

IDENTIFIKASI FENOMENA FISIK *JIG SEPARATION PROCESS* REAKTOR KONTINU

PHYSICAL PHENOMENA IDENTIFICATION OF JIG SEPARATION PROCESS IN CONTINUOUS REACTOR

Alin Adlina¹ dan Benno Rahardyan²

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹syamiim.al@gmail.com dan ²benno@tl.itb.ac.id

Abstrak : Pemisahan limbah plastik yang efektif dinilai penting karena dengan menggunakan jenis resin limbah plastik yang bersih, homogen dapat dihasilkan produk daur ulang yang tertinggi. Masalah homogenitas ini umum dihadapi oleh pendaur ulang di Indonesia, sehingga pihak pendaur ulang umumnya melakukan pemilahan secara manual (*hand sorting*). *Jig Separation Process* adalah salah satu teknik pemisahan material berdasarkan perbedaan densitas melalui pemulsaan vertikal. Beberapa fenomena yang terjadi dalam reaktor kontinu *Jig Separation Process* di antaranya adalah adanya perbedaan perpindahan hidrolis massa fluida dan perpindahan massa solid plastik (*mass flux*), di mana peningkatan *mass flux* sebanding dengan peningkatan akumulasi massa plastik dan homogenitas plastik. Peningkatan waktu *jigging* sebanding dengan peningkatan akumulasi massa plastik dan homogenitas plastik. Ukuran cacahan plastik besar cenderung tertinggal pada zona *jig* dan tidak terpisah menuju zona lain, dan ukuran cacahan terkecil menunjukkan perilaku berbeda dibandingkan dengan ukuran cacahan lain. Homogenitas tertinggi untuk PS pada zona 3 dan PET pada zona 2 secara umum dalam uji coba dicapai pada waktu *jigging* 10 menit, debit 0,000456 m³/s, dan ukuran cacahan 12,7 mm. Perbandingan besaran amplitudo dan debit aliran horizontal mempengaruhi pola pertambahan *mass flux*. Beberapa permasalahan teknis teridentifikasi yaitu akumulasi 33,58%ABS, 62,1%PET umpan tertahan tegangan permukaan air pada zona *jig*, akumulasi 18,91%PS dan 26,03%PET umpan di zona transisi.

Kata kunci: *Jig Separation Process*, homogenitas, *mass flux*, waktu *jigging*, debit, ukuran

1. PENDAHULUAN

Plastik dewasa ini telah menjadi material yang umum digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari kemasan makanan minuman hingga bidang otomotif. Siddique (2008:93) menyebutkan beberapa faktor yang mempengaruhi peningkatan konsumsi plastik yaitu densitas yang rendah, kekuatan, desain yang mudah digunakan, dapat disusun, umur yang panjang, massa ringan, dan biaya yang rendah. Sedangkan Graedel dan Howard-Grenville (2005:303) menyebutkan plastik memiliki berbagai variasi karakteristik fisik yang luas sehingga bisa dimanfaatkan dalam berbagai produk dan aplikasi, seperti kekuatan, kekakuan, opasitas, warna, kekerasan, toleransi terhadap panas, konduktivitas termal dan elektrik, dan lainnya. Karakteristik plastik sangat beragam, plastik dapat menggantikan logam—sehingga plastik disebut *engineered material*—dan ketika dibentuk menjadi serat, dapat menggantikan serat alami seperti sutera dan wol. Di sisi lain, proses biodegradasi bahan plastik berlangsung sangat lambat, sehingga aspek daur ulang dinilai perlu menjadi pertimbangan dalam program manajemen limbah plastik. Baik untuk mereduksi jumlah limbah yang dibuang ke *landfill*, ataupun kontribusi signifikan dalam konservasi bahan baku produk petrokimia dan penghematan energi (Siddique, 2008:99-100 dari EPA, 1991 dan *Office of Solid Waste and Office of Water*, 1990).

Shent, Forssberg, dan Pugh (1999:87) dalam *A Review of Plastics Waste Recycling and the Flotation of Plastics* menyebutkan dalam daur ulang plastik, diperlukan pemisahan

plastik menjadi plastik individual berdasarkan jenis resinnya, yang bertujuan untuk menghasilkan produk plastik daur ulang yang lebih berkualitas, karena beberapa plastik tidak kompatibel saat dilelehkan kembali. Masalah homogenitas atau kemurnian dari bahan baku dari plastik yang akan didaur ulang ini menjadi kendala daur ulang yang sering dihadapi di lapangan, di antaranya karena sistem pemilahan sejak sumber atau *source segregating* belum dilaksanakan secara menyeluruh di Indonesia, sehingga pihak pendaur ulang umumnya melakukan pemilahan secara manual (*hand sorting*). Sedangkan kebutuhan homogenitas atau kemurnian limbah plastik yang akan didaur ulang sangat tinggi mencapai lebih dari kemurnian 95% (Dodbiba, Fujita, 2004:170) untuk menghasilkan produk daur ulang yang berkualitas tinggi. Menurut observasi lapangan Apriyanti di Bandung (2008), pengusaha pemasok limbah plastik untuk usaha daur ulang terkadang mengalami penolakan berkenaan dengan kualifikasi limbah plastik yang tidak memenuhi standar kemurnian plastik atau masih tercampur dengan jenis plastik lain. Peningkatan teknik pemilahan atau pemisahan plastik dinilai dapat mendorong produktivitas daur ulang.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk pemisahan material, di antaranya adalah proses *jigging*. Jig umum digunakan dalam bidang industri pertambangan untuk memisahkan material yang memiliki perbedaan *specific gravity* atau variasi densitas melalui proses osilasi. Dasar jig yaitu pemulsaan air melalui bidang material kasar yang menyebabkan material kasar mengendap sedangkan material ringan dapat melewati bidang, sehingga kedua material dapat dikumpulkan secara terpisah (Rahardyan, 2002:1). *Jig Separation* adalah salah satu metode tertua dalam konsentrasi gravitasi, hingga kini teknologi penyiapan batu bara telah menyebar luas karena *Jig Separation* memiliki presisi pemisahan yang tinggi, hemat biaya, dan laju umpan yang tinggi (Tsunekawa, 2004:68 dari Kelly dan Spottiswood, 1982; Wills, 1992; Buntenschach, 1997). Takakuwa dan Matsumura (1954) telah mengembangkan TACUB Jig untuk pemisahan mekanis yang dapat digunakan untuk pemisahan plastik (Tsunekawa, 2004: 68). Mishra dan Mehrotra (1998:511) menyebutkan stratifikasi partikel dalam Jig dapat dimodelkan dengan Metode Elemen Diskrit berdasarkan mekanika Newton dengan mempertimbangkan gaya yang bekerja pada partikel, efek fluida melalui gaya Buoyant dan gaya gesek. Mishra dan Mehrotra (2001:177) mengembangkan model 3D DEM untuk memprediksi konsentrasi setiap individual partikel.

Kelayakan pemisahan dengan jig diketahui berdasarkan nilai *Concentration Criterion* (CC), yang mempengaruhi waktu pemisahan. Menurut Wills (1979) saat nilai CC lebih besar dari 2,5 pemisahan gravitasi akan lebih mudah, jika nilai CC berkurang maka efisiensi pemisahan juga akan berkurang dan saat nilai CC lebih kecil dari 1,25 maka pemisahan gravitasi tidak direkomendasikan. Pada proses pemisahan, pergerakan materi dipengaruhi oleh gaya gravitasi, gaya gesek, dan gaya Buoyant yang bekerja pada arah atas dan bawah. Semakin besar resultan gaya yang dialami materi berat dan materi ringan sebanding dengan amplitudo yang semakin tinggi, akan mempersingkat waktu pemisahan (Apriyanti, 2008:66-67).

Tsunekawa (2004) berhasil memisahkan limbah plastik [PS (*Polystyrene*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), PET (*Polyethylene terephthalate*)] dari cacahan mesin fotokopi menggunakan TACUB Jig. Efek dari pemulsaan air termasuk amplitudo dan frekuensi terhadap hasil pemisahan telah diteliti untuk umpan yang mengandung ketiga jenis plastik. Hasil yang baik telah diperoleh dalam kondisi yang sesuai. Tingkat kemurnian produk yang dicapai di bagian atas, tengah, dan dasar secara berturut-turut 99,8% PS, 99,3% ABS, dan 98,6% PET (Tsunekawa, 2004: 67) pada kondisi amplitudo 4 cm, frekuensi 10-49 siklus per menit, tinggi sampel 6 cm, dan tinggi air 8 cm (Apriyanti, 2008:66). Apriyanti (2008) meneliti parameter-parameter yang mempengaruhi proses jig dengan menggunakan reaktor *batch*, yaitu jenis materi dan kondisi operasi saat terjadi pergerakan di antaranya frekuensi, amplitudo, nilai *Concentration Criterion* (CC), dan gaya

yang dialami oleh materi. Semakin tinggi amplitudo dan frekuensi maka waktu terjadinya pemisahan semakin singkat. Selanjutnya berdasarkan analisis data regresi multilinear dengan koefisien beta terstandarisasi, diketahui parameter yang mempengaruhi waktu pemisahan untuk mendapatkan pemisahan tercepat adalah ukuran materi dan selanjutnya nilai CC dari campuran materi (Apriyanti, 2008:66).

Prasetiawan (2008) meneliti pengaruh densitas fluida dan peningkatan dimensi reaktor *batch* terhadap proses jig. Pada penelitian pendahuluan diketahui bahwa peningkatan densitas fluida, melalui penambahan larutan Garam Inggris (Magnesium Sulfida), menyebabkan materi plastik memiliki kecenderungan untuk terapung dan terjadinya penurunan kecepatan endap (V_s). Melalui variasi densitas fluida diketahui bahwa efisiensi pemisahan materi plastik meningkat hingga mencapai 47% dan dapat mempersingkat waktu pemisahan hingga mencapai ± 30 detik (Prasetiawan, 2008:V.1-V.2). Hori, Tsunekawa, Hiroyoshi, dan Ito (2009:105) menyebutkan penurunan amplitudo dan frekuensi sebanding dengan peningkatan homogenitas produk di lapisan atas dan lapisan bawah, dengan bentuk gelombang trapezoidal dengan reaktor *batch*. Pada kondisi pemulsaan tinggi yaitu amplitudo atau frekuensi tinggi, terobservasi adanya *drifting* dan *channeling* pada aliran *upstream* sehingga stratifikasi dan kualitas homogenitas produk akan menurun.

Reaktor aliran kontinu yang dapat menambah umpan tanpa menunggu sesi *batch* selesai dinilai lebih praktis untuk diaplikasikan di lapangan usaha daur ulang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi fenomena fisik yang terjadi selama proses *jigging* dan parameter operasi yang mempengaruhi efisiensi proses *jigging* dalam reaktor kontinu dengan menggunakan desain reaktor kontinu eksisting Prasetiawan (2008) dan identifikasi kendala teknis desain reaktor tersebut, dengan demikian hal ini dapat menambah informasi dalam pengembangan reaktor kontinu selanjutnya.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3, *Workshop* dan *Greenhouse* Teknik Lingkungan ITB.

2.1 Tahapan Persiapan

Persiapan meliputi kegiatan survei lapangan dan penyiapan sampel untuk proses Jig. Survei lapangan dilakukan ke usaha daur ulang skala bandar besar di Sariwangi-Cimahi dan Bojong Soang, hal ini bertujuan untuk observasi sistem klasifikasi plastik, proses dan tahapan pengolahan plastik, serta observasi proses pemilahan manual (*hand sorting*) dari aspek investasi infrastruktur, tenaga kerja, dan lainnya. Survei juga dilakukan ke Laboratorium Pengolahan Bahan Galian program studi Metalurgi bertujuan untuk observasi penerapan reaktor Jig.

Penyiapan sampel meliputi, penyediaan tiga jenis plastik resin PET, ABS, dan PS yang telah dicacah. Cacahan plastik dibedakan berdasarkan distribusi ukurannya melalui *Sieve Analysis ASTM Standard Test Sieve* menggunakan saringan ukuran *mesh* 12,7 mm, 9,5 mm, 6,5 mm, 4,75 mm, dan 2 mm. Untuk memudahkan identifikasi sampel masing-masing ukuran cacahan plastik hasil *Sieve Analysis* diwarnai dengan *aerosol spray paint* yang berbeda warna. Setiap jenis resin dan ukuran plastik dicari densitasnya dengan metode selisih volume kemudian digunakan dalam perhitungan nilai *Concentration Criterion* (CC) dari campuran plastik untuk menentukan matriks komposisi campuran plastik yang dapat dijig.

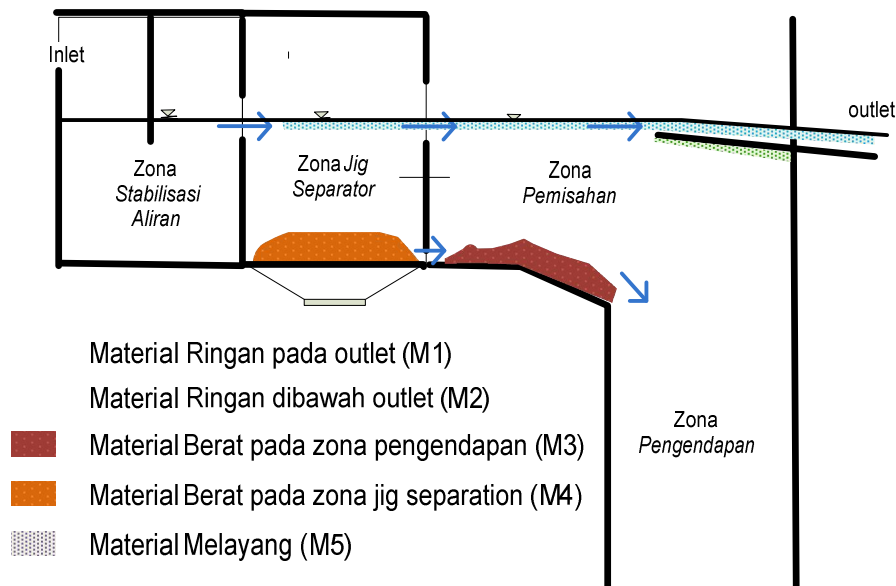
2.1 Tahapan Pengoperasian Jig Reaktor Kontinu

Operasi *jigging* dalam reaktor kontinu dilakukan untuk mengidentifikasi fenomena dan mencari hubungan beberapa parameter operasi terhadap homogenitas plastik yang terpisah ke dalam empat zona reaktor. Variasi parameter operasi meliputi, variasi waktu *jigging*, variasi debit aliran fluida, dan variasi ukuran cacahan plastik terhadap homogenitas plastik di keempat zona, hal ini dilakukan pada kondisi operasi amplitudo, frekuensi, densitas fluida, dan laju umpan material plastik yang telah ditentukan. Penentuan homogenitas plastik didasarkan atas pemisahan manual materi hasil *jigging* berdasarkan jenis resin plastik serta perbandingan berat kering plastik sebelum dan setelah proses *jigging* di setiap zona. Kemudian dilakukan kuantifikasi terhadap permasalahan teknis yang terjadi selama proses *jigging* untuk desain pengembangan reaktor kontinu selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

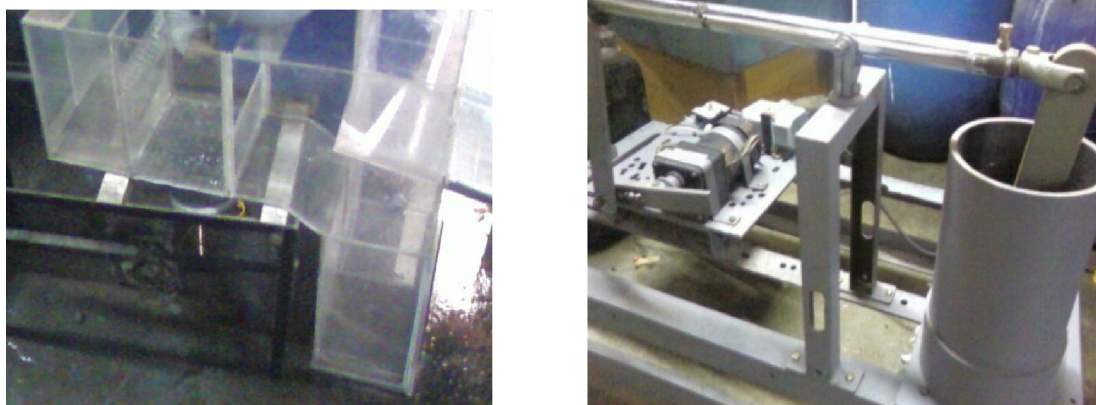
Reaktor kontinu yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain eksisting reaktor kontinu Prasetyawan (2008) **Gambar 1** dan **2(a)** menunjukkan skema desain dan foto reaktor kontinu beserta zona distribusi material plastik dalam reaktor yang terdiri dari empat zona, dalam analisis ini zona 2 dan 3 digabung karena karakteristik densitas yang relatif sama. Motor penggerak yang digunakan berupa piston diameter 15 cm dengan kapasitas cc, ditunjukkan **Gambar 2(b)**.

Variabel operasi yang ditentukan dalam penelitian ini adalah variabel bebas berupa waktu *jigging*, debit aliran fluida, dan ukuran cacahan plastik pada kondisi amplitudo, frekuensi, densitas fluida, dan laju umpan yang telah ditentukan. Ketiga variabel ini dicari korelasinya dengan variabel tidak bebas berupa akumulasi massa dan homogenitas campuran plastik setelah proses *jigging*, di mana saat determinasi variabel lain ditentukan konstan.



Gambar 1. Skema Desain Reaktor Kontinu dan Zona Distribusi Material Plastik dalam Reaktor Kontinu Eksisting

Berdasarkan perhitungan matriks CC, campuran plastik yang terpilih untuk *jigging* adalah campuran dengan nilai CC lebih dari 2,5 yaitu PET>12,7mm-PS, PET>9,5mm-PS, PET>6,5mm-PS, PET>2mm-PS, PET>12,7mm-ABS, PET>9,5mm-ABS, PET>6,5mm-ABS, dan PET>2mm-ABS.



Gambar 2.(a) Reaktor Kontinu Desain Prasetiawan, (b) Motor Penggerak

Penentuan hubungan antarparameter dilakukan dengan pengondisian beberapa parameter operasi lain. Dalam penentuan pengaruh waktu *jigging*, beberapa parameter operasi ditentukan konstan yaitu amplitudo 4,5 cm dan frekuensi 15 siklus/menit yaitu berdasarkan penelitian Apriyanti (2008:41) yang menyimpulkan kapasitas amplitudo dan frekuensi tertinggi yang dapat dicapai piston sebagai kondisi optimum, debit aliran fluida $0,000487 \text{ m}^3/\text{s}$, sampel yang digunakan adalah campuran PET ukuran >9,5 mm dan PS untuk dioperasikan dalam lima variasi waktu *jigging* yaitu 5, 8, 10, 12, dan 15 menit. Dalam penentuan pengaruh debit aliran fluida, beberapa parameter operasi ditentukan konstan yaitu amplitudo 4,5 cm, frekuensi 15 siklus/menit, waktu *jigging* 8 menit, sampel yang digunakan adalah campuran PET ukuran >9,5 mm dan PS untuk dioperasikan dalam lima variasi debit aliran fluida yaitu $0,000333$; $0,000396$; $0,000456$; $0,000475$; dan $0,000487 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan dalam penentuan pengaruh ukuran cacahan material plastik dan homogenitas plastik, beberapa parameter operasi ditentukan konstan yaitu amplitudo 4,5 cm, frekuensi 15 siklus/menit, waktu *jigging* 8 menit, debit $0,000475 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk dioperasikan dalam empat variasi ukuran cacahan sampel yaitu campuran PET ukuran >2 mm dan PS, campuran PET ukuran >6,5 mm dan PS, campuran PET ukuran >9,5 mm dan PS, dan campuran PET ukuran >12,7 mm dan PS.

3.1 Hubungan Akumulasi Plastik dengan Debit Aliran Fluida, Ukuran Cacahan, dan Waktu *Jigging*

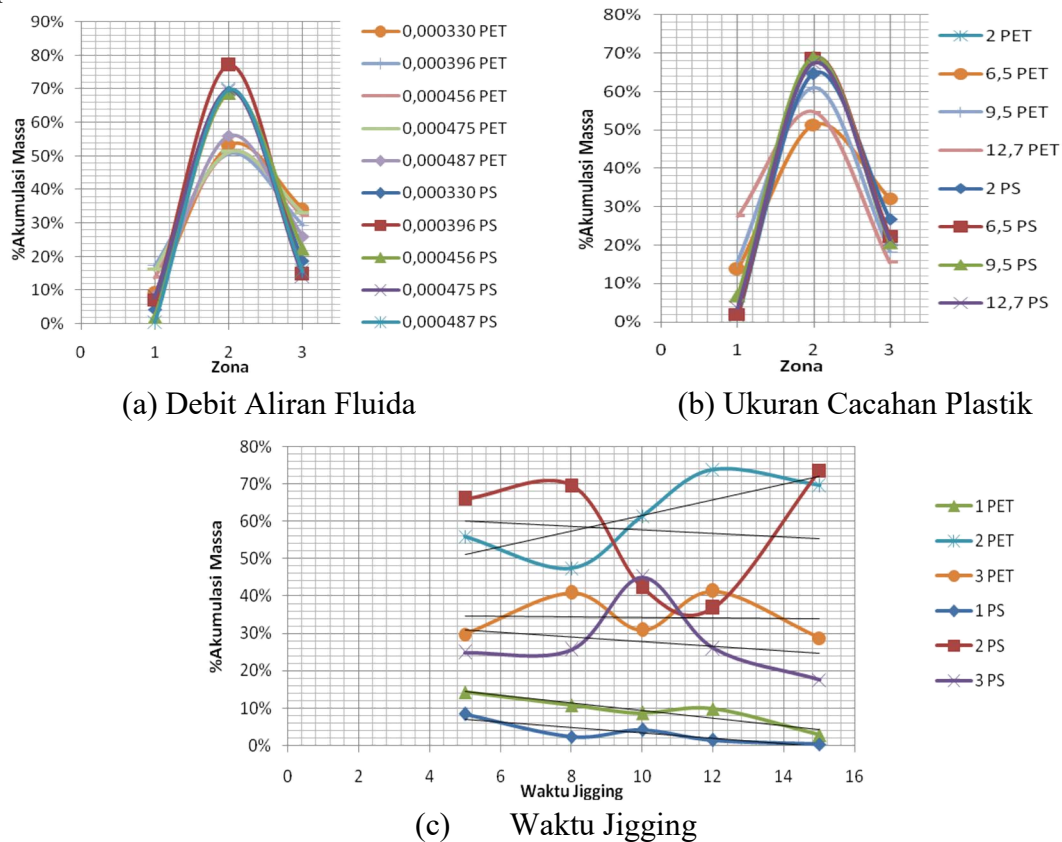
Gambar 3 (a) menunjukkan hubungan bahwa penambahan debit fluida dan akumulasi massa plastik tidak menunjukkan kecenderungan yang sama. Berdasarkan fenomena ini dinilai perpindahan hidrolis massa fluida tidak sama dengan perpindahan massa solid plastik yang terjadi dalam reaktor, sehingga parameter yang memperhatikan perpindahan massa perlu ditinjau, dalam hal ini adalah *mass flux* yang akan dibahas lebih lanjut.

Hubungan antara ukuran cacahan plastik PET dan akumulasi massa ditunjukkan **Gambar 3 (b)**, di mana akumulasi massa PET>12,7 mm pada zona 1 cenderung tinggi. Semakin besar ukuran cacahan semakin banyak material yang tertinggal di zona 1, tidak terproses dan tidak terdistribusi baik menuju zona material berat ataupun zona material ringan. Hal ini mengindikasikan dari tiga gaya yang mempengaruhi proses *jigging* yaitu

gaya gravitasi, gaya gesek, dan gaya Buoyant, maka untuk material yang lebih besar gaya berat lebih dominan pengaruhnya dibandingkan dengan gaya lain, sementara *outlet* bawah zona jig kurang efektif berperan dalam transfer massa plastik, sehingga ada kecenderungan untuk material lebih besar tertinggal di zona 1.

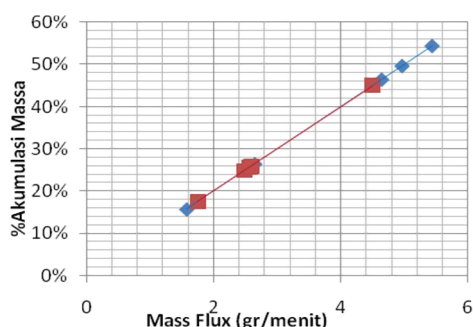
Gambar 3(c) menunjukkan hubungan bahwa akumulasi massa plastik PS dan PET di zona 1 cenderung menurun mengikuti penambahan waktu *jigging*, hal ini menunjukkan semakin sedikitnya material plastik tertinggal yang tidak terproses dan semakin banyaknya material plastik yang terproses dan terdistribusi ke zona lain jika waktu *jigging* diperpanjang. Zona 2 adalah zona akhir pengambilan material plastik berat dalam hal ini adalah plastik resin PET. Akumulasi PET di zona 2 meningkat dan akumulasi PS di zona 2 menurun seiring dengan pertambahan waktu *jigging*, hal ini mengindikasikan semakin lama waktu *jigging*, akumulasi material berat di zona 2 semakin banyak, hal ini berkorespondensi dengan teori bahwa semakin lama proses osilasi di zona jig maka stratifikasi akan semakin baik dan material berat akan berada di bagian bawah zona.

Zona 3 adalah zona akhir pengambilan material plastik ringan dalam hal ini adalah plastik resin PS. Akumulasi PS dan PET di zona 3 menurun seiring dengan pertambahan waktu *jigging*, dengan tendensi PS akumulasinya lebih menurun dibandingkan dengan PET. Seharusnya akumulasi PS meningkat, hal ini mengindikasikan perlunya perhatian lebih lanjut terhadap desain *outlet* zona 3 yang posisinya lebih tinggi dari zona 1 (zona jig). Selama pengamatan proses *jigging*, material ringan yang berhasil mencapai zona 3 adalah material yang mengambang dan langsung terbawa aliran horizontal saat osilasi maksimal, sedangkan material mengambang yang terbawa aliran horizontal saat osilasi tidak maksimal cenderung terbawa ke bagian bawah *outlet*, tetap mengambang dan tidak bergabung ke zona 2 tapi tidak terbawa ke zona 3.



Gambar 3. Hubungan Akumulasi Massa PS-PET pada Setiap Zona terhadap (a) Debit Aliran Fluida, (b) Ukuran Cacahan Plastik, dan (c) Waktu *Jigging*

Gambar 4 menunjukkan secara keseluruhan akumulasi massa PS pada zona 2 dan 3 meningkat seiring dengan pertambahan massa flux, semakin besar massa flux maka semakin banyak akumulasi massa PS dan zona 2 dan 3.



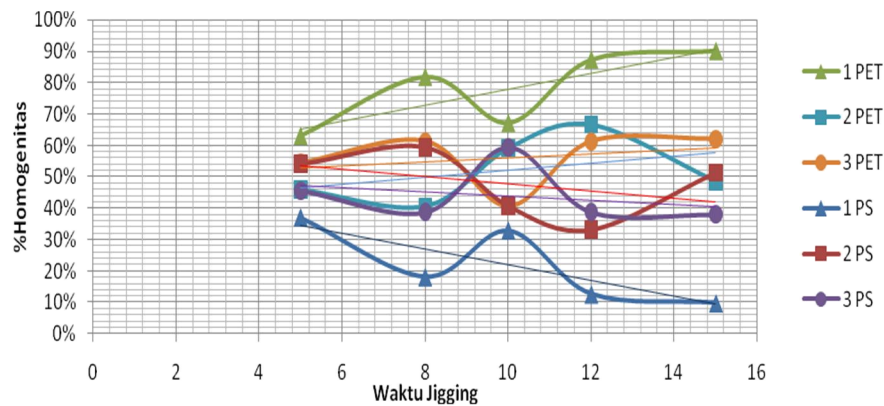
Gambar 4. Hubungan Akumulasi Massa dengan *Mass flux* pada Zona 2 dan 3 untuk Plastik Resin PS

3.2 Hubungan Homogenitas Plastik terhadap Debit Aliran Fluida, Ukuran Cacahan, dan Waktu *Jigging*

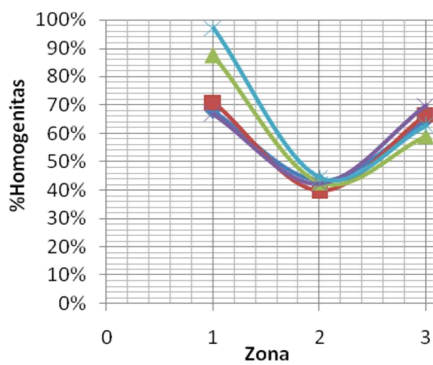
Homogenitas PET di zona 2 bertambah secara proporsional seiring pertambahan waktu *jigging*, kecuali waktu 8 dan 15 menit, sedangkan homogenitas PS di zona 3 tidak bertambah secara proporsional terhadap waktu *jigging* seperti ditunjukkan **Gambar 5(a)**. Hal ini mengindikasikan kurang efektifnya perpindahan massa plastik (*mass flux*) dari zona 1 (zona jig) menuju zona 3 (zona akhir pengambilan material plastik ringan, yaitu PS) yang memiliki posisi lebih tinggi dari zona 1. Untuk penentuan hubungan homogenitas dan waktu *jigging* ini dinilai diperlukan uji coba lebih lanjut, namun berdasarkan hasil uji coba terakhir, homogenitas tertinggi untuk PS pada zona 3 dan PET pada zona 2 secara umum dicapai pada waktu *jigging* 10 menit.

Hubungan homogenitas dan debit aliran fluida ditunjukkan **Gambar 5(b)** dan **(c)**. Homogenitas PET di zona 2 tidak terpengaruh oleh pertambahan debit aliran fluida, hal ini mengindikasikan adanya pengaruh dari fluida tenang di zona 2, zona 2 tidak memiliki *outlet* untuk pengaliran fluida seperti halnya zona 3. Sehingga zona 2 cenderung memiliki aliran tenang tidak terpengaruh oleh pertambahan debit. Pertambahan debit aliran fluida cenderung lebih mempengaruhi zona 3 di mana aliran horizontal akan membantu pengaliran massa plastik dari zona 1 (zona jig) menuju zona 3 (zona pengambilan material ringan). Namun pertambahan homogenitas PS di zona 3 tidak linear terhadap pertambahan debit aliran fluida, hal ini dapat dipengaruhi oleh bentuk cacahan PET yang berupa lamina tipis di mana cacahan PET menjadi lebih mudah untuk terbawa aliran horizontal menuju zona 3 dan menurunkan homogenitas PS di zona 3. Berdasarkan hasil uji coba terakhir, homogenitas tertinggi untuk PS pada zona 3 dan PET pada zona 2 secara umum dicapai pada debit $0,000456 \text{ m}^3/\text{s}$.

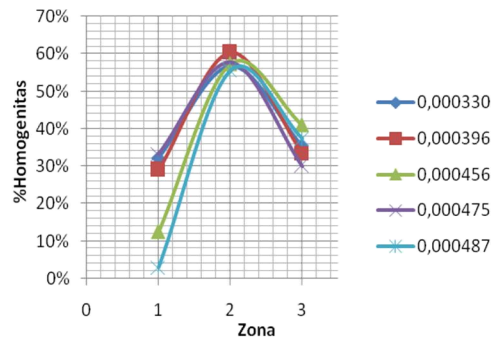
Pengaruh ukuran cacahan plastik terhadap homogenitas plastik ditunjukkan **Gambar 5 (d)** dan **(e)**. Ukuran PET terkecil ($>2\text{mm}$) menunjukkan kecenderungan yang berbeda dibandingkan dengan ukuran lain. Berdasarkan pengamatan pola pergerakan material selama proses *jigging*, material cenderung masih terpengaruh oleh gaya hisap dari zona 1 sehingga material di zona 2 cenderung terhisap, fenomena ini tidak berpengaruh signifikan kecuali untuk material ukuran terkecil. Ukuran terkecil cenderung terakumulasi di zona 2, bahkan saat zona 2 dan 3 dipisahkan yaitu zona 2 sebagai zona transisi, zona 3 sebagai zona material berat, dan zona 4 sebagai zona material ringan, 54,44% dari total plastik ukuran $>2\text{mm}$ cenderung terakumulasi di zona transisi dominan tidak terbawa ke zona 3 ataupun 4.



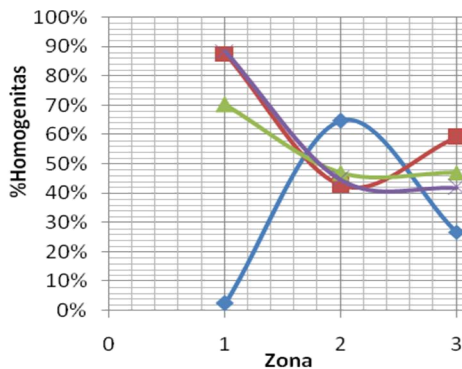
(a) Waktu Jigging untuk PS-PET



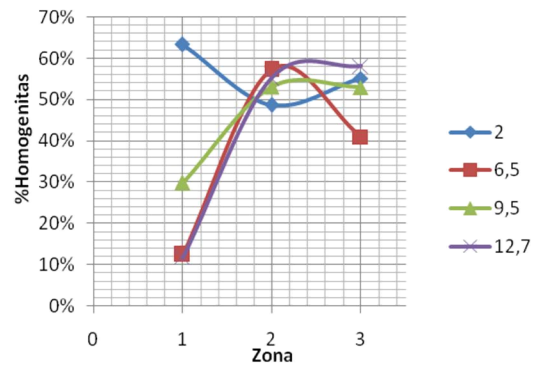
(b) Debit untuk PET



(c) Debit untuk PS



(d) Ukuran untuk PET

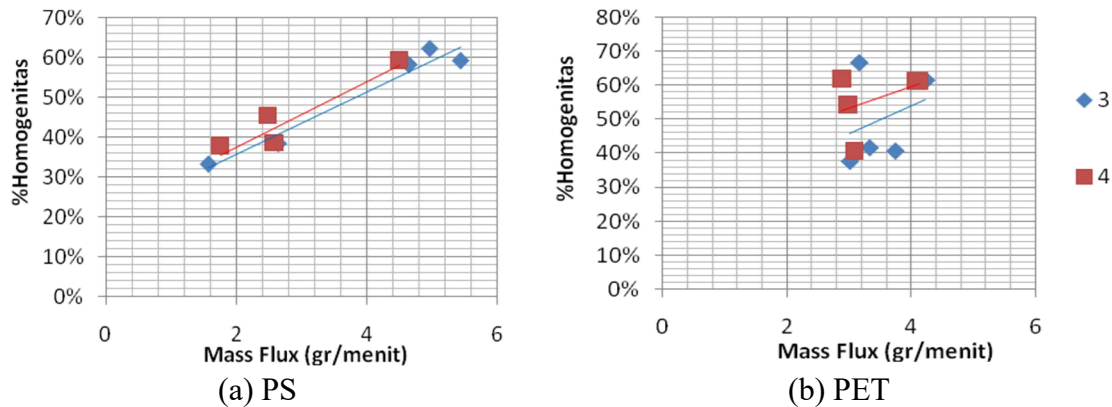


(e) Ukuran untuk PS

Gambar 5. Hubungan Homogenitas setiap Zona terhadap (a) Waktu *Jigging* untuk PET dan PS (b) Debit untuk PET, (c) Debit untuk PS, (d) Ukuran untuk PET, dan (e) Ukuran untuk PS

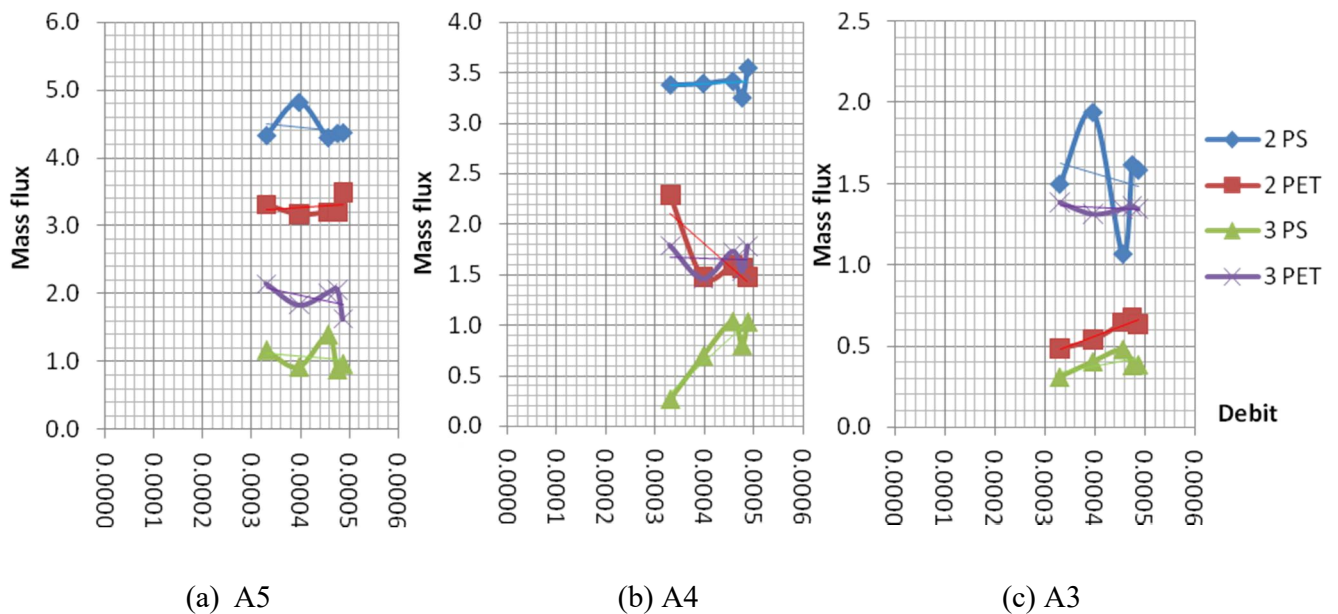
Gambar 5(d) menunjukkan ukuran PET lain cenderung tidak mempengaruhi homogenitas PET di zona 2. Sedangkan **Gambar 5(e)** menunjukkan homogenitas PS di zona 3 terpengaruh oleh ukuran PET sebagai plastik campuran, di mana semakin besar ukuran plastik pencampur homogenitas PS di zona 3 semakin bertambah, kecuali untuk material ukuran terkecil yang memiliki kecenderungan yang berbeda dari ukuran lain. Berdasarkan hasil uji coba terakhir, homogenitas tertinggi untuk PS pada zona 3 dan PET pada zona 2 secara umum dicapai pada ukuran cacahan 12,7 mm, mempertimbangkan kesulitan pengambilan ukuran 2 mm yang cenderung terakumulasi pada zona transisi.

Secara umum, homogenitas PS dan PET bertambah seiring dengan pertambahan *mass flux* plastik, seperti ditunjukkan **Gambar 6 (a)** dan **(b)**.



Gambar 6. Hubungan *Mass flux* dan Homogenitas PS-PET pada Zona 2 dan 3

3.3 Hubungan Rasio Amplitudo dan Debit Aliran Horizontal



Gambar 7. Hubungan *Mass Flux* dan Debit Plastik Resin PS-PET pada Tiga Variasi Amplitudo

Gambar 7 menunjukkan berdasarkan hubungan *mass flux* dan debit pada tiga variasi amplitudo teridentifikasi bahwa perbandingan besaran amplitudo dan debit aliran horizontal mempengaruhi pola pertambahan *mass flux*. Berbeda dengan temuan Apriyanti (2008) pada reaktor batch yang menyimpulkan bahwa pertambahan amplitudo linear dengan keoptimalan proses, namun fenomena dalam reaktor kontinu diketahui bahwa pertambahan amplitudo tidak linear dengan keoptimalan proses. Pada A5 perubahan debit tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *mass flux*, pada A4 pertambahan debit berkorespondensi dengan pertambahan *mass flux* PS zona 3 namun berbanding terbalik dengan *mass flux* PET zona 2, pada A3 pertambahan debit berkorespondensi dengan pertambahan *mass flux* PS zona 3 dan PET zona 2.

3.4 Kuantifikasi Permasalahan Teknis Proses *Jigging*

Beberapa permasalahan teridentifikasi selama proses *jigging* menggunakan reaktor kontinu desain Prasetiawan (2008) hal ini dikuantifikasi sebagai input bagi desain perbaikan reaktor.

- Sebagian umpan plastik tidak tenggelam saat proses *jigging* tertahan tegangan permukaan air pada zona jig, yaitu 33,58% plastik ABS, 65,56% plastik PET>2mm, 53,5% plastik PET>6,5mm, 81,78% plastik PET>9,5mm, dan 47,56% PET>12,7mm. Plastik PS, ABS, dan PET yang memiliki densitas lebih dari densitas fluida air seharusnya tenggelam sebelum proses *jigging* yang kemudian membuat campuran plastik ber-CC>2,5 akan berstratifikasi berdasarkan densitasnya di mana material plastik yang memiliki densitas lebih berat akan tenggelam dan material plastik yang memiliki densitas lebih ringan akan melayang.
- Karakteristik densitas zona 2 relatif sama dengan karakteristik zona 3, berkisar antara 1,02-1,08 kg/m³ untuk PS, sedangkan material plastik cenderung terakumulasi pada zona transisi (zona 2) yaitu 18,91%PS dan 26,03%PET
- Desain zona sedimentasi yang memanjang dan tidak memiliki *outlet* umpan menyulitkan pengambilan umpan yang telah di*jigging*.

Beberapa hal yang dinilai perlu diteliti lebih jauh adalah desain geometri reaktor termasuk aspek bentuk penampang reaktor, kemiringan dasar zona 2, posisi serta kemiringan *outlet* material ringan, dan aspek lainnya yang dapat mempengaruhi aliran fluida, distribusi kecepatan dan tekanannya, serta pengaruhnya terhadap proses stratifikasi dalam reaktor.

4. KESIMPULAN

Beberapa fenomena yang terjadi dalam reaktor kontinu *Jig Separation Process* di antaranya adalah adanya perbedaan perpindahan hidrolis massa fluida dan perpindahan massa solid plastik (*mass flux*), di mana peningkatan *mass flux* sebanding dengan peningkatan akumulasi massa plastik dan homogenitas plastik. Peningkatan waktu *jigging* sebanding dengan peningkatan akumulasi massa plastik dan homogenitas plastik. Ukuran cacahan besar cenderung tertinggal pada zona jig dan tidak terpisah, dan ukuran cacahan terkecil menunjukkan perilaku berbeda dibandingkan dengan ukuran cacahan lain. Homogenitas tertinggi untuk PS pada zona 3 dan PET pada zona 2 secara umum dalam uji coba dicapai pada waktu *jigging* 10 menit, debit 0,000456 m³/s, dan ukuran cacahan 12,7 mm. Perbandingan besaran amplitudo dan debit aliran horizontal mempengaruhi pola pertambahan *mass flux*. Beberapa permasalahan teknis teridentifikasi yaitu akumulasi 33,58%ABS, 62,1%PET umpan tertahan tegangan permukaan air pada zona jig, akumulasi 18,91%PS dan 26,03%PET umpan di zona transisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanti, Lina. 2008. *Pemisahan Jenis Plastik bagi Kegiatan Daur Ulang Menggunakan Proses Jig Separation dengan Reaktor Batch*. Bandung: Tesis Departemen Teknik Lingkungan ITB.
- Dodbiba, G. dan Fujita, T. 2004. *Progress in Separating Plastic Materials for Recycling*. Journal of Physical Separation in Science and Engineering, 13(2004) pp 165–182.
- Graedel dan Howard-Grenville. 2005. *Greening the Industrial Facility: Perspectives, Approaches, and Tools*. New York: Springer Science, (2005) pp 303–318.

- Hori, K., Tsunekawa, M., Hiroyoshi, N., Ito, M.** 2009. *Optimum Water Pulsation of Jig Separation for Crushed Plastic Particles*. International Journal of Mineral Processing, 92(2009) pp 103-108
- Mishra, B.K. dan Mehtotra, S.P.** 1998. *Modelling of Particle Stratification in Jigs by The Discrete Element Method*. Journal of Minerals Engineering, 6 (1998) pp 511-522.
- Mishra, B.K. dan Mehtotra, S.P.** 2001. *A Jig Model Based on Discrete Element Method and its Experimental Validation*. International Journal of Mineral Processing, 63 (2001) pp 177-189.
- Prasetiawan, Teddy.** 2008. *Pengaruh Variasi Densitas Fluida terhadap Pemisahan Plastik Daur Ulang dengan Proses Jig Separation*. Bandung: Tesis Departemen Teknik Lingkungan ITB.
- Rahardyan, Benno.** 2002. *Jig Separation: An Alternative Method for Waste Separation in Increasing Resource Recovery from Waste*. Bandung: Departemen Teknik Lingkungan ITB.
- Shent, H., Pugh, R.J., Forsberg, E.** 1999. *A Review of Plastics Waste Recycling and the Flotation of Plastics*. Journal of Resources, Conservation and Recycling, 25(1999) pp 85–109.
- Siddique, Raffat.** 2008. *Waste Material and By-Product in Concrete: Recycled/Waste Plastic*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2008) pp 93–120.
- Tsunekawa, M., Naoi, B., Ogawa, S., Kori, K., Hiroyoshi, N., Ito, M., Hirajima, T.** 2004. *Jig Separation of Plastics from Scrapped Copy Machine*. International Journal of Mineral Processing, 76 (2005) pp 67–74.