

## **Evaluasi Metode Perbaikan *Grouting* dengan Metode *Non Destructive Test* (NDT): Review Komprehensif Tren Penelitian 2013-2023**

**Ahmad Zaki**

<sup>1</sup>Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia

\**email*: ahmad.zaki@umy.ac.id

---

### **Info Artikel**

Dikirim: 27 April 2024

Diterima: 23 October 2024

Diterbitkan: 30 November 2024

### **Kata kunci:**

*Grouting*;

Perbaikan Beton;

*Bibliometric*;

*Scientometric*;

NDT.

---

### **ABSTRAK**

Artikel ini mengkaji perkembangan bidang struktur, khususnya pada perbaikan beton dan metode *Non-Destructive Testing* (NDT), selama periode 2013 hingga 2023. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren, kemajuan publikasi, penulis, afiliasi, dan negara yang paling berkontribusi dalam bidang ini. Metodologi yang digunakan adalah penelusuran literatur dengan menggunakan VOSviewer dan data dari Scopus, yang kemudian dianalisis menggunakan pendekatan bibliometrik dan scientometrik. Dari 412 artikel yang ditemukan, terlihat adanya tren peningkatan publikasi yang fluktuatif. China tercatat sebagai negara dengan kontribusi terbesar, dengan 183 artikel yang diterbitkan. Jurnal *Construction and Building Materials* yang diterbitkan oleh Elsevier menjadi sumber publikasi paling dominan dengan 49 artikel. Visualisasi jaringan penulis menunjukkan terbentuknya 8 kluster yang saling terhubung, mencerminkan perkembangan jaringan riset yang luas dan komprehensif. Kata kunci yang paling banyak muncul adalah *grouting*, dengan bidang studi populer lainnya seperti korosi dan rehabilitasi. Sementara itu, kata kunci NDT yang jarang muncul menunjukkan adanya peluang penelitian lebih lanjut. Studi ini menyediakan dasar yang kuat untuk penelitian mendatang, terutama dalam mengembangkan jaringan perbaikan *grouting* dengan metode NDT.

---

## **1. PENDAHULUAN**

Salah satu bahan konstruksi yang tersebar luas dan mudah diakses yang digunakan dalam teknik sipil adalah beton [1]. Beton merupakan bahan yang digunakan dalam suatu konstruksi bangunan baik bangunan gedung, jalan, jembatan, dan lain sebagainya. Dengan penuaan infrastruktur dan banyak struktur beton mencapai akhir umur desainnya, pemeliharaan dan perbaikan menjadi bagian yang semakin penting dari industri desain dan konstruksi [2, 3]. Keputusan yang kompleks harus dibuat dalam pemilihan bahan perbaikan dan sistem dalam rehabilitasi infrastruktur [4]. Kerusakan struktur beton bertulang disebabkan oleh perencanaan yang tidak memadai, estimasi yang buruk, pengerjaan yang buruk, kondisi lingkungan, dan kurangnya pemeliharaan [5]. Salah satu metode yang digunakan untuk memperbaiki beton adalah dengan metode *grouting* [6].

Injeksi semen bertekanan (*grouting*) adalah suatu proses, di mana suatu cairan diinjeksikan dengan tekanan sesuai uji tekanan air (*water pressure test*) ke dalam rongga, rekah dan retakan beton, yang mana cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi [7, 8]. Bahan yang digunakan dalam pengerjaan *grouting* adalah campuran mortar dan bahan kimia [9]. *Grouting* yang dikerjakan tentunya membutuhkan semen *grouting* yang siap pakai dan mempunyai karakter yang tidak susut, tidak korosif, dan dapat mengalir dengan baik sehingga dapat dengan gampang mengisi bagian-bagian kecil [10]. *Grouting* telah

menjadi pilihan umum dalam beragam proyek konstruksi, termasuk perbaikan gedung, pembangunan kolam renang, jembatan, terowongan, dan proyek lainnya yang membutuhkan perbaikan serta penguatan struktur beton [3, 11, 12]. Melalui metode ini, struktur beton dapat diperkuat dan diperbaiki, sehingga menjamin keamanan dan keberlangsungan kualitas bangunan dalam jangka waktu yang panjang [13].

Untuk mencegah kerusakan kembali pada bagian beton yang diperbaiki, penting untuk mengevaluasi kualitas dan kondisi perbaikan dengan penggunaan Non Destructive Test (NDT) [14]. NDT adalah tes fisik suatu material atau benda uji untuk mencari cacat pada benda dengan tidak merusak atau menghancurkan benda uji tersebut [15, 16]. Tujuan dari pengujian NDT adalah untuk mendeteksi cacat dengan suatu prosedur tertentu pada suatu benda oleh seorang operator. Pengujian NDT pada struktur beton bertulang memiliki potensi besar untuk mengatasi keterbatasan teknik inspeksi rutin saat ini [17]. Selama sepuluh tahun terakhir, kecenderungan penelitian untuk perbaikan beton dengan metode grouting dan evaluasi metode NDT masih jarang dilakukan. Perlu adanya tinjauan di bidang ini untuk mendapatkan gambaran komperhensif tentang perkembangan perbaikan beton dengan meode grouting dan NDT.

Terdapat kebutuhan untuk melakukan analisis bibliometric dari literatur yang diterbitkan untuk memperbarui pembaca dan pembuat kebijakan tentang hotspot penelitian saat ini dan masa depan [18]. Penelitian ini bertujuan untuk menyoroti tren dan kemajuan sumber publikasi, kata kunci, penulis, artikel, dan negara yang paling berpengaruh dalam penelitian perbaikan beton dan metode NDT dalam 10 tahun terakhir. Analisis bibliometric dari penelitian ini memberikan wawasan statistik yang berharga ke dalam pengembangan dan aplikasi perbaikan beton di proyek konstruksi, sehingga menampilkan tren penelitian saat ini dan masa depan. Lebih lanjut memberikan pemahaman yang lebih baik tentang struktur teoritis dan tema perbaikan beton dan metode NDT serta mengidentifikasi topik penting dan kontribusi signifikan dari publikasi dan penulis top dalam evolusi lapangan. Visualisasi jaringan co-occurrence bibliometric dan co-citations sangat penting karena bertindak sebagai panduan bagi akademisi dan lembaga penelitian untuk bertukar keahlian penelitian, berbagi teknologi cerdas, berkolaborasi dalam penelitian baru, dan menciptakan usaha patungan yang inovatif [19]. Jaringan bibliometric dibangun dan divisualisasikan untuk menetapkan tren distribusi dan pertumbuhan tahunan, sumber publikasi terkemuka, kemunculan kata kunci, penulis terkemuka, artikel teratas, dan negara-negara terkemuka dalam penelitian perbaikan beton dan metode NDT.

Dengan mengkaji studi-studi review yang ada, didapatkan poin penting dalam penelitian ini, yaitu pencarian dan tinjauan literatur yang berkaitan dengan perbaikan beton dan metode NDT. Memfokuskan pada pemilihan dan menganalisis artikel penelitian per-review yang diterbitkan oleh jurnal terindeks, dengan tujuan menunjukkan tren penggunaan sumber daya dan materi baru dalam topik ini. Tulisan ini berupaya melakukan tinjauan komprehensif yang tidak hanya mengidentifikasi gambaran keseluruhan tren perkembangan penelitian dalam dekade terakhir namun juga memberikan perspektif yang jelas untuk penelitian masa depan oleh para peneliti di bidang perbaikan grouting dan metode NDT.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1 Perbaikan Beton**

Perbaikan kerusakan struktur beton merupakan upaya untuk mengembalikan fungsi bangunan, sehingga diharapkan bangunan tersebut mampu mencapai umur rencananya [20]. Setelah diketahui jenis dan penyebab kerusakan, langkah selanjutnya adalah menentukan metode perbaikan untuk masing-masing elemen struktur. Bahan yang digunakan harus sedemikian rupa sehingga hasil perbaikan yang diperoleh memiliki kekuatan sesuai dengan yang diinginkan dan tahan lama. Secara umum persyaratan bahan untuk perbaikan adalah; dapat melekat secara baik, memiliki sifat susut kecil, memiliki koefisien muai dan modulus elastik tidak jauh dengan bahan yang diperbaiki, permeabilitas rendah, dan tahan lama [21-23]. Metode perbaikan yang digunakan adalah dengan melakukan Injeksi (grout), yaitu untuk perbaikan elemen atau bagian elemen yang retak cukup dalam [24]. Bahan injeksi biasanya dipilih dari bahan yang bersifat encer dan mudah mengeras sehingga mudah dimasukkan pada celah/retak dengan cara dipompa (diberi tekanan). Sebelumnya dibuat lubang-lubang dengan jarak tertentu sebagai jalan masuk bahan injeksi pada bagian yang retak tersebut. [2] Kemudian bagian-bagian

retak yang lain diberi penutup (diplester) untuk menghindari terjadinya kebocoran. Setelah itu bahan diinjeksikan dengan tekanan, masuk ke dalam celah/retak sampai terlihat pada lubang-lubang lain telah terisi atau mengalir keluar. Metode ini dapat digunakan untuk mengisi retak retak yang kecil dan cukup dalam dimana tidak diinginkan adanya rongga-rongga dalam retak [25].

## 2.2 Non-Destructive Test (NDT)

NDT adalah tes fisik suatu material atau benda uji untuk mencari cacat pada benda dengan tidak merusak atau menghancurkan benda uji tersebut [26]. Tujuan dari pengujian NDT adalah untuk mendeteksi cacat dengan suatu prosedur tertentu pada suatu benda oleh seorang operator. Hasil dari pengujian ini akan menentukan suatu bagian akan diganti atau tidak tergantung dari jumlah cacat yang ada yang merujuk pada suatu standar.

NDT mempunyai banyak metode untuk proses pengujiannya, dan diantara metode tersebut tidak ada yang paling bagus karena dari sekian banyak metode tersebut mempunyai keunggulan masing-masing yang tidak dimiliki oleh metode yang lainnya. Beberapa metode NDT yang paling banyak digunakan adalah visual inspection, liquid penetrant testing (LPT), ultrasonic, Eddy Current, Resistivity, Impact-Eco, dan lain-lain [27-31].

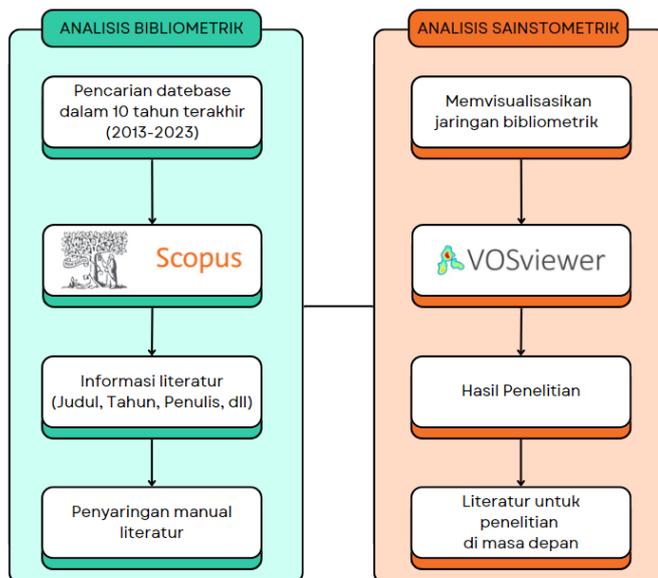
## 2.3 Metode

Penelitian ini menggunakan metode *mix method* yang mengkombinasikan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kuantitatif dilakukan melalui analisis bibliometrik untuk mengidentifikasi tren publikasi, penulis, afiliasi, dan negara yang berkontribusi pada penelitian terkait perbaikan beton dan metode *Non-Destructive Testing* (NDT) selama periode 2013-2023. Sumber data utama berasal dari database Scopus, yang menyediakan informasi komprehensif mengenai judul penelitian, tahun publikasi, penulis, afiliasi, dan negara asal.

Pada tahap pertama, dilakukan pencarian data dari Scopus untuk mengumpulkan literatur selama sepuluh tahun terakhir (2013-2023). Data yang diambil mencakup berbagai parameter penting, seperti jumlah artikel, topik penelitian, serta distribusi geografis dan institusional. Data yang diperoleh kemudian disaring secara manual untuk memastikan relevansi dan kualitas literatur yang akan dianalisis lebih lanjut.

Tahap kedua melibatkan analisis scientometric menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk memvisualisasikan jaringan kata kunci yang muncul dalam literatur terpilih. Analisis ini bertujuan untuk memetakan tren penelitian, mengidentifikasi kluster riset yang signifikan, serta memahami hubungan antara kata kunci utama dalam bidang perbaikan beton dan NDT. Dengan demikian, hasil visualisasi ini memberikan wawasan mendalam mengenai perkembangan riset dan peluang penelitian di masa depan.

Validitas dari hasil pelacakan dan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini didukung oleh penggunaan database Scopus yang merupakan salah satu sumber data akademik terpercaya dan berstandar internasional. Proses penyaringan manual dan penggunaan VOSviewer sebagai alat analisis further memastikan bahwa data yang dianalisis adalah relevan dan representatif terhadap topik penelitian yang dibahas [32]. Dengan pendekatan *mix method* ini, penelitian ini tidak hanya menawarkan gambaran kuantitatif mengenai perkembangan penelitian, tetapi juga analisis kualitatif yang mendalam mengenai pola dan tren riset di bidang ini.

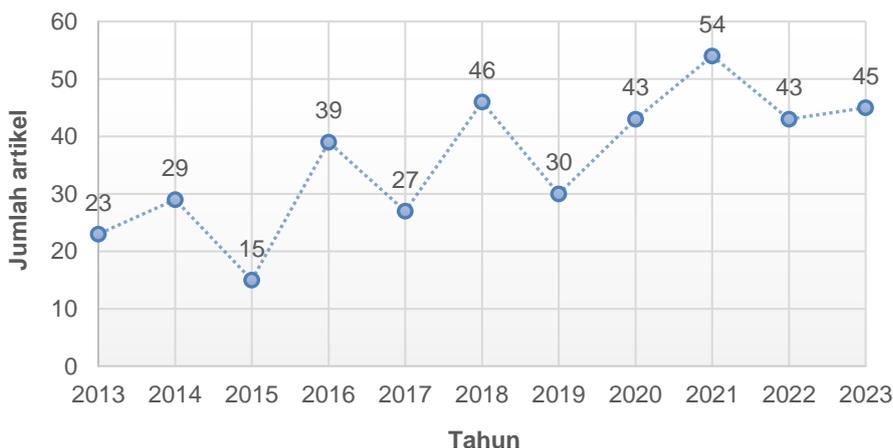


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Analisis Publikasi

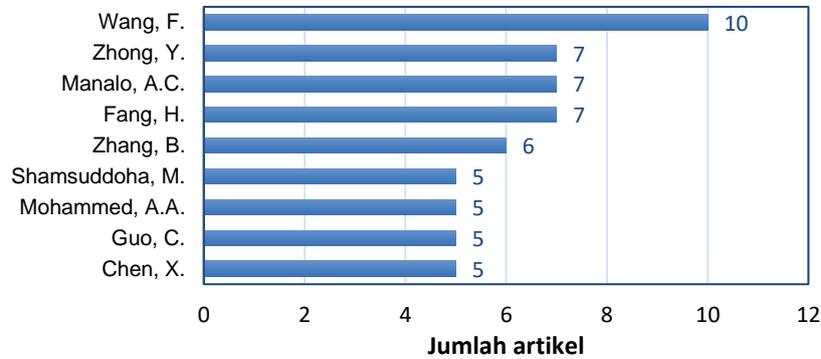
Pada bagian ini menjabarkan mengenai hasil dari pencarian pada website scopus dan pemetaan oleh aplikasi VOSviewer. Hasil pencarian dengan kata kunci “*repair, grouting, dan ndt*” pada halaman search scopus menghasilkan 412 artikel ditemukan. Artikel yang didapat tersebut akan diexport dalam format RIS, yang kemudian akan dilakukan pemetaan pada aplikasi VOSviewer. Hasil analisis publikasi dari tahun 2013 sampai 2023 didapatkan tren seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sepanjang satu dekade ini terjadi peningkatan yang berfluktuasi namun terus meningkat hingga tahun 2021 puncaknya dengan artikel yang diterbitkan sebanyak 54. Tren ini memberi gambaran yang positif dimana penelitian dibidang ini masih sangat relevan selama 10 tahun terakhir ini untuk terus dikembangkan kedepannya.



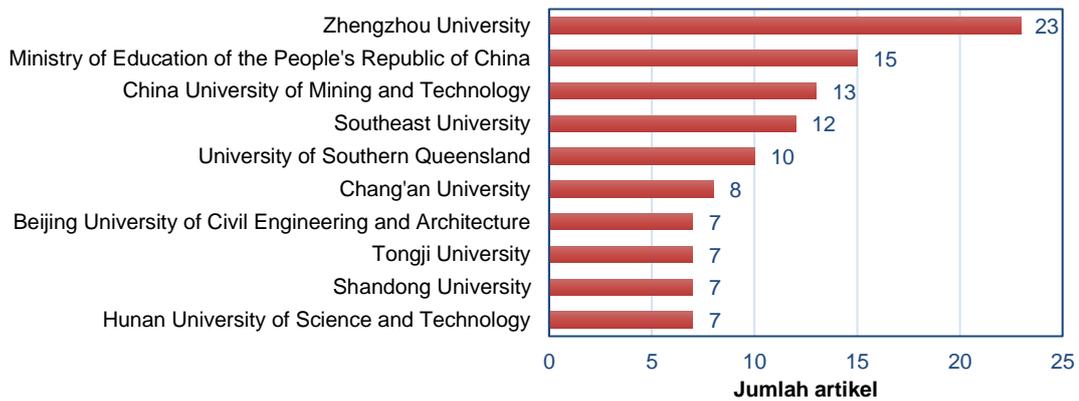
Gambar 2. Tren Publikasi Tahunan

Dapat dilihat pada Gambar 3 mengenai jumlah artikel yang ditulis oleh penulis mengenai perbaikan grouting. Artikel terbanyak ditulis oleh Wang, F., sebanyak 10 artikel. Zhong, Y., Manalo, A.C., dan Fang, H., berhasil menulis sebanyak 7 artikel. Kemudian 6 artikel ditulis oleh Zhang, B, dan ada 4 penulis yang berhasil menulis 5 artikel. Pada Gambar 4 menjelaskan jumlah makalah yang diterbitkan oleh afiliasi dengan jumlah terbanyak dimiliki Zhengzhou University sebanyak 23 artikel. Kemudian diikuti Ministry of Education dari china dengan

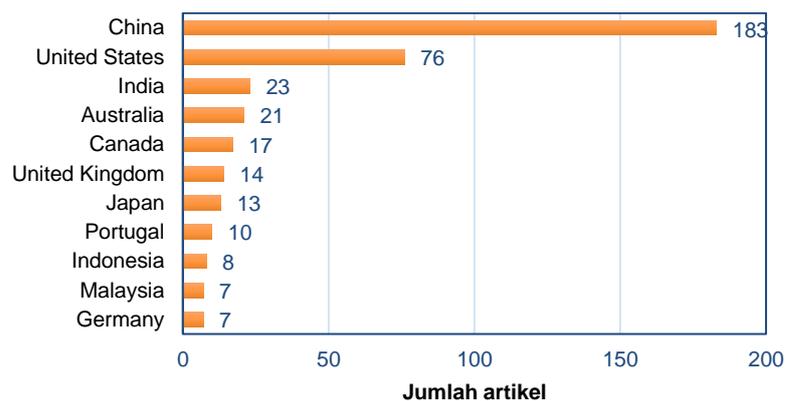
15 artikelnnya dan China University of Mining and Technology dengan 13 artikelnnya Tiga besar afiliasi dengan artikel terbanyak meruapakan berasal dari negara China, sehingga pada Gambar 5 diketahui China menjadi kontributor artikel terbanyak pada bidang ini dengan 183 artikel. Selanjutnya ada USA yang mengeluarkan cukup banyak artikel yaitu sebanyak 76, dan negara-negara dibawahnya berhasil mengeluarkan kurang dari 23 artikel. Pencarian artikel tentang perbaikan grouting selama se-dekade ini menjadi topik yang hangat di China, keterkaitan antar penulis dan afiliasi menjadikan China dengan kontributor artikel terbanyak.



Gambar 3. Perbandingan Jumlah Artikel oleh Penulis



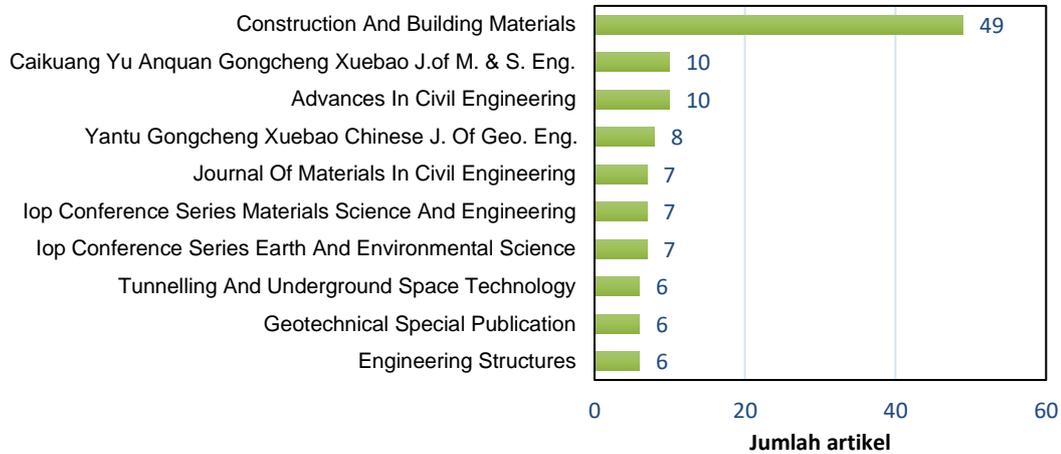
Gambar 4. Perbandingan Jumlah Artikel oleh Afiliasi



Gambar 5. Perbandingan Jumlah Artikel oleh Negara

Gambar 6 mengumpulkan jurnal dengan jumlah artikel yang diterbitkannya, sehingga membentuk sumber yang mudah digunakan oleh para pembaca yang berniat mempublikasikan penelitian terkait perbaikan grouting. Jurnal *Construction and Building Materials* menjadi kontributor terbanyak dalam menerbitkan artikel dibidang sebanyak 49 artikel, dan penerbit dari jurnal ini adalah Elsevier yang dimana termasuk paling sukses dalam bidang penerbitan akademik. Kemudian 2 jurnal dibawahnya berhasil mengumpulkan masing-masing 10 artikel,

yang dimana *Caikuang yu Anquan Gongcheng Xuebao/Journal of Mining and Safety Engineering* dan *Advances In Civil Engineering* ini juga sangat berharga karena keduanya masuk dalam Q2 pada tahun 2023. Sumber daya yang disebutkan di atas menggabungkan literatur ilmiah terbaik, sehingga mendorong pemahaman dan pengembangan perbaikan dengan metode grouting dalam industri konstruksi.

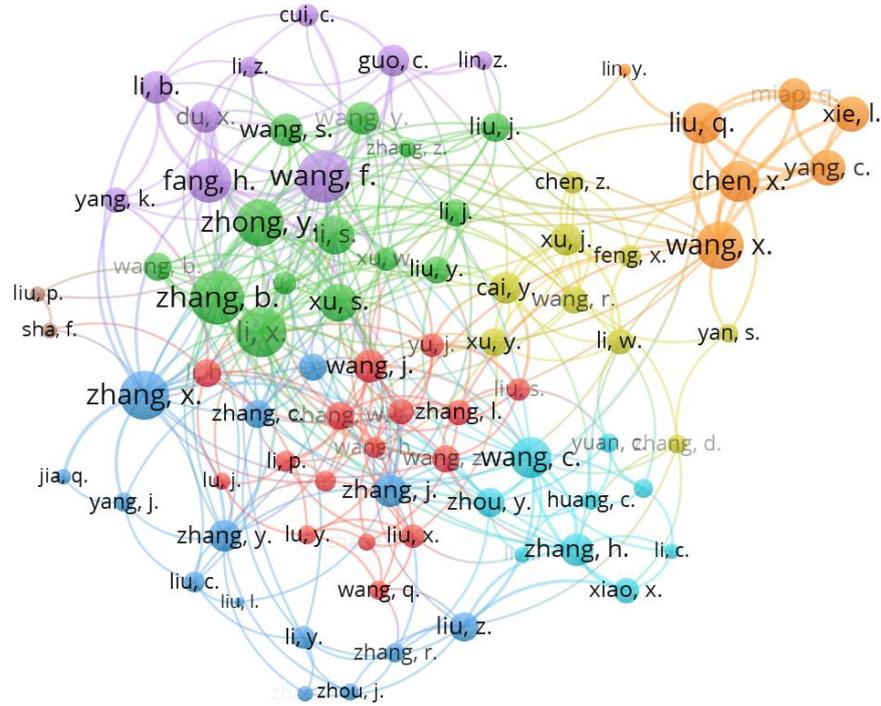


Gambar 6. Perbandingan Jumlah Artikel oleh Jurnal

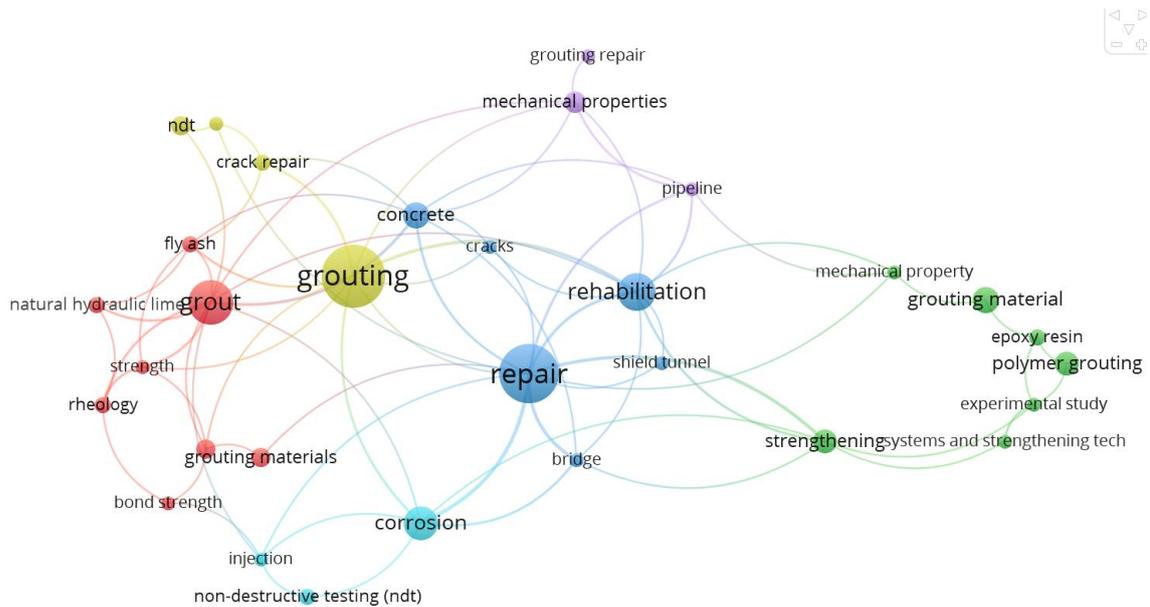
### 3.2 Analisis Hasil Pemetaan

Analisis pemetaan dari hasil output aplikasi VOSviewer yang mana pemetaan terbagi menjadi dua yaitu berdasarkan data penulis dan kata kunci. Visualisasi jaringan penulis merupakan metode unik dalam memanfaatkan data kutipan untuk menarik hubungan antara penulis terkemuka dan dampak ilmiah mereka. Penerapan metodologi ini menghasilkan identifikasi 8 klaster berbeda dengan ditandai dengan perbedaan warna dan artikel yang paling banyak dikutip ditandai dengan ukuran lingkaran. Di antaranya, temuan yang ditampilkan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa artikel yang ditulis oleh Zhang, B., mendapatkan apresiasi tertinggi, karena terhubung dengan 38 artikel lainnya. Kontribusi sang ilmuwan telah membentuk pemahaman dan pengembangan di bidang ini secara substansial. Di bawahnya ada Wang, F., yang juga terhubung ke 37 artikel. Jaringan penulis yang disajikan, memanfaatkan representasi simpul dan tepi. Ukuran dan ketebalan simpul sebanding dengan pengaruh penulis di bidang tersebut, yang secara visual menggambarkan bobot kontribusi mereka. Semakin besar dan tebal simpulnya, semakin berpengaruh dan dihormati penulisnya, yang mengarah pada pemahaman yang lebih dalam tentang posisi mereka di bidangnya.

Hasil analisis kata kunci yang dilakukan di VOSviewer ditunjukkan pada Gambar 8. Secara umum, analisis kata kunci digunakan untuk membuat klaster menjadi lebih spesifik dan memberikan ide untuk cara-cara baru untuk belajar. Setelah perbaikan grouting, bidang studi yang paling populer berikutnya adalah korosi, rehabilitasi, dan goruting polimer. Pengguna NDT pada hasil analisis masih sangat jarang dilakukan, jumlah kemunculannya pada klaster biru sebanyak 5 dan klaster kuning sebanyak 6. Namun walau masih sedikit kemunculannya, jaringan yang terhubung antar artikel sudah terlihat, sehingga selanjutnya penulis bisa dengan mudah mencari tinjauan yang tepat. Penelitian-penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk penelitian di masa depan yang dikombinasikan dengan bibliografi untuk menemukan jaringan di dalam perbaikan grouting dengan NDT.



Gambar 7. Visualisasi Kepenulisan Bersama



Gambar 8. Visualisasi Kemunculan Kata Kunci

**4. KESIMPULAN**

Studi ini meninjau ulang pada artikel-artikel yang telah terbit dalam rentang 10 tahun terakhir, didapatkan bahwa tren perkembangan publikasi pada kata kunci repair grouting dan metode NDT mengalami peningkatan secara fluktuasi sejak tahun 2013 sampai 2023 dengan total publikasi sebanyak 412. China menjadi negara bagi para penulis dan afiliasi yang mengeluarkan artikel terbanyak pada bidang ini dengan 183 artikel dalam dekade terakhir. Tidak hanya diukur dengan kuantitas namun kualitas artikelnya pun sangat baik dilihat dari jurnal dengan artikel terbanyaknya berasal dari *Construction and Building Materials* sebanyak 49 artikel dengan penerbitnya dari Elsevier, dimana termasuk paling sukses dalam bidang penerbitan akademik.

Hasil visualisasi dari pemetaan penulis menghasilkan 8 kluster berbeda dan saling terhubung merata. Hasil ini membuat penelitian tentang repair grouting dengan NDT sudah luas dan komperhensif. Untuk analisis kata kunci yang dilakukan di VOSviewer membuat kluster menjadi lebih spesifik dan memberikan ide untuk cara-cara baru untuk belajar. Setelah perbaikan grouting, bidang studi yang paling populer berikutnya adalah korosi, rehabilitasi, dan goruting polimer. Peggunaan NDT yang masih sangat jarang dilakukan, membuka para penulis untuk lebih mendalaminya lagi. Penelitian-penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk penelitian di masa depan yang dikombinasikan dengan bibliografi untuk menemukan jaringan di dalam perbaikan grouting dengan NDT.

## REFERENSI

- [1] A. Ambroziak and P. Ziolkowski, "Concrete Compressive Strength under Changing Environmental Conditions during Placement Processes," *Materials*, vol. 13, no. 20, p. 4577, 2020, DOI. 10.3390/ma13204577.
- [2] J. Jonbi, "Assessment of Dome Building Damage and Repair Method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 392, 6 ed., DOI. 10.1088/1757-899X/392/6/062010.
- [3] R. Kalal, M. S. Jhala, P. Salvi, and A. Singh, "Case Study on Repair and Rehabilitation of Damaged Residential Building," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Article vol. 9, no. 6, pp. 45-52, 2019.
- [4] D. R. Morgan, "Compatibility of concrete repair materials and systems," *Construction and Building Materials*, vol. 10, no. 1, pp. 57-67, 1996/02/01/ 1996, DOI. 10.1016/0950-0618(95)00060-7.
- [5] A. Zaki, L. Murdiansyah, and Y. Jusman, "Cracks Evaluation of Reinforced Concrete Structure: A Review," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1783, no. 1, p. 012091, 2021/02/01 2021, DOI. 10.1088/1742-6596/1783/1/012091.
- [6] Z. Zhao *et al.*, "Effect Mechanisms of Toner and Nano-SiO<sub>2</sub> on Early Strength of Cement Grouting Materials for Repair of Reinforced Concrete," *Buildings*, Article vol. 12, no. 9, 2022, Art no. 1320, DOI. 10.3390/buildings12091320.
- [7] I. M. Udiana, "Desain Campuran Semen Dan Air Pada Pekerjaan Grouting," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 2, no. 2, 09/15 2013, DOI. 10.35508/jts.2.2.93-104.
- [8] A. Daniel, H. Kevinardy, S. Prasetyo, and B. Januar, "Analisa Penyebab Dan Metode Perbaikan Yang Tepat Pada Beton Yang Disebabkan Oleh Faktor Non-struktural," *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, vol. 3, no. 2, 2014 2014.
- [9] Y. Zhou, Y. Liu, B. Liu, Z. Wu, L. Weng, and Q. Liu, "Experimental investigation of strength repairing effects of chemical grouting on fractured porous sandstone under different temperature conditions," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Article vol. 170, 2023, Art no. 105552, DOI. 10.1016/j.ijrmms.2023.105552.
- [10] S. Said, R. Djamaluddin, and R. Irmawaty, "Pengaruh Penambahan Sika Grout Pada Balok Beton Bertulang Dengan Kondisi Spalling," *Konstruksia*, vol. 14, p. 9, 07/30 2023, DOI. 10.24853/jk.14.2.9-18.
- [11] I. Justitiannisa and R. Gunadi, "Repair of Pier Bridge Model Post-Earthquake," *International Journal of Integrated Engineering*, Article vol. 15, no. 7, pp. 200-212, 2023, DOI. 10.30880/IJIE.2023.15.07.019.
- [12] L. Jin-long, O. Hamza, K. Sian Davies-Vollum, and L. Jie-qun, "Repairing a shield tunnel damaged by secondary grouting," *Tunnelling and Underground Space Technology*, Article vol. 80, pp. 313-321, 2018, DOI. 10.1016/j.tust.2018.07.016.
- [13] K. Albazi and B. Ricker, "Rehabilitation of three bridges at Lansdowne Avenue," in *Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering*, 2016, vol. 1, pp. 103-112.
- [14] T. Watanabe, A. Nouchi, S. Namerikawa, and C. Hashimoto, "Evaluation of condition on replacing repaired concrete based on NDT and the Mahalanobis-Taguchi system," (in English), *Frontiers in Built Environment*, Original Research vol. 8, 2023-January-05 2023, DOI. 10.3389/fbuil.2022.956684.

- [15] T. Endramawan, E. Haris, F. Dionisius, and Y. Prinka, "Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Untuk Analisis Hasil Pengelasan SMAW 3G Butt Joint," 2017, vol. 3, no. 2, 2017-09-28 2017, DOI. 10.31884/jtt.v3i2.61.
- [16] A. Zaki, M. A. Fikri, C. A. Wibisono, and S. A. P. Rosyidi, "Evaluating Pre-Corrosion and Post-Corrosion of Oil Palm Shell Concrete with *Non-Destructive Testing*," *Key Engineering Materials*, vol. 942, pp. 137-162, 2023, DOI. 10.4028/p-9qfaiq.
- [17] P. Pfändler, K. Bodie, G. Crotta, M. Pantic, R. Siegwart, and U. Angst, "Non-destructive corrosion inspection of reinforced concrete structures using an autonomous flying robot," *Automation in Construction*, vol. 158, p. 105241, 2024/02/01/ 2024, DOI. 10.1016/j.autcon.2023.105241.
- [18] S. Al-Kasassbeh, J. Al-Thawabteh, E. Al-Kharabsheh, and A. Al-Tamseh, "Influential and intellectual structure of geopolymer concrete: a bibliometric review," *Civil Engineering Journal*, vol. 9, no. 9, pp. 2330-2344, 2023, DOI. 10.28991/CEJ-2023-09-09-017.
- [19] J. Matsimbe, M. Dinka, D. Olukanni, and I. Musonda, "A Bibliometric Analysis of Research Trends in Geopolymer," *Materials*, Review vol. 15, no. 19, 2022, Art no. 6979, DOI. 10.3390/ma15196979.
- [20] S. Kristiawan, "Kompatibilitas susut antara material perbaikan dan beton," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 18, 04/13 2011.
- [21] H. S. Abdelgader, M. Kurpińska, and M. Amran, "Effect of slag coal ash and foamed glass on the mechanical properties of two-stage concrete," *Materials Today: Proceedings*, Article vol. 58, pp. 1091-1097, 2022, DOI. 10.1016/j.matpr.2022.01.139.
- [22] C. Dai, Y. Long, Z. Shi, G. Xing, and W. Hou, "Development and engineering application of strong permeability grouting material for weathered granite formation," *Revista Romana de Materiale/Romanian Journal of Materials*, Article vol. 49, no. 3, pp. 379-387, 2019.
- [23] S. Gallagher and P. Léger, "Mechanical resistance of cracked mass concrete repaired by grouting: Experimental study," *ACI Structural Journal*, Article vol. 111, no. 4, pp. 799-807, 2014, DOI. 10.14359/51686581.
- [24] H. S. Abdelgader and A. S. El-Baden, "Two-stage concrete as a repair method," in *Concrete Solutions - Proceedings of Concrete Solutions, 5th International Conference on Concrete Repair*, 2014, pp. 39-45, DOI. 10.1201/b17394-7.
- [25] F. Rizal, "Evaluasi kekuatan dan metode perbaikan struktur beton pada gedung pasca kebakaran," *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 2, no. 1, 2010, DOI. 10.30811/portal.v2i1.457.
- [26] A. Zaki, H. K. Chai, D. G. Aggelis, and N. Alver, "Non-destructive evaluation for corrosion monitoring in concrete: A review and capability of acoustic emission technique," *Sensors (Switzerland)*, Review vol. 15, no. 8, pp. 19069-19101, 2015, DOI. 10.3390/s150819069.
- [27] A. Zaki, H. K. Chai, A. Behnia, D. G. Aggelis, J. Y. Tan, and Z. Ibrahim, "Monitoring fracture of steel corroded reinforced concrete members under flexure by acoustic emission technique," *Construction and Building Materials*, vol. 136, pp. 609-618, 2017, DOI. 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.079.
- [28] A. Zaki, H. Rahayu, D. A. Nugraha, S. A. P. Rosyidi, N. N. Kencanawati, and S. Fonna, "Resistivity Method Evaluation of Corroded OPS-Concrete," in *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 476, DOI. 10.1051/e3sconf/202447601037.
- [29] A. Zaki, M. A. Wibowo, S. A. P. Rosyidi, and K. Mahbubi, "Corrosion Analysis of Concrete using Resistivity Method," in *2023 International Workshop on Artificial Intelligence and Image Processing (IWAIIIP)*, 1-2 Dec. 2023 2023, pp. 428-432, DOI. 10.1109/IWAIIIP58158.2023.10462756.
- [30] A. C. Rahita and A. Zaki, "Corrosion Analysis on Reinforcing Steel in Concrete Using the Eddy Current Method," in *2023 3rd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS)*, 9-10 Aug. 2023 2023, pp. 476-480, DOI. 10.1109/ICE3IS59323.2023.10335487.
- [31] A. Zaki, D. N. Y. Sunaryo, and R. Afanda, "Corrosion Analysis on Reinforced Concrete using Ultrasonic Pulse Velocity," in *2023 International Workshop on Artificial Intelligence and Image Processing (IWAIIIP)*, 1-2 Dec. 2023 2023, pp. 139-144, DOI. 10.1109/IWAIIIP58158.2023.10462858.
- [32] K. Mahbubi, A. Zaki, and G. Nugroho, "Bibliometric and Scientometric Trends in Structural Health Monitoring Using Fiber-Optic Sensors: A Comprehensive Review," *Journal of Civil and Hydraulic Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 51-64, 2024, DOI. 10.56578/jche020104.