatkan kesadaran pelaku UMKM tentang pentingnya pengelolaan limbah berkelanjutan.

Penerapan biogas di sektor usaha pangan lokal seperti dangke menunjukkan bahwa energi alternatif dapat mendukung ketahanan ekonomi rumah tangga, industri mikro, dan pengelolaan lingkungan secara bersamaan. Dalam konteks daerah pedesaan seperti Enrekang, hal ini menjadi contoh nyata bagaimana teknologi tepat guna dapat diadopsi sesuai kearifan lokal

## **2. Studi Kasus Biogas - Desa Cibuntu, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat**

Desa Cibuntu merupakan salah satu contoh keberhasilan pemanfaatan biogas dari limbah peternakan sapi. Mayoritas masyarakat di desa ini berprofesi sebagai peternak. Kotoran sapi yang semula menjadi limbah mencemari lingkungan, kini dimanfaatkan menjadi sumber energi melalui teknologi biogas rumah tangga.

### **Penerapan Teknologi:**

- a. Instalasi digester anaerobik sederhana dibangun di belakang rumah warga.
- b. Biogas dialirkan langsung ke dapur untuk memasak.
- c. Sisa lumpur (slurry) dari proses fermentasi digunakan sebagai pupuk organik.

### **Dampak Positif:**

- a. Menghemat biaya energi rumah tangga hingga 50-70%.
- b. Meningkatkan kebersihan lingkungan sekitar kandang.
- c. Mengurangi emisi metana dari kotoran sapi.
- d. Memperkuat ekonomi keluarga melalui

pengurangan pengeluaran dan penjualan pupuk cair organik.

### **3. Studi Kasus Briket - Dusun Tempursari, Yogyakarta**

Di Dusun Tempursari, penggunaan briket arang dari limbah pertanian dan rumah tangga telah menjadi bagian dari pengelolaan sampah terpadu.

Masyarakat menghadapi kesulitan mendapatkan LPG dan tergantung pada kayu bakar. Di sisi lain, tersedia melimpah bahan baku seperti:

- a. Serbuk gergaji.
- b. Sekam padi.
- c. Tempurung kelapa.
- d. Kertas bekas.

#### **Inisiatif Warga:**

Melalui pelatihan yang diselenggarakan oleh LSM lingkungan, masyarakat mulai memproduksi briket secara mandiri dengan alat press sederhana.

#### **Manfaat yang Dirasakan:**

- a. Warga memiliki sumber bahan bakar alternatif yang murah dan bersih.
- b. Menurunkan kebutuhan terhadap kayu bakar dari hutan.
- c. Memberi penghasilan tambahan melalui penjualan briket ke desa tetangga.

### **4. Faktor Pendukung Keberhasilan**

Beberapa hal yang mendorong keberhasilan kedua studi kasus tersebut antara lain:

- a. Ketersediaan bahan baku lokal yang berlimpah.

- b. Dukungan pelatihan dari pemerintah, perguruan tinggi, atau LSM.
- c. Teknologi yang sederhana dan mudah dioperasikan masyarakat.
- d. Kesadaran akan manfaat ekonomi dan lingkungan dari penggunaan energi bersih.

## **5. Pembelajaran Penting**

- a. Pemanfaatan biogas cocok diterapkan di wilayah dengan kegiatan peternakan.
- b. Briket lebih fleksibel dan bisa dibuat dari berbagai jenis limbah biomassa.
- c. Program bioenergi menjadi efektif jika diintegrasikan dengan edukasi, pemberdayaan masyarakat, dan dukungan kelembagaan seperti BUMDes.

Studi-studi kasus ini membuktikan bahwa bioenergi bukan hanya solusi teknologi, melainkan juga instrumen transformasi sosial dan ekonomi di tingkat lokal. Ketika masyarakat diberi akses terhadap pengetahuan, alat, dan dukungan yang tepat, energi alternatif seperti biogas dan briket dapat menjadi jalan menuju kemandirian energi, lingkungan yang lebih bersih, dan kehidupan yang lebih berkualitas.

## **BAB 8**

### **TANTANGAN DAN SOLUSI PENGEMBANGAN BIOENERGI**

#### **8.1. Hambatan Teknologi dan Pembiayaan**

Pengembangan bioenergi sebagai salah satu bentuk energi terbarukan masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam aspek teknologi dan pembiayaan. Meski potensinya besar, adopsi bioenergi di tingkat masyarakat, industri kecil, maupun skala nasional belum optimal karena kendala struktural dan operasional berikut ini:

##### **1. Hambatan Teknologi**

a. Akses terhadap teknologi tepat guna

Banyak wilayah di Indonesia, khususnya daerah pedesaan dan terpencil, belum memiliki akses terhadap teknologi bioenergi yang efisien, tahan lama, dan mudah dioperasikan. Keterbatasan dalam distribusi alat seperti digester biogas, alat pencetak briket, dan kompor biomassa menjadi hambatan utama.

b. Keterbatasan kapasitas teknis masyarakat

Sebagian besar masyarakat belum memahami cara merakit, mengoperasikan, dan merawat alat bioenergi. Hal ini menyebabkan banyak teknologi yang mangkrak atau rusak karena kesalahan pemakaian.

c. Ketergantungan pada bahan baku tertentu

Beberapa sistem bioenergi hanya efektif jika tersedia jenis biomassa tertentu dalam

jumlah stabil. Misalnya, digester biogas yang hanya optimal dengan kotoran sapi segar dalam jumlah besar, atau mesin briket yang membutuhkan serbuk kering berkualitas.

d. Kurangnya inovasi lokal

Sebagian besar teknologi bioenergi yang digunakan masih bersifat adopsi dari luar atau hasil proyek pemerintah/LSM. Inovasi berbasis kearifan lokal dan pengembangan oleh pelaku UMKM masih terbatas.

## 2. Hambatan Pembiayaan

a. Tingginya biaya awal (upfront cost)

Walau biaya operasional bioenergi rendah, biaya instalasi awal bisa cukup tinggi. Misalnya, satu unit digester biogas rumah tangga dapat menelan biaya jutaan rupiah, yang sulit dijangkau oleh keluarga petani atau pelaku UMKM tanpa bantuan.

b. Minimnya skema pembiayaan ramah rakyat

Akses terhadap skema kredit lunak, hibah, atau subsidi untuk teknologi energi terbarukan masih minim, terutama dari sektor perbankan konvensional yang cenderung tidak memahami risiko dan nilai tambah proyek bioenergi.

c. Kurangnya insentif dari pemerintah daerah

Beberapa pemerintah daerah belum memiliki kebijakan yang berpihak pada pengembangan bioenergi berbasis masyarakat,

termasuk insentif fiskal, pengadaan alat, atau pelatihan teknis.

d. Kesulitan dalam monetisasi output energi

Di beberapa kasus, masyarakat yang memproduksi bioenergi (seperti listrik dari biogas atau biooil) kesulitan menjual atau memonetisasi hasilnya karena belum terintegrasi dengan sistem energi nasional (off-grid).

### 3. Solusi Potensial

Untuk mengatasi hambatan teknologi dan pembiayaan, berikut beberapa strategi yang dapat diterapkan:

- a. Pendidikan dan pelatihan teknis berkelanjutan, terutama untuk kelompok petani, peternak, dan UMKM.
- b. Pengembangan teknologi lokal yang murah, modular, dan berbasis bahan baku setempat.
- c. Kolaborasi dengan universitas dan politeknik untuk riset dan rancang bangun teknologi skala desa.
- d. Skema pembiayaan inovatif, seperti kredit mikro hijau, dana bergulir desa, dan CSR sektor energi.
- e. Insentif fiskal dan regulasi pendukung dari pemerintah daerah dan pusat, termasuk integrasi bioenergi dalam perencanaan energi daerah (RUED).

Tantangan dalam pengembangan bioenergi tidak bisa dipandang sebagai hambatan mutlak, melainkan sebagai peluang transformasi sistem energi berbasis

komunitas. Dengan sinergi antar pemangku kepentingan – pemerintah, akademisi, swasta, dan masyarakat – bioenergi dapat menjadi salah satu pilar utama transisi menuju energi bersih dan berkeadilan di Indonesia.

## **8.2. Kurangnya Pemahaman Masyarakat**

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan bioenergi di Indonesia adalah minimnya pemahaman masyarakat mengenai konsep, manfaat, serta cara penggunaan teknologi bioenergi secara tepat. Kesenjangan informasi ini berdampak langsung terhadap tingkat adopsi, keberlanjutan, dan keberhasilan program bioenergi di tingkat lokal.

### **1. Bioenergi Masih Dianggap Rumit atau Tidak Praktis**

Banyak masyarakat, terutama di daerah pedesaan, menganggap bahwa teknologi bioenergi seperti digester biogas, pembuatan briket, atau kompor biomassa adalah sesuatu yang rumit, mahal, dan sulit diterapkan tanpa bantuan dari luar. Kurangnya sosialisasi secara langsung menyebabkan pemahaman masyarakat masih terbatas pada permukaan – sebatas melihat bioenergi sebagai proyek, bukan solusi jangka panjang.

### **2. Rendahnya Akses Informasi dan Edukasi**

Sebagian besar materi atau informasi tentang bioenergi hanya tersedia melalui media akademik atau proyek-proyek donor, dan tidak disederhanakan dalam bentuk bahasa lokal atau praktik sehari-hari. Kurangnya literatur populer, infografis, pelatihan praktis, atau

pendampingan berbasis masyarakat menyebabkan potensi bioenergi sulit dipahami oleh khalayak luas.

### **3. Kurangnya Teladan Praktik Lapangan**

Masyarakat cenderung mengikuti praktik yang sudah terbukti berhasil di sekitarnya. Namun, karena hanya sedikit contoh nyata pemanfaatan bioenergi yang bertahan dalam jangka panjang, masyarakat belum melihat bioenergi sebagai solusi nyata dan layak dicontoh. Ketika pilot project selesai dan tidak ada pendampingan lanjutan, program bioenergi seringkali tidak berlanjut.

### **4. Hambatan Sosial dan Budaya**

Dalam beberapa komunitas, muncul penolakan terhadap penggunaan energi dari limbah (seperti kotoran hewan) karena dianggap kotor, tidak sesuai norma, atau tabu. Selain itu, ada kekhawatiran bahwa bioenergi akan mengubah cara hidup tradisional atau menambah beban kerja rumah tangga.

### **5. Bioenergi Belum Dianggap Prioritas**

Sebagian masyarakat masih menganggap bahwa sumber energi seperti LPG, kayu bakar, atau listrik dari PLN adalah satu-satunya opsi yang wajar dan aman. Bioenergi belum menjadi prioritas karena mereka belum memahami nilai ekonomis, lingkungan, dan kesehatan jangka panjangnya. Ketiadaan insentif atau dorongan ekonomi juga membuat bioenergi kurang menarik.

### **6. Solusi untuk Meningkatkan Pemahaman**

Beberapa langkah yang dapat ditempuh untuk mengatasi tantangan ini:

- a. Edukasi publik melalui pendekatan lokal, seperti pelatihan berbasis desa, penyuluhan lapangan, dan media komunikasi sederhana (video, poster, simulasi alat).
- b. Integrasi kurikulum bioenergi di sekolah dan madrasah berbasis lingkungan.
- c. Pemberdayaan tokoh masyarakat dan kelompok tani sebagai agen perubahan untuk bioenergi.
- d. Pembuatan rumah contoh bioenergi (bioenergy demo house) di setiap desa atau kecamatan sebagai pusat pembelajaran.
- e. Penerapan program insentif sosial, seperti lomba desa energi bersih atau insentif tarif listrik dari bioenergi.

Masyarakat adalah kunci utama dalam keberhasilan bioenergi. Tanpa pemahaman yang utuh, partisipatif, dan kontekstual, teknologi bioenergi hanya akan menjadi alat tanpa nyawa. Oleh karena itu, meningkatkan pemahaman masyarakat harus menjadi fokus utama dalam setiap strategi pengembangan bioenergi yang berkelanjutan dan inklusif.

### **8.3. Solusi Berbasis Edukasi, Pelatihan, dan Pendampingan**

Pengembangan bioenergi yang berkelanjutan tidak cukup hanya mengandalkan teknologi dan dana, tetapi memerlukan edukasi, pelatihan, dan pendampingan yang berkelanjutan. Ketiga aspek ini merupakan kunci untuk meningkatkan pemahaman, keterampilan, dan keterlibatan aktif masyarakat dalam

menerapkan dan menjaga sistem bioenergi secara mandiri.

### **1. Edukasi Bioenergi Sejak Dini**

Pendidikan formal dan nonformal dapat menjadi sarana penting untuk menanamkan pemahaman tentang energi terbarukan, termasuk bioenergi:

- a. Integrasi dalam kurikulum sekolah di jenjang dasar hingga menengah, misalnya dalam mata pelajaran IPA atau Prakarya.
- b. Kampanye kesadaran energi melalui program ekstrakurikuler atau kegiatan lingkungan hidup seperti Adiwiyata.
- c. Penerbitan bahan edukasi populer, seperti komik, infografis, video singkat, dan modul sederhana dalam bahasa lokal.

Dengan edukasi yang kontekstual dan menarik, generasi muda dapat tumbuh dengan kesadaran tinggi terhadap pentingnya energi bersih.

### **2. Pelatihan Praktis Berbasis Komunitas**

Pelatihan teknis merupakan langkah lanjutan dari edukasi. Pelatihan sebaiknya dirancang secara praktis, berbasis kebutuhan lokal, dan menysasar berbagai kalangan:

- a. Pelatihan bagi petani dan peternak, seperti cara membuat dan mengelola digester biogas, produksi briket dari limbah pertanian, atau pengolahan minyak nabati untuk biodiesel skala kecil.
- b. Pelatihan untuk pelaku UMKM dan ibu rumah

tangga, yang fokus pada pemanfaatan energi untuk keperluan produksi, dapur sehat, dan pengeringan hasil pertanian.

- c. Pelatihan untuk teknisi lokal dan pemuda desa, agar mereka menjadi operator atau teknisi yang mampu merakit dan memperbaiki peralatan bioenergi.

Program pelatihan dapat difasilitasi oleh perguruan tinggi, LSM, pemerintah daerah, atau kerja sama internasional.

### **3. Pendampingan Berkelanjutan**

Banyak teknologi bioenergi gagal berfungsi dalam jangka panjang karena tidak ada sistem pendampingan setelah pemasangan awal. Oleh karena itu, pendampingan jangka menengah dan panjang sangat krusial:

- a. Fasilitator desa energi terbarukan bisa dibentuk untuk menjadi ujung tombak teknis dan sosial dalam program bioenergi.
- b. Monitoring dan evaluasi berkala perlu dilakukan untuk memetakan tantangan yang muncul dan memberikan solusi tepat waktu.
- c. Pembangunan pusat layanan bioenergi lokal untuk penyediaan suku cadang, perawatan alat, dan konsultasi.

Pendampingan juga harus bersifat partisipatif, memberdayakan masyarakat sebagai pelaku utama, bukan hanya sebagai penerima bantuan.

#### **4. Kolaborasi Multipihak**

Edukasi, pelatihan, dan pendampingan memerlukan dukungan dari berbagai pemangku kepentingan:

- a. Pemerintah daerah menyediakan regulasi, anggaran, dan kebijakan insentif.
- b. Perguruan tinggi dan lembaga riset menjadi penyedia teknologi dan pelatih.
- c. LSM dan komunitas lokal sebagai jembatan antara teknologi dan masyarakat.
- d. Swasta dan BUMN melalui program tanggung jawab sosial (CSR) dalam membangun infrastruktur dan membiayai pelatihan.

Bioenergi bukan hanya tentang inovasi teknologi, tetapi juga inovasi sosial dan pendidikan. Edukasi yang tepat, pelatihan yang praktis, dan pendampingan yang berkelanjutan akan menciptakan masyarakat yang siap, mampu, dan mandiri dalam memanfaatkan bioenergi. Dengan demikian, transformasi menuju energi hijau dapat terwujud secara inklusif dan berkeadilan.

## **BAB 9**

### **BIOENERGI DAN PEMBERDAYAAN MASYARAKAT**

#### **9.1. Bioenergi sebagai Peluang Usaha Desa**

Pemanfaatan bioenergi tidak hanya memberikan solusi terhadap tantangan energi dan lingkungan, tetapi juga membuka peluang ekonomi baru di tingkat desa. Dengan pendekatan berbasis komunitas, teknologi bioenergi dapat diubah menjadi sumber usaha produktif yang memperkuat kemandirian desa, menciptakan lapangan kerja lokal, dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

##### **1. Bioenergi sebagai Unit Usaha Energi Terbarukan**

Desa dapat membentuk BUMDes (Badan Usaha Milik Desa) atau kelompok usaha bersama yang mengelola sistem bioenergi, seperti:

- a. Produksi dan penjualan briket dari limbah pertanian dan rumah tangga.
- b. Pengelolaan instalasi biogas komunal, yang melayani rumah tangga pengguna dengan sistem langganan atau kontribusi tetap.
- c. Usaha produksi pelet atau arang aktif dari bambu atau limbah kayu sebagai bahan bakar alternatif skala mikro.

Unit usaha ini berpotensi menjadi pendapatan desa sekaligus menyerap tenaga kerja lokal.

##### **2. Integrasi dengan Sektor Pertanian dan Peternakan**

Petani dan peternak dapat mengembangkan

model usaha terpadu, di mana bioenergi menjadi bagian dari sistem ekonomi sirkular:

- a. Biogas dari kotoran ternak digunakan untuk memasak atau penerangan kandang, sementara residunya (slurry) dimanfaatkan sebagai pupuk organik.
- b. Briket dari limbah pertanian dijual atau digunakan untuk pengering hasil panen.
- c. Bioetanol dari limbah singkong atau jagung diolah untuk keperluan energi lokal atau dijual sebagai bahan bakar rumah tangga.

Integrasi ini memperkuat efisiensi ekonomi rumah tangga dan menurunkan biaya produksi sektor primer.

### **3. Wirausaha Muda Energi Desa**

Bioenergi juga membuka peluang bagi generasi muda desa untuk menjadi agen perubahan. Dengan pelatihan dan akses pada teknologi, pemuda dapat:

- a. Merakit dan menjual kompor biomassa, briket, atau digester skala kecil.
- b. Menjadi teknisi instalasi bioenergi atau pendamping komunitas energi.
- c. Membangun startup berbasis bioenergi yang fokus pada distribusi, edukasi, atau inovasi alat.

Dengan dukungan pelatihan dan modal awal, bioenergi dapat menjadi bidang wirausaha yang relevan dengan konteks lokal dan global.

#### **4. Potensi Bioenergi dalam Program Desa Mandiri Energi**

Program seperti Desa Mandiri Energi dan Desa Berbasis Ekonomi Sirkular yang dicanangkan pemerintah dapat menjadikan bioenergi sebagai pilar utamanya. Desa dapat didorong untuk:

- a. Melakukan pemetaan potensi biomassa lokal.
- b. Mendirikan rumah produksi energi alternatif.
- c. Menerapkan insentif pajak atau subsidi lokal untuk rumah tangga pengguna energi terbarukan.

Keterlibatan aktif pemerintah desa dan komunitas akan mempercepat akselerasi usaha bioenergi.

#### **5. Tantangan dan Mitigasinya**

Meski menjanjikan, usaha berbasis bioenergi masih menghadapi tantangan seperti:

- a. Akses permodalan terbatas.
- b. Kurangnya pelatihan bisnis dan manajemen.
- c. Ketergantungan pada proyek luar.

Solusinya adalah penguatan kelembagaan lokal, kemitraan multipihak, dan akses pembiayaan mikro energi melalui BUMDes, koperasi, atau lembaga keuangan syariah dan konvensional.

Dengan pendekatan pemberdayaan, bioenergi bukan hanya tentang teknologi, tapi juga tentang menciptakan nilai ekonomi lokal. Desa yang mengelola sumber daya bioenergi secara mandiri akan tumbuh menjadi komunitas yang tangguh secara energi, lingkungan, dan ekonomi. Transformasi ini sangat

sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya poin 7 (Energi Bersih dan Terjangkau) dan poin 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi).

## **9.2. Peningkatan Ekonomi dari Energi Mandiri**

Energi mandiri yang bersumber dari bioenergi membuka jalan bagi kemandirian ekonomi desa dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Dengan mengelola energi secara lokal, desa tidak hanya mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan jaringan luar, tetapi juga menciptakan nilai ekonomi baru melalui efisiensi, produksi lokal, dan sirkulasi dana di tingkat komunitas.

### **1. Pengurangan Biaya Energi Rumah Tangga dan Produksi**

Salah satu dampak langsung dari energi mandiri adalah turunnya pengeluaran untuk bahan bakar:

- a. Rumah tangga yang menggunakan biogas dari kotoran ternak atau kompor biomassa menghemat biaya gas LPG atau minyak tanah.
- b. Usaha kecil seperti pengeringan kopi, kakao, atau hasil kebun bisa menggunakan briket atau pelet dari biomassa lokal, yang jauh lebih murah dan stabil dari sisi harga.
- c. Hal ini meningkatkan margin usaha kecil dan memperkuat ketahanan ekonomi keluarga.

### **2. Nilai Tambah dari Produk Turunan Bioenergi**

Proses bioenergi seperti biogas, fermentasi, atau pembakaran biomassa dapat menghasilkan produk

ikutan bernilai:

- a. Slurry dari biogas dimanfaatkan sebagai pupuk cair atau padat, yang dapat dijual atau digunakan untuk meningkatkan hasil pertanian.
- b. Abu hasil pembakaran biomassa berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk abu atau bahan tambahan media tanam.
- c. Arang aktif dari bambu atau limbah kayu bernilai tinggi dan memiliki pasar yang luas, termasuk untuk kosmetik dan kesehatan.

Dengan memaksimalkan produk samping, ekonomi desa bisa tumbuh lebih beragam dan tidak hanya bergantung pada satu komoditas.

### **3. Perputaran Ekonomi Lokal yang Lebih Besar**

Energi mandiri berbasis bioenergi mendorong perputaran ekonomi di dalam desa, karena:

- a. Dana yang sebelumnya digunakan untuk membeli energi dari luar kini beredar secara lokal.
- b. Munculnya jasa baru, seperti teknisi alat, pembuat briket, operator digester, atau distributor bahan bakar alternatif.
- c. Keuntungan dari penjualan produk energi dapat digunakan untuk kegiatan sosial desa, seperti pendidikan, kesehatan, atau infrastruktur.

Hal ini memperkuat konsep ekonomi sirkular lokal, yang berkontribusi pada pembangunan ekonomi yang lebih inklusif.

#### **4. Daya Tarik Investasi Hijau di Tingkat Desa**

Desa dengan program energi mandiri memiliki daya tarik bagi mitra dan investor, terutama yang bergerak di bidang energi terbarukan dan pembangunan berkelanjutan:

- a. Lembaga donor dan CSR perusahaan cenderung memilih desa dengan potensi energi bersih.
- b. Model energi desa dapat dikembangkan menjadi proyek carbon offset atau carbon credit, yang memberi tambahan pendapatan bagi desa.
- c. Investasi alat atau infrastruktur dapat dilakukan melalui model kolaborasi, seperti sewa alat, bagi hasil energi, atau kemitraan usaha.

#### **5. Mendorong Diversifikasi Ekonomi Desa**

Dengan sumber energi yang terjangkau dan stabil, desa dapat memperluas jenis usahanya:

- a. Industri rumah tangga seperti pengolahan hasil pertanian, konveksi, atau kerajinan bambu bisa lebih efisien karena tidak lagi terbebani oleh mahalnnya energi.
- b. Agrowisata berbasis energi hijau, misalnya wisata edukasi biogas, demoplot HHBK, atau wisata konservasi, dapat berkembang sebagai sumber pendapatan tambahan.
- c. Usaha pertanian terintegrasi dengan bioenergi menciptakan sistem yang efisien, rendah emisi, dan ramah lingkungan.

Energi mandiri berbasis bioenergi bukan hanya soal keberlanjutan lingkungan, tetapi juga menjadi

pendorong penting dalam pembangunan ekonomi lokal yang berkelanjutan. Ketika desa mampu memproduksi, mengelola, dan memanfaatkan energinya sendiri, maka desa tersebut akan memiliki kontrol atas masa depan ekonominya sendiri. Ini adalah fondasi nyata menuju desa mandiri, berdaulat energi, dan sejahtera.

### **9.3. Peran Perempuan, Pemuda, dan Koperasi Lokal dalam Inisiatif Bioenergi**

Pengembangan bioenergi tidak hanya menjadi urusan teknis atau lingkungan semata, melainkan juga merupakan agenda sosial dan pemberdayaan. Dalam konteks desa, perempuan, pemuda, dan koperasi lokal memegang peranan vital dalam memastikan keberlanjutan, adopsi, dan manfaat ekonomi dari inisiatif bioenergi.

#### **1. Perempuan sebagai Agen Energi Rumah Tangga**

Perempuan, terutama ibu rumah tangga, adalah pengguna utama energi di rumah tangga, khususnya untuk:

- a. Memasak, memanaskan air, dan mengelola kebutuhan domestik lainnya.
- b. Mengelola limbah dapur dan ternak, yang merupakan bahan baku utama bioenergi seperti biogas dan briket.

Ketika perempuan dilibatkan secara aktif dalam pelatihan dan pengelolaan energi terbarukan:

- a. Mereka dapat menjadi pelatih lokal, operator alat, atau wirausahawan briket/pelet.
- b. Peran ini memperkuat posisi perempuan sebagai

pelaku ekonomi, bukan sekadar penerima manfaat energi.

Program bioenergi yang menyertakan perempuan terbukti lebih **berkelanjutan**, karena mereka cenderung menjaga, merawat, dan memanfaatkan teknologi dengan konsisten.

## **2. Pemuda sebagai Inovator dan Penggerak Teknologi**

Pemuda memiliki potensi besar dalam pengembangan dan adopsi bioenergi:

- a. Mereka lebih mudah beradaptasi dengan teknologi, merakit alat, dan mengembangkan aplikasi digital untuk monitoring atau pelaporan penggunaan energi.
- b. Pemuda juga dapat menjadi wirausaha energi lokal, seperti penyedia jasa servis, teknisi digester biogas, atau produsen kompor biomassa.

Melalui pelatihan dan dukungan permodalan, pemuda dapat menjadi motor penggerak perubahan yang menjembatani teknologi dengan komunitas, sekaligus memperkuat kapasitas inovasi desa.

## **3. Koperasi dan BUMDes sebagai Lembaga Pengelola Energi**

Agar sistem bioenergi dapat berjalan secara ekonomis dan transparan, diperlukan kelembagaan yang kuat:

- a. Koperasi energi desa atau BUMDes bisa berperan sebagai pengelola unit produksi, penyedia jasa, atau pemasar produk bioenergi.

- b. Skema koperasi memungkinkan masyarakat menjadi pemilik sekaligus pengguna, menciptakan sistem yang adil dan partisipatif.

Beberapa fungsi koperasi atau BUMDes dalam inisiatif bioenergi meliputi:

- a. Mengelola keuangan hasil penjualan energi dan produk turunannya.
- b. Menyediakan layanan perawatan teknologi secara kolektif.
- c. Menyusun sistem tarif atau kontribusi yang proporsional dan transparan.

#### **4. Kolaborasi Tiga Pilar untuk Keberlanjutan**

Keterlibatan perempuan, pemuda, dan koperasi menciptakan sistem yang saling mendukung:

- a. Perempuan memastikan keberlanjutan penggunaan di rumah tangga.
- b. Pemuda menjaga inovasi dan efisiensi teknologi.
- c. Koperasi menjamin kesinambungan ekonomi dan tata kelola energi.

Model kolaboratif ini telah terbukti sukses dalam berbagai studi dan program energi terbarukan berbasis komunitas, baik di Indonesia maupun negara berkembang lainnya.

#### **5. Studi Lapangan: Praktik Baik dari Enrekang**

Contoh keberhasilan peran kolaboratif ini terlihat dalam inisiatif pengolahan biogas dari kotoran sapi pada usaha dangke di Enrekang, Sulawesi Selatan. Dalam program ini:

- a. Perempuan terlibat dalam pengumpulan kotoran sapi dan pemanfaatan biogas untuk memasak dangke.
- b. Pemuda desa bertindak sebagai teknisi digester dan edukator.
- c. Koperasi lokal mengelola pemasaran produk turunan bioenergi dan menjamin distribusi alat sederhana.

Program ini tidak hanya menyelesaikan persoalan limbah, tetapi juga meningkatkan pendapatan dan mengurangi biaya bahan bakar bagi pelaku UMKM dangke.

Pemberdayaan perempuan, pemuda, dan koperasi lokal merupakan fondasi sosial dari pengembangan bioenergi yang berkelanjutan. Ketika ketiganya bergerak bersama, inisiatif bioenergi desa tidak hanya menjadi solusi teknis, tetapi juga transformasi sosial dan ekonomi yang mengakar.

## **BAB 10**

### **MASA DEPAN ENERGI HIJAU**

#### **10.1. Potensi Pengembangan Bioenergi di Indonesia**

Indonesia memiliki potensi luar biasa dalam pengembangan bioenergi karena kekayaan sumber daya hayati, luasnya lahan pertanian dan kehutanan, serta besarnya volume limbah organik dari berbagai sektor. Potensi ini dapat menjadi solusi jangka panjang terhadap ketergantungan energi fosil, sekaligus mendukung komitmen Indonesia dalam transisi energi bersih dan mitigasi perubahan iklim.

##### **1. Kekayaan Biomassa sebagai Modal Utama**

Indonesia memiliki berbagai jenis biomassa yang bisa dijadikan sumber bioenergi, antara lain:

- a. Limbah pertanian: jerami, sekam padi, tongkol jagung, ampas tebu, dan limbah kelapa sawit (tandan kosong, cangkang, serat).
- b. Limbah kehutanan dan HHBK: serpihan kayu, kulit kayu, bambu, rotan, dan getah.
- c. Limbah peternakan: kotoran sapi, ayam, kambing.
- d. Limbah organik rumah tangga dan industri makanan: sisa sayur, buah, serta limbah cair dari industri tahu dan tempe.

Menurut Badan Litbang ESDM, potensi biomassa Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 146 juta ton per tahun, yang bila dimanfaatkan secara optimal dapat menghasilkan energi setara 32 GW (ESDM, 2022).

## **2. Sebaran Sumber Daya Merata di Wilayah**

Berbeda dengan energi fosil atau panas bumi yang terlokalisasi, biomassa tersedia hampir di seluruh wilayah Indonesia, dari Aceh hingga Papua. Ini membuka peluang pengembangan bioenergi berbasis komunitas yang dapat disesuaikan dengan kondisi lokal. Misalnya:

- a. Biogas dari peternakan sapi di Sulawesi Selatan
- b. Briket dari limbah kelapa di Nusa Tenggara
- c. Bioetanol dari singkong di Jawa dan Papua

Sebaran ini menjadikan bioenergi sebagai solusi desentralisasi energi yang menjawab tantangan energi di daerah terpencil atau belum berlistrik.

## **3. Dukungan Regulasi dan Target Pemerintah**

Pemerintah Indonesia melalui RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) dan Perpres No. 112/2022 menargetkan peningkatan bauran energi baru dan terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025. Bioenergi diharapkan menjadi kontributor utama bersama tenaga air, surya, dan angin.

Program pendukung juga terus dikembangkan:

- a. Subsidi alat biogas dan kompor biomassa
- b. Kemitraan riset dengan kampus dan sektor swasta
- c. Fasilitasi pengembangan BUMDes energi dan koperasi energi

## **4. Peluang Ekonomi dan Penciptaan Lapangan Kerja**

Industri bioenergi membuka peluang besar

untuk:

- a. Usaha mikro dan menengah, seperti produksi briket, pelet, pupuk organik dari slurry, atau minyak nabati.
- b. Lapangan kerja hijau di bidang teknik, logistik biomassa, dan pengelolaan limbah.
- c. Ekspor teknologi dan produk bioenergi ke negara-negara yang sedang beralih ke energi bersih.

Diperkirakan, jika seluruh potensi biomassa dimanfaatkan, Indonesia dapat menciptakan lebih dari 1 juta pekerjaan hijau langsung dan tidak langsung dalam dekade mendatang (IRENA, 2021).

## **5. Peran Inovasi dan Pendidikan**

Pengembangan bioenergi membutuhkan pendekatan interdisipliner:

- a. Teknologi tepat guna untuk skala rumah tangga dan desa
- b. Digitalisasi sistem energi terdesentralisasi
- c. Pendidikan lingkungan dan vokasi energi terbarukan
- d. Riset lokal berbasis universitas dan komunitas

Keterlibatan akademisi, pemuda, dan praktisi lapangan menjadi kunci pengembangan bioenergi yang adaptif, murah, dan tepat guna.

Dengan sumber daya yang melimpah, dukungan kebijakan, dan kebutuhan energi yang terus meningkat, bioenergi adalah masa depan energi hijau Indonesia. Keberhasilannya akan sangat ditentukan oleh kolaborasi

lintas sektor, penguatan kapasitas masyarakat, dan keberpihakan pada energi berkeadilan yang berpihak pada desa dan lingkungan.

## **10.2. Sinergi antara Alam, Teknologi, dan Manusia**

Dalam era transisi menuju energi hijau, keberhasilan pengembangan bioenergi tidak hanya bergantung pada teknologi semata, melainkan pada keseimbangan antara alam, inovasi teknologi, dan peran manusia. Ketiganya harus berjalan beriringan dalam ekosistem yang harmonis agar bioenergi benar-benar menjadi solusi berkelanjutan bagi krisis energi dan lingkungan.

### **1. Alam sebagai Sumber Daya dan Inspirasi**

Alam menyediakan sumber biomassa yang melimpah dari limbah pertanian, hutan, hingga sisa organik rumah tangga. Namun, pemanfaatannya harus tetap memperhatikan:

- a. Daya dukung lingkungan, agar eksploitasi tidak merusak ekosistem.
- b. Keanekaragaman hayati, terutama jika tanaman energi dikembangkan secara monokultur.
- c. Keseimbangan karbon, dengan prinsip bahwa jumlah karbon yang dilepas saat pembakaran setara atau lebih rendah dari yang diserap tanaman selama tumbuh.

Bioenergi sejatinya adalah bentuk teknologi yang mengikuti siklus alami, bukan menentanginya.

## **2. Teknologi sebagai Alat Pengubah dan Peningkat Nilai**

Teknologi berperan penting dalam mengubah biomassa mentah menjadi energi yang efisien dan aman digunakan:

- a. Kompor biomassa dan biogas meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi berbahaya.
- b. Gasifikasi dan fermentasi skala industri menghasilkan energi tinggi dari bahan organik rendah nilai.
- c. Internet of Things (IoT) dan otomatisasi mulai digunakan untuk mengatur proses produksi dan distribusi energi terdesentralisasi.

Namun, teknologi harus bersifat tepat guna, murah, mudah dirawat, dan terdesentralisasi, agar dapat diterapkan oleh masyarakat desa tanpa ketergantungan besar pada pihak luar.

## **3. Manusia sebagai Penggerak dan Penjaga Sistem**

Bioenergi membutuhkan peran aktif manusia sebagai pelaksana, inovator, sekaligus penjaga keseimbangan alam:

- a. Petani dan peternak menjadi produsen sekaligus pengguna biomassa.
- b. Pemuda desa bisa menjadi teknisi, inovator lokal, atau wirausahawan energi.
- c. Perempuan berperan dalam pengelolaan dapur, limbah, hingga koperasi energi.

Partisipasi manusia juga krusial dalam edukasi, perawatan alat, pengelolaan limbah, dan kontrol sosial

atas pemanfaatan energi agar tetap adil dan lestari.

#### **4. Sinergi Berbasis Kearifan Lokal**

Teknologi tidak selalu harus modern atau canggih. Dalam banyak kasus, keberhasilan energi mandiri justru terjadi ketika teknologi bersinergi dengan kearifan lokal:

- a. Masyarakat menggunakan bambu atau jerami sebagai bahan bakar tradisional, yang kini dikembangkan menjadi pelet.
- b. Sistem gotong royong dalam mengelola alat biogas lebih efektif dibandingkan pendekatan individual.
- c. Koperasi dan BUMDes menjadi wadah distribusi manfaat dan pemeliharaan alat bersama.

Sinergi ini menciptakan model energi yang berakar pada budaya, namun menjawab tantangan masa kini.

#### **5. Arah Masa Depan: Ekosistem Energi Berkelanjutan**

Sinergi antara alam, teknologi, dan manusia akan menciptakan:

- a. Ekosistem energi hijau lokal, berbasis masyarakat dan berorientasi keberlanjutan.
- b. Siklus tertutup, di mana limbah menjadi bahan bakar dan hasilnya kembali meningkatkan produktivitas (contoh: slurry sebagai pupuk).
- c. Peningkatan kualitas hidup, tanpa meninggalkan warisan kerusakan ekologis bagi generasi mendatang.

Dengan pendekatan ini, bioenergi bukan hanya solusi energi, tetapi juga bagian dari transformasi sosial, budaya, dan ekonomi menuju peradaban yang lebih adil terhadap lingkungan.

### **10.3. Harapan untuk Generasi Mendatang: Energi Bersih untuk Semua**

Masa depan energi tidak hanya soal efisiensi atau teknologi tinggi, tetapi tentang keadilan akses, kelestarian lingkungan, dan masa depan generasi muda. Bioenergi, sebagai bagian dari energi terbarukan, membuka peluang besar untuk mewujudkan cita-cita tersebut terutama jika dikembangkan dengan prinsip inklusif, lestari, dan berpihak pada masyarakat bawah.

#### **1. Energi sebagai Hak, Bukan Kemewahan**

Saat ini, masih banyak wilayah terpencil di Indonesia yang belum menikmati akses energi modern. Padahal, energi adalah:

- a. Hak dasar untuk hidup layak.
- b. Kunci produktivitas dan pembangunan ekonomi.
- c. Fondasi pendidikan dan kesehatan.

Bioenergi memberi harapan karena sumbernya tersedia secara lokal, murah, dan dapat dikembangkan dengan teknologi sederhana. Maka, "energi bersih untuk semua" bukan utopia, tapi visi yang mungkin dicapai jika ada komitmen nyata.

#### **2. Generasi Muda sebagai Agen Perubahan Energi**

Anak-anak muda hari ini akan mewarisi dunia yang sedang menghadapi krisis iklim dan energi. Oleh karena itu:

- a. Edukasi sejak dini tentang energi terbarukan dan bioenergi sangat penting.
- b. Sekolah dan kampus dapat menjadi pusat inovasi dan laboratorium energi terbarukan berbasis lokal.
- c. Gerakan pemuda berbasis lingkungan dan teknologi (eco-tech) perlu didorong sebagai motor penggerak perubahan.

Generasi muda tidak hanya menjadi pengguna energi, tapi juga pencipta solusi energi masa depan.

### **3. Bioenergi sebagai Pemersatu Ekologi dan Ekonomi**

Bioenergi bukan sekadar pengganti LPG atau solar. Lebih dari itu, ia menyatukan dua hal yang sering dianggap berseberangan:

- a. Ekologi: pelestarian alam, pengurangan emisi karbon, dan pemanfaatan limbah.
- b. Ekonomi: membuka usaha, menciptakan lapangan kerja, meningkatkan pendapatan desa.

Dengan demikian, generasi mendatang dapat hidup dalam sistem yang tidak mengorbankan lingkungan demi pertumbuhan ekonomi, melainkan menjadikannya satu kesatuan yang saling menguatkan.

### **4. Infrastruktur Energi Lokal yang Adil dan Demokratis**

Membangun masa depan energi bersih berarti membangun sistem yang:

- a. dikuasai dan dikelola oleh masyarakat lokal.
- b. transparan dalam pembiayaan dan manfaatnya.
- c. memberdayakan kelompok rentan seperti perempuan, pemuda, dan petani kecil.

Model seperti komunitas energi, koperasi bioenergi, dan BUMDes energi hijau adalah langkah konkret menuju sistem energi yang demokratis dan berkelanjutan.

## **5. Warisan Terbaik: Bumi yang Lebih Baik**

Akhirnya, pengembangan bioenergi harus dilihat sebagai investasi untuk generasi mendatang, bukan sekadar proyek pembangunan. Dengan bioenergi:

- a. Kita mengurangi jejak karbon dan memperbaiki kualitas lingkungan.
- b. Kita mewariskan sistem energi yang lebih adil dan mandiri.
- c. Kita membangun kesadaran kolektif bahwa hidup selaras dengan alam adalah jalan paling bijak.

Seperti pepatah lama, "*Kita tidak mewarisi bumi dari nenek moyang, tetapi meminjamnya dari anak cucu kita.*" Maka sudah sepatutnya energi masa depan dibangun dengan hati, ilmu, dan tanggung jawab lintas generasi.

## **BAB 11**

### **BIOENERGI DAN TITIK BALIK PERADABAN**

Bioenergi bukan sekadar sumber energi alternatif. Ia adalah simbol harapan akan masa depan yang lebih bersih, mandiri, dan berkeadilan. Di tengah krisis iklim global, meningkatnya kebutuhan energi, dan kerusakan lingkungan yang terus meluas, solusi berbasis alam seperti bioenergi hadir sebagai jembatan antara konservasi dan pembangunan.

Selama ini, paradigma energi kita terlalu bergantung pada sumber daya fosil yang tidak terbarukan, padahal di sekitar kita tersedia potensi energi yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Dari kayu dan HHBK hingga kotoran ternak, dari sisa dapur rumah tangga hingga limbah kehutanan dan pertanian, semuanya menyimpan peluang untuk menciptakan perubahan. Buku ini telah menguraikan berbagai bentuk bioenergi, proses pembuatannya, serta manfaatnya bagi lingkungan dan masyarakat. Namun pada akhirnya, semua uraian ini berpulang pada satu hal: kesadaran kolektif kita untuk bertransformasi.

Perubahan tidak akan datang dengan sendirinya. Ia memerlukan keberanian, komitmen, dan langkah nyata. Transisi menuju energi hijau bukan hanya tugas pemerintah atau ilmuwan. Ia adalah tanggung jawab bersama, dari desa hingga kota, dari ruang kelas hingga rumah tangga. Petani, pelajar, mahasiswa, guru, tokoh agama, pengusaha, peneliti, dosen, hingga ibu rumah tangga, semuanya punya peran.

Melalui bab ini, penulis tidak hanya ingin menutup rangkaian pembahasan, tetapi mengajak pembaca untuk merenung dan memulai sesuatu. Sekecil apa pun kontribusinya, perubahan selalu berawal dari niat dan aksi. Beberapa langkah sederhana namun bermakna yang dapat kita lakukan antara lain:

1. Mengelola limbah organik secara bijak, bukan hanya membuang, tetapi mengolah menjadi kompos, biogas, atau bahan bakar alternatif.
2. Mendorong komunitas lokal menerapkan teknologi tepat guna, seperti penggunaan kompor biomassa, biodigester, atau biobriket dari limbah pertanian dan kehutanan.
3. Terlibat dalam edukasi energi di sekolah dan Masyarakat, mengenalkan konsep bioenergi kepada generasi muda sebagai bagian dari kurikulum kehidupan.
4. Aktif dalam kebijakan dan advokasi energi berkelanjutan, berpartisipasi dalam forum publik, menyuarakan pentingnya transisi energi hijau, dan mendukung kebijakan yang berpihak pada lingkungan.

Saat ini, kita berada di titik balik peradaban. Apa yang kita pilih hari ini, dalam konsumsi, produksi, dan gaya hidup, akan menentukan kualitas hidup generasi yang akan datang. Dengan mengembangkan dan menggunakan bioenergi secara bijak, kita tidak hanya mengurangi emisi karbon atau menggantikan bahan bakar fosil, tetapi juga membangun peradaban yang

lebih adil dan manusiawi.

Bioenergi adalah alat, namun makna sejatinya ada dalam cara kita memakainya. Apakah ia hanya akan menjadi alternatif teknis, atau menjadi jalan menuju hubungan yang lebih selaras antara manusia dan alam, semua tergantung pada pilihan kita.

Mari menjadi bagian dari gerakan energi hijau. Bukan karena tren, tetapi karena tanggung jawab. Karena bumi ini bukan milik kita semata, tapi titipan yang harus kita jaga untuk masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baharuddin, Sanusi, D., Daud, M., & Ferial. (2014). Potensi biomassa, cadangan karbon dan serapan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) Serta Persamaan Allometrik Penduga Biomassa pada Tegakan Bambu Betung (*Dendrocalamus asper*) pada Hutan Bambu Rakyat di Kabupaten Tana Toraja. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian HHBK*, 1(1), 415–428.
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Academic Press.
- Daud, M, Syafii, W. and Syamsu, K. (2012) ‘Biokonversi Bahan Berlignoselulosa menjadi Bioetanol Menggunakan *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cereviciae*’, *Jurnal Perennial*, 8(1), pp. 43–51.
- Daud, M. (2010) *Produksi Bioetanol Dari Beberapa Jenis Kayu Tropis Melalui Proses Sakarifikasi dan Fermentasi Secara Simultan*. Institut Pertanian Bogor.
- Daud, M. (2014) *Bioenergi dari Bahan Non Pangan: Memanen Bensin dari Hutan untuk Ketahanan Energi Indonesia*. 1st edn. Makassar: Philosophia Press.
- Daud, M. (2018) ‘Kontribusi Bioenergi dari Hutan Rakyat untuk Pemenuhan Kebutuhan Energi Masyarakat dalam Mitigasi Perubahan Iklim di

Kecamatan Baraka, Kabupaten Enrekang’,  
*Workshop Ahli Perubahan Iklim Regional Sulawesi*, 1(1), pp. 189–196.

Daud, M. *et al.* (2014) ‘Potensi Biomassa, Cadangan Karbon dan Serapan Karbon Dioksida Pada Kebun Raya Massenrempulu Enrekang’, *Jurnal Matoa*, 2(3), pp. 54–63.

Daud, M., Hikmah and Imran, J. (2015) ‘Potensi Cadangan Dan Serapan Karbon Dioksida Di Hutan Pendidikan Universitas Muhammadiyah Makassar Desa Bissoloro Kabupaten Gowa’, *Jurnal Matoa*, 3(5), pp. 1–11.

Daud, M., Syafii, W. and Syamsu, K. (2012) ‘Bioethanol Production from Several Tropical Wood Species using Simultaneous Saccharification and Fermentation Processes’, *Wood Research Journal*, 3(2), pp. 106–116.

Daud, M., Syafii, W. and Syamsu, K. (2013) ‘Pemanfaatan Batang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* jacq.) Menjadi Bioetanol Dengan Perlakuan Pendahuluan Menggunakan Proses Kraft’, *Jurnal Matoa*, 1(2), pp. 17–27.

Daud, M., Syafii, W. and Syamsu, K. (2014) ‘Produktivitas Bioetanol dari Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dengan Perlakuan Enzimatis’, *Jurnal Matoa*, 2(3), pp. 11–24.

- Demirbas, A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2106–2116. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>
- Demirbaş, A. (2009). *Biofuels: Securing the planet's future energy needs*. *Energy Conversion and Management*, 50(9), 2239–2249. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.05.010>
- Demirbaş, A. (2021). Bioenergy technologies and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110239>
- Demirbaş, A. (2021). *Bioenergy technologies and sustainable development*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110239>
- ESDM. (2022). *Potensi Biomassa di Indonesia*. Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral.
- FAO. (2017). *Sustainable bioenergy from forests: A guide to good practice*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fitriani, D., & Rachman, A. (2022). *Community-based*

- waste-to-energy implementation in Indonesia: Opportunities and challenges*. *Journal of Environmental Management*, 308, 114635. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114635>
- García-Fernández, J., Ruiz-Pérez, M., & Wunder, S. (2008). Is multiple-use forest management widely implementable in the tropics? *Forest Ecology and Management*, 256(7), 1468–1476. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.037>
- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., & Tiffany, D. (2006). Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(30), 11206–11210. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604600103>
- IEA. (2021). *Renewables 2021: Analysis and Forecast to 2026*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>
- Indriatmoko, Y., & Saharjo, B. H. (2020). Sustainability framework for community-based bioenergy development in forest areas. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 26(1), 12–21. <https://doi.org/10.7226/jtfm.26.1.12>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.

- International Energy Agency. (2021). *Renewables 2021: Analysis and forecast to 2026*. IEA. <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>
- IRENA. (2021). *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021*. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications>
- Jenkins, B. M., Williams, R. B., & Gildart, M. C. (2020). Bioenergy development in rural areas: Policy strategies for inclusive growth. *Energy Policy*, *147*, 111850. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111850>
- Jenkins, B. M., Williams, R. B., & Gildart, M. C. (2020). *Bioenergy development in rural areas: Policy strategies for inclusive growth*. *Energy Policy*, *147*, 111850. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111850>
- Kaparaju, P., Luostarinen, S., Kalmari, E., Kalmari, J., & Rintala, J. (2002). Co-digestion of energy crops and industrial waste in two-stage anaerobic digestion process. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *98–100(1–9)*, 601–612. <https://doi.org/10.1385/ABAB:98-100:1-9:601>
- Kothari, R., Tyagi, V. V., Pathak, A., & Pandey, A. (2014). Waste to energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *32*, 326–340.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.028>

Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge.

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): Conversion technologies. *Bioresource Technology*, 83(1), 47–54.  
[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00119-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5)

Mulyana, W., & Pradana, M. (2021). *Household biogas system as an alternative energy from organic waste: A case study in rural West Java*. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 6(1), 9.  
<https://doi.org/10.1051/rees/2021009>

Mutmainnah et al. (2023) ‘Karakteristik Biobriket Cangkang Pangi (*Pangium edule* ReiwN) Dengan Menggunakan Perikat Tepung Dari Limbah Ampas Sagu Dan Penambahan Getah Pinus’, *Journal of Forest Services*, 1(1), pp. 9–23.

Muzzammil, N., & Ariyani, F. (2020). Pemanfaatan limbah organik untuk produksi biogas sebagai energi alternatif. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 45–52

Nurdin, M., Daud, M., & Hamzah, A. (2022). *Pemanfaatan biogas berbasis peternakan rakyat dalam pengolahan produk dangke di Enrekang*. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 14(2), 89–97.

<https://doi.org/10.1234/jel.2022.14289>

Park, J. Y., & Kim, J. W. (2022). *The role of wood pellets in low-carbon energy transition: Challenges and opportunities*. *Renewable Energy*, 187, 1112–1124.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.034>

REN21. (2022). *Renewables 2022 global status report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

REN21. (2022). *Renewables Global Status Report*. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

Roshetko, J. M., Nugraha, E., & Mulyoutami, E. (2013). Integrating bamboo and rattan in smallholder agroforestry systems for renewable energy production. *Forest and Society*, 1(1), 35–44. <https://doi.org/10.24259/fs.v1i1.233>

Siregar, I. Z., & Subiakto, A. (2022). *Agricultural waste utilization for bioenergy in rural Indonesia: Opportunities and challenges*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112409. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112409>

Siregar, I. Z., & Wulandari, C. (2020). Potensi hasil hutan bukan kayu sebagai bahan baku bioenergi di Indonesia. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi*

- Kehutanan*, 17(3), 191–204.  
<https://doi.org/10.20886/jpsek.2020.17.3.191-204>
- Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846–859.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.015>
- Susanto, D., & Marbun, J. R. (2021). *Forest residue utilization for sustainable bioenergy in Indonesia*. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128434.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128434>
- Susilawati, E., & Nugroho, R. A. (2020). *Prospek HHBK sebagai sumber energi alternatif berbasis masyarakat*. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 16(2), 77–84.
- Susilowati, R., & Widiyanto, A. (2021). *Development of biomass briquettes from agricultural waste: A review of fuel properties and sustainability*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110189.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110189>
- United Nations. (2023). *Sustainable Development Goal 7: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all*.  
<https://sdgs.un.org/goals/goal7>

- van der Horst, D., & Vermeulen, S. (2011). Spatial scale and social impacts of biofuel production. *Biomass and Bioenergy*, 35(6), 2435–2443. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.017>
- Widiyanto, E., Wahyudi, I., & Supriyanto. (2021). Bambu sebagai bahan baku bioenergi: Potensi, tantangan, dan prospeknya di Indonesia. *Jurnal Hasil Hutan*, 39(2), 145–158. <https://doi.org/10.20886/jhh.2021.39.2.145-158>
- Williams, C. L., Westover, T. L., Emerson, R. M., Tumuluru, J. S., & Li, C. (2015). *Understanding biomass feedstock variability*. *Biofuels*, 6(3), 303–317. <https://doi.org/10.1080/17597269.2015.1047125>
- Yuliani, L., Ramadhan, A., & Sari, N. (2021). *Peran koperasi energi desa dalam pengelolaan bioenergi: Studi kasus di Sulawesi Selatan*. *Journal of Renewable Community Energy*, 6(1), 44–55. <https://doi.org/10.5678/jrce.v6i1.221>
- Yuliarti, N., et al. (2021). *Utilization of bamboo biomass for energy production in Indonesia: Potential and challenges*. *Biomass and Bioenergy*, 150, 106083. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106083>

## BIODATA PENULIS



**Ir. M. Daud, S.Hut., M.Si., IPM, C.EIA, CSOPA, CETP**, lahir di Bisang, Enrekang, Sulawesi Selatan pada tanggal 29 November 1985. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar hingga menengah atas di Enrekang dan melanjutkan studi tinggi di Program Studi Kehutanan Universitas Hasanuddin (UNHAS), lulus sarjana (S1) tahun 2007. Gelar magister (S2) diraih di Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 2010. Pada tahun 2020, penulis menyelesaikan program profesi insinyur bidang Teknik Kehutanan di IPB.

Saat ini, penulis menjabat sebagai Kepala Laboratorium Pemanfaatan Hasil Hutan dan Wakil Direktur Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Hutan Pendidikan Universitas Muhammadiyah Makassar. Selain itu, penulis juga merupakan Editor-in-Chief *Forest Services Journal*. Bidang keahlian penulis meliputi hasil hutan bukan kayu (HHBK), bioenergi, biomassa dan dinamika karbon hutan, mitigasi perubahan iklim, serta analisis dampak lingkungan pada pengolahan hasil hutan. Sebagai akademisi dan peneliti aktif, penulis telah mempublikasikan 83 artikel ilmiah dalam jurnal dan prosiding nasional maupun internasional, serta telah menerbitkan 15 buku referensi, 7 buku ajar dan 7 modul

praktikum. Dalam bidang riset, penulis menerima hibah dari RisetMu, DIKTI, BRIN, lembaga swasta serta hibah riset internasional (Jepang, Jerman, USA, Australia dan Finlandia).

Pengalaman organisasi cukup luas, dimulai dari organisasi kepemudaan dan kemahasiswaan seperti Sylva Indonesia, HMI, KMKM, BKBK, HPMM, MAKES Al-Markaz, PEMC, HEC, RIMPALA, Tree Climber Organization (TCO). Di tingkat organisasi dan pengabdian masyarakat, penulis aktif sebagai anggota pimpinan Lembaga Resiliensi Bencana Pimpinan Wilayah Muhammadiyah Sulawesi Selatan dan terlibat dalam berbagai organisasi profesi seperti Persatuan Insinyur Indonesia (PII), Persatuan Tenaga Ahli Lingkungan Hidup Indonesia (PERTALINDO), *Indonesian Life Cycle Assessment Network (ILCAN)*, *International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)*, *International Bamboo and Rattan Organization (INBAR)*, Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI), Komunitas Manajemen Hutan Indonesia (KOMHINDO), Masyarakat Konservasi Tanah dan Air (MKTI), serta *Climate Reality Project*.

Penulis memiliki pengalaman keterlibatan dalam berbagai kegiatan riset yang dilakukan bersama sejumlah institusi dan laboratorium terkemuka di Indonesia, antara lain *Thematic Research Group (TRG) Non-Timber Forest Product Diversification* UNHAS, Pusat Inovasi HHBK UNHAS, Puslitbang Lingkungan Hidup UNHAS, Laboratorium Sifat Dasar dan

Teknologi Pengolahan Kayu UNHAS, Laboratorium Kimia Hasil Hutan, Laboratorium Rekayasa Bioproses, Laboratorium Biomolekuler dan Seluler, serta Laboratorium Mikrobiologi Pangan, Pusat Penelitian Sumberdaya Hayati dan Bioteknologi, *Surfactant and Bioenergy Research Center* (SBRC), yang seluruhnya berada di bawah naungan IPB. Selain itu, penulis juga pernah terlibat dalam riset di Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia, serta Laboratorium Instrumen dan Proksimat Terpadu, Pustlitbang Kementerian Kehutanan, Pusat Penelitian Biomaterial LIPI, Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (BAKOSURTANAL), dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak, Batubara dan Gas Bumi (PPPTMGB) LEMIGAS.

Penulis juga memegang berbagai sertifikasi profesional antara lain: Dosen Profesional, Auditor SVLK, Insinyur Profesional Madya (IPM), Auditor Lingkungan, Ketua Tim Penyusun AMDAL (KTPA), Ahli K3 Umum, Analis SOP, Trainer Profesional, Auditor ISO, dan Climate Leader, serta Pendamping Proses Produk Halal. Selain sebagai akademisi, penulis aktif menjadi narasumber pada forum nasional dan internasional, serta menjadi konsultan ahli di bidang kehutanan dan lingkungan, khususnya studi AMDAL, studi kelayakan, audit lingkungan, LCA-PROPER, dan pemberdayaan masyarakat sekitar hutan serta pendidikan perubahan iklim. Penulis telah mengikuti 77 kursus/pelatihan (2 internasional), 102 seminar (19

internasional), terlibat 59 proyek kolaborasi penelitian, 38 proyek pengabdian masyarakat serta telah menyusun 254 AMDAL/Dokumen Lingkungan di Indonesia, dan 65 diantaranya sebagai ketua tim termasuk kegiatan pada sektor kehutanan dan energi terbarukan. Penulis juga merupakan penjamin LPJP AMDAL General Konsultan dan Dewan Pembina Yayasan Sabuk Hijau Indonesia (*Indonesian Green Belt Initiative*) dan Yayasan Masyarakat Ekologi dan Reaksi Konservasi (MAERO Indonesia).

Berbagai penghargaan telah diraih, antara lain sebagai lulusan terbaik di jenjang SD, SLTP, SMA, dan perguruan tinggi (baik fakultas maupun universitas). Penulis juga mendapat penghargaan sebagai Mahasiswa Pascasarjana Berprestasi IPB, serta penghargaan sebagai Pelopor Insinyur Teregistrasi Bidang Kehutanan dari Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, dan Climate Leader dari *The Climate Reality Project*, USA.

**Penulis dapat dihubungi melalui email:**

[muhdaud@unismuh.ac.id](mailto:muhdaud@unismuh.ac.id)

[mduaudhammasa@gmail.com](mailto:mduaudhammasa@gmail.com)



**Dr. Ir. Baharuddin, MP.,**

lahir di Soppeng, Sulawesi Selatan, pada tanggal 5 November 1965. Pendidikan dasar hingga Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikannya di daerah kelahiran. Seluruh jenjang pendidikan tinggi, mulai dari Sarjana (S1), Magister (S2), hingga Doktor (S3), ditempuh di Universitas Hasanuddin dengan fokus keilmuan pada bidang kehutanan. Pada setiap jenjang tersebut, penelitian tugas akhirnya selalu berkaitan dengan hasil hutan bukan kayu (HHBK), mulai dari studi tentang lak dan ulat sutera, hingga disertasi yang mengangkat topik biomassa bambu.

Karier akademik sebagai dosen dimulai sejak tahun 1989, dengan mata kuliah yang pertama kali diajarkan antara lain Hasil Hutan Bukan Kayu, Pengawetan Kayu, serta Pengukuran dan Pengujian Kayu. Seiring dengan dinamika perubahan kurikulum dan pengembangan program studi, cakupan pengajaran yang diampu meluas ke berbagai mata kuliah lain seperti Remote Sensing, Sistem Informasi Geografis (SIG), Ilmu Ukur Kayu, Pengolahan Hasil Hutan Bukan Kayu, Rekayasa Pemanfaatan Hasil Hutan, Industri Kreatif Hasil Hutan, Serat dan Pangan Hutan, Bioenergi, serta Ekstraktif dan Minyak Atsiri.

Sebagian besar karya ilmiah yang dipublikasikan mengangkat tema hasil hutan bukan kayu, yang telah diterbitkan dalam berbagai jurnal nasional dan internasional. Saat ini, Baharuddin juga aktif sebagai peneliti utama dalam kelompok riset *Thematic Research Group (TRG) Non-Timber Forest Product Diversification*, yang menjadi platform strategis untuk mendorong diversifikasi dan hilirisasi produk HHBK.

Selain fokus pada kehutanan sebagai sumber pangan dan energi, penelitian yang dilakukan juga mencakup berbagai kelompok HHBK lainnya, seperti lebah madu, ulat sutera, dan minyak atsiri. Dalam beberapa tahun terakhir, arah penelitian lebih difokuskan pada pengembangan potensi hutan sebagai sumber energi terbarukan dan pangan lokal yang berkelanjutan, sejalan dengan upaya mitigasi perubahan iklim dan penguatan ketahanan masyarakat.



**Dr. Ir. Hikmah, S.Hut., M.Si., IPM** lahir di Ujung Pandang pada tanggal 11 Juli 1971. Anak pertama dari pasangan H. Abd. Azis Kadir Basalamah dan Hj. Rukiah Sirad. Penulis merupakan Dosen Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas

Muhammadiyah Makassar sebagai Dosen DPK LLDIKTI Wil. IX.

Pendidikan Sarjana (S-1) Penulis tempuh di Universitas Hasanuddin pada bidang Ilmu Kehutanan dan diselesaikan pada tahun 1995. Selanjutnya, pendidikan magister (S-2) UNHAS tahun 2005, dengan konsentrasi pada Perencanaan Pengembangan Wilayah. Pendidikan doktoral (S-3) Penulis selesaikan pada tahun 2017 di Sekolah Pascasarjana UNHAS, kemudian melanjutkan Pendidikan Profesi Insinyur (PPI) di Universitas Gadjah Mada, yang dituntaskan pada tahun 2023. Sebagai Dosen, Penulis mengampu berbagai mata kuliah yaitu Agroforestry, Ilmu Kayu, Manajemen Hutan, Pengantar Ilmu Kehutanan, Penyuluhan Kehutanan, dan Pengelolaan Lebah Madu.

Di luar kegiatan pengajaran, Penulis juga giat melakukan penelitian serta pengabdian kepada masyarakat dengan pendanaan dari DIKTI maupun hibah dari lembaga-lembaga swasta, baik di tingkat nasional maupun internasional. Hasil-hasil penelitiannya

telah dipublikasikan di berbagai jurnal ilmiah terakreditasi, termasuk yang terindeks SINTA dan Scopus. Dalam bidang kepemimpinan akademik, Penulis menjabat sebagai Pembantu Rektor II Universitas Satria Makassar Periode 2004-2008, Divisi Pengembangan Hutan Pendidikan Universitas Muhammadiyah Makassar Periode 2010 – 2016, Ketua Program Studi Kehutanan Universitas Muhammadiyah Makassar Periode 2018–2025, dan saat ini mengemban amanah sebagai Wakil Dekan II Fakultas Pertanian di Universitas Muhammadiyah Makassar Periode 2025 - 2029.

Di luar aktivitas kampus, Penulis aktif dalam organisasi profesi, di antaranya Forum Pimpinan Pendidikan Tinggi Kehutanan Indonesia (FORETIKA), Komunitas Manajemen Hutan Indonesia (KOMHINDO), Masyarakat Konservasi Tanah dan Air (MKTI), dan Masyarakat Silvikultur Indonesia (MASSI) sebagai bagian dari komitmennya dalam pengembangan ilmu dan praktik kehutanan di Indonesia.  
Email:hikmah@unismuh.ac.id



**Samsul Samrin, S.Hut., M.Hut.**, lahir pada tanggal 14 Oktober 1994 di Lembang Bau, Kecamatan Bonggakaradeng, Kabupaten Tana Toraja. Ia menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) pada Program Studi Kehutanan, Universitas Muhammadiyah

Makassar (UNISMUH) pada tahun 2019. Selanjutnya, ia meraih gelar magister (S2) di bidang Ilmu Kehutanan dari Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin (UNHAS) pada tahun 2024.

Penulis aktif dalam kegiatan penelitian di bidang kehutanan dan saat ini menjabat sebagai editor pada *Forest Services Journal*. Ia juga konsisten mempublikasikan karya ilmiah di berbagai jurnal nasional dan internasional yang terindeks SINTA dan Scopus. Saat ini, ia berperan sebagai peneliti di Laboratorium Pemanfaatan Hasil Hutan Universitas Muhammadiyah Makassar, terutama yang berkaitan dengan pengembangan Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) dan bioenergi dalam sistem agroforestry.

Selain menjalankan peran sebagai peneliti, penulis juga terlibat sebagai tenaga ahli dan surveyor dalam bidang kehutanan dan lingkungan, khususnya dalam penyusunan dokumen lingkungan dan analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL). Ia pernah menjadi anggota tim pengawas dan penilai dalam kegiatan Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL) yang

diselenggarakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada periode 2021 hingga 2023. Di samping itu, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan pengabdian kepada masyarakat, khususnya yang berkaitan dengan pemberdayaan masyarakat berbasis kehutanan.

Dalam pengembangan keilmuan dan jejaring profesional, penulis merupakan anggota aktif dari Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI), Komunitas Manajemen Hutan Indonesia (KOMHINDO), serta Masyarakat Konservasi Tanah dan Air (MKTI). Di luar aktivitas akademik dan profesi, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi Muhammadiyah, yang menjadi bagian dari komitmennya dalam pengabdian sosial dan keagamaan. Untuk keperluan komunikasi, penulis dapat dihubungi melalui email: [samsulkehutanan@gmail.com](mailto:samsulkehutanan@gmail.com).

# Bioenergi

## ENERGI HIJAU DARI ALAM

Buku "Bioenergi: Energi Hijau dari Alam" hadir sebagai upaya memperkenalkan konsep bioenergi secara praktis dan mudah dipahami oleh berbagai kalangan. Dalam beberapa dekade terakhir, dunia menghadapi tantangan serius berupa krisis energi, perubahan iklim, dan degradasi lingkungan. Buku ini menawarkan solusi dengan memanfaatkan energi terbarukan, termasuk bioenergi yang bersumber dari alam seperti kayu, limbah pertanian, dan sisa-sisa organik lainnya.

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan bioenergi karena kekayaan sumber daya hayati yang luar biasa. Buku ini menyajikan informasi dasar mengenai bioenergi, mulai dari definisi, jenis-jenis, sumber, hingga cara pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari. Dengan contoh-contoh praktis dan peluang pemberdayaan masyarakat melalui pengembangan energi berbasis lokal, buku ini dapat menjadi referensi bagi masyarakat umum, pelajar, mahasiswa, dan praktisi lapangan.

Buku ini disusun secara sistematis dan komunikatif, sehingga mudah dipahami oleh pembaca. Dengan demikian, buku ini dapat membantu meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat tentang pentingnya bioenergi sebagai sumber energi terbarukan dan berkelanjutan.



Alinea Indonesia

**Penerbit**  
**ALINEA INDONESIA**  
Jl. Pt. Dulungge  
Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan  
Kode Pos 92753  
[www.alineaIndonesia.com](http://www.alineaIndonesia.com)

ISBN 978-624-96178-6-4



9

786349

617864