

Evolusi 5G dan Integrasi RedCap dalam Model Bisnis yang Didorong IoT: Perspektif Bibliometrik

Loso Judijanto

IPOSS Jakarta, Indonesia dan losojudijantobumn@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan perkembangan literatur global mengenai evolusi teknologi 5G dan integrasi Reduced Capability (RedCap) dalam model bisnis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan pendekatan analisis bibliometrik. Data diperoleh dari basis data Scopus dan dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer melalui visualisasi *co-occurrence*, *overlay*, *co-authorship*, *country collaboration*, dan *density map*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa topik inti seperti *5g mobile communication system*, *internet of things*, dan *RedCap* mendominasi publikasi, dengan fokus pada peningkatan kinerja jaringan, efisiensi biaya, dan optimalisasi aplikasi IoT. Tren riset terkini mengarah pada pengembangan desain perangkat hemat biaya, pemrosesan sinyal digital, dan efisiensi energi untuk mendukung adopsi IoT skala besar. Analisis jejaring kolaborasi mengungkapkan dominasi negara-negara maju seperti Jerman, Belanda, Amerika Serikat, dan China sebagai pusat inovasi. Penelitian ini menyoroti adanya peluang untuk mengintegrasikan analisis teknis dan strategi model bisnis secara bersamaan guna mempercepat komersialisasi teknologi 5G-RedCap yang berkelanjutan dan bernilai tambah.

Kata Kunci: 5G, RedCap, Internet of Things, Model Bisnis, Analisis Bibliometrik

ABSTRACT

This study aims to map the global literature development on the evolution of 5G technology and the integration of Reduced Capability (RedCap) into Internet of Things (IoT)-driven business models using a bibliometric analysis approach. Data were retrieved from the Scopus database and analyzed using VOSviewer software through *co-occurrence*, *overlay*, *co-authorship*, *country collaboration*, and *density map* visualizations. The results reveal that core topics such as *5g mobile communication system*, *internet of things*, and *RedCap* dominate the publications, with a strong focus on network performance improvement, cost efficiency, and IoT application optimization. Recent research trends highlight the development of low-cost device designs, digital signal processing, and energy efficiency to support large-scale IoT adoption. The collaboration network analysis shows that developed countries such as Germany, the Netherlands, the United States, and China dominate as innovation hubs. This study emphasizes the opportunity to integrate technical analysis with business model strategies to accelerate the commercialization of 5G-RedCap technologies in a sustainable and value-driven manner.

Keywords: 5G, RedCap, Internet of Things, Business Model, Bibliometric Analysis

PENDAHULUAN

Dalam dekade terakhir, perkembangan teknologi komunikasi nirkabel telah melaju secara eksponensial, dengan hadirnya generasi kelima (5G) sebagai tonggak utama dalam transformasi digital global. Teknologi 5G membawa kemampuan baru yang jauh melampaui pendahulunya, terutama dalam hal kecepatan transmisi data, latensi rendah, dan konektivitas masif terhadap perangkat yang tersebar luas. Di tengah kebutuhan akan sistem komunikasi yang mendukung berbagai aplikasi berbasis Internet of Things (IoT), teknologi 5G menjadi infrastruktur kunci bagi kemajuan ekonomi digital dan industri 4.0 (Yesodha et al., 2023). Hal ini membuka peluang besar bagi perusahaan untuk merancang ulang model bisnis mereka guna memanfaatkan potensi konektivitas yang ditawarkan.

Salah satu inovasi penting yang muncul seiring dengan implementasi 5G adalah teknologi Reduced Capability (RedCap). RedCap, yang juga dikenal sebagai NR-Light, dirancang untuk menghadirkan konektivitas 5G dengan kebutuhan daya dan biaya yang lebih rendah, sehingga ideal untuk aplikasi IoT seperti perangkat wearable, sensor industri, dan alat-alat otomasi cerdas (Ramamoorthy et al., 2020). Dengan adanya RedCap, para pelaku industri kini memiliki alternatif baru dalam menghubungkan miliaran perangkat dengan efisiensi yang lebih tinggi, tanpa harus mengorbankan stabilitas jaringan dan performa komunikasi. Hal ini tidak hanya berdampak pada sisi teknis, tetapi juga membawa konsekuensi strategis terhadap cara perusahaan menyusun struktur nilai dan rantai pasok mereka.

Transformasi ini menciptakan lanskap baru bagi model bisnis yang berbasis IoT. Model bisnis tradisional yang mengandalkan koneksi terbatas kini harus beradaptasi dengan paradigma konektivitas ubiquitous, di mana hampir setiap objek fisik dapat terhubung, mengirimkan data, dan mempengaruhi keputusan bisnis secara real-time. Konsep seperti servitization, data-driven decision making, dan monetisasi berbasis sensor menjadi semakin relevan dalam konteks ini (Catarinucci et al., 2015). Adopsi teknologi 5G dan RedCap memungkinkan lahirnya model bisnis yang lebih fleksibel, responsif terhadap perubahan pasar, dan didukung oleh insight berbasis data dari jaringan perangkat IoT yang luas.

Namun demikian, integrasi antara 5G, RedCap, dan IoT ke dalam model bisnis bukanlah proses yang sederhana. Kompleksitas teknologi, investasi infrastruktur, regulasi spektrum, dan kesiapan sumber daya manusia menjadi tantangan yang harus dijawab secara simultan. Di sisi lain, literatur akademik tentang hubungan antara evolusi teknologi 5G dan inovasi model bisnis masih sangat tersebar dan belum terdokumentasi secara sistematis. Beberapa studi membahas aspek teknis (Minoli et al., 2017), sebagian lain menyoroti aspek ekonomi atau sosial, namun sedikit yang menggabungkan perspektif holistik antara teknologi, bisnis, dan strategi organisasi.

Dalam konteks tersebut, bibliometric analysis menjadi pendekatan yang relevan untuk memetakan perkembangan literatur ilmiah, mengidentifikasi tren riset, kolaborasi ilmiah, dan potensi celah penelitian. Dengan metode ini, peneliti dapat memperoleh gambaran menyeluruh tentang bagaimana isu 5G, RedCap, dan model bisnis IoT berkembang dalam literatur internasional. Sebagai contoh, studi oleh (Riady et al., 2023) menunjukkan bahwa penelitian mengenai integrasi teknologi komunikasi canggih dalam konteks bisnis IoT mengalami lonjakan signifikan sejak 2019, seiring dengan akselerasi adopsi teknologi digital akibat pandemi dan revolusi industri 4.0.

Meskipun minat terhadap teknologi 5G dan penerapannya dalam model bisnis berbasis IoT terus meningkat, hingga kini masih belum banyak studi yang secara sistematis mengevaluasi bagaimana RedCap sebagai bagian dari teknologi 5G diintegrasikan dalam struktur bisnis dan operasional perusahaan. Literatur yang tersedia tersebar di berbagai domain—mulai dari teknik komunikasi hingga manajemen strategis—sehingga menyulitkan pemetaan tematik dan konseptual yang utuh. Selain itu, belum diketahui sejauh mana komunitas ilmiah telah mengeksplorasi hubungan antara kemajuan teknologi ini dengan transformasi model bisnis di berbagai sektor industri. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan bibliometrik yang komprehensif untuk menjawab pertanyaan: bagaimana evolusi riset tentang 5G, RedCap, dan integrasinya dalam model bisnis berbasis IoT berkembang dalam literatur ilmiah global? Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis bibliometrik terhadap literatur global mengenai evolusi teknologi 5G dan integrasi RedCap dalam model bisnis berbasis IoT.

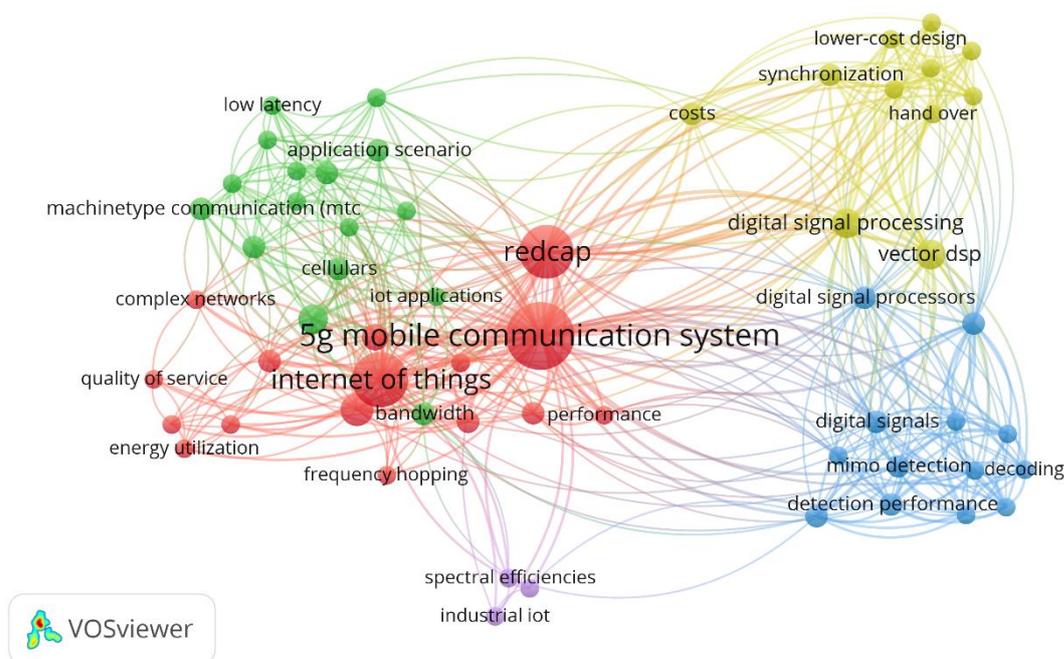
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis bibliometrik untuk memetakan perkembangan literatur ilmiah terkait evolusi teknologi 5G, integrasi RedCap, dan penerapannya dalam model bisnis berbasis IoT. Data penelitian diambil dari Scopus sebagai sumber utama, karena basis data ini memiliki jangkauan luas dan indeksasi yang terpercaya di berbagai disiplin ilmu. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci “5G”, “Reduced Capability”, “RedCap”, “Internet of Things”, dan “business model” yang dihubungkan dengan operator Boolean. Rentang tahun publikasi dibatasi pada periode 2015–2025 untuk menangkap perkembangan topik dari awal pengembangan teknologi 5G hingga penerapan RedCap. Hanya artikel jurnal dan prosiding konferensi berbahasa Inggris yang disertakan, dengan tujuan menjaga konsistensi kualitas literatur yang dianalisis.

Data bibliografis yang diperoleh dari Scopus diunduh dalam format .csv atau .ris yang kompatibel dengan VOSviewer. Proses pra-analisis mencakup pembersihan data untuk menghapus duplikasi publikasi, normalisasi penulisan nama penulis, afiliasi, dan kata kunci, sehingga menghindari bias dalam pemetaan jaringan. Seluruh analisis dilakukan menggunakan VOSviewer, yang digunakan untuk menghasilkan visualisasi jejaring ilmiah dalam beberapa perspektif: (1) *co-authorship analysis* untuk memetakan kolaborasi antar-penulis dan negara, (2) *co-occurrence analysis* untuk mengidentifikasi keterkaitan kata kunci dan topik penelitian, serta (3) *overlay visualization* untuk melihat pergeseran fokus penelitian dari waktu ke waktu (van Eck & Waltman, 2010). Analisis *density visualization* digunakan untuk melihat area penelitian yang memiliki intensitas publikasi tinggi, sedangkan *overlay visualization* membantu memahami arah evolusi topik dari tahun ke tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemetaan Jaringan Kata Kunci



Gambar 1. Visualisasi Jaringan

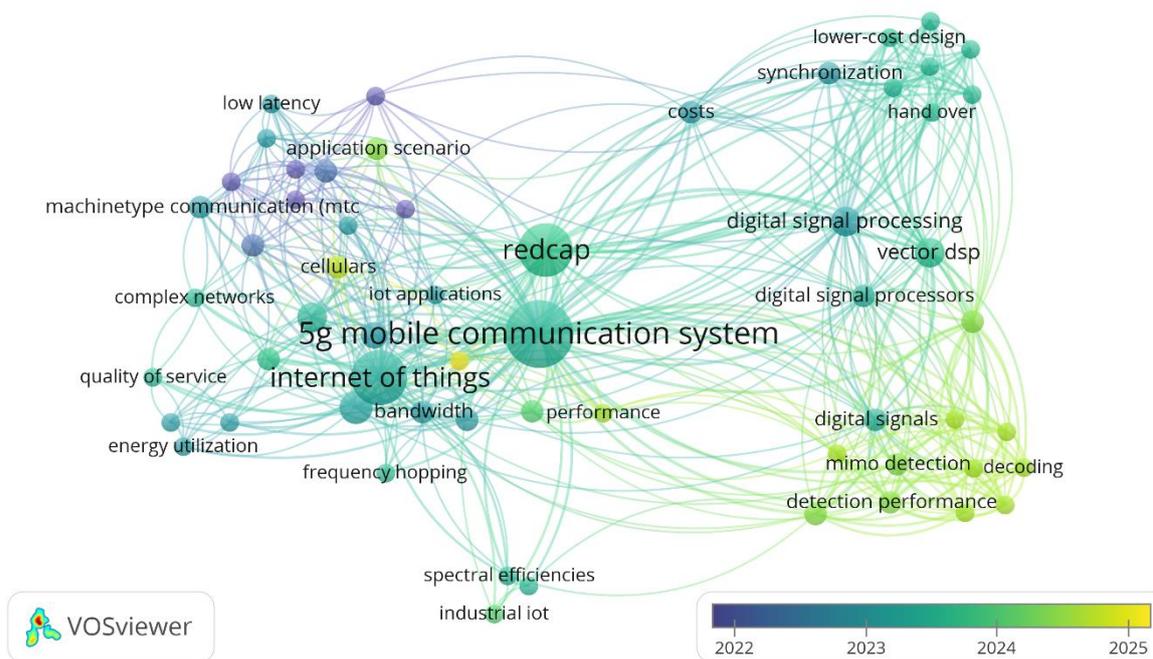
Sumber: Data Diolah, 2025

Gambar 1 ini menampilkan peta keterkaitan kata kunci pada penelitian terkait 5G mobile communication system, RedCap, dan Internet of Things (IoT). Setiap node merepresentasikan kata kunci yang muncul dalam literatur, sedangkan ukuran node menunjukkan frekuensi kemunculan kata tersebut. Warna pada cluster menandakan pengelompokan tematik berdasarkan kedekatan hubungan antar-kata kunci. Terlihat bahwa istilah “5g mobile communication system” berada di pusat peta, menunjukkan perannya sebagai topik utama yang menghubungkan berbagai konsep di sekitar teknologi 5G dan penerapan IoT. Kata kunci seperti *RedCap*, *internet of things*, dan *iot applications* menjadi titik hubung yang penting antara berbagai kluster teknologi dan aplikasi.

Cluster merah yang mendominasi bagian tengah peta mencakup kata kunci inti seperti *5g mobile communication system*, *internet of things*, *RedCap*, *iot applications*, *bandwidth*, dan *performance*. Kelompok ini merepresentasikan penelitian yang berfokus pada integrasi teknologi 5G dan RedCap dalam konteks aplikasi IoT, dengan penekanan pada aspek kinerja jaringan, optimisasi bandwidth, dan efisiensi transmisi data. Hubungan erat dengan istilah seperti *quality of service* dan *energy utilization* mengindikasikan adanya perhatian pada efisiensi energi dan kualitas layanan, dua faktor krusial dalam penerapan IoT skala besar. Cluster hijau yang terletak di sisi kiri peta berisi kata kunci seperti *low latency*, *application scenario*, *cellulars*, *machinetype communication (mtc)*, dan *complex networks*. Kelompok ini menggambarkan fokus penelitian pada arsitektur jaringan dan skenario penggunaan yang membutuhkan latensi rendah, seperti komunikasi mesin-ke-mesin (M2M) dan konektivitas untuk aplikasi industri. Hubungan dengan kata kunci di cluster merah menunjukkan bahwa topik ini terintegrasi erat dengan pembahasan utama mengenai 5G dan IoT, khususnya pada kasus-kasus penggunaan di sektor manufaktur, otomasi, dan smart city.

Cluster kuning di bagian kanan atas memuat kata kunci seperti *lower-cost design*, *synchronization*, *hand over*, dan *costs*. Tema ini mengarah pada penelitian yang membahas efisiensi biaya, desain perangkat yang lebih hemat sumber daya, dan optimalisasi mekanisme handover dalam jaringan 5G. Keterhubungan yang kuat dengan cluster teknis lainnya menandakan bahwa isu biaya dan desain ekonomis menjadi faktor penting dalam adopsi teknologi 5G dan RedCap, terutama untuk perangkat IoT yang memerlukan konektivitas jangka panjang dengan biaya operasional rendah. Sementara itu Cluster biru di sisi kanan bawah berisi kata kunci seperti *digital signal processing*, *mimo detection*, *decoding*, dan *detection performance*. Kelompok ini fokus pada aspek teknis pemrosesan sinyal digital, algoritma deteksi, dan peningkatan kinerja sistem MIMO. Hubungan yang erat dengan *spectral efficiencies* dan *industrial iot* mengindikasikan bahwa pengembangan teknik pemrosesan sinyal yang efisien sangat relevan untuk mendukung konektivitas industri berbasis IoT.

B. Analisis Tren Penelitian



Gambar 2. Visualisasi Overlay

Sumber: Data Diolah, 2025

Gambar 2 ini menunjukkan perkembangan temporal penelitian terkait 5G mobile communication system, RedCap, dan Internet of Things. Warna pada node merepresentasikan rata-rata tahun kemunculan kata kunci dalam literatur—ungu menunjukkan topik yang lebih awal (sekitar 2022), sedangkan kuning menunjukkan topik yang lebih baru (2025). Posisi kata kunci “5g mobile communication system” dan “internet of things” di pusat peta menegaskan perannya sebagai topik inti yang menghubungkan berbagai domain riset. Sementara itu, kata kunci “RedCap” muncul sebagai node besar yang terhubung erat dengan kedua topik utama, menandakan bahwa penelitian mengenai integrasi RedCap dalam ekosistem 5G dan IoT semakin mendapat perhatian.

Di sisi kiri peta, cluster berwarna ungu kebiruan seperti *low latency*, *machinetype communication (mtc)*, dan *complex networks* merepresentasikan tema awal yang lebih fokus pada aspek fundamental 5G, seperti arsitektur jaringan, performa latensi, dan komunikasi mesin-ke-mesin. Tema ini banyak dibahas pada fase awal adopsi 5G sekitar tahun 2022–2023, ketika fokus riset masih pada kesiapan teknologi dan pemenuhan kebutuhan teknis dasar. Sementara itu, node berwarna hijau seperti *iot applications*, *performance*, dan *bandwidth* menunjukkan transisi penelitian menuju optimalisasi layanan dan aplikasi praktis 5G yang lebih beragam pada periode 2023–2024. Area kanan bawah dan kanan atas didominasi warna hijau-kuning, mencakup topik seperti *mimo detection*, *decoding*, *digital signals*, *lower-cost design*, dan *synchronization*. Warna ini menandakan bahwa penelitian pada tema tersebut relatif baru dan cenderung berkembang pesat menjelang 2024–2025. Fokusnya bergeser ke arah peningkatan efisiensi desain, pengurangan biaya, dan inovasi pada pemrosesan sinyal digital untuk mendukung konektivitas IoT skala besar dengan teknologi RedCap.

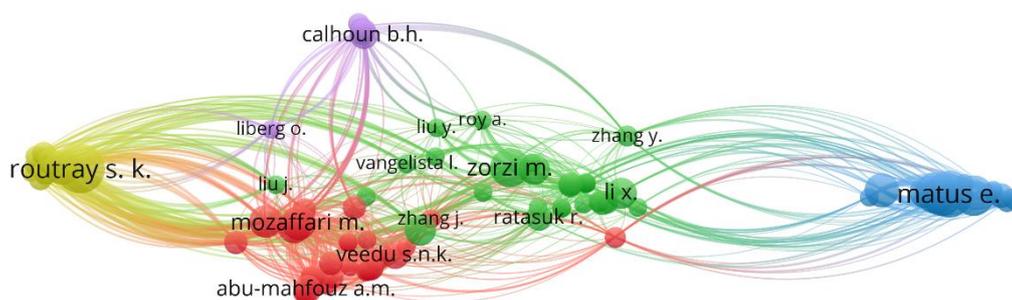
C. Top Cited Literature

Tabel 1. Literatur Teratas yang Disitir

Jumlah Kutipan	Penulis	Judul
38	(Varsier et al., 2021)	A 5G New Radio for Balanced and Mixed IoT Use Cases: Challenges and Key Enablers in FR1 Band
18	(Ratasuk et al., 2021)	Reduced Capability Devices for 5G IoT
8	(Tikhvinskiy et al., 2025)	Compatibility Analysis Between RedCap Non-Public Networks and 5G NR in TDD FR1 and FR2 Bands
7	(Mignardi & Buratti, 2023)	Modeling UAV-Based IoT Clustered Networks for Reduced Capability UEs
6	(Munier et al., 2024)	Positioning of RedCap Devices in 5G Networks
6	(Jano et al., 2023)	Modeling of IoT Devices Energy Consumption in 5G Networks
6	(Ogbodo et al., 2022)	Enabling LPWANs for Coexistence and Diverse IoT Applications in Smart Cities Using Lightweight Heterogenous Multihomed Network Model
5	(Gedara et al., 2023)	Direct-to-Satellite Connectivity for IoT: Overview and Potential of Reduced Capability (RedCap)
4	(Pagin et al., 2023)	5G NR-Light at Millimeter Waves: Design Guidelines for Mid-Market IoT Use Cases
4	(Qureshi et al., 2022)	Efficient Synchronization for NR-REDCAP Implemented on a Vector DSP

Sumber: Scopus, 2025

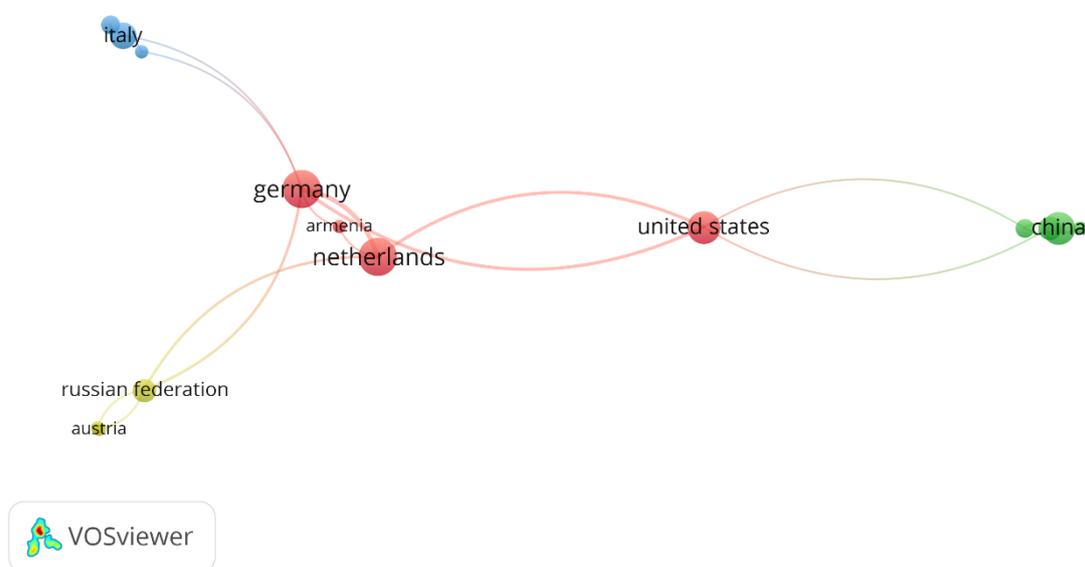
D. Analisis Kolaborasi Penulis



Gambar 3. Analisis Kolaborasi Penulis

Sumber: Data Diolah, 2025.

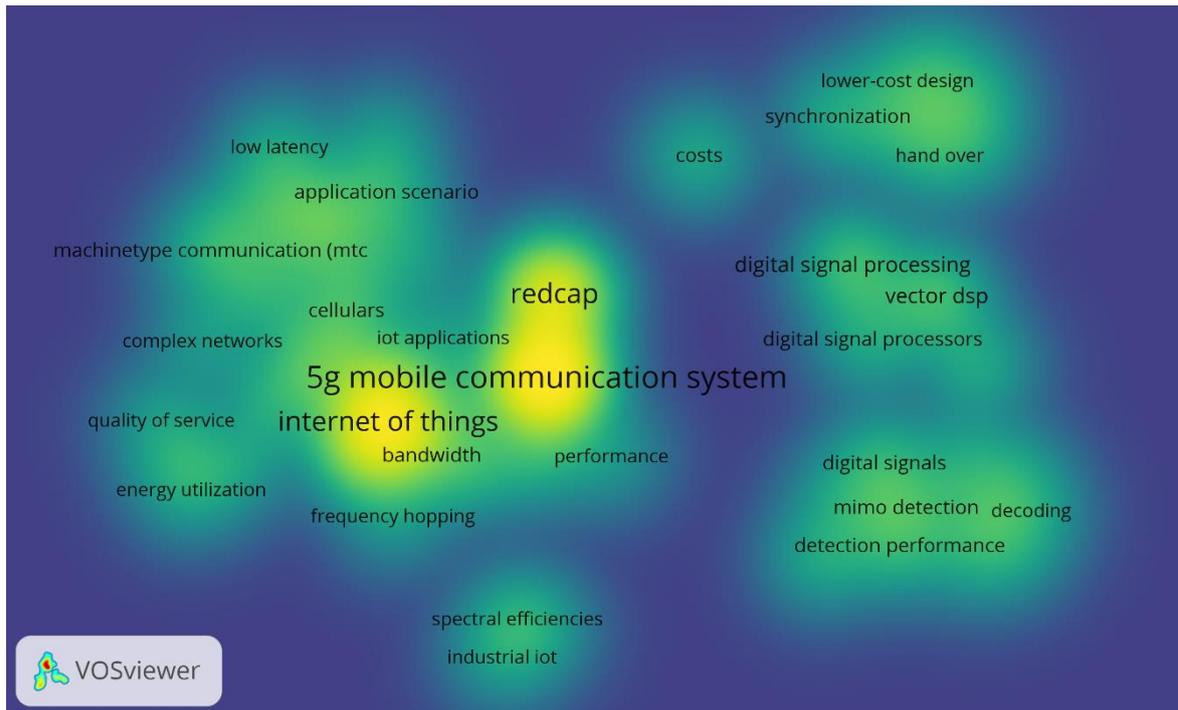
Gambar 3 menggambarkan jejaring kolaborasi penulis yang terlibat dalam penelitian terkait 5G, RedCap, dan IoT. Node yang lebih besar seperti *matus e.*, *routray s.k.*, *zorzi m.*, dan *liu x.* menunjukkan penulis dengan jumlah publikasi atau keterlibatan kolaborasi yang tinggi. Warna mengindikasikan pengelompokan komunitas riset yang memiliki hubungan kolaboratif erat di dalam klusternya. Terlihat bahwa *matus e.* membentuk kluster biru yang relatif terpisah namun tetap memiliki koneksi lintas kluster dengan penulis di kelompok hijau dan merah. Penulis seperti *zorzi m.* dan *liu x.* berada di pusat jaringan, berperan sebagai penghubung utama antara berbagai kluster, sedangkan *routray s.k.* di sisi kiri menjadi tokoh kunci di kluster kuning dengan konektivitas luas ke berbagai kelompok lain.



Gambar 4. Analisis Kolaborasi Negara
 Sumber: Data Diolah, 2025

Gambar 4 menunjukkan jejaring kolaborasi internasional dalam penelitian terkait 5G, RedCap, dan IoT. Node yang lebih besar seperti *Germany*, *Netherlands*, *United States*, dan *China* menandakan negara dengan kontribusi publikasi dan koneksi kolaborasi yang signifikan. *Germany* dan *Netherlands* tampak menjadi pusat penghubung antar-negara, menjalin kolaborasi erat baik dengan negara Eropa lainnya seperti *Italy*, *Austria*, dan *Russian Federation*, maupun dengan mitra riset utama seperti *United States* dan *China*. *United States* berperan sebagai jembatan strategis antara jejaring Eropa dan Asia, khususnya dalam menghubungkan *Netherlands* dengan *China*.

E. Analisis Peluang Penelitian



Gambar 5. Visualisasi Densitas

Sumber: Data Diolah, 2025

Gambar 5 menampilkan intensitas kemunculan kata kunci dalam literatur terkait *5G mobile communication system*, *RedCap*, dan *Internet of Things*. Warna kuning menunjukkan area dengan kepadatan kata kunci tinggi, sedangkan hijau menunjukkan intensitas menengah, dan biru menunjukkan intensitas rendah. Terlihat bahwa pusat kepadatan tertinggi berada pada kata kunci “5g mobile communication system”, “internet of things”, dan “RedCap”, yang menjadi inti diskusi dalam penelitian global. Kata kunci pendukung seperti *iot applications*, *bandwidth*, dan *performance* juga memiliki kepadatan cukup tinggi, menandakan topik ini sering dibahas bersamaan dengan teknologi inti tersebut. Area dengan kepadatan menengah, seperti *low latency*, *machinetype communication (mtc)*, *digital signal processing*, *mimo detection*, dan *lower-cost design*, menunjukkan fokus penelitian yang cukup signifikan namun tidak sebesar pusat topik utama. Sementara itu, kata kunci seperti *spectral efficiencies* dan *industrial iot* berada di area kepadatan lebih rendah, mengindikasikan bahwa meskipun relevan, topik ini masih memiliki ruang pengembangan dalam penelitian di masa depan.

Pembahasan

Hasil analisis bibliometrik ini memberikan gambaran komprehensif tentang lanskap penelitian terkait evolusi 5G, integrasi RedCap, dan penerapannya dalam model bisnis berbasis IoT. Berdasarkan peta *co-occurrence*, terlihat bahwa istilah *5g mobile communication system*, *internet of things*, dan *RedCap* menjadi pusat gravitasi penelitian. Ukuran node yang besar serta keterhubungan yang padat mengindikasikan bahwa ketiga topik ini menjadi fondasi bagi pengembangan literatur. Penempatan kata kunci *iot applications*, *bandwidth*, dan *performance* di sekitar inti menunjukkan bahwa perhatian utama peneliti tidak hanya tertuju pada aspek teknologi, tetapi juga pada optimalisasi kinerja dan pemanfaatan aplikasi dalam skala luas.

Cluster merah dalam peta *co-occurrence* merepresentasikan fokus pada integrasi teknologi dan kinerja jaringan, termasuk isu *quality of service* dan *energy utilization*. Ini mengisyaratkan bahwa keberlanjutan sistem menjadi isu penting dalam pengembangan 5G-RedCap untuk IoT. Cluster hijau, yang memuat kata kunci seperti *low latency*, *application scenario*, dan *machinetype communication (mtc)*, mencerminkan minat pada arsitektur jaringan dan skenario penggunaan spesifik yang menuntut performa tinggi dan latensi rendah. Cluster kuning dan biru lebih berorientasi pada aspek teknis seperti *lower-cost design*, *synchronization*, *digital signal processing*, dan *mimo detection*, yang relevan untuk mendukung efisiensi biaya dan pemrosesan sinyal pada jaringan masa depan.

Hasil *overlay visualization* memberikan dimensi temporal terhadap analisis ini. Node berwarna ungu-biru seperti *low latency* dan *machinetype communication* mencerminkan topik awal yang dominan pada periode 2022–2023, saat fokus riset masih pada fondasi teknologi dan pemenuhan persyaratan performa. Periode ini bertepatan dengan fase adopsi awal 5G secara global, di mana penelitian diarahkan pada pengujian kemampuan teknologi dalam memenuhi kebutuhan industri. Sementara itu, topik dengan warna hijau seperti *iot applications* dan *performance* mulai mengemuka pada 2023–2024, menandakan transisi fokus penelitian ke arah implementasi aplikasi praktis. Warna kuning pada topik seperti *mimo detection*, *decoding*, dan *lower-cost design* mengindikasikan bahwa penelitian mutakhir (2024–2025) sedang diarahkan pada peningkatan efisiensi teknis dan pengurangan biaya agar adopsi RedCap dan 5G untuk IoT dapat meluas ke berbagai sektor bisnis.

Temuan ini sejalan dengan literatur yang menyoroti bahwa keberhasilan integrasi 5G dan IoT sangat bergantung pada kemampuan teknologi untuk menawarkan **biaya rendah, performa tinggi, dan konsumsi energi efisien** (Boccardi et al., 2023; Zhang et al., 2021). RedCap sendiri hadir untuk menjawab kebutuhan perangkat IoT yang tidak memerlukan kapasitas penuh 5G tetapi membutuhkan koneksi stabil, hemat energi, dan ekonomis. Oleh karena itu, tidak mengherankan jika penelitian terbaru berfokus pada *lower-cost design*, *synchronization*, dan teknik optimasi pemrosesan sinyal.

Analisis *co-authorship network* memperlihatkan bahwa kolaborasi penelitian masih terfragmentasi menjadi beberapa kluster penulis dengan pusat koneksi yang jelas. Penulis seperti *matus e.* dan *routray s.k.* memimpin kluster masing-masing, sementara *zorzi m.* dan *liu x.* berperan sebagai penghubung lintas kluster. Struktur ini menunjukkan adanya pusat-pusat keahlian yang cukup kuat, namun masih terdapat ruang untuk memperluas kolaborasi lintas kelompok penelitian. Dalam konteks pengembangan ilmu, pola ini berarti bahwa meskipun ada kolaborasi internasional, jejaring penelitian masih terpusat pada beberapa tokoh kunci yang mendominasi arus pengetahuan.

Selanjutnya, peta *country collaboration* mengungkapkan peran strategis negara-negara seperti *Germany*, *Netherlands*, *United States*, dan *China* dalam ekosistem penelitian. *Germany* dan *Netherlands* menjadi hub kolaborasi di Eropa, menjalin hubungan erat dengan *Italy*, *Austria*, dan *Russian Federation*, serta membangun jembatan ke *United States*. Amerika Serikat, pada gilirannya, menjadi penghubung utama ke Asia, khususnya ke China. Struktur ini menunjukkan bahwa penelitian di bidang 5G-RedCap-IoT memiliki karakter global namun dengan konsentrasi pada negara-negara berteknologi maju. Hal ini dapat menciptakan kesenjangan riset bagi negara-negara berkembang yang belum terlibat secara intensif, sehingga kolaborasi lintas kawasan perlu diperluas.

Visualisasi *density map* memperkuat temuan sebelumnya dengan menunjukkan area kepadatan penelitian yang tinggi pada *5g mobile communication system*, *internet of things*, dan *RedCap*. Warna kuning yang intens di area ini menandakan bahwa ketiga topik ini memiliki jumlah publikasi

dan konektivitas kata kunci tertinggi. Sementara itu, kata kunci seperti *spectral efficiencies* dan *industrial iot* berada di area hijau-biru, menandakan bahwa topik ini masih kurang tereksplorasi dibandingkan pusat tema utama. Ini membuka peluang riset untuk memperdalam hubungan antara efisiensi spektrum dan penerapan IoT industri berbasis 5G-RedCap, yang sangat relevan untuk sektor manufaktur, logistik, dan energi.

Implikasi dari temuan ini adalah bahwa literatur saat ini menunjukkan **pergeseran fokus** dari pembangunan infrastruktur dan performa teknis menuju optimalisasi biaya, efisiensi energi, dan adopsi pada skala industri. Dalam konteks model bisnis berbasis IoT, hal ini berarti bahwa keunggulan kompetitif tidak hanya bergantung pada ketersediaan teknologi, tetapi juga pada kemampuannya untuk menghadirkan nilai tambah yang sebanding dengan biaya investasi. Penelitian terbaru cenderung mengarahkan perhatian pada integrasi RedCap sebagai solusi bagi perangkat dengan kebutuhan bandwidth sedang, yang jumlahnya diperkirakan akan tumbuh pesat seiring meningkatnya adopsi IoT di sektor kesehatan, transportasi, dan rumah pintar.

Selain itu, hasil ini menunjukkan adanya potensi celah riset pada integrasi teknis dan model bisnis secara simultan. Meskipun studi teknis mendominasi, penelitian yang membahas implikasi langsung terhadap strategi bisnis, model pendapatan, dan adaptasi rantai pasok masih terbatas. Padahal, integrasi RedCap dalam model bisnis IoT memerlukan pemahaman mendalam tentang bagaimana teknologi dapat mengubah struktur biaya, hubungan dengan pelanggan, dan peluang monetisasi data. Penelitian ke depan perlu menggabungkan pendekatan teknis dan manajerial agar hasil riset lebih aplikatif bagi industri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai evolusi 5G, integrasi RedCap, dan penerapannya dalam model bisnis berbasis IoT berkembang pesat dengan fokus utama pada peningkatan kinerja jaringan, efisiensi biaya, dan optimalisasi aplikasi IoT. Topik inti seperti *5g mobile communication system*, *internet of things*, dan *RedCap* menjadi pusat perhatian, sementara isu teknis seperti *low latency*, *mimo detection*, dan *lower-cost design* muncul sebagai tren riset terbaru yang berorientasi pada penerapan praktis. Jejaring kolaborasi penulis dan negara menunjukkan dominasi hub riset di Jerman, Belanda, Amerika Serikat, dan China, yang berperan penting sebagai pusat pengembangan teknologi. Meskipun demikian, masih terdapat celah penelitian pada integrasi aspek teknis dan model bisnis secara simultan, terutama dalam memahami implikasi teknologi terhadap strategi komersialisasi dan monetisasi IoT. Temuan ini mengindikasikan bahwa masa depan pengembangan 5G-RedCap akan ditentukan oleh kemampuan untuk menggabungkan inovasi teknis, keberlanjutan biaya, dan relevansi bisnis secara terpadu.

REFERENSI

- Catarinucci, L., De Donno, D., Mainetti, L., Palano, L., Patrono, L., Stefanizzi, M. L., & Tarricone, L. (2015). An IoT-aware architecture for smart healthcare systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 2(6), 515–526.
- Gedara, C. D., Khattak, M. D., Ullah, M. A., & Mikhaylov, K. (2023). Direct-to-Satellite connectivity for IoT: Overview and potential of reduced capability (RedCap). *2023 IEEE 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 1–8.

- Jano, A., Garana, P. A., Mehmeti, F., Mas-Machuca, C., & Kellerer, W. (2023). Modeling of IoT devices energy consumption in 5G networks. *ICC 2023-IEEE International Conference on Communications*, 5891–5896.
- Mignardi, S., & Buratti, C. (2023). Modeling UAV-based IoT clustered networks for reduced capability UEs. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(12), 10266–10279.
- Minoli, D., Sohraby, K., & Occhiogrosso, B. (2017). IoT considerations, requirements, and architectures for smart buildings—Energy optimization and next-generation building management systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1), 269–283.
- Munier, F., Xiong, Z., Shreevastav, R., Jiang, X., Lyazidi, Y., Shrestha, D., Zhang, C., Lindmark, G., Nygren, J., & Moloudi, S. (2024). Positioning of RedCap devices in 5G networks. *IEEE Communications Magazine*, 62(8), 110–116.
- Ogbodo, E. U., Abu-Mahfouz, A. M., & Kurien, A. M. (2022). Enabling LPWANs for coexistence and diverse IoT applications in smart cities using lightweight heterogeneous multihomed network model. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 11(4), 87.
- Pagin, M., Zugno, T., Giordani, M., Dufrene, L.-A., Lampin, Q., & Zorzi, M. (2023). 5G NR-light at millimeter waves: Design guidelines for mid-market IoT use cases. *2023 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, 652–658.
- Qureshi, S. F., Damjanovic, S. A., Matus, E., Utyansky, D., Van der Wolf, P., & Fettweis, G. P. (2022). Efficient synchronization for NR-REDCAP implemented on a vector DSP. *2022 IEEE 33rd International Conference on Application-Specific Systems, Architectures and Processors (ASAP)*, 34–42.
- Ramamoorthy, S., Kowsigan, M., Balasubramanie, P., & Paul, P. J. (2020). Smart city infrastructure management system using IoT. *Role of Edge Analytics in Sustainable Smart City Development: Challenges and Solutions*, 127–138.
- Ratasuk, R., Mangalvedhe, N., Lee, G., & Bhatoolaul, D. (2021). Reduced capability devices for 5G IoT. *2021 IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 1339–1344.
- Riady, A. F., Tara, G. M., & Rabiha, S. G. (2023). Designing an IoT-Based Information System for Improving Efficiency and Productivity in Small-Scale Manufacturing Industries. *2023 IEEE 9th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED)*, 1–6.
- Tikhvinskiy, V., Pastukh, A., Dymkova, S., & Varlamov, O. (2025). Compatibility Analysis Between RedCap Non-Public Networks and 5G NR in TDD FR1 and FR2 Bands. *Inventions*, 10(1), 12.
- Varsier, N., Dufrene, L.-A., Dumay, M., Lampin, Q., & Schwoerer, J. (2021). A 5G new radio for balanced and mixed IoT use cases: Challenges and key enablers in FR1 band. *IEEE Communications Magazine*, 59(4), 82–87.
- Yesodha, K. R. K., Jagadeesan, A., Gowrishankar, V., & Logeshwaran, J. (2023). IOT Enabled Real Time Data Exchange to Resolve Bottlenecks and Streamline Workflow in Factories. *2023 4th International Conference on Communication, Computing and Industry 6.0 (C216)*, 1–7.