

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. *Ensemble voting* khususnya *soft voting*, mampu meningkatkan *precision* dan stabilitas deteksi email spam dibandingkan algoritma tunggal. Pada skenario *baseline*, *soft voting* menghasilkan *precision* sebesar 0,9712, lebih tinggi dibandingkan *SVM baseline* sebesar 0,9642, dengan peningkatan 0,73%. Pada skenario *tuning*, *soft voting* mencapai *precision* 0,9729, lebih tinggi dibanding *SVM tuning* 0,9660, meskipun masih sedikit di bawah *NB tuning* 0,9825. Dari sisi stabilitas, nilai standar deviasi *F1-Score* kelas spam pada *soft voting baseline* tetap rendah, yaitu 0,0028 pada 3 *fold* dan 0,0047 pada 5 *fold*, menunjukkan konsistensi performa antar *fold*. Sebaliknya, model tunggal *SVM* menunjukkan variasi yang lebih tinggi, yaitu 0,0039 pada 3 *fold* dan 0,0051 pada 5 *fold*. Dengan demikian, *ensemble soft voting* tidak hanya meningkatkan *precision*, tetapi juga menjaga kestabilan deteksi.
2. *Ensemble voting* mampu mengatasi kelemahan *Naive Bayes* dan *Support Vector Machine* dengan memadukan masing-masing model. Pada *Naive Bayes Log Loss* tinggi karena asumsi independensi fitur yang jarang terpenuhi yaitu 0,0823 pada 3 *fold* dan 0,0987 pada 5 *fold* untuk *baseline* serta 0,1083 pada 3 *fold* dan 0,0987 pada 5 *fold* untuk *tuning* berhasil diturunkan melalui *soft voting* menjadi 0,0608 hingga 0,0724 pada 3 *fold* dan 0,0663 hingga 0,0666 pada 5 *fold* dengan penurunan sebesar 26,12% hingga 33,14% sehingga probabilitas prediksi lebih tepat dan konsisten antar *fold*. Sementara pada *SVM* sensitivitas terhadap parameter membuat *precision* berbeda 0,36 persen antar *fold* dan waktu *training* bervariasi antara 22,84 detik dan 11,95 detik namun dengan *hard* dan *soft voting* *precision* meningkat hingga 0,9889 pada 3 *fold* dan 0,9816 pada 5 *fold* untuk *hard voting* serta 0,9747 hingga 0,9712 untuk *soft voting* dengan peningkatan sebesar 0,34% hingga 2,47% namun waktu komputasi lebih tinggi. Dengan demikian, *ensemble voting* tidak mengurangi biaya komputasi tetapi efektif mengatasi sensitivitas parameter *SVM* dan kelemahan *NB* sehingga prediksi spam menjadi lebih stabil dan akurat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, metode *ensemble voting* yang digunakan masih terbatas pada penggabungan dua algoritma tunggal, yaitu *Naive Bayes* dan *Support Vector Machine*. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar *ensemble voting* dikembangkan dengan melibatkan lebih dari dua algoritma klasifikasi, sehingga keragaman model dalam *ensemble* semakin meningkat. Peningkatan keragaman algoritma diharapkan dapat menghasilkan keputusan klasifikasi yang lebih *robust*, meningkatkan performa prediksi, serta mengurangi ketergantungan terhadap karakteristik dan kelemahan algoritma tertentu.

