

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, perancangan, pelatihan model, hingga evaluasi statistik yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, penelitian ini menghasilkan tiga kesimpulan utama yang secara langsung menjawab rumusan masalah yang diajukan:

1. Efektivitas Kurasi *Data-Centric* terhadap Peningkatan Performa: Penerapan *pipeline* kurasi data multidimensi yang mengintegrasikan filter ketajaman *Fast Fourier Transform* (FFT), kontras RMS, dan kecerahan ke dalam arsitektur visi-bahasa BLIP terbukti sangat efektif dalam meningkatkan ketangguhan semantik model. Model usulan (V2-Final) berhasil mengungguli model *baseline* secara telak, ditandai dengan pencapaian skor metrik CIDEr sebesar 0,4481, kelancaran tekstual BLEU-4 sebesar 0,0511, dan akurasi semantik (BERTScore F1) sebesar 0,8815.
2. Keberhasilan Eliminasi Bias "Paradoks Kualitas": Penelitian ini telah membuktikan secara empiris bahwa pendekatan kurasi yang diusulkan mampu mengeliminasi bias "Paradoks Kualitas" pada skenario aksesibilitas tunanetra. Berdasarkan hasil pengujian beda rata-rata (Uji-t independen) antara kualitas citra terbelah tinggi (tajam) dan terbelah rendah (buram), diperoleh nilai probabilitas $p = 0,622$ ($p > 0,05$) dengan ukuran efek *Cohen's d* sebesar -0,038. Hal ini membuktikan secara ilmiah dan mutlak bahwa tidak terdapat lagi perbedaan performa yang signifikan ketika model dihadapkan pada gambar berkualitas buruk versus gambar jernih.
3. Optimalisasi Efisiensi Komputasi melalui PEFT LoRA: Pendekatan *Parameter-Efficient Fine-Tuning* (PEFT) menggunakan arsitektur *Low-Rank Adaptation* (LoRA) terbukti berhasil mengoptimalkan efisiensi pelatihan agar dapat dieksekusi pada perangkat keras yang terbatas. Dengan membatasi pelatihan hanya pada 1,17 juta parameter terkompresi (sekitar 0,52% dari total parameter model dasar) serta memanfaatkan optimasi

AdamW presisi campuran, model dapat dilatih menggunakan spesifikasi GPU lokal tingkat konsumen dengan konsumsi VRAM puncak (peak) yang sangat rendah, yakni hanya berkisar di angka 3,8 GB, tanpa mengalami fenomena *catastrophic forgetting*.

5.2 Saran

Meskipun arsitektur sistem yang diusulkan telah terbukti tangguh dan efisien, masih terdapat ruang dan peluang untuk penyempurnaan lebih lanjut. Beberapa saran yang direkomendasikan untuk pengembangan sistem di masa mendatang adalah sebagai berikut:

1. **Penanganan Oklusi Ekstrem Melalui Fusi Sensor:** Berdasarkan pengujian kondisi ekstrem, model memiliki batasan absolut saat dihadapkan pada kerusakan sinyal optik total, seperti lensa yang tertutup penuh oleh jari atau ruangan gelap gulita (*pitch-black occlusion*). Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan fusi sensor tambahan yang tertanam pada gawai (seperti sensor LiDAR atau pemindai inframerah) guna memberikan lapisan data spasial tambahan saat kamera mengalami hambatan fisik.
2. **Pengembangan ke Arah Visual Question Answering (VQA) Interaktif:** Efisiensi memori yang berhasil dicapai pada penelitian ini menyisakan ruang komputasi yang signifikan pada perangkat gawai. Hal ini membuka peluang untuk mentransformasi sistem dari *image captioning* satu arah menjadi sistem tanya-jawab visual (*Visual Question Answering - VQA*) yang interaktif. Pengembangan ke depan disarankan untuk mengintegrasikan model deteksi objek dengan *Large Language Models (LLM)* yang mampu melakukan penalaran tingkat tinggi. Dengan pendekatan ini, pengguna tunanetra tidak hanya menerima deskripsi statis, tetapi dapat melakukan interaksi berbasis suara (*voice interaction*) melalui sentuhan layar untuk bertanya mengenai detail spesifik di sekitarnya. Model akan dilatih untuk tidak hanya memahami bentuk benda yang dideteksi, tetapi juga memberikan jawaban yang tepat dan relevan secara kontekstual.

terhadap pertanyaan pengguna, sehingga menciptakan pengalaman navigasi yang lebih intuitif dan kolaboratif.

3. Penerapan Optimasi Meta-Heuristik untuk Kurasi Adaptif: Pendekatan batas penyaringan (*thresholding*) multidimensi FFT pada penelitian ini masih menggunakan perhitungan pemisahan persentil (tertil) yang bersifat manual dan empiris dari peneliti. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan algoritma optimasi meta-heuristik (seperti *Genetic Algorithm* atau *Particle Swarm Optimization*) untuk mencari dan menetapkan parameter angka degradasi citra secara otomatis. Strategi adaptif bertenaga AI ini akan memaksimalkan fungsionalitas model di berbagai domain gambar tanpa perlu menebak batas *threshold* secara manual.

