

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan sistem, proses pengukuran, pengolahan data, serta analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengukuran dan kalibrasi array antenna VHF mampu mengakuisisi sinyal pada rentang frekuensi 30-60 MHz secara konsisten menggunakan *function generator*, *splitter*, *detector*, kabel koaksial, perangkat PicoScope, dan MATLAB. Sinyal hasil akuisisi pada setiap kanal memiliki pola osilasi yang relatif serupa, tetapi menunjukkan perbedaan kecil pada posisi puncak gelombang. Pada frekuensi 60 MHz, gelombang tampak lebih rapat dibandingkan pada 30 MHz karena jumlah siklus dalam interval waktu yang sama meningkat seiring kenaikan frekuensi. Perbedaan posisi waktu antarkanal menunjukkan adanya *time shift* yang dapat diolah lebih lanjut untuk memperoleh nilai *time delay*.
2. Metode *cross-correlation* dengan kanal 1 sebagai kanal referensi mampu mengidentifikasi karakteristik *time delay* TD12–TD16 pada frekuensi 30 MHz, 40 MHz, 50 MHz, dan 60 MHz. Nilai rata-rata *time delay* tidak menunjukkan hubungan yang linier terhadap kenaikan frekuensi. Perubahan paling menonjol terjadi antara 30 MHz dan 40 MHz, sedangkan pada rentang 40–60 MHz sebagian besar pasangan kanal menunjukkan nilai yang relatif tetap. Berdasarkan analisis keseluruhan, TD14 memiliki nilai rata-rata *time delay* terbesar sebesar 2,29 ns, TD12 memiliki nilai rata-rata terkecil sebesar 0,88 ns, TD13 dan TD16 masing-masing sebesar 1,43 ns, serta TD15 sebesar 1,50 ns. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap jalur memiliki *offset time delay* yang berbeda sehingga memerlukan nilai kompensasi yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing kanal.
3. Berdasarkan analisis statistik keseluruhan, TD15 memiliki tingkat kestabilan terbaik dengan standar deviasi sebesar 0,00 ns, diikuti TD13 sebesar 0,18 ns, TD16 sebesar 0,20 ns, dan TD12 sebesar 0,22 ns. TD14 memiliki standar deviasi terbesar sebesar 0,43 ns sehingga menjadi pasangan kanal dengan variasi pengukuran paling tinggi dan perlu diprioritaskan dalam proses pemeriksaan serta kalibrasi. Secara umum, sistem mampu menghasilkan estimasi *time delay* yang relatif stabil, tetapi perbedaan *offset* dan tingkat variasi antarkanal tetap perlu dikompensasi. Karakteristik *time delay* yang stabil dan terkalibrasi dapat menghasilkan hubungan waktu dan fase antarkanal yang lebih konsisten, sehingga berpotensi mendukung peningkatan keandalan estimasi DOA dan minimisasi ambiguitas sinyal. Namun, potensi tersebut belum dibuktikan

secara kuantitatif karena penelitian ini tidak melakukan perhitungan DOA maupun pengukuran tingkat ambiguitas secara langsung.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan kalibrasi dan kompensasi *time delay* secara khusus pada setiap kanal dan frekuensi operasi. TD14 perlu diprioritaskan karena memiliki nilai rata-rata dan standar deviasi terbesar. Setelah kompensasi diterapkan, pengukuran ulang perlu dilakukan untuk membandingkan nilai *time delay* sebelum dan sesudah kalibrasi sehingga efektivitas koreksi dapat dievaluasi secara kuantitatif.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah pengambilan data yang lebih banyak, resolusi sampling yang lebih tinggi, dan beberapa sesi pengukuran pada waktu yang berbeda. Kondisi temperatur, sambungan konektor, kestabilan sumber sinyal, serta sinkronisasi perangkat akuisisi juga perlu dikendalikan agar sumber variasi *time delay* dapat diidentifikasi dengan lebih baik. Analisis dapat dilengkapi dengan ketidakpastian pengukuran dan interval kepercayaan agar hasil statistik lebih kuat.
3. Perlu dilakukan pengujian sistem dengan membandingkan variasi panjang dan jenis kabel koaksial, karakteristik *detector*, serta konektor yang digunakan pada setiap jalur. Pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* atau parameter-S juga dapat dipertimbangkan untuk memperoleh informasi mengenai *electrical length*, respons fase, atenuasi, dan ketidakcocokan impedansi masing-masing jalur secara lebih terperinci.
4. Penelitian berikutnya perlu menggunakan sinyal petir aktual atau data pengukuran lapangan untuk mengevaluasi performa sistem pada kondisi operasional yang sebenarnya. Pengujian tersebut sebaiknya dilengkapi dengan implementasi algoritma estimasi DOA, seperti interferometri, MUSIC, atau ESPRIT, sehingga pengaruh kompensasi *time delay* terhadap kesalahan sudut dan tingkat ambiguitas dapat diukur secara langsung.