

## Mapping Research on Cofiring from 1979 - 2022: Bibliometric Analysis

Muhammad Farras Ilham<sup>1\*</sup>, Muchammad<sup>2</sup>, Marcelinus Christwardana<sup>3</sup>

\*Email corresponding author: mfarrasilham@students.undip.ac.id

<sup>1</sup>Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Indonesia

Article history: Received: 31 Januari 2023 | Revised: 14 Maret 2023 | Accepted: 18 Maret 2023

**Abstract.** *This study aims to investigate cofiring-themed articles through Bibliometric analysis using Biblioshiny. The metadata comes from the Scopus database, obtained using the keyword "cofiring". Cofiring is the burning of two (or more) different types material at the same time and combining them in alternative fuels with a certain ratio. Nine hundred twenty-nine documents were obtained over 44 years (1979 – 2022). The study results show that the USA and China are hosts for cofiring researchers. The most relevant author and affiliate is from China, namely Longtu Li from Tsinghua University. The USA is the largest reference country for cofiring research. Cofiring research trends are divided into two clusters: the energy and power generation research cluster and the chemistry and ceramic materials research cluster. In energy and power generation research, three research themes relevant to current and future conditions are related to coal, biomass, and emission. The results of this study provide a comprehensive picture to academics in the fields of energy, power generation, chemistry, and materials science.*

**Keywords -** *Bibliometric, Biblioshiny, Scientometric, Cofiring, Trend Research.*

**Abstrak.** *Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi artikel bertema cofiring melalui analisis Bibliometrik menggunakan Biblioshiny. Metadata berasal dari database Scopus yang didapatkan dengan menggunakan kata kunci "cofiring". Cofiring merupakan pembakaran dua (atau lebih) jenis material yang berbeda pada saat bersamaan dan mengkombinasikannya pada bahan bakar alternatif dengan rasio tertentu. Sejumlah 929 dokumen didapatkan dalam kurun waktu 44 tahun (1979 – 2022). Hasil penelitian menunjukkan bahwa USA dan China menjadi tuan rumah bagi para peneliti cofiring. Penulis dan afiliasi paling relevan berasal dari China, yaitu Longtu Li yang berasal dari Tsinghua University. USA menjadi negara rujukan terbesar bagi penelitian cofiring. Tren penelitian cofiring terbagi menjadi dua kluster, yaitu: kluster penelitian energi dan pembangkit listrik, dan kluster penelitian ilmu kimia dan material keramik. Pada penelitian energi dan pembangkit listrik, tiga tema penelitian yang relevan dengan kondisi saat ini dan masa depan berkaitan dengan coal, biomass, and emission. Hasil studi ini memberikan gambaran menyeluruh kepada para akademisi bidang energi, pembangkit listrik, ilmu kimia dan material.*

**Kata Kunci -** *Bibliometrik, Biblioshiny, Scientometric, Cofiring, Tren Penelitian.*

### PENDAHULUAN

*Cofiring* merupakan pembakaran dua (atau lebih) jenis material yang berbeda pada saat bersamaan dan mengkombinasikannya dengan bahan bakar alternatif terbarukan yang lebih murah dengan kombinasi rasio tertentu sehingga dapat mengurangi pemakaian batubara dan menekan biaya pokok produksi listrik [1]. Konsep substitusi pada *cofiring* dapat mengurangi emisi hasil pembakaran batubara yang terbawa oleh gas buang atau *flue gas*. *Cofiring* dianggap sebagai pendekatan jangka pendek yang paling menjanjikan untuk mengurangi CO<sub>2</sub>, dengan mitigasi emisi melalui penggunaan biomassa [2]. Oleh karena itu *cofiring* dianggap sebagai strategi dalam mengupayakan pengurangan emisi.

Selama ini pemetaan mengenai *trend* penelitian mengenai *cofiring* belum dilakukan. Pemetaan mengenai *trend* penelitian dilakukan menggunakan analisis bibliometrik. Bibliometrik adalah metode yang bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis data ilmiah dalam jumlah besar dan memungkinkan untuk menyoroti area atau bidang penelitian [3] yang menjadi tren selama ini dan peluang di masa depan. Tema penelitian yang relevan dengan *cofiring* yaitu "biomassa" dan "energi" telah dipetakan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Studi analisis bibliometrik mengenai biomassa dengan memanfaatkan database *Web of Science* dalam kurun waktu 1900 sampai 2013 telah dilakukan [4]. Studi bibliometrik terkini dengan tema yang sama dilakukan oleh Cicea, Marinescu, et al memanfaatkan *database Scopus* dari tahun 1994 – 2018 [5], Sertolli, Gabnai, et al memanfaatkan *database Scopus* yang cukup besar dari tahun 1974 – 2021 mengenai *biomass potential and utilization* [6], dan Moreno, Manzan, et al mengenai *biomass as renewable energy* [7]. Kaitannya dengan *renewable energy*, perbandingan antara *solar, geothermal, wind, dan biomass energy* juga telah dilakukan [8]. Studi lain mengenai analisis bibliometrik yaitu pada topik netralitas karbon

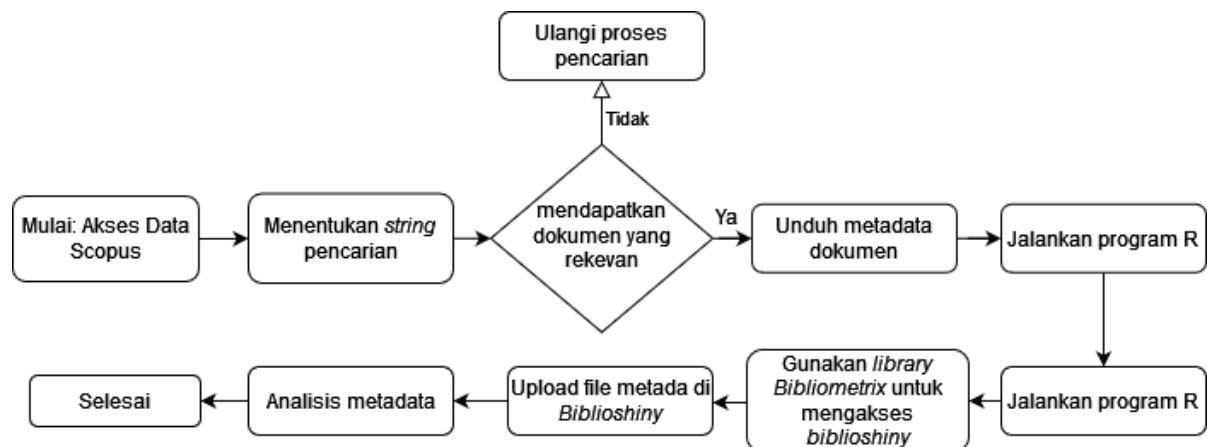
[9]. Beberapa analisis bibliometrik lainnya mengenai biomassa mencakup: *plant biomass research* [10], *biomass gasification study* [11], *bioenergy research* [12], *thermal treatment of biomass* [13], dan *biomass-to-bioenergy supply chain research* [14]; [15].

Selain dengan tema biomassa, tema energi menjadi pilihan bagi para peneliti scientometrik. Beberapa studi yang membahas tema energi, yaitu: *renewable energy* [16], *bioenergy* [17], *solar energy* [18]. Analisis bibliometrik mengenai penelitian energi dan biomassa dengan batasan negara tertentu juga telah dilakukan, contohnya di: Nigeria [19] dan India [20]. Pemetaan penelitian dengan terminologi “*cofiring*” akan lebih fokus pada strategi atau teknik substitusi yang dilakukan dalam proses pembakaran sehingga nantinya dengan pemetaan analisis bibliometrik akan diidentifikasi area-area penelitian yang lebih fokus, dibandingkan dengan terminologi “biomasa” dan “energi”.

Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, studi ini akan memanfaatkan *database Scopus* tanpa membatasi waktu awal sehingga akan lebih diketahui historis penelitian mengenai *cofiring*. Selain itu pemanfaatan *Biblioshiny* akan menjadikan pemetaan analisis bibliometrik lebih komprehensif. Harapan dari penelitian ini adalah dapat menjadi acuan bagi para praktisi dan akademisi secara global, khususnya dari Indonesia yang membidangi tema-tema energi terbarukan, biomasa, *coal*, dan *combustion*.

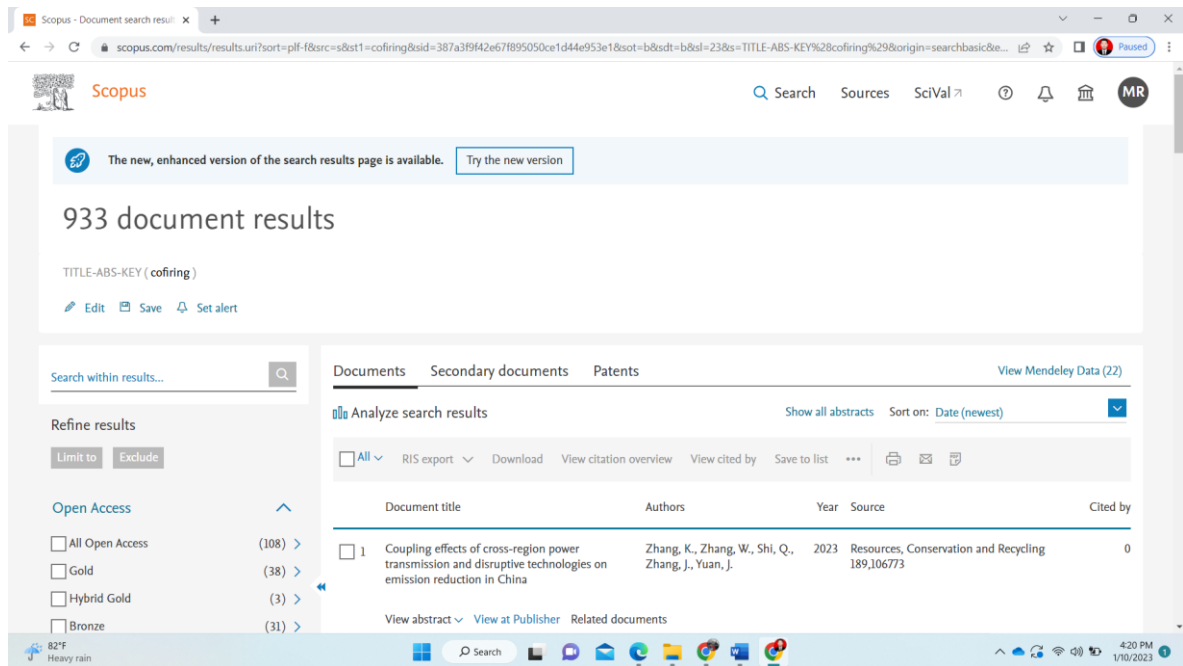
## METODE

Penelitian ini menggunakan metode bibliometrik analisis, yaitu pemanfaatan informasi metadata artikel (judul, penulis, afiliasi, abstrak, kata kunci, kutipan, dan lainnya) untuk dijadikan sampel penting dalam melakukan evaluasi sains [21]. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi artikel bertema “*cofiring*” yang diterbitkan dan terindeks Scopus [22]. Ada tahap awal penelitian ini memanfaatkan database Scopus. Pada kolom pencarian dengan basis data judul artikel, abstrak, dan kata kunci digunakan kata “*cofiring*”. Pencarian dilakukan pada tanggal 9 Januari 2023. Didapatkan 933 dokumen seperti yang terlihat pada Gambar 2. Selanjutnya, dokumen yang terbit pada tahun 2023 dikeluarkan dari data. String yang digunakan, yaitu: `TITLE-ABS-KEY (cofiring) AND (EXCLUDE (PUBYEAR, 2023))`. Tahap berikutnya adalah mengekspor metadata tersebut ke dalam format CSV yang dapat dibuka melalui Ms.Excel. Metadata tersebut terdiri dari beberapa informasi, antara lain: citation information, bibliographical information, abstract & keywords, funding details, and other information. Selanjutnya peneliti memeriksa file CSV tersebut dan mendapatkan terdapat 4 dokumen error sehingga yang menjadi database sejumlah 929 dokumen. Jumlah dokumen ini yang selanjutnya dianalisis menggunakan Biblioshiny.



Gambar 2. Langkah awal pencarian sumber di Scopus dengan kata kunci “cofiring”

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan hasil dari biblioshiny dalam penelitian bibliometrik. Hasil utama berupa metada dokumen yang digunakan dalam penelitian dengan tema *cofiring* dalam publikasi yang terindeks scopus. Jumlah dokumen yang ditemukan adalah 929 dokumen yang terbagi menjadi 10 jenis dokumen, antara lain artikel jurnal (591 dokumen), Buku (18 dokumen), makalah konferensi (283 dokumen), ulasan konferensi (7 dokumen), editorial (1 dokumen), Surat (1 dokumen), Catatan (2 dokumen), laporan (2 dokumen), ulasan (21 dokumen), dan survei singkat (3 dokumen). Penelitian *cofiring* telah diteliti sejak tahun 1979 dengan jumlah penulis mencapai 2556. Peningkatan publikasi penelitian *cofiring* cukup signifikan berawal dari 1 dokumen yang terbit di tahun 1979 hingga 39 dokumen di tahun 2022. Annual growth rate 8.89% dan document average age 15.5. Minat penelitian cukup signifikan ditunjukkan dengan jumlah referensi yang mencapai 19326 dengan average citation per document 20.16. Gambar 3 menggambarkan tingkat pertumbuhan publikasi penelitian *cofiring* dari tahun 1979 sampai 2022. Berdasarkan Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa penelitian *cofiring* secara umum mengalami peningkatan. Tahun 2013 menjadi tahun paling produktif dengan 48 publikasi. Dalam 4 tahun terakhir, yaitu 2019 – 2022 penelitian *cofiring* juga cenderung meningkat.

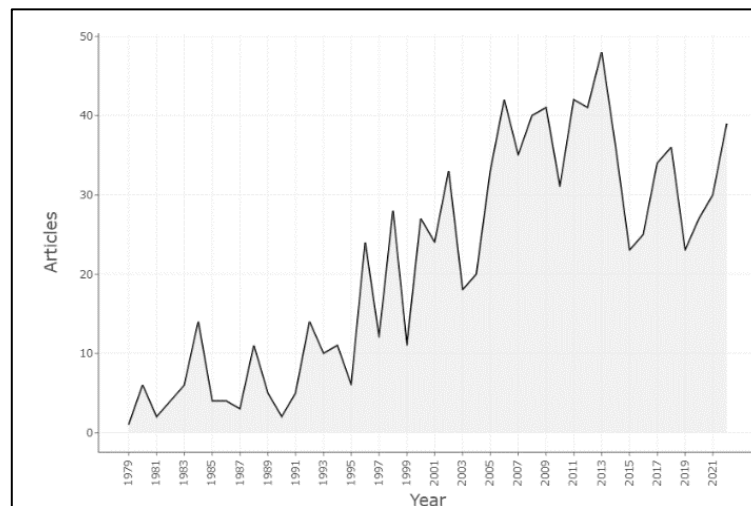
Tabel 1. Informasi utama

Deskripsi	Hasil
<b>MAIN INFORMATION ABOUT DATA</b>	
Timespan	1979:2022
Sources (Journals, Books, etc)	387
Documents	929
Annual Growth Rate %	8.89
Document Average Age	15.5
Average citations per doc	20.16
References	19326
<b>DOCUMENT CONTENTS</b>	
Keywords Plus (ID)	6011
Author's Keywords (DE)	1404

---

<b>AUTHORS</b>	
Authors	2556
Authors of single-authored docs	79
<b>AUTHORS COLLABORATION</b>	
Single-authored docs	109
Co-Authors per Doc	3.85
International co-authorships %	11.9
<b>DOCUMENT TYPES</b>	
article	591
book chapter	18
conference paper	283
conference review	7
editorial	1
letter	1
note	2
report	2
review	21
short survey	3

---

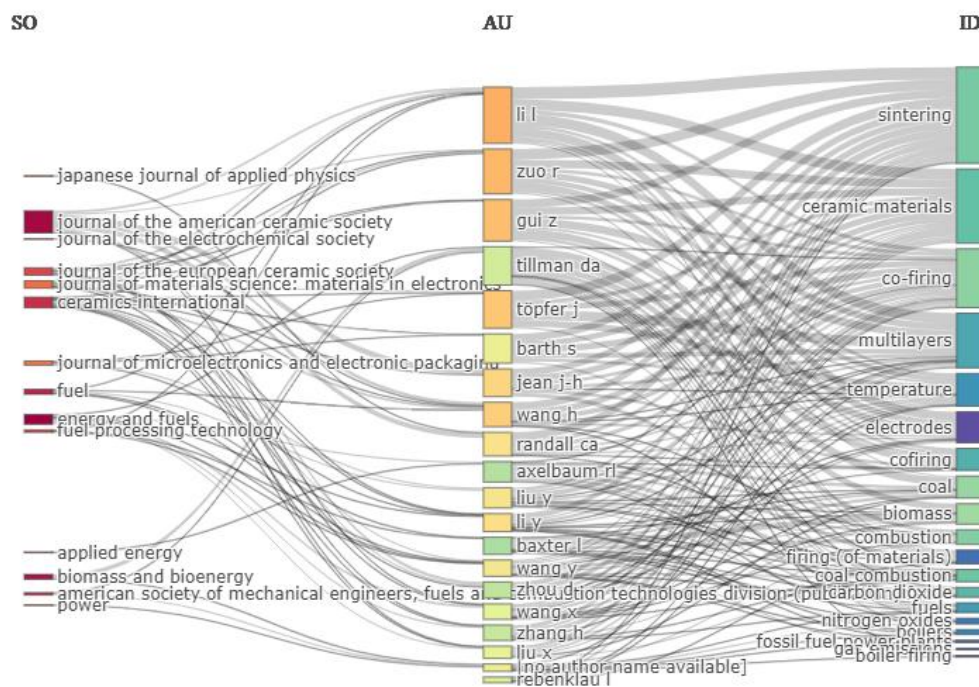


Gambar 3. Tingkat pertumbuhan publikasi tahunan antara 1979 dan 2022

## A. Hasil Penelitian

### Three Fields Plot

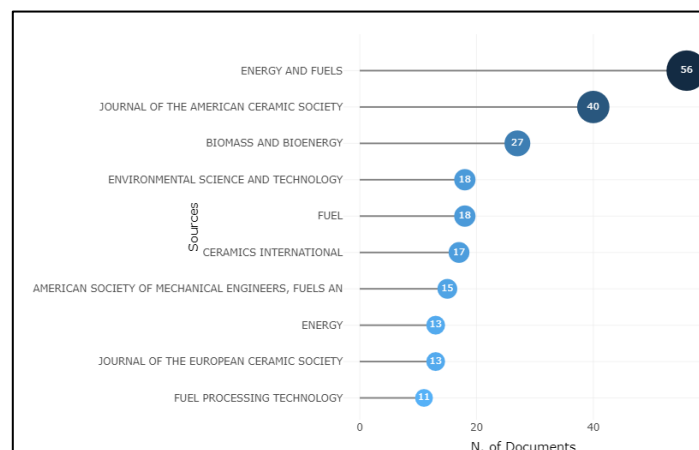
Three fields plot menggambarkan tiga unsur penting dalam penelitian ini, yaitu nama sumber, nama penulis, dan tema yang digunakan (dalam hal ini menggunakan keywords plus) seperti pada Gambar 4. Ketiganya dihubungkan oleh garis abu-abu yang menjelaskan adanya hubungan antara ketiganya. Sebelah kiri adalah nama-nama jurnal yang menerbitkan tema-tema *cofiring* kemudian di tengah adalah nama-nama penulis dan di sebelah kanan adalah tema/topik yang sering muncul saat penulis meneliti *cofiring*. Pada ketiga parameter ini diambil 20 data teratas sehingga masih secara garis besar menggambarkan seluruh data. Pada bagian kiri terdapat beberapa sumber yang relevan dengan *cofiring*. Salah satu sumber dengan simbol persegi paling besar adalah *Journal of the American Ceramic Society*. Sumber tersebut menjadi rumah publikasi bagi para penulis, seperti Li 1, Jean JH, dan Zhou D. Adapun beberapa tema penelitian *cofiring* antara lain: sintering, ceramic materials, multilayers, dan temperature.



Gambar 4. Plot Tiga Bidang pada Cofiring (Sources, Author, Keyword Plus)

### Sumber Paling Relevan dan Berdampak

Dalam penelitian ini dapat ditemukan jurnal yang paling berpengaruh dan paling banyak menerbitkan artikel dengan tema *cofiring*. Banyaknya artikel yang diterbitkan dengan tema *cofiring* menyebabkan jurnal tersebut banyak dicari oleh pembaca dan peneliti lain yang ingin mengetahui tema *cofiring*. Gambar 5 menyajikan 10 sumber dengan jumlah publikasi terbesar mengenai *cofiring*. Sumber tersebut adalah jurnal atau prosiding yang terdiri dari: *Energy & Fuels* (Q1 dan Q2), *Journal of the American Ceramic Society* (Q1), *Biomass and Bioenergy* (Q1 dan Q2), *Environmental Science & Technology* (Q1), *Fuel* (Q1), *Ceramics international* (Q1 dan Q2), *American Society of Mechanical Engineers, fuels and combustion technologies division (publication) fact* (Prosiding), *Energy* (Q1), *Journal of the European Ceramic Society* (Q1), dan *Fuel processing technology* (Q1). *Energy & Fuels* dengan jumlah publikasi mencapai 56 menjadi jurnal teratas. Jurnal tersebut didirikan pada tahun 1987 dan terbitannya telah terindeks Scopus Q1 sejak tahun 1999. Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa popularitas jurnal *Energy & Fuels* disalip ketat oleh *Journal of the American Ceramic Society*. Nilai h-index 24 pada jurnal tersebut menjadikan jurnal yang terbit sejak 1989 menempati posisi pertama sebagai jurnal yang paling berdampak pada penelitian *cofiring*. Menempati urutan ketiga adalah *Biomass & Bioenergy*. Penerbit ketiga jurnal tersebut secara berurutan adalah Blackwell Publishing Inc., American Chemical Society, dan Elsevier Ltd.



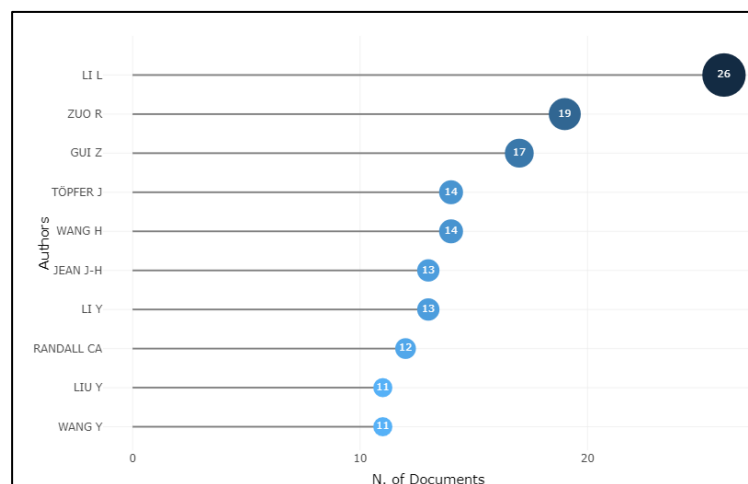
Gambar 5. Jumlah publikasi per jurnal

Tabel 2. Sepuluh sumber paling berdampak pada penelitian cofiring

Nama Jurnal	h-index	g-index	m-index	TC	NP	Tahun Pertama Publikasi
Journal Of the American Ceramic Society	24	39	0.686	1589	40	1989
Energy And Fuels	23	38	0.719	1603	56	1992
Biomass And Bioenergy	22	27	0.786	1701	27	1996
Environmental Science and Technology	14	18	0.583	913	18	2000
Fuel	12	18	0.632	1087	18	2005
Energy	10	13	0.25	588	13	1984
Applied Energy	9	9	0.6	443	9	2009
Journal Of the European Ceramic Society	9	13	0.391	278	13	2001
Fuel Processing Technology	8	11	0.308	491	11	1998
Journal Of the Electrochemical Society	7	8	0.318	206	8	2002

### Penulis Paling Relevan dan Berdampak

Relevansi penulis dengan tema yang dipelajari yaitu mengenai *cofiring* (Gambar 6). Jumlah dokumen akan menjadi ukuran dalam menilai produktivitas penulis dalam menghasilkan artikel yang berkaitan dengan tema yang diteliti. Terdapat 10 penulis yang paling relevan dengan tema *cofiring*. Urutan tiga teratas adalah Longtu Li dengan 26 publikasi yang berasal dari State Key Laboratory of New Ceramics and Fine Processing, School of Material Science and Engineering, Tsinghua University. Kedua adalah Ruzhong Zuo dari afiliasi yang sama dengan 19 publikasi, dan ketiga masih berasal dari afiliasi lembaga yang sama, yaitu Zhilun Gui dengan 17 publikasi. Pada Tabel 3 menunjukkan daftar penulis yang paling berdampak menulis tema *cofiring*. Dampaknya terlihat dari jumlah *h\_index*, *g\_index*, dan *m\_index*. *H\_index* dan *g\_index* dinyatakan sebagai nilai maksimum dari *h* atau *g* seorang penulis yang telah menerbitkan sejumlah *h* atau *g* artikel yang masing-masing telah dikutip sebanyak *h* atau *g* kali [23]. Hal yang membedakan *g\_index* dihitung berdasarkan distribusi sitasi yang diterima oleh publikasi seorang peneliti. Adapun *m\_index* adalah *h\_index* dibagi dengan jumlah tahun seorang ilmuwan telah aktif yang didapatkan oleh penulis. Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa penulis paling berdampak dengan tema *cofiring*, yaitu Li L dengan *h\_index* sebesar 12. Disusul dengan Randall CA dengan *h\_index* sebesar 10. Sedangkan *h\_index* terendah pada Tabel 3 yaitu Fang L dengan *h\_index* sebesar 6.



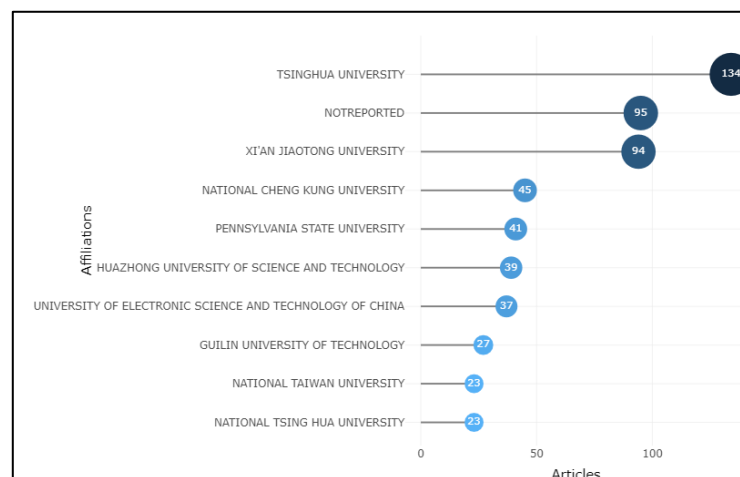
Gambar 6. Penulis dengan sebagian besar studi yang diterbitkan dalam jurnal

Tabel 3. Pengaruh penulis

Nama Penulis	h-index	g-index	m-index	TC	NP	Tahun Pertama Publikasi
Liangyu Li	12	16	0.5	282	26	2000
Clive A. Randall	10	12	0.385	528	12	1998
Jau-Ho Jean	9	13	0.321	459	13	1996
Huakun Wang	9	14	0.5	457	14	2006
Ruzhong Zuo	9	13	0.375	187	19	2000
Xiaohui Wang	7	9	0.389	129	9	2006
Huaiwu Zhang	7	8	0.467	90	8	2009
Dongxiang Zhou	7	8	0.412	378	8	2007
Larry L. Baxter	6	7	0.3	676	7	2004
Liang Fang	6	7	0.429	165	7	2010

#### Afiliasi Paling Relevan dan Negara Terbanyak Dikutip

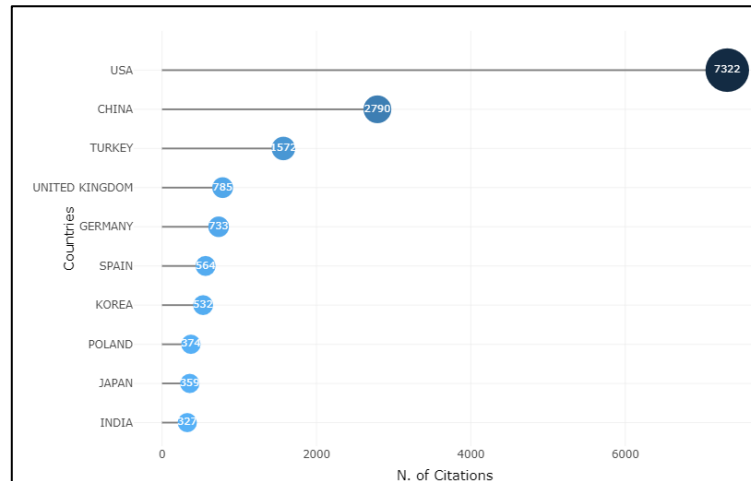
Relevansi afiliasi dengan tema yang dipelajari yaitu mengenai *cofiring*. Jumlah artikel yang berasal dari afiliasi lembaga akan menjadi ukuran dalam menilai produktivitas suatu lembaga dalam menghasilkan artikel yang berkaitan dengan *cofiring*. Pada Gambar 7 disajikan sembilan lembaga paling relevan dalam mempublikasikan artikel mengenai *cofiring*. Terdapat 10 garis yang menunjukkan asal lembaga dan jumlah publikasinya. Namun demikian pada urutan ke-dua tidak dilaporkan asal lembaganya (not reported) sehingga hanya terdapat 9 afiliasi lembaga dimana publikasi mengenai *cofiring* dihasilkan. Urutan terbesar dapat dilihat dari panjang bar pada chart dan bisa juga dari warna yang ditampilkan. Warna biru tua merupakan artikel yang paling banyak dipublikasikan, sedangkan warna biru muda merupakan artikel yang paling sedikit dipublikasikan dengan tema *cofiring*. Tsinghua University paling berafiliasi dengan penerbitan artikel yang relevan dengan tema *cofiring* sebanyak 134 artikel. Pada urutan berikutnya adalah Xi'an Jiaotong University dan National Cheng Kung University dengan 94 dan 45 artikel. Ketiganya merupakan universitas yang berasal dari China.



Gambar 7. Afiliasi yang paling relevan

Adapun Gambar 8 menunjukkan sepuluh negara yang paling banyak dikutip dari artikel yang diterbitkan tentang *cofiring*. Analisis ini tidak menggambarkan jumlah artikel yang diterbitkan tetapi hanya terbatas pada jumlah sitasi dari artikel yang diterbitkan. Oleh karena itu terdapat fakta yang menarik bahwa China yang menjadi penyumbang

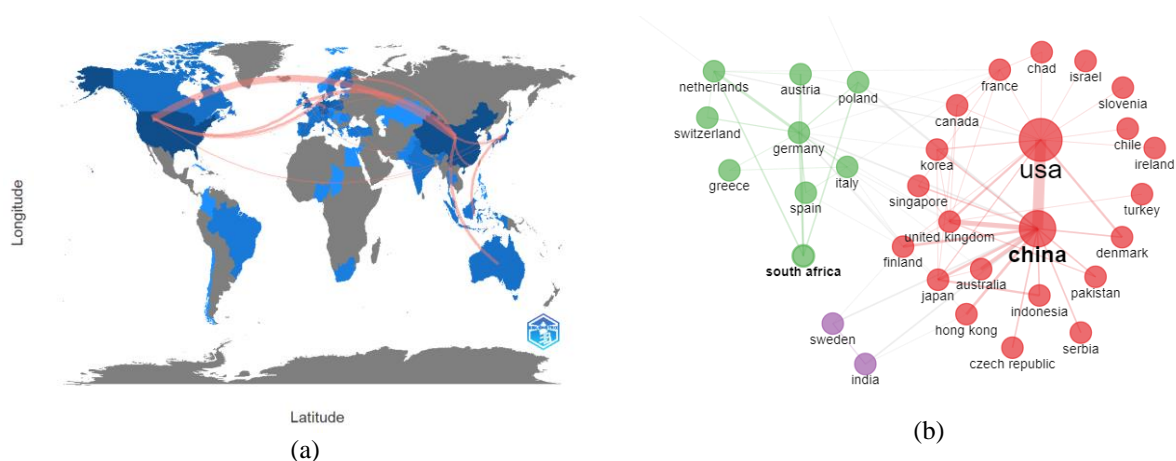
artikel lebih banyak memanfaatkan USA sebagai sumber referensinya. Berdasarkan Gambar 8, diketahui bahwa USA menjadi negara yang paling banyak dikutip oleh para peneliti di dunia dengan tema *cofiring*, sebanyak 7322 kali. Kemudian yang terbesar kedua adalah China yaitu sebanyak 2790 kali lipat, disusul Turkey, United Kingdom, Germany dan Spain.



Gambar 8. Negara yang paling banyak dikutip

### Peta Kolaborasi Negara

Untuk melihat kerjasama penelitian antar negara dengan tema *cofiring* dapat dilihat pada gambar 9. Pada gambar 9(a) terdapat garis merah muda yang menghubungkan antar negara. Garis merah muda tebal mewakili kolaborasi terbanyak antar negara. Berdasarkan gambar tersebut dan dikonfirmasi dengan Gambar 9(b) diketahui bahwa kolaborasi terbanyak dilakukan oleh USA dan China. USA mengembangkan jaringannya dengan negara lain, seperti: Canada, Korea, UK, France, Chad, Israel, Slovenia, dan Chile. Adapun China bekerja sama dengan: Korea, Singapore, Hong Kong, Indonesia, Japan, dan Czech Republic. Kolaborasi yang dilakukan pada masing-masing negara dilakukan oleh beberapa afiliasi universitas. Universitas asal China yang paling mendominasi dalam hal ini adalah Tsinghua University. Hal ini dikonfirmasi pada Gambar 7 yang menunjukkan universitas tersebut sebagai afiliasi paling terdepan dalam jumlah publikasi.



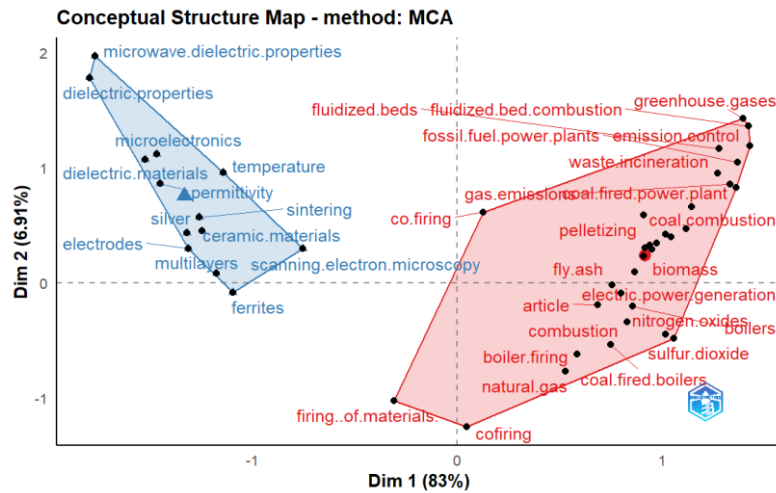
Gambar 9. (a) Peta Dunia Kolaborasi; (b) Jaringan Kolaborasi

### B. Pembahasan

Penelitian *cofiring* dalam kurun waktu 44 tahun (1979 – 2022) menghasilkan 933 dokumen yang berasal dari 387 sumber yang sebagian besar berasal dari jurnal dan prosiding. Pertumbuhan publikasi mengenai *cofiring* tumbuh 8.89% rata-rata per tahun dengan document average age 20.16 dan jumlah referensi mencapai 19326. Artinya *cofiring* telah menjadi fokus perhatian bagi para peneliti yang tertarik di bidang rekayasa biomassa dan batu bara. Ditambah



pula dukungan pemerintah Indonesia yang baru-baru ini sedang menyusun regulasi untuk mendukung *cofiring* pada pembangkit listrik tenaga baru [24]. Berdasarkan jumlah publikasi, kutipan tertinggi, dan produktivitas penulis diketahui bahwa USA dan China bersaing ketat pada peringkat satu dan dua. Longtu Li dari China menjadi penulis paling produktif. Adapun penulis asal USA yang masuk pada 10 besar penulis paling produktif adalah Clive A. Randall yang berasal dari Pennsylvania State University. Kolaborasi penelitian *cofiring* tidak hanya dilakukan oleh negara maju, baik yang berasal dari Asia, Eropa, dan Amerika namun termasuk dengan beberapa negara berkembang seperti: Indonesia, Pakistan, dan Serbia. Hal ini dapat dipahami bahwa sampai saat ini USA dan China sebagai negara maju pun belum berhasil mengembangkan operasi *cofiring* yang cukup besar [25] meskipun modal kedua negara tersebut sangat melimpah seperti: potensi biomassa yang melimpah, armada pembangkit listrik batu bara yang besar, dan basis teknologi yang kuat.

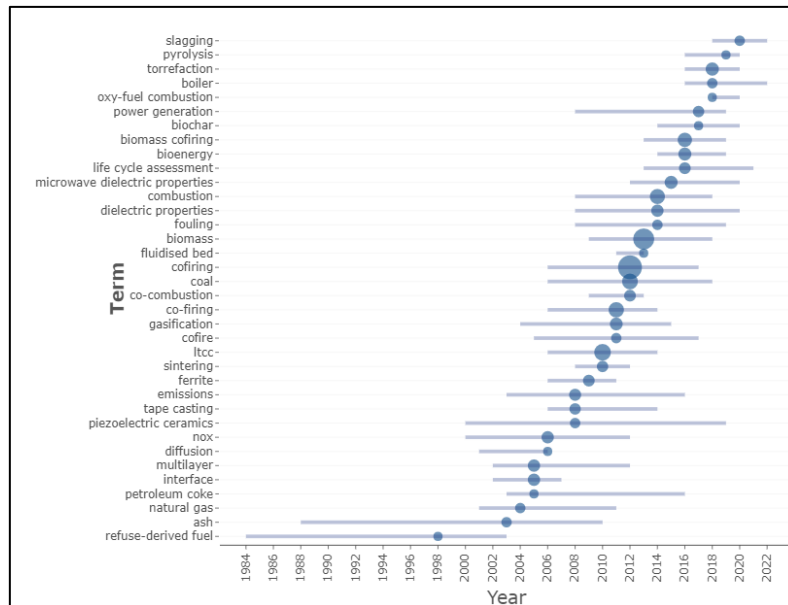


Gambar 10. Analisis Faktorial Kata Kunci Plus menggunakan Multiple Correspondence Analysis

Untuk meninjau klusterisasi terhadap tema-tema penelitian *cofiring* selama 44 tahun dilakukan analisis klusterisasi dengan K-Means. Gambar 10 merupakan fasilitas yang disediakan oleh Biblioshiny untuk melakukan analisis klusterisasi K-Means dengan metode Multiple Correspondence Analysis (MCA). Hasilnya terdapat dua kluster. Kluster 1 mewakili tema-tema penelitian *cofiring* pada pembangkit listrik secara umum, seperti: biomassa, batu bara, combustion, boiler, termasuk waste incineration. Tema-tema penelitian pada Kluster 2 menjadi pembeda dengan penelitian pada umumnya. Pada kluster 2 fokus penelitian mencakup tema: sintering, ceramic material, multilayers, temperature, termasuk scanning electron microscopy. Tema-tema pada kluster 2, khususnya mengenai perkembangan rekayasa material keramik telah terbit sejak tahun 1983 bahkan pada tahun 2022 tema ini tetap bertahan. Sebagai contoh pada tahun 1983 telah terbit artikel yang berjudul “Electroplating Important In Manufacturing Cofired Multilayer Ceramic Modules And Packages” oleh Sisolak Robert [26].

Pada Gambar 11 menunjukkan grafik antara trend kata kunci penulis dengan lamanya tren tersebut bertahan. Dimana lingkaran biru yang besar menunjukkan trend kata kunci paling banyak digunakan pada tahun tersebut dan garis menunjukkan waktu trend. Kata kunci “*cofiring*” yang menjadi bahasan utama pada studi ini muncul paling banyak pada tahun 2012 dengan jumlah frekuensi 133 kali. Berdasarkan Gambar 11 dapat disimpulkan beberapa informasi. Terdapat 36 tema penelitian *cofiring* dalam kurun waktu 44 tahun terakhir. Tema penelitian yang paling lama bertahan (lebih dari 20 tahun), yaitu mengenai “ash” dari tahun 1988 – 2010. Tema lainnya yang cukup lama bertahan adalah dan tema mengenai “refuse-derived fuel” dan “piezoelectric ceramics”. Berdasarkan tema-tema yang muncul dari tahun 1979 – 2022, maka penelitian *cofiring*, dalam hal ini yang berkaitan dengan pembangkit listrik, yang akan menjadi trend di masa depan adalah: coal, biomass, dan emissions. Batu bara adalah bahan bakar fosil yang sering digunakan dalam proses *cofiring*. Penelitian yang dilakukan mengenai batu bara dalam *cofiring* biasanya berfokus pada pengembangan teknologi untuk meningkatkan kompatibilitas batu bara dengan bahan bakar alternatif, seperti biomassa, dan analisis ekonomi dari penggunaan batu bara dalam proses *cofiring*. Biomassa adalah bahan bakar alternatif yang sering digunakan dalam proses *cofiring*. Penelitian mengenai biomassa dalam *cofiring* berfokus pada pengembangan teknologi untuk meningkatkan kompatibilitas biomassa dengan sistem pembakar fosil, optimalisasi campuran bahan bakar, dan analisis ekonomi dari penggunaan biomassa dalam proses *cofiring*. Emisi merupakan salah satu faktor penting dalam penelitian *cofiring*. Penelitian mengenai emisi dalam *cofiring* berfokus pada mengevaluasi potensi *cofiring* dalam mengurangi emisi gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, dan partikel. Beberapa penelitian juga melakukan analisis life cycle assessment (LCA) dari proses *cofiring* untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar alternatif. Secara keseluruhan, penelitian *cofiring* mencakup

berbagai tema yang saling terkait, seperti kompatibilitas bahan bakar, optimalisasi campuran bahan bakar, analisis ekonomi, dan evaluasi emisi, yang semuanya berkaitan dengan pengurangan emisi gas rumah kaca dan peningkatan efisiensi energi.



Gambar 11. Trend topics with author's keywords

Penggunaan batu bara sebagai pembangkit listrik mencapai rekor tertinggi pada tahun 2021. Emisi CO<sub>2</sub> dari pembangkit listrik batu bara mencapai 9.7 Gt [27]. Fakta menyedihkan yang terjadi ini akan mengundang para peneliti bidang energi dan pembangkit listrik untuk bersama-sama mencari solusi atas permasalahan global. Upaya ini akan terus didorong untuk mencapai Net Zero Emissions by 2050 Scenario yang menyerukan pengurangan penggunaan batu bara sebesar 9% rata-rata per tahun dan penghentian total pada tahun 2040 [28]. Di sisi lain, batu bara masih menjadi pilihan utama pembangkit listrik karena ketersediannya yang melimpah dibandingkan teknologi pembangkit listrik lainnya. Pada laporannya, Grand View Research (GVR) [29] menyatakan bahwa permintaan pasar pembangkit listrik baru batu bara diperkirakan akan meningkat dengan compound annual growth rate (CAGR) sebesar 1,6% dari tahun 2020 hingga 2028.

Upaya global untuk mengurangi emisi karbon akan mendorong sejumlah peneliti untuk menjalin kolaborasi penelitian mengenai pemanfaatan biomassa sebagai pembangkit listrik. Pasar tenaga biomassa global diperkirakan akan tumbuh 6% antara tahun 2021 hingga 2030 [30]. Tema-tema penelitian mengenai biomassa sebagai energi terbarukan mencakup: biogas-biodiesel, bioethanol, hydrogen production, biomass gasification, dan electricity generation [7]. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa *cofiring* adalah proses mencampur bahan bakar fosil dengan bahan bakar alternatif dalam satu boiler atau pembakar. Penelitian mengenai *cofiring* telah berkembang dalam beberapa tahun terakhir, dengan fokus utama pada peningkatan efisiensi energi, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan penurunan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Beberapa bahan bakar alternatif yang sering dikaji dalam penelitian *cofiring* adalah biomassa, bahan bakar nabati, gas alam cair, dan gas biometana. Penelitian juga telah dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas *cofiring* dalam pembangkit listrik, industri, dan pembangkit uap. Tren penelitian saat ini mencakup pengembangan teknologi untuk meningkatkan kompatibilitas bahan bakar alternatif dengan sistem pembakar fosil, optimalisasi campuran bahan bakar, dan analisis ekonomi *cofiring*. Beberapa penelitian juga sedang berlangsung untuk mengevaluasi potensi *cofiring* dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan peningkatan efisiensi energi.

## KESIMPULAN

Riset dengan *cofiring* merupakan tema yang muncul sejak awal tahun 1979. Dalam kurun waktu 44 tahun terakhir telah banyak peneliti yang melakukan penelitian untuk mendeskripsikan perkembangan *cofiring* dari beberapa jurnal yang menerbitkan artikel. Tema yang dibahas tidak hanya terfokus pada pembakaran biomassa namun merambah ke pembahasan tentang lingkungan, ilmu kimia, energi terbarukan, dan material keramik. Jurnal yang paling sering menerbitkan tema ini adalah "Energy and Fuels", disusul dengan "Journal of the American Ceramic Society". USA

dan China menjadi negara yang paling produktif dan memberikan dampak yang sangat signifikan pada penelitian *cofiring*. Terdapat fakta yang menarik bahwa China yang menjadi penyumbang artikel lebih banyak memanfaatkan USA sebagai sumber referensinya. USA menjadi negara yang paling banyak dikutip oleh para peneliti di dunia dengan tema *cofiring*, sebanyak 7322 kali.

Kolaborasi penelitian tema *cofiring* terbanyak dilakukan oleh USA dan China. USA mengembangkan jaringan kolaborasinya dengan negara lain, seperti: Canada, Korea, UK, France, Chad, Israel, Slovenia, dan Chile. Adapun China bekerja sama dengan: Korea, Singapore, Hong Kong, Indonesia, Japan, dan Czech Republic. Kolaborasi yang dilakukan pada masing-masing negara dilakukan oleh beberapa afiliasi universitas. Universitas asal China yang paling mendominasi dalam hal ini adalah Tsinghua University.

Melalui analisis terhadap kata kunci didapatkan 36 tema penelitian yang secara umum terbagi dalam 2 kluster, yaitu kluster 1 mengenai *cofiring* yang berkaitan dengan energi terbarukan dan pembangkit listrik. Kluster 2 mengenai *cofiring* yang berkaitan dengan ilmu kimia dan material keramik. Tiga tema penelitian *cofiring* kaitannya dengan energi dan pembangkit listrik, yaitu: coal, biomass, dan emissions. Pada akhirnya kami berharap temuan dari studi ini dapat memberikan wawasan baru kepada para akademisi bidang energi dan pembangkit listrik.

## REFERENSI

- [1] Y. Xu, K. Yang, J. Zhou, and G. Zhao, "Coal-biomass co-firing power generation technology: Current status, challenges and policy implications," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 9, 2020, doi: 10.3390/su12093692.
- [2] P. Križan et al., "Briquetting of municipal solid waste by different technologies in order to evaluate its quality and properties," *Agronomy Research*, vol. 9, no. SPPL. ISS. 1, pp. 115–123, 2011.
- [3] N. Donthu, S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey, and W. M. Lim, "How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines," *J Bus Res*, vol. 133, no. March, pp. 285–296, 2021, doi: 10.1016/j.jbusres.2021.04.070.
- [4] H. Chen and Y. S. Ho, "Highly cited articles in biomass research: A bibliometric analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 12–20, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.060.
- [5] C. Cicea, C. Marinescu, C. F. Albu, and D. P. BÄflan, "Applying bibliometric mapping and clustering on research regarding biomass related innovation," in *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020*, 2019, no. April, pp. 2404–2419.
- [6] A. Sertolli, Z. Gabnai, P. Lengyel, and A. Bai, "Biomass Potential and Utilization in Worldwide Research Trends—A Bibliometric Analysis," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 9, 2022, doi: 10.3390/su14095515.
- [7] M. A. Perea-Moreno, E. Samerón-Manzano, and A. J. Perea-Moreno, "Biomass as renewable energy: Worldwide research trends," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 3, 2019, doi: 10.3390/su11030863.
- [8] G. V. Ochoa, J. N. Alvarez, and C. Acevedo, "Research evolution on renewable energies resources from 2007 to 2017: A comparative study on solar, geothermal, wind and biomass energy," *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 9, no. 6, pp. 242–253, 2019, doi: 10.32479/ijee.8051.
- [9] Z. Zhang, G. Hu, X. Mu, and L. Kong, "From low carbon to carbon neutrality: A bibliometric analysis of the status, evolution and development trend," *J Environ Manage*, vol. 322, no. 15, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116087.
- [10] S. M. Thomas, "The evaluation of plant biomass research: a case study of the problems inherent in bibliometric indicators," *Scientometrics*, vol. 23, no. 1, pp. 149–167, 1992.
- [11] L. Wang, S. Wang, J. Zhou, L. Xie, H. Qin, and H. Ma, "A Scientometric Review: Biomass Gasification Study from 2006 to 2020," *ACS Omega*, vol. 7, no. 43, pp. 38246–38253, 2022, doi: 10.1021/acsomega.2c05527.
- [12] F. M. Geovanni Ferrari, Andrea Pezzuolo, Abdul-Sattar Nizami, "Bibliometric analysis of trends in biomass for bioenergy reserach," *Energies (Basel)*, 2020.
- [13] A. Knapczyk, S. Francik, M. Jewiarz, A. Zawi, and R. Francik, "Thermal treatment of biomass : a bibliometric analysis — the torrefaction case," pp. 1–31, 2021.
- [14] A. Helal, N. Anderson, Y. Wei, and M. Thompson, "A Review of Biomass-to-Bioenergy Supply Chain Research Using Bibliometric Analysis and Visualization," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 1, pp. 1–33, 2023.
- [15] S. G. Azevedo, M. Santos, and J. R. Antón, "Supply chain of renewable energy: A bibliometric review approach," *Biomass Bioenergy*, vol. 126, no. April, pp. 70–83, 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2019.04.022.
- [16] A. Rosokhata, M. Minchenko, L. Khomenko, and O. Chygryn, "Renewable energy: A bibliometric analysis," *E3S Web of Conferences*, vol. 250, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202125003002.
- [17] R. Yuan et al., "Research Priorities and Trends on Bioenergy: Insights from Bibliometric Analysis," *Int J*

- Environ Res Public Health, vol. 19, no. 23, 2022, doi: 10.3390/ijerph192315881.
- [18] H. Du, N. Li, M. A. Brown, Y. Peng, and Y. Shuai, "A bibliographic analysis of recent solar energy literatures: The expansion and evolution of a research field," *Renew Energy*, vol. 66, pp. 696–706, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2014.01.018.
- [19] H. B. Adedayo, S. A. Adio, and B. O. Oboirien, "Energy research in Nigeria: A bibliometric analysis," *Energy Strategy Reviews*, vol. 34, no. March, p. 100629, 2021, doi: 10.1016/j.esr.2021.100629.
- [20] S. Singh, K. Singh, J. Ahmed, V. M. Soni, and N. Munjal, "Research and Development of Biomass Production in India: A Bibliometric Study," in *Advances in Functional and Smart Materials*, C. Prakash, S. Singh, and G. Krolczyk, Eds. Springer Singapore, 2023, pp. 161–173. doi: 10.1007/978-981-19-4147-4\_17.
- [21] M. Gutiérrez-Salcedo, M. A. Martínez, J. A. Moral-Munoz, E. Herrera-Viedma, and M. J. Cobo, "Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields," *Applied Intelligence*, vol. 48, no. 5, pp. 1275–1287, 2018, doi: 10.1007/s10489-017-1105-y.
- [22] Scopus, "<https://www.scopus.com/>," Elsevier diakses pada tanggal 9 Januari 2023
- [23] K. McDonald, "Physicist Proposes New Way to Rank Scientific Output," *PhysOrg*, 2005. <https://phys.org/news/2005-11-physicist-scientific-output.html> (accessed Jan. 24, 2023).
- [24] I. Pradnyaswari, J. N. Pongrekun, P. Ridhana, and I. Budiman, "Barriers and Opportunities of Bio pellets Fuel Development in Indonesia: Market Demand and Policy," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 997, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/997/1/012003.
- [25] D. R. Meilanova, "IEEFA : PLN Perlu Waspada Risiko Implementasi Cofiring Biomassa," *Binis.Com*, Jakarta, 2021.
- [26] R. Sisolak, "Electroplating Important in Manufacturing Cofired Multilayer Ceramic Modules and Packages.," 1983.
- [27] C. Greenfield, C. F. Alvarez, and S. Lorenczik, "Coal-Fired Electricity," 2022.
- [28] International Energy Agency, "Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector," 2021.
- [29] GVR, "Coal Power Generation Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology (Pulverized, Cyclone Furnaces), By Application (Residential, Commercial & Industrial), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2028," 2020.
- [30] Straits Research, "Biomass Power Market: Information by Technology, Feedstock, and Region - Forecast till 2030," 2021.