

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dinamis stock-flow, simulasi skenario, validasi model, dan analisis sensitivitas, penelitian ini menjawab ketiga rumusan masalah dan tujuan yang ditetapkan pada Bab I sebagai berikut.

1. Faktor pendorong timbulan air limbah domestik teridentifikasi berupa pertumbuhan penduduk (1,19% per tahun) dan konsumsi air per kapita, yang meningkatkan timbulan air limbah domestik Kota Pariaman sekitar 27% selama periode simulasi. Pada kondisi awal, kapasitas pengolahan hanya mampu melayani sekitar sepersepuluh dari total timbulan, sehingga sebagian besar air limbah domestik berpotensi masuk ke Sungai Batang Pariaman tanpa pengolahan memadai -- kondisi yang konsisten dengan tingginya konsentrasi Fecal Coliform yang jauh melampaui baku mutu pada data kualitas sungai (Bab I dan Sub-bab 4.2.2). Dengan demikian, rumusan masalah pertama dan tujuan pertama penelitian terjawab.
2. Model dinamis stock-flow berhasil dikembangkan menggunakan PowerSim Studio 10, dengan struktur yang mengintegrasikan keberfungsian dan kapasitas IPAL, cakupan pelayanan, beban pencemar, serta kualitas Sungai Batang Pariaman dalam satu kerangka -- keterkaitan yang belum diakomodasi secara utuh oleh penelitian terdahulu (Zhang dkk., 2016; Liu dkk., 2022; Demirel dkk., 2022), sehingga kesenjangan penelitian yang diidentifikasi pada Bab I telah terjawab. Model telah lulus verifikasi struktur dan satuan, serta validasi submodel penduduk dengan tingkat kesalahan yang sangat kecil (MAPE 0,03%), sehingga model dinilai valid dan layak digunakan untuk membandingkan dampak kebijakan. Dengan demikian, rumusan masalah kedua dan tujuan kedua penelitian terjawab.
3. Simulasi ketiga skenario menunjukkan bahwa skenario optimis merupakan satu-satunya skenario yang mencapai target pelayanan penuh dan menghasilkan penurunan RQI paling besar pada tahun 2046, dibandingkan skenario moderat dan pesimis. Meskipun demikian, konsentrasi amoniak dan Fecal Coliform pada skenario optimis masih melampaui baku mutu kelas II,

menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas semata tidak cukup -- perbaikan kualitas Sungai Batang Pariaman juga memerlukan peningkatan efisiensi pengolahan, terutama proses nitrifikasi dan desinfeksi. Dengan demikian, rumusan masalah ketiga dan tujuan ketiga penelitian terjawab, dan skenario optimis terbukti paling efektif menekan beban pencemar domestik meskipun belum menuntaskan seluruh pelampauan baku mutu.

4. Secara keseluruhan, kebaruan penelitian ini -- yaitu pengintegrasian keberfungsian dan kapasitas IPAL sebagai variabel dinamis yang dihubungkan langsung dengan perubahan kualitas Sungai Batang Pariaman dalam satu model System Dynamics -- telah dibuktikan secara konsisten sepanjang pengembangan, verifikasi, dan simulasi model pada Bab IV, sekaligus menegaskan kontribusi metodologis penelitian ini bagi pengembangan System Dynamics pada bidang sanitasi perkotaan sebagaimana diuraikan pada Bab I dan Bab II.

5.2 Saran

Saran penelitian dibedakan menjadi saran akademik untuk pengembangan penelitian berikutnya, serta saran untuk pemerintah dan pengelola teknis.

5.2.1 Saran Akademik

1. Penelitian selanjutnya perlu memasukkan variabel hidrologi dan lingkungan seperti debit sungai musiman, curah hujan, pasang surut, intrusi air laut, limpasan permukaan, dan sedimen agar variasi kualitas sungai dapat dijelaskan lebih akurat.
2. Model perlu dikembangkan dengan memasukkan sumber pencemar non-domestik, seperti pertanian, peternakan, usaha kecil, drainase perkotaan, dan aktivitas lain di sekitar Sungai Batang Pariaman.
3. Validasi model perlu diperkuat menggunakan data deret waktu untuk kapasitas pengolahan, APBD atau anggaran sanitasi, debit sungai, kualitas influen-efluen, dan kualitas air sungai. Dengan data tersebut, AME, MAPE, RMSE, dan *behaviour reproduction* dapat dihitung lebih komprehensif.
4. Pengembangan model spasial per segmen sungai atau zona pelayanan sanitasi perlu dilakukan agar lokasi prioritas pembangunan IPAL, sistem komunal,

sambungan rumah, dan layanan lumpur tinja dapat ditentukan secara lebih tepat.

5. Analisis ekonomi perlu diperluas melalui *cost effectiveness*, biaya per kg beban pencemar yang diturunkan, biaya per satuan penurunan RQI, biaya operasi dan pemeliharaan, serta kemampuan membayar masyarakat.
6. Analisis sensitivitas dapat dikembangkan dengan metode Monte Carlo atau rentang parameter yang lebih luas untuk menguji ketahanan kebijakan terhadap perubahan pertumbuhan penduduk, konsumsi air, debit sungai, efisiensi pengolahan, konsentrasi pencemar, dan biaya investasi.

5.2.2 Saran Pemerintah dan Pengelola Teknis

1. Pemerintah Kota Pariaman perlu menjadikan skenario optimis sebagai arah kebijakan jangka panjang, dengan target peningkatan kapasitas menuju 15.298,00 m³/hari secara bertahap mengikuti tahapan lima tahunan pada Tabel 4.15a (Sub-bab 4.6). Prioritas pembangunan diarahkan pada kawasan padat penduduk, kawasan dekat sungai, dan kawasan dengan kontribusi beban pencemar tinggi.
2. Pemerintah daerah perlu mengaktifkan IPLT dan layanan lumpur tinja terjadwal karena pemanfaatan IPLT masih 0%. Program ini perlu didukung pendataan tangki septik, pengurasan berkala, pengaturan tarif, penguatan operator, dan pengawasan pembuangan lumpur tinja.
3. Dokumen RISPALD, RPJMD, dan perencanaan sanitasi perlu memasukkan indikator beban pencemar, kualitas sungai, dan RQI. Dengan demikian, keberhasilan program tidak hanya diukur dari jumlah infrastruktur atau cakupan layanan, tetapi juga dari penurunan pencemaran.
4. Pengendalian pencemaran perlu difokuskan pada *Fecal Coliform* dan amoniak. Strateginya meliputi peningkatan kualitas tangki septik, aktivasi IPLT, disinfeksi pada unit pengolahan yang relevan, peningkatan proses penyisihan nitrogen, serta pemantauan efluen secara berkala.
5. Kelayakan finansial skenario optimis perlu diuji melalui analisis kebutuhan investasi, biaya operasi dan pemeliharaan, serta gap pembiayaan. Pendanaan tidak sebaiknya hanya bergantung pada APBD, tetapi dapat dikombinasikan

dengan DAK, bantuan pemerintah pusat, hibah, CSR, pinjaman daerah, atau kerja sama pendanaan lain yang sesuai ketentuan.

6. Pengelola teknis SPALD perlu membedakan kapasitas terpasang dan kapasitas efektif. Data debit masuk, debit terolah, jumlah sambungan aktif, kualitas influen-efluen, dan gangguan operasional harus dicatat secara rutin untuk memastikan fasilitas benar-benar bekerja sesuai tujuan.

