

BAB 5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pelatihan model, integrasi sistem, serta pengujian yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil menghasilkan prototipe *game* musik BeatNusa yang terintegrasi dengan pipeline pembentukan *beatmap* otomatis berbasis CNN-Transformer Encoder bergaya BERT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan sesuai kebutuhan, model mampu menghasilkan *beatmap* yang dapat digunakan dalam *gameplay*, dan pengguna memberikan penilaian yang cukup baik terhadap kemudahan penggunaan serta potensi BeatNusa sebagai media interaktif pengenalan lagu daerah.

1. Sistem BeatNusa berhasil dirancang dan diimplementasikan sebagai *game* musik berbasis web yang terintegrasi dengan pipeline pembentukan *beatmap* otomatis. Sistem dibangun dengan beberapa komponen utama, yaitu Unity WebGL sebagai antarmuka dan *game engine*, FastAPI sebagai backend, MySQL sebagai *database*, serta model *BeatmapBERT* sebagai modul pembentukan *beatmap*. *Audio* yang diunggah pengguna diproses melalui tahapan validasi, *preprocessing*, ekstraksi fitur log-mel spectrogram menggunakan CNN, pemodelan urutan menggunakan Transformer Encoder bergaya BERT, *post-processing*, hingga akhirnya disimpan dalam bentuk *beatmap* JSON. Hasil pengujian black-box menunjukkan bahwa seluruh skenario utama sistem, seperti pengecekan server, unggah *audio*, validasi format *file*, pengecekan status pemrosesan, pengambilan daftar lagu, pengambilan *audio* dan *beatmap*, *gameplay*, hit, miss, *game over*, berhasil, retry, serta kembali ke main menu, dapat berjalan sesuai hasil yang diharapkan. Dengan demikian, sistem yang dirancang sudah mampu menjalankan alur utama dari *audio* menjadi *beatmap* yang dapat dimainkan pada *game* BeatNusa.
2. *Beatmap* otomatis yang dihasilkan oleh model CNN-Transformer Encoder bergaya BERT sudah layak digunakan sebagai dasar *gameplay* pada prototipe BeatNusa. Hal ini ditunjukkan melalui hasil pelatihan model yang memperoleh F1-score terbaik sebesar 0,6840, F1-score akhir sebesar 0,6794, recall sebesar 0,8620, dan lane accuracy sebesar 0,8675. Nilai recall yang tinggi menunjukkan bahwa model mampu menangkap sebagian besar note acuan, sedangkan lane accuracy menunjukkan bahwa model cukup baik dalam menentukan posisi lane. Meskipun precision masih berada pada 0,5612, hasil prediksi model tetap melalui tahap *post-processing* seperti thresholding, pembatasan jarak antar-note, snapping ke onset dan beat, serta pembatasan kepadatan note agar *beatmap* yang digunakan dalam *gameplay* tetap nyaman dimainkan.

3. Hasil User Acceptance Testing menunjukkan bahwa BeatNusa dapat diterima dengan baik oleh pengguna sebagai prototipe *game* musik berbasis *beatmap* otomatis. UAT yang dilakukan kepada 15 responden menghasilkan rata-rata skor SUS sebesar 77,67, dengan median skor 80. Sebanyak 14 dari 15 responden atau 93,33% memperoleh skor SUS di atas 68, sehingga secara umum sistem dapat dikategorikan memiliki tingkat usability yang baik. Selain itu, penilaian terhadap potensi BeatNusa dalam memperkenalkan lagu daerah memperoleh rata-rata 4,07 dari skala 5, dengan 80% responden memberikan nilai 4 atau 5. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden menilai BeatNusa mudah digunakan, cukup menarik, dan memiliki potensi sebagai media interaktif untuk mengenalkan lagu daerah melalui pendekatan *game* ritme. Berdasarkan jawaban terbuka, responden juga memberikan tanggapan positif terhadap konsep penggabungan lagu daerah dengan permainan modern, meskipun masih terdapat saran pengembangan seperti penambahan variasi lagu, peningkatan visual, animasi, fitur edukasi budaya, dan mode permainan tambahan.

Dengan demikian, BeatNusa layak digunakan sebagai prototipe awal *game* musik berbasis *beatmap* otomatis. Sistem ini sudah dapat menunjukkan bahwa pembentukan *beatmap* dari *audio* dapat diintegrasikan ke dalam *gameplay*, meskipun masih perlu pengembangan lebih lanjut dari sisi model, konten, tampilan, dan variasi fitur.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan BeatNusa ke depannya. Saran ini berfokus pada peningkatan kualitas model, penyempurnaan hasil *beatmap*, perluasan konten, serta pengembangan pengalaman pengguna.

1. Pengembangan model dapat dilakukan dengan menambah jumlah dan variasi dataset *audio* serta anotasi *beatmap*. Model pada penelitian ini telah mampu mempelajari hubungan antara fitur *audio* dan label *note*, tetapi performanya masih dapat ditingkatkan, terutama dari sisi *precision* agar prediksi tambahan yang kurang tepat dapat dikurangi. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan dataset yang lebih beragam dari sisi tempo, genre, instrumen, dan struktur ritme, khususnya lagu daerah dari berbagai wilayah Indonesia. Selain itu, anotasi *beatmap* manual perlu dibuat lebih konsisten agar model memperoleh acuan pelatihan yang lebih baik.
2. Tahap *post-processing beatmap* perlu dikembangkan agar hasil prediksi dapat membentuk pola permainan yang lebih natural dan *playable*. Pada sistem saat ini, *post-processing* telah menerapkan *thresholding*, pembatasan jarak antar-*note*,

snapping ke *onset* dan *beat*, serta pembatasan kepadatan *note*. Aturan tersebut masih dapat ditingkatkan dengan mempertimbangkan tingkat kesulitan, variasi pola *lane*, struktur bagian lagu, dan kemampuan pemain pemula. Dengan aturan yang lebih adaptif, *beatmap* dapat menjadi lebih sesuai dengan karakter lagu dan nyaman dimainkan.

3. Fitur permainan dan konten edukasi budaya pada BeatNusa dapat diperluas agar tidak hanya berfungsi sebagai *game* ritme, tetapi juga sebagai media pengenalan lagu daerah yang lebih informatif. Berdasarkan hasil UAT, pengguna memberikan respons positif terhadap potensi BeatNusa dalam memperkenalkan lagu daerah. Pengembangan berikutnya dapat menambahkan informasi mengenai asal daerah, makna lagu, lirik, instrumen tradisional, dan fakta budaya. Variasi lagu daerah juga perlu ditambah agar pengguna dapat mengenal musik dari lebih banyak wilayah Indonesia.
4. Tampilan antarmuka, animasi, dan pengalaman bermain perlu disempurnakan agar *game* lebih menarik dan nyaman digunakan. Beberapa saran responden menunjukkan bahwa visual, animasi, dan variasi mode permainan masih dapat dikembangkan. Pengembangan selanjutnya dapat menambahkan efek visual saat pemain menekan *note*, animasi transisi, tampilan pemilihan lagu yang lebih informatif, serta tingkat kesulitan yang berbeda. Konsistensi desain juga perlu diperhatikan agar seluruh halaman memiliki gaya visual yang seragam.
5. Sistem dapat dikembangkan ke platform dan kebutuhan teknis yang lebih luas. Pada penelitian ini, BeatNusa difokuskan pada Unity WebGL melalui *browser desktop*. Pengembangan berikutnya dapat mendukung perangkat mobile, seperti Android atau iOS. Selain itu, sistem dapat dilengkapi dengan akun pengguna, riwayat skor, *leaderboard*, rekomendasi lagu, dan pengelolaan *beatmap* yang lebih terstruktur. Dari sisi *backend*, proses inferensi dan penyimpanan *file* juga perlu dioptimalkan agar sistem tetap stabil ketika digunakan oleh lebih banyak pengguna.

Dengan saran tersebut, BeatNusa diharapkan dapat dikembangkan menjadi *game* musik yang lebih matang, baik dari sisi teknologi pembentukan *beatmap* otomatis maupun pengalaman pengguna. Pengembangan lanjutan juga diharapkan dapat memperkuat tujuan sistem sebagai media interaktif untuk memainkan dan mengenalkan lagu daerah.