

BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 Konsep Biomassa sebagai Energi Alternatif

2.1.1 Definisi dan Jenis Biomassa

Biomassa adalah istilah yang merujuk pada setiap bahan organik yang berasal dari hasil sampingan industri pertanian dan kehutanan yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi. Biomassa merupakan sumber energi yang netral karbon dan dapat diperbarui karena emisi karbon yang dilepaskan selama proses energi setara dengan jumlah karbon yang diserap selama pertumbuhan. Dalam sektor bioenergi global, biomassa hutan menyumbang sekitar 87% dari pasokan biomassa, sedangkan biomassa pertanian seperti hasil sampingan hewan, hasil sampingan tanaman, dan tanaman energi berkontribusi sebesar 10%. Sisanya, yaitu sekitar 3%, berasal dari limbah padat kota (MSW) dan gas dari tempat pembuangan sampah.

Jenis-jenis biomassa meliputi:

1. Biomassa hutan: mencakup kayu bakar, dahan pohon, dedaunan, sisa-sisa penebangan, batang pohon, dan akar pohon. Di India, biomassa hutan menghasilkan sekitar 89,11 juta ton per tahun, di mana 59,68 juta ton adalah surplus yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik.

2. Biomassa pertanian: termasuk limbah tanaman seperti jerami padi, sekam padi, sisa gandum, batang jagung, dan bagasse. India menghasilkan sekitar 511,04 juta ton biomassa pertanian per tahun, dan 145,02 juta ton di antaranya adalah surplus untuk pembangkitan listrik.
3. Limbah kota dan gas tempat pembuangan sampah: menyumbang sekitar 3% dari total pasokan biomassa global dan digunakan untuk pembangkitan listrik serta pemanasan.

Biomassa digunakan secara luas sebagai sumber energi untuk listrik, pemanasan, dan transportasi, serta dianggap sebagai alternatif yang menjanjikan untuk diversifikasi sumber energi secara global [6].

Biomassa memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya alternatif energi yang menarik. Biomassa dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dalam jangka panjang, serta mengurangi polutan seperti sulfur oksida (SOX) dan nitrogen oksida (NOX) dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Sebagai sumber energi yang dapat diperbarui, biomassa memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan meningkatkan keamanan energi. Contohnya, di China, biomassa mampu memenuhi 17,65% dari konsumsi energi dengan potensi menghasilkan setara 756 juta ton batu bara standar setiap tahun.

Dalam hal bentuk pemanfaatan, biomassa dapat digunakan untuk berbagai keperluan energi, termasuk:

1. Pembakaran langsung: Biomassa seperti kayu, jerami, dan sisa tanaman dapat langsung dibakar untuk menghasilkan panas.

2. Gasifikasi: Proses ini mengubah biomassa menjadi gas sintesis yang dapat digunakan sebagai bahan bakar.
3. Pencairan: Biomassa dapat diolah menjadi cairan biofuel seperti biodiesel.
4. Fermentasi anaerobik: Metode ini memanfaatkan mikroorganisme untuk memproduksi biogas dari biomassa organik seperti sisa makanan dan limbah hewan.
5. Produksi biomassa *molded fuel* (BMF): Biomassa diolah menjadi bentuk padat seperti pellet atau briket, yang lebih mudah diangkut dan disimpan. Di China, pemanfaatan BMF telah mencapai 18 juta ton pada tahun 2018, dengan target meningkat hingga 50 juta ton pada tahun 2020.

Keunggulan dan variasi bentuk pemanfaatan ini menjadikan biomassa sebagai alternatif energi yang sangat potensial untuk mendukung pembangunan berkelanjutan [7].



Pellet



Briquette



Rod

Gambar 4. Wood Pellet dalam Kemasan BMF yang Berbeda [7]

2.1.2 Potensi dan Tantangan Teknologi

Potensi biomassa di Indonesia sangat besar, dengan estimasi kapasitas energi mencapai 50 GW. Sumber biomassa meliputi 15,45 juta m³ limbah hutan per tahun, 64 juta ton limbah perkebunan, 144,50 juta ton limbah pertanian, dan 11.330 ton limbah kota per hari. Namun, sebagian besar biomassa ini masih digunakan secara tradisional untuk memasak, penerangan, dan pengeringan hasil pertanian, terutama di pedesaan. Teknologi yang digunakan pun masih terbatas pada pembakaran langsung dan belum efisien serta ramah lingkungan, sehingga potensi besar tersebut belum dimanfaatkan secara optimal [8].

Tantangan utama dalam pemanfaatan biomassa di Indonesia adalah kurangnya inovasi dan investasi teknologi. Teknologi modern seperti gasifikasi dan produksi biofuel masih belum berkembang luas. Pemerintah Indonesia telah menetapkan target energi terbarukan sebesar 15% dalam bauran energi nasional pada tahun 2025, termasuk 5% dari biofuel. Dukungan regulasi diberikan melalui Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006, serta pembentukan Direktorat EBTKE pada tahun 2010 di bawah Kementerian ESDM untuk mengelola kebijakan energi terbarukan, termasuk biomassa [8].

Namun, pelaksanaan strategi nasional masih menghadapi kendala, seperti lemahnya koordinasi antar-lembaga dan terbatasnya pendanaan. Diperlukan penguatan regulasi, pengembangan teknologi modern, serta insentif investasi untuk mendorong pemanfaatan biomassa secara berkelanjutan dan efisien. Tanpa langkah-langkah strategis tersebut, potensi biomassa Indonesia yang sangat besar belum akan memberikan kontribusi maksimal dalam transisi energi nasional [8].

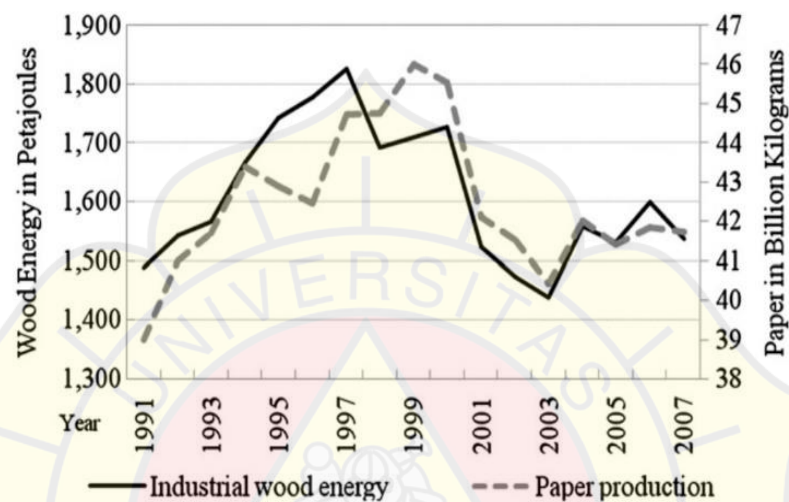
2.2 Kebijakan dan Regulasi Energi Terbarukan

2.2.1 Peran Kebijakan dalam Mendukung Teknologi Bersih

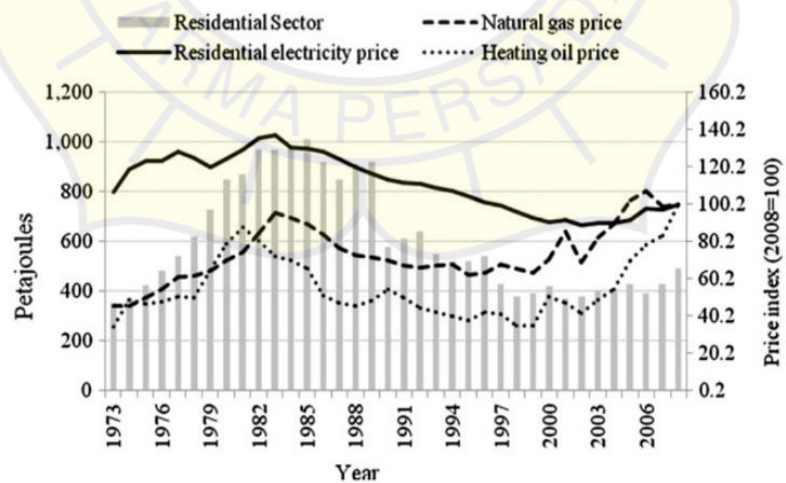
Peran strategis kebijakan publik dalam transisi energi menekankan pentingnya intervensi pemerintah dalam mendorong konsumsi dan produksi energi terbarukan, termasuk biomassa. Salah satu aspek utama yang dijelaskan adalah bagaimana kebijakan publik, seperti mandat energi terbarukan, kredit pajak, hibah, dan standar energi terbarukan telah berhasil meningkatkan konsumsi energi kayu di berbagai sektor. Misalnya, sejak tahun 2004 hingga 2009, kebijakan publik Amerika Serikat berhasil mendorong pertumbuhan tahunan konsumsi energi kayu di sektor residensial, listrik, dan komersial masing-masing sebesar 5%, 2%, dan kurang dari 1%. Selain itu, kebijakan seperti Biomass Crop Assistance Program (BCAP) memberikan dukungan finansial hingga \$49,60 per ton biomassa bebas kelembaban, dan pendanaan tahunan hingga 15 tahun untuk tanaman kayu energi.

Kebijakan publik juga berperan dalam menciptakan infrastruktur yang mendukung transisi energi, seperti program Clean Renewable Energy Bonds (CREBs), yang pada tahun 2009 mengalokasikan total \$2,4 miliar untuk proyek energi terbarukan, termasuk biomassa. Lebih dari 805 proyek di berbagai sektor energi telah diuntungkan melalui program ini. Selain itu, program seperti Qualified Energy Conservation Bonds (QECCBs) memberikan insentif pajak kepada pemerintah daerah dan negara bagian untuk mendanai proyek energi terbarukan. Kebijakan ini bertujuan untuk mengurangi risiko finansial bagi investor dan memastikan pengembangan biomassa sebagai bagian dari solusi energi terbarukan.

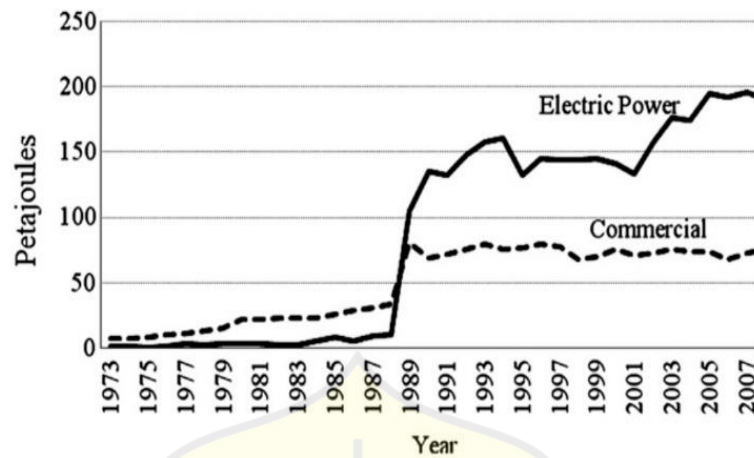
Namun, keberhasilan kebijakan publik dalam transisi energi juga bergantung pada kesinambungan dukungan pemerintah dan implementasi strategis yang konsisten. Tanpa kebijakan yang stabil dan terukur, pertumbuhan konsumsi biomassa sebagai energi terbarukan dapat mengalami hambatan [9].



Gambar 5. Produksi Kertas dan Konsumsi Energi Kayu AS 1991 to 2007 [9]



Gambar 6. Konsumsi Energi Kayu Perumahan Dan Indeks Harga Sumber Energi Tidak Terbarukan Tertentu [9]



Gambar 7. Konsumsi Energi Kayu oleh Sektor Tenaga Listrik dan Komersial 1973-2008 [9]

Kebijakan Energi di Indonesia berfokus pada diversifikasi energi, reformasi sektor energi, penetapan harga energi yang rasional, dan elektrifikasi pedesaan. Namun, tantangan utama kebijakan energi di Indonesia mencakup kurangnya inovasi teknologi dan kelembagaan yang mendukung sektor biomassa, serta belum adanya koordinasi yang efektif antara pemerintah pusat, provinsi, dan lokal [8].

2.2.2 *Regulasi Terkait Bioenergi Secara Global dan Nasional*

Regulasi bioenergi telah berkembang pesat guna mendukung transisi menuju energi berkelanjutan. Uni Eropa melalui Bioeconomy Strategy 2018–2030 menetapkan lima pilar utama: keamanan pangan, pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan, pengurangan ketergantungan pada sumber daya tak terbarukan, adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, serta penciptaan lapangan kerja dan peningkatan daya saing. Renewable Energy Directive (RED II) menetapkan kriteria keberlanjutan yang mencakup pengurangan emisi gas rumah kaca minimal 70%

dibandingkan bahan bakar fosil dan mewajibkan sertifikasi rantai pasok biomassa. Kebijakan seperti Common Agricultural Policy (CAP) 2021–2027 memberi insentif finansial untuk produksi biomassa dan pengelolaan lahan berkelanjutan. LULUCF 2018/841 memantau emisi dari perubahan penggunaan lahan, sedangkan WFD 2008/98/EC dan IED mengatur daur ulang limbah organik serta standar emisi industri bioenergi. Tantangan tetap ada, termasuk kurangnya harmonisasi antar sektor, keterbatasan pendanaan, dan kendala teknis distribusi. Uni Eropa telah mengalokasikan dana hingga €2,4 miliar melalui European Green Deal Investment Plan untuk mendukung energi terbarukan, termasuk bioenergi [10].

Di Indonesia, regulasi nasional menghadapi tantangan berupa lemahnya institusi pendukung biomassa dan koordinasi antarpemerintahan yang masih terbatas. Meski Direktorat EBTKE di bawah Kementerian ESDM dibentuk pada 2010 untuk mengelola kebijakan energi terbarukan, dukungan di tingkat daerah masih belum memadai dalam memanfaatkan potensi biomassa nasional yang mencapai 50 GW. Subsidi energi juga belum efektif mengalihkan ketergantungan terhadap energi fosil, di mana batu bara diproyeksikan tetap menyumbang 33% dari bauran energi nasional pada tahun 2020. Oleh karena itu, Indonesia memerlukan reformasi kebijakan yang lebih agresif, peningkatan investasi teknologi canggih, serta pemberian insentif yang dapat mendorong pemanfaatan biomassa secara berkelanjutan dan kompetitif [8].

2.3 Perkembangan Penelitian tentang Biomassa dan Kebijakan Energi

2.3.1 Studi Sebelumnya dan Temuan Utama

Tren global menunjukkan peningkatan perhatian terhadap energi terbarukan berbasis biomassa. Di India, potensi biomassa mencapai 500 juta metrik ton per tahun dengan kapasitas listrik 17.500 MW dan tambahan 5.000 MW dari surplus. Hingga Maret 2013, telah terpasang 130 proyek biomassa sebesar 999 MW dan 158 proyek cogeneration bagasse sebesar 1.666 MW, serta 30 proyek tambahan sebesar 350 MW dalam tahap implementasi. Di China, target kapasitas biomassa bertahap sebesar 4.000 MW (2010), 8.000 MW (2015), dan 24.000 MW (2020) diperkuat oleh kebijakan dalam Rencana Lima Tahun [11]. Negara maju dan berkembang semakin fokus pada efisiensi konversi biomassa, seperti pembakaran, gasifikasi, fermentasi, dan digestasi anaerobik.

Perkembangan teknologi molekuler dan bioengineering menjadi sorotan utama dalam efisiensi konversi biomassa. Regulasi genetik enzim hidrolitik meningkatkan efisiensi konversi lignoselulosa menjadi bioetanol [12], sedangkan pengaturan enzim GWD pada gandum dapat meningkatkan biomassa 54% dan hasil panen 29% [13]. Pada tanaman Populus, pengurangan lignin meningkatkan efisiensi sakarifikasi tanpa mengurangi pertumbuhan [14]. Pendekatan hormonal pada rootstock tomat seperti ABA dan ACC meningkatkan efisiensi penggunaan air dan hasil buah hingga 40% [15]. Strategi lain, seperti pengaturan ukuran partikel katalis logam dalam hidrogenasi furfural, juga mampu meningkatkan efisiensi konversi biomassa menjadi bahan bakar cair [16].

Optimasi pemanfaatan biomassa juga dilakukan melalui pendekatan lingkungan dan proses termal. Vegetasi tepi sungai mampu mengurangi intensitas cahaya hingga 79%, kekeruhan air 45%, dan penyerapan cahaya oleh biofilm 28%, yang memengaruhi pertumbuhan biomassa akuatik [17]. Proses torrefaksi dalam atmosfer N_2 , O_2 , CO_2 , dan NH_3 dapat meningkatkan nilai kalor dan kandungan karbon [18]. Pemanfaatan biomassa lignoselulosa dari lahan marginal turut didukung oleh bioteknologi yang meningkatkan toleransi tanaman terhadap salinitas serta efisiensi penggunaan air [19]. Sementara itu, alga hijau, dengan efisiensi fotosintesis tinggi, dapat menghasilkan biomassa dua kali lebih besar dibanding strain liar, menjadikannya sumber biofuel potensial [20].

Penelitian biomassa juga berkembang pada aspek mikroorganisme dan material karbon. Regulasi homeostasis karbon, fosfor, dan nitrogen dalam biomassa bakteri meningkatkan efisiensi konversi energi dan mendukung siklus karbon global [21]. Pengaturan mikrostruktur karbon aktif dari tongkol jagung dapat meningkatkan penyimpanan hidrogen [22]. Co-gasifikasi biomassa dan limbah plastik dengan rasio 50% serta katalis $Ni/\gamma-Al_2O_3$ terbukti menghasilkan syngas dan nanotube karbon berkualitas tinggi [23]. Teknologi konversi berbasis COFs juga mampu mengubah furfural alkohol menjadi asam furat dengan selektivitas di atas 99% [24]. Di China, dari 2006–2012 telah didanai proyek biomassa senilai total 192,64 juta yuan, menghasilkan 98 pembangkit berkapasitas 2.231,4 MW hingga April 2011, meskipun belum mencapai target 4.000 MW [25]. Di India dan Indonesia, riset difokuskan pada teknologi konversi dan pemanfaatan potensi

biomassa lokal, dengan Indonesia memiliki potensi biomassa 50 GW, termasuk 15,45 juta m³ limbah hutan dan 144,5 juta ton residu pertanian [8].

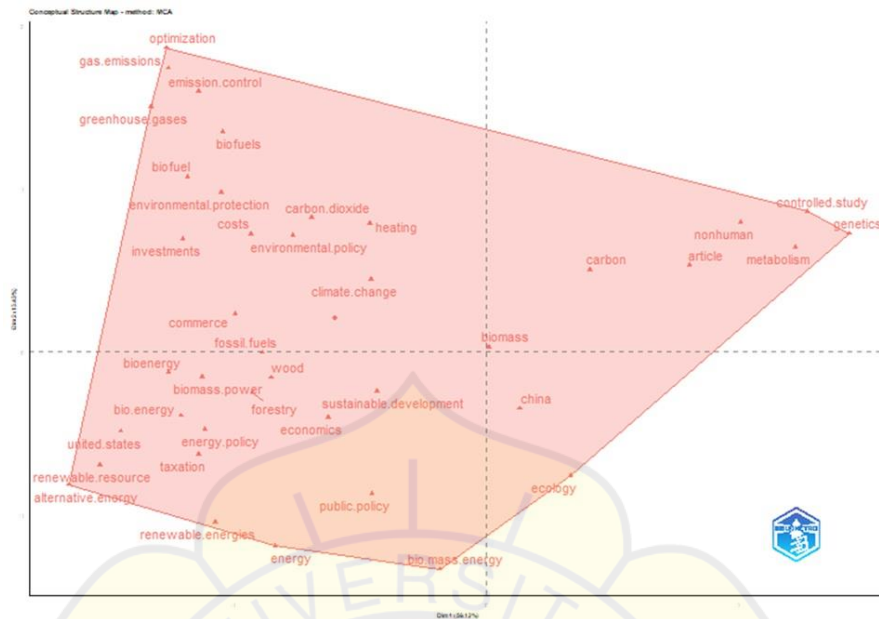
2.3.2 *Celah Riset (Research Gap) yang Masih Terbuka*

Literatur ilmiah tentang biomassa sebagai energi alternatif menunjukkan tren peningkatan secara global dalam dekade terakhir. Namun, fokus utama masih berkisar pada aspek teknis dan keberlanjutan lingkungan, sementara kajian yang menyoroti peran kebijakan dan regulasi dalam mendorong pengembangan biomassa belum banyak dieksplorasi secara sistematis. Selain itu, kontribusi negara berkembang seperti Indonesia dalam literatur internasional masih terbatas, padahal potensi sumber daya biomassa sangat melimpah.

Minimnya integrasi antara kajian kebijakan, kelembagaan, dan aspek pasar biomassa menimbulkan celah dalam pemahaman yang menyeluruh mengenai bagaimana kebijakan publik dapat memfasilitasi transisi energi berbasis biomassa. Kebanyakan studi juga belum mengaitkan secara eksplisit antara efektivitas regulasi dan dampaknya terhadap peningkatan kapasitas produksi, keberlanjutan rantai pasok, maupun adopsi teknologi. Celah ini menunjukkan perlunya pendekatan kajian yang menggabungkan analisis bibliometrik dan tinjauan sistematis untuk memetakan perkembangan pengetahuan sekaligus merumuskan arah kebijakan yang relevan dan berbasis bukti.

Celah riset dapat dirinci sebagai berikut :

1. Fokus dominan pada aspek teknis dan lingkungan: Kajian literatur biomassa lebih banyak membahas efisiensi teknologi dan keberlanjutan lingkungan dibandingkan aspek kebijakan dan regulasi.
2. Kesenjangan konseptual antara topik "biomass" dengan "public policy" dan "energy policy": Analisis bibliometrik (Gambar 8) menunjukkan lemahnya keterkaitan antara kebijakan publik dan isu biomassa sebagai topik utama.
3. Kontribusi negara berkembang masih rendah: Indonesia dan negara berkembang lainnya belum banyak terwakili dalam literatur internasional, meskipun memiliki potensi biomassa yang besar.
4. Minim integrasi antara aspek kebijakan, kelembagaan, dan pasar: Belum banyak studi yang mengkaji secara menyeluruh bagaimana kebijakan publik berperan dalam mendukung transisi energi berbasis biomassa.
5. Kurangnya kajian eksplisit tentang efektivitas regulasi: Masih sedikit penelitian yang menilai secara langsung dampak regulasi terhadap kapasitas produksi, keberlanjutan rantai pasok, dan adopsi teknologi.
6. Perlunya pendekatan B-SLR: Diperlukan kajian yang menggabungkan bibliometric analysis dan systematic literature review untuk memetakan pengetahuan dan merumuskan arah kebijakan yang berbasis bukti.



Gambar 8. Analisis Bibliometrik Diagram Faktorial
Dihasilkan oleh peneliti menggunakan Biblioshuny

2.4 Kajian Bibliometrik dan Systematic Literature Review (SLR)

2.4.1 Definisi, Manfaat, dan Metodologi

Bibliometric Systematic Literature Review (B-SLR) merupakan pendekatan metodologis yang menggabungkan analisis bibliometrik dengan tinjauan literatur sistematis (Systematic Literature Review, SLR). Metode ini bertujuan untuk memberikan pemetaan mendalam terhadap tren penelitian, hubungan antar penulis, evolusi tematik, serta kontribusi konseptual dalam suatu bidang kajian. B-SLR digunakan untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian, menyintesis pengetahuan, dan membangun kerangka teori yang terstruktur. Melalui perangkat lunak seperti VOSviewer, Biblioshiny, dan ScientoPy, metode ini memungkinkan visualisasi jaringan penulis, co-citation, serta kluster topik yang mempermudah

pemahaman atas literatur akademik secara komprehensif. Analisis bibliometrik memungkinkan eksplorasi kuantitatif terhadap pola publikasi, sedangkan SLR memberi kedalaman melalui telaah tematik pada dokumen terpilih [5][26].

Metode B-SLR bermanfaat dalam menyaring literatur yang sangat luas, mengurangi risiko bias, dan menyediakan dasar kuat bagi penelitian masa depan. Peneliti dapat memetakan pertumbuhan publikasi berdasarkan tahun, wilayah, atau tema tertentu—misalnya, dari 50 artikel menjadi 200 dalam lima tahun, atau peningkatan 250% publikasi akademik tiap dekade dari 1900–2020. Selain itu, B-SLR dapat menelusuri kolaborasi internasional, institusi riset utama, serta peneliti berpengaruh. Dalam prosesnya, ribuan dokumen dapat disaring menjadi dataset representatif, seperti dari 5.000 menjadi 1.000 artikel terpilih sesuai kriteria analisis [5][26][27].

2.4.2 Tahap-Tahap Penggunaan B-SLR

Metodologi B-SLR mencakup beberapa tahapan sistematis, dimulai dari identifikasi topik dan kata kunci untuk menentukan fokus kajian. Selanjutnya, data dikumpulkan dari database seperti Scopus atau Web of Science menggunakan query yang telah dirumuskan. Data mentah kemudian disaring dan dibersihkan dari duplikasi atau entri yang tidak relevan menggunakan alat seperti biblioMagika® atau OpenRefine. Analisis visual dilakukan dengan perangkat lunak seperti VOSviewer atau Biblioshiny untuk menghasilkan peta bibliometrik, termasuk jaringan kolaborasi penulis dan peta tematik. Tahap akhir melibatkan sintesis

literatur guna mengidentifikasi tren utama, kesenjangan penelitian, dan rekomendasi untuk riset selanjutnya [5].

Pendekatan B-SLR menyediakan kerangka kerja yang komprehensif untuk memahami lanskap akademik yang kompleks secara lebih mendalam. Metode ini didukung oleh perangkat lunak gratis seperti VOSviewer yang memungkinkan visualisasi data secara transparan. Secara keseluruhan, B-SLR menjadi alat analisis literatur yang sistematis dan inovatif, mampu merancang ulasan dengan kontribusi teoretis yang kuat dan mendorong pengembangan teori baru dalam bidang kajian [5][26][27].

