

BAB I

USULAN GAGASAN

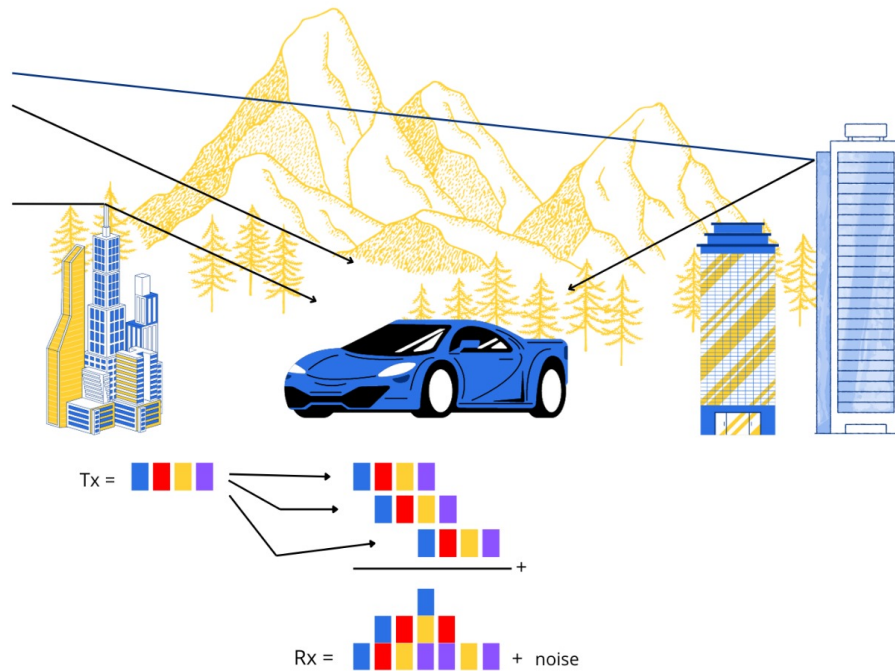
1.1 Deskripsi Umum Masalah

Deskripsi umum masalah memberikan gambaran awal tentang masalah yang dihadapi. Untuk memahami lebih dalam, Tugas Akhir ini meninjau latar belakang masalah guna memberikan penjelasan yang lebih menyeluruh.

1.1.1 Latar Belakang Masalah

Di era modern ini, komunikasi yang andal dan efisien menjadi aspek penting bagi masyarakat global yang terhubung secara digital. Namun, seiring dengan meningkatnya kompleksitas lingkungan komunikasi, tantangan untuk mempertahankan kualitas dan keandalan sinyal semakin besar. Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah interferensi, yaitu fenomena sinyal utama terganggu atau terdistorsi oleh faktor lingkungan dan interaksi dengan sinyal lain yang ditunjukkan pada Gambar. 1.1. Untuk menghadapi masalah ini, Tugas Akhir ini difokuskan pada pengembangan teknik mitigasi interferensi, terutama dalam konteks komunikasi berbasis gelombang dan partikel. Tugas Akhir ini berjudul **Mitigasi Interferensi dalam Komunikasi Berbasis Gelombang dan Partikel: Aplikasi pada *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*, *Over The Horizon (OTH)*, dan *Molecular Communications***, yang membahas secara mendalam dampak interferensi dalam komunikasi modern dan pentingnya penerapan solusi untuk mengatasi masalah ini dalam berbagai aplikasi.

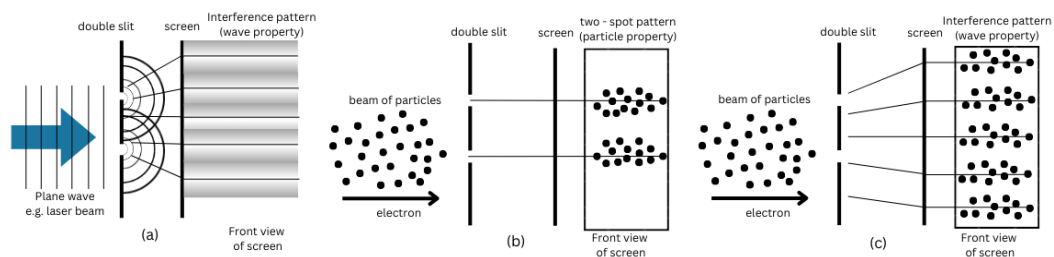
Dalam konteks interferensi, pemahaman tentang fenomena interferensi yang dijelaskan melalui eksperimen *double slit* menjadi sangat relevan. Eksperimen *double slit* adalah eksperimen dalam fisika kuantum untuk menjelaskan pemahaman tentang sifat gelombang dan partikel. Eksperimen ini melibatkan memancarkan cahaya (atau partikel seperti elektron) melalui dua celah yang sangat sempit dan kemudian mengamati pola yang terbentuk di layar di belakang celah tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 1.2. Ini menegaskan sifat dualitas cahaya (atau partikel) dalam eksperimen tersebut, jika sifat gelombang diamati, cahaya (atau partikel) akan menunjukkan fenomena interferensi yang khas dari gelombang. Tugas Akhir ini berfokus pada gelombang seperti yang ditunjukkan Gambar. 1.2(a) untuk aplikasi OTH dan UAV, serta Tugas Akhir ini berfokus pada partikel seperti



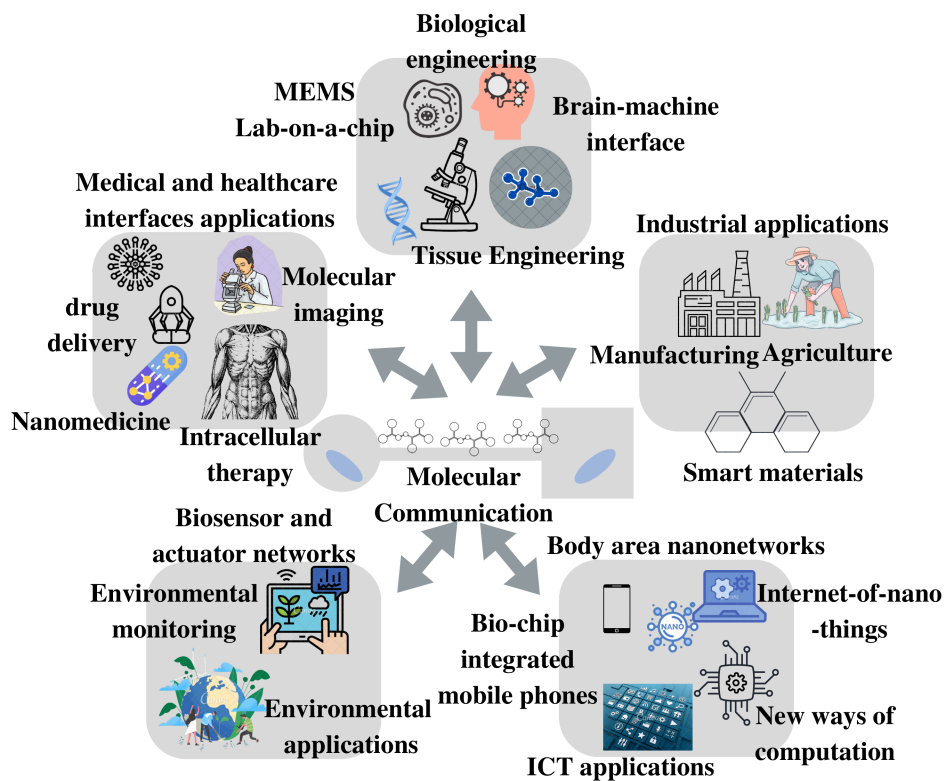
Gambar 1.1 Ilustrasi sinyal dari BTS yang dipantulkan, menunjukkan potensi interferensi.

yang ditunjukkan Gambar. 1.2(b) untuk aplikasi *molecular communications*. Gambar. 1.2(c) untuk kuantum (gabungan gelombang dan partikel) tidak dibahas dalam Tugas Akhir ini.

Komunikasi berbasis partikel yaitu aplikasi *molecular communications*. *Molecular communications* merupakan sistem komunikasi dari *transmitter* ke *receiver* dengan molekul sebagai mediumnya. *Molecular communications* merupakan sebuah *bio-nanomachine* yang terbuat dari bahan biologis atau hibrida biologis dan non hibrida biologis [1]. Gambar 1.3 menunjukkan beberapa bidang aplikasi dalam *molecular communications*, yang penerapan pada *molecular communications* menunjukkan potensi yang besar dalam beberapa bidang, termasuk rekayasa biologi, perawatan medis dan kesehatan, aplikasi industri, lingkungan, serta teknologi informasi dan komunikasi [1]. Tugas Akhir ini befokus pada penerapan *molecular communications* dalam konteks perawatan medis dan kesehatan.



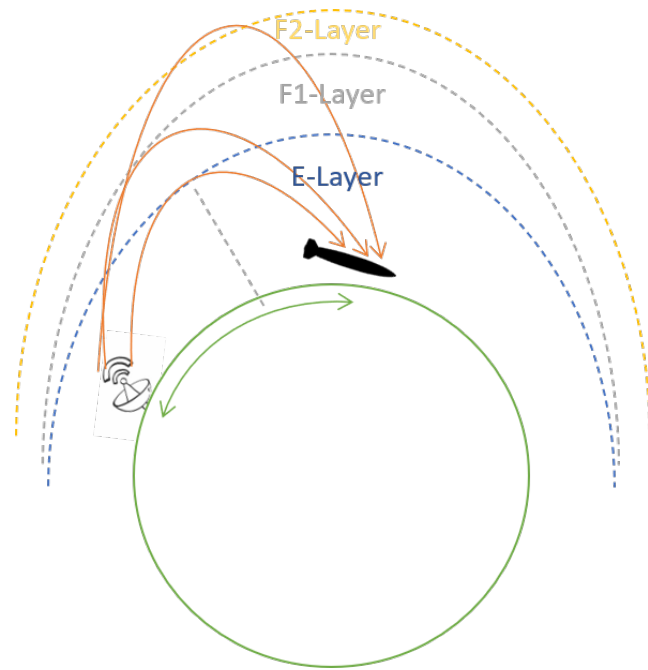
Gambar 1.2 Eksperimen *double slit*: (a) gelombang, (b) partikel, dan (c) kuantum.



Gambar 1.3 Pengaplikasian *molecular communications* pada beberapa bidang.

Pengaplikasian *molecular communications* pada bidang kesehatan makin berkembang pesat dan dapat digunakan untuk *molecular imaging*, *drug delivery*, dan *intracellular therapy*. *Drug delivery* bertujuan untuk mengirimkan obat ke tempat yang membutuhkan dan hanya jika obat tersebut diperlukan, *drug delivery* dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan ketepatan dan keefektifan obat, sehingga tidak mempengaruhi bagian tubuh yang sehat. Dengan keberadaan *drug delivery*, diharapkan penyakit seperti kanker, Malaria, *Tuberculosis* (TB), *Human Immunodeficiency Virus* (HIV), *Acquired Immunodeficiency Syndrome* (AIDS) dapat disembuhkan dengan tepat dan tanpa ada efek samping [2].

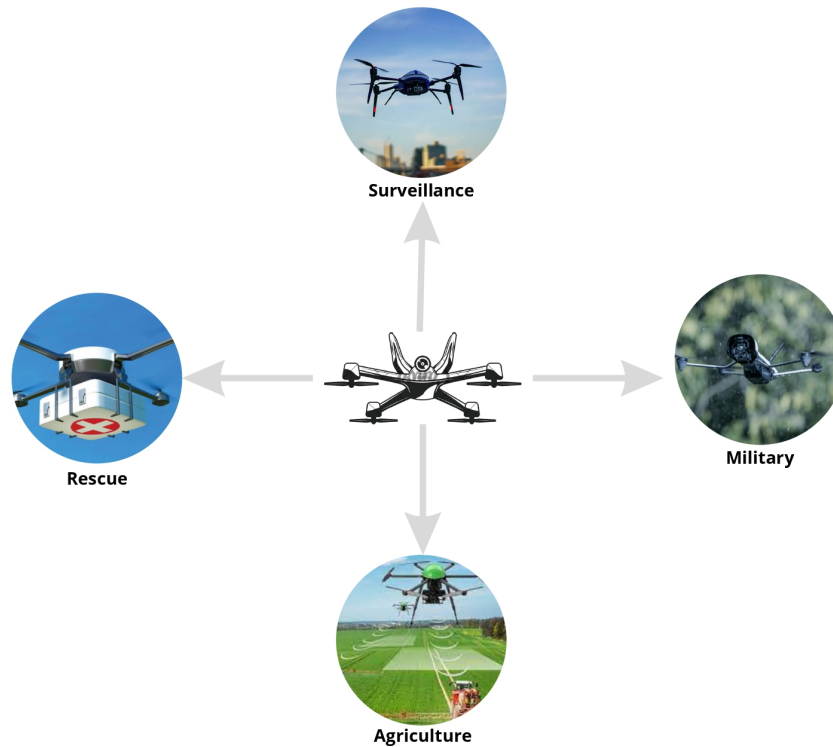
Namun, tantangan terbesar pada bidang ini yaitu proses penghantaran obat yang masih terbatas. Penghantaran obat berbasis *molecular communications* khususnya untuk terapi kanker dapat direkayasa agar memungkinkan penghantaran agen terapeutik yang ditargetkan pada lokasi yang tepat. Meskipun mengalami *Brownian motion* yaitu gerakan acak dari suatu partikel zat cair ataupun gas secara terus menerus yang menyebabkan *crossover molecules* selama proses molekul berdifusi yang kemudian disebut sebagai *inter-symbol interference* (ISI). Oleh karena itu, pengembangan teknik mitigasi yang efektif penting untuk mengatasi ISI dalam *molecular communications*.



Gambar 1.4 Prinsip dasar sistem komunikasi OTH.

Komunikasi nirkabel digunakan pada sistem roket berkecepatan 4500 km/h untuk mengirim dan menerima data secara *real-time*. Akan tetapi, permasalahan utama yang dihadapi pada sistem komunikasi nirkabel untuk roket berkecepatan 4500 km/h adalah *multipath fading*, interferensi dan *Doppler effect*. *Multipath fading* merupakan dampak yang diterima oleh *receiver* sehingga terdapat berbagai sinyal hasil pantulan dan bias dengan fasa yang berbeda-beda [3], seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.4. *Doppler effect* merupakan pergeseran frekuensi yang diterima di *receiver*, sehingga menyebabkan *Inter-Carrier Interference* (ICI) yang merusak ortogonalitas pengiriman data secara *real-time* sehingga menyebabkan *error-floor*. Tinggi atau rendahnya pergeseran frekuensi yang terjadi tergantung pada kecepatan relatif *transmitter* atau *receiver* dan frekuensi *carrier* yang digunakan. Pergeseran frekuensi bernilai tinggi jika kecepatan dan frekuensi *carrier* juga tinggi, begitu pula sebaliknya [4].

Di samping itu, sistem komunikasi pada roket juga masih terbatas dalam sistem pengendalian dan dimungkinkan untuk menerima beberapa gangguan dari pihak luar. Sehingga, sistem komunikasi roket membutuhkan teknologi penunjang untuk mengoptimalkan kinerja sistem komunikasi roket. Pada misi tertentu, roket harus memiliki kemampuan untuk tidak dapat terdeteksi. Sistem radar mendeteksi keberadaan objek terbang dengan cara menerima gelombang pantul dari objek terbang yang memantulkan gelombang pancar. Anti-radar diperlukan untuk menjadikan objek terbang memiliki kemampuan tidak terdeteksi. Pada penelitian sebelumnya



Gambar 1.5 Penggunaan UAV pada aspek kehidupan manusia.

telah dirancang anti-radar berbasis absorber sebagai material pelapis yang mampu menggagalkan sistem radar untuk mendeteksi keberadaan suatu objek [5–9].

Pada teknologi komunikasi OTH untuk komunikasi roket, teknologi OTH memiliki peran penting dalam memastikan komunikasi yang terjaga dengan roket yang telah melampaui jarak pandang langsung. OTH mengoptimalkan pantulan ionosfer untuk mengirim gelombang radio *high frequency* (HF) mencapai jarak yang lebih jauh, serta mengandalkan satelit sebagai *relay* yang menghubungkan roket dengan *transmitter*. Hal ini memungkinkan terus terkirimnya data telemetri dari roket dan memfasilitasi pengiriman perintah dari *transmitter*, walaupun roket tersebut sudah berada di luar pandangan langsung.

Dalam misi militer, presisi dan kontrol yang *real-time* sangat kritikal, komunikasi melalui satelit membantu dalam mengatur manuver dan tujuan roket secara tepat dengan bantuan teknologi OTH, operasi peluncuran roket menjadi lebih andal, mendukung tugas militer dengan komunikasi yang efektif dan terpercaya. Teknologi ini meningkatkan kapabilitas pertahanan dan keamanan dengan memastikan bahwa roket dapat diarahkan dan dikontrol meskipun dari jarak jauh.

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah kendaraan udara bertenaga yang tidak membawa operator manusia. UAV menggunakan kekuatan aerodinamis untuk memberikan daya angkat kendaraan. UAV dikendalikan dengan *Remotely Pi-*

lotted Aircraft (RPA). Penerbangan UAV dikendalikan secara otonom oleh komputer dengan kendali jarak jauh. UAV diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan tujuan penggunaan dan karakteristik. Jenis UAV berdasarkan *propiler* UAV meliputi multirotor, rotor tunggal, sayap tetap, hibrida multirotor sayap tetap, dan helikopter. Karakteristik UAV memiliki beberapa variasi tergantung pada penggunaannya.

Pada Gambar 1.5 menunjukkan penggunaan UAV sangat bervariasi dan melibatkan berbagai sektor. Sektor tersebut meliputi pemetaan, pemantauan lingkungan, pertanian presisi, pemantauan keamanan, dan misi militer. Keuntungan penggunaan UAV adalah mampu mengakses wilayah yang sulit dijangkau manusia. Selain itu, UAV dapat mengumpulkan data secara cepat dan efisien dari ketinggian yang sulit dicapai oleh manusia.

Pesatnya pertumbuhan UAV menciptakan suatu peluang baru, yakni mengintegrasikan UAV ke jaringan komunikasi seluler. Pada peluang ini, UAV mewujudkan stasiun pangkalan terbang yang dilengkapi dengan UAV dan dapat mengubah posisi secara dinamis untuk meningkatkan area cakupan, efisiensi spektral, dan kualitas pengguna. *The Third Generation Partnership Project* (3GPP) yang mengawasi kegiatan standar untuk jaringan seluler telah mengeksplorasi peluang untuk menyajikan UAV sebagai jenis baru *User Equipment* (UE) yang disebut sebagai UE udara.

Penerapan UAV komunikasi seluler, memiliki tantangan salah satunya adalah interferensi. Interferensi terjadi ketika dua atau lebih gelombang saling berinteraksi, menciptakan pola distribusi amplitudo yang dipengaruhi oleh fase gelombang. Dalam konteks UAV komunikasi seluler, interferensi merujuk pada gangguan yang dapat mempengaruhi transmisi sinyal antara UAV dengan BS atau antar UAV lain. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor dan memiliki dampak yang signifikan pada kualitas dan keandalan komunikasi seluler UAV. Skema sistem UAV komunikasi seluler adalah UAV bergerak dengan kecepatan tinggi melalui lingkungan yang berubah dengan cepat. Mobilitas ini dapat menyebabkan perubahan yang cepat dalam kanal transmisi dan memicu fenomena *Interference Between Cell* (IBW). Hal itu disebabkan simbol-simbol yang dikirimkan terjadi tumpang tindih atau terdistorsi selama perjalanan melalui udara.

Melalui penelitian yang mendalam dalam bidang ini, diharapkan akan muncul inovasi-inovasi yang mampu mengatasi interferensi dalam komunikasi berbasis gelombang dan partikel. Solusi-solusi ini tidak hanya akan meningkatkan keandalan komunikasi OTH, *molecular communications*, dan komunikasi UAV, tetapi juga memiliki potensi untuk merintis jalan menuju masa depan komunikasi yang lebih kuat, efisien, dan tahan gangguan. Dengan demikian, penelitian ini memi-

liki dampak yang luas dan signifikan dalam membentuk kemajuan teknologi komunikasi global.

1.1.2 Analisis Masalah

Untuk memahami masalah yang dihadapi, kita perlu melihat berbagai aspek yang terlibat. Aspek yang diperhatikan pada Tugas Akhir ini adalah aspek teknologi.

1.1.3 Aspek Teknologi

Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini semuanya memiliki kesamaan sudut pandang, yaitu pada masalah terjadinya ISI, *Inter-Carrier Interference* (ICI) dan *Interference Between Cell* (IBC).

1. *Molecular Communications*

Molecular communications yang tidak menggunakan *channel coding* rentan mengalami kesalahan. Untuk mengirimkan informasi, pengirim memerlukan sejumlah molekul tertentu agar berhasil mencapai tujuan dengan benar. Selain itu, *molecular communications* memiliki masalah yang semakin terbuka karena adanya *Brownian motion* yang menyebabkan *crossover molecules* selama proses molekul berdifusi yang kemudian disebut sebagai ISI. Masalah ini menjadikan pengiriman informasi tingkat molekuler menjadi tidak bisa diandalkan.

2. *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

Tidak stabilnya UAV dalam bergerak menyebabkan interferensi akibat dari perubahan posisi UAV yang tidak terkontrol dan dapat mengganggu sinyal yang akan dikirimkan ke *receiver*. Hal ini, memerlukan teknik yang tepat untuk dapat meminimalisir interferensi tersebut. Interferensi ini kami sebut sebagai IBC dalam Tugas Akhir ini. Teknik yang digunakan adalah Teknik *Beamforming*. *Beamforming* dapat digunakan untuk mengarahkan sinyal ke penerima dengan tepat sehingga meminimalisir interferensi yang disebabkan oleh ketidakstabilan posisi UAV.

3. OTH pada sistem *Rocket Communications*

Roket yang bergerak pada kecepatan 4500 km/h, dapat menyebabkan terjadinya efek Doppler signifikan. Efek Doppler mengakibatkan pergeseran frekuensi pada receiver, yang memicu ISI dan IBI yang dapat merusak ortogonalitas data secara *real-time*, serta meningkatkan *Bit Error Rate* (BER)

hingga terjadinya *error-floor*. Untuk mengatasi hal ini, teknologi OTH memanfaatkan pantulan sinyal pada lapisan ionosfer, memungkinkan sinyal dari *transmitter* di Bumi mencapai roket di luar jangkauan langsung. Pantulan ini menjaga stabilitas komunikasi antara roket dan *transmitter*, meskipun roket bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi.

1.2 Tujuan Penelitian Tugas Akhir

Tujuan utama dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengembangkan teknik mitigasi interferensi yang efektif yang disesuaikan dengan setiap domain aplikasi.

1. Melakukan simulasi dan analisis pada *molecular communications* dengan menggunakan LDPC codes berbasis *chemical reactions* untuk mengurangi efek ISI.
2. Melakukan simulasi dan analisis pada UAV dengan menggunakan *beamforming* untuk mengurangi efek ICB.
3. Mendesain antena MIMO array bertujuan untuk meningkatkan penerimaan sinyal secara signifikan dalam sistem MIMO-DSC OFDM, terutama dalam kondisi komunikasi yang ekstrem, seperti pada komunikasi roket yang bergerak cepat.
4. Teknologi MIMO digunakan untuk menghadapi *fading channel* yang dapat mengurangi kualitas sinyal, dengan menggunakan beberapa antena penerima, MIMO mampu meningkatkan keandalan transmisi dalam menghadapi *fading channel* yang terjadi selama komunikasi roket.
5. Antena yang baik berperan penting dalam menjaga penerimaan sinyal yang optimal dan mampu memperbaiki penerimaan sinyal yang buruk, sehingga komunikasi tetap stabil dan efisien meskipun dalam kondisi lingkungan yang ekstrem.
6. Masalah ISI dan IBI yang disebabkan oleh lingkungan multipath diatasi dengan Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), yang menjaga ortogonalitas sinyal sehingga mengurangi gangguan pada transmisi data.
7. Sistem sinyal prosesi pada MIMO-DSC OFDM berfungsi untuk mengatasi efek Doppler dan *multipath fading* yang sering terjadi dalam komunikasi berkecepatan tinggi. Efek Doppler diatasi melalui teknik Doppler Spread

Compensator DSC, sedangkan *multipath fading* diatasi dengan teknologi MIMO.

1.3 Solusi Sistem yang Ada

Bagian ini menjelaskan beberapa solusi yang terkait *molecular communications*, UAV dan OTH.

1.3.1 *Molecular Communications*

Dalam penelitian sebelumnya tentang *molecular communications* disebutkan bahwa penggunaan *Repetition codes* sebagai *channel coding* yang paling sederhana mampu mendeteksi dan mengoreksi kesalahan yang terjadi akibat ISI saat proses pengiriman molekul ke *receiver* [10]. Dari penelitian sebelumnya BER dapat mencapai 10^{-3} [10].

1.3.2 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Riset sebelumnya yang meneliti *mitigation interference* pada (UAV) menggunakan metode *Frequency Domain Equalization (FDE)*. FDE adalah teknik pengolahan sinyal dalam domain frekuensi yang digunakan dalam sistem komunikasi untuk mengatasi distorsi frekuensi yang terjadi selama transmisi data. FDE efektif mengatasi interferensi yang terjadi akibat perambatan *multipath* dan distorsi frekuensi dalam kanal komunikasi. Dengan merespon efek distorsi frekuensi secara khusus, FDE membantu meningkatkan keandalan konektivitas komunikasi UAV. Dengan mengurangi atau menghilangkan interferensi, FDE memungkinkan peningkatan kapasitas kanal dan kecepatan transmisi data. UAV dapat mentransmisikan data dengan kecepatan yang tinggi tanpa mengganggu kualitas sinyal. Dengan mereduksi atau menghilangkan Interferensi, FDE memberikan kontribusi positif terhadap kinerja sistem komunikasi UAV.

Implementasi FDE membutuhkan perhitungan matematis yang kompleks, terutama saat melibatkan proses *Discrete Fourier Transform (DFT)* dan *inverse DFT*. Proses ini, dapat menambah beban komputasi pada sistem, terutama pada perangkat UAV yang memiliki sumber daya yang terbatas. Selain itu, proses FDE dapat menambahkan *delay* ke dalam sistem. Peningkatan delay ini, menjadi *critical* dalam aplikasi *real time*, terutama pada UAV yang membutuhkan respon yang cepat.

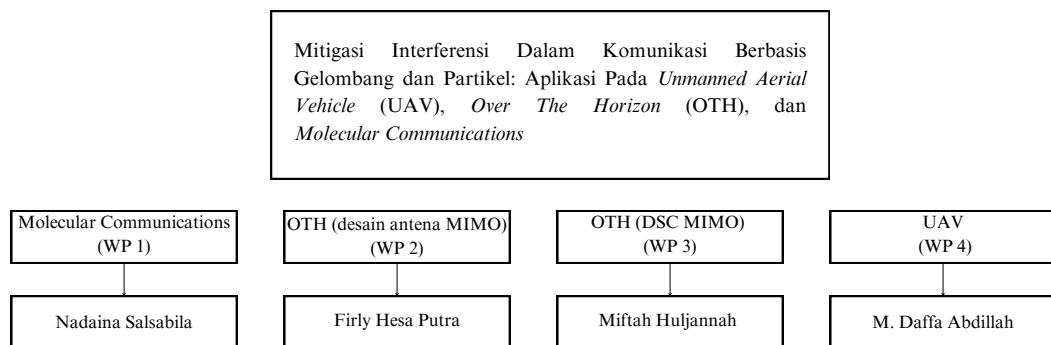
1.3.3 *Over The Horizon*

Penelitian ini terinspirasi dari riset yang membahas penggunaan kode LDPC dalam sistem wahana berkecepatan tinggi, yang mengadopsi struktur berdasarkan standar sistem penyiaran digital terestrial generasi kedua (DVB-T2) sebagai pengkodean kanal. Kode LDPC memiliki kemampuan untuk meningkatkan kualitas transmisi serta mengurangi efek Doppler yang terjadi pada wahana berkecepatan tinggi [9].

Dalam penelitian ini, kami mengombinasikan teknologi MIMO *array* dengan teknik pengkodean *Space-Time Block Code* (STBC) serta teknologi *Doppler Spread Compensator* (DSC). Tujuan utama dari kombinasi ini adalah untuk mempertahankan kualitas sinyal dan kinerja sistem komunikasi dengan memanfaatkan teknologi MIMO *array*. Sistem MIMO *array* mampu mentransmisikan sinyal melalui beberapa jalur (*spatial diversity*), yang membantu dalam meningkatkan kualitas sinyal dan mengurangi efek *fading* pada *channel*.

Lebih lanjut, penelitian ini juga dipengaruhi oleh riset yang membahas desain antenna MIMO *array* untuk Future Railway Mobile Communication Systems (FRMCS) [11]. Di riset tersebut, teknologi MIMO *array* digunakan untuk meningkatkan kinerja komunikasi pada sistem kereta api berkecepatan tinggi. Desain antenna MIMO *array* dengan *array* yang terintegrasi dengan DSC dapat secara signifikan mengurangi dampak negatif dari efek Doppler dan *multipath fading*, yang menjadi tantangan utama dalam komunikasi pada kendaraan yang bergerak cepat seperti kereta api dan roket. Hasil riset tersebut memberikan landasan bagi penelitian kami, yang juga berfokus pada pengembangan antenna MIMO *array* dengan DSC, namun dengan aplikasi yang diperluas untuk sistem komunikasi roket dan perangkat lain yang beroperasi pada kecepatan ekstrem.

Sebagai kelanjutan dari riset tersebut, penelitian ini mengadopsi pendekatan serupa dalam penggunaan antenna MIMO *array* untuk meningkatkan keandalan dan stabilitas komunikasi pada kecepatan tinggi. Namun, kami memperluas cakupan aplikasi dengan mengadaptasi desain antenna untuk frekuensi operasi 439 MHz dan memperkuatnya dengan material substrat FR-4 yang memiliki stabilitas mekanik dan termal yang tinggi. Dengan menggabungkan temuan dari penelitian [11], penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi yang lebih komprehensif dan praktis bagi kebutuhan komunikasi berkecepatan tinggi. Diharapkan, penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi komunikasi yang lebih canggih dan dapat diandalkan untuk masa depan.



Gambar 1.6 Manajemen proyek untuk mitigasi interfeferensi.

1.4 Manajemen proyek dan identifikasi *working package*

Bagian ini menjelaskan manajemen proyek dan identifikasi *working package* (WP). Gambar 1.6 menunjukkan manajemen proyek yaitu *molecular communications* (WP 1) yang dikerjakan oleh Nadaina Salsabila, OTH dengan melakukan desain antena MIMO *array* (WP 2) yang dikerjakan oleh Firly Hesa Putra, OTH dengan melakukan DSC-MIMO *array* (WP 3) yang dikerjakan oleh Miftah Huljannah dan UAV (WP 4) yang dikerjakan oleh M. Daffa Abdillah.

1.4.1 Identifikasi WP 1 (Status Proyek: Selesai)

WP 1 dalam Tugas Akhir ini membahas aplikasi untuk *molecular communications*. *Molecular communications* yang tidak menggunakan *channel coding* rentan mengalami kesalahan. Untuk mengirimkan informasi, pengirim memerlukan sejumlah molekul tertentu agar berhasil mencapai tujuan dengan benar. Selain itu, *molecular communications* memiliki masalah yang semakin terbuka karena adanya *Brownian motion* yang menyebabkan *crossover molecules* selama proses molekul berdifusi yang kemudian disebut sebagai ISI. Masalah ini menjadikan pengiriman informasi tingkat molekuler menjadi tidak bisa diandalkan. Salah satu teknik untuk mengatasi ISI adalah *channel coding*. WP 1 ini berfokus pada pengembangan *low density parity check* (LDPC) *codes* berbasis reaksi kimia untuk komunikasi berbasis partikel. Oleh karena itu, penggunaan LDPC *codes* sangat penting untuk *molecular communications*.

1.4.2 Identifikasi WP 2 (Status Proyek: Selesai)

WP 2 dalam Tugas Akhir ini membahas tentang permasalahan pensinyalan yang dihadapi oleh komunikasi roket. Dalam Tugas Akhir ini mengusulkan hasil desain

antena MIMO *array* pada roket berkecepatan 4500 km/h, tantangan utama yang dihadapi adalah efek Doppler. Efek Doppler terjadi ketika *transmitter* atau *receiver* bergerak dengan kecepatan tinggi sehingga dapat menyebabkan pergeseran frekuensi dan menyebabkan terjadinya interferensi. Untuk mengatasi permasalahan ini, desain antena MIMO *array* menggunakan teknik DSC sebagai solusi untuk mengatasi terjadinya efek Doppler. Teknik DSC dirancang untuk mengompensasi pergeseran frekuensi akibat efek Doppler dengan memanfaatkan keuntungan dari antena MIMO *array*, sehingga sinyal dapat dikirimkan melalui beberapa jalur dengan memanfaatkan *spatial diversity*. Hal ini dapat mengurangi interferensi, memperbaiki kualitas sinyal, dan mengatasi *multipath fading* yang sering terjadi pada komunikasi dengan kecepatan tinggi.

1.4.3 Identifikasi WP 3 (Status Proyek: Masih Dalam Proses)

WP 3 dalam Tugas Akhir ini membahas aplikasi untuk OTH dengan DSC-MIMO. Roket yang bergerak dengan kecepatan tinggi 4500 km/h dan mengalami efek Doppler yang signifikan. Efek Doppler merupakan pergeseran frekuensi yang dialami oleh *receiver* roket, sehingga menyebabkan ICI yang merusak ortogonalitas pengiriman data secara *real-time*. Hal ini juga menyebabkan *error-floor* pada kinerja BER yang membahayakan karena terjadi dengan BER dengan level yang tinggi. Untuk mengatasi efek Doppler, yang sering terjadi pada sistem komunikasi berkecepatan tinggi yaitu dengan DSC. DSC bertujuan untuk mengkompensasi perubahan frekuensi yang terjadi akibat pergerakan relatif antara pengirim atau penerima, menjaga kestabilan sinyal dan sinkronisasi frekuensi, sehingga kinerja komunikasi tetap terjaga meskipun terjadi pergeseran frekuensi akibat kecepatan tinggi. Oleh karena itu penggunaan DSC-MIMO menjadi penting untuk OTH.

1.4.4 Identifikasi WP 4 (Status Proyek: Masih Dalam Proses)

WP 4 dalam Tugas Akhir ini membahas aplikasi untuk UAV. Tidak stabilnya UAV dalam bergerak menyebabkan interferensi akibat dari perubahan posisi UAV yang tidak terkontrol dan dapat mengganggu sinyal yang akan dikirimkan ke *receiver*. Hal ini, memerlukan teknik yang tepat untuk dapat meminimalisir interferensi tersebut. Interferensi ini kami sebut sebagai IBC dalam Tugas Akhir ini. Teknik yang digunakan untuk mengatasi IBC adalah Teknik *Beamforming*. *Beamforming* dapat digunakan untuk mengarahkan sinyal ke penerima dengan tepat sehingga meminimalisir interferensi yang disebabkan oleh ketidakstabilan posisi UAV.