

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi global dan urbanisasi yang pesat telah meningkatkan permintaan energi secara signifikan. Permintaan energi global diproyeksikan meningkat 45 persen pada tahun 2030 dibandingkan dengan tahun 2019 (Kementerian EBTKE, 2022), didorong oleh pertumbuhan ekonomi dan populasi (IEA, 2020). Meskipun sumber energi fosil masih menjadi kontributor utama, dampak negatifnya terhadap lingkungan dan ketersediaan terbatas mendorong upaya mencari sumber energi alternatif yang berkelanjutan (1). Salah satu solusi yang menarik adalah pemanfaatan mikroalga dalam sistem bioenergi. Mikroalga memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan karena kemampuannya untuk fotosintesis dengan tingkat efisiensi yang tinggi (2).

Apabila berbicara mengenai ketahanan energi nasional Indonesia, maka Indonesia berada pada angka 6.61 yang mana Indonesia termasuk ke dalam kategori tahan. Ketahanan energi, yaitu ketersediaan sumber energi dan energi baik dari domestik maupun luar negeri (*availability*); kemampuan mengakses sumber energi, infrastruktur jaringan energi, termasuk tantangan geografis dan geopolitik (*accessibility*); keterjangkauan biaya investasi energi, mulai dari biaya eksplorasi, produksi dan distribusi hingga keterjangkauan konsumen terhadap harga energi (*affordability*); serta penggunaan energi yang peduli lingkungan di darat, laut dan udara termasuk penerimaan masyarakat (*acceptability*) (3).

Salah satu sumber daya alam di Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif terbarukan adalah algae. Indonesia memiliki potensi besar untuk memanfaatkan algae sebagai salah satu sumber energi terbarukan alternatif. Hal ini dikarenakan Indonesia memiliki iklim tropis dengan curah hujan tinggi dan sinar matahari berlimpah, dua elemen penting untuk pertumbuhan alga. Hal ini menjadikan Indonesia tempat yang ideal untuk budidaya alga (4). Lebih dari 300 spesies alga laut dan air tawar telah diidentifikasi di Indonesia. Keanekaragaman hayati ini menunjukkan potensi besar untuk pengembangan biofuel dari algae (5). Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, seperti air, lahan, dan biomassa, yang dapat digunakan untuk budidaya algae (6). Pemerintah Indonesia menunjukkan dukungannya terhadap pengembangan bioenergi, termasuk bioenergi dari alga. Dukungan ini memberikan peluang besar untuk pengembangan dan pemanfaatan alga sebagai sumber energi terbarukan (7). Produksi bioenergi berbasis algae berpotensi menyediakan sumber energi yang berkelanjutan dan dapat diandalkan untuk daerah terpencil, sekaligus menciptakan lapangan kerja dan peluang ekonomi (8).

Algae dapat tumbuh di berbagai kondisi lingkungan, mulai dari perairan tawar, air payau, hingga air laut (9). Hal ini membuat algae memiliki potensi untuk tersedia secara luas, baik di wilayah pesisir maupun di wilayah pedalaman (10). Algae dapat menghasilkan biomassa dengan produktivitas yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan algae untuk fotosintesis secara efisien. Rata-rata produktivitas algae untuk menghasilkan biomassa adalah sekitar 20-30 ton per hektar per tahun (11).

Biomassa algae memiliki nilai energi yang tinggi. Nilai energi algae dapat mencapai 20-30 MJ per kilogram. Nilai energi ini setara dengan nilai energi minyak bumi atau batu bara. Sebagai organisme autotrofik, mikroalgae mampu tumbuh dengan cepat dan mengubah karbon dioksida menjadi biomassa yang kaya energi (10). Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa mikroalgae dapat menghasilkan lebih banyak energi daripada tanaman energi tradisional seperti jagung atau tebu (12). Namun, implementasi penuh potensi bioenergi dari mikroalgae masih dihadapkan pada sejumlah tantangan teknis dan ekonomis yang perlu diatasi (13).

Saat ini, teknologi pembiakan mikroalgae dan ekstraksi bioenergi masih terbatas dan tidak efisien (14). Diperlukan pendekatan terpadu yang mencakup seluruh rantai nilai dari pemilihan spesies mikroalgae yang tepat hingga pengembangan teknologi ekstraksi yang efisien (15). Selain itu, peran mikroalgae dalam mengatasi dampak perubahan iklim dan degradasi lingkungan masih memerlukan pemahaman yang lebih mendalam (16).

Sistem bioenergi berbasis mikroalgae juga memunculkan pertanyaan etis terkait dampaknya pada keanekaragaman hayati perairan dan pengaruhnya terhadap sistem ekologis yang ada (17). Ketersediaan lahan dan air yang terbatas dapat menjadi hambatan untuk skala produksi yang signifikan, dan efek samping ekologis harus diukur secara teliti (18).

Secara ekonomis, meskipun biaya produksi mikroalgae telah menurun, tetapi masih perlu pengembangan lebih lanjut untuk membuatnya lebih bersaing dengan sumber energi konvensional (19). Selain itu, keterlibatan sektor swasta dan kebijakan pemerintah menjadi kunci untuk mendorong investasi dalam penelitian dan pengembangan di bidang ini (20).

Upaya pengembangan bioenergi dari mikroalga seharusnya juga diarahkan pada pengembangan produk sampingan yang bernilai tambah, seperti pigmen, *lipid*, dan protein, yang dapat meningkatkan nilai ekonomis dan keberlanjutan dari proses ini (21). Dengan demikian, diperlukan pendekatan holistik yang menggabungkan aspek teknis, ekologis, etis, dan ekonomis untuk mengoptimalkan peran mikroalga dalam sistem bioenergi (22).

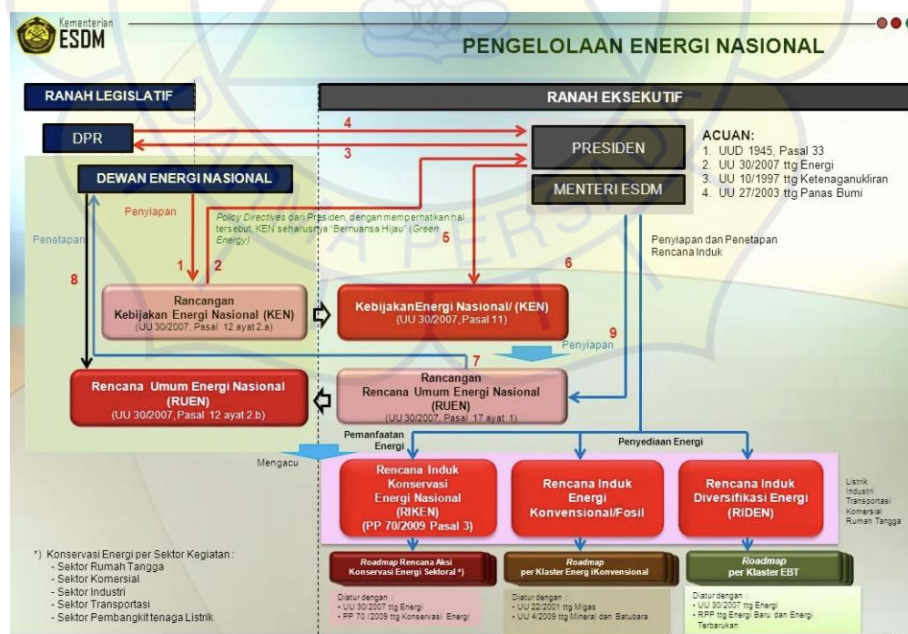
Secara global, beberapa negara telah mengambil langkah maju dalam menerapkan teknologi bioenergi berbasis mikroalga, seperti AS, Cina, dan Australia (23). Namun, adopsi teknologi ini masih terbatas, dan tantangan di tingkat lokal perlu diatasi agar dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi nasional (24).

Dengan memahami secara komprehensif latar belakang masalah ini, penelitian lebih lanjut dapat diarahkan untuk mengembangkan suatu kerangka konseptual yang mampu membimbing penyusunan peta jalan penelitian (*research roadmap*) dalam mendukung industri energi nasional. Oleh karena itu, tesis ini bertujuan untuk mengatasi kekosongan pengetahuan dan merumuskan rencana strategis untuk memajukan penggunaan mikroalga dalam sistem bioenergi secara efektif dan berkelanjutan. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap transformasi energi nasional dan memberikan solusi terhadap tantangan yang dihadapi dalam mewujudkan masa depan energi yang berkelanjutan.

1.1.1 Perkembangan Energi Nasional

Perkembangan energi nasional di Indonesia menggambarkan dinamika kompleks yang dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk keberlanjutan, diversifikasi sumber energi, dan kebijakan pemerintah. Saat ini, Indonesia mengandalkan sumber energi konvensional seperti minyak bumi dan batu bara, tetapi upaya diversifikasi telah menjadi fokus utama untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya yang terbatas dan merugikan lingkungan (25).

Seiring dengan komitmen global terhadap energi terbarukan, Indonesia telah mengalami peningkatan signifikan dalam kapasitas energi terbarukan, terutama energi panas bumi, tenaga surya, dan angin (26). Program pemerintah, seperti Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), memberikan landasan untuk mengintegrasikan sumber energi terbarukan ke dalam portofolio energi nasional (27).



Gambar 1.1 Pengelolaan Energi Nasional (Sumber: Kementerian ESDM)

Akan tetapi, tantangan masih ada dalam mengimplementasikan sumber energi terbarukan secara massal. Kurangnya infrastruktur yang memadai dan regulasi yang konsisten menjadi hambatan dalam mempercepat pertumbuhan sektor energi terbarukan (28). Selain itu, keterbatasan dana dan teknologi cenderung memperlambat investasi dalam energi terbarukan (29).

Batu bara masih memainkan peran krusial dalam bauran energi Indonesia, meskipun ada tekanan global untuk mengurangi penggunaannya karena dampaknya terhadap perubahan iklim. Penyelenggaraan pembangkit listrik berbahan bakar batu bara yang efisien dan bersih menjadi perhatian, sementara upaya terus dilakukan untuk menggantikan pembangkit yang lebih tua dengan yang lebih ramah lingkungan (30).

Selain itu, pengembangan energi nasional di Indonesia juga mencakup peningkatan kapasitas pembangkit listrik tenaga panas bumi. Indonesia memiliki potensi besar dalam sumber daya panas bumi, dan upaya untuk memanfaatkannya terus ditingkatkan sebagai bagian dari strategi diversifikasi energi (31). Meskipun sudah ada beberapa pembangkit listrik tenaga panas bumi yang beroperasi, tantangan infrastruktur dan pembiayaan masih menjadi hal yang perlu diatasi (32).

Sementara itu, sektor energi terbarukan di Indonesia juga mendapatkan dukungan dari sektor swasta melalui investasi yang semakin meningkat. Pihak-pihak swasta terlibat dalam proyek-proyek energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin, sebagai bagian dari komitmen mereka terhadap keberlanjutan dan perubahan iklim (33). Namun, diperlukan langkah-langkah kebijakan lebih lanjut untuk menciptakan lingkungan yang lebih ramah investasi bagi sektor energi terbarukan (34).

Pemerintah Indonesia juga telah mengambil inisiatif untuk memperbarui kebijakan energinya, seperti Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) 2014, yang menjadi kerangka dasar untuk pengembangan energi nasional. RUEN memberikan panduan jangka panjang bagi pengembangan energi, memperhitungkan keberlanjutan, keamanan energi, dan ketersediaan sumber daya (35). Akan tetapi, implementasi RUEN masih menghadapi tantangan dalam pembaruan dan penyesuaian yang terus menerus (36).

Di sisi lain, peran masyarakat dalam pengembangan energi nasional juga semakin diakui. Partisipasi masyarakat dalam proyek-proyek energi terbarukan dapat meningkatkan penerimaan lokal dan mendukung keberlanjutan proyek (37). Pemerintah perlu menjalin dialog yang erat dengan masyarakat untuk memastikan keberlanjutan proyek-proyek energi dan mengatasi potensi konflik kepentingan (38).

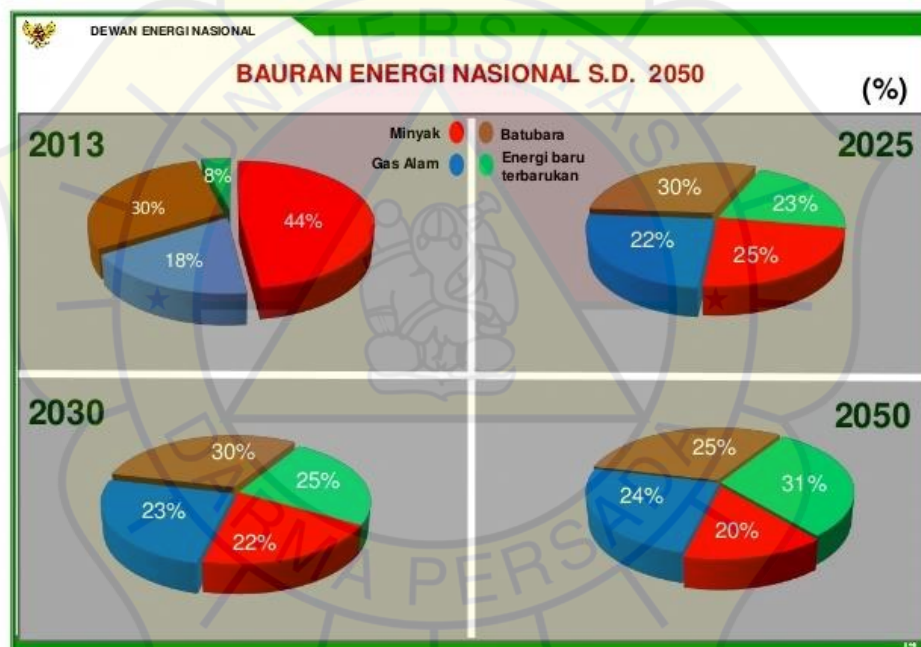
Dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia juga mengeksplorasi potensi energi nuklir sebagai alternatif yang lebih bersih dan efisien. Meskipun masih dalam tahap perencanaan awal, rencana ini mencerminkan upaya untuk mendiversifikasi sumber energi dan meningkatkan keberlanjutan (39).

Penting untuk dicatat bahwa pandemi COVID-19 memberikan dampak signifikan terhadap sektor energi global, termasuk Indonesia. Penurunan permintaan energi dan investasi dapat mempengaruhi rencana pengembangan energi nasional (40).

Dengan semakin kompleksnya tantangan energi global dan tekad untuk mencapai target emisi karbon, Indonesia perlu terus bergerak menuju bauran energi yang lebih berkelanjutan. Koordinasi yang baik antara pemerintah, sektor swasta,

dan masyarakat akan menjadi kunci dalam mencapai tujuan ini, sambil mempertimbangkan keberlanjutan ekonomi dan sosial secara menyeluruh.

Dengan demikian, perkembangan energi nasional Indonesia mencerminkan pergeseran menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan, tetapi masih dihadapkan pada tantangan signifikan dalam implementasi praktisnya. Upaya pemerintah, dukungan internasional, dan inovasi teknologi akan menjadi faktor kunci dalam merumuskan kebijakan dan langkah-langkah strategis untuk mencapai sistem energi yang berkelanjutan di masa depan.



Gambar 1.2 Bauran Energi Nasional (Sumber: Dewan Energi Nasional)

1.1.2 Peran Bioenergi dalam Konteks Energi Nasional

Bioenergi memiliki peran krusial dalam konteks energi nasional, memberikan kontribusi signifikan dalam upaya diversifikasi sumber energi, peningkatan keberlanjutan, dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Bioenergi terdiri dari energi

yang dihasilkan dari biomassa, termasuk bahan bakar dari tanaman, limbah pertanian, dan organisme mikroskopis seperti algae.

Salah satu kontribusi utama bioenergi terletak pada potensinya sebagai sumber energi terbarukan yang dapat memitigasi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar dapat membantu mengurangi emisi karbon dioksida dan bahan kimia beracun ke atmosfer, mendukung langkah-langkah mitigasi perubahan iklim. Bioenergi juga dapat berperan dalam memitigasi tantangan energi terkait ketidakpastian pasokan energi. Keberagaman sumber biomassa dan fleksibilitas dalam pemanfaatannya memberikan kestabilan dalam pasokan energi nasional. Bioenergi dapat dihasilkan secara lokal, mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil dan meningkatkan keamanan energi negara (41).

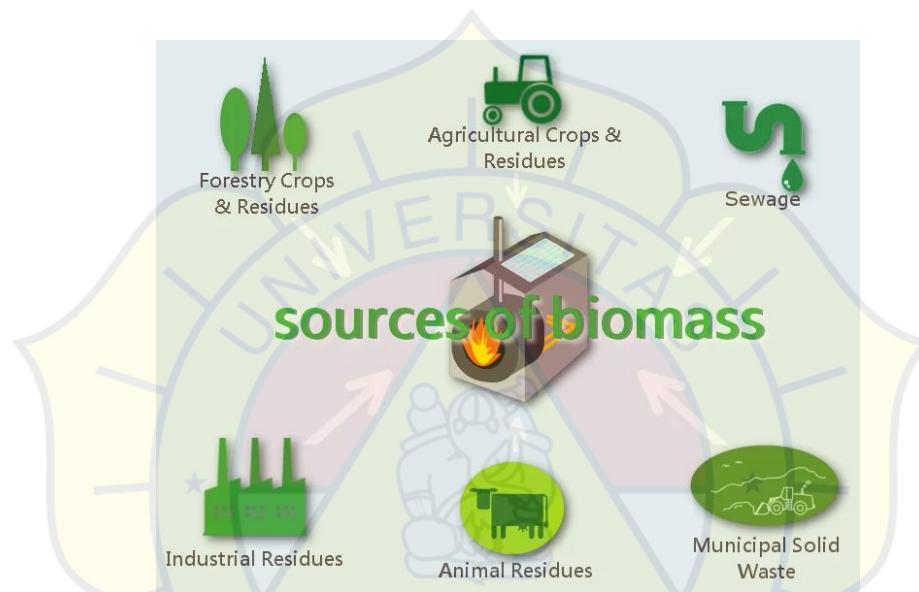
Bioenergi juga memainkan peran penting dalam peningkatan keberlanjutan energi nasional. Produksi biomassa dapat menjadi alternatif yang lebih berkelanjutan daripada sumber daya fosil yang terbatas. Pendekatan ini mendukung konsep ekonomi sirkular, di mana limbah pertanian atau industri dapat diubah menjadi sumber energi, menciptakan nilai tambah bagi berbagai sektor (42).

Dalam konteks energi nasional Indonesia, bioenergi memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi sambil mengatasi tantangan keberlanjutan. Indonesia memiliki lahan yang luas dan beragam jenis biomassa yang dapat dimanfaatkan, seperti kelapa sawit untuk produksi biodiesel atau biomassa dari limbah pertanian untuk pembangkit listrik (43).

Selain itu, bioenergi dapat menjadi pendorong pertumbuhan ekonomi di sektor pertanian dan pedesaan. Pengembangan tanaman energi seperti jarak pagar

atau tumbuhan bioenergi khusus lainnya dapat menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan pendapatan petani (44).

Meskipun demikian, perlu dicatat bahwa implementasi bioenergi tidak tanpa tantangan. Diperlukan kebijakan yang tepat dan regulasi yang mendukung, serta inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi produksi dan mengatasi masalah lingkungan terkait, seperti deforestasi atau kompetisi dengan lahan pangan (45).



Gambar 1.3 Sumber Biomassa (Source: Bioenergy Consult)

Seiring dengan perkembangan teknologi, bioenergi juga dapat menjadi solusi untuk masalah pengelolaan limbah organik. Proses konversi limbah organik menjadi biogas atau bioetanol tidak hanya mengurangi dampak lingkungan dari limbah tersebut, tetapi juga menciptakan sumber energi yang bernilai. Pengelolaan limbah organik melalui bioenergi menciptakan siklus yang lebih berkelanjutan dalam penggunaan sumber daya (46).

Pentingnya peran bioenergi semakin diakui secara global, dan banyak negara mengadopsi kebijakan untuk mendorong pengembangan sumber energi ini.

Kehadiran target energi terbarukan dalam berbagai rencana strategis nasional mencerminkan komitmen untuk mengintegrasikan bioenergi sebagai bagian integral dari portofolio energi. Indonesia, melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan Rencana Aksi Nasional Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK), juga mencerminkan kesadaran akan peran penting bioenergi dalam mencapai target energi terbarukan dan mengurangi emisi (35,47).

Selain itu, perkembangan teknologi bioenergi yang lebih efisien dapat membuka pintu untuk mengatasi beberapa masalah kritis yang terkait dengan produksi energi. Pengembangan bioteknologi, seperti modifikasi genetik pada mikroorganisme atau tanaman bioenergi, dapat meningkatkan produktivitas biomassa dan meningkatkan kualitas bahan bakar bio (48). Inovasi semacam ini dapat membantu meningkatkan daya saing bioenergi dalam bauran energi nasional.

Penting untuk diingat bahwa bioenergi tidak hanya tentang produksi energi, tetapi juga tentang membangun ekosistem ekonomi yang berkelanjutan. Pengembangan rantai pasokan bioenergi menciptakan lapangan kerja di sektor pertanian, pengolahan, dan distribusi, mendukung pertumbuhan ekonomi lokal (49). Dengan meningkatnya permintaan akan bioenergi, potensi untuk pembangunan ekonomi yang inklusif dapat semakin ditingkatkan.

Akan tetapi, dalam mengoptimalkan peran bioenergi, tantangan etika dan sosial perlu diatasi. Pemberdayaan masyarakat lokal dan pendekatan yang melibatkan pihak-pihak terkait dapat memastikan bahwa implementasi bioenergi memperhitungkan dampak sosial dan lingkungan dengan adil (50). Pendekatan ini memerlukan kerjasama yang erat antara pemerintah, industri, dan masyarakat untuk memastikan keberlanjutan dan penerimaan publik.

Dalam pandangan keseluruhan, peran bioenergi dalam konteks energi nasional sangat dinamis dan memiliki potensi besar untuk membentuk masa depan energi yang berkelanjutan. Dengan terus mendorong inovasi, kebijakan yang mendukung, dan keterlibatan masyarakat, Indonesia dapat memanfaatkan kekayaan sumber daya biomassa dan memainkan peran penting dalam mendukung transformasi global menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Melalui pendekatan yang holistik, bioenergi dapat menjadi salah satu pilar utama yang membentuk peta jalan menuju masa depan energi nasional yang berkelanjutan, inklusif, dan ramah lingkungan.

1.2 Permasalahan Penelitian

Penelitian berjudul "*Algae Dalam Sistem Bioenergi: Sumber Energi Terbarukan untuk Mendukung Energi Nasional*" bertujuan untuk merumuskan kerangka konseptual untuk pengembangan peta jalan penelitian algae sebagai sistem bioenergi yang mendukung kebutuhan energi nasional. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya kebutuhan energi nasional dan potensi algae sebagai sumber bioenergi yang berkelanjutan. Namun, ketersediaan teknologi budidaya dan konversi algae yang masih belum memadai serta mahal biaya investasi menjadi permasalahan yang perlu dipecahkan.

Penelitian ini akan dilakukan dengan metode kajian pustaka lalu dilakukan olah data analisis data sekunder. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi para peneliti dan pemangku kepentingan untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut algae sebagai sistem bioenergi untuk mendukung energi nasional.

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kerangka konseptual yang dapat menjadi pedoman bagi pengembangan penelitian algae sebagai sistem bioenergi di Indonesia dalam mendukung energi nasional. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam upaya memenuhi kebutuhan energi nasional yang berkelanjutan.

1.2.1 Urgensi Pengembangan Bioenergi

Urgensi pengembangan bioenergi menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan global terkait dengan keberlanjutan energi, perubahan iklim, dan ketergantungan pada sumber daya energi konvensional yang terbatas. Bioenergi, yang dihasilkan dari biomassa seperti tanaman, limbah pertanian, dan mikroorganisme, menawarkan potensi besar sebagai sumber energi terbarukan yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengatasi perubahan iklim. Dengan keterbatasan sumber daya fosil dan ancaman terus meningkatnya tingkat emisi karbon dioksida, bioenergi memberikan alternatif yang dapat mengurangi jejak karbon dan meningkatkan keberlanjutan bauran energi (41,51).

Pengembangan bioenergi juga memiliki implikasi positif terhadap keamanan energi nasional. Dengan mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil, negara-negara dapat meningkatkan ketahanan energi mereka dan mengurangi risiko terhadap fluktuasi harga dan pasokan energi global (52). Bioenergi juga memberikan peluang ekonomi yang signifikan, terutama di sektor pertanian dan industri bioenergi yang dapat menciptakan lapangan kerja baru dan meningkatkan pendapatan petani (53).

Aspek lain yang memperkuat urgensi pengembangan bioenergi adalah kontribusinya terhadap diversifikasi sumber energi. Dengan menggunakan berbagai jenis biomassa, termasuk limbah organik, tanaman energi, dan mikroalga, bioenergi dapat memperluas portofolio energi suatu negara dan mengurangi risiko terhadap fluktuasi harga dan pasokan energi dari satu sumber tertentu (54).

Perjalanan pengembangan bioenergi tidaklah tanpa tantangan. Aspek-aspek seperti efisiensi produksi, dampak lingkungan, dan persaingan dengan lahan pangan menjadi perhatian utama. Oleh karena itu, penelitian dan inovasi terus diperlukan untuk mengatasi kendala teknis dan ekonomis serta meminimalkan dampak negatif potensial (55).

Keberlanjutan bioenergi juga memerlukan ketegasan dalam pengelolaan sumber daya alam. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biomassa harus diintegrasikan dengan praktik-praktik pertanian berkelanjutan dan kebijakan yang mendukung pelestarian ekosistem (56). Oleh karena itu, pentingnya pengembangan bioenergi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan harus menjadi fokus dalam kerangka kerja kebijakan nasional dan internasional.

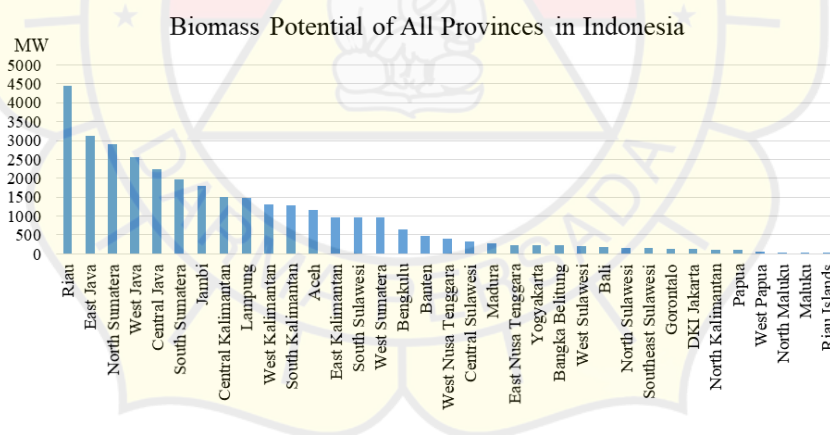
Pengembangan bioenergi juga harus melibatkan masyarakat secara luas untuk memastikan penerimaan dan dukungan publik. Dukungan sosial dapat memainkan peran kunci dalam keberhasilan implementasi teknologi bioenergi di tingkat komunitas dan nasional (57).

Dalam konteks pengembangan bioenergi, penggunaan teknologi informasi dan komunikasi dapat memainkan peran vital dalam pengelolaan rantai pasokan, pemantauan produksi, dan peningkatan efisiensi operasional secara keseluruhan (58).

Tantangan besar yang dihadapi dalam pengembangan bioenergi adalah bagaimana memperhitungkan faktor-faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan secara serentak. Pemahaman yang lebih baik tentang implikasi sosial dan lingkungan dari produksi bioenergi diperlukan untuk memastikan bahwa bioenergi benar-benar memberikan kontribusi positif terhadap keberlanjutan (49).

Selain itu, regulasi dan kebijakan yang mendukung pengembangan bioenergi perlu dirumuskan dan diimplementasikan secara efektif untuk menciptakan lingkungan bisnis yang kondusif dan mempercepat adopsi teknologi bioenergi (59).

Dalam hal ini, investasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi bioenergi menjadi kunci untuk merumuskan solusi inovatif yang dapat mengatasi kendala teknis, meningkatkan efisiensi produksi, dan meningkatkan keberlanjutan (60).



Gambar 1.4 Potensi Biomassa di Indonesia (Sumber: (61))

Tabel 1.1 Jenis Biomassa dan Potensi Energi yang Dihasilkan (Sumber: Kementerian ESDM, 2019)

PROVINCE	ELECTRICAL POTENTIAL (MW)										
	PALM OIL	SUGAR CANE	RUBBER WOOD	COCONUT	RICE HUSK	CORN	CASSAVA	WOOD	LIVESTOCK	GARBAGE	TOTAL
Riau	2.888		430	24	88	5	1	962	6	32	4.436
East Java		630		11	1.476	460	35	4	140	367	3.123
North Sumatera	1.927	30	220	5	472	111	11	4	16	99	2.895
West Java	22	62		6	1.772	90	28	4	15	558	2.557
Central Java		138		10	1.431	262	39	3	70	278	2.231
South Sumatera	1.187	43	70	3	492	10	4	91	9	62	1.971
Jambi	840		687	6	96	4	1	148	4	15	1.801
Central Kalimantan	1.234		140	4	99	1	2	18	2	10	1.510
Lampung	179	326	114	6	448	217	89	6	27	57	1.469
West Kalimantan	758		285	4	205	19	3	7	6	23	1.310
South Kalimantan	574		386	2	281	9	1	13	5	19	1.290
Aceh	646		233	3	240	13	1		17	21	1.174
East Kalimantan	837		43	1	58	2	1	5	3	15	965
South Sulawesi	25	22		5	696	119	7	18	36	33	961
West Sumatera	485		55	5	337	36	2	1	12	23	956
Bengkulu	434		108		79	11	1		4	8	645
Banten	41			3	297	3	1		2	117	464
West Nusa Tenggara				3	315	31	1	1	25	28	404
Central Sulawesi	117			11	158	18	1	1	8	11	325
Madura				3	120	90	5		32	31	281
East Nusa Tenggara				3	90	64	17	18	28	20	240
Yogyakarta		15		3	126	30	9		14	27	224
Bangka Belitung	214				3					5	222
West Sulawesi	134			2	56	5	1		3	5	206
Bali				4	131	10	1		23	22	191
North Sulawesi				15	88	45	1		4	10	163
Southeast Sulawesi	47			2	69	11	3	1	8	10	151
Gorontalo		20		3	42	54			7	4	130
DKI Jakarta					1					126	127
North Kalimantan	118										118
Papua	42			13	16	1	1	9	2	12	96
West Papua	33			1	4			12	3	2	55
North Maluku				14	9		1	1	2	5	34
Maluku				4	13	2	1	3	3	7	33
Riau Islands	10			1					1	3	15
TOTAL	12.792	1.286	2.771	180	9.808	1.735	269	1.330	537	2.065	32.773

Keberhasilan pengembangan bioenergi juga sangat bergantung pada kerjasama internasional. Pertukaran pengetahuan, teknologi, dan pengalaman antarnegara dapat mempercepat inovasi dan memperluas dampak positif dari pengembangan bioenergi (63).

Dalam konteks peningkatan efisiensi penggunaan biomassa, strategi pemanfaatan limbah organik dan proses konversi yang lebih efisien, seperti pirolisis

dan gasifikasi, dapat memaksimalkan potensi bioenergi dari sumber daya biomassa yang terbatas (64).

Pentingnya pendekatan holistik dalam pengembangan bioenergi juga harus mencakup aspek pendidikan dan kesadaran masyarakat. Penyuluhan dan edukasi masyarakat tentang manfaat bioenergi dan cara penggunaannya dapat merangsang penerimaan dan partisipasi yang lebih besar (65).

Dalam konteks globalisasi, kerjasama internasional dalam pengembangan bioenergi dapat menciptakan sinergi antarnegara dan menghasilkan keuntungan bersama. Pertukaran teknologi, sumber daya, dan kebijakan dapat mempercepat kemajuan bioenergi di tingkat global (66).

Dalam menjawab panggilan untuk mengurangi emisi karbon, pengembangan bioenergi juga berperan dalam mendukung tercapainya target energi terbarukan dan pengurangan emisi gas rumah kaca sesuai dengan kesepakatan internasional seperti Perjanjian Paris (67).

Perlu dicatat bahwa urgensi pengembangan bioenergi juga mencerminkan upaya global untuk mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Kontribusi bioenergi dapat membantu mencapai beberapa SDGs, seperti SDG 7 (Energi Bersih dan Terjangkau), SDG 13 (Tindakan untuk Perubahan Iklim), dan SDG 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi). Implementasi bioenergi secara berkelanjutan dapat membuka peluang baru untuk akses energi yang lebih baik, menciptakan lapangan kerja di sektor energi terbarukan, dan mengurangi dampak negatif perubahan iklim (68).

Dalam menerapkan urgensi pengembangan bioenergi, perhatian terhadap aspek keadilan sosial juga menjadi esensial. Dalam kerangka pembangunan

bioenergi, harus ada upaya untuk meminimalkan ketidaksetaraan dan memastikan bahwa manfaat dari pemanfaatan bioenergi didistribusikan secara adil di seluruh lapisan masyarakat (69).

Kritik terhadap bioenergi seringkali terkait dengan potensi dampak negatif pada penggunaan lahan dan ketidaksetaraan dalam akses dan manfaatnya. Oleh karena itu, penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan dan *governance* yang baik dalam pengembangan bioenergi menjadi penting untuk meminimalkan dampak yang tidak diinginkan (70).

Sebagai sumber energi terbarukan yang dapat diperbaharui, bioenergi dapat berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan emisi gas rumah kaca dan penggantian bahan bakar fosil. Namun, untuk mencapai potensi penuh bioenergi dalam mengatasi perubahan iklim, perlu adanya upaya terkoordinasi dalam pengembangan teknologi dan kebijakan yang mendukung (45).

Dalam konteks ekonomi global yang terus berubah, bioenergi juga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada energi impor dan meningkatkan ketahanan energi nasional. Diversifikasi sumber energi melalui penggunaan bioenergi dapat menciptakan kestabilan dalam pasokan energi dan mengurangi dampak fluktuasi harga bahan bakar fosil di pasar global (71).

Dalam menghadapi urgensi pengembangan bioenergi, peran sektor swasta juga menjadi penting. Investasi dan keterlibatan perusahaan dalam pengembangan teknologi bioenergi dapat mempercepat adopsi inovasi dan menciptakan model bisnis yang berkelanjutan (72). Mekanisme keuangan yang memfasilitasi investasi swasta dalam proyek-proyek bioenergi perlu diperkuat dan didorong oleh kebijakan yang mendukung (73).

Sebagai kesimpulan, urgensi pengembangan bioenergi sangat besar dalam menghadapi berbagai tantangan global. Dalam konteks perubahan iklim, keberlanjutan, dan keamanan energi, bioenergi menawarkan solusi yang dapat memainkan peran integral dalam transformasi sistem energi global. Dengan memperhitungkan aspek-aspek teknis, ekonomis, sosial, dan lingkungan secara holistik, pengembangan bioenergi dapat menjadi pilar penting dalam mencapai tujuan keberlanjutan dan menciptakan masa depan energi yang lebih bersih, lebih berkelanjutan, dan lebih inklusif.

1.2.2 Algae sebagai Sumber Bioenergi

Algae, atau ganggang, menjadi sorotan dalam penelitian bioenergi sebagai sumber energi terbarukan yang menjanjikan. Algae memiliki sejumlah karakteristik unik yang menjadikannya kandidat yang menarik dalam produksi bioenergi. Sebagai sumber bioenergi, algae menawarkan beberapa keuntungan signifikan. Pertama-tama, algae memiliki kemampuan fotosintesis yang efisien, mampu mengubah energi matahari menjadi biomassa dengan tingkat efisiensi yang tinggi (2). Selain itu, algae dapat tumbuh dengan cepat dan di berbagai kondisi lingkungan, termasuk air yang tidak digunakan untuk pertanian, mengurangi tekanan pada sumber daya lahan (74).

Bioenergi yang dihasilkan dari algae dapat berbentuk beragam, termasuk biodiesel, bioetanol, dan biogas. Proses konversi algae menjadi biodiesel melalui transesterifikasi telah menjadi fokus penelitian yang signifikan. Biodiesel algae memiliki potensi untuk menjadi alternatif yang lebih berkelanjutan dan ramah

lingkungan daripada biodiesel konvensional yang dihasilkan dari tanaman pangan (2).

Algae juga dapat digunakan untuk menghasilkan bioetanol, bahan bakar cair yang umum digunakan. Proses fermentasi dari gula yang dihasilkan oleh algae dapat menghasilkan bioetanol, menyediakan opsi lain dalam upaya diversifikasi sumber energi (75). Selain itu, algae dapat menjadi sumber biogas melalui proses anaerobik, menghasilkan metana yang dapat digunakan sebagai bahan bakar (76).

Penelitian telah menyoroti keberlanjutan algae sebagai sumber bioenergi. algae dapat tumbuh di lahan yang tidak produktif atau bahkan menggunakan air kotor dan limbah industri, membantu mengurangi persaingan dengan lahan pangan dan meminimalkan dampak lingkungan (13). Pendekatan ini memenuhi prinsip-prinsip keberlanjutan yang semakin menjadi fokus dalam pengembangan bioenergi.

Meskipun potensi algae sebagai sumber bioenergi sangat menjanjikan, sejumlah tantangan teknis dan ekonomis tetap perlu diatasi. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengatasi kendala biaya produksi, dan mengembangkan teknologi ekstraksi yang lebih efisien (15). Sistem kultivasi algae yang terkendali dan berkelanjutan juga menjadi fokus penelitian untuk memastikan produksi biomassa yang stabil dan berkelanjutan (77).

Pentingnya regulasi dan kebijakan yang mendukung pengembangan algae sebagai sumber bioenergi juga tidak bisa diabaikan. Fasilitas dari pemerintah dan dukungan kebijakan dapat memberikan insentif bagi industri dan penelitian untuk terus mengembangkan potensi algae dalam mendukung keberlanjutan energi nasional (78).

Beberapa studi menyoroti pentingnya pendekatan berbasis siklus hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari produksi algae sebagai sumber bioenergi. LCA membantu mengidentifikasi area-area di mana perbaikan dapat dilakukan untuk meminimalkan dampak lingkungan dari tahap pertumbuhan hingga konversi bioenergi (79).

Dalam rangka memaksimalkan potensi algae sebagai sumber bioenergi, kolaborasi lintas disiplin ilmu dan sektor juga menjadi kunci. Sinergi antara penelitian, industri, dan pemerintah akan mempercepat inovasi, transfer teknologi, dan penerapan skala besar (80).

Penting untuk mencatat bahwa upaya pengembangan algae sebagai sumber bioenergi tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga sosial dan ekonomis. Melibatkan masyarakat lokal, mengedukasi mereka tentang manfaat algae bioenergi, dan memperhatikan aspek sosial ekonomi lokal akan membantu menciptakan penerimaan publik dan mendukung perkembangan industri bioenergi algae (81).

Dalam menanggapi kebutuhan energi global yang terus meningkat, pengembangan algae sebagai sumber bioenergi dapat menjadi salah satu solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Kajian lebih lanjut tentang ketersediaan lahan yang cocok, variasi jenis algae yang paling efisien, dan metode pertanian algae yang berkelanjutan dapat membantu membentuk pandangan yang lebih komprehensif terkait potensi dan batasan bioenergi dari algae (82).

Dalam menghadapi perubahan iklim, potensi algae sebagai perekat karbon menjadi lebih menonjol. Proses fotosintesis algae dapat membantu menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer, membantu mengurangi jumlah gas rumah kaca dan memberikan dampak positif terhadap mitigasi perubahan iklim (83). Studi

lebih lanjut mengenai kapasitas algae dalam menyimpan karbon dan berbagai teknik peningkatan kapasitas serapan karbon algae dapat membuka peluang baru untuk memitigasi dampak perubahan iklim.

Pentingnya penelitian ini juga tercermin dalam kerangka global, di mana badan-badan internasional dan organisasi lingkungan berkomitmen untuk mencari alternatif energi terbarukan yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dukungan dari organisasi seperti *International Energy Agency* (IEA) dan *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) menunjukkan bahwa algae sebagai sumber bioenergi mendapatkan perhatian signifikan dalam upaya global untuk mengatasi isu energi dan iklim (84,85).

Akan tetapi, perlu diakui bahwa perkembangan algae sebagai sumber bioenergi tidak dapat diisolasi dari konteks global yang lebih luas, termasuk faktor-faktor seperti harga minyak, dinamika pasar energi global, dan perubahan kebijakan pemerintah. Oleh karena itu, upaya terus menerus dalam riset dan kolaborasi internasional diperlukan untuk memahami dan mengatasi tantangan dan peluang yang muncul dalam pengembangan algae sebagai sumber bioenergi (86).

Dalam kesimpulannya, algae sebagai sumber bioenergi memiliki potensi besar untuk memainkan peran penting dalam mencapai tujuan keberlanjutan dan mengatasi tantangan global terkait energi dan iklim. Dengan menggabungkan penelitian teknis, pengembangan kebijakan yang mendukung, dan kolaborasi lintas sektor, pengembangan algae sebagai sumber bioenergi dapat menjadi langkah positif menuju masa depan energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

1.3 Tujuan Penelitian

Pentingnya mengidentifikasi sumber energi terbarukan yang berkelanjutan semakin meningkat dalam rangka mencapai tujuan keberlanjutan energi global. Sebagai tanggapan terhadap tuntutan ini, bioenergi berbasis algae, khususnya dalam konteks budidaya algae di Indonesia, menjadi fokus penelitian ini. Tesis ini bertujuan untuk mengembangkan kerangka konseptual dan peta jalan penelitian yang mendukung energi nasional, dengan kasus studi pada budidaya algae di Indonesia. Dalam upaya untuk menjawab pertanyaan dan tantangan dalam pengembangan bioenergi algae di tingkat lokal, berikut adalah empat tujuan penelitian yang akan dibahas.

1) Mengkaji Potensi dan Keunggulan Algae sebagai Sumber Bioenergi

Tujuan ini akan mengkaji potensi dan keunggulan algae sebagai sumber bioenergi dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Hal ini meliputi: Produktivitas biomassa, keanekaragaman hayati, keberlanjutan, dan dampak lingkungan dari penggunaan algae sebagai sumber alternatif energi terbarukan.

2) Menganalisis Tantangan dan Hambatan dalam Pengembangan Bioenergi Berbasis Algae di Indonesia

Tujuan ini akan menganalisis tantangan dan hambatan dalam pengembangan bioenergi berbasis algae di Indonesia, seperti: Biaya produksi, teknologi, infrastruktur, sumber daya manusia, dan kebijakan. Pengembangan bioenergi berbasis algae di Indonesia masih membutuhkan banyak upaya untuk mengatasi berbagai tantangan dan hambatan yang ada. Upaya ini perlu dilakukan oleh pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat secara bersama-sama.

3) Merumuskan Strategi dan Solusi untuk Pengembangan Bioenergi Berbasis Algae yang Efektif dan Efisien di Indonesia

Pengembangan bioenergi berbasis algae di Indonesia memiliki potensi besar untuk mendukung ketahanan energi nasional. Namun, untuk mencapai potensi tersebut, beberapa strategi dan solusi perlu dirumuskan dan diimplementasikan secara efektif dan efisien. Dengan implementasi strategi dan solusi yang tepat, pengembangan bioenergi berbasis algae di Indonesia dapat menjadi solusi yang efektif dan efisien untuk mengatasi krisis energi dan meningkatkan ketahanan energi nasional.

4) Mengembangkan Model Sistem Bioenergi Berbasis Algae yang Optimal untuk Mendukung Energi Nasional

Mengembangkan model sistem bioenergi berbasis algae yang optimal untuk mendukung energi nasional berarti merancang dan membangun sistem yang terintegrasi dan efisien untuk memanfaatkan algae sebagai sumber energi terbarukan. Sistem ini harus mempertimbangkan berbagai aspek, mulai dari budidaya algae, pengolahan bioenergi, distribusi dan penggunaan biofuel serta meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan sosial.

Dengan demikian, dengan merinci tujuan penelitian ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang nyata terhadap pengembangan bioenergi berbasis algae di tingkat lokal, serta memberikan wawasan yang bermanfaat bagi pengambil kebijakan, akademisi, dan pelaku industri di sektor energi nasional.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang berjudul "*Algae Dalam Sistem Bioenergi Sebagai Sumber Energi Terbarukan untuk Mendukung Energi Nasional*" mengusung tema bioenergi berbasis algae dengan mengeksplorasi algae di Indonesia. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memahami potensi bioenergi algae secara umum, tetapi juga untuk mengaplikasikan pemahaman tersebut dalam konteks lokal. Dalam rangka pencapaian tersebut, di bawah ini disajikan manfaat penelitian secara teoretis dan praktis.

1.4.1 Manfaat Teoretis

1) Pengembangan Kerangka Konseptual yang Mendalam

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan kerangka konseptual yang lebih mendalam tentang pemanfaatan bioenergi algae, khususnya algae, di tingkat lokal. Ini akan memberikan kontribusi penting terhadap literatur ilmiah di bidang bioenergi dan mengisi celah pengetahuan terkait penerapan konsep bioenergi di wilayah tertentu.

2) Kontribusi Pada Teori Bioenergi dan Pembangunan Berkelanjutan

Dengan fokus pada pembangunan berkelanjutan dan penerapan bioenergi dalam konteks nasional, penelitian ini dapat menyumbang pada pengembangan teori bioenergi yang lebih terkait dengan isu-isu pembangunan berkelanjutan, keberlanjutan lingkungan, dan keberlanjutan sosial.

3) Integrasi Prinsip-Prinsip Berkelanjutan dalam Kerangka Konseptual

Penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan, seperti keadilan sosial dan dampak lingkungan positif, dalam kerangka konseptual dapat membantu memperkaya

literatur keberlanjutan dan memberikan dasar teoritis bagi penelitian lebih lanjut di bidang ini.

1.4.2 Manfaat Praktis

1) **Pembentukan Peta Jalan Praktis untuk Pengembangan Bioenergi**

Dengan menghasilkan peta jalan penelitian yang praktis, penelitian ini dapat memberikan panduan operasional bagi pemerintah daerah, pelaku industri, dan masyarakat setempat untuk melaksanakan inisiatif bioenergi berbasis algae.

2) **Rekomendasi Strategi yang dapat Diimplementasikan**

Manfaat praktisnya melibatkan formulasi rekomendasi strategi yang dapat diimplementasikan di tingkat lokal. Hal ini dapat membantu pemerintah daerah dalam menciptakan regulasi yang mendukung pengembangan industri bioenergi algae di wilayah tersebut.

3) **Pemberdayaan Masyarakat dan Ekonomi Dengan memahami dampak sosial dan ekonomi dari budidaya algae untuk bioenergi, penelitian ini dapat memberikan informasi yang dapat digunakan untuk memberdayakan masyarakat lokal dan meningkatkan kesejahteraan ekonomi mereka melalui sektor bioenergi.**

4) **Mendukung Pembangunan Infrastruktur Bioenergi**

Hasil penelitian dapat memberikan dasar untuk pengembangan infrastruktur bioenergi di tingkat lokal, termasuk peningkatan kapasitas produksi dan pengoptimalan penggunaan sumber daya lokal.

Dengan merinci manfaat penelitian ini secara teoretis dan praktis, diharapkan bahwa hasil penelitian akan memiliki dampak positif dalam mengarahkan pengembangan bioenergi berbasis algae di tingkat lokal serta memberikan kontribusi lebih lanjut pada pemahaman global tentang potensi dan tantangan bioenergi algae.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini berfokus pada eksplorasi potensi bioenergi algae, khususnya melibatkan budidaya algae di Indonesia. Dengan judul "*Algae Dalam Sistem Bioenergi Sebagai Sumber Energi Terbarukan untuk Mendukung Energi Nasional*" penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi pemahaman teoretis dan penerapan praktis terhadap pengembangan bioenergi algae di tingkat lokal. Di bawah ini adalah lima ruang lingkup penelitian yang akan dijelaskan lebih lanjut.

1. Pemetaan Potensi Algae sebagai Sumber Bioenergi

Penelitian ini akan memeriksa dan memetakan potensi algae dalam menghasilkan biomassa untuk bioenergi. Faktor-faktor seperti jenis algae, musim tumbuh, dan kondisi lingkungan lokal akan menjadi fokus untuk menilai kapasitas produksi.

2. Pengembangan Konsep Bioenergi Algae Berkelanjutan

Ruang lingkup ini mencakup pengembangan kerangka konseptual yang merinci aspek-aspek teknis, ekonomis, dan keberlanjutan yang relevan dalam penerapan bioenergi algae di Indonesia

3. Analisis Dampak Lingkungan dan Sosial

Penelitian akan menganalisis dampak budidaya algae untuk bioenergi terhadap lingkungan dan masyarakat. Ini mencakup perubahan penggunaan lahan, keseimbangan ekosistem, dan partisipasi masyarakat.

4. Formulasi Rekomendasi Strategis

Penelitian ini akan memberikan rekomendasi strategis yang dapat diimplementasikan di tingkat lokal untuk menciptakan lingkungan yang mendukung pengembangan industri bioenergi algae. Ini mencakup aspek regulasi dan insentif kebijakan.

1.6 Kerangka Penelitian

Sistematika penulisan tesis dengan judul “Algae Dalam Sistem Bioenergi Sebagai Sumber Energi Terbarukan Untuk Mendukung Energi Nasional” dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab pendahuluan akan membuka tesis dengan merinci latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan urgensi penelitian. Bab ini juga akan memperkenalkan pembaca pada konteks bioenergi algae, dengan menyoroti potensi dan relevansinya dalam mendukung industri energi nasional. Terakhir, bab ini akan menguraikan batasan penelitian dan kerangka konseptual yang melandasi penelitian.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka akan menyajikan kajian literatur tentang bioenergi algae secara umum, dengan penekanan pada budidaya algae sebagai studi kasus.

Bab ini akan menjelaskan perkembangan teoritis terkait bioenergi algae, kerangka konseptual, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab metodologi penelitian akan menjelaskan pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini. Ini mencakup deskripsi metode pengumpulan data, prosedur analisis, serta pemilihan sampel dan lokasi studi. Bab ini juga akan merinci langkah-langkah yang diambil dalam mengembangkan kerangka konseptual dan peta jalan penelitian.

4. Bab IV Hasil Penelitian & Diskusi

Bab hasil penelitian akan menyajikan temuan utama dari penelitian ini. Ini melibatkan analisis potensi biomassa algae, kerangka konseptual pengembangan bioenergi algae, analisis dampak lingkungan dan sosial, serta peta jalan penelitian yang dikembangkan. Hasil dari formulasi rekomendasi strategis juga akan dibahas di bab ini.

5. Bab V Kesimpulan & Rekomendasi

Bab kesimpulan dan rekomendasi akan merangkum temuan utama dan menghubungkannya kembali ke tujuan penelitian. Bab ini juga akan menyajikan rekomendasi praktis untuk pengembangan bioenergi algae di Indonesia, termasuk rekomendasi kebijakan dan langkah-langkah strategis berdasarkan hasil penelitian.