

Minimisasi Laju Alir Air Limbah Pada Unit Pengolahan Dengan Menggunakan Metoda Water Pinch

Ellina S. Pandebesie¹, Tri Widjaya¹, J.C.Liu², dan Renanto¹

¹Jurusan Teknik Kimia, ITS

²Department of Chemical Engineering, NTUST, Taiwan

ellina@its.ac.id

Pada pengolahan limbah konvensional, seluruh air limbah dikumpulkan pada suatu bak penampung, kemudian dialirkan ke unit-unit pengolahan menurut urutan yang telah dirancang. Padahal, bisa saja salah satu aliran air limbah tersebut tidak perlu diolah di suatu unit pengolahan, tapi dapat dibuang langsung ke unit pengolahan selanjutnya, sehingga kapasitas pengolahan masing-masing unit dapat diminimisasi.

Metoda untuk menentukan laju alir minimal dapat digunakan *Water Pinch Analysis*, sedangkan untuk rancangan struktur jaringannya digunakan metoda grid. Langkah awal dilakukan pentargetan laju alir minimum dengan membuat perhitungan beban pencemar dan kemampuan pengolahan untuk meremoval bahan pencemar, kemudian dibuat kurva kompositnya. Dari kurva komposit ditentukan titik pinchnya, kemudian ditarik garis singgung melalui titik tersebut untuk memperoleh laju alir minimum dan konsentrasi maksimum masuk ke unit pengolahan. Setelah diketahui laju alir minimum dilakukan optimasi terhadap struktur jaringan air limbah yang menuju unit pengolahan. Penelitian dilakukan untuk industri amoniak, di mana kontaminan dominannya diukur dengan COD dan parameter NH₃.

Hasil penelitian menunjukkan untuk multi kontaminan dan satu unit pengolahan laju alir minimumnya 49,14 ton/jam atau reduksi sebesar 5,5% dari laju alir maksimumnya sebesar 52 ton/jam. Konsentrasi COD yang ke luar dari Unit Pengolahan sebesar 66,08 ppm, sedangkan konsentrasi NH₃ sebesar 24 ppm. Batasan konsentrasi masuk unit pengolahan dan unjuk kerja unit pengolahan menyebabkan pengolahan air limbah dengan satu unit pengolahan tidak mencapai standar baku mutu yang berlaku, sehingga diperlukan unit pengolahan lanjutan. Pada multi kontaminan dan multi unit pengolahan diperoleh laju alir minimumnya sebesar 26,84 ton/jam atau reduksi sebesar 51,6% dari laju alir maksimumnya sebesar 52 ton/jam pada unit pengolahan I dan sebesar 39,9 ton/jam atau reduksi sebesar 23,3% dari laju alir maksimumnya sebesar 52 ton/jam. Konsentrasi COD yang ke luar dari Unit Pengolahan II sebesar 36 ppm dan konsentrasi NH₃ sebesar 13,86 ppm. Hasil ini sudah memenuhi baku mutu air limbah.

Kata kunci: minimisasi, *water pinch analysis*, pengolahan air limbah

Minimization Wastewater Flowrates in Single Unit Treatment By Water Pinch Analysis

In a conventional wastewater treatment, all waste streams are collected in a sump pond and directed to the designated wastewater treatment unit. Actually, a wastewater stream is not necessarily required to be treated in specific process when its quality and quantity as its concentration and flowrate are already low. That wastewater can directly bypass to other unit process.

A method which was called Water Pinch Analysis to determine the minimum flowrate was applied in this investigation. Initially a target of minimum flowrate was made including composite curve. Afterward, a pinch point was located and its tangent to the curve was drawn to get maximum concentration of the waste entering the wastewater treatment unit.

The result showed that for multi contaminant and one treatment unit, a minimum flowrate of 44.14 ton per hour was found or a reduction of 5.5% from its maximum flowrate of 52 ton per hour. An output concentration of 66.08 ppm at the wastewater treatment was obtained, which is above the tolerance limit. Multi contaminant and multi treatment unit showed flowrate reduction 51.6% of Unit Treatment I and 23.3% of Unit Treatment II. Effluent concentration 36 ppm COD and 13.86 ppm NH₃. This results below industry wastewater standard.

Key words: minimization, water pinch analysis, wastewater treatment

1 PENDAHULUAN

Latar belakang

Metoda konvensional pengolahan air limbah industri dilakukan dengan cara mengumpulkan seluruh aliran air limbah di bak penampung, kemudian dialirkan ke unit-unit pengolahan yang telah ditentukan. Pengolahan konvensional ini hanya memindahkan masalah dengan mengubah dari suatu fasa ke fasa lain (Smith, 1995), di mana hasil pengolahan seperti lumpur, memerlukan pengolahan lebih lanjut, yang pengolahannya bisa saja lebih rumit dan memerlukan biaya yang lebih mahal. Di samping itu, seiring dengan peningkatan kapasitas produksi, kapasitas air limbah yang dibuang ke lingkungan juga akan terus meningkat. Sehubungan dengan hubungan yang linier antara kapasitas pengolahan air limbah dan biaya pengolahannya, maka peningkatan kapasitas pengolahan akan meningkatkan biaya pengolahan. Pada gilirannya, peningkatan kapasitas ini juga akan menimbulkan masalah beban lingkungan, karena beban limbah yang dibuang ke alam tidak dapat dipulihkan secara sempurna. Agar tercapai keberlanjutan proses industri, sudah saatnya menggunakan kembali hasil pengolahan air limbah, sehingga seminimal mungkin membebani alam.

Mulai tahun 1994, Wang dan Smith memperkenalkan metoda disain untuk pemakaian kembali/*reuse* air proses semaksimal mungkin. Prinsipnya, efluen dari suatu unit proses digunakan kembali pada unit proses lainnya, selama proses berikutnya masih dapat menerima konsentrasi efluen dari proses sebelumnya dan laju alir minimal ke unit proses tersebut juga terpenuhi. Pendekatan yang dibuat berupa metoda grafis, dengan menerapkan analogi teknologi *pinch* pada jaringan penukar panas. Kurva komposit yang dibentuk, merupakan kurva antara massa vs konsentrasi kontaminan. Kurva yang terbentuk akan membentuk konkaf, di mana titik terendah dari konkaf merupakan titik pinchnya. Kemudian ditarik garis singgung melalui titik pinch, garis singgung ini tidak boleh memotong kurva komposit. Seluruh area di bawah garis singgung ini merupakan area *feasible*, di mana semakin curam garis singgung yang dibuat, semakin minimal laju alir yang diperlukan. Garis singgung ini merupakan garis kebutuhan air minimal.

Kemudian metoda ini dikembangkan untuk distribusi air limbah pada unit pengolahan untuk meminimasi laju alir yang masuk ke unit pengolahan. Pendekatan yang digunakan juga metoda grafis, di mana dari kurva komposit yang terbentuk ditentukan titik pinchnya. Kemudian ditentukan garis pengolahan minimalnya, yaitu garis singgung yang melalui titik pinch. Sehubungan dengan laju alir berbanding lurus dengan kapasitas pengolahan air limbah, maka reduksi laju alir akan mereduksi kapasitas pengolahan sama besarnya.

Kuo dan Smith (1997) mengembangkan disain distribusi air limbah untuk satu kontaminan dan satu unit pengolahan, serta multi kontaminan dan multi pengolahan dengan metoda *water pinch*. Metoda *water pinch* digunakan untuk mendistribusikan air limbah, berapa yang harus masuk ke unit pengolahan dan berapa laju alir yang dapat dibypass langsung ke unit pengolahan selanjutnya atau dibuang langsung ke badan air penerima. Strategi yang digunakannya untuk aliran dengan konsentrasi di atas titik pinch seluruhnya masuk ke unit pengolahan, konsentrasi aliran pada titik pinch sebagian diolah dan untuk konsentrasi di bawah titik pinch dapat dibuang langsung ke badan air atau unit pengolahan berikutnya.

Untuk meminimisasi air limbah diperlukan metoda yang spesifik, karena berdasarkan fakta di lapangan tidak semua operasi merupakan proses perpindahan masa, seperti keperluan air untuk air pendingin dan *steam*. Karena tidak seluruh sumber air limbah mempunyai konsentrasi kontaminan yang tinggi, maka dapat dilakukan pendistribusian air limbah. Untuk meminimisasi produksi air limbah dapat digunakan *water pinch analysis* dan model matematika (Argaez et.al 1998).

Huang, Yang dan Lou (2000) menggunakan pendekatan NLP untuk sintesa integrasi jaringan pemakaian air dan pengolahan limbah. Model yang dikembangkan Huang ini dapat menyelesaikan metoda *water pinch* yang diintegrasikan dengan pendekatan matematis. Pada tahun yang sama penelitian pada pabrik tapioka dengan menggunakan metoda *mass exchanged networks* (MENs) dan teknik optimasi non linier programming (NLP) untuk mengelola pemakaian air dan air

limbah. Pada penelitian ini, diasumsikan hanya satu kontaminan yang dominan, yang dinyatakan dalam besaran COD. Hasil penelitiannya menunjukkan dapat menurunkan pemakaian air sebesar 13,22% (Srinophakun et.al, 2000).

Bagajewicz dan Savelski (2001) memperkenalkan formula LP untuk memperoleh hasil yang optimal untuk satu kontaminan dan seri MILP untuk merancang beberapa alternatif jaringan air. Ujang et.al (2002) melakukan penelitian untuk meminimasi kebutuhan air industri dengan menggunakan metoda *Water Pinch Analysis*. Studi ini menunjukkan bahwa pendekatan regenerasi dan *reuse* dapat efektif memaksimalkan pemakaian kembali air limbah sebesar 50%.

Lovelady (2005), melakukan penelitian dengan pendekatan transfer massa. Penelitian ini mempertimbangkan juga elemen yang tidak bereaksi dalam proses. Semakin meningkatnya pemakaian air kembali, atau sistem sebagian atau seluruhnya tertutup, akan menghasilkan akumulasi elemen-elemen yang tidak ikut dalam proses. Elemen ini antara lain Al, Si, K, Cl, Mg, Mn, *suspended solid*, padatan terlarut dan polutan lainnya. Hal ini akan menyebabkan korosi meningkat, penyumbatan, *scaling* dan deposit. Hal ini harus ikut dipertimbangkan dalam merancang jaringan air. Model matematika dan strategi alokasi diselesaikan dengan program Lingo. Dalam penelitiannya dikembangkan konsep proses integrasi pada pabrik pulp dan kertas sampai strategi optimal operasional dan kontrolnya.

Pemakaian kembali efluen di samping mereduksi kebutuhan air juga sangat ramah lingkungan. Hal ini akan mereduksi biaya investasi, operasi dan pemeliharaan sehubungan dengan pembelian sumber air dan pengolahan air limbah. Tetapi untuk mencapai *zero liquid discharge* dengan kemurnian sesuai dengan kebutuhan operasi, dibutuhkan biaya retrofit yang besar (Savelski et.al, 2003). Menurut Bagajewicz (2000) *zero liquid discharge* tidak mungkin untuk dilaksanakan, karena diperlukan biaya yang sangat besar, karena kualitas yang harus dicapai sangat tinggi. Zamora et.al (2004) mengembangkan metoda optimasi untuk distribusi efluen air limbah dengan menggunakan metoda optimasi global. Metoda ini dapat menyelesaikan masalah jaringan

yang kompleks secara simultan, sehingga diperoleh hasil yang *robust* untuk berbagai skenario rancangan jaringan air.

Pada penelitian ini akan dilakukan aplikasi metoda *water pinch* pada industri amoniak, di mana kontaminan dominan yang diteliti adalah COD dan NH_3 dan dua unit pengolahan. Batasan yang diaplikasikan adalah efisiensi removal unit pengolahan dan konsentrasi efluen harus memenuhi baku mutu air limbah yang berlaku.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah meminimasi laju alir efluen yang harus diolah dengan menggunakan metoda *Water Pinch Analysis* dan merancang struktur jaringan distribusi efluen.

2 METODA DAN BAHAN

2.1 Pengumpulan Data dan Identifikasi Konstrain

Secara umum, penelitian akan dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder dari pabrik/lapangan, kemudian dilakukan analisis aliran air limbah untuk mendistribusikan air limbah ke unit-unit pengolahan. Analisis dilakukan dengan metoda *water pinch* dan hasilnya digunakan untuk merancang struktur jaringan air limbahnya. Data yang dikumpulkan antara lain:

- Neraca air
- Sumber air limbah, laju alir masing-masing aliran dan konsentrasi kontaminan masing-masing aliran.
- Efisiensi pengolahan setiap unit pengolahan

Identifikasi konstrain dilakukan untuk semua unit pengolahan, berapa konsentrasi kontaminan maksimum yang boleh masuk unit pengolahan, di mana konsentrasi ini disesuaikan dengan efisiensi pengolahan masing-masing unit pengolahan. Konsentrasi maksimum efluen yang dibuang ke badan air harus sesuai dengan standar baku mutu yang berlaku. Pada penelitian ini,

fluktuasi konsentrasi kontaminan yang akan diolah dibatasi oleh konsentrasi maksimum yang diijinkan masuk ke unit pengolahan.

2.2 Analisis Laju alir Air Limbah Minimal (*Wastewater Targeting*)

Pendekatan *pinch analysis* digunakan untuk menentukan laju alir air limbah minimal yang harus masuk ke unit pengolahan. Analisis dilakukan dengan membuat kurva komposit yang terbentuk dari konsentrasi vs *mass pickup* (mc). Dari kurva komposit ini ditentukan titik pinchnya. Penentuan titik pinch pada satu unit pengolahan dengan menetapkan titik terendah pada kurva komposit. Titik pinch akan menunjukkan besaran mc dan konsentrasi, sehingga laju alir minimal dapat dihitung. Sebagai batasan pada penentuan konsentrasi maksimum yang dapat masuk ke unit pengolahan adalah konsentrasi efluen yang sama dengan standar baku mutu air limbah dan efisiensi pengolahan unit pengolahannya. Sebagai contoh, jika konsentrasi efluen maksimum 50 ppm dan efisiensi pengolahannya 0,7, maka konsentrasi maksimum yang masuk ke unit pengolahan adalah 167 ppm. Unjuk kerja proses pengolahan efluen biasanya ditentukan dengan rasio removalnya (Smith, 2005) sebagai berikut:

$$R = \text{massa kontaminan yang dihilangkan (removed)} / \text{massa kontaminan masuk} \quad (1)$$

$$R = (mw_{in} \cdot C_{in} - mw_{out} \cdot C_{out}) / mw_{in} \cdot C_{in} \quad (2)$$

di mana : R = rasio removal

mw_{in} , mw_{out} = laju alir inlet dan outlet (ton/jam)

C_{in} , C_{out} = konsentrasi inlet dan outlet (ppm)

Karena pada umumnya tidak terjadi perubahan laju alir masuk dan ke luar, maka persamaan di atas menjadi :

$$R = (C_{in} - C_{out}) / C_{in} \quad (3)$$

Hubungan *mass pickup*, *mass flowrates* dan konsentrasi dinyatakan sebagai berikut:

$$mc = mw \cdot \Delta C \quad (4)$$

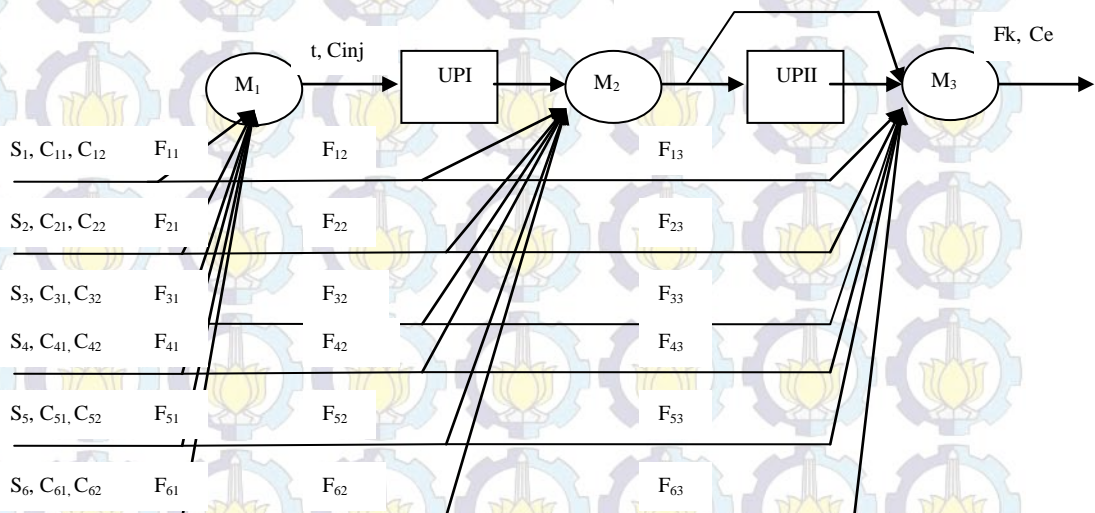
di mana: $m_c = \text{mass pick-up contaminant (g/jam)}$

$m_w = \text{laju alir (ton/jam)}$

$\Delta C = \text{perbedaan konsentrasi inlet dan outlet (ppm)}$

2.3 Rancangan Superstruktur untuk Aliran Air Limbah Minimum

Superstruktur adalah salah satu cara untuk menghubungkan berbagai struktur dalam jaringan. Analisis secara grafis dengan berbagai kondisi batas dibuat sebelum dilanjutkan dengan desain jaringan air. Hasil yang diperoleh dari metoda *water pinch* digunakan untuk merancang struktur jaringan air limbahnya dengan diagram grid. Untuk mendapat rancangan yang optimum, konsentrasi efluen yang dibuang ke badan air harus memenuhi standar baku mutu air limbah. Rancangan struktur jaringan distribusi air limbah yang mungkin terjadi dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1: Konfigurasi Superstruktur Distribusi Air Limbah ke Unit Pengolahan

Keterangan gambar:

S₁ : Aliran air limbah 1

$$S_1 = F_{11} + F_{12} + F_{13}$$

$$t = F_{out}$$

F_{11} : Aliran air limbah 1 yang mungkin masuk ke Unit Pengolahan

F_{12} : Aliran air limbah 1 yang mungkin dapat dibypass

C_{11} :Konsentrasi Kontaminan 1 air limbah 1

C_{12} :Konsentrasi Kontaminan 2 air limbah 1

M : pencampuran aliran

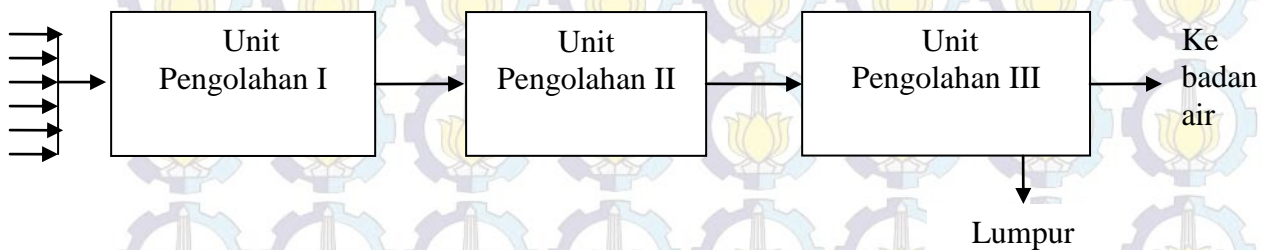
UP : Unit Pengolahan

C_e : Konsentrasi efluen memenuhi baku mutu

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting instalasi pengolahan air limbah yang akan ditinjau dapat dilihat pada Gambar 2. Ada 6 sumber air limbah yang masuk ke Unit Pengolahan I (UPI), di mana seluruh aliran sumber air limbah langsung masuk ke Unit pengolahan I.



Gambar 2 : Diagram Alir Unit Pengolahan Air Limbah

Karakteristik masing-masing air limbah bervariasi dari konsentrasi tertinggi sebesar 400 ppm dan terendah 100 ppm. Setelah melalui Unit Pengolahan, konsentrasi kontaminan yang terdapat di dalam air limbah hasil pengolahan yang dapat dibuang ke badan air (C_{out}) harus memenuhi standar baku mutu air limbah, di mana untuk parameter COD ditetapkan sebesar 50 ppm dan NH_3 sebesar 20 ppm. Secara rinci, karakteristik air limbah dapat dilihat pada Tabel 1. Dari UPI, air limbah dialirkan ke Unit Pengolahan II (UPII), kemudian diendapkan di Unit Pengolahan III (UPIII). Lumpur dibuang ke bak pengolah lumpur dan efluennya dapat dibuang ke badan air. Karakteristik masing-masing unit pengolahan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1: Data Aliran Air Limbah

Aliran	NH ₃		COD		Laju Alir (ton/jam)
	C _{in} (ppm)	C _{out} (ppm)	C _{in} (ppm)	C _{out} (ppm)	
1	98	20	400	50	10
2	95	20	250	50	5
3	70	20	210	50	10
4	68	20	180	50	12
5	80	20	120	50	5
6	50	20	100	50	10

Tabel 2: Karakteristik Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	Efisiensi Pengolahan (R)	
	NH ₃	COD
1 Unit Pengolahan I	0,7	0,7
2 Unit Pengolahan II	0,7	0,7
3 Unit Pengolahan III	0,3	0,3

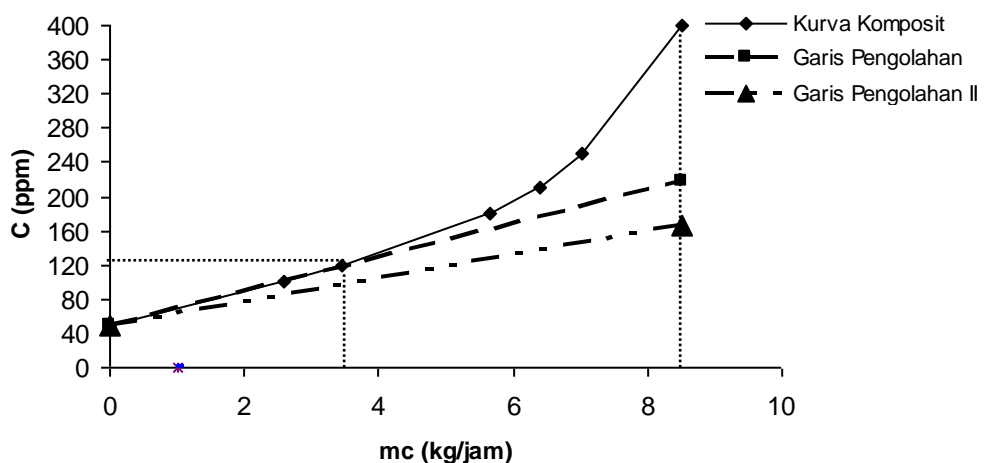
Pada penelitian ini, air limbah akan mengalami pemisahan/*splitting* ataupun pencampuran/*mixing*. Air limbah yang harus masuk ke dalam unit pengolahan akan dicampur terlebih dahulu. Jika ada aliran air limbah yang sebagian masuk ke unit pengolahan dan sebagian dapat dialirkan langsung tanpa melalui pengolahan air limbah, maka pada aliran tersebut akan terjadi pemisahan. Kemudian pada titik akhir sebelum air limbah dibuang ke badan air, akan dilakukan pencampuran kembali.

Jika seluruh aliran air limbah dialirkan masuk ke UPI, maka konsentrasi kontaminan COD yang masuk ke UPI menjadi sebesar 213,65 ppm. Jika R sebesar 0,7, maka konsentrasi efluen menjadi 64,1 ppm, di mana ini menjadi konsentrasi aliran air limbah yang masuk ke dalam UPII. Jika R pada UPII sebesar 0,7, maka konsentrasi efluen UPII menjadi sebesar 19,22 ppm, di mana ini menjadi konsentrasi yang masuk ke UPIII. Pada UPIII terjadi pemisahan lumpur dan efluen,

sehingga R pada UPIII ini hanya sebesar 0,3. Konsentrasi efluen yang dibuang ke badan air menjadi sebesar 5,76 ppm. Konsentrasi ini jauh di bawah standar baku mutu yang berlaku. Karena itu, sebenarnya masih ada potensi untuk mereduksi laju alir yang masuk ke UPI, UPII maupun UPIII. Sebagian dari aliran dapat dialirkan langsung tanpa melalui Unit Pengolahan, kemudian dicampurkan kembali dengan efluen hasil pengolahan, untuk dibuang ke badan air. Sebagai konstrainnya, konsentrasi masuk maksimum dan seluruh efluen yang dibuang ke badan air harus memenuhi standar baku mutu air limbah yang berlaku.

3.2 Penentuan Laju alir Minimum Untuk Multi Kontaminan dan Satu Unit Pengolahan

Penentuan target kapasitas minimum dilakukan dengan metoda *water pinch*. Dari Tabel 1 dibuat kurva masing-masing aliran air limbah. Dari kurva individual ini ditentukan interval konsentrasi, untuk membuat kurva kompositnya. Untuk menentukan *slope* masing-masing interval konsentrasi tersebut, dihitung dari kumulatif laju alir pada interval konsentrasi yang ditentukan berdasarkan konsentrasi masuk kontaminan COD (C_{in}). Kemudian dari hasil perhitungan dibuat kurva kompositnya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.

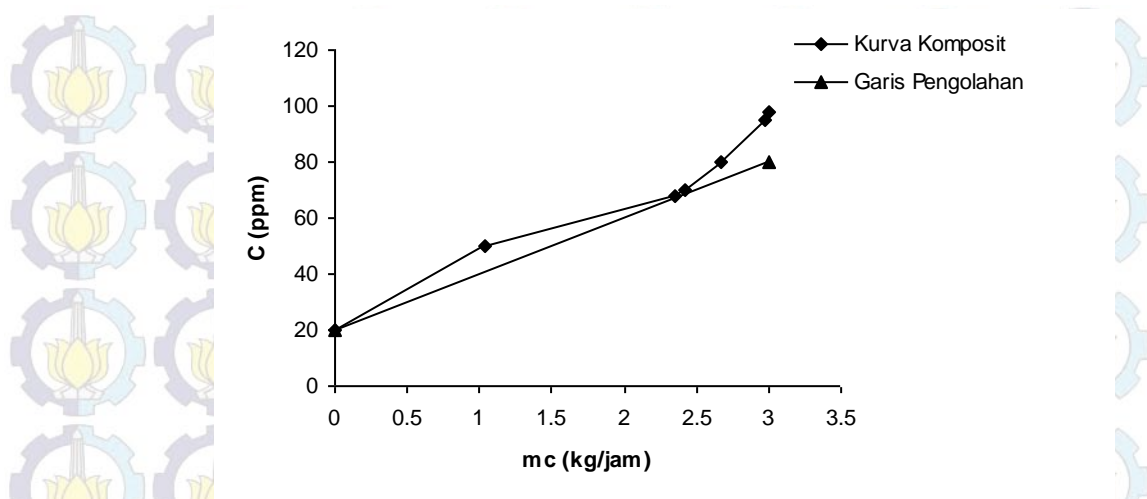


Gambar 3 : Kurva Komposit Parameter COD

Untuk memperoleh laju alir minimal, garis pengolahan yang merupakan garis singgung pada titik pinch dibuat seceram mungkin. Dari garis pengolahan ini diperoleh titik pinch berada pada konsentrasi 120 ppm dan mc sebesar 3,44 ton/jam. Perhitungan dengan menggunakan rumus (4), pada konsentrasi 120 ppm dan mc sebesar 3,44 ton/jam, maka diperoleh $m_{w_{min}}$ sebesar 49,14 ton/jam, atau dapat mereduksi laju alir sebesar 2,86 ton/jam (5,5%) dari laju alir total sebesar 52 ton/jam. Laju alir sebesar 2,86 ton/jam dialirkan langsung tanpa melalui Unit Pengolahan, kemudian dicampurkan dengan efluen unit pengolahan, kemudian dialirkan ke badan air. Kapasitas pengolahan ditentukan oleh waktu tinggal air limbah dalam unit pengolahan dan berbanding lurus dengan laju alir. Karena itu, minimasi laju alir sebesar 5,5% akan mengurangi kapasitas pengolahan sebesar 5,5% juga.

Jika ditarik garis dari konsentrasi 50 ppm melalui titik pinch, maka dari garis pengolahan dapat diketahui konsentrasi maksimum yang diijinkan masuk ke dalam Unit Pengolahan sebesar 218 ppm. Jika R sebesar 0,7, maka konsentrasi efluen hasil pengolahan menjadi 65,4 ppm, di mana hasil ini masih di atas standar baku mutu air limbah yang berlaku. Untuk memperoleh konsentrasi efluen hasil pengolahan sebesar 50 ppm, maka konsentrasi maksimum yang diijinkan masuk ke dalam Unit Pengolahan harus di bawah 218 ppm, atau sebesar 167 ppm, seperti yang ditunjukkan pada garis pengolahan II. Ini berarti, untuk kasus ini tidak terbentuk titik pinch. Jika tidak terbentuk titik pinch, maka seluruh aliran air limbah harus masuk ke unit pengolahan. Jika seluruh air limbah masuk ke unit pengolahan, seperti yang telah dijelaskan di atas, maka konsentrasi efluennya sebesar 64,1 ppm yang juga tidak memenuhi standar baku mutu air limbah.

Batasan konsentrasi masuk unit pengolahan dan unjuk kerja unit pengolahan menyebabkan pengolahan air limbah dengan satu unit pengolahan tidak mencapai standar baku mutu yang berlaku. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan pengolahan lanjutan untuk efluen unit pengolahan tersebut. Hal yang sama dilakukan untuk NH_3 dan hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.



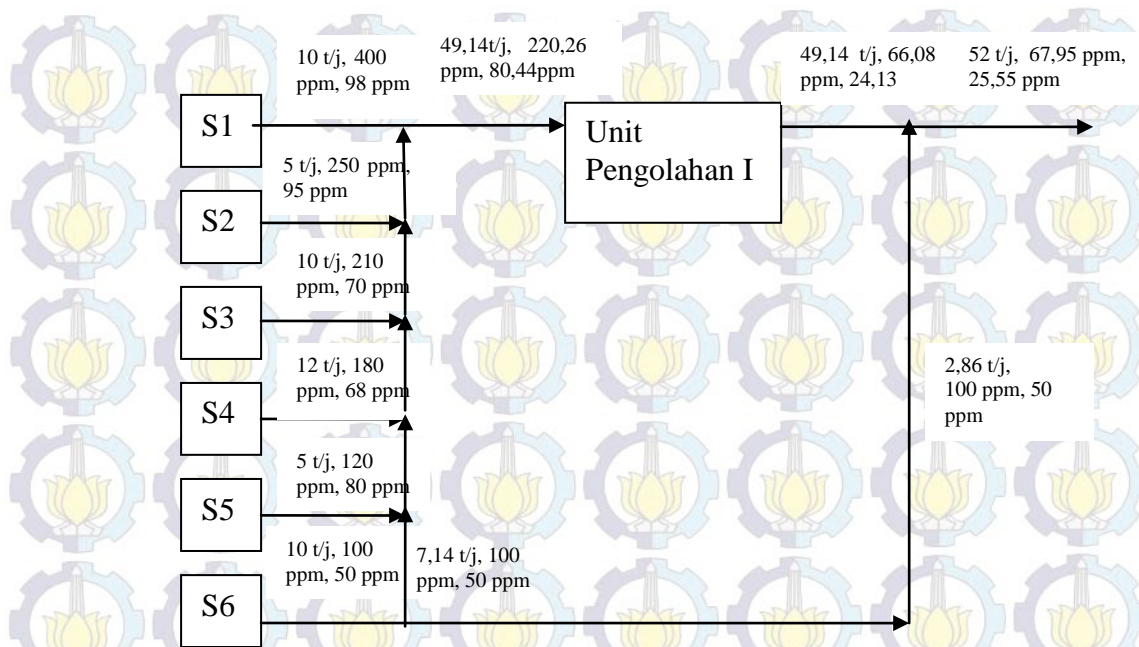
Gambar 4: Kurva Komposit Parameter NH₃

Dari garis pengolahan NH₃ diperoleh titik pinch berada pada konsentrasi 68 ppm dan mc sebesar 2.356 kg/jam. Perhitungan dengan menggunakan rumus (4), maka diperoleh mw_{\min} sebesar 49,08 ton/jam, atau dapat mereduksi laju alir sebesar 2,92 ton/jam (5,6%) dari laju alir total sebesar 52 ton/jam. Konsentrasi masuk maksimum yang ditunjukkan kurva komposit adalah 80 ppm. Jika efisiensi removal unit pengolahan sebesar 0,7, maka konsentrasi efluen menjadi 24 ppm, sedikit di atas baku mutu. Jika ingin meminimasi laju alir ke unit pengolahan I, maka masih diperlukan pengolahan lanjutan untuk mencapai baku mutu air limbah yang diijinkan.

Untuk memenuhi unjuk kerja removal unit pengolahan, maka dipilih laju alir yang lebih besar untuk kebutuhan pengolahan masing-masing parameter pencemar. Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan laju alir pengolahan COD lebih besar dari laju alir pengolahan NH₃, maka laju alir minimal sebesar 49,14 ton/jam.

3.3 Superstruktur Jaringan Aliran Air Limbah Ke Satu Unit Pengolahan

Setelah memperoleh laju alir ke unit pengolahan minimum, selanjutnya adalah bagaimana rancangan strukturnya agar target ini dapat tercapai. Hasil rancangan diperoleh seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5: Rancangan struktur untuk mencapai target efluen minimum

Keterangan Gambar: 10 t/j, 100 ppm, 50 ppm = Laju alir aliran 6, Konsentrasi COD aliran 6 dan Konsentrasi NH₃ aliran 6.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi pengolahan menjadi batasan untuk mencapai target konsentrasi sesuai dengan standar baku mutu air limbah. Ini berarti, untuk mencapai target tersebut diperlukan unit pengolahan lanjutan.

Unit pengolahan dengan proses yang berbeda diperlukan untuk mengolah efluen pada konsentrasi yang tinggi atau efluen mengandung bermacam-macam kontaminan. Di samping itu, biasanya lebih murah mengkombinasikan beberapa unit pengolahan daripada menggunakan satu unit pengolahan saja. Proses UPI tidak dapat diharapkan menurunkan konsentrasi kontaminan sampai standar baku mutu yang berlaku. Kondisi tersebut akan sulit dicapai, apalagi pada umumnya, karakteristik efluen berfluktuasi. Oleh karena itu perlu proses pengolahan lebih lanjut.

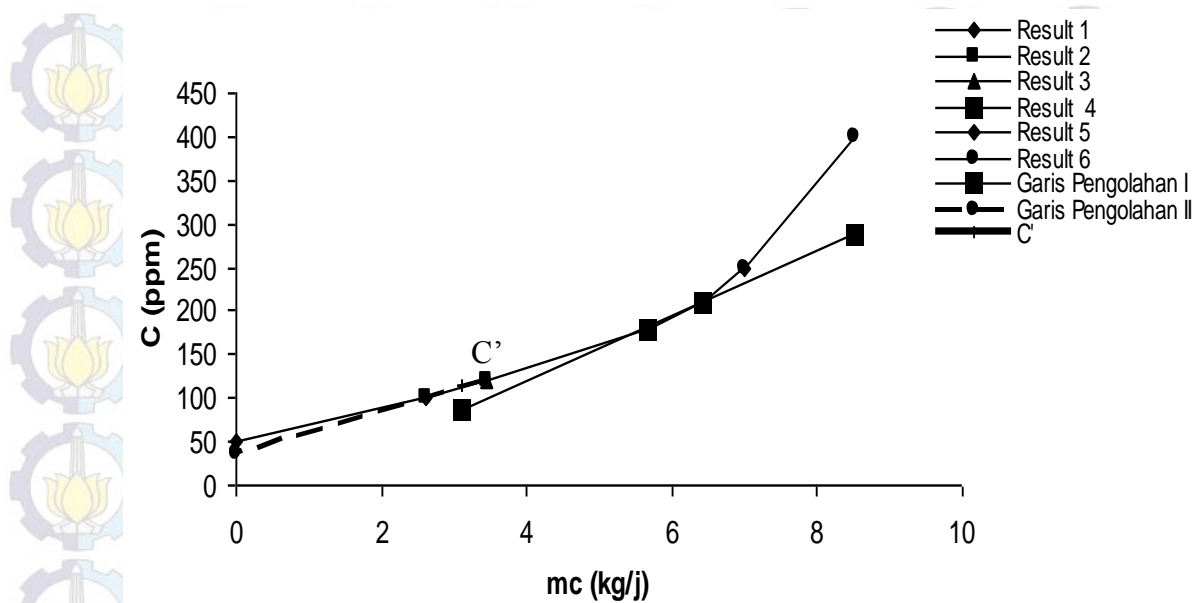
Pada multi proses dapat ditemukan beberapa garis pengolahan. Hal ini terjadi karena keterbatasan efisiensi masing-masing unit pengolahan. Jika konsentrasi efluen suatu unit pengolahan masih di atas baku mutu efluen air limbah, maka masih diperlukan unit pengolahan

lanjutan, begitu seterusnya sampai standar baku mutu dapat dicapai. Setiap garis pengolahan dibuat perbagian yang merupakan garis singgung pada titik terendah masing-masing bagian tersebut, yang tidak boleh memotong kurva komposit. Untuk memperoleh laju alir minimum, garis singgung dibuat securam mungkin. Garis pengolahan secara keseluruhan jika digabungkan tidak boleh memotong kurva komposit

Pendekatan grafis pada pentargetan laju alir air limbah minimum dapat dikembangkan menjadi kurva komposit multi unit pengolahan. Kurva komposit efluen dibagi menjadi dua bagian sesuai dengan unit pengolahan yang ada. Masing-masing garis pengolahan mewakili besaran pengolahan yang dapat dilakukan satu unit pengolahan. Dalam hal ini, unit pengolahan yang dirancang untuk menurunkan kandungan COD dan NH_3 adalah UPI dan UPII.

Kurva komposit diperoleh seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6. Garis pengolahan ditarik pada titik terendah bagian pertama, ditarik sampai konsentrasi yang dapat dicapai unit pengolahan, seperti yang dapat dilihat pada garis pengolahan I. Konsentrasi masuk maksimum pengolahan I sebesar 288 ppm dan jika efisiensi pengolahannya 0,7, maka konsentrasi keluarnya (C_1') sebesar 86,5 ppm. Kemudian ditarik garis pengolahan II. Konsentrasi masuk maksimum ke pengolahan II, adalah konsentrasi campuran efluen dari pengolahan I dan aliran air limbah yang belum diolah. Jika dimasukkan kembali ke dalam grafik, maka garis pengolahan untuk UPI dan UPII dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari Gambar 7 juga dapat dilihat dari titik konsentrasi maksimum garis pengolahan I sampai titik konsentrasi keluar garis pengolahan menghasilkan mc sebesar 5,41 kg/jam. Jika dihitung maka dihasilkan laju alir minimal (mw_{\min}) sebesar 26,84 ton/jam, atau reduksi sebesar 51,6% dari laju alir total sebesar 52 ton/jam. Karena laju alir berbanding lurus dengan kapasitas pengolahan, maka minimasi laju alir ini juga akan mengurangi kapasitas pengolahan sebesar 51,6%.



Gambar 7: Garis Pengolahan pada Dua Unit Pengolahan

Setelah UPI, konsentrasi dan laju alirnya berubah. Jika konsentrasi kontaminan yang akan diolah di UPII merupakan campuran C_1' dan C_4, C_5 serta C_6 yang dibypass dari UP I, maka diperoleh C campuran (C') sebesar 110.6 ppm, di mana konsentrasi ini di bawah kurva komposit dan dari grafik diperoleh nilai mc sebesar 3,1 kg/jam. Jika konsentrasi influen maksimum 110.6 ppm dan efisiensi pengolahan sebesar 0,7, maka konsentrasi efluennya menjadi sebesar 33.3 ppm. Pada mc sebesar 3,1 kg/jam, maka mw minimum diperoleh sebesar 39.9 ton/jam, atau reduksi sebesar 23,3% dari total laju alir sebesar 52 ton/jam.

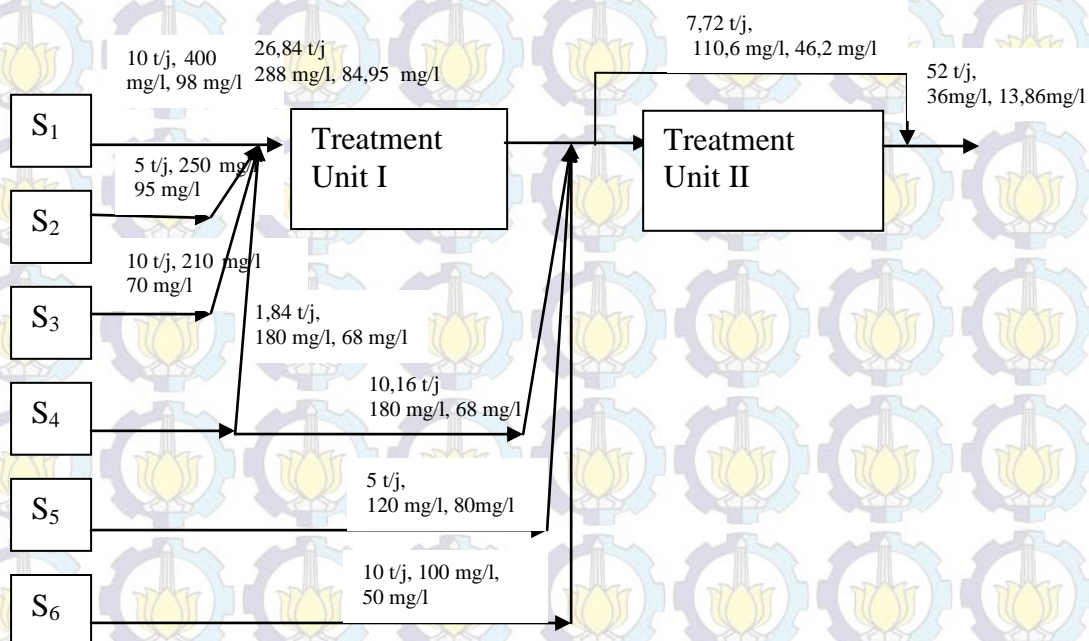
Jika batas maksimum efluen yang dibuang ke badan air yang diijinkan sebesar 50 ppm dan efisiensi pengolahan sebesar 0,7, maka konsentrasi maksimum masuk sebenarnya boleh sebesar 165 ppm. Prinsipnya tetap garis pengolahan tidak boleh memotong kurva komposit. Karena itu garis pengolahan II dapat ditarik melalui titik konsentrasi 120 ppm yang merupakan garis yang paling curam yang tidak memotong kurva komposit. Sekarang konsentrasi masuk maksimum garis pengolahan II menjadi sebesar 120 ppm. Pada efisiensi pengolahan 0,7, maka konsentrasi keluar menjadi 36 ppm. Pada mc sebesar 3,1 kg/jam, maka dihasilkan laju alir minimal (mw_{\min}) sebesar 36,9 ton/jam, lebih kecil dari pada alternatif I, yaitu konsentrasi masuk sebesar 110,6 ppm. Hasil ini

menunjukkan reduksi sebesar 29% dari total laju alir sebesar 52 ton/jam. Untuk parameter NH_3 , jika laju alir yang masuk ke UPI sebesar 26,84 ton/jam, maka konsentrasi masuk UPI menjadi sebesar 84,95 ppm dan konsentrasi efluen 25,48 ppm. Jika laju alir masuk UP II sebesar 39, 9 ton/jam, maka konsentrasi masuk UP II sebesar 46,2 ppm dan konsentrasi keluar menjadi 13,86 ppm. Hasil yang diperoleh jauh di bawah baku mutu air limbah.

Sebenarnya laju alir masih dapat diminimasi sampai batas efluen yang dibuang ke badan air 50 ppm untuk COD dan 20 ppm untuk NH_3 . Kesulitan dari metoda grafis ini adalah diperlukan *trial and error* untuk menghasilkan laju aliran optimal, karena tidak mempertimbangkan batasan konsentrasi efluen yang dapat dibuang ke badan air.

3.2 Superstruktur Multi Kontaminan dan Multi Unit Pengolahan

Setelah memperoleh laju alir pengolahan minimum untuk masing-masing unit pengolahan, dilakukan perancangan struktur jaringan air pendinginnya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8: Superstruktur Multi Kontaminan dan Multi Pengolahan

4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan pada kasus multi kontaminan dan satu unit pengolahan menunjukkan pengurangan laju alir dari 52 ton/jam menjadi 49,14 ton/jam atau sebesar 5,5%. Sehubungan laju alir berbanding lurus dengan kapasitas pengolahan, maka hal ini sama dengan mereduksi kapasitas pengolahan sebesar 5,5%. Konsentrasi kontaminan rancangan yang dibuang ke badan air sebesar 67,95 ppm, di mana angka ini masih melebihi standar baku mutu air limbah. Untuk mencapai batasan standar yang berlaku, diperlukan pengolahan lanjutan.

Untuk rancangan multi kontaminan dan multi pengolahan diperoleh hasil, laju alir yang masuk ke unit Pengolahan I dapat direduksi sebesar 51,6% dan laju alir yang masuk ke Unit Pengolahan II dapat direduksi sebesar 23,3%. Konsentrasi efluen yang dibuang ke bak pengendap untuk COD sebesar 36 ppm dan NH_3 sebesar 13,86 ppm, di mana hasil ini sudah di bawah standar baku mutu air limbah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada DIKTI Departemen Pendidikan Nasional yang telah mendanai penelitian ini dengan No. Kontrak: 037/SP2H/PP/DP2M/2007, tanggal 29 Maret 2007.

DAFTAR PUSTAKA

Alva-Argaez, A., A.C. Kokossis dan R. Smith. 1998. **Wastewater minimisation of industrial systems using an integrated approach**, *Computers Chem. Eng.* Vol. 22, Suppl. pp. S741-S744

Bagajewicz, M. 2000. **A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants**, *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 24 pp.2093–2113

Bagajewicz, M. dan Savelski, M. 2001. **On the use of linear models for the design of water utilization systems in process plants with a single contaminant**, *Trans IChemE*, Vol 79, pp. 600-610.

Kuo, W.C.J dan Smith, R. 1997. **Effluent treatment system design**, *Chemical Engineering Science*, **52**, 4273-4290

Savelski M. J., Anantha P.R. Koppol , Miguel J. Bagajewicz dan Brian J. Dericks. 2003. **On zero water discharge solutions in the process industry**, *Advances in Environmental Research*, Vol.8, 151–171.

Smith, R., 1995. **Chemical Process**, John Wiley and Sons, England

Smith, R., 2005. **Chemical process design and integration**, John Wiley and Sons, England

Srinophakun T, Uthaiporn Suriyaphadilok dan Suvit Tia. 2000. **Water-wastewater management of tapioca starch manufacturing using optimization technique**, *ScienceAsia* Vol. 26, 57-67

Ujang, Z., Wong, C.L dan Manan, Z.A., 2002. **Industrial wastewater minimization using water pinch analysis: a case study on an old textile plant**, *Water Science and Technology*, Vol. 46, pp. 77-84.

Wang, Y. P. and R. Smith. 1994. **Wastewater minimisation**, *Chemical Engineering Science*, Vol. 49, No. 7. pp. 981-1006.

Zamora J.M., R. Hernandez-Suarez dan J. Castellanos-Fernandez, 2004. **Superstructure decomposition and parametric optimization approach for the synthesis of distributed wastewater treatment networks**, *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 43, pp. 2175-2191