



“KAJIAN BIBLIOMETRIK WINDCATCHER UNTUK VENTILASI ALAMI DAN EFISIENSI ENERGI”

Suyento¹, Andi Prasetyo Wibowo²

¹ Mahasiswa Magister Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

² Dosen Departemen Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

E-mail: suyentotjuatja@gmail.com, andi.prasetyo@uajy.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:
15 Mei 2025

Direvisi:
27 Juni

Disetujui terbit:
23 September 2025

Diterbitkan:
Cetak:
29 September 2025

Online
29 September 2025

Abstract: *The windcatcher, as a traditional architectural element, is significant for natural ventilation and building energy efficiency in sustainable design. This study aims to map the global research landscape of windcatchers (2015-2025) and their applications in natural ventilation, energy efficiency, and building performance. Using a bibliometric analysis approach on 172 filtered and cleansed Scopus articles, VOSviewer and Scopus analytics were employed to identify trends, sources, geographical distribution, subject areas, and conceptual structure through keyword co-occurrence. The results indicate a dynamic and sustained research interest (peaking in 2017), multidisciplinary in nature (dominated by Engineering & Energy), with major contributors from the UK, Iran, US, and Egypt. Four main thematic clusters were identified: core focus on windcatcher-ventilation-CFD, thermal comfort-sustainability, experimental methodology, and fluid dynamics. These findings highlight the central role of digital tools like CFD and simulation for design optimization, provide a research roadmap, and identify innovation opportunities in Digital Architecture for energy saving.*

Keywords: *Windcatcher, Bibliometric Analysis, Energy Efficiency*

Abstrak: *Windcatcher, sebagai elemen arsitektur tradisional, signifikan untuk ventilasi alami dan efisiensi energi bangunan dalam desain berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan memetakan lanskap riset global windcatcher (2015-2025) dan aplikasinya pada ventilasi alami, efisiensi energi, serta kinerja bangunan. Dengan pendekatan analisis bibliometrik terhadap 172 artikel Scopus yang telah disaring dan dibersihkan, VOSviewer dan analitik Scopus digunakan untuk mengidentifikasi tren, sumber, distribusi geografis, bidang ilmu, dan struktur konseptual melalui ko-okurensi kata kunci. Hasil menunjukkan minat riset dinamis dan berkelanjutan (puncak 2017), bersifat multidisiplin (dominan Teknik & Energi), dengan kontributor utama dari UK, Iran, US, dan Mesir. Empat kluster tema utama teridentifikasi: fokus inti windcatcher-ventilasi-CFD, kenyamanan termal-keberlanjutan, metodologi eksperimental, dan dinamika fluida. Temuan ini menyoroti peran sentral alat digital seperti CFD dan simulasi untuk optimasi desain, menyediakan peta jalan riset, dan mengidentifikasi peluang inovasi di Arsitektur Digital untuk penghematan energi.*

Kata Kunci: *Windcatcher, Analisis Bibliometrik, Efisiensi Energi*

PENDAHULUAN

Windcatcher, atau penangkap angin, merupakan elemen arsitektural vernakular yang signifikan, berfungsi untuk menangkap aliran udara alami guna ventilasi dan pendinginan pasif. Aplikasi teknologi ini secara langsung mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin mekanis yang mengonsumsi banyak energi, sehingga berkontribusi pada penghematan energi bangunan. Dengan warisan sejarah ribuan tahun, terutama di kawasan Timur Tengah dan Afrika Utara, *windcatcher* menemukan relevansi baru di tengah meningkatnya kesadaran global akan isu perubahan iklim dan kebutuhan mendesak terhadap solusi bangunan berkelanjutan. Dalam paradigma arsitektur hijau, *windcatcher* menjadi strategi penting untuk meminimalkan dampak lingkungan bangunan melalui optimalisasi

potensi ventilasi alami. Peran krusialnya dalam efisiensi energi telah banyak dibuktikan melalui kemampuannya meningkatkan laju pertukaran udara secara signifikan serta menurunkan beban pendinginan internal secara substansial.

Meskipun berbagai penelitian individual telah mendalami aspek desain spesifik dan analisis performa *windcatcher*, masih terdapat kesenjangan signifikan berupa belum adanya tinjauan komprehensif terkini yang memetakan lanskap penelitian *windcatcher* secara kuantitatif dan holistik, khususnya untuk periode satu dekade terakhir (2015-2025). Ketiadaan pemetaan ini berpotensi menghambat identifikasi area riset prioritas dan sinergi antar peneliti secara optimal. Dalam konteks ini, analisis bibliometrik menawarkan perspektif makro yang krusial karena kemampuannya untuk

mengidentifikasi tren evolusi pengetahuan, menyoroti area fokus riset yang dominan maupun yang terabaikan, memvisualisasikan pola jaringan kolaborasi, serta mengenali kontributor berpengaruh (Donthu et al., 2021). Wawasan dari analisis semacam ini dapat memberikan panduan strategis bagi peneliti dalam mengidentifikasi celah riset, bagi praktisi arsitek dalam mengadopsi inovasi desain berbasis bukti empiris, dan bagi pembuat kebijakan dalam merumuskan dukungan terhadap teknologi hemat energi.

Untuk menjawab kebutuhan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren publikasi ilmiah global terkait *windcatcher* yang terindeks dalam basis data Scopus—dipilih karena cakupan internasionalnya yang luas dan kualitas metadata yang mendukung analisis bibliometrik—dari tahun 2015 hingga akhir 2024 (mencakup data termutakhir yang tersedia hingga awal 2025 saat analisis dilakukan). Fokus utama penelitian ini adalah mengidentifikasi penulis, institusi, dan negara yang paling produktif serta berpengaruh, memetakan tema-tema penelitian utama beserta dinamika perkembangannya, dan menganalisis pola kolaborasi ilmiah. Hasilnya diharapkan dapat menyediakan peta jalan riset yang terstruktur, menawarkan wawasan inovasi aplikatif, dan membangun landasan informasi bagi pengembangan kebijakan. Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada analisis bibliometrik kuantitatif terhadap berbagai jenis dokumen ilmiah yang relevan dengan topik *windcatcher* dan terindeks dalam Scopus pada rentang waktu yang ditetapkan, dengan perangkat lunak VOSviewer digunakan untuk visualisasi jaringan dan analisis kluster.

Guna mencapai tujuan tersebut, penelitian ini mengadopsi pendekatan analisis bibliometrik, sebuah metodologi yang efektif dalam memetakan evolusi pengetahuan. Tahap awal meliputi pengumpulan data publikasi dari Scopus, diikuti pra-pemrosesan dan pembersihan data menggunakan OpenRefine untuk memastikan akurasi dan konsistensi. VOSviewer digunakan untuk visualisasi jaringan, sementara Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017) dimanfaatkan untuk analisis statistik dan pemetaan ilmiah yang lebih komprehensif. Integrasi Scopus, OpenRefine, VOSviewer, dan Bibliometrix ini ditujukan untuk menghasilkan pemahaman sistematis mengenai lanskap penelitian *windcatcher*, mengisi kesenjangan pengetahuan, dan memfasilitasi perumusan arah penelitian masa depan yang lebih terarah.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Windcatcher*: Sejarah dan Prinsip Dasar

Windcatcher, atau penangkap angin, merupakan sistem pendinginan pasif tradisional yang telah digunakan selama ribuan tahun, terutama di kawasan beriklim panas dan kering seperti Iran, Mesir, Pakistan, dan negara-negara Teluk (Bahadori et al., 2014). Struktur ini pertama kali muncul sekitar 4000 tahun lalu di Persia kuno, dengan bukti arkeologis menunjukkan penggunaannya yang berkelanjutan hingga era modern (Fathy, 1986). Sebagai elemen

arsitektur vernakular yang teruji waktu—dikenal sebagai "Badgir" di Iran, "Malqaf" di Mesir, dan "Barjeel" di negara-negara Teluk—*windcatcher* mengadopsi prinsip fisika aliran udara untuk menciptakan ventilasi dan pendinginan pasif tanpa konsumsi energi (Saadatian et al., 2012).

Prinsip operasional *windcatcher* bergantung pada dua fenomena fisika utama: efek angin (*wind-driven effect*) dan efek apung termal (*stack effect* atau *buoyancy-driven effect*) (Khan et al., 2008). Dalam efek angin, struktur menara *windcatcher* yang menjulang di atas atap menangkap aliran angin pada ketinggian dengan kecepatan lebih tinggi. Tekanan positif pada sisi hadap angin (*windward*) dan tekanan negatif pada sisi berlawanan (*leeward*) mendorong pergerakan udara melalui ruang di bawahnya (Montazeri & Azizian, 2008). Efek apung termal bekerja berdasarkan perbedaan densitas udara akibat variasi suhu: udara panas di dalam bangunan bergerak naik dan keluar melalui *windcatcher*, sementara udara segar yang lebih dingin dari luar masuk, menciptakan siklus ventilasi alami (Hughes et al., 2012).

Secara morfologis, *windcatcher* tradisional dikategorikan berdasarkan jumlah bukaan: *unidirectional* (satu arah), *bidirectional* (dua arah), dan *multidirectional* (umumnya empat arah di Iran) (Montazeri, 2011). Setiap konfigurasi memiliki karakteristik performa berbeda yang sesuai untuk kondisi iklim dan pola angin spesifik (Ghadiri et al., 2013).

2.2 Evolusi Studi *Windcatcher* Modern

Studi akademis sistematis tentang *windcatcher* berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir. Riset modern awal ditandai oleh kontribusi Bahadori (1978) yang menganalisis kinerja termal *windcatcher* tradisional Iran secara kuantitatif. Momentum berlanjut pada 1980-an dan 1990-an melalui upaya Hassan Fathy (1986) yang mengintegrasikan elemen pendinginan pasif ke arsitektur kontemporer, serta studi eksperimental Awbi dan Elmualim (2002) yang memvalidasi performa *windcatcher*.

Memasuki abad ke-21, teknologi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merevolusi penelitian *windcatcher*. Studi simulasi numerik oleh Montazeri dan Azizian (2008) berhasil memvisualisasikan pola aliran udara dengan presisi tinggi. Hughes et al. (2012) kemudian mengembangkan model simulasi terintegrasi untuk mengevaluasi performa *windcatcher* modern dalam berbagai kondisi iklim.

Periode 2010-2020 menandai intensifikasi dan diversifikasi riset, dengan inovasi seperti *windcatcher* terintegrasi elemen pendinginan evaporatif (Calautit & Hughes, 2014), panel surya (Chaudhry et al., 2016), dan *Phase Change Materials* (PCM) (Hosseini et al., 2020). Pendekatan hibridisasi menjadi tren dominan, dengan fokus pada optimalisasi performa untuk aplikasi urban modern. Perkembangan terkini juga menunjukkan orientasi riset menuju validasi implementasi praktis melalui studi kasus bangunan aktual (Jomehzadeh et al., 2017).

2.3 Konteks Bibliometrik dan Pemetaan Riset

1. **Pemilihan Basis Data (Database Selection):** Basis data utama yang digunakan adalah **Scopus** (Gambar 1). Alasan pemilihan Scopus meliputi:

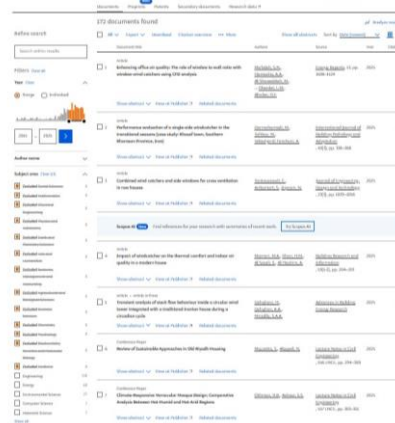
- **Cakupan Komprehensif:** Mengindeks puluhan ribu judul jurnal *peer-reviewed*, prosiding konferensi, dan seri buku global (Falagas, Pitsouni, Malietzis, & Pappas, 2008), penting untuk menangkap literatur relevan terkait *windcatcher* di bidang arsitektur, teknik, dan energi.
- **Kualitas Terjamin:** Proses seleksi konten yang ketat oleh dewan peninjau independen menjaga kualitas ilmiah publikasi terindeks (Burnham, 2006).
- **Fitur Pencarian Lanjutan:** Memungkinkan perumusan kueri pencarian yang kompleks dan spesifik.
- **Data Sitasi Andal:** Menyediakan data sitasi ekstensif untuk analisis bibliometrik.
- **Kemudahan Ekspor Data:** Kompatibel dengan perangkat lunak analisis bibliometrik (VOSviewer, CiteSpace).
- **Penggunaan Luas:** Diterima luas sebagai sumber data utama dalam studi bibliometrik (Mongeon & Paul-Hus, 2016).

2. **Perumusan Kata Kunci Pencarian (Search Query Formulation):** Strategi pencarian dirancang untuk menangkap literatur spesifik mengenai *windcatcher* (dan sinonimnya) dalam konteks ventilasi alami, efisiensi energi, dan kinerja bangunan. Kueri pencarian yang digunakan: (TITLE-ABS-KEY ("wind catcher" OR "windcatcher" OR "badgir" OR "malqaf" OR "wind tower" OR "wind chimney" OR "wind scoop") AND TITLE-ABS-KEY ("natural ventilation" OR "passive ventilation" OR "passive cooling" OR "energy efficient" OR "energy saving" OR "thermal comfort" OR "building performance")) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026 *Penjelasan Kueri:*

- TITLE-ABS-KEY: Pencarian pada judul, abstrak, dan kata kunci.
- ("wind catcher" OR ... "wind scoop"): Mengidentifikasi terminologi penangkap angin.
- AND: Menggabungkan set kata kunci.
- ("natural ventilation" OR ... "building performance"): Mengidentifikasi konsep terkait ventilasi, pendinginan, efisiensi energi. Tanda bintang (*) pada *efficient** sebagai *wildcard*.
- AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026: Membatasi publikasi antara 2015-2025.

3. **Eksekusi Pencarian dan Pengumpulan Data Awal:** Kueri dimasukkan ke fitur pencarian lanjutan Scopus. Hasil awal: **308 dokumen** yang sesuai kriteria, menjadi data mentah untuk diproses lebih lanjut.

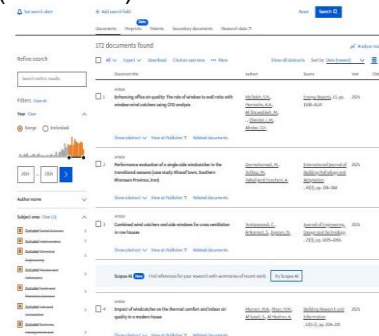
Tahap 2: Penyaringan dan Seleksi Literatur Berdasarkan Relevansi Bidang Ilmu



Gambar 2. Seleksi Literatur Bidang Ilmu di Scopus

Dari 308 dokumen awal, dilakukan penyaringan berdasarkan relevansi bidang ilmu (*subject area*) dengan fokus penelitian arsitektur, teknik, dan energi terkait *windcatcher* (Gambar 2).

1. **Identifikasi Bidang Ilmu Tidak Relevan:** Bidang ilmu yang dieksklusi meliputi: Medicine, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Psychology, Chemistry, Decision Sciences, Agricultural and Biological Sciences, Business, Management and Accounting, Arts and Humanities, Earth and Planetary Sciences, Physics and Astronomy, Chemical Engineering, Mathematics, Social Sciences.
2. **Penetapan Bidang Ilmu Relevan:** Dokumen dipertahankan jika termasuk dalam: Engineering, Energy, Environmental Science, Materials Science, Computer Science, Multidisciplinary (dengan konten relevan).
3. **Literatur hanya Bahasa Inggris**
4. **Hasil Penyaringan:** Setelah filter eksklusi, tersisa **172 dokumen** yang dianggap relevan untuk analisis bibliometrik lebih lanjut (Gambar 3).



Gambar 3. Setelah filter eksklusi, tersisa **172 dokumen**
Tahap 3: Pembersihan dan Standardisasi Data Menggunakan OpenRefine

Setelah mendapatkan 172 dokumen relevan, dilakukan pembersihan dan standardisasi data bibliografi menggunakan **OpenRefine** untuk memastikan kualitas dan konsistensi data sebelum analisis.

OpenRefine About OpenRefine

Version 3.9.3 [TRUNK]

OpenJDK Runtime Environment 11.0.26+4
Extensions: core, database, jython, pc-axis, wikidata

OpenRefine is a power tool for working with messy data. Use it to improve data consistency, link it to data registries such as Wikidata, augment it with data from other sources, transform data into different formats for other tools to consume, and contribute data back to their sources. OpenRefine is not a web service but a desktop app that runs on your own computer, so you can process sensitive data privately.

OpenRefine was originally developed as 'Freebase Gridworks' by Metaweb Technologies, Inc.. Metaweb was acquired by Google in July 2010 and they renamed the product Google Refine. In October, 2012, the product was renamed OpenRefine as it transitioned to a community supported project.

Gambar 4. OpenRefine sumber: website

1. Fungsi OpenRefine dalam Penelitian Bibliometrik: OpenRefine berguna untuk bekerja dengan data "berantakan" (*messy data*) (Verborgh & De Wilde, 2013). Fungsi yang dimanfaatkan:

- **Pembersihan Data (Data Cleaning):** Memperbaiki kesalahan ketik, inkonsistensi ejaan, menghilangkan spasi berlebih.
 - **Standardisasi Data (Data Standardization):** Menyeragamkan format nama penulis, jurnal, kata kunci.
 - **Penanganan Data Duplikat:** Mengidentifikasi dan menggabungkan entri duplikat.
 - **Transformasi Data:** Mengubah format data, misal memisahkan kolom.
 - **Faceted Browsing:** Eksplorasi data melalui faset untuk identifikasi pola atau anomali.
- #### 2. Manfaat Penggunaan OpenRefine:
- **Peningkatan Kualitas Data:** Menghasilkan analisis yang lebih akurat dan andal.
 - **Efisiensi Proses:** Fitur otomatisasi mempercepat proses, terutama untuk dataset besar.
 - **Reproduktifitas:** Langkah pembersihan dapat disimpan dan diulang.
 - **Persiapan Data untuk Perangkat Lunak Analisis:** Data lebih siap diimpor ke VOSviewer, mengurangi masalah kompatibilitas.

Proses melibatkan impor dataset, penerapan fungsi seperti *text facet*, *clustering*, dan transformasi menggunakan *General Refine Expression Language* (GREL). Data yang bersih diekspor untuk analisis selanjutnya. Tahap ini krusial untuk memastikan analisis didasarkan pada data berkualitas tinggi.

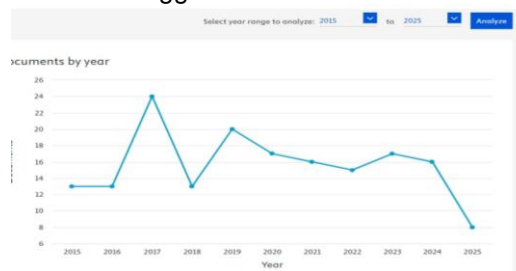
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis bibliometrik terhadap literatur ilmiah mengenai *wind catcher* dan pembahasannya. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren perkembangan penelitian, fokus area, serta kolaborasi antar peneliti dan institusi dalam topik *wind catcher* kaitannya dengan ventilasi alami, efisiensi energi, dan kinerja bangunan. Data yang digunakan adalah 172 artikel yang telah melalui proses seleksi dan pembersihan sebagaimana dijelaskan pada Metode Penelitian.

4.1 Tren Publikasi Tahunan Artikel Terkait *Wind Catcher* (2015-2025)

Analisis pertama yang dilakukan adalah mengamati tren jumlah publikasi ilmiah terkait *wind catcher* per tahun dari 172 dokumen yang telah lolos proses

penyaringan. Grafik 1 menyajikan distribusi tahunan artikel yang relevan dari database Scopus untuk periode 2015 hingga 2025.



Grafik 1. Distribusi Tahunan Artikel Relevan Terkait *Wind Catcher* di Scopus (2015-2025)

Berdasarkan Grafik 1, dapat diamati dinamika jumlah publikasi tahunan sebagai berikut:

- **Awal Periode (2015-2016):** Jumlah publikasi pada tahun 2015 tercatat sebanyak 13 artikel. Angka ini menunjukkan adanya fondasi penelitian awal yang cukup stabil pada topik *wind catcher* dalam lingkup yang relevan. Pada tahun 2016, jumlah publikasi tetap sama, yaitu 13 artikel, mengindikasikan konsistensi minat penelitian di awal periode.
- **Peningkatan Signifikan (2017):** Terjadi lonjakan publikasi yang sangat signifikan pada tahun 2017, mencapai 24 artikel. Ini merupakan jumlah tertinggi dalam satu tahun selama periode yang dianalisis dan menandakan adanya peningkatan minat atau terobosan penelitian yang substansial pada tahun tersebut.
- **Penurunan dan Fluktuasi (2018-2022):** Setelah puncak di tahun 2017, jumlah publikasi mengalami penurunan menjadi 13 artikel pada tahun 2018. Kemudian, terjadi kenaikan menjadi 20 artikel pada tahun 2019, diikuti penurunan kembali menjadi 17 artikel pada tahun 2020, dan 16 artikel pada tahun 2021. Pada tahun 2022, jumlahnya sedikit menurun lagi menjadi 15 artikel. Fluktuasi ini mungkin mencerminkan dinamika internal dalam komunitas riset, pergeseran fokus, atau pengaruh faktor eksternal lainnya.
- **Tren Stabil Menuju Akhir Periode (2023-2024):** Minat penelitian menunjukkan kestabilan dengan sedikit peningkatan, yaitu 17 artikel pada tahun 2023 dan 16 artikel pada tahun 2024. Angka ini menunjukkan bahwa topik *wind catcher* terus menjadi subjek penelitian yang aktif.
- **Proyeksi Awal (2025):** Data untuk tahun 2025 menunjukkan 8 artikel. Sebagaimana umumnya pada analisis bibliometrik, data untuk tahun berjalan (dalam hal ini 2025, diasumsikan pencarian dilakukan di awal atau pertengahan tahun) seringkali belum lengkap karena proses publikasi dan pengindeksan yang membutuhkan waktu. Angka ini bersifat sementara dan diperkirakan akan bertambah.

Pembahasan Tren Publikasi:

Tren publikasi tahunan dari 172 artikel yang relevan menunjukkan bahwa penelitian mengenai *wind catcher* dalam konteks efisiensi energi, ventilasi

alami, dan kinerja bangunan memiliki dinamika yang menarik selama periode 2015-2024. Puncak yang jelas pada tahun 2017 mengindikasikan periode produktivitas dan minat yang tinggi. Meskipun terjadi fluktuasi setelahnya, jumlah publikasi yang konsisten di tahun-tahun berikutnya menunjukkan bahwa topik ini tetap menjadi area investigasi yang penting dan berkelanjutan dalam komunitas ilmiah.

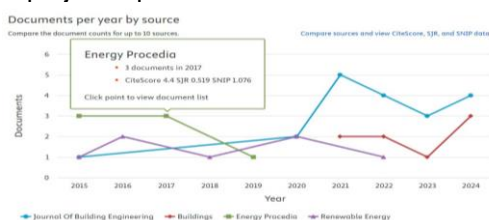
Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tren ini antara lain:

1. **Fokus Penelitian yang Lebih Spesifik:** Setelah periode eksplorasi awal atau penemuan fundamental (yang mungkin berkontribusi pada puncak 2017), penelitian mungkin bergerak ke arah aspek yang lebih spesifik atau aplikasi yang lebih mendalam, yang bisa menjelaskan fluktuasi dalam jumlah publikasi umum.
2. **Siklus Proyek Penelitian dan Pendanaan:** Proyek penelitian seringkali memiliki siklus beberapa tahun. Fluktuasi dalam publikasi dapat mencerminkan dimulainya atau berakhirnya proyek-proyek besar atau perubahan dalam prioritas pendanaan.
3. **Dampak Pandemi Global:** Periode sekitar 2020-2022 mungkin juga dipengaruhi oleh pandemi COVID-19, yang berdampak pada produktivitas penelitian di berbagai bidang, termasuk kemungkinan penundaan penelitian lapangan atau kolaborasi internasional.
4. **Konsolidasi Pengetahuan:** Setelah periode pertumbuhan pesat, mungkin ada fase di mana komunitas ilmiah lebih fokus pada konsolidasi temuan, penulisan artikel tinjauan (review), atau pengembangan standar, yang mungkin tidak selalu tercermin sebagai lonjakan jumlah artikel penelitian primer.

Meskipun ada variasi tahunan, data menunjukkan bahwa *wind catcher* terus menjadi topik yang relevan. Kebutuhan akan solusi bangunan yang hemat energi dan berkelanjutan, terutama dalam menghadapi perubahan iklim, memastikan bahwa penelitian di bidang ini akan terus berlanjut.

4.2 Produktivitas dan Tren Publikasi Berdasarkan Sumber (Jurnal)

Selain tren publikasi tahunan secara keseluruhan, penting juga untuk mengidentifikasi sumber atau jurnal mana yang paling banyak mempublikasikan artikel terkait *wind catcher*. Analisis ini dapat memberikan gambaran mengenai outlet publikasi utama bagi para peneliti di bidang ini. Grafik 2 menampilkan daftar jurnal teratas berdasarkan jumlah dokumen dan tren publikasi tahunan untuk beberapa jurnal pilihan.



Grafik 2. Produktivitas dan Tren Tahunan Artikel Terkait *Wind Catcher* Berdasarkan Sumber Jurnal Pilihan (2015-2025).

Jurnal Paling Produktif Secara Keseluruhan: Dari daftar yang ditampilkan, beberapa jurnal menunjukkan kontribusi signifikan dalam publikasi artikel terkait *wind catcher*:

- **Energy Procedia:** Memiliki total 7 dokumen. Jurnal ini seringkali mempublikasikan prosiding konferensi, yang menjelaskan mengapa aktivitasnya terkonsentrasi pada tahun-tahun tertentu (misalnya, 3 dokumen pada tahun 2017 seperti yang terlihat pada grafik), yang mungkin bertepatan dengan penyelenggaraan konferensi relevan.
- **Renewable Energy:** Juga dengan total 7 dokumen. Jurnal ini menunjukkan minat yang konsisten terhadap topik energi terbarukan dan teknologi terkait, termasuk aspek ventilasi pasif.
- **Applied Energy:** Menyumbang 6 dokumen. Fokus jurnal ini pada aplikasi energi dan teknologi energi membuatnya menjadi outlet yang relevan.
- **Renewable and Sustainable Energy Reviews:** Dengan 6 dokumen, jurnal ini menjadi platform penting untuk artikel tinjauan yang mengkonsolidasikan pengetahuan di bidang energi terbarukan dan berkelanjutan.
- **Building Simulation:** Memiliki 5 dokumen, menunjukkan fokusnya pada aspek simulasi kinerja bangunan, yang sering digunakan dalam analisis *wind catcher*.
- **International Journal of Ventilation:** Juga dengan 5 dokumen, secara spesifik menyoroti pentingnya penelitian ventilasi.
- **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics:** Dengan 5 dokumen, jurnal ini menjadi wadah penting untuk penelitian yang berkaitan dengan aspek aerodinamika, yang sangat relevan dengan desain dan kinerja *wind catcher*.

Tren Publikasi pada Jurnal Pilihan (Berdasarkan Grafik pada Gambar 4.2): Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan tren publikasi tahunan untuk empat jurnal terpilih: *Journal of Building Engineering*, *Buildings*, *Energy Procedia*, dan *Renewable Energy*.

- **Energy Procedia (Garis Hijau):** Sebagaimana disebutkan, menunjukkan aktivitas publikasi yang terkonsentrasi pada periode awal (2015-2018), dengan puncak pada tahun 2017 (3 dokumen). Setelah tahun 2018, tidak ada publikasi yang tercatat dalam grafik ini, yang konsisten dengan sifatnya sebagai jurnal prosiding. Ini mengindikasikan bahwa konferensi-konferensi tertentu pada periode tersebut memiliki fokus yang signifikan pada topik *wind catcher*.
- **Renewable Energy (Garis Ungu):** Menunjukkan pola publikasi yang relatif stabil namun dengan frekuensi rendah (1-2 artikel per tahun) di sebagian besar periode, dengan sedikit peningkatan aktivitas menjelang tahun 2024. Ini menandakan minat yang berkelanjutan namun tidak masif dari jurnal ini.

- **Journal of Building Engineering (Garis Biru Tua):** Menunjukkan tren yang lebih dinamis. Dimulai dengan jumlah yang rendah, kemudian mengalami peningkatan signifikan mencapai puncaknya sekitar tahun 2021, sebelum sedikit menurun. Ini bisa jadi mencerminkan meningkatnya fokus jurnal tersebut pada teknologi bangunan inovatif seperti *wind catcher* pada periode tersebut.
- **Buildings (Garis Merah):** Jurnal ini juga menunjukkan pola yang fluktuatif, dengan beberapa tahun tanpa publikasi dan tahun lain dengan aktivitas (misalnya, sekitar 2018 dan puncak signifikan pada tahun 2024). Ini mungkin menunjukkan bahwa topik *wind catcher* muncul secara periodik dalam fokus editorial jurnal ini atau melalui edisi khusus.

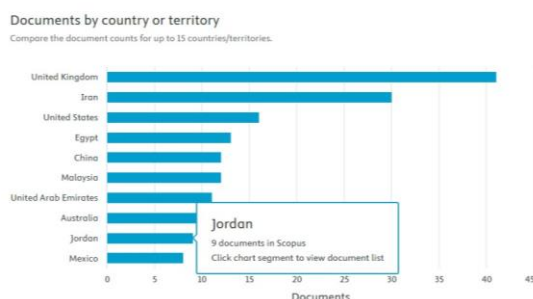
Pembahasan Produktivitas Jurnal:

Distribusi publikasi di berbagai jurnal menunjukkan bahwa penelitian mengenai *wind catcher* bersifat multidisiplin, mencakup bidang energi, teknik bangunan, ventilasi, dan aerodinamika. Jurnal-jurnal seperti *Energy Procedia*, *Renewable Energy*, *Applied Energy*, dan *Renewable and Sustainable Energy Reviews* menjadi outlet penting, yang menekankan aspek energi dan keberlanjutan dari *wind catcher*. Jurnal yang lebih spesifik seperti *Building Simulation*, *International Journal of Ventilation*, dan *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* menyoroti aspek teknis dan desain.

Tren publikasi pada jurnal-jurnal tertentu, seperti puncak aktivitas *Energy Procedia* di awal periode dan peningkatan aktivitas *Journal of Building Engineering* serta *Buildings* di periode selanjutnya, dapat mengindikasikan pergeseran fokus atau munculnya platform publikasi baru yang lebih mengakomodasi penelitian *wind catcher*. Peneliti yang ingin mempublikasikan karyanya di bidang ini dapat mempertimbangkan jurnal-jurnal tersebut berdasarkan cakupan dan tren publikasi terkini.

4.3 Distribusi Geografis Publikasi (Negara/Teritori)

Analisis distribusi geografis publikasi bertujuan untuk mengidentifikasi negara atau teritori mana yang paling aktif dan produktif dalam penelitian terkait *wind catcher*. Pemahaman ini dapat menunjukkan pusat-pusat keunggulan riset, potensi kolaborasi internasional, serta relevansi kontekstual *wind catcher* di berbagai wilayah geografis. Grafik 3 menyajikan kontribusi publikasi berdasarkan afiliasi negara/teritori penulis.



Grafik 3. Distribusi Publikasi Artikel Terkait *Wind Catcher* Berdasarkan Negara/Teritori Afiliasi Penulis (2015-2025).

Berdasarkan Grafik 3, beberapa negara/teritori menunjukkan produktivitas yang menonjol dalam penelitian *wind catcher*.

1. **United Kingdom (41 dokumen):** Menempati posisi teratas dengan kontribusi paling signifikan. Ini menunjukkan bahwa Inggris memiliki komunitas riset yang sangat aktif dan produktif dalam studi *wind catcher*, kemungkinan didukung oleh institusi akademik dan pusat penelitian yang kuat di bidang teknik bangunan, arsitektur berkelanjutan, dan energi.
2. **Iran (30 dokumen):** Berada di posisi kedua, yang tidak mengherankan mengingat *wind catcher* (dikenal sebagai "Badgir") memiliki akar sejarah yang kuat dalam arsitektur vernakular Iran (Mahyari, 1996). Produktivitas tinggi dari Iran mencerminkan minat berkelanjutan dalam mempelajari, mengadaptasi, dan memodernisasi teknologi tradisional ini untuk aplikasi kontemporer.
3. **United States (16 dokumen):** Amerika Serikat juga menunjukkan kontribusi yang cukup besar, menandakan adanya minat penelitian yang signifikan di negara ini, kemungkinan didorong oleh agenda efisiensi energi dan inovasi dalam teknologi bangunan.
4. **Egypt (13 dokumen):** Mesir, seperti Iran, memiliki sejarah arsitektur tradisional yang memanfaatkan elemen penangkap angin (dikenal sebagai "Malqaf"). Produktivitas dari Mesir menunjukkan adanya upaya penelitian untuk memahami dan mengembangkan kembali solusi iklim lokal ini.
5. **China (12 dokumen) dan Malaysia (12 dokumen):** Kedua negara ini memiliki jumlah publikasi yang sama, menunjukkan pertumbuhan minat penelitian di Asia terhadap teknologi ventilasi pasif dan bangunan hemat energi.
6. **United Arab Emirates (11 dokumen):** Sebagai negara dengan iklim panas dan fokus pada pembangunan berkelanjutan, Uni Emirat Arab menunjukkan aktivitas penelitian yang cukup aktif dalam mengeksplorasi solusi seperti *wind catcher*.
7. **Australia (10 dokumen):** Australia juga berkontribusi dalam penelitian ini, kemungkinan terkait dengan kebutuhan akan solusi pendinginan pasif di beberapa wilayahnya.
8. **Jordan (9 dokumen):** Yordania, dengan iklim yang juga menantang, menunjukkan adanya kontribusi penelitian yang patut diperhatikan.

Pembahasan Distribusi Geografis:

Distribusi geografis publikasi menyoroti beberapa aspek penting. Pertama, negara-negara dengan warisan arsitektur yang kaya akan penggunaan *wind catcher* tradisional, seperti Iran dan Mesir, terus menjadi kontributor utama dalam penelitian modern. Hal ini menunjukkan adanya upaya untuk menggali

kearifan lokal dan mengintegrasikannya dengan ilmu pengetahuan dan teknologi kontemporer (Dehghani-sanij, Soltani, & Raahemifar, 2015).

Kedua, negara-negara maju dengan institusi penelitian yang kuat, seperti United Kingdom dan United States, memainkan peran penting dalam memajukan pemahaman ilmiah dan teknis mengenai *wind catcher*. Penelitian di negara-negara ini seringkali berfokus pada analisis kinerja menggunakan metode simulasi canggih, pengembangan material baru, dan integrasi dengan sistem bangunan modern.

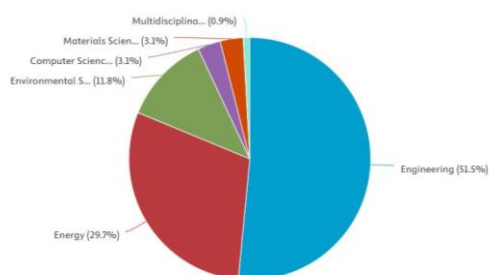
Ketiga, munculnya kontribusi dari negara-negara di Asia seperti China, Malaysia, dan Uni Emirat Arab menunjukkan perluasan minat dan aplikasi *wind catcher* di berbagai konteks iklim dan budaya. Hal ini didorong oleh meningkatnya kesadaran akan pentingnya bangunan hemat energi dan berkelanjutan secara global.

Secara keseluruhan, lanskap penelitian *wind catcher* bersifat global, dengan kontribusi signifikan dari negara-negara yang memiliki tradisi historis maupun negara-negara yang menjadi yang terdepan dalam inovasi teknologi bangunan. Pola ini juga membuka peluang untuk kolaborasi penelitian internasional antara negara-negara dengan keahlian yang saling melengkapi.

4.4 Distribusi Publikasi Berdasarkan Bidang Ilmu (Subject Area)

Untuk memahami lebih lanjut fokus disiplin ilmu dalam penelitian *wind catcher*, dilakukan analisis distribusi publikasi berdasarkan kategori bidang ilmu (subject area) yang ditetapkan oleh Scopus. Grafik 4 menyajikan proporsi publikasi dalam berbagai bidang ilmu yang relevan, setelah proses penyaringan awal.

Documents by subject area



Grafik 4. Distribusi Publikasi Artikel Terkait *Wind Catcher* Berdasarkan Bidang Ilmu.

Berdasarkan Grafik 4, terlihat bahwa penelitian mengenai *wind catcher* didominasi oleh beberapa bidang ilmu utama:

1. **Engineering (Teknik) - 118 dokumen (51.5%):** Bidang ilmu Teknik menyumbang proporsi terbesar dari publikasi, yaitu lebih dari separuh (51.5%). Ini sangat dapat dipahami mengingat *wind catcher* adalah sebuah teknologi atau sistem rekayasa yang aplikasinya sangat erat dengan prinsip-prinsip teknik, terutama teknik mesin (termodinamika, mekanika fluida), teknik sipil (struktur bangunan), dan teknik arsitektur (desain bangunan dan sistem lingkungan).

Dominasi ini menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian berfokus pada aspek desain, analisis kinerja, optimasi, dan implementasi teknis dari *wind catcher*.

2. **Energy (Energi) - 68 dokumen (29.7%):** Bidang Energi menempati posisi kedua dengan kontribusi signifikan sebesar 29.7%. Hal ini sejalan dengan salah satu fungsi utama *wind catcher* sebagai teknologi pasif untuk mengurangi konsumsi energi pada bangunan, khususnya untuk pendinginan dan ventilasi. Penelitian dalam kategori ini kemungkinan besar berfokus pada evaluasi penghematan energi, efisiensi energi, integrasi dengan sistem energi bangunan lainnya, dan dampak *wind catcher* terhadap kinerja energi bangunan secara keseluruhan.
3. **Environmental Science (Ilmu Lingkungan) - 27 dokumen (11.8%):** Ilmu Lingkungan juga memiliki kontribusi yang cukup penting (11.8%). Ini mencerminkan aspek keberlanjutan dari *wind catcher* sebagai solusi desain yang ramah lingkungan. Penelitian di bidang ini dapat mencakup dampak *wind catcher* terhadap kualitas udara dalam ruangan, kenyamanan termal, pengurangan emisi karbon dari sektor bangunan, dan kontribusinya terhadap arsitektur hijau dan pembangunan berkelanjutan.
4. **Computer Science (Ilmu Komputer) - 7 dokumen (3.1%):** Meskipun proporsinya lebih kecil (3.1%), kontribusi dari Ilmu Komputer tidak dapat diabaikan. Ini kemungkinan besar terkait dengan penggunaan metode komputasi canggih, seperti Computational Fluid Dynamics (CFD), simulasi kinerja bangunan, pengembangan algoritma optimasi desain, dan aplikasi kecerdasan buatan (AI) atau machine learning dalam memprediksi atau mengontrol kinerja *wind catcher*.
5. **Materials Science (Ilmu Material) - 7 dokumen (3.1%):** Sama seperti Ilmu Komputer, Ilmu Material juga menyumbang 3.1%. Penelitian dalam kategori ini mungkin berfokus pada pengembangan atau penggunaan material baru untuk konstruksi *wind catcher* yang lebih efisien, tahan lama, atau memiliki sifat termal tertentu yang mendukung kinerjanya.
6. **Multidisciplinary (Multidisiplin) - 2 dokumen (0.9%):** Sejumlah kecil publikasi (0.9%) dikategorikan sebagai multidisiplin, yang menunjukkan adanya penelitian yang mengintegrasikan berbagai perspektif ilmu.

Pembahasan Distribusi Bidang Ilmu:

Distribusi publikasi berdasarkan bidang ilmu dengan jelas menunjukkan bahwa penelitian *wind catcher* adalah domain yang sangat berorientasi pada aspek teknis dan energi. Dominasi bidang Teknik dan Energi menegaskan bahwa fokus utama komunitas riset adalah pada bagaimana merancang,

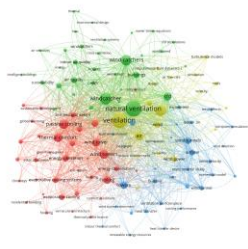
membangun, menganalisis, dan mengoptimalkan *wind catcher* untuk mencapai kinerja ventilasi dan penghematan energi yang maksimal.

Keterlibatan Ilmu Lingkungan menyoroti kesadaran akan implikasi lingkungan yang lebih luas dari teknologi ini. Kontribusi dari Ilmu Komputer dan Ilmu Material, meskipun lebih kecil, menandakan adanya upaya untuk memanfaatkan kemajuan dalam teknologi digital dan material untuk inovasi lebih lanjut dalam desain dan fungsionalitas *wind catcher*.

Penelitian ini berfokus pada penghematan energi melalui *wind catcher* berada tepat di persimpangan bidang Teknik, Energi, dan Arsitektur (yang seringkali masuk dalam kategori Engineering di Scopus). Pemanfaatan alat digital untuk analisis dan desain, sebagaimana yang mungkin Anda lakukan, juga bersinggungan dengan aspek Ilmu Komputer. Temuan ini dapat membantu memposisikan penelitian Anda dalam lanskap disiplin ilmu yang lebih luas dan mengidentifikasi potensi kontribusi spesifik dari perspektif arsitektur digital.

4.5 Analisis Ko-Okurensi Kata Kunci (Keyword Co-occurrence Analysis)

Analisis ko-okurensi kata kunci bertujuan untuk mengidentifikasi tema-tema penelitian utama dan hubungan antar konsep dalam korpus literatur yang dianalisis. Dengan memetakan kata kunci yang sering muncul bersamaan dalam artikel, kita dapat memahami struktur konseptual bidang penelitian *wind catcher*. Gambar 5 menyajikan peta jaringan ko-okurensi kata kunci yang dihasilkan menggunakan perangkat lunak VOSviewer berdasarkan 172 artikel terpilih. Ukuran node (lingkaran) menunjukkan frekuensi kemunculan kata kunci, sedangkan jarak antar node dan ketebalan garis penghubung menunjukkan kekuatan hubungan ko-okurensi antar kata kunci.



Gambar 5. Peta Jaringan Ko-Okurensi Kata Kunci Penelitian *Wind Catcher* (2015-2025).

Berdasarkan visualisasi pada Gambar 5, beberapa kluster tema utama dapat diidentifikasi. Kluster-kluster ini menunjukkan area fokus penelitian dan bagaimana berbagai konsep saling terkait:

1. **Kluster Hijau (Fokus Utama: *Wind Catcher*, Ventilasi Alami, CFD, dan Kinerja Bangunan):** Kluster ini merupakan inti dari peta jaringan. Kata kunci sentral dalam kluster ini adalah "*wind catchers*", "*windcatcher*", dan "*windcatchers*" (menunjukkan variasi istilah yang signifikan), "*natural ventilation*", dan "*ventilation*". Daftar kata kunci yang lebih komprehensif untuk kluster ini mencakup: "*air quality*" dan "*indoor air quality*" (menekankan aspek

kesehatan dan kenyamanan), "*air velocities*", "*atmospheric boundary layer*" (konteks aliran udara eksternal), "*badgir*" (istilah tradisional), "*buildings*" dan "*houses*" (konteks aplikasi), "*carbon dioxide*" (sebagai indikator kualitas udara), "*cfd*", "*cfd simulation*", dan "*cfd simulations*" (menegaskan dominasi metode ini), "*cross ventilation*", "*energy*" (menunjukkan irisan dengan tema penghematan energi), "*environmental design*", "*hvac*" (Heating, Ventilation, and Air Conditioning - sebagai pembanding atau sistem yang berinteraksi), "*indoor air pollution*", "*intelligent buildings*" (menunjukkan arah pengembangan modern), "*navier stokes equations*" (dasar teori CFD), "*passive ventilation*", "*performance*" (evaluasi kinerja secara umum), "*renewable energies*" dan "*renewable energy*" (konteks energi terbarukan), "*sustainability*", "*thermal*" (aspek termal secara umum), "*traditional architecture*" (menunjukkan kaitan dengan kluster merah), "*ventilation rate*", "*ventilation systems*", "*waste heat*" (potensi pemanfaatan atau pengurangan), dan "*wind speed*". *Pembahasan:* Kluster Hijau secara komprehensif menggambarkan fokus utama penelitian pada desain, analisis, dan kinerja *wind catcher* untuk ventilasi alami di berbagai jenis bangunan. Penggunaan CFD, yang didasarkan pada persamaan Navier-Stokes, adalah metode analisis yang sangat dominan untuk mengevaluasi parameter seperti kualitas udara (termasuk level CO2 dan polusi udara dalam ruangan), kecepatan udara, dan laju ventilasi. Kluster ini juga menghubungkan *wind catcher* dengan konsep desain lingkungan yang lebih luas, keberlanjutan, energi terbarukan, dan pengembangan bangunan cerdas. Adanya istilah "*badgir*" dan "*traditional architecture*" menunjukkan pengakuan terhadap akar historis teknologi ini, sementara "*HVAC*" menunjukkan perbandingan atau integrasi dengan sistem mekanis.

2. **Kluster Merah (Kenyamanan Termal, Pendinginan Pasif, Efisiensi Energi, dan Konteks Keberlanjutan):** Kluster ini, menunjukkan fokus yang kuat pada aspek kenyamanan dan efisiensi energi dalam konteks keberlanjutan. Kata kunci sentral dalam kluster ini adalah "*thermal comfort*" dan "*passive cooling*". Daftar kata kunci yang lebih komprehensif untuk kluster ini mencakup: "*air conditioning*" (sebagai pembanding atau sistem yang ingin dikurangi penggunaannya), "*architectural design*", "*arid regions*", "*atmospheric temperature*", "*chimneys*" (termasuk "*solar chimney*" dan "*solar chimneys*"), "*climate change*", "*comfort conditions*", "*cooling*" dan

"cooling systems" (termasuk "evaporative cooling" dan "evaporative cooling systems"), "drops" (kemungkinan terkait dengan sistem pendinginan evaporatif), "energy conservation", "energy efficiency", "energy utilization", "evaporation", "global warming", "greenhouse gases", "heat exchangers", "heating", "housing" (termasuk "residential building"), "humidity control", "in-buildings", "temperature" (juga muncul di klaster hijau, menunjukkan irisan), "thermal performance", "thermoelectric equipment", "vernacular architecture", "wind tower", dan "wind towers".

Pembahasan: Klaster Merah secara komprehensif menyoroti tujuan utama dari penelitian *wind catcher*, yaitu untuk meningkatkan kenyamanan termal dan kinerja termal bangunan melalui strategi pendinginan pasif. Hal ini secara langsung berkaitan dengan upaya konservasi energi, efisiensi energi, dan pengurangan pemanfaatan energi konvensional (misalnya, "air conditioning"). Keterkaitan dengan isu-isu global seperti "climate change", "global warming", dan "greenhouse gases" mempertegas urgensi penelitian di bidang ini untuk mencapai "sustainable development". Referensi yang kuat terhadap "arid regions" dan "vernacular architecture" menunjukkan pembelajaran dari solusi desain iklim tradisional. Eksplorasi berbagai teknik pendinginan seperti "evaporative cooling" dan integrasi dengan elemen lain seperti "solar chimneys" atau "heat exchangers" juga merupakan bagian penting dari klaster ini, yang mencakup berbagai skala dari "residential building" hingga "housing" secara umum. Perhatian terhadap "humidity control" dan "atmospheric temperature" juga menunjukkan pendekatan holistik terhadap kenyamanan di dalam bangunan ("in-buildings").

3. **Klaster Biru (Metodologi Eksperimental, Kinerja Aliran Udara, dan Validasi Model):** Klaster ini berfokus pada aspek metodologi eksperimental, analisis kinerja aliran udara, dan validasi model numerik. Kata kunci utama yang menonjol adalah "wind tunnels" (dan variasinya "wind tunnel", "wind tunnel experiment"), "airflow", dan "experimental study" (serta "experimental investigation"). Daftar kata kunci yang lebih komprehensif untuk klaster ini meliputi: "air temperature", "building" (menunjukkan konteks aplikasi), "built environment", "computer simulation" (menunjukkan kaitan dengan validasi model), "cooling performance", "experiment", "heat pipes", "heat transfer" dan "heat transfer device" (menyoroti aspek perpindahan panas), "indoor air" dan "indoor thermal comfort"

(menunjukkan tujuan akhir dari analisis kinerja), "iran" (kemungkinan menunjukkan fokus geografis dari beberapa studi eksperimental dalam dataset), "numerical method" dan "numerical model" (yang divalidasi melalui eksperimen), "optimization", "performance assessment", "pressure coefficients" (parameter penting dalam analisis aerodinamika), "renewable energy resources" (menunjukkan kaitan dengan sumber energi terbarukan), "structural design" (aspek penting dalam implementasi fisik), "towers", "underground channel" (fitur desain spesifik yang mungkin dieksplorasi), "ventilation performance", "wind direction", "wind effects", dan "wind velocity". *Pembahasan:* Klaster Biru secara jelas menekankan pentingnya pendekatan empiris dalam penelitian *wind catcher*. Penggunaan "wind tunnels" adalah metode sentral untuk investigasi eksperimental, yang bertujuan untuk mengukur dan menganalisis parameter kunci seperti "airflow", "wind velocity", "pressure coefficients", dan "air temperature". Hasil dari studi eksperimental ini krusial untuk validasi "numerical model" dan "computer simulation" (yang seringkali berbasis CFD, menciptakan hubungan dengan Klaster Hijau). Fokus pada "cooling performance", "ventilation performance", dan "heat transfer" menunjukkan bahwa tujuan utama dari eksperimen ini adalah untuk menilai efektivitas *wind catcher* secara kuantitatif. Penyebutan "iran" mungkin mengindikasikan banyaknya studi eksperimental yang berasal dari atau berfokus pada konteks Iran, yang kaya akan tradisi *wind catcher*. Aspek "optimization" dan "performance assessment" juga menunjukkan upaya untuk meningkatkan desain berdasarkan temuan eksperimental. Keterkaitan dengan "structural design" dan fitur seperti "underground channel" atau "heat pipes" menunjukkan eksplorasi terhadap detail implementasi dan inovasi desain.

4. **Klaster Kuning (Dinamika Fluida, Simulasi CFD Lanjutan, dan Desain Terkait Angin):** Klaster ini berfokus pada aspek fundamental dan lanjutan dari dinamika fluida komputasional (CFD) serta desain yang dipengaruhi oleh angin. Kata kunci utama dalam klaster ini adalah "computational fluid dynamics" (muncul dalam beberapa variasi, menunjukkan sentralitasnya), "simulation", dan "wind". Daftar kata kunci yang lebih komprehensif untuk klaster ini meliputi: "air", "air flow-rate", "buoyancy" (daya apung, penting dalam aliran yang digerakkan secara termal maupun oleh angin), "design" (menunjukkan fokus pada aspek perancangan), "flow patterns" (pola

aliran), "**indoor environment**" (lingkungan dalam ruangan yang dipengaruhi aliran), "**roofs**" (atap, sebagai elemen bangunan yang berinteraksi dengan *wind catcher* dan aliran angin), "**temperature differences**" (perbedaan suhu, pemicu aliran buoyancy), "**turbulence models**" (model turbulensi, krusial untuk akurasi simulasi CFD), "**velocity**" (kecepatan aliran), "**ventilation**" dan "**ventilation flow**" (menunjukkan irisan dengan klaster hijau), serta "**wind power**" (menunjukkan potensi pemanfaatan energi angin, meskipun mungkin dalam konteks yang lebih luas dari sekadar ventilasi). *Pembahasan:* Klaster Kuning secara mendalam menyoroti penggunaan CFD sebagai alat utama untuk menganalisis dan memahami fenomena aliran udara yang kompleks terkait dengan *wind catcher*. Fokus pada "flow patterns", "air flow-rate", dan "velocity" menunjukkan upaya untuk memvisualisasikan dan mengkuantifikasi bagaimana udara bergerak melalui dan di sekitar *wind catcher* serta di dalam bangunan. Peran "buoyancy" dan "temperature differences" menandakan bahwa penelitian juga mempertimbangkan efek gabungan dari gaya angin dan gaya termal (stack effect) dalam mendorong ventilasi. Penggunaan "turbulence models" yang tepat adalah kunci untuk simulasi CFD yang akurat. Keterkaitan dengan "design" dan elemen bangunan seperti "roofs" menunjukkan bahwa analisis CFD digunakan untuk menginformasikan keputusan desain. Meskipun "wind power" muncul, dalam konteks *wind catcher* untuk ventilasi, ini lebih mungkin merujuk pada kekuatan angin sebagai penggerak aliran daripada pembangkitan listrik, namun tetap menunjukkan kesadaran akan potensi energi angin. Klaster ini secara keseluruhan menggambarkan landasan teoretis dan komputasional yang canggih dalam studi *wind catcher*.

Pembahasan Umum Ko-Okurensi Kata Kunci:

Peta jaringan ko-okurensi kata kunci yang diperbarui (tetap menunjukkan "**natural ventilation**", "**ventilation**", dan "**wind catchers**" / "**windcatcher**" sebagai konsep yang sangat sentral dan sering muncul bersamaan. Penggunaan "**computational fluid dynamics (cf)**" sebagai alat analisis utama juga tetap dominan.

Tema-tema utama yang teridentifikasi melalui klasterisasi warna (hijau, merah, biru, dan kuning) secara umum konsisten dengan analisis sebelumnya, namun detail dan penekanan pada kata kunci tertentu mungkin sedikit berbeda tergantung pada parameter visualisasi VOSviewer yang digunakan untuk menghasilkan Gambar 5.

- **Klaster Hijau**, secara jelas menunjukkan fokus utama pada desain, analisis (terutama CFD), dan evaluasi kinerja *wind catcher*

untuk ventilasi alami, kualitas udara, dan efisiensi energi dalam konteks bangunan dan desain lingkungan yang berkelanjutan.

- **Klaster Merah**, secara jelas menunjukkan fokus pada pencapaian kenyamanan termal dan efisiensi energi melalui berbagai strategi pendinginan pasif, dalam konteks arsitektur berkelanjutan dan respons terhadap perubahan iklim.
- **Klaster Biru**, menekankan pentingnya metodologi eksperimental (khususnya "wind tunnels") untuk analisis kinerja aliran udara, validasi model numerik, dan optimasi desain *wind catcher*.
- **Klaster Kuning**, menyoroti aspek fundamental dan lanjutan dari analisis dinamika fluida komputasional (CFD) dan desain yang dipengaruhi oleh angin, termasuk pemodelan turbulensi dan analisis pola aliran.

KESIMPULAN

Penelitian bibliometrik ini bertujuan memetakan lanskap riset ilmiah global mengenai *wind catcher* (penangkap angin)—mencakup aplikasinya dalam ventilasi alami, efisiensi energi, serta kinerja bangunan periode 2015-2025—melalui analisis 172 artikel dari basis data Scopus yang telah disaring dan dibersihkan untuk mengidentifikasi tren publikasi, sumber utama, distribusi geografis, fokus disiplin ilmu, dan struktur konseptual bidang penelitiannya.

Hasil analisis menunjukkan adanya minat riset yang dinamis namun berkelanjutan terhadap *wind catcher*, dengan puncak publikasi tercatat pada tahun 2017. Kebutuhan akan solusi bangunan hemat energi memastikan relevansi topik ini tetap tinggi. Penelitian mengenai *wind catcher* bersifat multidisiplin, terbukti dari publikasi yang tersebar di berbagai jurnal internasional yang mencakup bidang energi, teknik bangunan, simulasi, ventilasi, dan aerodinamika. Secara geografis, lanskap penelitian *wind catcher* bersifat global. Kontribusi paling signifikan datang dari Inggris, diikuti Iran dengan warisan *Badgir*-nya. Produktivitas penting juga ditunjukkan oleh Amerika Serikat, Mesir (*Malqaf*), China, Malaysia, Uni Emirat Arab, Australia, dan Yordania, yang mencerminkan perpaduan riset berbasis tradisi dan inovasi teknologi.

Dominasi bidang Teknik (51.5%) dan Energi (29.7%) dalam penelitian *wind catcher* menegaskan fokus utamanya pada aspek perancangan teknis, analisis kinerja, optimasi, dan aplikasi teknologi ini untuk penghematan energi serta ventilasi. Kontribusi dari Ilmu Lingkungan juga signifikan, menyoroti aspek keberlanjutan, sementara Ilmu Komputer dan Ilmu Material menunjukkan adanya pemanfaatan teknologi digital dan inovasi material. Analisis ko-okurensi kata kunci mengungkapkan empat klaster tema utama: fokus inti pada "*wind catchers*", "ventilasi alami", dan penggunaan "*computational fluid dynamics (CFD)*" (Klaster Hijau); penekanan pada "kenyamanan termal", "pendinginan pasif", dan efisiensi energi dalam konteks keberlanjutan (Klaster

Merah); pentingnya metodologi eksperimental, terutama penggunaan "*wind tunnels*", untuk validasi model (Klaster Biru); serta fokus pada aspek fundamental dan lanjutan dari analisis dinamika fluida (Klaster Kuning). Secara keseluruhan, riset *wind catcher* sangat terfokus pada bagaimana teknologi ini dapat menyediakan ventilasi alami yang efektif, dianalisis secara mendalam menggunakan simulasi CFD dan divalidasi melalui eksperimen, dengan tujuan utama mencapai kenyamanan termal dan efisiensi energi dalam bangunan yang berkelanjutan. Bagi peneliti di bidang Arsitektur yang berfokus pada penghematan energi, temuan bibliometrik ini menawarkan beberapa implikasi strategis dan metodologis. Pertama, topik *wind catcher* adalah bidang yang aktif dan relevan. Kedua, penggunaan alat digital, khususnya CFD dan piranti lunak simulasi kinerja bangunan lainnya, merupakan metode standar dan dominan. Ketiga, penekanan kuat pada kinerja, efisiensi energi, kenyamanan termal, dan ventilasi alami menunjukkan bahwa penelitian yang bertujuan untuk mengoptimalkan aspek-aspek ini akan sangat dihargai. Keempat, terdapat peluang inovasi melalui integrasi dengan metodologi lain, pengembangan model yang lebih canggih, aplikasi teknik analisis data baru, eksplorasi material baru, dan pengembangan desain cerdas dari perspektif arsitektur digital. Terakhir, menghubungkan desain dan analisis *wind catcher* dengan isu keberlanjutan yang lebih luas akan meningkatkan dampak penelitian.

Secara keseluruhan, penelitian bibliometrik ini telah berhasil memetakan lanskap penelitian *wind catcher*, mengidentifikasi tren utama, pemain kunci, fokus disiplin ilmu, dan struktur konseptual bidang tersebut. Temuan ini menyediakan landasan yang kuat dan arahan yang jelas untuk penelitian selanjutnya, khususnya dalam upaya pengembangan solusi *wind catcher* inovatif dan efektif demi penghematan energi di lingkungan binaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Awbi, H. B., & Elmualim, A. A. (2002). A wind tunnel study of a windcatcher. *International Journal of Ventilation*, 1(1), 53-62. <https://doi.org/10.1080/14733315.2002.11683622>
- Bahadori, M. N., Dehghani-sanij, A. R., & Sayigh, A. (2014). *Wind towers: Architecture, climate and sustainability*. Springer.
- Burnham, J. F. (2006). Scopus database: a review. *Biomedical digital libraries*, 3(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-1>
- Calautit, J. K., & Hughes, B. R. (2014). A CFD analysis of a windcatcher with an evaporative cooling system for hot and arid climates. *Applied Energy*, 129, 133-145. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.087>
- Chaudhry, H. N., Hughes, B. R., & Ghani, S. A. (2016). A review of the current and future applications of solar-assisted wind tower technology for passive ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 326-345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.066>
- Chen, X., Zhao, J., & Li, R. (2017). A bibliometric analysis of green building research from 1990 to 2015. *Sustainability*, 9(4), 579. <https://doi.org/10.3390/su9040579>
- Dehghani-sanij, A. R., Soltani, M., & Raahemifar, K. (2015). A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 182-195. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.018>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. *The FASEB Journal*, 22(2), 338-342. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>
- Fathy, H. (1986). *Natural energy and vernacular architecture: Principles and examples with reference to hot arid climates*. University of Chicago Press.
- Ghadiri, M. H., Ibrahim, N., & Shahidan, M. F. (2013). A review on the windcatcher as a natural ventilation system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 112(3), 1493-1516. <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2815-7>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.
- Hill, T. (2016). *Cleaning Data for Effective Data Science: Doing the other 80% of the work with Python, R, and command-line tools*. O'Reilly Media, Inc.
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16569-16572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- Hosseini, M., Lee, B., Vakili-Ardebili, A., & Lee, S. (2018). A bibliometric analysis of research on zero energy buildings. *Journal of Building Engineering*, 18, 201-211. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2018.03.007>
- Hosseini, S. M., Andos, H., & Ghalambaz, M. (2020). A review on the applications of phase change materials in windcatchers. *Journal of Energy Storage*, 27, 101086. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101086>
- Hughes, B. R., Calautit, J. K., & Ghani, S. A. (2012). The development of commercial wind towers for natural ventilation: A review. *Applied Energy*, 92, 606-627. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.069>
- Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J. K., Yusof, M. B. M., Zaki, S. A., & Hughes, B. R. (2017). A review on windcatcher for passive ventilation and natural cooling: Case studies of implemented prototypes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 926-954. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.001>
- Khan, N., Su, Y., & Riffat, S. B. (2008). A review on wind driven ventilation techniques. *Energy and Buildings*, 40(8), 1586-1604. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.011>
- Li, Y., Yang, L., He, B. J., & Zhao, D. (2017). Green building in China: A review of the status quo and research progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1094-1108. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.046>
- López-Menéndez, A. J., Folgueras-Diz, L. M., & Fernández-Diego, M. (2020). A bibliometric analysis of natural

- ventilation research. *Energies*, 13(11), 2899.
<https://doi.org/10.3390/en13112899>
- Mahyari, S. (1996). The windcatcher: A traditional and ingenious passive cooling device of the Middle East. *International Journal of Ambient Energy*, 17(3), 115-126.
<https://doi.org/10.1080/01430750.1996.9675000>
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213-228.
<https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Montazeri, H. (2011). Experimental and numerical study on the effects of wind-catcher's configuration on its performance. *Energy and Buildings*, 43(8), 2022-2029. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.010>
- Montazeri, H., & Azizian, R. (2008). Experimental study of natural ventilation performance of a two-sided wind catcher. *Energy and Buildings*, 40(6), 1160-1170.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.006>
- Müller, S. D., Stotz, L., & Von Kortzfleisch, H. F. (2020). Combining bibliometrics and qualitative content analysis: A research agenda. *Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal*, 15(4), 429-449.
<https://doi.org/10.1108/QROM-03-2019-1749>
- OpenRefine Project. (n.d.). About OpenRefine. Diakses dari <https://openrefine.org/>
- Roaf, S. (2006). *The windcatchers of Yazd*. Kazi Publications.
- Rousseau, R., Egghe, L., & Guns, R. (2018). *Becoming metric-wise: A bibliometric guide for researchers*. Chandos Publishing.
- Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E., ... & Ibrahim, N. (2012). A review of windcatcher technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1477-1495.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.037>
- Santamouris, M., & Allard, F. (Eds.). (2013). *Natural ventilation in buildings: A design handbook*. Routledge.
- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24(4), 265-269.
<https://doi.org/10.1002/asi.4630240407>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.
<https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram (Eds.), *Measuring scholarly impact: Methods and practice* (pp. 285-320). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13
- Verborgh, R., & De Wilde, M. (2013). *Using OpenRefine: The essential OpenRefine guide that takes you from data analysis and error fixing to linking your dataset to the Web*. Packt Publishing Ltd.
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472.
<https://doi.org/10.1177/1094428114562629>