HOAQ: JURNAL TEKNOLOGI INFORMASI, Volume 17 Nomor 2, Desember 2026, p281-291
p-ISSN: 2337-5280, e-ISSN: 26207427
DOI: https://doi.org/10.52972/hoaq.vol17no2

EVOLUSI MODULASI DAN CODING 4G-5G: TINJAUAN SISTEMATIS KINERJA DAN EFISIENSI SPEKTRAL

Muhammad Damas Fatih[1], Andicho Haryus Wirasapta[2], Mohammad Alfiza Rayesa[3], Seren Dwi Nengsih[4]

[1]Program Studi Sistem Informasi, Universitas Jambi
[2,3,4]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jambi
Jl. Jambi-Muara Bulian, Muaro Jambi – Jambi, Indonesia
Email: [1]muhammaddamasfatih@unja.ac.id, [2]andicho@unja.ac.id, [3]m.alfizarayesa@unja.ac.id, [4]dnhseren@gmail.com

ABSTRAK

Evolusi LTE menuju 5G NR memerlukan analisis terpadu terhadap *modulation and coding scheme* (MCS), bukan sekadar perbandingan orde modulasi. Penelitian ini menyusun kerangka MCS-sentris untuk menilai keterbandingan hasil serta hubungan efisiensi, reliabilitas, dan biaya implementasi. Korpus mencakup 20 artikel jurnal periode 2021 - Agustus 2026 yang digunakan sebagai 16 kandidat ekstraksi teknis dan empat sumber konteks. Pelaporan metode mengacu pada PRISMA 2020 dan PRISMA-S; rekonstruksi strategi pencarian serta audit kualitas pelaporan disajikan secara eksplisit. Sintesis menggunakan perbandingan dalam studi dan pemetaan konteks pengujian, tanpa menggabungkan outcome yang berbeda. Bukti menunjukkan bahwa *throughput decoder*, throughput radio, dan efisiensi spektral merupakan metrik berbeda. Pengukuran lapangan tersedia pada sebagian studi, sedangkan bukti AI terutama berasal dari simulasi. Kontribusi penelitian berupa aturan sintesis yang menghubungkan identitas MCS, konfigurasi pengujian, normalisasi metrik, dan tingkat bukti. Keterlacakan seleksi awal dan audit teks penuh masih perlu dilengkapi, sehingga hasil belum mendukung estimasi keunggulan universal 5G atau AI. Implikasi Indonesia dirumuskan sebagai rancangan validasi lapangan terkontrol menggunakan data CQI–MCS–BLER–HARQ yang tersinkronisasi.

Kata kunci: 4G LTE, 5G NR, modulation and coding scheme, channel coding, spectral efficiency

ABSTRACT

The transition from LTE to 5G NR requires an integrated analysis of modulation and coding schemes (MCS), beyond modulation order alone. This review develops an MCS-centered framework to assess comparability and trade-offs among efficiency, reliability, and implementation cost. The corpus comprises 20 journal articles published in 2021–August 2026, used as 16 technical-extraction candidates and four contextual sources. Reporting follows PRISMA 2020 and PRISMA-S principles, with an explicit search reconstruction and reporting-quality audit. The synthesis uses within-study comparisons and testing-context mapping rather than pooling incompatible outcomes. Decoder throughput, radio throughput, and spectral efficiency represent distinct metrics. Some studies provide field measurements, whereas AI evidence primarily comes from simulations. The contribution is a set of synthesis rules linking MCS identity, evaluation configuration, metric normalization, and evidence level. Original selection records and full-text assessment remain incomplete; consequently, the findings do not establish universal 5G or AI superiority. Implications for Indonesia are formulated as a controlled field-validation design using synchronized CQI–MCS–BLER–HARQ observations.

Keywords: 4G LTE, 5G NR, modulation and coding scheme, channel coding, spectral efficiency

1. PENDAHULUAN

Modulasi menentukan bit per simbol, sedangkan *channel coding* mengatur redundansi dan proses pemulihan kesalahan. Pada kanal data LTE, *turbo coding* dipadukan dengan keluarga QPSK dan QAM [1], [2]. NR mempertahankan keluarga modulasi tersebut tetapi menggunakan LDPC pada kanal bersama serta *polar coding* pada kanal tertentu, antara lain PBCH dan DCI; informasi kontrol berukuran pendek dapat memakai skema lain [3], [4]. Karena itu, pernyataan bahwa seluruh kanal kontrol 5G menggunakan *polar cod*e tidak tepat.

MCS menghubungkan orde modulasi dengan target coding rate. Identitas indeks harus disertai tabel, arah *link*, dan *release standar*, sebab angka indeks yang sama tidak selalu menunjuk pasangan parameter yang sama. TS 38.214 Release 17 juga memuat tabel PDSCH untuk 1024-QAM; 256-QAM bukan batas universal seluruh

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

konfigurasi NR [5]. Dukungan standar tidak dengan sendirinya membuktikan penggunaan fitur tersebut pada jaringan komersial tertentu.

Kajian terdahulu menyediakan landasan yang saling melengkapi: desain NR [6], polar code [7], perangkat *link adaptation* [8], serta perbandingan *coding* [9]. [10] secara eksplisit memakai judul *systematic review* dan memetakan teknologi pendukung 5G, termasuk MIMO, mmWave, MEC, dan machine learning. Namun, perbandingan teknologi secara luas belum menjawab bagaimana menyaring hasil yang berbeda denominator, konfigurasi decoder, dan tingkat validasi untuk menarik kesimpulan tentang MCS. Tabel 1 membandingkan ruang lingkup kajian tersebut dengan luaran operasional tinjauan ini. Istilah *survey/review* pada [6]–[9] tidak otomatis berarti seleksinya mengikuti PRISMA.

Tabel 1. Posisi kontribusi dibanding kajian terdahulu

Kajian dan cakupan	Celah terhadap pertanyaan MCS	Kontribusi operasional tinjauan ini
[6] Survey desain NR	Fitur sistem belum cukup untuk menyetarakan outcome antarimplementasi.	Ekstraksi release, arah link, layer, dan overhead.
[7] Desain polar code	Fokus satu keluarga kode belum menghubungkan hasil decoder dengan goodput radio.	Pisahkan metrik decoder, radio, dan layanan.
[8] Perangkat link adaptation	Taksonomi metode belum menjadi keputusan keterbandingan korpus ini.	Periksa fungsi AI, baseline, dan intervensi bersama.
[9] Review dengan simulasi coding	Perbandingan kode pada konfigurasi tertentu belum memberi keunggulan lintas kondisi.	Catat panjang blok, rate, jenis decoder, dan anggaran iterasi.
[10] Systematic review teknologi 5G	Cakupan teknologi luas; fokusnya bukan audit outcome MCS per konfigurasi.	Hubungkan identitas MCS, denominator, dan jenis bukti.

Kesenjangan yang ditangani adalah belum terpadunya pemeriksaan identitas MCS, keterbandingan metrik, dan batas transfer bukti ke lapangan dalam satu alur sintesis pada kajian pembanding tersebut. Kontribusi C1 adalah formulir konfigurasi dan aturan kelayakan perbandingan. C2 adalah pemisahan efisiensi nominal, goodput radio, dan *throughput decoder*. C3 adalah pengaitan pola serta perbedaan hasil dengan kebutuhan validasi (Bagian 3.4–3.6). Ini merupakan posisi kontribusi terhadap sumber pembanding yang ditelaah, bukan klaim bahwa belum pernah ada kerangka serupa di seluruh literatur.

Tiga pertanyaan penelitian diajukan: (RQ1) bagaimana fungsi modulasi dan coding berubah dari LTE menuju NR; (RQ2) pada kondisi apa hasil kinerja antarstudi dapat dibandingkan; dan (RQ3) bukti apa yang masih diperlukan untuk menilai AI-based MCS serta penerapannya di Indonesia? Luaran penelitian berupa kerangka sintesis, matriks perbandingan numerik dengan konteks asal, dan rancangan validasi lapangan. Kebaruan bersifat metodologis dan integratif, bukan algoritme MCS atau bukti eksperimen baru.

2. METODE PENELITIAN

Desain dan unit bukti

Tinjauan sistematis terarah menggunakan prinsip pelaporan PRISMA 2020 [11] dan PRISMA-S [12]. Unit bibliografis adalah artikel; unit perbandingan adalah konfigurasi eksperimen. Korpus awal tetap 20 artikel: 16 kandidat ekstraksi teknis dan empat sumber yang terutama digunakan sebagai konteks [6]–[9]. Pembagian ini adalah peran analitis, bukan klasifikasi desain yang mutlak: [9] juga memuat simulasi coding. Komponen tersebut digunakan sebagai pembanding kualitatif dengan status akses dinyatakan; hasil kutipan ulang tidak dihitung sebagai eksperimen independen. Sumber [10] ditambahkan saat revisi hanya untuk pembandingan *novelty*, di luar korpus awal dan denominator 20. Standar dan pedoman metode juga berada di luar korpus.

Strategi pencarian dan status keterlacakan

Penelusuran awal dilaporkan berlangsung pada 1 September 2026 melalui IEEE Xplore, SpringerLink, ScienceDirect, Wiley *Online Library*, MDPI, dan indeks terbuka, dengan batas publikasi Januari 2021–Agustus 2026. Namun, nama indeks terbuka, hasil per query, ekspor bibliografi, dan log keputusan seleksi tidak tersedia dalam dokumentasi yang menyertai korpus. Oleh sebab itu, tujuh string berikut adalah rekonstruksi untuk pencarian ulang, bukan transkrip query historis yang telah tervalidasi. Audit sumber saat revisi dilakukan pada 19 September 2026 dan tidak dianggap sebagai eksekusi ulang seluruh pencarian database.

Untuk replikasi, setiap eksekusi harus menyimpan nama platform, string yang benar-benar dijalankan, cakupan field, filter, tanggal, jumlah hasil, dan berkas RIS/CSV. Pencarian judul, abstrak, dan kata kunci harus dibedakan dari pencarian seluruh teks. Deduplikasi menggunakan DOI yang dinormalisasi, kemudian pencocokan judul, penulis, tahun untuk rekaman tanpa DOI. Versi *online-first* dan versi terbit diperlakukan sebagai satu artikel. Tahun volume digunakan untuk tabulasi deskriptif; tanggal publikasi daring dicatat terpisah untuk pemeriksaan batas waktu.

Status protokol dibedakan menjadi pelaporan historis, audit revisi, dan prosedur untuk pencarian ulang. Registrasi protokol prospektif tidak terdokumentasi; rincian operasional berikut merupakan

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

klarifikasi/amendemen saat revisi. Karena eksekusi ulang menyeluruh belum dilakukan, kepatuhan pelaporan tidak disamakan dengan kelengkapan atau replikasi aktual pencarian. Setiap perubahan *query*, sumber, rentang tahun, dan kriteria harus dicatat beserta tanggal serta dampaknya pada himpunan artikel.

Q1 Modulasi dan efisiensi
```
("LTE" OR "4G" OR "5G" OR "NR") AND ("modulation" OR "QAM") AND ("spectral efficiency" OR "throughput" OR "BLER")
```
Q2 Channel coding
```
("LTE" OR "4G" OR "5G" OR "NR") AND ("channel coding" OR "turbo code" OR "LDPC" OR "polar code") AND ("performance" OR "latency" OR "throughput" OR "BER")
```
Q3 MCS dan link adaptation
```
("LTE" OR "4G" OR "5G" OR "NR") AND ("MCS" OR "modulation and coding" OR "AMC" OR "link adaptation") AND ("CQI" OR "SINR" OR "BLER" OR "HARQ")
```
Q4 AI untuk adaptasi
```
("LTE" OR "5G" OR "NR") AND ("MCS" OR "AMC" OR "link adaptation" OR "CQI") AND ("machine learning" OR "deep learning" OR "reinforcement learning" OR "generative adversarial")
```
Q5 Overhead dan mobilitas
```
("LTE" OR "5G" OR "NR") AND ("DM-RS" OR "DMRS" OR "numerology" OR "channel estimation") AND ("throughput" OR "spectral efficiency" OR "BLER" OR "mobility")
```
Q6 Implementasi decoder
```
("LTE" OR "5G" OR "NR") AND ("LDPC" OR "polar" OR "turbo") AND ("decoder" OR "decoding") AND ("GPU" OR "FPGA" OR "latency" OR "throughput")
```
Q7 Bukti lapangan
```
("LTE" OR "5G" OR "NR") AND ("MCS" OR "CQI" OR "link adaptation" OR "DM-RS" OR "modulation") AND ("field measurement" OR "field trial" OR "drive test" OR "commercial network" OR "testbed")
```

Batas bersama: artikel jurnal, publikasi 1 Januari 2021–31 Agustus 2026, artikel review ditandai sebagai konteks. Istilah NR dan AMC dapat menimbulkan hasil ambigu; seleksi konteks seluler harus dicatat. Tidak menggunakan filter "*open access only*"; akses teks lengkap dicatat setelah pencarian agar bias akses terlihat.

Tabel 2. Pemetaan platform untuk eksekusi ulang

Platform	**Cara penerapan dan pencatatan**
IEEE Xplore	Masukkan Q1–Q7 melalui advanced search. Pilih field metadata yang tersedia dan rekam string hasil pembentukan antarmuka; pisahkan jurnal dari konferensi.
SpringerLink	Jalankan Q1–Q7 pada pencarian Boolean yang didukung. Rekam bila cakupan mencakup *full text*; gunakan filter Article dan tanggal.
ScienceDirect	Gunakan *field* judul/abstrak/kata kunci bila tersedia. Jika batas operator menolak *string*, pecah blok OR menjadi query terpisah dan simpan setiap varian; deduplikasi hasil gabungan.
Wiley Online Library	Gunakan advanced search sesuai field yang tersedia; dokumentasikan filter jurnal, tanggal, dan apakah *full text* ikut dicari.
MDPI	Jalankan melalui pencarian advanced yang tersedia. Jika Boolean bersarang tidak diterima, pecah menjadi kombinasi literal dan simpan query aktual; jangan melaporkan ekuivalensi tanpa pemeriksaan.

Penguraian string menjadi beberapa pencarian harus mempertahankan gabungan logisnya. Sebagai contoh, Q6 dapat dijalankan sebagai kombinasi masing-masing istilah teknologi dan hardware dengan blok decoder yang sama; seluruh hasil digabungkan sebelum deduplikasi. Perubahan antarmuka dan cakupan field menyebabkan hasil antarpenerbit tidak otomatis setara.

Skema log yang harus diisi per eksekusi: ID *query* | *platform* | tanggal dan zona waktu | field | string aktual | filter | jumlah hasil | nama berkas ekspor | pelaksana. Skema keputusan per rekaman: DOI/ID | sumber | status duplikat | keputusan judul–abstrak | status akses | keputusan teks penuh | alasan eksklusi | penilai. Tidak ada kolom jumlah hasil yang diisi dengan estimasi.

Tabel 3. Kriteria seleksi dan penggunaan bukti

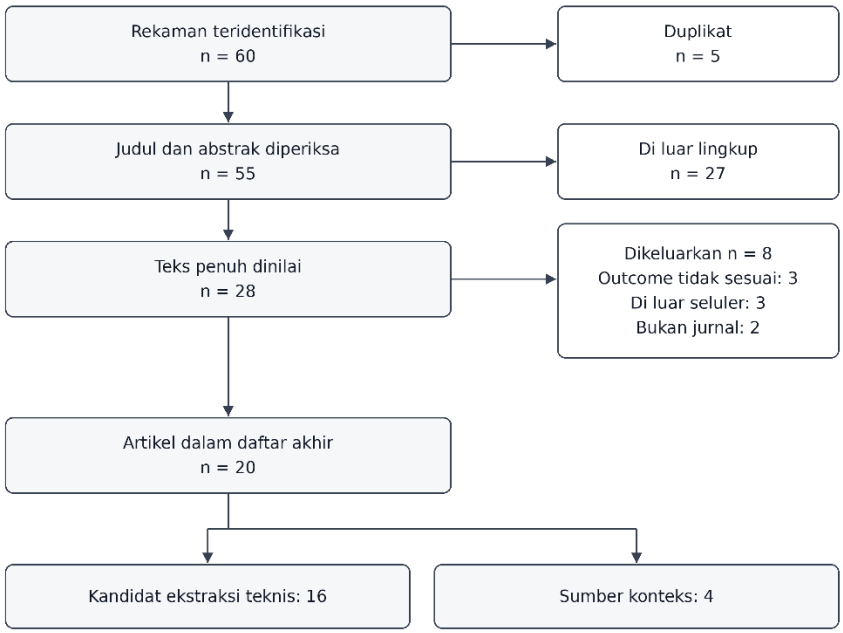
Komponen	**Aturan**
Populasi	LTE/LTE-A/Pro atau 5G NR; fokus modulasi, *coding*, CQI, MCS, HARQ, atau *link adaptation*.
Artikel penelitian	Jurnal *peer-reviewed* dalam rentang waktu; teks lengkap diperlukan untuk penilaian kualitas dan ekstraksi kuantitatif.
Outcome	BER/BLER, *throughput*, *goodput*, efisiensi spektral, *latency*, biaya komputasi atau energi yang terkait intervensi.
Sumber kontekstual	Review dan standar dipisahkan dari artikel penelitian; hasil yang dikutip ulang tidak dihitung sebagai eksperimen baru.
Eksklusi	Editorial, blog, paten, tesis, preprint, prosiding tanpa versi jurnal, atau konteks non-seluler yang tidak dapat dipisahkan.

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

Komponen	Aturan
Akses tidak lengkap	Metadata/abstrak hanya untuk pemetaan; skor kualitas dan angka yang tidak dapat diperiksa diberi BV.

Seleksi dan kelengkapan pelaporan

Alur awal melaporkan 60 rekaman, lima duplikat, 55 rekaman yang disaring, 27 eksklusi awal, 28 penilaian teks penuh, dan delapan eksklusi akhir. Angka tersebut konsisten secara aritmetika, tetapi belum dapat diaudit terhadap daftar 60 rekaman dan alasan keputusan per artikel. Gambar 1 menyajikan kembali angka yang dilaporkan serta klasifikasi ulang 20 artikel. Pembagian 16 kandidat ekstraksi teknis dan empat sumber konteks tidak mengubah jumlah bibliografis akhir.



Gambar 1. Alur seleksi yang dilaporkan dalam naskah awal. Digambar ulang dengan struktur yang mengacu pada PRISMA 2020 [11]. Angka seleksi memerlukan verifikasi log; pembagian 16 dan 4 menunjukkan peran analitis artikel

Untuk pencarian ulang, *screening* judul dan abstrak menerapkan urutan keputusan: jenis publikasi dan tanggal, konteks LTE/NR, kemudian hubungan intervensi dengan *outcome* pada Tabel 3. Rekaman yang meragukan diteruskan ke teks penuh. Pada tahap teks penuh, catat satu alasan utama eksklusi dengan urutan jenis/tanggal tidak memenuhi, konteks tidak sesuai, lalu *outcome* tidak relevan. Teks yang gagal diperoleh diberi status "tidak berhasil diperoleh", bukan dianggap tidak memenuhi kriteria. Identitas penilai, keputusan awal, dan alasan penyelesaian perbedaan disimpan per rekaman. Pemeriksaan independen penilai kedua disarankan untuk pelaksanaan ulang; belum diklaim telah dilakukan pada seleksi historis.

Dalam alur PRISMA, jumlah laporan yang dicari, berhasil diperoleh, dan tidak berhasil diperoleh perlu dicatat terpisah dari jumlah artikel/studi. Dokumentasi awal hanya menyebut 28 penilaian teks penuh; jumlah laporan yang gagal diperoleh belum diketahui dan tidak boleh diisi nol. Jika beberapa laporan memakai eksperimen atau dataset yang sama, tautkan ke satu ID studi untuk menghindari penggandaan bukti. Diagram harus diperbarui dari log aktual apabila pencarian diulang.

Tabel 4. Elemen audit historis dan status kelengkapannya

Elemen	Status saat revisi	Tindakan yang diperlukan
Tanggal dan rentang	Dilaporkan dalam naskah	Konfirmasi dengan catatan pencarian.
60 rekaman awal	Angka agregat tersedia	Lampirkan DOI/judul, platform asal, dan ekspor hasil.
Hasil per platform/query	Belum tersedia	Isi log aktual tanpa membagi angka 60 secara perkiraan.
5 duplikat	Jumlah dilaporkan	Sediakan pasangan rekaman yang dihapus.
27 eksklusi awal	Jumlah dilaporkan	Sediakan alasan pada masing-masing rekaman.
8 eksklusi teks penuh	Kategori agregat tersedia	Sediakan sitasi dan satu alasan utama tiap artikel.
20 artikel akhir	Daftar tersedia pada Tabel 6	Bedakan 16 kandidat teknis dan 4 sumber konteks; verifikasi akses.
Penilai dan perselisihan	Belum terdokumentasi	Catat pelaksana seleksi dan hasil pemeriksaan independen.

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

Ekstraksi dan audit kualitas

Formulir ekstraksi mencatat DOI, tahun, jenis bukti, arah link, release/tabel/indeks MCS, Qm, coding rate, panjang blok, decoder, kanal, bandwidth, numerology, spatial layer, target reliabilitas, overhead, HARQ, baseline, dan definisi outcome. Nilai yang tidak dilaporkan tidak diisi melalui perkiraan. Untuk studi decoder, konfigurasi kode, iterasi, batch, dan hardware menggantikan keharusan tabel MCS yang memang tidak menjadi objek pengujiannya.

Audit pelaporan menggunakan enam indikator pada Tabel 5: tujuan, konfigurasi, kanal, metrik, baseline, serta keterlacakan hasil. Skor 1 menunjukkan pelaporan memadai, 0,5 parsial, dan 0 tidak dilaporkan pada teks yang diperiksa. BV berarti belum dapat diverifikasi, bukan skor nol. Hasil audit awal dan kebutuhan verifikasi disajikan pada Bagian 3.1. Skor tidak digunakan sebagai ambang eksklusi retrospektif.

Setiap nilai ekstraksi harus memiliki ID artikel dan konfigurasi, lokasi tabel/gambar/halaman, definisi satuan, pembanding, dan catatan apakah berasal dari teks penuh atau abstrak. NR menandai unsur yang tidak dilaporkan dalam teks yang sudah diperiksa, sedangkan BV menandai verifikasi yang belum selesai. Penilai kedua perlu memeriksa nilai dan alasan skor, kemudian menyimpan skor awal serta skor hasil adjudikasi. Rubrik Q1–Q6 menilai kelengkapan pelaporan; risiko bias seperti baseline tidak setara, pemisahan data AI yang tidak jelas, dan pelaporan ketidakpastian dicatat secara naratif, bukan ditutupi total skor.

Tabel 5. Rubrik operasional

Kode	Skor 1	Skor 0,5
Q1 Tujuan	Intervensi dan tujuan jelas.	Tujuan umum; hubungan intervensi/outcome parsial.
Q2 Konfigurasi	Modulasi/rate/tabel atau konfigurasi kode dan decoder cukup untuk objek yang diuji.	Sebagian parameter kunci tidak jelas.
Q3 Kanal	Kanal dan rentang SNR/Eb/N0 atau kondisi ukur dijelaskan.	Kondisi pengujian hanya dijelaskan sebagian.
Q4 Metrik	Definisi, satuan dan dasar perbandingan jelas.	Metrik tersedia, tetapi normalisasi/interpretasi belum jelas.
Q5 *Baseline*	Pembanding dan kondisi cukup untuk menilai intervensi.	Pembanding ada; konfigurasi atau kesetaraannya terbatas.
Q6 Keterlacakan	Tabel/gambar dan kondisi hasil dapat ditelusuri secara konsisten.	Hasil tersedia tetapi ada ketidakjelasan atau inkonsistensi.

Skor 0 digunakan hanya jika unsur tidak dilaporkan pada teks yang diperiksa. BV digunakan bila akses/verifikasi belum memadai. Total maksimum 6; skor tidak dibobotkan, tidak dipakai sebagai effect size, dan tidak menentukan kebenaran teknis. Kelengkapan implementasi hardware dinilai sesuai objeknya, sehingga tidak dibandingkan secara langsung dengan kelengkapan studi adaptasi end-to-end.

Aturan sintesis

Sintesis memisahkan tiga keluaran: jumlah artikel menurut karakteristik bibliografis; nilai numerik beserta kondisi asal; dan interpretasi lintas studi yang telah dipadankan. Untuk outcome yang sama, perubahan relatif dihitung sebagai 100 × (nilai intervensi − *baseline*)/*baseline*; untuk outcome yang makin kecil makin baik, tanda interpretasinya dibalik. Perhitungan hanya dilakukan apabila baseline dan konfigurasi tersedia. Tidak ada imputasi data, digitasi kurva, pembobotan berdasarkan skor kualitas, atau meta-analisis karena konfigurasi, denominator, dan ukuran ketidakpastian tidak seragam.

Aturan operasional sintesis diterapkan berurutan. Pertama, kelompokkan konfigurasi menurut mekanisme: coding/decoder, adaptasi MCS, atau overhead/kanal; satu artikel dapat masuk lebih dari satu kelompok tanpa menambah jumlah artikel unik. Kedua, pisahkan outcome BER/BLER, throughput decoder, goodput radio, latency, dan energi. Ketiga, periksa denominator dan faktor pemadan pada Gambar 2. Pasangan dengan outcome serta konfigurasi cukup jelas layak untuk perbandingan numerik; pasangan yang hanya sejenis mekanismenya dipakai untuk sintesis kualitatif bersyarat; bukti yang belum terverifikasi hanya dipetakan sebagai kandidat.

Keempat, catat arah hasil terhadap baseline dalam kondisi asal, termasuk tidak berubah atau memburuk jika dilaporkan, tanpa memilih hanya SNR yang menguntungkan. Beberapa SNR, batch, dan baseline dari artikel yang sama tetap merupakan observasi bertingkat dalam satu studi. Kelima, jelaskan kesesuaian atau perbedaan hasil melalui faktor konfigurasi yang dilaporkan; penyebab yang tidak diuji disebut hipotesis interpretatif. Terakhir, periksa apakah kesimpulan tetap berlaku ketika bukti abstrak dan artikel dengan konfigurasi/baseline parsial dikesampingkan. Pemeriksaan ini bersifat kualitatif, bukan meta-analisis atau uji signifikansi dari jumlah studi yang hasilnya positif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik korpus dan hasil penilaian kualitas

Menurut tahun volume, distribusi 20 artikel adalah 2021 sebanyak 3 (15%), 2022 sebanyak 3 (15%), 2023 sebanyak 4 (20%), 2024 sebanyak 5 (25%), 2025 sebanyak 4 (20%), dan 2026 sebanyak 1 (5%). Sebanyak 16 dari 20 artikel (80%) ditempatkan sebagai kandidat ekstraksi teknis dan 4 dari 20 (20%) terutama sebagai konteks. Persentase ini menunjukkan peran analitis sumber hibrida [9] tidak boleh dianggap tanpa eksperimen. Angka ini

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

mendeskripsikan daftar yang dikaji dan tidak membuktikan pertumbuhan seluruh bidang karena kelengkapan cakupan pencarian belum terukur.

Tabel 6. Pemetaan seluruh artikel dalam korpus

Referensi	Tahun	Fokus	Fungsi dalam sintesis
[6]	2021	Desain NR	Konteks sistem
[7]	2021	Polar code	Konteks desain kode
[8]	2021	Link adaptation	Konteks metode adaptasi
[13]	2022	Prediksi kanal dan AMC	Kandidat bukti AI
[14]	2022	Delay CQI	Kandidat bukti prediksi
[15]	2022	LDPC pada GPU	Pengukuran implementasi
[16]	2023	Mobilitas NR-NTN	Kandidat evaluasi kanal
[9]	2023	Review dan simulasi coding	Konteks; pembanding kualitatif dari abstrak
[17]	2023	LDPC-BICM	Kandidat bukti bit mapping
[18]	2023	DDQN NR-V2I	Simulasi adaptasi
[19]	2024	Decoder polar	Implementasi FPGA
[20]	2024	LDPC pada GPU	Pengukuran implementasi
[21]	2024	Optimasi DM-RS	Bukti jaringan dengan trafik nyata
[22]	2024	Numerology PDSCH	Kandidat evaluasi kanal
[23]	2024	DM-RS pada NTN	Kandidat evaluasi kanal
[24]	2025	Estimasi fading	Pengukuran lapangan terkontrol
[25]	2025	DNN demapper MIMO	Simulasi deteksi dan coding
[26]	2025	GAN-based AMC	Simulasi adaptasi
[27]	2025	QoS-aware DRL	Simulasi adaptasi multivariabel
[28]	2026	Parameter link NR	Simulasi konfigurasi link

Pemetaan di atas membedakan fokus bibliografis dari hasil yang sudah diverifikasi melalui teks lengkap. Khusus [21], halaman penerbit mengidentifikasi evaluasi jaringan komersial; [24] mendeskripsikan eksperimen lapangan terkontrol. Karena itu, bukti tidak boleh seluruhnya dilabeli simulasi. Proporsi simulasi seluruh korpus belum dihitung secara definitif sebelum audit jenis pengujian seluruh artikel selesai.

Audit awal pada 19 September 2026 mencakup tujuh dari 16 kandidat ekstraksi teknis (43,75%). Sembilan artikel lainnya (56,25%) belum memperoleh skor lengkap dan diberi BV. Tabel 7 menyajikan skor, Tabel 8 menunjukkan jejak bukti dan alasan penilaian, sedangkan Tabel 9 merinci kebutuhan verifikasi. Penilaian ini merupakan audit dokumenter saat revisi dan belum diverifikasi oleh penilai kedua.

Tabel 7. Skor audit awal per artikel

Artikel	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Total
[15]	1	1	1	1	1	1	6,0
[18]	1	0,5	1	1	1	0,5	5,0
[19]	1	1	0,5	1	1	1	5,5
[20]	1	1	1	1	1	1	6,0
[24]	1	0,5	1	1	1	0,5	5,0
[25]	1	0,5	1	0,5	1	0,5	4,5
[26]	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	4,0

Tabel 8. Jejak bukti dan alasan penilaian

Artikel	Lokasi sumber yang diperiksa	Catatan audit
[15]	Bagian 4.1–4.4, Tabel 1–4.	Kode, GPU, batch, latency dan pembanding tersedia, termasuk pemisahan waktu transfer.
[18]	Bagian 4, Tabel 1–3, Gambar 7–8.	MCS dibahas, tabel konfigurasi belum memberi pemetaan rate lengkap. Label parameter antena 0,9 pada tabel training perlu klarifikasi.
[19]	Bagian 3 dan 5, abstrak.	Kode dan FPGA jelas, rincian kondisi kanal tidak sekuat pelaporan hardware.
[20]	Bagian 2 dan 4, Tabel 1–3.	Parameter decoder, kanal AWGN, metrik dan pembanding disajikan, variasi transfer harus dipertahankan saat ekstraksi.
[24]	Bagian 6, Tabel 2–3.	Ada perangkat dan pengukuran nyata, uraian menyebut 20 lokasi lalu enam lokasi sehingga cakupan sampel perlu diperjelas.
[25]	Bagian 6.1–6.2.	Konfigurasi rate/panjang blok belum cukup jelas untuk atribusi. Perbedaan BER pada SNR tetap tidak membuktikan coding gain dB.
[26]	Bagian 1.3 dan 2, Gambar 3–10.	Pemetaan rate/tabel MCS dan detail baseline terbatas, klasifikasi modulasi harus dibedakan dari efektivitas kebijakan AMC.

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

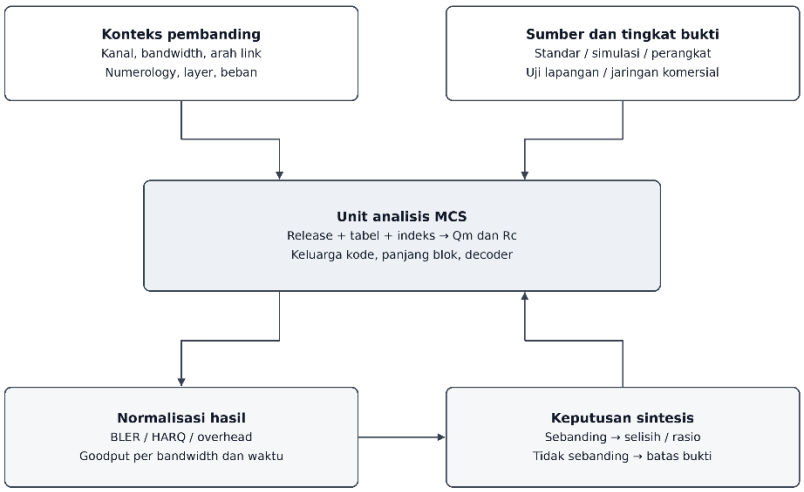
Catatan konsistensi tidak membuktikan hasil sumber salah; catatan tersebut membatasi penggunaan ulang hasil sampai konfigurasi dan definisinya jelas. Audit lanjutan harus menyimpan halaman atau bagian pendukung untuk setiap indikator dan mencatat perubahan skor setelah adjudikasi.

Tabel 9. Artikel yang belum mendapat skor lengkap

Artikel	Informasi yang tersedia	Status dan kebutuhan
[13]	Identitas dan fokus prediksi kanal	BV; teks lengkap dan konfigurasi pelatihan/pengujian
[14]	Identitas dan abstrak CQI *delay*	BV; teks lengkap, kanal, baseline dan tabel hasil
[16]	Identitas dan fokus NR-NTN	BV; teks lengkap dan parameter mobilitas/DM-RS
[17]	Halaman penerbit dan fokus LDPC-BICM	BV; metode lengkap, pemetaan bit dan hasil
[21]	Halaman penerbit menyebut jaringan komersial	BV; teks lengkap, *baseline* dan *counter* jaringan
[22]	Abstrak menyebut CDL-C dan TDL-C	BV; tabel parameter dan hasil *throughput* lengkap
[23]	Identitas dan fokus estimasi kanal NTN	BV; metode, konfigurasi dan hasil lengkap
[27]	Abstrak repositori penulis menyebut simulasi	BV; teks lengkap, *ablation* dan *baseline*
[28]	Metadata dan ringkasan simulasi	BV; teks lengkap, jumlah trial efektif dan hasil rinci

Artikel [6], [7], [8], [9] tidak diberi skor rubrik penelitian primer karena digunakan sebagai review/sintesis kontekstual. Ketiadaan skor sembilan artikel pada Tabel 9 bukan alasan menganggap kualitasnya rendah. Angka kuantitatif yang belum dapat diperiksa tidak dimasukkan ke Tabel 12. Sumber hibrida [9] memuat simulasi; komponen ini tetap perlu audit tersendiri sebelum ekstraksi kuantitatif, dan tidak termasuk tujuh artikel yang telah diberi skor.

Kerangka MCS sentris dan perubahan LTE menuju NR



Gambar 2. Kerangka sintesis MCS-sentris yang disusun penulis. Identitas MCS dan *coding* mengacu pada 3GPP TS 38.212 dan TS 38.214 [4], [5]; normalisasi outcome mengacu pada ITU-R M.2410-0 [29]. Aturan keputusan sintesis merupakan kontribusi tinjauan ini

Kerangka pada Gambar 2 menghasilkan keputusan yang dapat diuji ulang. Dua studi hanya dibandingkan secara numerik jika outcome dan denominatornya sepadan serta perbedaan bandwidth, kanal, layer, panjang blok, decoder, overhead, dan HARQ diketahui. Jika satu faktor sengaja diubah, faktor tersebut menjadi intervensi, sementara faktor lain harus dijaga atau dimodelkan. Konfigurasi yang tidak lengkap tetap dapat memberi bukti mekanisme, tetapi tidak cukup untuk menghitung keunggulan teknologi lintas generasi.

Tabel 10. Perubahan teknologi dan syarat interpretasinya

Aspek	LTE menuju NR	Syarat interpretasi
Modulasi	Kontinuitas QPSK/QAM; konfigurasi NR tertentu mendukung 1024-QAM	Nyatakan *release*, tabel, arah link, dan kemampuan perangkat
Coding data	Turbo pada kanal data LTE; LDPC pada kanal bersama NR	Samakan panjang blok, *rate matching* dan batas kompleksitas untuk perbandingan kode
Coding kontrol	Skema bergantung kanal dan panjang informasi	Polar tidak mewakili seluruh informasi kontrol NR.
Adaptasi	CQI, pemilihan MCS dan HARQ tetap penting; AI dapat membantu keputusan	Fitur AI adalah pendekatan penelitian/implementasi, bukan kewajiban standar
Kinerja	*Outcome* dapat berupa radio, *decoder*, atau layanan *end-to-end*	Jangan menyamakan Gbps *decoder* dengan *goodput* pengguna

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

Definisi efisiensi spektral dan contoh kuantitatif

ITU-R membedakan peak spectral efficiency, efisiensi pengguna, dan efisiensi rata-rata dengan denominator yang sesuai [29]. Untuk pengukuran pada satu bandwidth tetap, definisi operasional dalam tinjauan ini adalah:

$$\eta obs = Dberhasil / (B \times T) \quad (1)$$

Dberhasil adalah bit unik yang diterima pada lapisan protokol yang dinyatakan, B bandwidth dalam Hz, dan T interval observasi dalam detik. Hasil bersatuan bit/s/Hz. Pengukuran harus menyatakan apakah B berarti bandwidth kanal, bandwidth teralokasi, atau effective bandwidth; ketiganya tidak dapat dipertukarkan tanpa penyesuaian. Agregasi multisektor juga memerlukan denominator jumlah titik transmisi.

Untuk konfigurasi tetap, estimasi satu transmisi tanpa penggabungan HARQ dapat diturunkan dari akuntansi *resource element*:

$$\eta 1 \approx [NRE,data / (B \times T)] \times Qm \times Rc \times L \times (1 - pBLER) \quad (2)$$

NRE,data adalah jumlah *resource element* data per *layer* dalam interval T; Qm = log2(M), Rc adalah *coding rate* efektif, dan L jumlah layer. Rumus ini adalah pendekatan analitis penulis, bukan persamaan normatif 3GPP. Resource element pilot/kontrol dikeluarkan dari NRE,data; cyclic prefix, guard band, dan waktu yang tidak membawa data tercermin pada *rasio resource* terhadap B × T. *Target rate* pada tabel MCS tidak selalu identik dengan *effective rate* setelah penentuan *transport block* dan *rate matching*.

Jika retransmisi aktif, gunakan Persamaan (1) pada keseluruhan interval dan hitung payload hanya sekali. Perkalian tambahan dengan (1 − BLER) pada goodput yang sudah terukur akan menghitung kegagalan dua kali. Pendekatan sederhana sebelumnya yang hanya mengalikan Qm, Rc, *layer*, *overhead* dan BLER belum cukup menjamin denominator bit/s/Hz tanpa menyatakan kepadatan *resource* terhadap bandwidth–waktu.

Tabel 11. Contoh normatif pasangan MCS dengan efisiensi nominal sama

Tabel PDSCH	Indeks	Qm	Target R × 1024	Qm × R
5.1.3.1-1	28	6	948	5,5547
5.1.3.1-2	21	8	711	5,5547

Sumber: TS 38.214 V17.9.0, Tabel 5.1.3.1-1 dan 5.1.3.1-2 [5]. Kedua pasangan memiliki muatan nominal sama meskipun orde modulasi berbeda. Ini merupakan ilustrasi dari standar, bukan hasil pengukuran; reliabilitas dan goodput aktual tetap bergantung pada kanal dan konfigurasi.

Perbandingan numerik antarstudi dengan konteks asal

Tabel 12 menambahkan angka yang dapat ditelusuri ke tabel atau uraian hasil sumber. Angka disajikan menurut jenis outcome; nilai dari studi berbeda tidak dirata-ratakan. Selisih dalam studi berguna untuk memahami mekanisme, sedangkan perbedaan antarstudi menampilkan batas keterbandingan.

Tabel 12. Sintesis numerik terstruktur

Studi dan lokasi hasil	Kondisi dan pembanding	Nilai yang dilaporkan	Batas perbandingan
[15], Tabel 1	GPU RTX 2080 Ti; konfigurasi (8448, 25344); *batch* 512 *codeword*	6,590 Gbps; *latency* 1,969 ms termasuk transfer dan 1,190 ms tanpa transfer	*Throughput decoder*; perubahan *batch* memengaruhi throughput dan *latency*
[19], abstrak dan Bagian 5	Decoder polar pada FPGA Virtex-7; pembanding fast-SSC dan *combinational*	2,44 Gbps; masing-masing 4× dan 1,4× pembanding	Tidak dapat diranking terhadap GPU tanpa normalisasi kode dan *hardware*
[20], abstrak dan Tabel 2	LDPC (26112, 8448), RTX4090, lima iterasi *layered*	27,6 Gbps; latency <1 ms	Definisi kode berbeda dari [15]; periksa apakah transfer *host–device* dihitung
[18], pembahasan Gambar 8	DDQN vs DQN, OLLA, NoOLLA; delay 0 µs, offset 281 Hz	Kenaikan throughput 22, 61, dan 88 Mbps terhadap baseline berurutan	Selisih pada satu kondisi simulasi, bukan rata-rata lintas mobilitas
[25], Bagian 6.1	4-QAM, MIMO 4 × 16, flat *fading*, SNR −1 dB; LDPC vs polar	BER 0,041382 vs 0,094177; penurunan relatif hasil hitung 56,06%	Perbandingan pada satu SNR; tidak dapat diubah menjadi *coding gain* dB
[26], Bagian 2 dan Gambar 3	GAN-AMC vs *traditional* AMC; simulasi SNR 0–30 dB	Peningkatan *throughput* 15–20% dilaporkan penulis sumber	Rentang dilaporkan sumber; bukan *pooled effect* atau interval kepercayaan

Sintesis lintas studi menunjukkan bahwa arah keunggulan mengikuti konfigurasi pengujian. Pada kelompok decoder [15], [19], [20], throughput tinggi didukung implementasi paralel, tetapi besarnya keuntungan tidak dapat diranking lintas FPGA/GPU. Di dalam [15], perubahan batch dari 4 menjadi 512 meningkatkan throughput 0,124 menjadi 6,590 Gbps (53,15 kali), sementara *latency* termasuk transfer meningkat 0,816 menjadi 1,969 ms (2,41

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

kali). Polanya adalah pertukaran *throughput–latency* dalam konfigurasi sumber, bukan bukti efisiensi spektral yang meningkat 53 kali. Hasil [20] pada GPU dan kode lain mendukung kelayakan pemrosesan berkapasitas tinggi, tetapi tidak mengisolasi efek algoritme dari hardware.

Pada perbandingan coding, [25] melaporkan BER LDPC lebih rendah daripada polar pada konfigurasi di Tabel 12. Sebaliknya, abstrak [9] melaporkan polar dengan *decoder list* ber-CRC mengungguli LDPC min-sum tanpa offset pada N = 1024, K = 512, dan anggaran iterasi/list 16; penambahan *offset* memperbaiki LDPC. Perbedaan arah ini tidak membuktikan kontradiksi karena decoder dan konfigurasi tidak sama. Faktor penjelas yang didukung sumber ialah pilihan decoder dan anggaran decoding; kontribusi relatif masing-masing faktor terhadap selisih antarartikel belum dapat dihitung. Implikasinya, pernyataan "LDPC selalu lebih baik daripada polar" harus diganti dengan kesimpulan bersyarat.

Pada adaptasi AI, [18] dan [26] sama-sama melaporkan peningkatan throughput terhadap baseline masing-masing. Konsistensi tersebut terbatas pada arah hasil dua konfigurasi simulasi, bukan besaran efek atau jaminan generalisasi. Selisih absolut pada [18] dan rentang persentase pada [26] tidak memiliki denominator bersama. Selain itu, [27] mengubah MCS, daya, dan subcarrier spacing secara bersama; keuntungan total belum mengidentifikasi kontribusi MCS. Perbedaan baseline, ruang tindakan, dan kanal merupakan penjelas yang masuk akal, tetapi memerlukan ablasi untuk membuktikan kontribusi kausalnya.

Pada konteks kanal, abstrak [22] melaporkan hubungan numerology–throughput yang berbeda antara CDL-C dan TDL-C: kecenderungan pada satu model tidak berlaku secara monoton pada model lain. Bersama bukti implementasi jaringan [21] dan pengukuran terkontrol [24], temuan ini membatasi transfer hasil simulasi ke lapangan. Kanal, mobilitas, dan *overhead* perlu diperlakukan sebagai pemoderasi hubungan MCS–*goodput*. Bukti abstrak [21], [22] digunakan untuk pola kualitatif; besar efeknya belum dimasukkan ke sintesis numerik.

Tabel 13. Pola lintas studi dan batas inferensi

Kelompok	Konsistensi atau perbedaan	Faktor pembeda	Implikasi
Decoder [15], [19], [20]	Kelayakan throughput tinggi; batch dapat menaikkan *latency*	*Hardware, batch*, kode, iterasi, transfer	Laporkan *throughput* dan *latency* bersama
Coding [9], [25]	Arah keunggulan LDPC–polar berbeda	*Decoder, offset*, panjang *blok, rate*	Hindari ranking keluarga kode secara universal
AI [18], [26], [27]	Arah manfaat dilaporkan positif; besaran tidak sepadan	Baseline, kanal, ruang tindakan	Butuh *baseline* setara dan ablasi MCS
Kanal [21], [22], [24]	Respons konfigurasi bergantung lingkungan	Model kanal, *overhead*, kondisi ukur	Validasi per strata kanal dan mobilitas

Pemeriksaan ketahanan kualitatif membatasi kesimpulan lebih lanjut. Jika sumber yang baru terverifikasi lewat abstrak [9], [21], [22], [27] dikesampingkan, kesimpulan tentang perbedaan definisi throughput dan pertukaran batch–latency tetap ditopang [15], [19], [20], tetapi perbandingan arah LDPC–polar lintas studi dan generalisasi kanal menjadi belum cukup kuat. Jika konfigurasi serta baseline harus memenuhi skor penuh Q2 dan Q5, [18], [25], [26] tidak memenuhi syarat tersebut; klaim numerik umum keuntungan AI tidak dapat dipertahankan. Ini menunjukkan bahwa batas utama sintesis AI adalah keterbandingan dan pelaporan, bukan kurangnya angka peningkatan.

AI untuk MCS dan mutu bukti

Peran AI perlu dibedakan menjadi prediksi kualitas kanal/CQI [13], [14], pemilihan tindakan adaptasi [18], [26], [27], dan deteksi atau *demapping* di penerima [25]. DNN demapper tidak dengan sendirinya merupakan algoritme pemilihan MCS. Demikian pula, akurasi klasifikasi modulasi bukan bukti langsung penurunan BLER atau peningkatan goodput suatu kebijakan link adaptation.

Pada QDRLLA, tindakan mencakup MCS, daya transmisi, dan *subcarrier spacing* [27]. Oleh sebab itu, peningkatan QoS tidak dapat diatribusikan hanya pada pemilihan MCS tanpa *ablation study*. Bukti abstrak sumber menunjukkan simulasi; hasil tersebut tidak membuktikan keberhasilan operasional di jaringan Indonesia. Evaluasi lanjutan perlu membandingkan baseline OLLA yang dituning pada anggaran sumber daya sama, memisahkan data pelatihan dan pengujian menurut kanal/lokasi/waktu, serta menguji pergeseran distribusi.

Audit awal tujuh artikel memperlihatkan bahwa konfigurasi *decoder* dapat lebih lengkap daripada konfigurasi *link end-to-end*. Skor pada Tabel 7 mengukur kelengkapan pelaporan, bukan probabilitas kesimpulan benar. Untuk AI, keterlacakan *coding rate*, MCS *table, baseline*, dan pembagian data harus diperiksa bersama latency inferensi. Hasil BER rendah tidak cukup untuk menyimpulkan pemenuhan URLLC tanpa target probabilitas kegagalan, batas waktu, dan jumlah percobaan yang memadai.

Implikasi untuk Indonesia

Bukti lapangan tidak sepenuhnya absen: optimasi DM-RS [21] dilaporkan pada jaringan dengan trafik nyata, sedangkan eksperimen [24] menguji estimasi kanal di lingkungan terkontrol. Keduanya menunjukkan perlunya menghubungkan konfigurasi fisik dengan lingkungan pengukuran, tetapi bukan validasi populasi jaringan Indonesia. Implikasi berikut diposisikan sebagai rancangan pengujian yang dapat dilaksanakan melalui kolaborasi perguruan tinggi dan operator, bukan rekomendasi menaikkan MCS secara seragam.

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

Tabel 14. Rancangan validasi kontekstual untuk Indonesia

Konteks uji	Variabel yang dipadankan	Outcome dan keputusan
Perkotaan dan sel padat	*Band, bandwidth, layer*, jam, beban sel, rute dan perangkat	Goodput/B, BLER awal, HARQ dan latency persentil; pisahkan pengaruh beban
Pinggiran dan perdesaan	Kondisi kanal, jarak/rute, LOS/NLOS, daya, perangkat dan server	*Coverage-conditioned goodput*; jangan mengekstrapolasi hasil kanal kuat ke tepi sel
Mobilitas dan *handover*	Kecepatan, usia CQI, waktu *handover*, teknologi akses dan lokasi	BLER dan retransmisi di sekitar transisi; identifikasi dampak CQI usang
AI-*assisted* MCS	Akses data yang sama, anggaran inferensi, baseline OLLA dan periode uji	Ablasi, pengujian lintas lokasi/waktu, pelanggaran QoS dan mekanisme fallback

Data minimal berupa timestamp tersinkronisasi, SINR/RSRP/RSRQ, CQI, release/tabel/indeks MCS, layer, band, bandwidth, BLER, hasil HARQ, ukuran transport block, alokasi resource, lokasi, mobilitas, dan identitas perangkat yang dianonimkan. Ukuran aplikasi harus dikaitkan dengan counter radio agar dampak backhaul, server, dan core network dapat dipisahkan. Speed test saja tidak mengidentifikasi kontribusi coding atau kebijakan MCS.

Perbandingan LTE–NR sebaiknya memakai rute, perangkat, server, waktu, dan beban yang dipadankan, dengan status NSA/SA serta carrier aggregation dicatat. Pemadanan belum menjamin kausalitas jika band atau scheduler berbeda; gunakan stratifikasi dan laporkan residual confounding. Ketidakpastian dapat dihitung dengan bootstrap pada unit rute atau sel, bukan memperlakukan seluruh sampel milidetik sebagai observasi independen. Hasil dilaporkan per strata dan tidak disebut mewakili Indonesia sebelum cakupan sampelnya mendukung.

Keterbatasan

Keterbatasan utama adalah tidak tersedianya log seleksi awal, ketidakjelasan satu sumber indeks, dan audit teks penuh yang baru mencakup tujuh dari 16 artikel penelitian. Pencarian terarah tidak menjamin kelengkapan seluruh publikasi LTE–NR. Pemisahan peran empat sumber kontekstual mengurangi penggandaan bukti, tetapi tumpang tindih eksperimen antarartikel masih memerlukan pemeriksaan. Penilaian kualitas belum dilakukan oleh dua penilai independen. Heterogenitas metrik dan tidak seragamnya pelaporan varians mencegah meta-analisis. Dengan demikian, kerangka dan sintesis numerik bersifat dapat diperiksa, sedangkan klaim kelengkapan SLR tetap memerlukan penyelesaian dokumen penelusuran.

4. SIMPULAN

Untuk RQ1, evolusi LTE–NR mempertahankan keluarga QPSK/QAM dan mengubah pemetaan channel coding serta pilihan konfigurasi MCS. Untuk RQ2, keterbandingan hasil memerlukan identitas tabel MCS, konfigurasi kanal dan perangkat, serta denominator metrik yang jelas. Contoh standar menunjukkan bahwa orde modulasi berbeda dapat memiliki efisiensi nominal sama; tabel antarstudi juga memperlihatkan perbedaan mendasar antara throughput *decoder*, radio, dan BER. Sintesis memperlihatkan pertukaran *throughput–latency* pada batching dan keunggulan *coding* yang bersyarat pada *decoder*; keseragaman arah manfaat AI belum menghasilkan besaran efek lintas studi yang sepadan.

Untuk RQ3, bukti AI perlu dipisahkan menurut fungsi prediksi, adaptasi, dan demapping serta diuji terhadap baseline yang adil. Kontribusi utama penelitian adalah aturan sintesis MCS-sentris yang menghubungkan konfigurasi, metrik, dan tingkat bukti, disertai agenda validasi Indonesia melalui pengukuran radio tersinkronisasi. Korpus saat ini tidak mendukung satu angka keunggulan universal 5G atau AI. Penyelesaian log pencarian dan audit seluruh teks penuh diperlukan sebelum reproduksibilitas proses seleksi dapat dinyatakan lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

[1] ETSI, “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation,” 3GPP TS 36.211, ver. 16.5.0, 2021.

[2] ETSI, “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding,” 3GPP TS 36.212, ver. 16.6.0, 2021.

[3] ETSI, “5G; NR; Physical Channels and Modulation,” 3GPP TS 38.211, ver. 16.5.0, 2021.

[4] ETSI, “5G; NR; Multiplexing and Channel Coding,” 3GPP TS 38.212, ver. 17.9.0, 2024.

[5] ETSI, “5G; NR; Physical Layer Procedures for Data,” 3GPP TS 38.214, ver. 17.9.0, 2024.

[6] F. Rinaldi, A. Raschella, and S. Pizzi, “5G NR System Design: A Concise Survey of Key Features and Capabilities,” Wireless Networks, vol. 27, pp. 5173-5188, 2021, doi: 10.1007/s11276-021-02811-y.

[7] V. Bioglio, C. Condo, and I. Land, “Design of Polar Codes in 5G New Radio,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 23, no. 1, pp. 29-40, 2021, doi: 10.1109/COMST.2020.2967127.

[8] F. J. Martin-Vega, J. C. Ruiz-Sicilia, M. C. Aguayo-Torres, and G. Gomez, “Emerging Tools for Link Adaptation on 5G NR and Beyond: Challenges and Opportunities,” IEEE Access, vol. 9, pp. 126976-126987, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3111783.

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi

[9] N. Kumar, D. Kedia, and G. Purohit, "A Review of Channel Coding Schemes in the 5G Standard," Telecommunication Systems, vol. 83, pp. 423-448, 2023, doi: 10.1007/s11235-023-01028-y.
[10] R. Dangi, P. Lalwani, G. Choudhary, I. You, and G. Pau, "Study and Investigation on 5G Technology: A Systematic Review," Sensors, vol. 22, no. 1, art. no. 26, 2022, doi: 10.3390/s22010026.
[11] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews," BMJ, vol. 372, p. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
[12] M. L. Rethlefsen et al., "PRISMA-S: An extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews," Systematic Reviews, vol. 10, art. no. 39, 2021, doi: 10.1186/s13643-020-01542-z.
[13] V. Sharma, R. K. Arya, and S. Kumar, "Efficient Channel Prediction Technique Using AMC and Deep Learning Algorithm for 5G (NR) mMTC devices," IEEE Access, vol. 10, pp. 45053-45060, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3167442.
[14] A. Balieiro, K. Dias, and P. Guarda, "Addressing the CQI Feedback Delay in 5G/6G networks Via Machine Learning and Evolutionary Computing," Intelligent and Converged Networks, vol. 3, no. 3, pp. 271-281, 2022, doi: 10.23919/ICN.2022.0012.
[15] J. Dai, H. Yin, Y. Lv, W. Xu, and Z. Yang, "Multi-Gbps LDPC Decoder on GPU Devices," Electronics, vol. 11, no. 21, art. no. 3447, 2022, doi: 10.3390/electronics11213447.
[16] C. J. Pawase and K. H. Chang, "5G-NR Physical Layer-Based Solutions to Support High Mobility in 6G Non-Terrestrial Networks," Drones, vol. 7, no. 3, art. no. 176, 2023, doi: 10.3390/drones7030176.
[17] M. Zhu, M. Jiang, C. Zhao, L. Hu, and X. Xu, "A Low-Floor Bit-Mapping Scheme for LDPC Coded BICM for 5G and Beyond Systems," Science China Information Sciences, vol. 66, art. no. 202301, 2023, doi: 10.1007/s11432-022-3670-5.
[18] J. Wang, Y. Zheng, J. Wang, Z. Shen, L. Tong, Y. Jing, Y. Luo, and Y. Liao, "Ultra-Reliable Deep-Reinforcement-Learning-Based Intelligent Downlink Scheduling for 5G New Radio-Vehicle to Infrastructure Scenarios," Sensors, vol. 23, no. 20, art. no. 8454, 2023, doi: 10.3390/s23208454.
[19] D. K. Devadoss and S. S. Ramapackiam, "Fully Parallel Low-Density Parity-Check Code-Based Polar Decoder Architecture for 5G Wireless Communications," ETRI Journal, vol. 46, no. 3, pp. 485-500, 2024, doi: 10.4218/etrij.2023-0002.
[20] Z. Liu and L. Zhao, "High-Throughput Software LDPC Decoder on GPU," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2024, art. no. 91, 2024, doi: 10.1186/s13634-024-01190-8.
[21] I. Tomic, D. Drajic, P. Ivanis, U. Savkovic, D. Tesic, and A. Loric, "Optimized DM-RS Configuration for Improved 5G New Radio Network Capacity and Performance," Electronics, vol. 13, no. 11, art. no. 2028, 2024, doi: 10.3390/electronics13112028.
[22] A. A. Mohamed, "The Impact of Numerology on the PDSCH Throughput of the 5G Downlink," Engineering, Technology & Applied Science Research, vol. 14, no. 5, pp. 16813-16817, 2024, doi: 10.48084/etasr.8370.
[23] C. J. Pawase and K. H. Chang, "Demodulation Reference Signal (DM-RS) Based Channel Estimation for Non-Terrestrial Networks to Support High Mobility," ICT Express, vol. 10, no. 1, pp. 46-52, 2024, doi: 10.1016/j.icte.2023.05.004.
[24] O. Sabuncu and B. Bilgehan, "Novel Statistical Modelling and Optimization Techniques of Fading Channel Coefficients for 5G Network Performance," Journal of Network and Systems Management, vol. 33, art. no. 42, 2025, doi: 10.1007/s10922-025-09905-4.
[25] M. M. Islam, M. A. Islam, and M. F. Ahmed, "A DNN-based 5G MIMO System Adopting a Mix of Tactics," Discover Electronics, vol. 2, art. no. 15, 2025, doi: 10.1007/s44291-025-00055-0.
[26] A. Manikandan, R. T. S. Babu, S. J. Ganesh, and T. Sanjay, "Generative Adversarial Networks Based Adaptive Modulation and Coding for Next-Generation 5G Communication Systems," Discover Applied Sciences, vol. 7, art. no. 91, 2025, doi: 10.1007/s42452-025-06509-0.
[27] A. Parsa, N. Moghim, and S. Shetty, "QoS-Aware Link Adaptation for Beyond 5G NETWORKS: A Deep Reinforcement Learning Approach," IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 6, pp. 6368-6382, 2025, doi: 10.1109/OJCOMS.2025.3593836.
[28] S. Pateriya, S. Bandopadhaya, A. K. Bairwa, and V. Jain, "Optimizing 5G NR Link Layer Parameters for eMBB and URLLC Applications Under Dynamic Channel and Transmission Configurations," Scientific Reports, vol. 16, art. no. 15770, 2026, doi: 10.1038/s41598-025-34674-0.
[29] ITU-R, "Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s)," Report ITU-R M.2410-0, Nov. 2017, sec. 4.2, 4.4–4.5. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2410-2017-PDF-E.pdf.

Copyright (c) HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi