

Identifikasi Pengaruh Lintasan-Jamak pada DVB-T2 Berdasar Uji Penerimaan Siaran

Budi Setiyanto¹, Risanuri Hidayat², I Wayan Mustika³, Sunarno⁴

Abstract— In many countries, migration from analog to digital in television (TV) broadcasting technology is being in progress. Indonesia has adopted DVB-T2 (Digital Video Broadcasting-Terrestrial Second Generation) as the standard of free-to-air digital TV (DTV) broadcasting system. Frequency selective fading due to multipath propagation affects the reception of this terrestrial radio communication system. This paper presents those effects on reception of DVB-T2 signal from the Yogyakarta transmitting stations. The presence of these effects were identified experimentally, based on several received-signal describing quantities obtained from some field-observations on indoor/outdoor stationary/mobile receptions. Examples of these quantities are spectrum flatness measurement (*SFM*), signal quality (*SQ*) versus signal intensity (*SI*), power level (*P*) versus carrier-to-noise ratio (*CNR*), *CNR* versus modulation error ratio (*MER*), local variation of reception-success, and received data packet. Several numerical examples are: (1) *SFM* achieved as high as about 0.7 and 0.9 for indoor and outdoor, respectively, and (2) spatial-probability of reception-success at an indoor receiver location varied from 40,06 % to 81,85 %, approximately.

Intisari— Di beberapa negara, migrasi dari analog ke digital dalam teknologi penyiaran TV sedang berlangsung. Indonesia telah mengadopsi DVB-T2 sebagai standar untuk penyiaran DTV teresterial tak-berbayar. Pudarannya selektif frekuensi sebagai akibat propagasi lintasan-jamak memengaruhi penerimaan sistem komunikasi nirkabel teresterial ini. Makalah ini menyajikan pengaruh tersebut pada penerimaan isyarat DVB-T2 dari stasiun pancar Yogyakarta. Kehadiran pengaruh ini diidentifikasi secara eksperimental, berdasar sejumlah besaran pendeskripsi isyarat-terima yang diperoleh dari pengamatan-lapangan pada penerimaan stasioner dan bergerak, di dalam dan luar ruang. Contoh besaran-besaran tersebut adalah *SFM*, nisbah *SQ/SI*, nisbah *P/CNR*, nisbah *MER/CNR*, keberhasilan penerimaan di lokasi penerima, dan jumlah paket data yang diterima. Contoh sebagian hasil numeris adalah: (1) *SFM* mencapai sekitar 0,7 dan 0,9, berturut-turut untuk dalam dan luar ruang, (2) peluang keberhasilan penerimaan di suatu lokasi penerima dalam ruang bervariasi dari sekitar 40,06 % hingga 81,85 %.

Kata Kunci— DVB-T2, lintasan-jamak, *SFM*, *CNR*, *MER*.

¹Mahasiswa S3 Ilmu Teknik Elektro, Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281 (tel: 0274-552305; e-mail: budi_setiyanto@ugm.ac.id)

^{2,3}Dosen, Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281 (tel: 0274-552305; e-mail: risanuri@ugm.ac.id)

⁴Dosen, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281 (tel: 0274-580882)

I. PENDAHULUAN

Standar televisi digital (DTV) yang saat ini tersedia diantaranya adalah ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), ISDB (*Integrated Service Digital Broadcasting*), DVB (*Digital Video Broadcasting*), dan DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*). Modulasi pada ATSC adalah 8-pita-sisi-sisa (*vestigial-sideband*, 8-VSB), dan penjamakan pembagian frekuensi ortogonal (*orthogonal frequency division multiplexing*, OFDM) pada standar lainnya [1]. Untuk siaran teresterial, DVB telah berkembang dari generasi pertama (DVB-T) menjadi generasi kedua (DVB-T2), dengan berbagai ragam (mode) pemancaran [2]. Indonesia mengadopsi DVB-T2 untuk penyiaran digital teresterial tak-berbayar [3], dan payung hukum (undang-undang) untuk operasionalnya sedang dalam penyempurnaan.

Kualitas penerimaan dipengaruhi oleh gangguan aditif dan multiplikatif. Dalam komunikasi nirkabel teresterial, lintasan-jamak merupakan penyebab signifikan gangguan multiplikatif. Nilai besaran-besaran pendeskripsi kualitas (kondisi) isyarat pada umumnya dapat diperoleh menggunakan instrumen ukur/ uji atau bahkan peralatan konsumen tertentu. Beberapa pengukuran-lapangan telah dilakukan di sejumlah kota (negara), misalnya di Bogota (Kolombia) [4], Bilbao (Spanyol) [5], dan Hamburg (Jerman) [6]. Dari ketiga uji-lapangan tersebut, diperoleh gambaran tentang distribusi peluang kuat medan elektrik di titik terima [4], rujukan parameter pancar untuk penerimaan dalam-ruang (*indoor*) [5], dan bergerak luar-ruang (*outdoor*) [6]. Aspek lintasan-jamak memang tidak menjadi perhatian penelitian-penelitian tersebut. Di sisi lain, kajian atas aspek ini akan bermanfaat untuk perencanaan upaya di sisi terima dalam rangka perbaikan penerimaan. Oleh karena itu, makalah ini akan menyajikan kajian pengaruh lintasan-jamak pada DVB-T2 berdasar terutama pada observasi-lapangan atas penerimaan siaran stasiun pancar Yogyakarta. Karena pemancaran tersebut pada dasarnya masih dalam fase uji-coba, maka maksud utama kajian bukanlah untuk mengevaluasi unjuk-kerja pancaran atau layanan, melainkan untuk mengidentifikasi pengaruh lintasan-jamak berdasar gejala implisit yang termanifestasi di penerima. Pemanfaatan hasil uji-lapangan untuk identifikasi inilah yang merupakan kebaruan utama kajian dalam makalah ini. Manfaat lebih lanjut atas hasil kajian ini adalah untuk memformulasikan upaya-upaya di sisi terima dalam rangka memperbaiki penerimaan.

II. DVB-T2 DAN LINTASAN-JAMAK

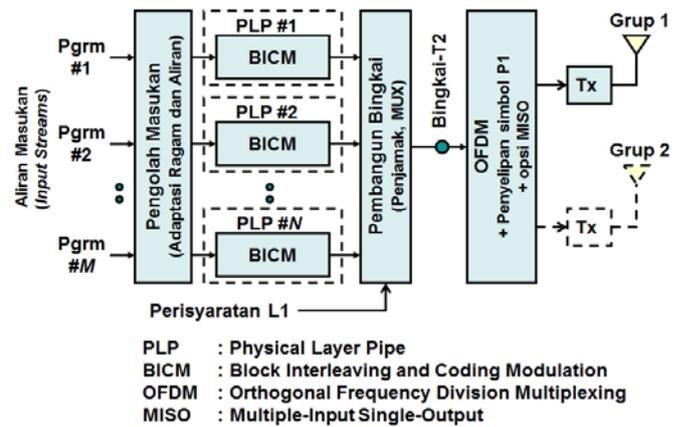
A. Penyiaran Analog dan Digital

Perbedaan penyiaran antara analog dengan digital DVB-T2 dapat diilustrasikan antara lain pada Gbr. 1. Satu kanal frekuensi dengan pita selebar 8 MHz yang pada sistem analog

hanya dapat menampung satu program, pada DVB-T2 dapat menampung beberapa, hingga 12, program. Inilah keuntungan utama yang diperoleh. Sistem analog menggunakan modulasi amplitude (*amplitude modulation*, AM) VSB untuk gambar dan modulasi frekuensi (*frequency modulation*, FM) untuk suara, sedangkan DVB-T2 memakai modulasi OFDM untuk gambar maupun suaranya.

B. Penjamakan Program

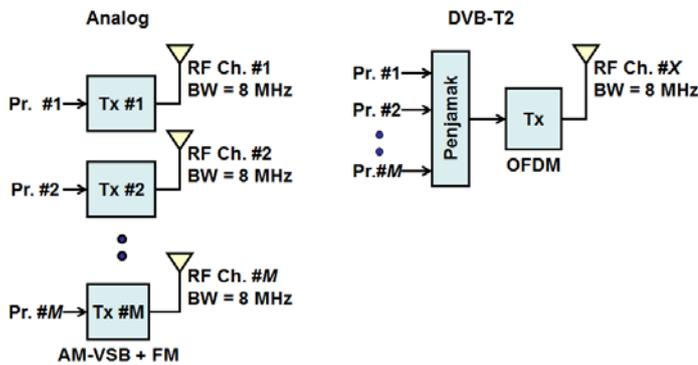
Secara garis besar [2], pengemasan beberapa program ke dalam satu kanal frekuensi diperlihatkan pada Gbr. 2. Setelah adaptasi ragam dan aliran di tingkat Pengolah Masukan, runtun bit dari satu atau beberapa program dikemas dalam sebuah Bingkai Pita-Dasar (*Baseband Frame*, BBfrm), atau bahkan direplikasi untuk dikemas ke BBfrm lainnya pula. Setiap BBfrm dituang ke suatu wadah yang disebut Pipa Lapis Fisis (*Physical Layer Pipe*, PLP). Terhadap setiap PLP itu dilakukan rangkaian proses penyandian (*coding*) kendali galat, penyelingan (*interleaving*), dan pengkonstelasi modulasi, yakni dalam tahapan proses BICM (*Block Interleaving and Coding Modulation*). Pesat penyandian (*coding rate*, CR), kedalaman penyelingan (*interleaving depth*), dan orde modulasi maupun jenis konstelasi suatu PLP dapat berbeda dengan PLP lainnya. Penyandian kanal menerapkan BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) dan LDPC (*Low Density Parity Check*). Suatu program dapat tersedia di lebih dari satu PLP. Yang diperlihatkan pada gambar ini adalah sistem PLP jamak, sedangkan sistem PLP tunggal tidak ditunjukkan.



Gbr. 2 Pengemasan beberapa program dalam satu kanal DVB-T2.

D. Penerima DVB-T2

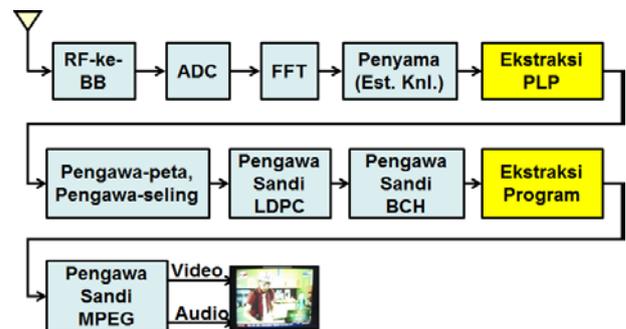
1) *Bagian-bagian Penerima DVB-T2*: Sesuai model [7], penerima DVB-T2 secara garis besar dapat disajikan dalam diagram kotak Gbr. 3, yakni terdapat seksi penurunan frekuensi dari jentang frekuensi radio (*radio frequency*, RF) ke BB termasuk penguubah analog-ke-digital (*analog-to-digital converter*, ADC), demodulator DVB-T2 dari blok alihragam Fourier cepat (*fast Fourier transform*, FFT) hingga pengestimasi kanal, seksi ekstraksi bingkai untuk memilih PLP yang diinginkan, seksi pengolah PLP dari pengawa-peta/pengawa-seling hingga pengawa-sandi BCH, seksi ekstraksi program untuk memilih program yang diinginkan, dan pengawa-sandi MPEG (*Moving Picture Expert Group*) untuk memulihkan audio/video program terpilih.



Gbr. 1 Penyiaran TV: analog v.s. digital.

C. Spesifikasi DVB-T2

Pada DVB-T2, penyandian kanal dilakukan secara berjenjang, yakni sandi BCH dilanjutkan LDPC, berturut-turut sebagai penyandi luar (*outer*) dan dalam (*inner*) dengan pilihan CR dari terendah sebesar 1/3 hingga tertinggi sebesar 5/6, pemetaan konstelasi dari penguncian penggeseran fase biner (*binary phase-shift keying*, BPSK) dengan satu bit per simbol hingga modulasi amplitude kuadratur (*quadrature amplitude modulation*, QAM) orde tinggi, yakni 256-QAM dengan delapan bit per simbol, cacah titik FFT (*N*) dari 1.024 (ragam 1K) hingga 32.768 (ragam 32K), jeda pengaman dari 1/128 hingga 1/32 durasi simbol, dan pola pilot disediakan dalam delapan pilihan. Fitur lain yang juga tersedia diantaranya adalah pemancaran dengan antena-jamak membentuk sistem masukan-jamak keluaran-tunggal (*multiple input single output*, MISO), *T2-Lite*, dan sayatan waktu-frekuensi (*time-frequency slicing*, TFS) [2].



Gbr. 3 Bagian-bagian penerima DVB-T2.

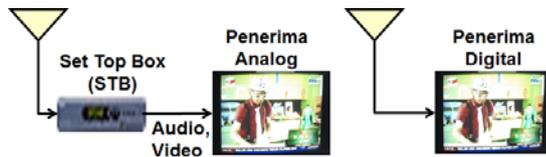
2) *Kualitas Gambar*: Kejernihan gambar (*picture*) keluaran hasil penyiaran analog dapat berangsur dari jernih hingga bersalju atau bahkan berhantu sepadan dengan kualitas isyaratnya. Penyiaran digital menghasilkan gambar yang selalu sangat jernih, sepanjang kualitas isyaratnya di atas ambang. Perbedaan gambar kedua sistem ini diperlihatkan pada Gbr. 4.

3) *Penerima Konsumer*: Saat ini, untuk jenis konsumen, di pasaran telah tersedia TV digital. Meskipun demikian, jika penerimaan akan dilakukan dengan tetap memanfaatkan TV analog yang terlanjur ada, diperlukan perangkat tambahan berupa STB (*set-top box*). Kedua cara penerimaan ini diperlihatkan pada Gbr. 5, dan kedua-duanya digunakan dalam penelitian ini. Disamping menayangkan gambar, STB yang dipakai juga menyediakan fasilitas pemantauan kuat (intensitas) isyarat (*SI*) dan kualitas isyarat (*SQ*), semuanya secara relatif dalam skala 0 – 90 %, seperti diperlihatkan pada Gbr. 6.

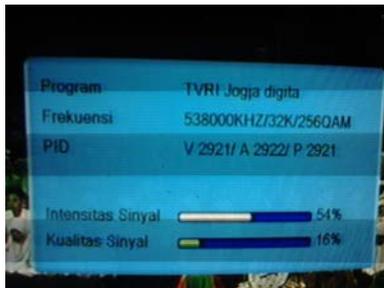
Informasi lebih lengkap disediakan oleh penerima DTV, antara lain meliputi *SI* dan *SQ* dalam rentang 0 – 100 %, *CNR*, *BER*, dan lain-lain, seperti diperlihatkan pada Gbr. 7. Disamping besaran-besaran pendeskripsi kualitas isyarat seperti itu, beberapa parameter pancar juga ditampilkan, misalnya frekuensi tengah, ragam (cacah titik FFT), GI, konstelasi, dan lain-lain.



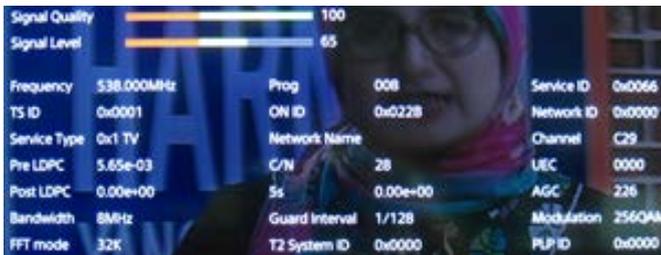
Analog Digital
Gbr. 4 Contoh gambar sistem analog dan digital.



Gbr. 5 Penerimaan memakai STB atau TV digital.



Gbr. 6 Tampilan informasi STB untuk penelitian ini.



Gbr. 7 Tampilan informasi penerima DTV untuk penelitian ini.

Lebih dari itu, STB tersebut juga menyediakan fasilitas perekaman berkas (*file*) aliran angkut (*transport-stream*, TS) audio/video dalam format *.ts. Berkas tersebut berisi deretan paket 188 byte, yang dapat dimain-ulangkan (*played-back*) memakai aplikasi yang sesuai, misalnya Windows Media Player. Paket yang tanpa cacat jika dimain-ulangkan menghasilkan tayangan selama durasi kumulatif paketnya. Jika terdapat paket yang galat, durasi main-ulang menjadi lebih singkat, karena paket-paket yang galat tersebut dibuang.

SI dan *SQ* merupakan besaran kurang teknis karena sekadar indikator bagi khalayak awam untuk keperluan pengarahannya saat pencarian kanal (penalaan). Untuk negara-negara di kawasan Nordic, formula matematis yang mengaitkan ke-

duanya dengan besaran yang lebih teknis didefinisikan secara eksplisit, yakni *SI* terkait daya RF, sedangkan *SQ* terkait *CNR* dan *BER* pasca-LDPC [8], [9]. Sayangnya, hingga saat penulisan makalah ini, formula seperti itu untuk pesawat penerima dalam penelitian ini belum ditemukan di publikasi yang terse-dia. Namun, setidaknya telah diperoleh gambaran bahwa jika *SI* merupakan syarat perlu, maka *SQ* lebih mendekati syarat cukup.

4) *Penerima Uji*: Penerima uji khusus (*test receiver*) bersifat lebih profesional karena memang dimaksudkan untuk pengukuran/pengujian, sehingga memiliki kemampuan yang luas. Besaran yang dapat ditampilkan hasil ukurnya jauh lebih lengkap daripada jenis konsumen, disamping juga sekaligus dapat berfungsi sebagai penganalisis spektrum TV yang sedang diamati. Fotograf instrumen seperti ini yang dipakai Putra [10] dan contoh sebagian tampilannya diperlihatkan pada Gbr. 8.



Gbr. 8 Fotograf suatu penerima uji khusus dan contoh tampilan pada layarnya [10].

E. Lintasan-Jamak

Fenomena lintasan-jamak diilustrasikan pada Gbr. 9. Isyarat kompleks $s(t)$ yang berangkat dari pemancar tiba di penerima sebagai

$$r(t) = \sum_{l=0}^{L-1} r_l(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \rho_l e^{j\theta_l} s(t - \tau_l) \quad (1)$$

dengan ρ_l , θ_l , dan τ_l berturut-turut menyatakan nilai relatif magnitude, geser fase, dan tunda waktu lintasan ke- l terhadap lintasan ke-0. Sebagai acuan, dianggap $\theta_0 = 0$, $\tau_0 = 0$, dan $\tau_n \geq \tau_m$ untuk $n > m$. Jika persaaan (*timing*) deteksi simbol mengacu pada $r_0(t)$, maka komponen-komponen $r_l(t)$, $l > 0$, mengakibatkan interferens antar simbol (*inter-symbol interference*, ISI). Adanya lintasan dengan daya dominan ($r_0(t)$) dapat ditinjau dari faktor Rician (K) yang didefinisikan sebagai

$$K = \rho_0^2 / \sum_{l=1}^{L-1} \rho_l^2 \quad (2)$$

dengan nilai semakin besar menggambarkan adanya komponen yang semakin dominan. Lazimnya, komponen dominan adalah komponen garis-pandang (*line-of-sight*, LOS).

Tanggapan frekuensi media menjadi

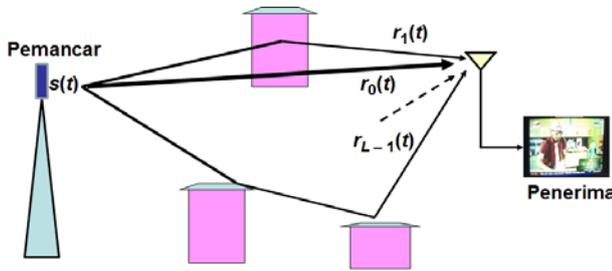
$$H(f) = \sum_{l=0}^{L-1} \rho_l e^{j(\theta_l + 2\pi f \tau_l)} \quad (3)$$

yang pada komponen diskret frekuensi diilustrasikan pada Gbr. 10. Tampak adanya pudaran selektif frekuensi, yakni tidak sama untuk semua frekuensi, berlawanan dengan kanal ideal yang tanggapan magnitudenya datar. Keparahan pudaran dapat ditinjau dari kerataan (*flatness*) spektrum, yakni bahwa

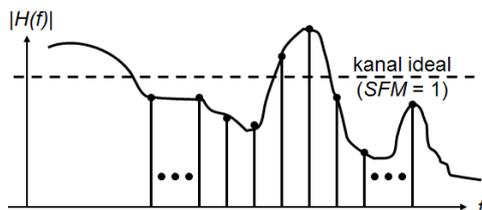
semakin tak-rata, semakin parahlah pudaran itu. Besaran numeris yang lazim mewakili kerataan ini adalah ukuran kerataan spektrum (*SFM*) [11], [12] yang didefinisikan sebagai nisbah antara rerata geometris terhadap rerata aritmetis diagram magnitudo daya tanggapan frekuensi $(|H(f)|^2)$, yang jika dievaluasi di N titik frekuensi memberikan

$$SFM = \frac{N}{\prod_{n=1}^N |H(f_n)|} \left/ \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |H(f_n)|^2 \right) \right. \quad (4)$$

yang bernilai 0 untuk kasus paling parah hingga 1 untuk kasus ideal rata.



Gbr. 9 Ilustrasi lintasan-jamak.



Gbr. 10 Tanggapan frekuensi media.

III. METODE

A. Simulasi Komputer

Simulasi komputer dilakukan hanya untuk memperoleh ilustrasi kaitan antara lintasan-jamak dengan spektrum dan galat bit. Kanal radio menggunakan model enam lintasan untuk DVB-T menurut ETSI [13], yakni seperti dirinci pada Tabel I.

TABEL I
MODEL KANAL ENAM LINTASAN ETSI [13]

Lintasan ke- l	ρ_l	τ_l (μ s)	θ_l (radian)
0	ρ_0 ^{*)}	0	0
1	0,23174	0,4375	0,64577
2	0,0881	0,65625	2,54818
3	0,15849	1,96875	-0,27925
4	0,08511	2,84375	-2,05949
5	0,08222	3,28125	3,01942

^{*)} Nilai ρ_0 tergantung faktor Rician (K) yang dipilih.

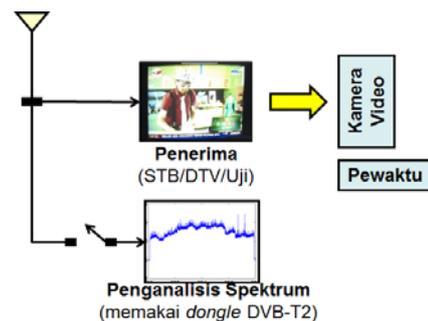
B. Observasi Lapangan

Koleksi data lapangan merupakan bagian terbesar kegiatan penelitian ini, dilakukan pada penerima stasioner/bergerak dalam/luar-ruang. Rincian kegiatan dirinci pada Tabel II, serta diagram pengamatannya pada Gbr. 11 dan Gbr. 12, berturut-turut untuk penerimaan stasioner dan bergerak. Pada penerimaan stasioner Gbr. 11, penerima yang dipakai dapat berupa STB (Gbr. 6), DTV (Gbr. 7), atau penerima uji (Gbr. 8) sesuai rincian Tabel II. Penganalisis spektrum dirancang khusus untuk penelitian ini, yakni memanfaatkan *dongle* DVB-T2,

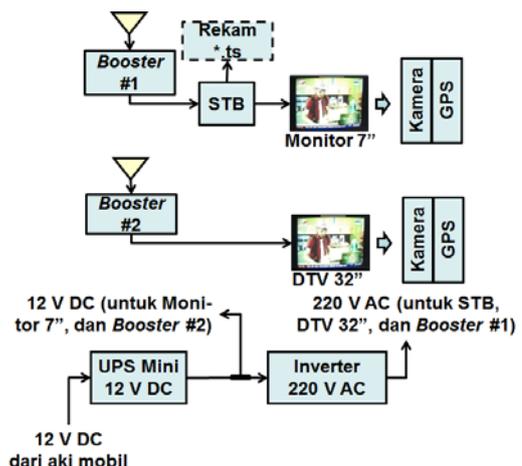
dan dioperasikan hanya pada kegiatan nomor 1 di Tabel II. Kamera video digunakan untuk merekam tampilan nilai-nilai besaran. Dalam hal nilai-nilai tersebut berubah terhadap waktu. Nilai berubah seperti itu selalu terjadi pada penerimaan bergerak, dan kadang-kadang pada penerima stasioner pula.

TABEL I
RINCIAN KEGIATAN KOLEKSI DATA LAPANGAN

No.	Jenis Kegiatan
1.	Observasi spektrum frekuensi, isyarat, dan gambar pada penerima stasioner memakai penerima DTV Gbr. 7 dengan
a.	antena Yagi dipasang tetap di atas atap rumah (<i>rooftop</i>) pada berbagai waktu
b.	antena eka-kutub (<i>monopole</i>) vertikal dalam-ruang (<i>indoor</i>) dapat digeser-geser sedikit dekat pesawat penerima
2.	Penerimaan tetap luar-ruang luar kota/luar DIY memakai penerima uji khusus Gbr. 8 dengan antenna Yagi [10].
3.	Penerimaan tetap dalam-ruang memakai STB Gbr. 6 dengan antenna dwi-kutub (<i>dipole</i>) dapat digeser-geser sedikit ke berbagai koordinat (sampel-ruang)
4.	Penerimaan bergerak luar-ruang memakai STB Gbr. 6 dengan antenna dwi-kutub (<i>dipole</i>) dilengkapi <i>booster</i> terpasang tetap di atas atap mobil
5.	Penerimaan bergerak luar-ruang memakai penerima DTV Gbr. 7 dengan antenna dwi-kutub (<i>dipole</i>) dilengkapi <i>booster</i> terpasang tetap di atas atap mobil



Gbr. 11 Diagram pengamatan penerimaan stasioner.

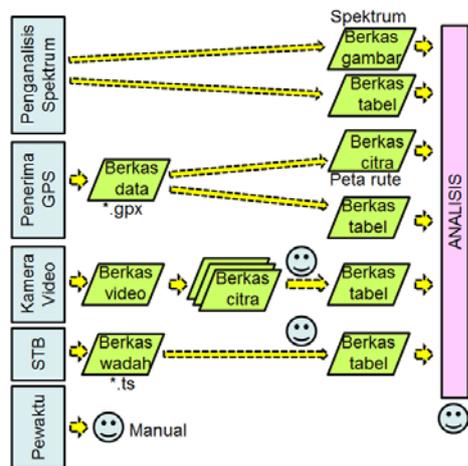


Gbr. 12 Diagram-diagram pengamatan penerimaan bergerak.

Penerimaan bergerak juga dilengkapi penerima GPS untuk perekaman rute, serta sistem catu daya yang bersumber dari aki mobil. Beberapa kekgangan teknis yang dijumpai dalam pe-

nerimaan bergerak adalah menyangkut pengemasan sejumlah peralatan ke dalam struktur yang harus ringkas, kokoh, dan ergonomis dalam keterbatasan ruang kabin mobil, sembari tetap harus memperhatikan masalah pembuangan panas (*heat sink*) peralatan-peralatan itu. Keterbatasan sumber tenaga listrik juga harus diperhatikan. Mempertahankan mobil pada laju rendah menguntungkan karena memperpanjang durasi koleksi (memperbanyak sampel) data, namun berisiko pada panas mesin mobil dan pengisian aki. Laju yang cukup kompromis adalah sekitar 25 km/jam.

Alur pengolahan data diperlihatkan pada Gbr. 13. Singkatnya, semua rekaman dikonversi ke sejumlah berkas gambar dan tabel, barulah dilakukan analisis.



Gbr. 13 Alur pengolahan data.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

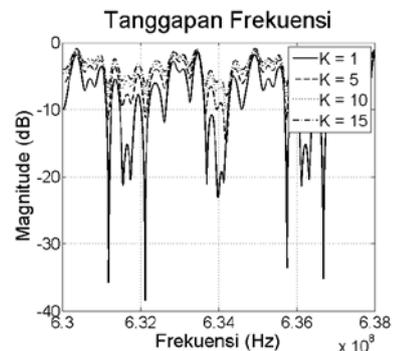
A. Spektrum

1) *Simulasi Komputer*: Tanggapan frekuensi dan SFM untuk berbagai K diperlihatkan pada Gbr. 14 dan Gbr. 15. Untuk berbagai orde QAM pada ragam (mode) 32K, kaitan antara SFM dengan peluang galat bit (*bit error probability, BEP*) diperlihatkan pada Gbr. 16. Jelas bahwa semakin kecil faktor Rician, SFM semakin kecil, dan semakin kecil SFM, BEP cenderung membesar, yang berarti memburuk.

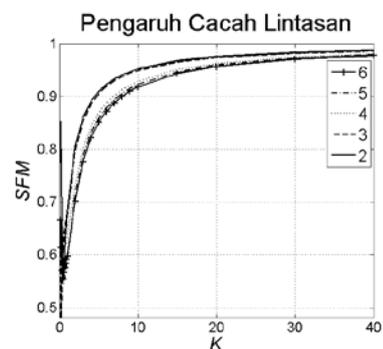
2) *Observasi Lapangan*: Rerata waktu komponen magnitude spektrum frekuensi isyarat DVB-T2 terpancar pada pita-lewatannya adalah datar, sehingga demikian pula seharusnya isyarat terima. Diagram pengamatan diperlihatkan pada Gbr. 11, memakai penerima DTV seperti dideskripsikan pada Gbr. 7, dengan antena terarah dipasang tetap di atas atap rumah (*rooftop*) pada berbagai waktu, maupun antena segala-arah (*omnidirectional*) dekat pesawat penerima di dalam-ruang pada berbagai arah/letak antena. Perhitungan dilakukan dengan pererataan-waktu 100 sampel spektrum. Dari setiap sampel diambil 3.979 rentang tengah diantara 4.096 titik frekuensi pada pita-lolos (*passband, PB*). Siaran yang diamati adalah kanal 41 UHF (630 – 638 MHz).

Hasil pengamatan dirinci pada Tabel III. Contoh tampilan spektrum diperlihatkan pada Gbr. 17 yang merupakan rerata atas 100 sampel spektrum, dan SFM dihitung berdasar gambar itu. Pada gambar itu diperlihatkan kasus SFM terburuk (0,7422) dan terbaik (0,9769), berturut-turut untuk antena dalam dan luar. Nilai SFM sampel satu dengan lainnya dapat

berbeda, dengan fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function, CDF*) probabilitasnya diperlihatkan pada Gbr. 18. Kaitan SFM dengan BER polos disajikan pada Gbr. 19. Dari tabel dan semua gambar tersebut, terlihat bahwa pemakaian antena dalam memberikan hasil lebih buruk, antara-lain sebagai akibat parahnya lintasan-jamak yang menimpa.



Gbr. 14 Tanggapan frekuensi kanal pada beberapa nilai K [14].



Gbr. 15 Pengaruh K terhadap SFM pada berbagai cacah lintasan [14].

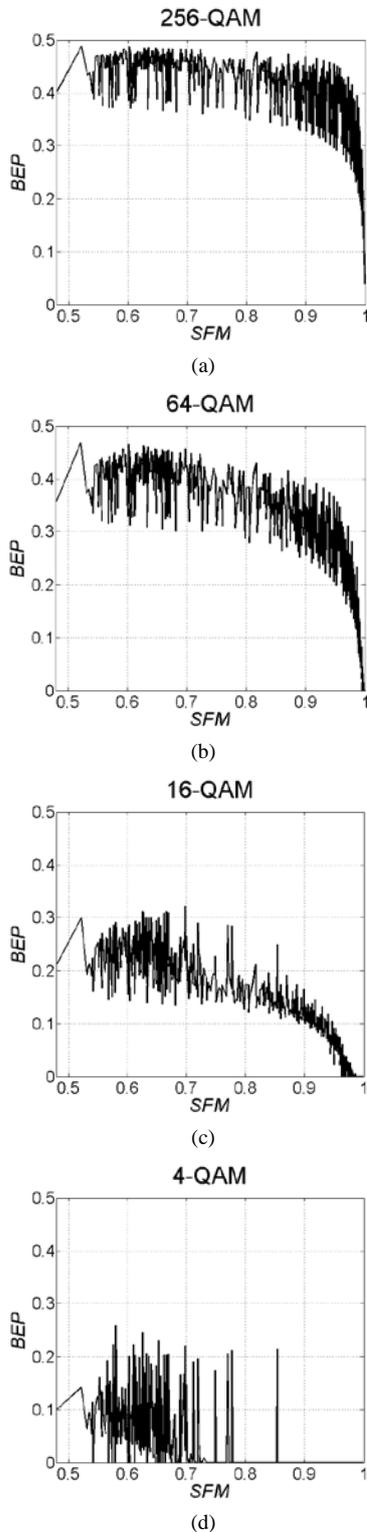
B. Penerimaan Tetap Luar-Ruang di Berbagai Lokasi

Ketinggian antena pancar (h_{TX}) dari muka tanah adalah 125 m untuk kanal UHF nomor 27 dan 29, serta 100 m untuk nomor 41 dan 47, semuanya terletak di bukit Patuk, Gunung Kidul, DIY, pada koordinat 110°31'38" BT, 07°50'11" LS, 452 m di atas permukaan laut (MDPL), menggunakan penerima uji Gbr. 8. Parameter pancaran diantaranya dirinci pada Tabel IV.

Dengan frekuensi tengah (f_c) yang lebih rendah, rugi propagasi akan lebih kecil pula, namun membutuhkan *clearance* yang lebih besar, sehingga antenanya perlu lebih tinggi. Dengan M-QAM orde tinggi ($M = 256$) pada kanal 29, kapasitas kanal menjadi naik pula, sehingga akan semakin banyak program yang ditampung, namun kekebalan terhadap derau menurun. Penurunan kekebalan ini diimbangi dengan CR yang rendah (2/3). Penggunaan GI rendah (1/128) juga meningkatkan kapasitas, namun menurunkan ketegarannya terhadap lintasan-jamak. Pemilihan mode tinggi (32K) meningkatkan ketegaran terhadap lintasan-jamak, namun peka pergeseran frekuensi Doppler, sehingga kurang cocok untuk penerimaan bergerak.

Penerimaan tetap (f_{ix}) luar ruang dengan antena terarah yang terletak setinggi 5 meter di atas permukaan dilakukan di lima lokasi seperti dirinci di Tabel V, yaitu Patuk (Gunung Kidul) tepat di bawah menara pancar, Cawas (Klaten), Delanggu (Klaten), Sanden (Bantul), dan Bagelen (Purworejo).

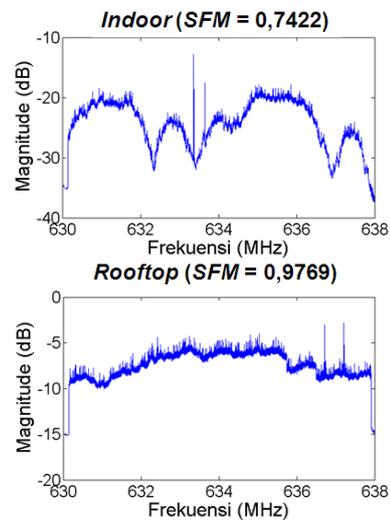
Pemilihan lokasi ini merujuk peraturan menteri No. 23/PER/M.KOMINFO/11/2011. Disamping jaraknya paling jauh, Bagelen dan Sanden sama-sama tidak memperoleh lintasan garis pandang (*line-of-sight*, LOS) karena terhalang gundukan bukit. Letak ketiga titik yang berhasil menerima (Patuk, Cawas, dan Delanggu) diperlihatkan pada Gbr. 20.



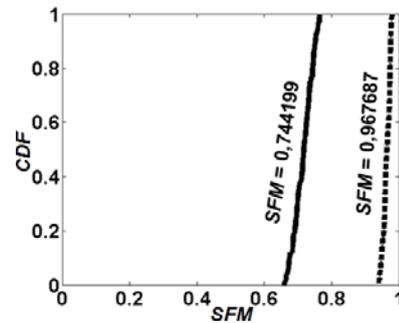
Gbr. 16 Kaitan SFM dengan BEP pada berbagai orde QAM [14]: (a) 256, (b) 64, (c) 16, (d) 4.

TABEL II
KAITAN SPEKTRUM DENGAN BESARAN LAIN

No.	Spektrum (Rerata 100 Sampel 3.979 Rentang Tengah 4.098 Titik Frekuensi)		CNR	BER Polos (Pra-LDPC) ($\times 0,01$)	Antena
	SFM	Aras Relatif (dB)			
1.	0,967687	- 7,11872	25	1,63	Rooftop
2.	0,965987	- 7,16655	25	1,71	
3.	0,964676	- 7,21917	22	1,8	
4.	0,964609	- 7,22883	23	2,04	
5.	0,958691	- 7,33776	25	1,62	
6.	0,912494	- 25,1473	17	7,27	Indoor
7.	0,872791	- 13,7744	22	2,38	
8.	0,859272	- 24,5338	14	8,39	
9.	0,815034	- 22,9398	17	6,58	
10.	0,800639	- 22,8499	14	9,13	
11.	0,744199	- 24,2918	17	6,47	



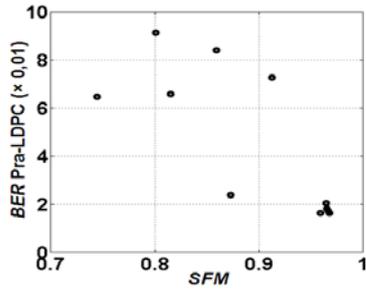
Gbr. 17 Contoh spektrum kanal 41 [14].



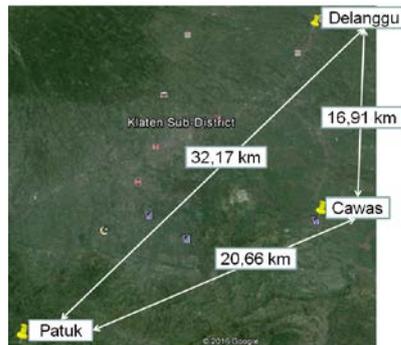
Gbr. 18 Contoh CDF untuk dua SFM [14].

Hasil untuk ketiga lokasi pertama diantaranya dirinci di Tabel VI, yakni diantaranya meliputi aras daya, CNR, MER, dan BER polos (pra-awa-sandi LDPC), pasca-awa-sandi LDPC, dan pasca-awa-sandi BCH. Pengukuran di ketiga lokasi tersebut dilaksanakan pada waktu yang berbeda, mengingat jauhnya jarak darat antar ketiganya. Pada waktu yang berbeda seperti itu, daya pancar setiap kanal TV dimungkinkan berbeda, mengingat siarannya masih dalam tahap uji-coba. Tanggapan kanal (media) juga berbeda akibat perbedaan lokasi dan waktu. Nilai-nilai absolut menjadi kurang sesuai jika diguna-

kan untuk membandingkan kualitas media (kanal radio) antar ketiga lokasi itu.



Gbr. 19 Kaitan SFM dengan BER polos (pra-LDPC).



Gbr. 20 Denah tiga titik yang berhasil menangkap.

Besaran yang lebih representatif untuk perbandingan seperti itu adalah nilai relatif, diantaranya nisbah daya (P) terhadap CNR (P/CNR) maupun CNR terhadap MER (CNR/MER), dengan semakin rendah nilai keduanya, semakin baiklah isyarat tersebut, karena CNR dan MER mendeskripsikan sebaran letak simbol-simbol terima. Instrumen ukur tidak dapat membedakan jenis pengganggu antara derau termal dengan interferensi, sehingga semua diperlakukan sebagai derau.

Pada suhu dan kondisi lingkungan yang tetap (sama), daya derau termal juga tetap (sama). Berarti, perbedaan daya derau lebih disebabkan oleh perbedaan interferensi. Interferensi yang berpengaruh dalam pengukuran adalah yang berada dalam rentang frekuensi yang sama, yaitu ICI dan ISI. Dengan demikian, nisbah P/CNR sebenarnya juga mengindikasikan tingkat keparahan interferensi yang termuat, yang semakin kecil nilai nisbah ini, semakin kecil pula komponen interferensinya.

TABEL III
PARAMETER PEMANCAR [10]

No. Knl.	f_c (MHz)	Parameter Pemancaran				h_{TX} (m)
		GI	CR	Mode	M-QAM	
27	522	1/32	3/4	8K	64	125
29	538	1/128	2/3	32K	256	125
41	634	1/32	2/3	32K	64	100
47	682	19/256	3/4	8K	64	100

CNR tinggi hanya menyatakan bahwa simbol-simbol terima memang berkerumun dekat dengan letak simbol-simbol nirderau, tanpa menghiraukan apakah yang terdekat itu memang adalah simbol yang seharusnya, seperti yang dikirim. Yang memperhitungkan apakah yang di dekatnya itu adalah benar sesuai dengan yang dikirim adalah MER . Nilai tinggi pada MER tidak hanya menyatakan bahwa simbol-simbol terima berkerumun dekat letak simbol-simbol nirderau, namun juga

mengindikasikan bahwa tidak banyak simbol yang galat menjadi lebih dekat ke simbol nirderau yang keliru. Galat ke simbol yang keliru terjadi apabila simbol tersebut sedang terimpa pudaran dalam (*deep fading*). Pada OFDM, setiap simbol dibawa oleh frekuensi sub-pembawa tertentu, sehingga pudaran seperti itu tidak lain adalah pudaran selektif frekuensi. Perbandingan (komparasi) kedua nisbah tersebut diperlihatkan berturut-turut pada Gbr. 21 dan Gbr. 22.

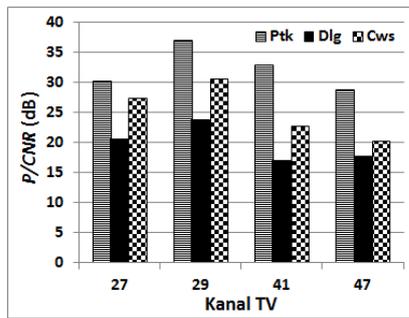
TABEL IV
LOKASI PENERIMA LUAR RUANG DAN KEBERHASILANNYA [10]

Nama	Lokasi Penerima			Jarak Udara (km)	LOS	Gambar
	Koordinat					
	BT (110 ⁰⁺)	LS (07 ⁰⁺)	MDPL (m)			
Patuk	31'38"	50'11"	452	~ 0,1	Ya	Ada
Cawas	41'52"	45'31"	275	20,66	Ya	Ada
Delanggu	42'13"	36'21"	300	32,17	Ya	Ada
Sanden	15'52"	58'13"	10	32,54	-	-
Bagelen	01'19"	49'27"	25	55,67	-	-

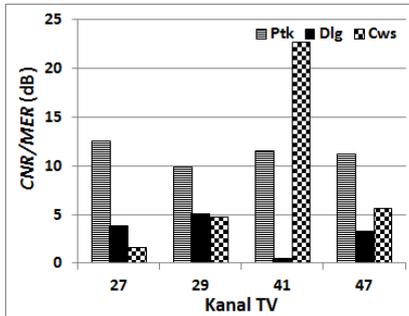
TABEL V
HASIL PENERIMAAN TETAP LUAR RUANG DI LIMA LOKASI [10]

Kanal	Besaran yang Diukur	Jarak Udara ke Pemancar (km)		
		~ 0,1	20,66	32,17
27	Daya (dB μ V)	63,3	56,0	47,1
	CNR (dB)	33,0	28,5	26,4
	MER (dB)	20,4	26,9	22,6
	BER Polos	9,5E-3	8,1E-4	1,3E-3
	BER LDPC	1,1E-2	9,0E-4	2,9E-3
	BER BCH	< 1,0E-8	1,0E-8	1,0E-8
29	Daya (dB μ V)	80,4	69,3	61,2
	CNR (dB)	43,4	38,7	37,3
	MER (dB)	33,5	34,0	32,2
	BER Polos	< 1,0E-6	< 1,0E-6	< 1,0E-6
	BER LDPC	< 1,0E-6	< 1,0E-6	< 1,0E-6
	BER BCH	< 1,0E-8	< 1,0E-8	< 1,0E-8
41	Daya (dB μ V)	67,2	46,3	46,7
	CNR (dB)	34,2	23,6	29,6
	MER (dB)	22,7	17,0	29,1
	BER Polos	7,8E-3	5,0E-2	1,4E-3
	BER LDPC	8,8E-3	4,8E-2	1,8E-6
	BER BCH	< 1,0E-8	< 1,0E-8	< 1,0E-8
47	Daya (dB μ V)	59,1	49,2	48,0
	CNR (dB)	30,2	29,0	30,3
	MER (dB)	19,0	23,4	27
	BER Polos	5,2E-3	4,0E-3	1,3E-3
	BER LDPC	3,1E-3	4,8E-3	1,3E-3
	BER BCH	< 1,0E-8	< 1,0E-8	< 1,0E-8

Nisbah P/CNR pada Gbr. 21 memperlihatkan konsistensi di keempat kanal, yakni bahwa lokasi Patuk, di dekat menara pancar, adalah yang terburuk (P/CNR tertinggi), sedangkan yang terbaik adalah Delanggu. Nisbah CNR/MER pada Gbr. 22 tidak konsisten. Di kanal 27 dan 29 yang frekuensinya tidak berbeda jauh, Patuk terburuk dan Cawas terbaik. Di kanal 41 dan 47 yang frekuensinya berbeda cukup jauh, Delanggu selalu terbaik, namun yang terburuk bergantian antara Cawas dan Patuk. Ketidak-konsistenan terhadap frekuensi seperti ini mengindikasikan adanya pudaran selektif frekuensi.



Gbr. 21 Nisbah daya (P) terhadap CNR.



Gbr. 22 Nisbah CNR terhadap MER.

C. Kualitas Isyarat Terima

Variasi lokal diakibatkan oleh lintasan-jamak. Perbedaan sedikit saja pada letak (beberapa sentimeter) atau arah (beberapa derajat) antena dapat berakibat perbedaan drastis hasil penerimaan. Untuk mengkaji hal ini, dilakukan observasi stasioner dalam ruang menggunakan STB.

SQ lebih dipersyaratkan daripada SI. Dengan mengubah sedikit saja arah atau letak antena, dapat diperlihatkan bahwa SI yang sama dapat menghasilkan SQ yang berbeda, dan sebaliknya, seperti diperlihatkan pada Tabel VII. Karena SI hanya menggambarkan kuantitas isyarat RF yang diterima, maka nisbah tinggi SQ/SI menggambarkan bahwa kualitas tetap tinggi walaupun kuantitasnya rendah.

TABEL VI
PERBEDAAN SI DAN SQ AKIBAT PERUBAHAN ARAH/LETAK ANTENA TERIMA

Arah/Letak Antena	SI (%)	SQ (%)	Nisbah SQ/SI	Makna
#1	54	16	0,2222	SI beda, SQ sama
#2		72	1,3333	
#3	54	90	1,6667	SQ beda, SI sama
#4	42		2,1429	

TABEL VII
PENGARUH PENGURANGAN CACAH LINTASAN-JAMAK

Letak Antena	SI (%)	SQ (%)	Nisbah SQ/SI	Makna
Ruang terbuka	54	72	1,3333	Pengurangan cacah lintasan-jamak menghasilkan SQ tinggi walaupun SI rendah
Ruang berselubung logam dengan celah sempit di depan antena	18	73	4,0556	

Perbedaan SQ pada SI yang sama atau sebaliknya pada saat yang hanya berbeda sedikit sebagai akibat perubahan arah/letak antena tentu adalah akibat lintasan-jamak, bukan derau. SQ yang tinggi pada SI rendah dapat mengindikasikan bahwa

isyarat tiba dari sedikit lintasan, dan sebaliknya. Untuk lebih meyakinkan dugaan ini, diupayakan mengurangi cacah lintasan, yakni dengan cara memasukkan antena terima ke dalam rongga berselubung logam yang diberi celah sempit di depan antena itu. Selubung logam menghalangi gelombang radio, sehingga gelombang dimungkinkan masuk hanya melalui celah sempit itu. Hasil pengujian dicantumkan pada Tabel VIII, yang memperlihatkan bahwa pengurangan lintasan-jamak memang berhasil memberikan SQ tinggi meskipun SI rendah, yakni peningkatan signifikan pada nisbah SQ/SI dari 1,3333 menjadi 4,0556.

D. Variasi Lokal Dalam-Ruang pada Penerimaan Stasioner

Antena dwikutub (*dipole*) setengah panjang-gelombang ($\lambda/2$) diletakkan di dekat pesawat penerima, selayaknya antena pada pesawat TV dalam-ruang. Arah antena dapat diputar horisontal (arah sudut azimuth ϕ) dalam rentang sudut dari 0 hingga 360^0 dengan 10^0 tiap langkahnya sehingga terdapat 36 langkah, letaknya dapat digeser maju-mundur (arah x) dengan 20 cm per langkah sebanyak tiga langkah, kiri-kanan (arah y) juga dengan 20 cm per langkah sebanyak tiga langkah, atau naik-turun (arah z) dengan 10 cm per langkah sebanyak lima langkah, sehingga setiap arah/posisi antena dinyatakan dengan koordinat (x, y, z, ϕ). Selanjutnya, setiap satu arah/posisi koordinat disebut satu sampel ruang. Dengan cara seperti itu, di setiap lokasi penerima diperoleh $36 \times 3 \times 3 \times 5 = 1.620$ sampel ruang. Di setiap sampel (arah/letak antena), diperiksa keberhasilan penerimaannya. Dilakukan pengamatan di dua lokasi, yakni lokasi A dan B, dalam ruang yang sama untuk dua kanal, yakni kanal 29 (538 MHz) dan kanal 47 (682 MHz), dengan hasil dirinci pada Tabel IX atau Gbr. 23. Pesawat penerima yang digunakan adalah STB.

TABEL VIII
PENERIMAAN STASIONER ANTENA-TUNGGAL DALAM-RUANG

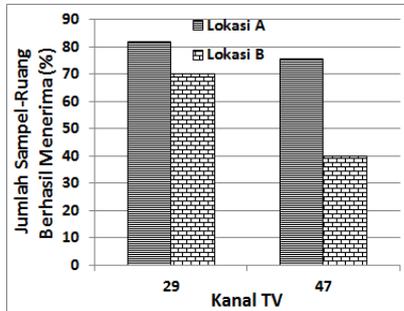
Lokasi	Total	Cacah Sampel Ruang			
		Berhasil Menerima			
		Kanal 29 (534 – 542 MHz)		Kanal 47 (678 - 686 MHz)	
	Absolut	Relatif (%)	Absolut	Relatif (%)	
A	1620	1326	81,85 %	1224	75,56 %
B		1139	70,31 %	649	40,06 %

Keberhasilan kanal 29 lebih baik daripada kanal 47, sejalan dengan hasil penerimaan di tempat jauh pada seksi IV.B. Lokasi A yang dekat dengan jendela memang masuk akal jika hasilnya lebih baik. Rincian 1.620 sampel, yang tidak disampaikan di sini, memperlihatkan bahwa arah/letak sampel yang tidak berhasil tidaklah mengumpul, melainkan terdistribusi di antara sampel-sampel yang berhasil. Ini mengindikasikan bahwa ketidak-berhasilan di sampel-sampel itu adalah akibat lintasan-jamak.

E. Penerimaan Bergerak Luar-Ruang Antena-Tunggal

1) *Kawasan Uji*: Untuk penerimaan bergerak, kawasan uji adalah rute-rute di jalan-lingkar Yogyakarta dan wilayah yang dilingkupinya, seperti diperlihatkan pada Gbr. 24. Lokasi menara pancar adalah di sebelah Tenggara kawasan ini. Digunakan antena dwikutub hampir horisontal yang dipasang menempel atau sedikit di atas atap mobil, dengan kuncup utama

pola radiasinya diarahkan sejajar gerak mobil, yang secara fisis tampak dari lengan-lengan antenanya yang dibentangkan tegak-lurus arah lurus mobil itu. Pesawat penerima diletakkan di dalam mobil. Gambar yang ditayangkan pesawat itu direkam memakai kamera video dan rute yang ditempuh direkam menggunakan penerima GPS. Hasil rekaman kamera video dan penerima GPS dicermati lebih lanjut di laboratorium. Pengamatan dilakukan untuk kanal 47, karena itulah satu-satunya kanal yang sedang (masih) mengudara ketika koleksi data ini dilakukan. Sebagian hasil ujinya disampaikan berikut ini.



Gbr. 23 Keberhasilan penerimaan stasioner antena-tunggal dalam-ruang.



Gbr. 24 Kawasan uji di Barat-Daya menara pancar.

2) *Visual Gambar*: Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa keberhasilan penerimaan bergerak sangat rendah. Di setiap rute, pada umumnya lebih banyak gagalnya daripada berhasilnya. Di penggalan yang berhasil pun, pada umumnya gambar tampil secara putus-putus. Contoh peta penggalan suatu rute dan keberhasilan penerimaannya diperlihatkan pada Gbr. 25, yakni rute di jalan-lingkar utara, dari perempatan Condong Catur di ujung timur hingga sebelah barat jalan-layang simpang Jombor. Ada tiga titik yang penerimaannya banyak berhasil, meskipun dengan gambar putus-putus, yakni di perempatan JAKAL saat berhenti, perempatan MONJALI saat pelan, dan di atas jalan-layang simpang Jombor saat mobil melaju sekitar 25 km/jam. Fenomena putus-putus seperti ini mengindikasikan adanya pudaran lintasan-jamak.

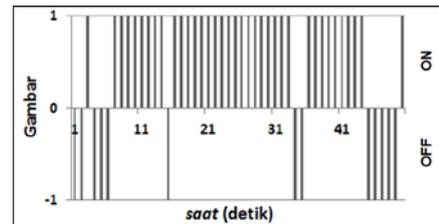
Petikan 50 detik yang merincikan detikan keberhasilan penerimaan di lokasi 1 (perempatan JAKAL) diperlihatkan pada Gbr. 26. Tampak bahwa meskipun mobil sedang berhenti, penerimaan juga gagal (gambar OFF), misalnya pada detik ke 34 dan 35 yang diapit oleh penerimaan yang berhasil (gambar ON). Meskipun penerima sedang berhenti, obyek sekitarnya (kendaraan lain) ada yang bergerak, sehingga lintasan-jamaknya juga berubah.

Keberhasilan penerimaan di lokasi terakhir yang justru saat mobil melaju cukup cepat menepis dugaan bahwa kegagalan di penggal lain adalah akibat pergeseran frekuensi Doppler.

Sebaliknya, kenyataan bahwa saat berhenti di titik pertama gambarnya juga putus-putus mendukung dugaan bahwa kegagalan di penggal-penggal lainnya memang sebagai akibat lintasan-jamak.



Gbr. 25 Contoh peta penggalan suatu rute dan keberhasilan penerimaannya.



Gbr. 26 Petikan 50 detik kondisi gambar di perempatan JAKAL.

3) *Paket Data*: Menggunakan STB, dilakukan perekaman data berformat *.ts, seperti telah dijelaskan pada seksi II.D.3), karena kualitas isyarat terima dapat dikaji berdasar porsi paket terima yang benar maupun jumlah paket terima per detik atau kilometer.

TABEL IX
PETIKAN LIMA RUTE PEREKAMAN PAKET DATA

Rute	Awal	Akhir	Orientasi Dominan	Letak
#1	Janti	Tegal Rejo	Timur – Barat	Utara
#2	Tungkak	Bugisan	Timur – Barat	Selatan
#3	Kota Baru	Beteng Wetan	Utara – Selatan	Timur
#4	Pingit	Beteng Kulon	Utara – Selatan	Tengah
#5	Bugisan	Tegal Rejo	Selatan – Utara	Barat

TABEL X
DURASI KUMULATIF PAKET DAN MAIN-ULANG LIMA RUTE TERPETIK

Rute	Durasi			Peringkat
	Kumulatif Paket TS (Detik)	Detik	Main-Ulang Nisbah (%)	
#1	1136	229	20.15845	3
#2	650	383	58.92308	1
#3	832	116	13.94231	4
#4	821	62	7.551766	5
#5	624	140	22.4359	2

Berikut disajikan petikan sebagian hasil, yakni diambil dari lima penggal rute, seperti dirinci pada Tabel X. Kawasan Malioboro, yang lazim dianggap sebagai jantung kota Yogyakarta, terletak kira-kira di pertengahan antara rute nomor 1 (Utara) dan nomor 2 (Selatan), juga pertengahan antara rute nomor 3 (Timur) dan nomor 4 (Tengah). Jika rute 3 dan 4 dianggap sebagai kawasan tengah kota dengan jalan yang sempit dan bangunan kiri-kanan padat, maka rute 1, 2, dan 5 dapat dianggap merupakan kawasan agak pinggir kota dengan jalan cukup lebar dan bangunan tak terlalu rapat. Topografis rute 1, 2, dan 5 kira-kira serupa, yakni relatif datar, berbeda dengan rute 3 dan 4 yang memiliki penggal berupa cekungan.

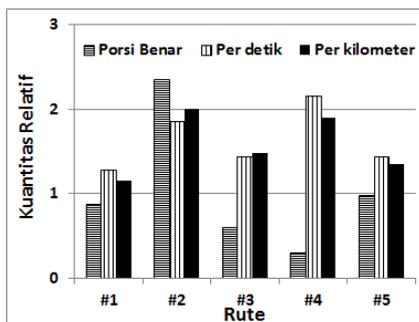
Hasil uji dirinci pada Tabel XI dan Tabel XII. Dari Tabel XII tampak bahwa berdasar porsi paket yang benar, peringkat kualitas rute dari yang baik ke yang buruk adalah #2, #5, #1, #3, dan #4, sedangkan jika berdasar jumlah paket per detik dan per kilometer, peringkatnya dirinci pada Tabel XII. Rangkuman peringkat berdasar ketiganya dirinci pada Tabel XIII, serta Gbr. 27 dan Gbr. 28.

TABEL XI
JUMLAH PAKET PER DETIK DAN PER KILOMETER LIMA RUTE TERPETIK

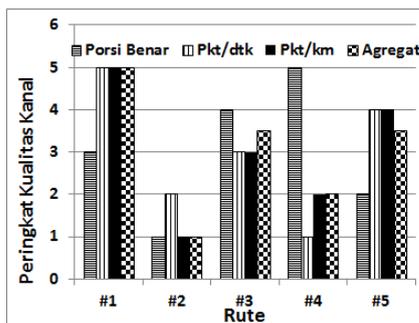
Rute	Per Detik		Per Kilometer	
	Jumlah	Peringkat	Jumlah	Peringkat
#1	1279,857	5	230780,5	5
#2	1849,502	2	402065,6	1
#3	1443,385	3	296517,5	3
#4	2159,968	1	379371,1	2
#5	1440,41	4	269106,6	4

TABEL XII
PERINGKAT LIMA RUTE TERPETIK

Dasar Pemingkatan	Rute				
	#1	#2	#3	#4	#5
Porsi paket yang benar	3	1	4	5	2
Jumlah paket per detik	5	2	3	1	4
Jumlah paket per kilometer	5	1	3	2	4
Jumlah	13	4	10	8	10
Peringkat akhir	5	1	3,5	2	3,5



Gbr. 27 Kuantitas relatif paket lima rute terpetik.



Gbr. 28 Pemingkatan kualitas kanal lima rute terpetik.

V. KESIMPULAN DAN RENCANA LANJUTAN

Pengaruh lintasan-jamak yang parah termanifestasi pada visual gambar berupa tidak kontinunya gambar sebagai akibat

perubahan kecil pada arah/letak antenna. Sepanjang gambar tampil normal, pengaruh lintasan-jamak terindikasi pada sejumlah besaran/gejala internal isyarat, misalnya spektrum frekuensi, SQ , CNR , dan MER , BER , dan paket data. Lintasan-jamak yang semakin parah terindikasi dari semakin rendahnya SFM , nisbah SQ/SI , porsi paket yang benar, jumlah paket per satuan waktu atau jarak, atau semakin tingginya nisbah P/CNR , CNR/MER , dan BER . Sebagai contoh numeris, visual gambar atau keberhasilan penerimaan tidak berbeda antara yang isyaratnya memiliki SFM sekitar 0,9 dengan 0,7; antara yang memiliki nisbah CNR/MER sekitar 0,5 dB dengan 22 dB, dan sebagainya.

Salah satu teknik untuk mengatasi lintasan-jamak adalah penerapan antenna-jamak di sisi penerima. Oleh karena itu, rencana lanjutan penelitian ini adalah memformulasikan suatu teknik tersebut hingga uji-coba, dan membandingkan hasilnya dengan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. El-Hajjar and L. Hanzo, "A Survey of Digital Television Broadcast Transmission Techniques," *IEEE Commun. Surv. TUTORIALS*, vol. 15, no. 4, pp. 1924–1949, 2013.
- [2] I. Eizmendi, M. Velez, D. Gómez-Barquero, J. Morgade, V. Baena-Lecuyer, M. Slimani, and J. Zoellne, "DVB-T2: The Second Generation of Terrestrial Digital Video Broadcasting System," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 60, no. 2, pp. 258–271, 2014.
- [3] Kemkominfo, "Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor: 05/ Per/M.Kominfo/2/2012 tentang Standar Penyiaran Televisi Digital Terrestrial Penerimaan Tetap Tidak-Berbayar (Free-To-Air)," 2012.
- [4] F. A. Contreras, E. Pedraza, and D. Gomez-Barquero, "DVB-T2 Field Trials Results for Portable Indoor Reception in Colombia," in *IEEE Latin America Conference on Communications (LATINCOM)*, 2014, pp. 1–5.
- [5] C. Regueiro, U. Gil, M. Velez, I. Eizmendi, and P. Angueira, "Field Trials-Based Planning Parameters for DVB-T2 Indoor Reception," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 61, no. June, pp. 251–262, 2015.
- [6] M. Slimani, J. Robert, P. Schlegel, U. H. Reimers, R. Burow, F. Kattanek, R. Pfeffer, and L. Stadelmeier, "Results of the DVB-T2 Field Trial in Germany," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 61, no. June, pp. 177–194, 2015.
- [7] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), TS 102 831 V1.2.1 (2012-08)," 2012.
- [8] "NorDig Unified Test Plan for Integrated Receiver Decoders for use in cable, satellite, terrestrial and IP-based networks, ver. 2.4.," 2013.
- [9] "GEORGIA SET TOP BOX SPECIFICATION," 2014. [Online]. Available: http://www.economy.ge/uploads/proeqtebi/digital_television/Appendix_1_Georgia_basic_receiver_specification.pdf. [Accessed: 21-Oct-2014].
- [10] R. E. Putra, *Uji Lapangan Penerimaan Siaran TV Digital di Kawasan Sekitar Yogyakarta, Skripsi Sarjana*. Yogyakarta, 2015.
- [11] K. Zhou and Y. H. Chew, "On the Achievable Diversity Gain by the Optimal Subcarrier Allocations in Multiuser OFDM System," in *IEEE Conf. Publ.*, 2006, pp. 1–6.
- [12] N. Madhu, "Note on Measures for Spectral Flatness," *IET Journals Mag.*, vol. 45, no. 23, pp. 1195–1196, 2009.
- [13] ETSI, "Digital Video Broadcasting Measurement Guidelines for DVB Systems, TR 101 290 - V1.2.1," 2001.
- [14] B. Setiyanto, Iswandi, N. Fath, and Y. Pratama, "Pengaruh Lintasan-Jamak terhadap Penerimaan DVB-T2," in *Conference on Information Technology and Electrical Engineering (CITEE)*, 2015, pp. 355–359.