

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Skenario 1

Pengelolaan sampah di Kota Cilegon membutuhkan upaya pengelolaan sampah yang dapat menekan penuhnya kapasitas *landfill* di TPSA Bagendung. Skenario 1 merupakan salah satu upaya penanganan di hilir dengan melakukan produksi briket berbahan baku sampah (BBJP). Besarnya timbunan sampah yang dihasilkan pada skenario 1 dipengaruhi oleh laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon tahun 2020 yaitu 1,49% dengan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Dalam satu hari timbunan sampah yang dihasilkan Kota Cilegon tahun 2023 mencapai 300.104 kg/hari hingga pada akhir periode simulasi memperkirakan jumlah timbunan sampah dalam satu hari akan meningkat pada tahun 2046, mencapai 426.937 kg/hari. Upaya pengangkutan sampah pada skenario 1 dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan angkut sampah dengan kendaraan angkutnya sehingga sampah dapat terangkut secara maksimal. Jumlah awal kendaraan angkut kecil yang dimiliki Kota Cilegon pada tahun 2023 adalah 64 unit kendaraan, berupa cator atau *pickup*. Diperkirakan terdapat penambahan jumlah kendaraan angkut kecil pada tahun 2046 mencapai 189 unit kendaraan.

Sebagian besar sampah diangkut ke TPS tanpa ada upaya pengolahan. Laju pengangkutan sampah ke TPS tahun 2023 mencapai 206.958 kg/hari dan diperkirakan pada tahun 2046 lajunya akan meningkat mencapai 379.096 kg/hari. Adapun laju pengangkutan sampah ke TPS3R berkontribusi sebesar 1,49% per tahun sehingga pada tahun 2023 laju ke TPS3R adalah 1.175 kg/hari dan diakhir periode simulasi (tahun 2046) adalah 1.661 kg/hari. Timbunan sampah pada TPS dan TPS3R diangkut menuju TPSA Bagendung menggunakan kendaraan besar berupa *dump truck* atau *armroll*. Jumlah awal kendaraan besar yang dimiliki Kota Cilegon adalah 41 unit, dan diperkirakan jumlahnya bertambah sebanyak 73 unit pada tahun 2046.

Sampah yang masuk ke TPSA, pada tahun 2023, mencapai 284.761 kg/hari. Produksi BBJP menyerap sebanyak 230.000 kg/hari sampah, sehingga laju *open dumping* diawal periode berkurang menjadi 54.761 kg/hari. Jumlah sampah yang masuk ke TPSA diakhir periode simulasi mencapai 421.513 kg/hari dan diserap sebesar 230.000 kg/hari untuk produksi BBJP. Sehingga laju *open dumping* menyusut menjadi 191.513 kg/hari diakhir periode simulasi. Sampah yang masuk ke TPSA diangkut menuju *landfill* menggunakan alat berat. Jumlah awal alat berat yang tersedia di TPSA Bagendung adalah 2 unit dan diperkirakan akan bertambah mencapai 3 unit pada tahun 2046. Kapasitas *landfill* pada TPSA Bagendung pada tahun 2023 mencapai 7.647.684 ton. Diperkirakan diakhir periode simulasi, pada tahun 2046, jumlahnya mencapai 8.761.324 ton. Kapasitas *landfill* diakhir periode simulasi tersisa sebesar 1.238.676 ton atau 12,39% dari kapasitas maksimumnya yaitu 10.000.000 ton (kapasitas maksimum berdasarkan Amdal 2015).

Berdasarkan hasil simulasi skenario 1, total kebutuhan biaya yang digunakan untuk menjalankan operasional pengelolaan sampah mencapai Rp. 791.827.638.202,00. Biaya tersebut dikeluarkan untuk kebutuhan operasional kendaraan angkut kecil, perawatan kontainer sampah, operasional kendaraan besar, serta operasional alat berat. Kebutuhan biaya operasional kendaraan angkut kecil mencapai Rp. 327.176.059.366,00. Kebutuhan biaya operasional perawatan kontainer (TPS) mencapai Rp. 13.548.950.043,00. Kebutuhan biaya operasional kendaraan besar mencapai Rp. 443.048.406.092,00. Sedangkan kebutuhan biaya operasional alat berat mencapai Rp. 8.054.222.700,00. Adapun berdasarkan hasil simulasi kebutuhan biaya investasi pada skenario 1 dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar, kebutuhan kontainer (TPS), serta kebutuhan tambah alat berat. Total biaya investasi yang diperlukan untuk menjalankan skenario 1 mencapai Rp. 39.475.977.222,00. Kebutuhan biaya investasi kendaraan kecil mencapai Rp. 11.623.708.333,00. Kebutuhan biaya investasi kontainer (TPS) mencapai Rp. 7.923.238.888,00. Kebutuhan biaya investasi kendaraan besar mencapai Rp. 18.620.030.000,00. Sedangkan kebutuhan biaya investasi alat berat mencapai Rp. 1.309.000.000,00. Adapun total hasil pendapatan dari BBJP mencapai Rp. 413.860.797.919,00.

5.2 Analisis Skenario 2

Upaya pengelolaan sampah di Kota Cilegon yang dapat menekan penuhnya kapasitas *landfill* di TPSA Bagendung lainnya adalah dengan menambahkan upaya pengolahan sampah berbasis 3R di sisi tengah. Skenario 2 merupakan salah satu upaya penanganan yang memiliki upaya pengolahan sampah di tengah dan di hilir yaitu dengan melakukan produksi pupuk kompos di TPS3R dan produksi briket berbahan baku sampah (BBJP). Besarnya timbunan sampah yang dihasilkan pada skenario 2 dipengaruhi oleh laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon tahun 2020 yaitu 1,49% dengan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Dalam satu hari timbunan sampah yang dihasilkan Kota Cilegon tahun 2023 mencapai 300.104 kg/hari hingga pada akhir periode simulasi memperkirakan jumlah timbunan sampah dalam satu hari akan meningkat pada tahun 2046, mencapai 426.937 kg/hari. Pengangkutan sampah yang dilakukan pada skenario 2 dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan angkut sampah. Jumlah awal kendaraan angkut kecil yang dimiliki Kota Cilegon pada tahun 2023 adalah 64 unit kendaraan, berupa cator atau *pickup*. Hasil simulasi memperkirakan terdapat penambahan jumlah kendaraan angkut kecil pada tahun 2046 yaitu mencapai 189 unit kendaraan.

Laju sampah diangkut ke TPS3R pada awal periode simulasi adalah 9.922 kg/hari. Laju sampah diangkut ke TPS3R meningkat diakhir periode simulasi mencapai 113.674 kg/hari. Adapun laju sampah diangkut ke TPS pada awal periode simulasi adalah 206.958 kg/hari. Laju sampah diangkut ke TPS pada akhir periode simulasi mencapai 267.083 kg/hari. Timbunan sampah di TPS dan sampah residu hasil produksi pupuk kompos pada TPS3R diangkut ke TPSA Bagendung menggunakan kendaraan besar. Jumlah awal kendaraan besar adalah 41 unit dan jumlah diakhir periode simulasi (tahun 2046) adalah 60 unit.

Pada tahun 2023 sampah yang masuk ke TPSA mencapai 290.692 kg/hari. Produksi BBJP menyerap sebanyak 230.000 kg/hari sampah, sehingga laju *open dumping* diawal periode berkurang menjadi 60.692 kg/hari. Adapun banyaknya sampah yang masuk ke TPSA pada tahun 2046 diakhir periode simulasi mencapai 353.422 kg/hari dan diserap sebesar 230.000 kg/hari untuk produksi BBJP. Laju *open dumping* pada tahun 2046 menyusut menjadi 123.422 kg/hari. Sampah yang

masuk ke TPSA kemudian diangkut menuju *landfill* menggunakan alat berat. Jumlah awal alat berat yang tersedia di TPSA Bagendung adalah 2 unit dan diperkirakan akan bertambah mencapai 3 unit pada tahun 2046. Kapasitas *landfill* TPSA Bagendung pada awal periode simulasi adalah 7.647.684 ton dan diperkirakan pada akhir periode simulasi (tahun 2046) jumlahnya mencapai 8.446.797 ton. Kapasitas *landfill* diakhir periode simulasi tersisa sebesar 1.553.203 ton atau 15,53% dari kapasitas maksimumnya yaitu 10.000.000 ton (berdasarkan Amdal 2015).

Total kebutuhan biaya yang digunakan untuk menjalankan operasional pengelolaan sampah pada skenario 2 adalah Rp. 765.553.007.670,00. Kebutuhan biaya operasional tersebut dikeluarkan untuk berjalannya operasional TPS3R, kendaraan angkut kecil, perawatan kontainer sampah (TPS), operasional kendaraan besar, serta operasional alat berat. Kebutuhan biaya operasional TPS3R adalah Rp. 15.516.784.800,00. Sedangkan kebutuhan biaya operasional kendaraan angkut kecil adalah Rp. 327.176.059.366,00. Adapun kebutuhan biaya operasional perawatan kontainer (TPS) adalah Rp. 18.388.494.002,00. Kebutuhan biaya operasional kendaraan besar mencapai Rp. 397.838.214.251,00. Sedangkan kebutuhan biaya operasional alat berat mencapai Rp. 6.633.455.250,00. Berdasarkan hasil simulasi, skenario 2 mengeluarkan biaya investasi untuk memenuhi kebutuhan pembangunan fasilitas TPS3R, kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar, kebutuhan kontainer (TPS), serta kebutuhan tambah alat berat. Total biaya investasi yang diperlukan untuk menjalankan skenario 2 mencapai Rp. 112.469.931.272,00. Biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan fasilitas TPS3R mencapai Rp. 80.835.900.000,00. Adapun kebutuhan biaya investasi untuk kendaraan kecil adalah Rp. 11.623.708.333,00. Kebutuhan biaya investasi untuk kontainer (TPS) adalah Rp. 7.580.662.465,00. Kebutuhan biaya investasi kendaraan besar mencapai Rp. 11.120.660.473,00. Sedangkan kebutuhan biaya investasi alat berat adalah Rp. 1.309.000.000,00. Adapun total hasil pendapatan dari produksi BBJP mencapai Rp. 413.862.189.379,00 dan total hasil pendapatan dari produksi pupuk kompos adalah Rp. 314.875.256.856,00.

5.3 Analisis Skenario 3

Upaya pengelolaan sampah pada skenario 3 menekan penuhnya kapasitas *landfill* di TPSA Bagendung dengan melakukan pengolahan sampah pencacahan plastik di sisi tengah dan produksi briket berbahan baku sampah (BBJP) di hilir. Timbunan sampah yang dihasilkan pada skenario 3 dipengaruhi oleh adanya laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon (tahun 2020) yaitu 1,49% dengan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Timbunan sampah yang dihasilkan Kota Cilegon dalam satu hari tahun 2023 mencapai 300.104 kg/hari. Pada akhir periode simulasi (tahun 2046) diperkirakan jumlah timbunan sampah dalam satu hari meningkat, mencapai 426.937 kg/hari. Pada skenario 3, penambahan jumlah kendaraan angkut sampah dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan angkut sampah. Jumlah awal kendaraan angkut kecil (berupa cator atau *pickup*) yang dimiliki Kota Cilegon pada tahun 2023 adalah 64 unit kendaraan, sedangkan berdasarkan hasil simulasi skenario 3 diperkirakan terdapat penambahan jumlah kendaraan angkut kecil pada tahun 2046 yaitu mencapai 189 unit kendaraan.

Kendaraan angkut kecil akan mengangkut sampah yang dihasilkan di sumber ke TPS3R dan TPS. Besar laju sampah diangkut ke TPS3R pada awal periode simulasi adalah 31.502 kg/hari, sedangkan laju diakhir periode simulasi mencapai 380.757 kg/hari. Adapun laju sampah diangkut ke TPS pada awal periode simulasi (tahun 2023) adalah 206.958 kg/hari, sedangkan laju ke TPS pada akhir periode simulasi (tahun 2046) adalah $-1,56E-11$ kg/hari. Sampah residu hasil produksi pada TPS3R dan timbunan sampah di TPS diangkut ke TPSA Bagendung menggunakan kendaraan besar berupa *dump truck* atau *armroll*. Jumlah awal (tahun 2023) kendaraan besar adalah 41 unit dan jumlah diakhir periode simulasi (tahun 2046) adalah 60 unit.

Jumlah sampah yang masuk ke TPSA pada tahun 2023 adalah 293.358 kg/hari. Sebanyak 230.000 kg/hari sampah diserap untuk kebutuhan bahan baku produksi BBJP, sehingga laju *open dumping* diawal periode berkurang menjadi 63.358 kg/hari. Banyaknya sampah yang masuk ke TPSA pada tahun 2046 mencapai 354.198 kg/hari dan diserap sebesar 230.000 kg/hari untuk produksi BBJP sehingga laju *open dumping* pada tahun 2046 menyusut menjadi 124.198

kg/hari. Sampah yang masuk ke TPSA dan tidak diolah menjadi BBJP masuk ke sistem *open dumping* kemudian diangkut menuju *landfill* menggunakan alat berat. Jumlah alat berat yang tersedia di awal periode simulasi pada TPSA Bagendung adalah 2 unit dan diperkirakan akan bertambah mencapai 3 unit pada tahun 2046. Masuknya sampah ke TPSA akan meningkatkan kapasitas *landfill*. Kapasitas maksimum *landfill* TPSA Bagendung adalah 10.000.000 ton. Pada awal periode simulasi (tahun 2023) kapasitas *landfill* pada TPSA Bagendung adalah 7.647.684 ton dan diperkirakan pada akhir periode simulasi (tahun 2046) jumlahnya mencapai 8.360.705 ton. Adapun kapasitas tersisa *landfill* diakhir periode simulasi adalah 1.639.295 ton atau 16,39%.

Kebutuhan biaya operasional yang digunakan untuk menjalankan pengelolaan sampah pada skenario 3 dikeluarkan untuk operasional TPS3R, kendaraan angkut kecil, perawatan kontainer TPS, operasional kendaraan besar, serta operasional alat berat. Biaya yang dikeluarkan untuk operasional TPS3R adalah Rp. 15.516.784.800,00. Adapun kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk kendaraan angkut kecil adalah Rp. 327.176.059.366,00. Kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk perawatan kontainer TPS adalah Rp. 15.852.310.530,00. Kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk kendaraan besar mencapai Rp. 388.836.742.164,00. Sedangkan kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk alat berat mencapai Rp. 6.576.439.250,00. Total biaya operasional yang digunakan untuk menjalankan pengelolaan sampah pada skenario 3 adalah Rp. 753.958.336.111,00. Selain kebutuhan operasional, untuk menunjang upaya pengelolaan sampah, skenario 3 mengeluarkan biaya investasi untuk memenuhi kebutuhan pembangunan fasilitas TPS3R, kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar, kebutuhan kontainer TPS, serta kebutuhan tambah alat berat. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan fasilitas TPS3R mencapai Rp. 81.849.999.999,00. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk kendaraan angkut kecil adalah Rp. 11.623.708.333,00. Adapun biaya investasi yang dikeluarkan untuk kontainer TPS adalah Rp. 5.413.660.447,00. Kebutuhan biaya investasi yang dikeluarkan untuk kendaraan besar adalah Rp. 11.280.281.350,00. Sedangkan kebutuhan biaya investasi yang

dikeluarkan alat berat adalah Rp. 1.309.000.000,00. Sehingga total biaya investasi yang diperlukan untuk menjalankan skenario 3 adalah Rp. 111.404.650.130,00. Adapun berdasarkan hasil simulasi pendapatan yang didapat pada skenario 3 didapat dari produksi BBJP mencapai Rp. 413.862.434.922,00 dan total hasil pendapatan dari produksi pencacahan plastik adalah Rp. 2.405.801.261.451,00.

5.4 Analisis Skenario 4

Upaya pengelolaan sampah pada skenario 4 menekan penuhnya kapasitas *landfill* di TPSA Bagendung dengan melakukan pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos dan pengolahan sampah plastik menjadi cacahan plastik di TPS3R (sisi tengah) serta produksi briket berbahan baku sampah yaitu BBJP (hilir). Timbunan sampah yang dihasilkan pada skenario 4 dipengaruhi oleh adanya laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon. Pada tahun 2020 laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon adalah 1,49% dan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Sehingga, tahun 2023, timbunan sampah yang dihasilkan Kota Cilegon dalam satu hari mencapai 300.104 kg/hari. Sedangkan pada akhir periode simulasi (tahun 2046) diperkirakan jumlah timbunan sampah dalam satu hari meningkat, mencapai 426.937 kg/hari. Penambahan jumlah kendaraan angkut sampah pada skenario 4 dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan angkut sampah. Jumlah awal kendaraan angkut kecil (cator atau *pickup*) yang dimiliki Kota Cilegon pada tahun 2023 adalah 64 unit. Sedangkan pada tahun 2046, hasil simulasi memperkirakan kebutuhan jumlah kendaraan angkut kecil mencapai 189 unit kendaraan.

Besarnya laju sampah diangkut ke TPS3R pada awal periode simulasi (2023) adalah 31.502 kg/hari. Adapun laju ke TPS3R diakhir periode simulasi (2046) adalah 380.757 kg/hari. Besarnya laju sampah diangkut ke TPS pada awal periode simulasi (tahun 2023) adalah 206.958 kg/hari, sedangkan laju ke TPS pada akhir periode simulasi (tahun 2046) adalah $-1,56E-11$ kg/hari. Sampah yang tidak dapat diproduksi pada TPS3R (sampah residu) dan sampah yang ditimbun pada TPS diangkut ke TPSA Bagendung menggunakan kendaraan besar berupa *dump truck* atau *armroll*. Jumlah awal (tahun 2023) kendaraan besar adalah 41 unit dan jumlah diakhir periode simulasi (tahun 2046) adalah 49 unit.

Pada tahun 2023, banyaknya sampah yang masuk ke TPSA adalah 290.565 kg/hari. Produksi BBJP menyerap sampah yang masuk ke TPSA (sebagai bahan baku BBJP) sebesar 230.000 kg/hari, sehingga laju *open dumping* diawal periode berkurang menjadi 60.565 kg/hari. Adapun pada tahun 2046 banyaknya sampah yang masuk ke TPSA mencapai 284.206 kg/hari dan diserap sebesar 230.000 kg/hari untuk produksi BBJP, sehingga laju *open dumping* pada tahun 2046 menyusut menjadi 54.206 kg/hari. Sampah yang masuk ke TPSA dan masuk ke sistem *open dumping* akan diangkut menuju *landfill* menggunakan alat berat. Pada tahun 2023, jumlah alat berat yang tersedia pada TPSA Bagendung adalah 2 unit dan tidak ada penambahan jumlah unit hingga akhir periode simulasi (tahun 2046). Kapasitas maksimum *landfill* TPSA Bagendung adalah 10.000.000 ton. Kapasitas *landfill* pada TPSA Bagendung tahun 2023 adalah 7.647.684 ton. Jumlahnya bertambah pada tahun 2046 mencapai 8.045.836 ton. Sehingga kapasitas tersisa *landfill* pada akhir periode simulasi adalah 1.954.164 ton atau 19,54%.

Pada skenario 4 kebutuhan biaya operasional dikeluarkan untuk menjalankan operasional pengelolaan sampah seperti operasional fasilitas TPS3R, kendaraan angkut kecil, perawatan kontainer TPS, operasional kendaraan besar, serta operasional alat berat. Pada skenario 4, biaya operasional yang dikeluarkan untuk TPS3R adalah Rp. 15.516.784.800,00. Adapun biaya operasional yang dikeluarkan untuk kendaraan angkut kecil adalah Rp. 327.176.059.366,00. Kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk perawatan kontainer TPS adalah Rp. 15.852.310.530,00. Biaya operasional yang dikeluarkan untuk kendaraan besar adalah Rp. 365.320.173.513,00. Adapun biaya operasional yang dikeluarkan untuk alat berat adalah Rp. 6.414.300.000,00. Total biaya operasional yang diperlukan untuk menjalankan operasional pengelolaan sampah pada skenario 4 adalah Rp. 730.279.628.211,00. Selain kebutuhan operasional, kebutuhan investasi diperlukan untuk menunjang upaya pengelolaan sampah. Pada skenario 4 biaya investasi dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan pembangunan fasilitas TPS3R, kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar, kebutuhan kontainer TPS, serta kebutuhan tambah alat berat. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan fasilitas TPS3R adalah Rp. 82.685.900.000,00. Adapun biaya

investasi yang dikeluarkan untuk kendaraan angkut kecil adalah Rp. 11.623.708.333,00. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk kontainer TPS adalah Rp. 5.413.660.447,00. Kebutuhan biaya investasi yang dikeluarkan untuk kendaraan besar adalah Rp. 4.944.637.865,00. Adapun pada skenario 4 tidak mengeluarkan biaya investasi karena kebutuhan angkut sampah di TPSA Bagendung masih mencukupi dengan 2 unit alat berat. Sehingga total biaya investasi yang diperlukan untuk skenario 4 adalah Rp. 104.667.906.645,00. Berdasarkan hasil simulasi, pendapatan yang didapat pada skenario 4 diperoleh dari hasil penjualan BBJP, pupuk kompos, serta pencacahan plastik. Pendapatan yang didapat dari produksi BBJP adalah Rp. 413.862.881.315,00. Sedangkan total pendapatan yang didapat dari produksi pupuk kompos adalah Rp. 314.875.256.856,00. Adapun total hasil pendapatan dari produksi pencacahan plastik mencapai Rp. 2.405.835.867.230,00.

5.5 Analisis Perbandingan Skenario

Kondisi *existing* pengelolaan sampah di Kota Cilegon memperkirakan kapasitas *landfill* TPSA Bagendung akan penuh dan tidak dapat menampung sampah pada tahun 2042. Penanganan sampah pada kondisi *existing* belum sepenuhnya berjalan secara optimal sehingga perlu dilakukan upaya pengelolaan sampah dari hulu hingga ke hilir untuk menekan penuhnya kapasitas *landfill*. Dalam penelitian ini terdapat empat alternatif skenario pengelolaan sampah yang dikembangkan berupa pembangunan fasilitas TPS3R di sisi tengah dan produksi BBJP di sisi hilir. Untuk membandingkan hasil simulasi dari keempat skenario dilakukan perbandingan parameter yang dilihat dari sisi lingkungan hidup. Parameter tersebut adalah laju sampah diangkut ke TPS3R tahun 2046, laju sampah diangkut ke TPS tahun 2046, laju sampah diangkut ke TPSA tahun 2046, banyaknya sampah yang masuk ke TPSA tahun 2046, laju banyaknya sampah yang masuk ke sistem *open dumping* tahun 2046, kapasitas *landfill* tahun 2046, serta tahun *landfill* penuh. Selain itu hasil simulasi dibandingkan menggunakan *Benefit-Cost Ratio* (BCR) untuk mengetahui nilai manfaat dari investasi yang direncanakan. Nilai manfaat yang dibandingkan antara lain pendapatan, laju angkut ke TPSA, laju

ke TPS3R, sampah diolah di TPS3R, sampah diolah menjadi BBJP, kapasitas tersisa *landfill*.

Laju sampah diangkut ke TPS3R merupakan salah satu parameter pembandingan yang digunakan untuk mengetahui skenario dengan nilai angkut ke TPS3R yang paling maksimum. Semakin banyak sampah yang terangkut ke TPS3R maka semakin kecil (sedikit) timbunan sampah di TPS. Berdasarkan Tabel 22 nilai laju ke TPS3R paling maksimum terjadi pada skenario 3 dan skenario 4. Pada skenario 3 dan skenario 4 nilai laju ke TPS3R mencapai 380.757 kg/hari. Hal tersebut disebabkan skenario 3 dan skenario 4 mengalami penambahan jumlah TPS3R sebanyak 2 unit/tahun dengan kapasitas masing-masing TPS3R sebesar 2.100 kg/unit. Sehingga dengan adanya penambahan jumlah TPS3R pada akhir periode simulasi skenario 3 dan skenario 4 merupakan skenario dengan laju pengangkutan sampah ke TPS3R terbaik (paling maksimum).

Parameter laju ke TPS digunakan untuk mengetahui skenario dengan nilai angkut ke TPS yang paling minimum. Semakin kecil jumlah sampah yang terangkut ke TPS maka semakin baik karena laju sampah akan dominan terangkut ke TPS3R dan sampah akan diolah terlebih dahulu sebelum diangkut ke TPSA. Tabel 22 menunjukkan nilai laju ke TPS yang paling minimum adalah skenario 3 dan skenario 4 yaitu $-1,56E-11$ kg/hari. Artinya pada kondisi tersebut sudah tidak ada sampah yang terangkut ke TPS dan secara maksimal sampah terangkut ke TPS3R. Kondisi tersebut dapat terjadi karena sampah di sumber tersedap ke TPS3R, bank sampah, dan sampah dikelola pihak lain. Berdasarkan hasil simulasi skenario dengan jumlah pengangkutan sampah ke TPS paling minimum pada tahun 2046 adalah skenario 3 dan skenario 4.

Parameter laju angkut ke TPSA Bagendung merupakan banyaknya sampah yang diangkut dari TPS ke TPSA menggunakan kendaraan besar. Nilai laju angkut yang paling minimum merupakan nilai yang terbaik. Artinya timbunan sampah pada TPS semakin sedikit dan jumlah sampah yang terangkut ke TPSA semakin berkurang. Pada Tabel 22 nilai laju angkut ke TPSA pada skenario 3 dan skenario 4 merupakan nilai yang paling minimum yaitu 3.023 kg/hari. Kondisi tersebut dapat terjadi disebabkan sampah lebih banyak terangkut ke TPS3R dan menyebabkan

suplai sampah di TPS berkurang, sehingga laju angkut dari TPS ke TPSA berkurang. Kondisi ini merupakan kondisi terbaik karena sebagian besar sampah akan diolah terlebih dahulu di TPS3R sebelum masuk dan tertimbun di TPSA. Selain itu kondisi pada skenario 3 dan skenario 4 akan menekan jumlah investasi kendaraan besar.

Parameter pembanding lainnya adalah banyaknya sampah yang masuk ke TPSA. Nilai banyaknya sampah yang masuk ke TPSA dibandingkan untuk diketahui skenario yang memiliki nilai yang paling minimum. Semakin sedikit sampah yang masuk ke TPSA (hilir) maka semakin besar upaya pengolahan sampah di sisi tengah. Berdasarkan hasil simulasi, nilai yang paling minimum untuk parameter masuk ke TPSA adalah skenario 4 yaitu 284.206 kg. Skenario 4 menekan jumlah sampah yang masuk ke TPSA dengan memaksimalkan sistem *recycle* pada TPS3R. Upaya yang dilakukan adalah memaksimalkan pengolahan sampah anorganik dan organik menjadi cacahan plastik dan pupuk kompos sehingga hasil residu sampah pada TPS3R sedikit.

Parameter pembanding laju *open dumping* merupakan laju banyaknya sampah yang masuk ke sistem pembuangan terbuka di mana limbah padat dibuang tanpa dilapisi atau ditutup. Terdapat upaya pengolahan di hilir (TPSA) yaitu pengolahan sampah menjadi BBJP sebanyak 230.000 kg/hari. Sisa sampah yang masuk ke TPSA namun tidak diolah menjadi BBJP akan masuk dalam sistem *open dumping*. Semakin kecil laju terjadinya *open dumping* semakin baik, artinya upaya pengolahan sampah dilakukan secara maksimal. Berdasarkan hasil simulasi, skenario 4 merupakan skenario dengan nilai laju *open dumping* yang paling kecil yaitu 54.206 kg/hari. Upaya pengolahan sampah di sisi tengah yang dilakukan pada skenario 4 secara maksimal dapat mengurangi jumlah sampah yang masuk ke TPSA dan upaya yang dilakukan di hilir membantu menekan jumlah sampah yang masuk ke dalam sistem *open dumping*.

Adapun hasil akhir dari adanya upaya yang dijalankan dapat dilihat dari total akhir kondisi kapasitas *landfill* pada tahun 2046. Kapasitas *landfill* yang paling kecil merupakan yang paling baik. Berdasarkan hasil simulasi skenario dengan kapasitas *landfill* tahun 2046 terkecil adalah skenario 4 yaitu 8.045.836 ton. Hal ini

terjadi disebabkan pada skenario 4 upaya *recycle* pada TPS3R berhasil mengurangi timbunan sampah organik dan anorganik yang tidak terolah dan langsung diangkut ke TPSA. Selain itu di sisi hilir terdapat upaya produksi BBJP sehingga mereduksi jumlah sampah yang masuk dan tertimbun pada *landfill*.

Berdasarkan hasil simulasi, upaya pengolahan sampah di sisi tengah dan di hilir merupakan kunci untuk memperpanjang umur *landfill*. Skenario 4 merupakan skenario dengan keterisian *landfill* paling lama. Diperkirakan kondisi *landfill* pada skenario 4 akan penuh di tahun 2089. Pada kondisi *existing*, *landfill* akan mencapai 10.000.000 ton pada tahun 2042, hal ini disebabkan upaya pengolahan sampah di sisi tengah belum berjalan secara maksimal dan tidak adanya pengolahan sampah di sisi hilir. Upaya yang diterapkan pada skenario 4 berhasil menekan jumlah sampah yang tertimbun di *landfill* dan memperpanjang umur *landfill*.

Perbandingan lain dilakukan menggunakan *Benefit-Cost Ratio* (BCR) dengan membandingkan nilai manfaat dengan nilai investasi. Nilai manfaat tersebut antara lain pendapatan, laju angkut ke TPSA, laju ke TPS3R, volume sampah di TPS3R, volume sampah diolah menjadi BBJP, serta kapasitas tersisa *landfill*. Perbandingan BCR terbaik antara pendapatan dan biaya investasi ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Didapatkan nilai perbandingan antara pendapatan dan nilai investasi paling maksimum adalah skenario 4 dengan nilai rasio yaitu 29,95. Nilai perbandingan tersebut merupakan yang terbaik disebabkan pada skenario 4 pendapatan yang dihasilkan jumlahnya besar dan biaya investasi yang dibutuhkan tidak sebesar skenario 2 dan skenario 3 sehingga rasio perbandingan yang didapat merupakan yang paling besar diantara skenario lain. Pendapatan yang dihasilkan pada skenario 4 (sebesar Rp. 3.134.574.005.401) didapat dari hasil penjualan pupuk kompos, plastik cacahan, dan juga BBJP. Sedangkan biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp. 104.667.906.645. Biaya investasi tersebut lebih besar dibandingkan dengan skenario 1 dikarenakan pada skenario 1 tidak ada biaya investasi yang dikeluarkan untuk membangun TPS3R, sedangkan apabila dibandingkan dengan skenario 2 dan skenario 3 biaya investasi lebih kecil karena pada skenario 4 tidak ada penambahan unit alat berat dan penambahan kendaraan besar tidak bertambah secara signifikan.

Perbandingan BCR terbaik pada laju angkut ke TPSA ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling minimum. Nilai perbandingan rasio paling minimum didapatkan pada skenario 3 yaitu 0,000000027140. Nilai laju angkut ke TPSA pada skenario 3 adalah 3.023 kg/hari. Nilai tersebut merupakan nilai yang paling minimum yang disebabkan adanya pengangkutan sampah secara maksimal ke TPS3R, sehingga sampah yang tertimbun di TPS dan diangkut ke TPSA jumlahnya kecil. Nilai laju tersebut dibandingkan dengan nilai investasinya yaitu Rp. 111.404.650.130,00.

Adapun perbandingan BCR untuk laju ke TPS3R yang terbaik ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai rasio BCR untuk laju ke TPS3R yang paling maksimum terdapat pada skenario 4 yaitu 0,00000364. Laju angkut ke TPS3R pada skenario 4 adalah 380.757 kg/hari. Nilai tersebut merupakan nilai yang paling maksimum disebabkan pada skenario 4 sampah diprioritaskan untuk diangkut ke TPS3R untuk dilakukan pengolahan sampah organik dan anorganik. Adapun nilai laju ke TPS3R dibandingkan dengan nilai investasinya yaitu Rp. 104.667.906.645,00. Dibandingkan dengan skenario lain yang memiliki upaya pembangunan TPS3R, nilai investasi pada skenario 4 merupakan yang terkecil disebabkan tidak ada penambahan unit alat berat dan penambahan kendaraan besar tidak bertambah secara signifikan.

Perbandingan BCR lainnya adalah banyaknya sampah yang diolah di TPS3R. Perbandingan terbaik antara sampah diolah di TPS3R dengan nilai investasinya ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan rasio paling maksimum didapatkan pada skenario 4 yaitu 0,00000133. Banyaknya sampah yang diolah di TPS3R pada skenario 4 adalah 139.218,92 kg/hari. Nilai tersebut merupakan yang paling maksimum disebabkan pada skenario 4 terdapat dua jenis pengolahan sampah yaitu pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos dan sampah anorganik menjadi cacahan plastik, sehingga sampah yang diolah TPS3R pada skenario 4 lebih banyak dibandingkan dengan skenario 2 dan skenario 4. Adapun nilai investasi yang dikeluarkan untuk skenario 4 adalah Rp. 104.667.906.645,00.

Perbandingan BCR terbaik untuk sampah diolah menjadi BBJP ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Skenario 1 merupakan skenario dengan perbandingan nilai BCR yang paling maksimum yaitu 0,00000578. Nilai tersebut maksimum disebabkan karena nilai investasi pada skenario 1 merupakan yang paling kecil (karena tidak ada biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan fasilitas TPS3R) yaitu Rp. 39.797.012.222,00. Sedangkan jumlah produksi BBJP untuk setiap skenario jumlahnya sama yaitu 230.000 kg/hari. Sehingga hasil perbandingan yang didapat menyebabkan nilai BCR pada skenario 1 merupakan yang paling maksimum.

Selanjutnya, perbandingan BCR terbaik untuk kapasitas tersisa *landfill* ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan rasio paling maksimum terdapat pada skenario 1 yaitu 0,00003115. Skenario 1 memiliki kapasitas tersisa yang paling kecil dibandingkan skenario lainnya, yaitu 1.239.618 ton. Walaupun nilai tersisa skenario 1 yang paling kecil, namun rasionya menjadi yang paling maksimum disebabkan nilai investasi skenario 1 merupakan yang paling kecil. Nilai investasi pada skenario 1 yaitu Rp. 39.797.012.222,00.

Berdasarkan hasil rekapitulasi yang ditunjukkan pada

Tabel 30, dapat disimpulkan skenario terbaik yang dapat diterapkan adalah skenario 4. Hal tersebut disebabkan perbandingan manfaat dan pendapatan pada skenario 4 lebih unggul dibandingkan skenario lainnya pada beberapa aspek. Aspek yang lebih unggul pada skenario 4 antara lain pendapatan, laju angkut ke TPS3R, dan volume sampah diolah di TPS3R. Adapun untuk dapat menjalankan skenario terbaik, pemerintah cilegon perlu untuk melakukan pengadaan fasilitas TPS3R, TPS, alat angkut kecil, alat angkut besar, serta alat berat berikut dengan kebutuhan operasionalnya.

Tabel 31. Rekapitulasi Kebutuhan Investasi dan Operasional Skenario 4

Kebutuhan Investasi				
No.	Keterangan	Jumlah	Harga	Total
A. TPS3R				
1.	Mesin Pencacah	1	Rp 37.000.000,00	Rp 37.000.000,00
2.	Komposting	1	Rp 16.718.000,00	Rp 16.718.000,00
3.	Konstruksi	1	Rp 1.000.000.000,00	Rp 1.000.000.000,00
4.	Lahan	600	Rp 1.000.000,00	Rp 600.000.000,00
			Total	Rp 1.653.718.000,00

Tabel 31. Rekapitulasi Kebutuhan Investasi dan Operasional Skenario 4 (Lanjutan)

Kebutuhan Investasi				
No.	Keterangan	Jumlah	Harga	Total
B. TPS				
5.	Kontainer	1	Rp 63.400.000,00	Rp 63.400.000,00
			Total	Rp 63.400.000,00
C. Kendaraan Kecil (Cator)				
6.	Cator	1	Rp 93.000.000,00	Rp 93.000.000,00
			Total	Rp 93.000.000,00
D. Kendaraan Besar (Dump truck/Arm Roll)				
7.	Dump truck	1	Rp 592.680.000,00	Rp 592.680.000,00
			Total	Rp 592.680.000,00
Kebutuhan Operasional				
No.	Keterangan	Jumlah	Harga	Total
A. Operasional TPS3R				
1.	Operator Alat (1 shift)	5	Rp 4.230.000,00	Rp 21.150.000,00
2.	Listrik	1	Rp 1.500.000,00	Rp 1.500.000,00
3.	Air	1	Rp 500.000,00	Rp 500.000,00
4.	Pemeliharaan & Overhead	1	Rp 895.300,00	Rp 895.300,00
5.	Habis Pakai	605.336	Rp 3.000,00	Rp 1.816.008,00
			Total Perbulan	Rp 25.861.308,00
			Total Pertahun	Rp 310.335.696,00
B. Operasional TPS				
6.	Perawatan	1	Rp 4.211.735,00	Rp 4.211.735,00
			Total Pertahun	Rp 4.211.735,00
C. Operasional Kendaraan Kecil (Cator)				
7.	Upah Operator	2	Rp 4.230.000,00	Rp 8.460.000,00
8.	Biaya Bahan Bakar	1	Rp 66.000,00	Rp 66.000,00
9.	Biaya Perpanjangan Pajak Kendaraan	1	Rp 38.333,00	Rp 38.333,00
10.	Biaya APD	2	Rp 29.167,00	Rp 58.334,00
			Total Perbulan	Rp 8.622.667,00
			Total Pertahun	Rp 103.472.004,00
D. Operasional Kendaraan Besar (Dump truck/Arm Roll)				
11.	Upah Operator	5	Rp 4.230.000,00	Rp 21.150.000,00
12.	Biaya Bahan Bakar	1	Rp 3.506.250,00	Rp 3.506.250,00
13.	Biaya Perpanjangan Pajak Kendaraan	1	Rp 416.666,00	Rp 416.666,00
14.	Biaya APD Cator	5	Rp 29.167,00	Rp 145.835,00
			Total Perbulan	Rp 25.218.751,00
			Total Pertahun	Rp 302.625.012,00

Referensi biaya yang digunakan pada rekapitulasi kebutuhan investasi dan operasional skenario 4 mengacu pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 31 hal yang perlu disiapkan pemerintah untuk menjalankan skenario 4 meliputi kebutuhan investasi dan operasional. Kebutuhan investasi meliputi investasi pembangunan TPS3R yang

dibutuhkan antara lain pengadaan mesin pencacah plastik, mesin komposting, konstruksi, serta lahan. Kemudian kebutuhan investasi lain meliputi pengadaan kontainer TPS, pengadaan cator, serta *dump truck*. Adapun kebutuhan operasional TPS3R meliputi upah operator alat, listrik, air, pemeliharaan dan *overhead*, serta barang habis pakai. Sedangkan kebutuhan operasional TPS berupa perawatan kontainer sampah. Kemudian kebutuhan operasional kendaraan baik cator maupun *dump truck* berupa upah operator, biaya bahan bakar, biaya perpanjang pajak kendaraan, serta biaya APD.

Konsekuensi adanya penyesuaian kebutuhan pengelolaan sampah pada skenario 4 menyebabkan meningkatnya kebutuhan investasi dan operasional. Total kebutuhan investasi pada kondisi *existing* adalah Rp. 33.446.272.806,00 sedangkan total kebutuhan investasi pada skenario 4 adalah Rp. 104.667.906.645,00. Adapun untuk total kebutuhan operasional pada kondisi *existing* adalah Rp. 645.530.629.691,00 dan total kebutuhan operasional pada skenario 4 adalah Rp. 730.279.628.211,00. Hal ini disebabkan pada kondisi *existing* kebutuhan kendaraan angkut seperti cator jumlah penambahannya masih ditentukan setiap tahunnya, sedangkan pada skenario 4 penambahannya menyesuaikan kebutuhan pengangkutan sampah. Selain itu pada kondisi *existing* tidak diberlakukan upaya pengelolaan sampah, sehingga tidak ada pengurangan jumlah sampah dan beban pengangkutan bertambah. Adapun penelitian terdahulu terkait manajemen *landfill* mengembangkan skenario intervensi memiliki hasil yang relevan dengan penelitian ini. Penelitian Darmawan *et al* (2020) mengembangkan skenario intervensi menggunakan sistem dinamis sebagai strategi pengelolaan sampah pada TPST Bantargebang. Penelitian tersebut menghasilkan adanya kenaikan rasio produksi pemulung terhadap *rate* sampah dan persentase status kapasitas *landfill* tidak mencapai 100% sehingga TPST Bantargebang masih dapat digunakan hingga akhir periode simulasi. Hasil penelitian ini cukup relevan dengan penelitian Darmawan *et al* (2020) karena adanya upaya pengelolaan sampah menyebabkan munculnya konsekuensi berupa kenaikan biaya operasional dan investasi dibandingkan dengan kondisi awal pada sistem.