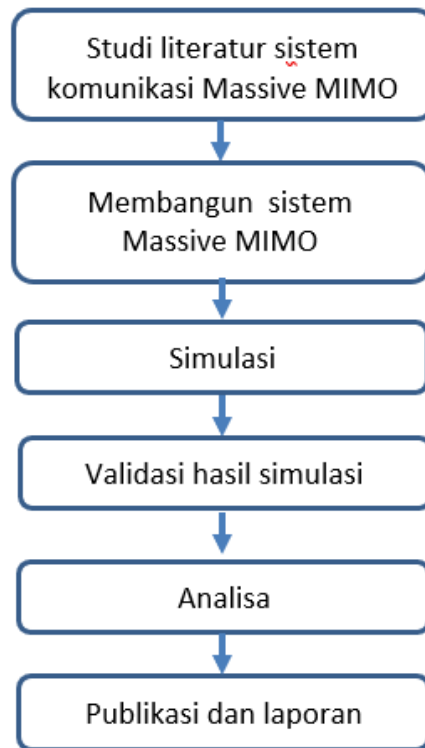


Berangkat dari fishbone, maka diagram alur penelitian diuraikan sebagai berikut:

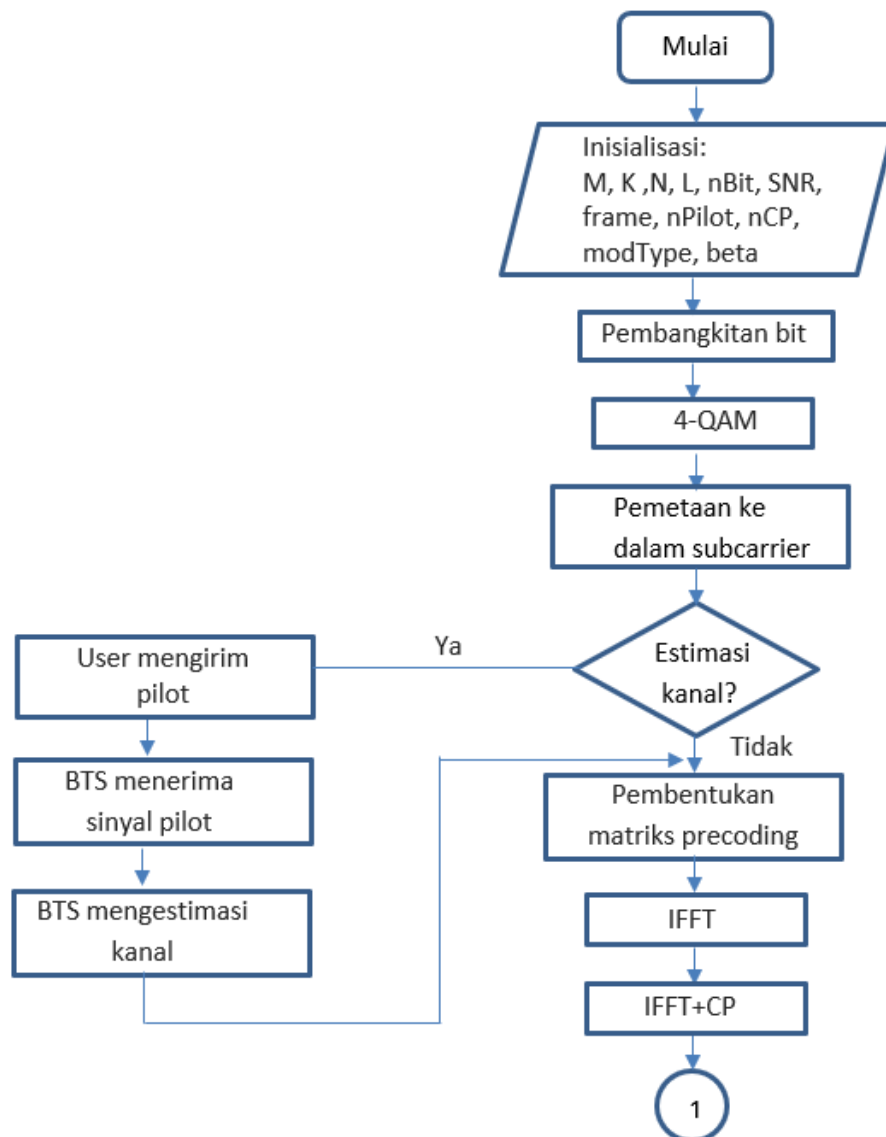


Gambar 3.2 Diagram alur penelitian

Diagram alur ini dimulai dengan studi latar belakang dan literature sistem *Massive* MIMO. Kemudian membangun sistem komunikasi *Massive* MIMO. Setelah itu, mensimulasikan sistem *Massive* MIMO. Selanjutnya adalah memvalidasi hasil simulasi. Validasi BER dilakukan dengan mebandingkan BER sistem *Massive* MIMO dengan BER sistem SISO kanal AWGN, BER sistem SISO kanal Rayleigh, dan BER sistem point to point MIMO kanal Rayleigh. Setelah hasil simulasi telah sesuai, selanjutnya adalah menganalisa BER dan efisiensi spektrum sistem *Massive* MIMO. Kemudian yang terkahir adalah publikasi dan laporan.

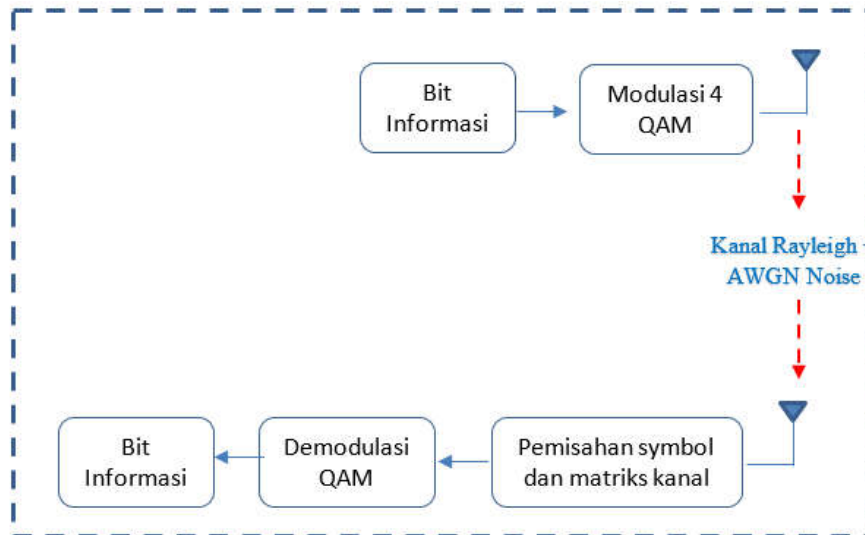
Diagram alur proses simulasi secara lebih rinci ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4. Proses simulasi pada kondisi *imperfect* CSI ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pada kondisi ini BTS mendapatkan informasi kanal dengan cara mengestimasi kanal menggunakan *uplink* pilot. Proses simulasi ini dimulai dengan *user* mentransmisikan pilot ke BTS. Kemudian BTS mengestimasi kanal dari sinyal pilot yang diterima pada interval waktu tertentu. Hasil estimasi kanal ini digunakan

Sistem sel tunggal terdiri dari sebuah BTS yang dilengkapi dengan antenna sejumlah  $M$ , dan melayani *user* sebanyak  $K$ . Jumlah antenna di pemancar jauh lebih banyak daripada jumlah *user ( $M \gg K$ ). Secara praktikal, *user* dapat menggunakan antenna jamak, akan tetapi pada penelitian ini masing-masing *user* menggunakan antenna tunggal untuk menyederhanakan analisis. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5, diasumsikan bahwa semua *user* berada dalam posisi random di dalam satu sel dan menggunakan frekuensi yang sama. Pada sistem sel tunggal ini diasumsikan tidak ada interferensi dari sel lain. Proses transmisi *uplink* dan *downlink* menggunakan skema TDD. Mode TDD dipilih karena respon kanal *uplink* dan *downlink* bersifat resiprokal dalam interval waktu tertentu (*coherence interval*). Sehingga hanya diperlukan proses estimasi kanal di sisi BTS.*



### 3.4 Metode Validasi Simulasi

Validasi hasil simulasi sistem MU-Massive MIMO dilakukan dengan membandingkan kinerja sistem MU-Massive MIMO dengan sistem SISO pada kanal AWGN, SISO pada kanal Rayleigh, dan point-to point MIMO pada kanal Rayleigh.

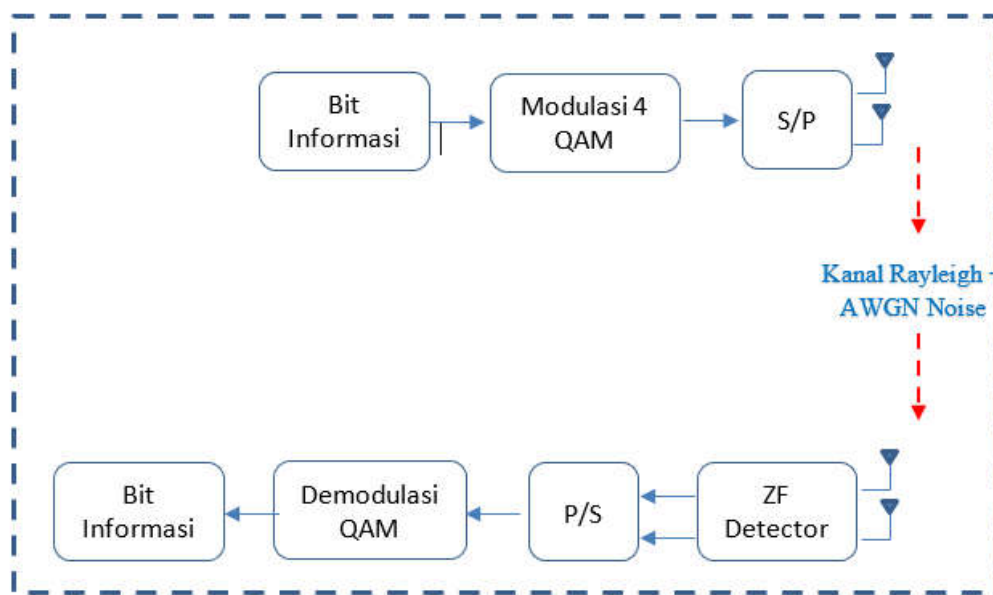


Gambar 3.19 Blok diagram sistem SISO kanal Rayleigh

Blok diagram sistem SISO kanal Rayleigh ditunjukkan pada Gambar 3.19. Sistem SISO terdiri dari satu pemancar dan satu user, masing-masing menggunakan antenna tunggal. Jenis modulasi yang digunakan adalah modulasi 4-QAM. Bit error rate hasil simulasi dihitung di sisi penerima dengan mencari selisih bit yang error dibandingkan dengan jumlah total bit yang dikirim. Sedangkan bit error rate sistem SISO pada kanal AWGN dihitung menggunakan Q-function probabilitas bit error skema modulasi 4-QAM seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.11).

Blok diagram sistem point to point MIMO ditunjukkan pada Gambar 3.20. Sistem MIMO terdiri dari satu pemancar dan satu user, masing-masing menggunakan dua buah antenna. Deretan bit informasi dibangkitkan secara acak, kemudian dimodulasi menggunakan sistem modulasi 4-QAM. Kemudian data serial ini diubah ke bentuk paralel dan ditransmisikan melalui dua buah antenna BTS. Jenis kanal yang digunakan adalah Rayleigh. Kemudian user akan menerima sinyal yang sudah dikalikan dengan matriks kanal dan mengalami penjumlahan dengan

AWGN noise. Diasumsikan bahwa user mengetahui informasi kanal secara penuh (perfect CSI). Kemudian user akan melakukan proses deteksi dengan metode ZF, yaitu dengan cara mengalikan sinyal yang diterima dengan pseudo-inverse inverse matriks kanal, seperti ditunjukkan pada persamaan (2.18). Selanjutnya dilakukan proses demodulasi 4-QAM, dan didapatkan bit biner. Bit error rate sistem point to point MIMO didapatkan dari hasil simulasi.



Gambar 3.20 Blok diagram point to point MIMO