

KEBIJAKAN PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI PEGIRIKAN DENGAN METODE SISTEM DINAMIK

Yustina Ngatilah¹⁾ Ony Kurniawan²⁾

Prodi Teknik Industri FTI-UPNV Jawa Timur

Email 1): yustinangatilah@gmail.com

Email 2): oney.awan16@yahoo.com

ABSTRAK

Banyaknya lahan pemukiman serta tingkat kepadatan penduduk yang tinggi di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) mengakibatkan timbulnya berbagai masalah diantaranya adalah meningkatnya sumber pencemaran limbah domestik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas air sungai berdasarkan pada perilaku masyarakat sekitar daerah aliran sungai (DAS) Pegirian dan membuat model dinamik yang menyatakan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air Sungai Pegirian

Variabel penelitian ini terdiri dari variabel bebas yaitu: Curah hujan, Debit aliran sungai, Suhu sungai, Tingkat pertumbuhan penduduk, Kebutuhan oksigen biologis, Kebutuhan oksigen kimia. Sedangkan variabel terikat, yaitu; kualitas air sungai Pegirian Ujung Surabaya Pengumpulan data diperoleh dari perilaku pemukim di sekitar Sungai Pegirian, pembuangan limbah domestik (rumah tangga), keadaan Kelurahan Ujung, Penelitian ini menggunakan metode sistem dinamik untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Penelitian ini menghasilkan 3 skenario kebijakan yang dapat memperbaiki kualitas air Sungai Pegirian di Kelurahan Ujung yaitu penggusuran rumah sekitar aliran sungai, pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob dengan Media Batu Split serta Pembuatan jamban di setiap rumah serta pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob dengan Media Batu Split. Dari ketiga skenario tersebut skenario ketiga yaitu pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob dengan Media Batu Split dapat mereduksi kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebesar 15% - 71% serta kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 32% - 88%.

Kata Kunci : Aerob, Anaerob, BOD, COD, Lahan permukiman, Pencemaran air sungai, Sistem dinamis

ABSTRACT

The river provides water for the benefit of human life and the organisms that live in Increasing the density of the population with poor economic conditions forced people to live along the watershed (DAS). The number of residential land and high population density along the watershed (DAS) resulted in the emergence of a variety of issues such as increasing sources of domestic sewage pollution. The problems of river water pollution is a problem with the system is quite complex and involves a variety of components interacting variables. Complex problems and the many variables that affect the system, because that study using dynamical systems methods to solve the problem. The research result in 3 scenarios policies that can improve water quality in the Village of River Pegirian the eviction of houses around the river, making the "IPAL" Domestic Individual Biofilter Anaerobic-aerobic with Media Split Rock and the Making toilets in every home and making BioFilter Individual Domestic "IPAL" Anaerobic -aerobic With Split Rock Media. Of the three scenarios is a third scenario that is making BioFilter Individual Domestic "IPAL" Anaerobic-aerobic Media Split Rock can reduce BOD levels of 15% - 71% and COD levels of 32% - 88%.

Key word : Aerob, Anaerob, BOD, COD, residential land, River water pollution, the dynamic sistem.

PENDAHULUAN

Sungai menyediakan air yang bermanfaat bagi kehidupan manusia diantaranya adalah kegiatan pertanian, perindustrian maupun kegiatan sehari-hari (rumah tangga). Selain itu sungai juga memberikan manfaat bagi organisme yang hidup didalam perairan sungai. Bertambahnya kepadatan jumlah penduduk disertai kondisi ekonomi yang rendah memaksa penduduk tersebut untuk tinggal di sepanjang daerah aliran sungai (DAS). Hampir sebagian besar masyarakat yang hidup di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) memanfaatkan air sungai untuk kehidupan sehari-hari. Banyaknya lahan pemukiman serta tingkat kepadatan penduduk yang tinggi di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) mengakibatkan timbulnya berbagai masalah diantaranya adalah meningkatnya sumber pencemaran limbah domestik. Penurunan kualitas air sungai ditandai oleh penurunan beberapa parameter kualitas air diantaranya adalah parameter fisika, kimia maupun mikrobiologi. Penurunan kualitas air sungai ini merupakan indikasi terjadinya pencemaran air sungai pada area tersebut. Salah satu sumber penyebab penurunan kualitas air sungai tersebut berasal dari pembuangan limbah rumah tangga (limbah domestik) diantaranya buangan air rumah tangga, air cucian, urin, kotoran manusia (tinja) serta sampah yang dibuang secara langsung di sepanjang aliran sungai.

Kompleksnya permasalahan dan banyaknya variabel yang mempengaruhi sistem tersebut dapat digambarkan secara sederhana dan sistematis melalui sebuah model simulasi. Oleh karena itulah penelitian ini menggunakan metode sistem dinamik dengan melibatkan variabel-variabel yang berpengaruh sehingga dapat menghasilkan model pencemaran air sungai serta alternatif kebijakan yang dapat diambil untuk perbaikan pada masa yang akan datang.

Tinjauan Pustaka

Sungai merupakan daerah perairan air tawar yang mengalir, sumber sungai berasal dari tanah, air hujan, atau air permukaan yang akhirnya bermuara ke laut, atau perairan yang terbuka. Daerah Aliran Sungai (DAS) dibagi menjadi daerah hulu, tengah, dan hilir.

Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restoran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama (Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001). Beberapa unsur kandungan limbah di aliran sungai adalah sampah organik dan anorganik serta deterjen. Sampah organik yang dibuang langsung ke sungai dapat menyebabkan berkurangnya jumlah oksigen terlarut (*Dissolved Oxyge*, (DO) karena sebagian besar oksigen terlarut tersebut akan digunakan bakteri untuk proses penguraian atau pembusukan.

Mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metoda tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk dikatakan bersih adalah kualitas air harus memenuhi syarat kesehatan yang meliputi persyaratan fisika, kimia, radioaktif dan mikrobiologi (Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001).

Berikut ini menurut Wijaya (2009) adalah parameter pencemaran air limbah :

1. Parameter fisika

Beberapa parameter fisik yang digunakan untuk menentukan kualitas air meliputi bau, jumlah zat padat terlarut, kekeruhan, rasa, suhu, warna, daya hantar listrik (DHL).

2. Parameter kimia

Beberapa parameter kimia yang digunakan untuk menentukan kualitas air meliputi derajat keasaman (pH), kesadahan, oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO), kebutuhan oksigen biologis (*Biological Oxygen Demand* (BOD), kebutuhan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand* (COD). Berikut adalah pengertian dari setiap parameter kimia.

3. Parameter Mikrobiologi

Pengukuran tentang parameter mikrobiologi ini dapat dianalisa secara kuantitatif maupun secara kualitatif. Analisa kuantitatif ini dilakukan dengan melihat jumlah dari jenis

organisme yang hidup dilingkungan perairan tersebut dan dihubungkan dengan keanekaragaman tiap jenisnya. Analisa kualitatif dapat dilakukan dengan melihat jenis organisme yang mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan tersebut).

Secara umum parameter yang digunakan untuk pengukuran pencemaran limbah domestik (rumah tangga) adalah kebutuhan oksigen biologis (*Biological Oxygen Demand*, BOD) dan kebutuhan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand*, COD) karena dalam kandungan BOD dan COD ini mengandung parameter fisika dan biologi, yaitu dapat dianalisa kebutuhan oksigen yang dibutuhkan oleh organisme untuk melakukan aktivitasnya. Peningkatan kadar BOD dan COD akan membuat organisme yang hidup di dalam sungai menjadi terganggu aktivitasnya bahkan dapat mati karena berkurangnya kandungan Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO).

Pengertian kebutuhan oksigen biologis (*Biological Oxygen Demand*, BOD) dan kebutuhan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand*, COD) sebagai berikut.

1. Kebutuhan oksigen biologis (*Biological Oxygen Demand*, BOD)

Kebutuhan oksigen biologis atau *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merupakan indikator pencemaran penting untuk menentukan kekuatan atau daya cemar suatu perairan, pada umumnya perhitungan nilai BOD dilakukan dalam 5 hari pada suhu 20°C. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam lingkungan air untuk memecah (mendegradasi) bahan buangan organik yang ada dalam air menjadi karbondioksida dan air. Pemecahan bahan organik mempunyai pengertian bahwa bahan buangan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya yang diperoleh dari proses oksidasi. Nilai BOD yang tinggi berdampak pada penurunan oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) karena bakteri yang ada didalam air akan menghabiskan oksigen terlarut (Rahmawati 2011).

2. Kebutuhan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand*, COD)

COD merupakan gambaran jumlah oksigen total yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non biodegradable*), menjadi CO₂ dan H₂O. Untuk mengetahui jumlah bahan organik di dalam air dapat menggunakan penentuan nilai kebutuhan oksigen kimia (COD) karena pengujian ini dilakukan lebih cepat daripada uji kebutuhan oksigen biologis (BOD) dengan menggunakan reaksi kimia dari suatu bahan organik baik yang dapat didekomposisi secara biologis maupun tidak. Beberapa zat organik tidak dapat mengalami penguraian biologis secara sempurna dengan menggunakan pengujian BOD selama lima hari (BOD₅) sehingga senyawa organik tersebut dapat menurunkan kualitas air. Bakter-bakteri tersebut mengoksidasi zat organik menjadi CO₂ dan H₂O, sehingga melalui reaksi kimia kalium dikromat dapat mengoksidasi lebih banyak sehingga menghasilkan nilai Cod yang lebih tinggi dibanding dengan BOD dalam ujian perairan yang sama (Sasongko 2006).

Sistem dinamis menurut Muhammadiyah (2001), adalah suatu metodologi untuk memahami adanya permasalahan yang kompleks dengan melibatkan berbagai komponen dan variabel yang saling berinteraksi serta mempunyai sifat dinamis (berubah terhadap waktu).

Untuk menyelesaikan permasalahan sistem dinamik yang menghasilkan skenario kebijakan perlu dilakukan pembuatan model. Berikut menurut Novitasari (2008) tahapan dalam pembangunan model sebagai berikut:

1. Pembuatan konsep dalam diagram sebab akibat (*Causal Loop Diagram*).
2. Pembuatan model diagram sistem dinamik (*Stock and Flow Diagram/ SFD*).
3. Formulasi matematis
4. Simulasi.
5. Verifikasi dan Validasi.
6. Penyusunan skenario kebijakan.

METODE PENELITIAN

Banyaknya lahan pemukiman serta tingkat kepadatan penduduk yang tinggi di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) mengakibatkan timbulnya berbagai masalah diantaranya adalah meningkatnya sumber pencemaran limbah domestik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas air sungai berdasarkan pada perilaku masyarakat sekitar daerah aliran sungai (DAS) Pegirian Desa Ujung Surabaya Utara dan membuat model dinamik yang menyatakan hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air Sungai Pegirian.

Variabel penelitian ini terdiri dari variabel bebas yaitu: Curah hujan, Debit aliran sungai, Suhu sungai, Tingkat pertumbuhan penduduk, Kebutuhan oksigen biologis, Kebutuhan oksigen kimia. Sedangkan variabel terikat, yaitu; kualitas air sungai Pegirian Ujung Surabaya

Pengumpulan data diperoleh dari perilaku pemukim di sekitar Sungai Pegirian, pembuangan limbah domestik (rumah tangga), keadaan Kelurahan Ujung,

Penelitian ini menggunakan metode sistem dinamik untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Penelitian ini menghasilkan 3 skenario kebijakan yang dapat memperbaiki kualitas air Sungai Pegirian di Kelurahan Ujung yaitu pengusuran rumah sekitar aliran sungai, pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob dengan Media Batu Split serta Pembuatan jamban di setiap rumah serta pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob dengan Media Batu Split.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan ini dilakukan untuk menganalisa model sistem dinamik dalam pemodelan kualitas air Sungai Pegirian.

Konseptualisasi Model

Konseptual model dilakukan dengan tujuan untuk memberikan gambaran sistem secara umum mengenai simulasi yang akan dilakukan.

Konseptual model ini akan dilakukan dengan pembatasan model *big picture mapping* (BPM), pembuatan diagram *input output*, pembuatan *causal loop diagram* serta pembuatan *stock and flow diagram*. Pembatasan terhadap model ini dilakukan agar dalam pembahasan yang dilakukan tidak keluar dari fokus penelitian.

a) *Big Picture Mapping* (BPM)

Gambar 1. *Big Picture Mapping*

Gambar diatas merupakan *big picture mapping* pemodelan kualitas air sungai atau gambaran yang memperlihatkan bahwa fokus penelitian ini adalah terletak pada limbah domestik akibat banyaknya lahan permukiman di sekitar daerah aliran sungai (DAS) yang menyebabkan meningkatnya kadar BOD dan COD, perbaikan kualitas sungai dilakukan dengan kerjasama antar berbagai pihak yaitu perilaku masyarakat yang baik serta disertai kebijakan pemerintah yang berkelanjutan.

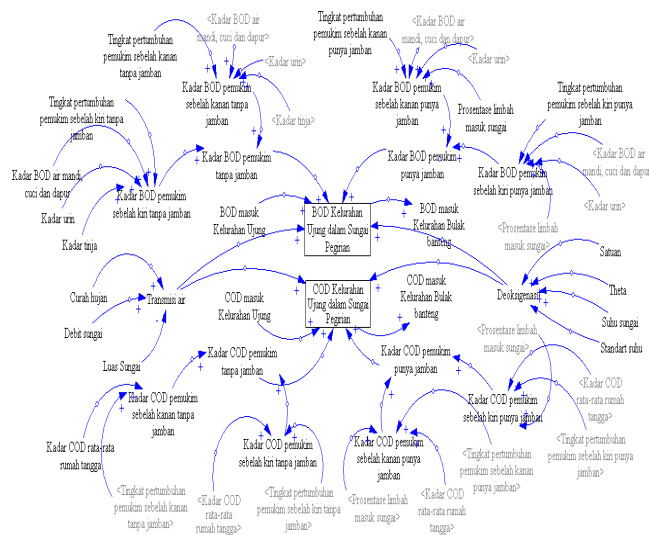
b) *Input Output Diagram*

Gambar 2. *Input Output Diagram*

Penyusunan *input output diagram* dilakukan untuk menggambarkan secara sistematis apa saja yang merupakan inputan pemodelan kualitas air sungai serta outputnya.

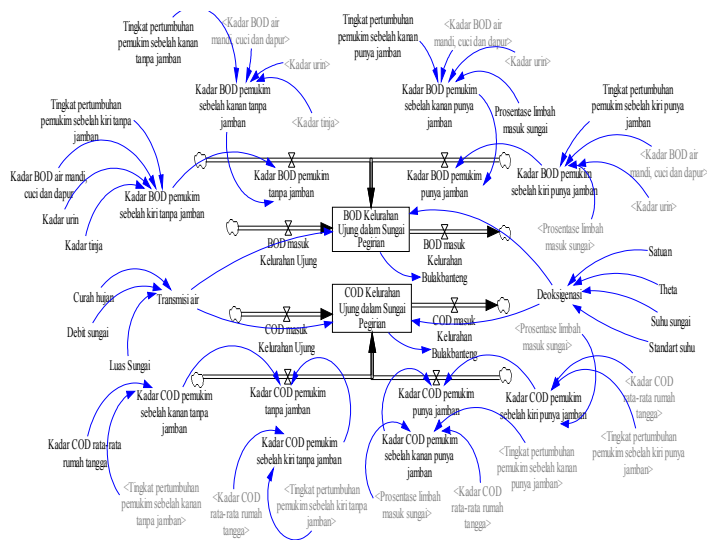
c) *Causal Loop Diagram*

Pada *Causal Loop Diagram* ini menggambarkan Variabel tersebut mempunyai hubungan keterkaitan antara satu dengan lain yang berupa hubungan sebab akibat (*feedback*).



Gambar 3. *Causal Loop Diagram*

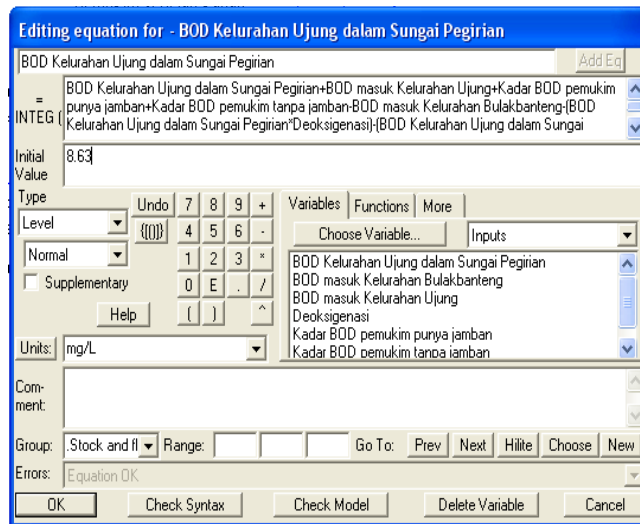
d) Stock and Flow Diagram



Gambar 4 .Stock and Flow Diagram

Formulasi Model

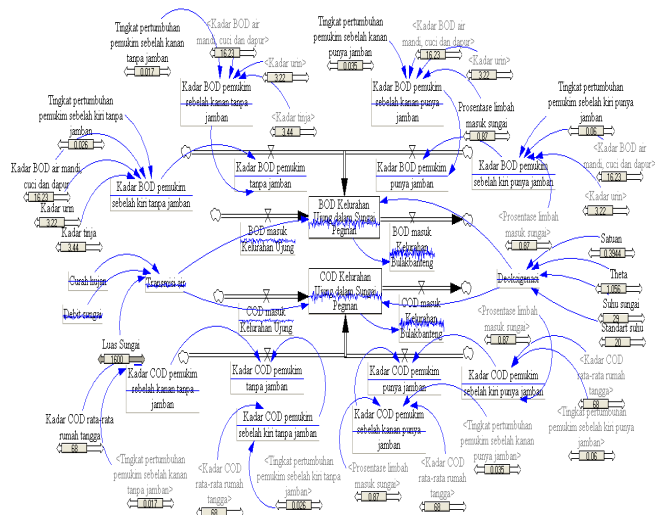
Model dapat dilakukan simulasi setelah tahapan pembuatan *stock and flow* diagram yang kemudian dilakukan penyusunan formulasi matematis. Formulasi matematis dilakukan dengan cara memasukkan keterkaitan atau interaksi antar variabel secara matematis.



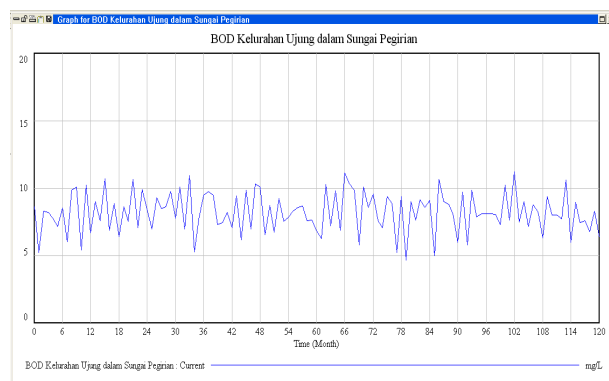
Gambar 5. Formulasi model kadar BOD

Simulasi Software Vensim

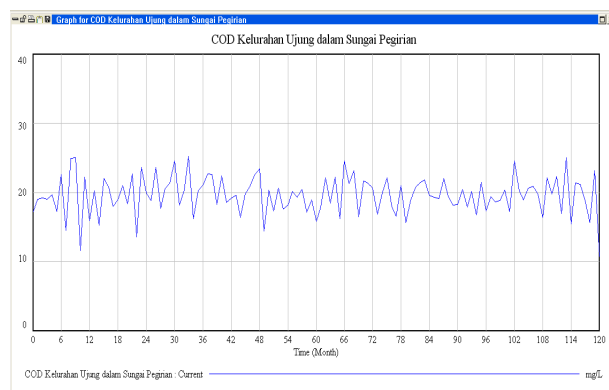
Simulasi model dibangun dengan menggunakan *software* Vensim. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat perilaku dari sistem yang telah dibuat. Simulasi ini dilakukan dengan memasukkan nilai matematis pada variabel yang telah disesuaikan dengan sistem nyata. Pada tahanan awal akan dimulainya simulasi perlu didefinisikan terlebih dahulu satuan waktu yang digunakan selama simulasi, pada simulasi ini menggunakan *setting* satuan waktu bulan (*month*).



Gambar 6. Hasil simulasi *stock and flow diagram*



Gambar 7. Hasil simulasi kadar BOD Kelurahan Ujung dalam Sungai Pegirian



Gambar 8. Hasil simulasi kadar COD Kelurahan Ujung dalam Sungai Pegirian

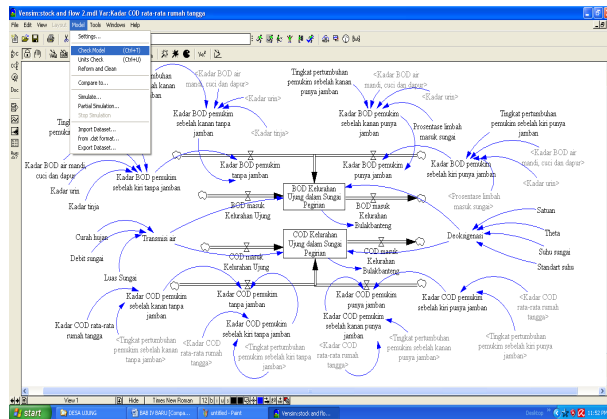
Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi dan validasi model ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji apakah model *error* atau tidak serta untuk membandingkan struktur model berdasarkan perilakunya

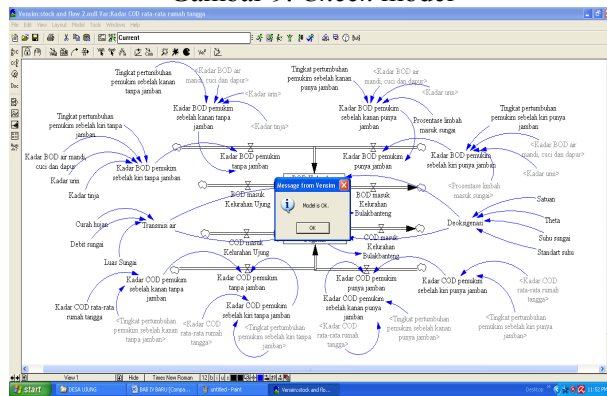
dengan struktur dan perilaku sistem pada keadaan sebenarnya (sistem nyata) sehingga dapat dikatakan bahwa model mampu mewakili sistem nyata.

Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan apakah model yang dibuat sudah berjalan sesuai dengan persepsi pembuatan model. Tahap ini dilakukan dengan cara memeriksa formulasi (equations) serta memeriksa satuan (unit) pada variabel.



Gambar 9. Check model



Gambar 10. Verifikasi model

Validasi Model

Validasi model merupakan tahap pengujian terhadap model untuk melihat apakah model sudah mampu mewakili atau menggambarkan sistem nyata. Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan nilai rata-rata dan perbedaan varians antara hasil simulasi dengan kondisi aktual sistem. Tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95%. Validasi menggunakan hipotesis awal (H_0) dan hipotesis tandingan (H_1) sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_d = \mu_0 \quad (\text{tidak ada perbedaan data})$$

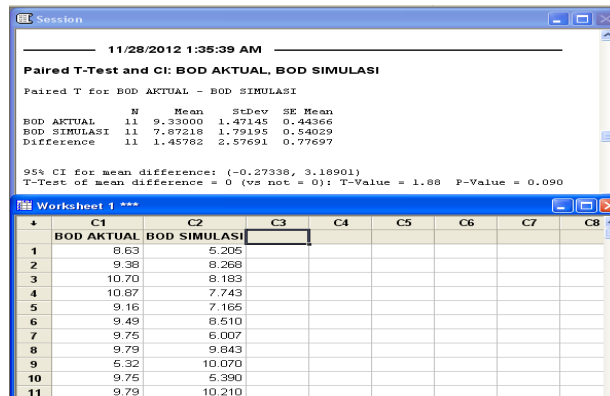
$$H_1 : \mu_d \neq \mu_0 \quad (\text{terdapat perbedaan data})$$

1. Validasi nilai BOD Kelurahan Ujung dalam Sungai Pegirian

Berikut ini adalah tabel aktual dan hasil simulasi nilai BOD Kelurahan Ujung dalam Sungai Pegirian.

Tabel 1 data aktual dan hasil simulasi nilai BOD Kelurahan Ujung

Bulan	Aktual	Simulasi
Januari	8.63	5.205
Februari	9.38	8.268
Maret	10.70	8.183
April	10.87	7.743
Mei	9.16	7.165
Juni	9.49	8.510
Juli	9.75	6.007
Agustus	9.79	9.843
September	5.32	10.070
Oktober	9.75	5.390
November	9.79	10.210

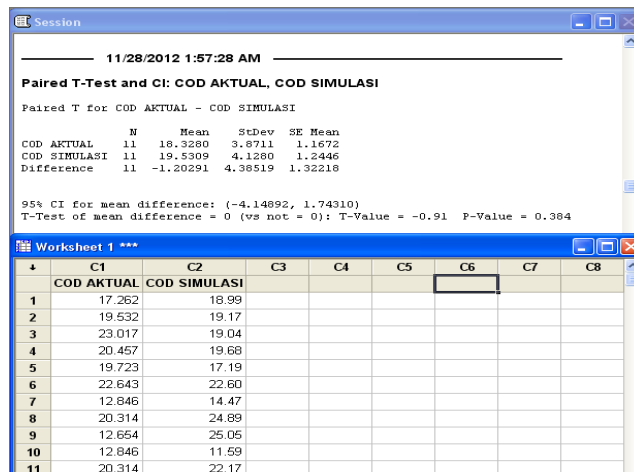


Gambar 11. Hasil *running* validasi BOD menggunakan *software* Minitab Berdasarkan hasil output dari *software* Minitab diperoleh nilai P-value sebesar 0,90. Karena nilai P-value > $\alpha = 0,05$, maka H_0 diterima sehingga dapat dikatakan bahwa rata-rata hasil antara nilai aktual dengan hasil simulasi tidak terdapat perbedaan secara signifikan.

- Validasi Validasi nilai BOD Kelurahan Ujung dalam Sungai Pegirian Berikut ini adalah tabel aktual dan hasil simulasi nilai BOD Kelurahan Ujung dalam Sungai Pegirian.

Tabel 2 data aktual dan hasil simulasi nilai COD Kelurahan Ujung

Bulan	Aktual	Simulasi
Januari	17.262	18.99
Februari	19.532	19.17
Maret	23.017	19.04
April	20.457	19.68
Mei	19.723	17.19
Juni	22.643	22.60
Juli	12.846	14.47
Agustus	20.314	24.89
September	12.654	25.05
Oktober	12.846	11.59
November	20.314	22.17



Gambar 12. Hasil *running* validasi BOD menggunakan *software Minitab*

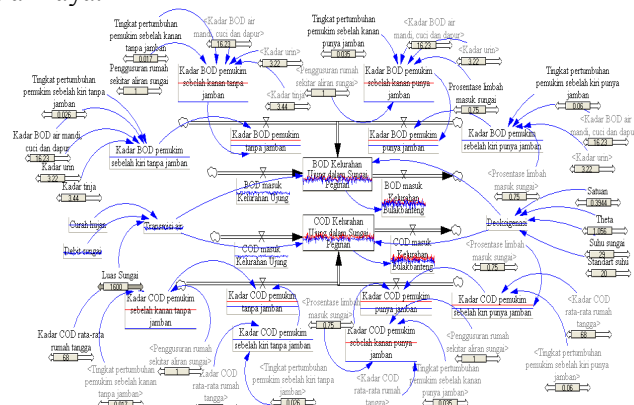
Berdasarkan hasil output dari *software Minitab* diperoleh nilai *P-value* sebesar 0,384. Karena nilai *P-value* $> \alpha = 0,05$, maka H_0 diterima sehingga dapat dikatakan bahwa rata-rata hasil antara nilai aktual dengan hasil simulasi tidak terdapat perbedaan secara signifikan. Berdasarkan pengujian validasi diatas dapat diketahui bahwa nilai *P-value* kadar BOD Kelurahan Ujung dalam Sungai Pegirian dan nilai *P-value* kadar COD Kelurahan Ujung dalam Sungai Pegirian lebih besar ($>$) sama dengan $= 0,05$ sehingga dapat dikatakan bahwa data kedua hasil simulasi diatas sudah valid.

Analisa Skenario Kebijakan

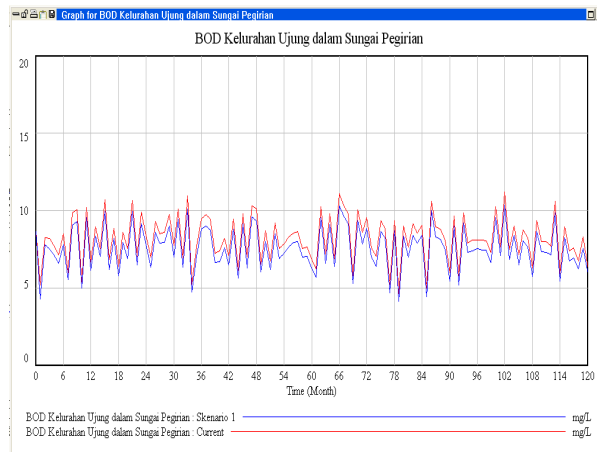
Analisa skenario kebijakan ini dilakukan untuk melihat masing-masing variabel yang berpengaruh serta melihat perbedaan antara hasil skenario dengan logika aktual (*current*). Berikut ini merupakan analisa skenario kebijakan dari masing-masing kebijakan.

1. Skenario 1 (penggusuran rumah sekitar aliran sungai)

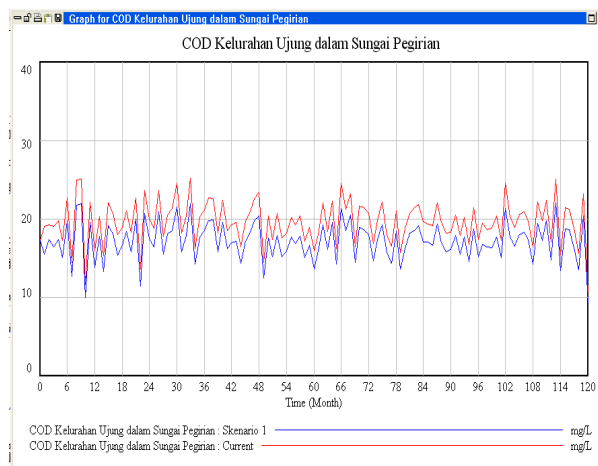
Penggusuran rumah sekitar aliran sungai ini dilakukan untuk mengurangi beban pencemaran yang masuk ke sungai akibat tingkat pertumbuhan yang semakin bertambah. Skenario penggusuran rumah ini dilakukan di rumah-rumah sebelah kanan Kelurahan Ujung sekitar Sungai Pegirian karena permukiman sebelah kanan sungai ini relatif lebih sedikit dibandingkan dengan rumah yang berada di sebelah kiri Sungai Pegirian serta berbatasan langsung dengan jalan raya.



Gambar 13. *Stock and flow diagram* skenario1



Gambar 14. Grafik BOD Kelurahan Ujung Sungai Pegirian Skenario 1

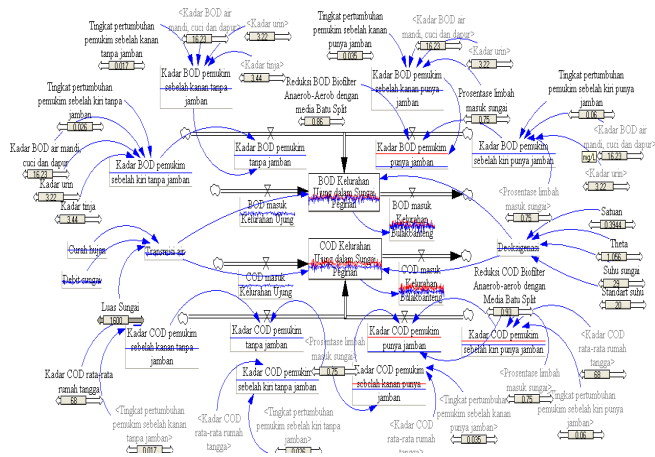


Gambar 15. Grafik COD Kelurahan Ujung Sungai Pegirian Skenario 1

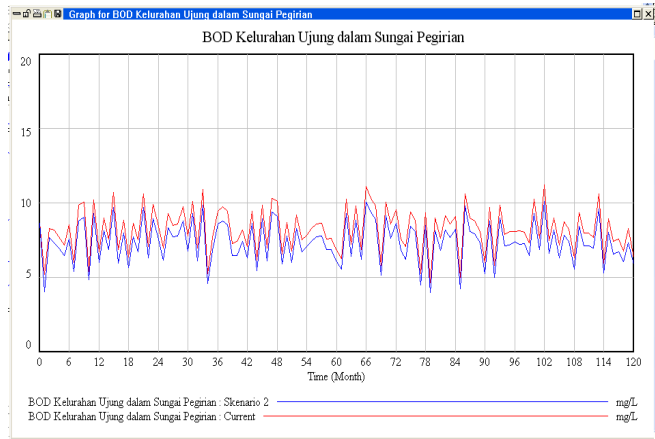
Penurunan kadar BOD pada skenario 1 ini berkisar antara 7 % - 22% serta penurunan kadar COD berkisar antara 4% - 22%. Pada skenario ini nilai kadar BOD rata-rata adalah 7,59 mg/L dan kadar COD rata-rata adalah 17,11 mg/L. Skenario 1 ini menyebabkan penurunan kadar BOD dan COD serta membuat kualitas air sungai ini

2. Skenario 2 (Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob Dengan Media Batu Split)

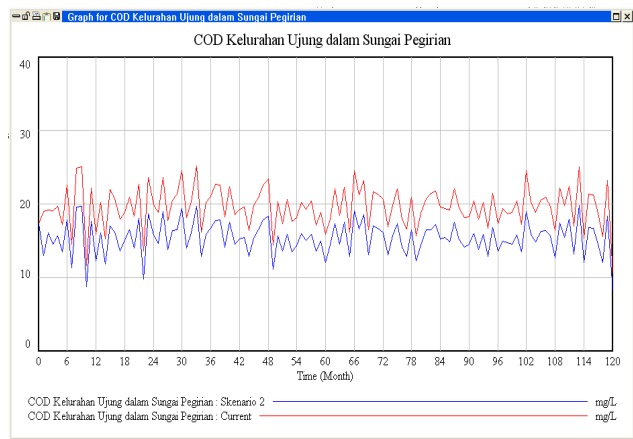
Air limbah rumah tangga yang akan diolah dikumpulkan dari beberapa rumah dengan cara mengalirkan melalui pipa PVC. Jenis air limbah yang diolah yakni seluruh air limbah rumah tangga yang berasal dari air bekas cucian, buangan dapur, buangan kamar mandi dan buangan tinja. Air limbah dialirkan ke alat pengolahan melalui lubang pemasukan (inlet) masuk ke ruang (bak) pengendapan awal. Selanjutnya air limpasan dari bak pengendapan awal air dialirkan ke zona anaerob. Selanjutnya air limpasan dari zona anaerob ke dua mengalir ke zona aerob melalui lubang (weir). Air limbah yang ada di dalam bak pengendapan akhir tersebut disirkulasikan ke zona anaerob pertama, sedangkan air limpasan dari bak pengendapan akhir tersebut merupakan air hasil olahan dan keluar melalui lubang pengeluaran selanjutnya masuk ke bak kontaklor khlor. Selanjutnya air limpasan dari baka kontaklor dibuang ke saluran umum.



Gambar 16. Stock and flow diagram skenario2



Gambar 17. Grafik BOD Keluaran Ujung Sungai Pegirian Skenario 2



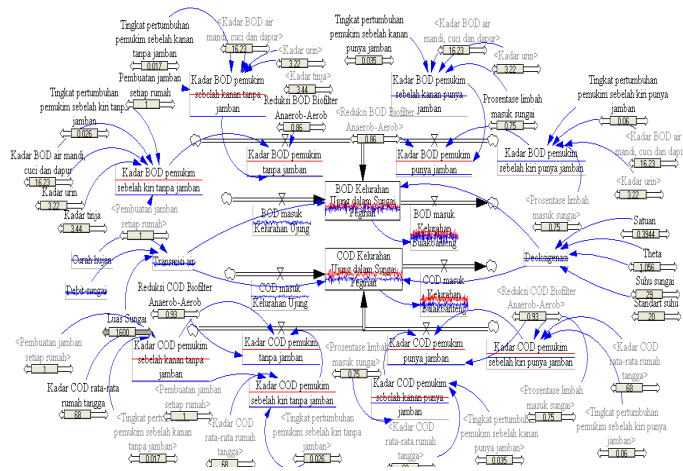
Gambar 18. Grafik COD Keluaran Ujung Sungai Pegirian Skenario 2

Penurunan kadar BOD pada skenario 2 ini berkisar antara 8% - 29% serta penurunan kadar COD berkisar antara 15% - 46%. Pada skenario ini nilai kadar BOD rata-rata adalah 7,34 mg/L dan kadar COD rata-rata adalah 15,36 mg/L. Skenario 2 ini menyebabkan penurunan

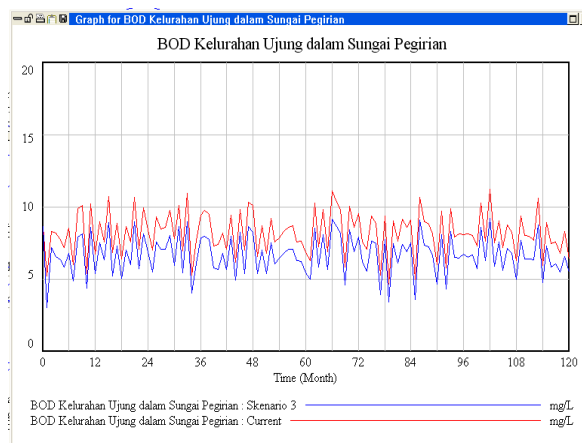
kadar BOD dan COD serta membuat kualitas air sungai ini berada pada mutu air kelas tiga (III) yaitu kadar BOD < 12 mg/L serta COD < 100 mg/L.

3. Skenario 3 (Pembuatan jamban di setiap rumah serta pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob Dengan Media Batu Split)

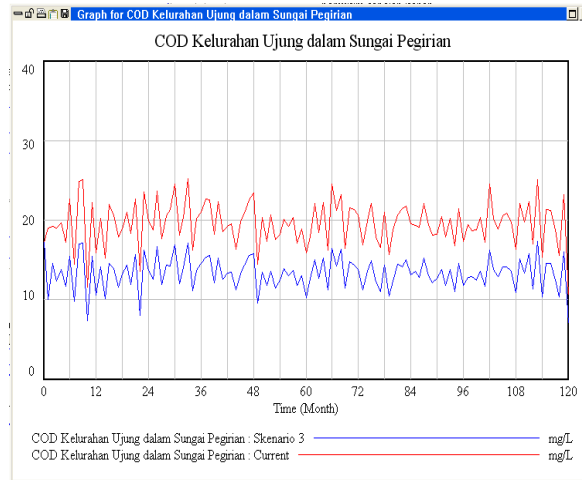
Pembuatan jamban di setiap rumah ini dilakukan agar limbah rumah tangga masuk melalui jamban terlebih dahulu sebelum masuk ke sungai. Sebelum masuk ke sungai limbah rumah tangga dalam jamban tersebut di salukan ke ipal domestik, oleh sebab itulah di buat ipal domestik. Pembuatan ipal domestik individual biofilter anaerob-aerob dengan media batu split ini dilakukan untuk mengolah kembali limbah rumah tangga dari masing-masing rumah. Proses pada ipal domestik individual biofilter anaerob-aerob dengan media batu split ini sama seperti skenario 2.



Gambar 19. Stock and flow diagram skenario3



Gambar 20. Grafik BOD Kelurahan Ujung Sungai Pegirian Skenario 3



Gambar 21. Grafik COD Kelurahan Ujung Sungai Pegirian Skenario 3

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil observasi lapangan dan pengambilan data pada pihak terkait dapat diketahui bahwa kualitas air Sungai Pegirian di Kelurahan Ujung berada pada kelas IV akibat perilaku masyarakat sekitar yang masih buruk serta banyaknya permukiman di sekitar yang daerah aliran sungai yang memberikan kontribusi limbah domestik (rumah tangga) lebih besar.
2. Model dinamik pada pemodelan kualitas air sungai ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah tingkat pertumbuhan penduduk, curah hujan, debit aliran sungai, luas daerah aliran sungai, suhu sungai, *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD).
3. Dari data yang diperoleh dengan faktor-faktor yang mempengaruhi air Sungai Pegirian kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* Vensim yang dapat diketahui tingkat pencemaran untuk 120 bulan mendatang. Kualitas air sungai masih berada pada kelas IV apabila perilaku masyarakat sekitar masih buruk.
4. Dari hasil penelitian di dapat 3 skenario kebijakan yang dapat memperbaiki kualitas air Sungai Pegirian di Kelurahan Ujung yaitu pengusuran rumah sekitar aliran sungai, pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob Dengan Media Batu Split serta Pembuatan jamban di setiap rumah serta pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob Dengan Media Batu Split. Dari ketiga skenario tersebut skenario ketiga yaitu pembuatan Ipal Domestik Individual Biofilter Anaerob-Aerob Dengan Media Batu Split dapat mereduksi kadar BOD sebesar 15% - 71% serta kadar COD sebesar 32% - 88%.

DAFTAR PUSTAKA

- Muhammadi, E. A. d. B. S. (2001). Analisis Sistem Dinamis. Jakarta.
- Novitasari, R. (2008). "Mampukah Kebijakan Pergulaan Nasional Meningkatkan Perolehan Pendapatan Petani Tebu : Sebuah Penghampiran Dinamika Sistem."
- Pemerintah, P. (Nomor 82 Tahun 2001). Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Pemerintah Kota, S. (2012). Bentang Alam Surabaya. P. K. Surabaya. Surabaya.
- Pemerintah Kota, S. (2012). Profil Kabupaten / Kota Surabaya. S. Pemerintah Kota. Surabaya: 1-18.

- Pradhana, D. A. (2009). "Analisa Kebijakan Pasokan Gas Bagi Pemenuhan Kebutuhan Industri Pupuk Nasional : Sebuah Pendekatan Sistem Dinamik."
- Rahmawati, D. (2011). Pengaruh Kegiatan Industri Terhadap Kualitas Air Sungai Diawak Di Bergas Kabupaten Semarang Dan Upaya Pengendalian Pencemaran Air Sungai. Program Studi Ilmu Lingkungan. Semarang, Universitas Diponegoro.
- Sasongko, L. A. (2006). Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk Di Sekitar Sungai Tuk Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya (Studi Kasus Kelurahan Sampangan Dan Bendan Ngisor Kecamatan Gajah Mungkur Kota Semarang). Semarang, Universitas Diponegoro. Program Pasca Sarjana
- Wijaya, H. K. (2009). Komunitas Perifiton Dan Fitoplankton Serta Parameter Fisika-Kimia Perairan Sebagai Penentu Kualitas Air Di Bagian Hulu Sungai Cisadane, Jawa Barat. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan. Bogor, Institut Pertanian Bogor. Skripsi.

CLUSTERING PROGRAM STUDI TEKNIK DENGAN *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS* (DEA)

Joni Mustofa, Budi Santoso
Teknik Industri FTI-UPNV Jatim
e-mail: iyonakajoni@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan perangkingan dan pengclusturan tiap-tiap Program Studi Teknik di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur (UPNV Jatim) yang efisien, memberikan arahan rujukan perbaikan kepada Program Studi Teknik yang tidak Efisien. di UPNV Jatim.

Variabel terikat yang diteliti adalah perangkingan dan tingkat efisiensi masing-masing Program Studi Teknik yang ada di UPNV Jatim.

Variabel bebas yang diteliti antara lain adalah : Jumlah mahasiswa putus kuliah, Kapasitas kelas, Lama Waktu Studi, Jumlah Mahasiswa Baru, Jumlah Pengajar, Jumlah mahasiswa yang lulus dengan $IPK \geq 3,5$, Jumlah SKS, Jumlah dosen yang mendapat penelitian, Jumlah Laboratorium

Dari pengolahan data dapat dilihat bahwa semua DMU memiliki nilai Efisiensi relative sebesar 1,000000 ($TE=1$) dan perangkingan untuk 7 Program Studi Teknik (*DMU*) yang berada di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jatim adalah Program Studi Teknik Informatika, Program Studi Teknik Sipil, Program Studi Teknik Lingkungan, Program Studi Teknik Industri, Program Studi Teknik Arsitektur, Program Studi Teknik Kimia, Program Studi Teknik Pangan dan Program Studi Sistem Informasi.

Kata Kunci : *Data Envelopment Analysis* (DEA), Efisiensi Relatif, perangkingan.

PENDAHULUAN

Universitas Pembangunan Nasional (UPN) “Veteran” Jawa Timur, sebagai salah satu Perguruan Tinggi Swasta menghadapi kenyataan bahwa di UPN sendiri khususnya Program Studi teknik masih sering terjadi permasalahan diantaranya adanya jumlah mahasiswa yang putus kuliah, kapasitas kelas yang melebihi dari target yang ideal, lamanya waktu studi yang melebihi dari 4 tahun, jumlah mahasiswa baru yang belum sesuai dengan target Program Studi, kurangnya jumlah pengajar yang tidak sesuai dengan rasio mahasiswa, masih banyaknya mahasiswa yang lulus dengan $IPK \leq 3,5$, meningkatkan nilai nilai akreditasi, kurangnya jumlah dosen yang mendapat penelitian di tiap Program Studi serta jumlah laboratorium yang masih kurang sebagai penunjang proses pendidikan.

Efisiensi Dan Efektivitas

Efisiensi adalah perbandingan atau rasio dari keluaran (*output*) dengan masukan (*input*). Efisiensi mengacu pada bagaimana baiknya sumber daya digunakan untuk menghasilkan *output*.

Efektivitas adalah derajat pencapaian tujuan dari system yang diukur dengan perbandingan atau rasio dari keluaran (*output* ktual) yang dicapai dengan keluaran (*output*) standard yang diharapkan.

Produktivitas dan Efisiensi

Berdasarkan Sumanth (1985), produktivitas dan profitabilitas mempunyai pengertian yang hampir sama, yaitu besarnya nilai keluaran dibandingkan terhadap besarnya nilai masukan. Perbedaannya adalah bahwa pada profitabilitas, pengaruh eksternal yang berupa perubahan harga satuan dan biaya satuan masih dimasukkan dalam perhitungan, sedangkan pada produktivitas perubahan tersebut dikeluarkan dan tidak dimasukkan dalam perhitungan.

Oleh Ricard E. Kopelman mendefinisikan produktivitas adalah sebagai rasio yang merefleksikan bagaimana cara memanfaatkan sumber daya-sumber daya yang ada secara efisien untuk menghasilkan keluaran/ *output*.

Model Matematis DEA

Data Envelopment Analysis (DEA) dikembangkan sebagai perluasan dari metode rasio teknik klasik untuk efisiensi. DEA menentukan rasio maksimal untuk tiap DMU dari jumlah output yang diberi bobot terhadap jumlah input yang diberi bobot, dengan bobot ditentukan oleh model.

Ada dua dasar model DEA yang dikembangkan oleh ahli antara lain ialah :

- a. *Charnes, Cooper dan Rhodes* (1978) menggunakan teknik *multiple output* dan *multiple input Costant Return to Scale* (CRS) dan pengembangan CRS Model.
- b. *Banker, R., D Charnes, A. dan W. W. Cooper* (1985) memperkenalkan model *Variabel Return to Scale* (VRS).

METODE PENELITIAN

Identifikasi Variabel

Mengidentifikasi variabel adalah mencari dan mengelompokkan variabel yang berhubungan dengan pemecahan masalah. Variabel-variabelnya terdiri dari variabel terikat dan variabel bebas. Dimana variabel-variabel ini berupa data *input* dan data *output*.

1. Variabel terikat yang diteliti adalah tingkat efisiensi masing-masing Program Studi Teknik yang ada di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Variabel bebas yang diteliti antara lain adalah :
 - Variabel *input*
 - a. Jumlah mahasiswa putus kuliah
 - b. Kapasitas kelas
 - c. Lama Waktu Studi
 - Variabel *output*
 - a. Jumlah Mahasiswa Baru
 - b. Jumlah Pengajar
 - c. Jumlah mahasiswa yang lulus dengan $IPK \geq 3,5$

- d. Jumlah SKS
- e. Jumlah dosen yang mendapat penelitian
- f. Jumlah Laboratorium

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi *Decision Making Unit (DMU)*

Setelah dilakukan pemilihan *DMU* terhadap Program Studi Teknik di Universitas Pembangunan Nasional “veteran” Jawa Timur, maka langkah selanjutnya adalah melakukan klasifikasi *Decision Making Unit (DMU)*. Pengkonversian tiap-tiap Program Studi ke dalam *DMU* untuk proses pengolahan data selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Klasifikasi *Decision Making Unit (DMU)*

Program Studi	<i>Decision Making Unit (DMU)</i>
Teknik Kimia	DMU 1
Teknik Industri	DMU 2
Teknik Pangan	DMU 3
Teknik Informatika	DMU 4
Sistem Informasi	DMU 5
Teknik Sipil	DMU 6
Teknik Lingkungan	DMU 7
Teknik Arsitektur	DMU 8

Model Matematis *Data Envelopment Analysis (DEA)*

Model matematis DEA untuk menghitung nilai efisiensi dicontohkan untuk DMU 1, sebagai berikut :

```

MAXIMIZE
EF_DMU 1)
34U1+13U2+144U3+9U4
SUBJECT TO
j_INPUT)
8V1+40V2+4.5V3=1
DMU 1)
34U1+134U2+144U3+9U4-8V1-40V2-4.5V3<=0

```

DMU 2)
 $27U1+15U2+144U3+2U4-30V1-40V2-4.5V3 \leq 0$
DMU 3)
 $13U1+7U2+144U3+4U4-7V1-40V2-5V3 \leq 0$
DMU 4)
 $15U1+40U2+145U3+13U4-25V1-45V2-5V3 \leq 0$
DMU 5)
 $8U1+9U2+145U3+6U4-22V1-45V2-5V3 \leq 0$
DMU 6)
 $12U1+11U2+144U3+3U4-13V1-40V2-5V3 \leq 0$
DMU 7)
 $12U1+11U2+144U3+5U4-9V1-50V2-4.5V3 \leq 0$
DMU 8)
 $13U1+9U2+146U3+2U4-15V1-40V2-4.5V3 \leq 0$
 $U1 \geq 0.000001$
 $U2 \geq 0.000001$
 $U3 \geq 0.000001$
 $U4 \geq 0.000001$
 $V1 \geq 0.000001$
 $V2 \geq 0.000001$
 $V3 \geq 0.000001$
END

Tabel 2. Nilai Efisiensi Relatif (*Technical Efficiency*) DMU

DMU	Nilai Efisiensi Relatif
DMU 1	1,000000
DMU 2	1,000000
DMU 3	1,000000
DMU 4	1,000000
DMU 5	0,718712
DMU 6	1,000000
DMU 7	1,000000
DMU 8	1,000000

Sumber: data diolah menggunakan software lindo

Penentuan *Peer Group*

Tujuan *peer group* dibentuk adalah untuk menentukan arahan perbaikan produktivitas bagi DMU yang tidak efisien (inefisien) dan sebagai salah satu teknik perbaikan origin DEA. Metode yang digunakan disini adalah *Hierarchical Cluster Analysis* dengan *Software SPSS 15.00*, yang memberikan kemudahan dalam pembentukan *cluster*

Tabel 3. Hasil Cluster

Cluster Membership	
Case	4 Clusters
1:DMU_1	1
2:DMU_2	2
3:DMU_3	1

4:DMU_4	3
5:DMU_5	2
6:DMU_6	3
7:DMU_7	2
8:DMU_8	4

Sumber: data diolah menggunakan software spss 15.00

Tabel 5. Target Perbaikan DMU 5

Faktor	DMU 5		
	Aktual	Target DEA CRS Dual	Improvement (% dari nilai Aktual)
Jumlah Mahasiswa putus kuliah	22	14	36,36%
Kapasitas Kelas	45	35	22,22%
Lama Waktu Studi	5	4	20%
jumlah Pengajar	8	8	0
Jumlah Mahasiswa yang Lulus dengan IPK $\geq 3,5$	9	15	66,66%
Jumlah SKS	145	145	0
Jumlah Dosen yang Mendapat Penelitian	6	9	45%

Sumber: data diolah menggunakan software lindo dan perhitungan manual.

Berdasarkan DEA CCR CRS Dual, dapat diketahui bahwa untuk mencapai efisiensi relatif sebesar 1 maka :

Pada DMU 5, *Jumlah Mahasiswa Putus Kuliah* dari 22 dikurangi menjadi 14 (minimasi sebesar 36,36%), *Kapasitas Kelas* dari 45 dikurangi menjadi 35 (minimasi sebesar 22,22%), *Lama Waktu Studi* dari 5 tahun dikurangi menjadi 4 tahun (minimasi sebesar 20%). Sedangkan untuk Output yang perlu ditingkatkan adalah *Jumlah mahasiswa Yang Lulus Dengan IPK >3,5* dari 9 menjadi 15 (maksimasi sebesar 66,66%) dan *Jumlah Dosen Yang Mendapat Penelitian* dari 6 menjadi 9 (maksimasi sebesar 45%) sedangkan nilai *Jumlah Pengajar* dan *Jumlah SKS* tidak mengalami perubahan.

Target Perbaikan dan Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas bertujuan untuk mengetahui sensitivitas atau kepekaan tiap faktor apabila terdapat perubahan nilai efisiensi relatif, Sensitivitas tiap faktor dianalisa secara independent sehingga dapat diketahui pengaruh dari tiap faktor tersebut. Analisa sensitivitas efisiensi relatif dilakukan dengan menggunakan analisa *dual price* model DEA CRS Dual dan nilainya dapat dilihat pada lampiran E.

Tabel 6. Hasil Analisa Sensitivitas DMU 5

Variabel	Nilai <i>Dual price</i>	Peningkatan / Penurunan	Kontribusi Terhadap Efisiensi Relatif	Peningkatan Efisiensi Relatif
Jumlah Mahasiswa putus kuliah	0,000001	0,073392	0,073392	0.829152
Kapasitas Kelas	0,003539	0,048884	0,000173	0,755933

Lama Waktu Studi	0,168141	0,800000	0,134512	0,890272
Jumlah Pengajar	0,000001	0	0	0
Jumlah Mahasiswa yang Lulus dengan IPK $\geq 3,5$	0,000001	0,059994	0,059994	0,815754
Jumlah SKS	0,000001	0	0	0
Jumlah Dosen yang Mendapat Penelitian	0,001677	0,000270	0,000045	0,755805
Total			0,268116	

Sumber: data diolah menggunakan software lindo dan perhitungan manual.

Peningkatan efisiensi relatif DMU 5 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 &= \text{efisiensi relatif DMU 5} + \text{total kontribusi terhadap efisien relatif} \\
 &= 0,755760 + 0,268116 \\
 &= 1,000000
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perbaikan tingkat input dan output sesuai dengan rujukan perbaikan target model DEA CCR CRS Dual, maka nilai efisiensi relatif DMU 5 dapat ditingkatkan dari 0,755760 (tidak efisien) menjadi 1,000000 (efisien).

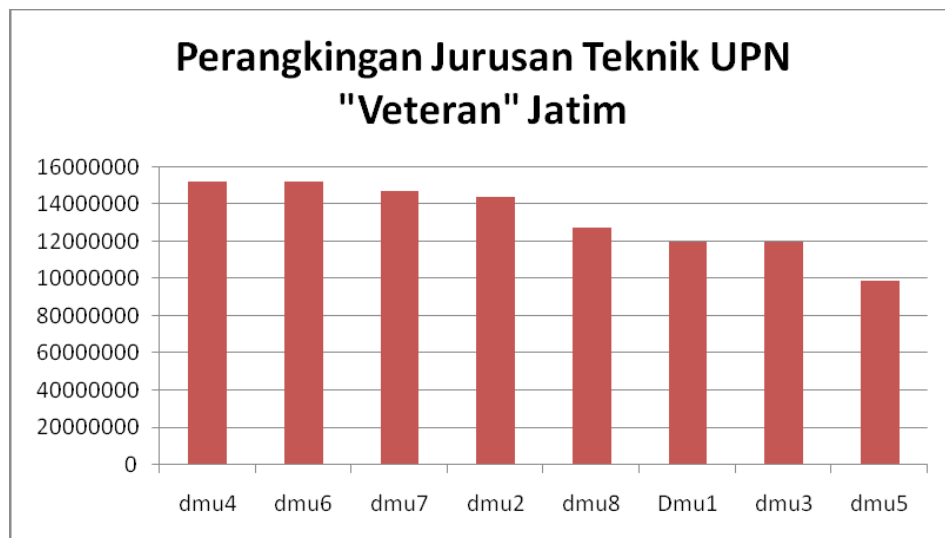
Perangkingan DMU

Perangkingan *DMU* yang efisien, yaitu menentukan urutan *DMU* efisien dari yang pertama, kedua, ketiga dan seterusnya (terbaik sampai terburuk).

Tabel 7. Rangking DMU Efisien

No.	Sebelum Diurutkan		Setelah Diurutkan	
	<i>DMU</i>	<i>Cross-Efficiency</i>	<i>DMU</i>	<i>Cross-Efficiency</i>
1	1	119625019	4	151964308
2	2	143667866	6	151814297
3	3	119328586	7	146646443
4	4	151964308	2	143667866
5	6	151814297	8	127275010
6	7	146646443	1	119625019
7	8	127275010	3	119328586

Sumber: data diolah menggunakan software lindo dan perhitungan manual.



Gambar 1. Perangkingan *DMU*

Keterangan :

- DMU 4 : Teknik Informatika
- DMU 6 : Teknik Sipil
- DMU 7 : Teknik Lingkungan
- DMU 2 : Teknik Industri
- DMU 8 : Teknik Arsitektur
- DMU 1 : Teknik Kimia
- DMU 3 : Teknik Pangan
- DMU 5: Sistem Informasi

Pembahasan

1. Program Studi Teknik yang *efisien* yaitu Program Studi Teknik Informatika, Program Studi Teknik Sipil, Program Studi Teknik Lingkungan, Program Studi Teknik Industri, Program Studi Teknik Arsitektur, Program Studi Teknik Kimia dan Program Studi Teknik Pangan dengan nilai efisiensinya sebesar 1,000000 dan untuk Program Studi Sistem Informasi (0,7097093), dianggap tidak efisien karena nilai efisiensi relatifnya <1.
2. Dari pengcluteraan diatas dapat dianalisa bahwa Program Studi Kimia satu cluster dengan Program Studi Teknik Pangan, Program Studi Teknik Industri satu cluster dengan Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Teknik Lingkungan, Program Studi Teknik Informatika satu cluster dengan Program Studi Teknik Sipil, sedangkan Program Studi Teknik Arsitektur membentuk clusternya sendiri.
3. perangkingan untuk 7 Program Studi Teknik (*DMU*) yang berada di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jatim adalah Program Studi Teknik Informatika, Program Studi Teknik Sipil, Program Studi Teknik Lingkungan, Program Studi Teknik Industri dan Program Studi Teknik Arsitektur, Program Studi Teknik Kimia, Program Studi Teknik Pangan dan Program Studi Sistem Informasi.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang bisa diambil berdasarkan hasil pengolahan dan analisa serta tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Program Studi yang efisien di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur adalah Program Studi Teknik Informatika, Program Studi Teknik Sipil, Program Studi Teknik Lingkungan, Program Studi Teknik Industri, Program Studi Teknik Arsitektur, Program Studi Teknik Kimia dan Program Studi Teknik Pangan karena memiliki nilai efisiensi sebesar 1 atau 100%, dan untuk Program Studi Sistem Informasi (0.718712) dianggap tidak efisien karena nilai efisien relatifnya <1 .
2. Perangkingan untuk 7 Program Studi Teknik yang ada di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang efisien adalah Program Studi Teknik Informatika, Teknik Sipil, Program Studi Teknik Lingkungan, Program Studi Teknik Industri, Program Studi Teknik Arsitektur, Program Studi Teknik Kimia, Program Studi Teknik Pangan dan Program Studi Sistem Informasi. Perangkingan tersebut menunjukkan bahwa Program Studi Teknik Informatika memiliki efisiensi relative terbaik dari keseluruhan Program Studi Teknik yang ada di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, hal ini berarti Program Studi Teknik Informatika menjadi contoh operasi yang baik bagi Program Studi Teknik di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur lainnya.

Dari pengcluteraan diatas dapat dianalisa bahwa Program Studi Kimia satu cluster dengan Program Studi Teknik Pangan, Program Studi Teknik Industri satu cluster dengan Program Studi Sistem Informasi dan Program Studi Teknik Lingkungan, Program Studi Teknik Informatika satu cluster dengan Program Studi Teknik Sipil, sedangkan Program Studi Teknik Arsitektur membentuk clusternya sendiri.

3. strategi perbaikan Program Studi Teknik yang tidak efisien, maka pada Program Studi Sistem Informasi perlu dilakukan perbaikan antara lain:
 - Jumlah Mahasiswa Putus Kuliah dari 22 dikurangi menjadi 14 (minimasi sebesar 57,14%).
 - Kapasitas Kelas dari 45 dikurangi menjadi 35 (minimasi sebesar 22,22%),
 - Lama Waktu Studi dari 5 tahun dikurangi menjadi 4 tahun (minimasi sebesar 20%).
 - Jumlah mahasiswa Yang Lulus Dengan IPK $>3,5$ dari 9 menjadi 15 (maximasi sebesar 66,6%).
 - Jumlah Dosen Yang Mendapat Penelitian dari 6 menjadi 9 (maximasi sebesar 45%).

DAFTAR PUSTAKA

- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984). “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, Management Science, vol. 30, pp. 1078-92.
- Bhat, Ramesh, 1998, “Methodologi Note Data Envelopment Analysis (DEA)”

- Bowlin, William F., "Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA)", Department of Accounting University of Northern Iowa.
- Charnes et al. 1978. *Measuring The Efficiency Of Decision Making Unit. European Journal of Operation Research*, vol 2.
- Charnes, Cooper dan Rhodes (1978) "Measuring The Efficiency Of Decision Making Units", *European Journal Of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.
- Farrel, M. James, Fieldhouse, M; 1962, "Estimating Efficient Production Function Unit Increasing Return To Scale", *Journal Of Royal Statistical Society*, Volume 120.
- Ferdinanta Fendi Akhmad, "Pengukuran Efisiensi Relatif Proses Belajar Mengajar SLTP Negeri Trenggalek Dengan Metode *Data Envelopment Analysis (DEA)* (Studi Kasus SLTP Negeri di Kabupaten trenggalek)", Sarjana Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional "V" Jawa Timur
- N Satrio Juniar. "Pengukuran Efisiensi Proses Belajar Mengajar SLTP Negeri Surabaya Dengan Metode *Data Envelopment Analysis (DEA)* (Studi Kasus SLTP Negeri Di Wilayah Surabaya Selatan)", Sarjana Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
- Pratiwi Indah, Nandiroh Siti dan Miski Atirotul, (2009). "Analisis Efisiensi Distribusi Pemasaran Dengan Pendekatan *Data Envelopment Analysis (DEA)*".
- Santoso, Singgih., Riset Pemasaran, 2002., *SPSS Statistik Multivariat*. Penerbit Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta.
- Sumanth, D. J; 1985, "*Productivity Engineering And Management*".
- S. Singgih, Tjiptono Affandi, 2001, *Riset Pemasaran Konsep dan Aplikasi Dengan SPSS* : hal 74. Penerbit Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta.
- Winati Erny, "Pengukuran Efisiensi Program Studi Dengan Metode *Data Envelopment Analysis (DEA)* Di Fakultas Teknologi Industri Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur", Sarjana Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

