

Distribusi Ukuran Granul dari Tepung Singkong dengan Tepung Tapioka Sebagai Pengikat pada Rotary Drum Granulator

Particles Size Distribution of Granulation of Cassava Flour with Tapioca Starch Using Rotary Drum Granulator

Dian Purnami Handayani^{*a}, Wahyudi Budi Sediawan^b, Daniel Timotius^a, Mitha Puspitasari^a

^aJurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Sleman, 55283, Indonesia

^bJurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, 55281, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 20 Februari 2023
Diterima dalam revisi 10 April 2023
Diterima 11 April 2023
Online 04 Mei 2023

ABSTRAK: Granulasi merupakan proses pelekatan partikel-partikel serbuk tunggal dengan mekanisme tertentu menjadi partikel yang lebih besar dan saling menyatu yang disebut granul. Penelitian seputar granulasi terus dilakukan agar diperoleh model matematis yang bersifat prediktif. Model yang hanya berlaku spesifik terhadap bahan yang dikaji ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk perancangan dan optimasi granulator di industri. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi distribusi ukuran granul tepung singkong dengan variasi jumlah tepung tapioka sebagai pengikat (*binder*). Tepung singkong sebanyak 2 gram dan tepung tapioka dengan jumlah yang divariasikan diaduk hingga merata kemudian diputar dengan putaran konstan dalam *rotary drum granulator* sambil disemprot air. Lamanya proses granulasi diatur selama 5, 10, 15, 20, dan 25 menit. Variasi pengikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1, 1,5, dan 2 gram tepung tapioka. Pengerinan dilakukan menggunakan oven selama 30 menit dengan suhu 80°C. Granul kering diayak dengan berbagai ukuran ayakan untuk mengetahui distribusi populasi granul. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah pengikat tidak berpengaruh terhadap laju *layering*. Penambahan pengikat akan menurunkan *birth rate*.

Kata Kunci: *birth rate*, granul, *layering*, tepung singkong, tepung tapioka

ABSTRACT: Granulation is a process of monoparticle attachment with a particular mechanism to form a bigger and compact particle which is called granule. Granulation application has been used on many industries like pharmacy and agriculture industries. Research about granulation has been done continuously to get predictive models for various cases. The model which is only applicable to the specific material used in this research is expected to be useful to optimize the performances of the granulator in the industries. This research aims to develop the kinetics model of granule size distribution of cassava flour and its connection to granulation time by varying the mass of tapioca starch as the binder in rotary drum granulator. 2 grams of Cassava flour and tapioca starch were mixed in the rotary drum granulator and then water was sprayed during the granulation process. The duration of granulation were 5, 10, 15, 20, and 25 minutes. The variations of mass of the binder used in this research were 1, 1.5, and 2 gram. The granules were dried in the oven at 80°C until 30 minutes, and afterwards the granules were screened through various screen layers with different mesh size. The results of this research show that binder mass variations do not influence the layering rate of granule, and the increase of binder mass will decrease the birth rate.

Keywords: birth rate, cassava flour, granule, layering, tapioca starch

1. Pendahuluan

Granulasi adalah suatu proses dimana partikel-partikel serbuk dibuat mempunyai daya lekat untuk membentuk

partikel-partikel besar yang disebut granul (Shanmugam, 2015). Di banyak industri yang melibatkan material berbentuk serbuk, misalnya farmasi, keramik, dan metalurgi,

* Corresponding Author: +6285747303757

Email: dian.purnami@upnyk.ac.id

granulasi merupakan metode penting untuk memudahkan penanganan serbuk. Khususnya untuk serbuk halus yang sulit ditangani karena sifatnya yang mudah pecah dan kohesif, granulasi efektif untuk mengurangi kesulitan tersebut. Untuk mendapatkan butiran dari serbuk halus, sebagian besar sistem granulasi menggunakan bahan pengikat (Takano et al., 2002). Granulasi dimaksudkan untuk memperbaiki sifat aliran dan kompresibilitas, memadatkan bahan-bahan, membuat campuran seragam yang tidak memisah, mengendalikan pelepasan zat aktif, mengurangi debu dan memperbaiki penampakan tablet (Simone et al., 2018). Sifat aliran atau daya alir serbuk dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah ukuran partikel, bentuk, kerapatan, kelengketan, muatan elektrostatik, dan kondisi permukaan partikel lainnya. Secara khusus disebutkan bahwa ukuran dan bentuk partikel merupakan faktor paling penting untuk daya alir (Kudo et al., 2020).

Berbagai proses granulasi telah dikembangkan dan digunakan, misalnya *high shear granulation*, *roller compaction*, *fluidized bed*, *twin-screw granulator*, dan lain sebagainya. Pemilihan proses granulasi tergantung pada formulasi dan sifat material yang terlibat (Chen et al., 2022). Secara umum, granulasi dikategorikan menjadi granulasi kering dan granulasi basah. Proses granulasi kering (*dry granulation*) menggunakan teknik pemadatan secara mekanis. Perkembangan Teknik granulasi kering tergolong sedikit, inovasi yang paling signifikan pada teknologi ini adalah *pneumatic dry granulation*. Sedangkan granulasi basah (*wet granulation*) merupakan proses pembentukan granul yang melibatkan air dan pengikat (*binder*) (Agrawal & Naveen, 2011).

Diantara teknik granulasi, granulasi basah atau *wet granulation* adalah teknik yang paling banyak dikenal. Perbandingan *liquid* dan *solid* (L/S) merupakan variabel yang perlu diperhatikan, jika jumlah pengikat cair atau air yang digunakan tidak memadai akan menghasilkan butiran yang rapuh sedangkan kelebihan pengikat cair atau air menyebabkan pembasahan yang berlebihan sehingga terbentuk butiran yang keras, padat, dan pertumbuhan granul yang tidak terkendali (Thapa et al., 2019). Cairan yang memiliki viskositas rendah biasanya ditambahkan dengan cara disemprotkan ke serbuk yang bergerak di dalam granulator. Cairan ini secara perlahan akan terdispersi dan membasahi serbuk. Jika cairan yang akan ditambahkan memiliki viskositas tinggi, secara umum akan lebih sulit terdistribusi dan mungkin menyebabkan perubahan pada mekanisme nukleasi granul (Iveson et al., 2001).

Pengaturan distribusi cairan dalam proses granulasi basah sangat penting untuk mempertahankan kontrol terhadap pembentukan inti dan pertumbuhan granul. Distribusi cairan yang tidak merata dapat menyebabkan tingkat pertumbuhan yang jauh lebih tinggi dan dapat membentuk butiran granul yang besar. Distribusi cairan selama tahap nukleasi granulasi dapat digambarkan dengan *spray flux parameter* ψ_a , yang merupakan ukuran kerapatan tetesan di *spray zone* sebagai berikut:

$$\psi_a = \frac{3V}{2d_a v w} \quad (1)$$

dengan,

V = volumetric flow rate (m³/s)

d_a = diameter tetesan dari *spray* (m)

v = kecepatan permukaan serbuk/granul di bawah *nozzle* (m/s)

w = lebar semprotan (90° terhadap arah aliran serbuk/granul) (m)

(Hapgood et al., 2010).

Penambahan binder bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan granul. Ada 3 cara penambahan *binder* dalam proses granulasi, yaitu *binder* cair yang ditambahkan secara langsung, *binder* padat yang dilarutkan terlebih dahulu, dan *binder* padat dicampurkan dalam bahan kering. Penambahan *binder* terbukti sangat bermanfaat untuk bahan-bahan yang memiliki kelarutan yang rendah (Vandevivere et al., 2021). *Binder* yang ideal memiliki tingkat pembasahan, daya sebar permukaan dan tingkat adhesi basah yang tinggi untuk memungkinkan pembentukan aglomerat, namun juga memiliki plastisitas dalam keadaan kering untuk mengatasi aliran serbuk dan sifat mekanik yang tidak menguntungkan (Dürig & Karan, 2018). Penggunaan Granulasi dengan *binder* pada granulasi basah (*wet granulation*) sangat kompleks karena terdapat banyak fenomena yang terjadi secara simultan dalam granulator. Fenomena-fenomena itu dapat digolongkan menjadi beberapa peristiwa yaitu, nukleasi dan distribusi *binder*, konsolidasi dan pertumbuhan granul, atrisi dan pecahnya granul. Semua fenomena tersebut mempengaruhi sifat-sifat granul yang dihasilkan (Litster et al., 2002).

Fase nukleasi dan distribusi binder yang disebut pula fase induksi adalah saat dimana sedikit atau tidak ada pertumbuhan ukuran partikel. Pada fase ini partikel menjadi kompak dan terjadi penurunan porositas. Apabila sudah cukup kompak, partikel menjadi jenuh dan permukaannya menjadi basah lalu terbentuk lapisan film cairan yang memungkinkan partikel untuk tumbuh. Ini adalah awal fase pertumbuhan secara cepat (*rapid growth*) (Wauters et al., 2002). Fase pertumbuhan cepat adalah fase dimana terjadi pertambahan ukuran butir. Fenomena ini disebabkan koalisi beberapa butir menjadi butir tunggal atau terlapisnya butir yang telah ada oleh partikel-partikel lembut (*layering*). Pada fenomena ini dapat terjadi peristiwa *abrasion transfer* yang dapat menyebabkan pertambahan ukuran butir dan menyebabkan berkurangnya ukuran butir. *Abrasion transfer* adalah peristiwa yang menyerupai koalisi namun butir yang terbentuk tidak tunggal dan ada butir yang menyumbangkan dirinya kepada butir lain sehingga butir lain bertambah ukurannya (Perry, R.H., Green, 2008). Fase atrisi dan pecahnya granul lebih dikenal dengan istilah *breakage*. *Attrition* merupakan kasus terkikisnya sudut-sudut tajam granul menjadi bubuk. Proses ini menyebabkan bentuk granul semakin menyerupai bola (Verkoeijen et al., 2002).

Pada proses granulasi, salah satu parameter penting yang mempengaruhi distribusi ukuran granul yang terbentuk adalah kinetika. Informasi parameter kinetika dapat digunakan untuk menentukan waktu tinggal dari proses granulasi agar mendapatkan ukuran rata-rata yang

diinginkan. Kinetika granulasi merupakan paduan dari kecepatan induksi, kecepatan pertumbuhan, dan kecepatan *breakage*. Kinetika granulasi dipengaruhi banyak faktor yang bisa dikelompokkan menjadi dua yaitu kondisi operasi dan karakteristik bahan. Variabel operasi pada granulator perlu dipelajari lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas granul yang dihasilkan (Iveson, 2002).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tepung tapioka (binder) terhadap kinetika dan distribusi ukuran granul pada proses granulasi tepung singkong yang dilakukan menggunakan *rotary drum granulator*. Tepung singkong digunakan dalam penelitian ini karena produk granulasi tepung singkong telah banyak dikomersilkan dalam bentuk tiwul instan. Pembuatan tiwul instan membutuhkan alat dan teknik pembentukan agregat/granul yang menentukan kualitas akhir produk, salah satu permasalahan yang harus diselesaikan dalam produksi tiwul instan adalah proses pembuatan butiran tersebut (Warji, 2009).

Sebelum proses granulasi dilakukan, tepung singkong dan tepung tapioka yang telah diayak diaduk hingga merata kemudian diputar dengan putaran konstan dalam *rotary drum granulator* sambil disemprot air. Penyemprotan air dilakukan dengan bantuan alat semprot sederhana agar tetesan air berbentuk droplet dengan diameter yang seragam, sehingga dapat terdistribusi merata dalam campuran tepung. Namun dalam penelitian ini tidak memperhitungkan nilai *spray flux parameter* dan pengaruhnya terhadap distribusi ukuran granul. Proses ini diulang dengan variasi waktu tinggal dan jumlah pengikat yang digunakan. Setelah proses granulasi selesai, proses pengeringan dilakukan menggunakan oven selama 30 menit dengan suhu 80°C agar granul yang terbentuk tidak rusak. Granul kering yang diperoleh kemudian diayak dengan berbagai ukuran ayakan untuk mengetahui distribusi populasi granul.

2. Metode Penelitian

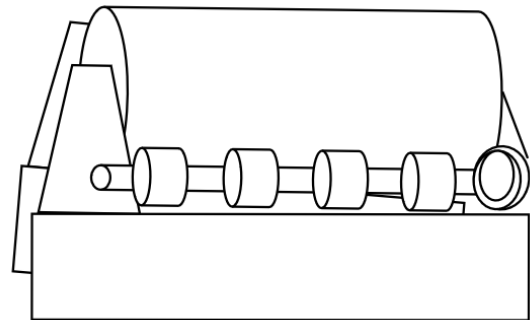
2.1 Bahan

Penelitian ini menggunakan tepung singkong dan tepung tapioka. Tepung singkong diperoleh dari Tasikhargo, Wonogiri, Jawa Tengah. Tepung singkong dibuat dengan menggiling singkong kering hingga halus. Tepung diayak dengan ayakan 0,355 mm (mesh 45). Tepung tapioka diperoleh dari pasar di Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia.

2.2 Proses Granulasi

Tepung singkong ditimbang sebanyak 20 gram kemudian dicampur dengan 1 gram tepung tapioka. Campuran bahan kering disemprot air lalu diputar dengan *rotary drum granulator* selama 5 menit. Visualisasi alat *rotary drum granulator* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1. Selama diputar, bahan tersebut disemprot air dengan interval waktu yang seragam. Cara tersebut diulangi untuk variasi waktu 10, 15, 20, dan 25 menit serta variasi tepung tapioka sebanyak 1, 1,5, dan 2 gram. Hasil granul yang diperoleh dikeringkan dalam oven selama 30 menit dengan suhu 80°C kemudian granul di ayak dan ditimbang sesuai ukuran.

Cake yang menempel di dalam alat selama pembuatan granul juga dikeringkan dan ditimbang. Hasil penimbangan dicatat dan digunakan dalam analisis data.



Gambar 1. Rotary Drum Granulator

2.3 Analisa

2.4.1 Perhitungan Populasi Granul Hasil Percobaan

Hasil granulasi diayak dengan rangkaian ayakan standar. Granul dipisahkan sesuai fraksi ukurannya kemudian ditimbang. Granulator dibersihkan dari *cake*. Masing-masing granul dan *cake* ditimbang berat keringnya. Granul dianggap sebagai bola, sehingga populasi granul dari tiap fraksi ukuran granul dihitung dengan persamaan (2)

$$P_r = \frac{3 W_r}{4 \pi r_{avg}^3 \rho} \frac{\text{massa tepung singkong} + \text{massa pengikat}}{M} \quad (2)$$

dengan,

- P_r = populasi granul dengan jari-jari r_{avg} , butir
- W_r = berat kering granul berjari-jari r_{avg} , gram
- r_{avg} = jari-jari rata-rata granul, cm
- ρ = berat jenis tepung singkong, gram/cm³
- M = berat kering hasil granulasi (total granul, tepung yang tidak terkonversi, dan *cake*), gram

Pada perhitungan ini, digunakan ayakan 0,355 mm untuk dijadikan sebagai titik referensi sehingga fraksi yang lolos ayakan ini tidak terhitung sebagai populasi.

2.4.2 Kinetika Granulasi

Persamaan kinetika granulasi diturunkan dari *general population balance* sebagai berikut:

$$\frac{\partial n(u,t)}{\partial t} = \frac{Q_{in}}{V} n_{in}(u) - \frac{Q_{out}}{V} n_{out}(u) - \frac{\partial(G(u,t) - A(u,t))}{\partial u} + B_{nuc}(u,t) + B_{coal}(u,t) - D_{coal}(u,t) \quad (3)$$

Ruas kiri dari persamaan (3) adalah akumulasi jumlah granul (n) pada berbagai ukuran (u) dan waktu (t). Kecepatan *inlet* dan *outlet* dari granulator dilambangkan dengan Q_{in} dan Q_{out} . Sedangkan volume granulator dilambangkan dengan V . Kecepatan *layering* ($G(u)$) dan kecepatan atrisi ($A(u)$) dimodelkan sebagai proses diferensial. Kecepatan nukleasi dari granul baru dengan ukuran u pada waktu t akibat

penambahan *binder* dilambangkan dengan $B_{nuc}(u,t)$, sedangkan $D_{coal}(u,t)$ merupakan kecepatan formasi dan hilangnya granul berukuran u akibat koalisi (Iveson, 2002). Pada penelitian ini, proses granulasi dilakukan secara *batch* sehingga nilai Q_{in} dan Q_{out} dapat diabaikan. Granul dianggap tidak mengalami *breakage* dan pertumbuhan granul tidak melalui koalisi melainkan *layering*. Selanjutnya dapat disusun suatu model yang berupa analogi persamaan (3). Model ini mengasumsikan perbesaran jari-jari granul hanya akibat *layerin* (Persamaan 4) selain itu lahirnya nukleus (Persamaan 5) dianggap hanya terjadi pada partikel-partikel umpan (partikel umpan berukuran sangat kecil dengan jari-jari mendekati 0).

$$\text{Layering: } \frac{dr}{dt} = \beta \equiv \frac{mm}{menit} \quad (4)$$

$$\text{Birth: } \beta_0 \equiv \frac{butir}{menit} \quad (5)$$

Perubahan populasi butir dinyatakan secara diferensial terhadap jari-jari. Populasi akumulatif dari jari-jari 0 sampai r dilambangkan dengan N .

$$n = \frac{dN}{dr} \equiv \frac{butir}{mm} \quad (6)$$

Neraca butir berjari-jari $r \rightarrow r + \Delta r$, menghasilkan

$$\frac{\partial n}{\partial r} = -\frac{1}{\beta} \frac{\partial n}{\partial t} \quad (7)$$

Persamaan (7) dapat diubah secara numeris dengan *Finite Difference Approximation* menjadi:

$$\frac{dn}{dt} = \beta \left(\frac{n_{i+1} - n_{i-1}}{2\Delta r} \right) \quad (8)$$

Persamaan (8) berlaku untuk $i=1,2,3,\dots,p$

Boundary condition 1

Saat $t=t$, $r=0$ berlaku

$$\beta_0 - \beta \cdot n = \frac{d(n \cdot r)}{dt} \quad (9)$$

Untuk memperoleh persamaan korelasi antara jumlah partikel (n) dan jari-jari partikel (R), maka Persamaan (7) disubstitusi ke persamaan (9), sehingga diperoleh persamaan (10).

$$\frac{dn}{dr} = \frac{2n}{r} - \frac{\beta_0}{r \cdot \beta_0} \quad (10)$$

Boundary condition 2

Saat $t=t$; $r=R$

$$n_{p+1} = 0 \quad (11)$$

Sedangkan untuk memperoleh korelasi antara jumlah partikel dengan waktu, maka Persamaan (11) disubstitusi ke persamaan (8) sehingga diperoleh persamaan (12).

$$\frac{dn}{dt} = \beta \left(\frac{n_{p-1}}{2\Delta r} \right) \quad (12)$$

Initial condition

Saat $t=0$, $r=r$

$$n_i = 0 \quad (13)$$

Persamaan (13) berlaku untuk $i=0,1,2,3,\dots,p$.

Persamaan (8), (10), (12), dan (13) dapat diselesaikan secara numeris, sehingga diperoleh n pada berbagai jari-jari dan waktu. N dapat diperoleh dengan mengintegrasikan n terhadap r . Hasil integrasi berupa distribusi n pada berbagai t dan r . Selanjutnya hasil integrasi dibandingkan dengan data percobaan. Deviasi antara hasil hitungan dan data percobaan diminimalkan dengan jalan mengoptimasi nilai β dan β_0 . Optimasi dilakukan dengan cara minimasi SSE (*Sum of Square of Error*). Persamaan-persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi distribusi populasi ukuran granul pada berbagai waktu.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan model yang sama untuk mendekati persamaan kinetika granulasi dengan menggunakan 3 variasi jumlah pengikat yang nilainya berbeda. Variasi jumlah pengikat diperkirakan akan menyebabkan nilai β_0 yang berbeda dan β yang relatif konstan. Penambahan jumlah pengikat akan meningkatkan kemungkinan terjadinya *layering*, sehingga bertambahnya jumlah pengikat menyebabkan populasi granul akan cenderung berkurang. Penyimpangan pada kecenderungan tersebut dimungkinkan karena adanya *breakage* dan koalisi dengan berbagai mekanisme.

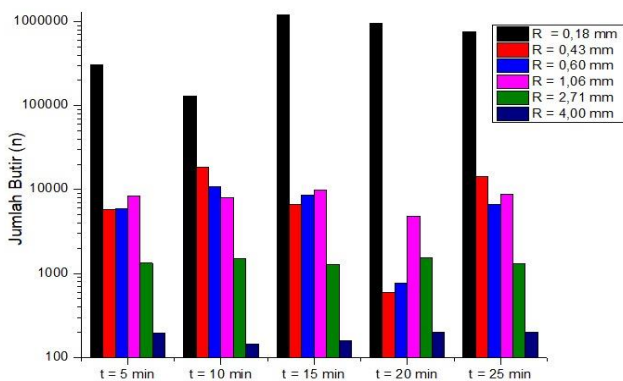


Gambar 2. Hasil Granulasi Tepung Singkong Selama 5 Menit dalam *Rotary Drum Granulator* dengan Ukuran Jari-Jari Rata-Rata Granul (a) 0,40 cm (b) 0,271 cm (c) 0,106 cm (d) 0,060 cm (e) 0,043 cm

Perubahan populasi granul juga dapat disebabkan oleh menempelnya tepung maupun granul ke dinding granulator

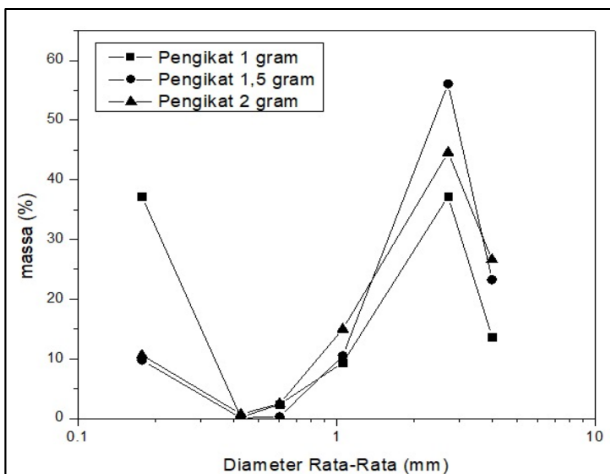
membentuk *cake*. Kinetika terbentuknya *cake* ini juga tidak sederhana sebab *cake* bisa terlepas dari dinding granulator akibat putaran granulator sehingga kembali membentuk granul.

Gambar 2 menunjukkan hasil granulasi selama lima menit. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran jari-jari rata-rata granul, maka semakin sedikit jumlah granul. Setiap ukuran granul ditimbang dan diperhitungkan populasi granul menggunakan persamaan (1). Diperoleh hasil populasi granul setiap ukuran jari-jari rata-rata (r_{avg}) pada setiap waktu yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Populasi Granul pada Berbagai Ukuran di Berbagai Waktu dengan Variasi Pengikat 1,5 gram

Penambahan jumlah pengikat akan meningkatkan kemungkinan terjadinya laju *layering*, sehingga bertambahnya jumlah pengikat menyebabkan populasi granul cenderung berkurang.

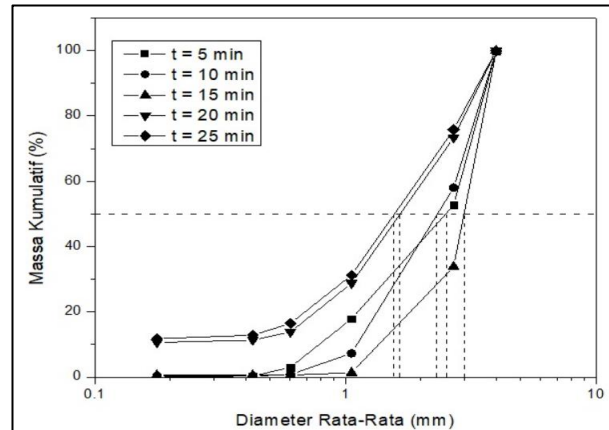


Gambar 4. Hasil Granulasi Selama 20 Menit Pada Berbagai Variasi Pengikat

Penyimpangan pada kecenderungan tersebut dimungkinkan karena adanya *breakage* dan koalisi dengan berbagai mekanisme.

Pada grafik di Gambar 4 dapat dilihat bahwa granul yang diperoleh dari hasil granulasi pada variasi pengikat 1 gram, 1,5 gram, dan 2 gram memiliki trend yang serupa,

yaitu naik dan menurun seiring dengan bertambahnya ukuran diameter rata-rata granul. Sedangkan pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa jumlah kumulatif granul pada salahsatu variasi pengikat yaitu 2 gram mengalami trend kenaikan seiring dengan bertambahnya ukuran diameter rata-rata granul.



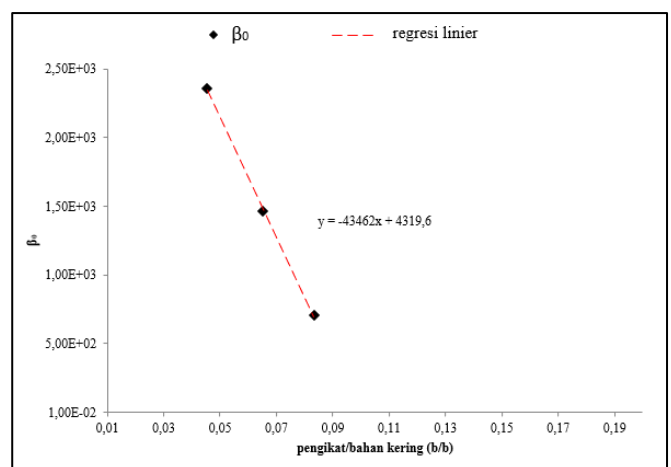
Gambar 5. Hasil Kumulatif Granulasi pada Variasi Pengikat 2 gram di Berbagai Waktu Granulasi

Nilai β dan β_0 yang diperoleh dari penyelesaian persamaan (8), (10), (12), dan (13) dengan komputasi dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil optimasi β dan β_0

Jumlah Tepung tapioka (gram)	β	β_0
1	1,91E-02	2355,496
1,5	1,91E-02	1461,233
2	1,90E-02	710,2495

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa *rate of layering* cenderung konstan dan tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah pengikat yang ditambahkan. Nilai β rata-rata yang diperoleh dari tiga variasi jumlah pengikat sebesar 0,0191.



Gambar 6. Nilai β_0 pada Berbagai Variasi Pengikat

Di sisi lain nilai β_0 cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan jumlah pengikat pada proses granulasi, hal ini dapat dilihat dari grafik pada Gambar 6. Pada kisaran jumlah tepung yang dicoba, nilai β_0 tertinggi diperoleh dari variasi jumlah pengikat dengan perbandingan jumlah pengikat dengan jumlah bahan kering sebesar 1:21 atau 0,05 (b/b).

4. Kesimpulan

Penelitian ini mempelajari tentang pengaruh banyaknya binder dan waktu granulasi terhadap distribusi ukuran granul yang diperoleh. Waktu granulasi optimum diperoleh pada saat 20 menit, sedangkan konsentrasi pengikat optimum ketika menggunakan 1,5 gram tepung tapioka untuk setiap 20 gram tepung singkong. Selain itu penambahan pengikat berupa tepung tapioka mempengaruhi *birth rate* (β_0) namun tidak cukup mempengaruhi *rate of layering* (β) dari proses granulasi tepung singkong. Semakin besar jumlah pengikat yang ditambahkan, semakin kecil nilai β_0 . Sedangkan nilai rata-rata dari β sebesar 0,0191.

Daftar Pustaka

- Agrawal, R., & Naveen, Y. (2011). Pharmaceutical Processing-A Review on Wet Granulation Technology. In *International Journal of Pharmaceutical Frontier Research* (Vol. 1, Issue 1). <http://www.ijpfr.com>
- Chen, P., Ansari, M. J., Bokov, D., Suksatan, W., Rahman, M. L., & Sarjadi, M. S. (2022). A review on key aspects of wet granulation process for continuous pharmaceutical manufacturing of solid dosage oral formulations. In *Arabian Journal of Chemistry* (Vol. 15, Issue 2). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103598>
- Dürig, T., & Karan, K. (2018). Binders in wet granulation. In *Handbook of Pharmaceutical Wet Granulation: Theory and Practice in a Quality by Design Paradigm* (pp. 317–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810460-6.00010-5>
- Hapgood, K. P., Amelia, R., Zaman, M. B., Merrett, B. K., & Leslie, P. (2010). Improving liquid distribution by reducing dimensionless spray flux in wet granulation-A pharmaceutical manufacturing case study. *Chemical Engineering Journal*, 164(2–3), 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.05.007>
- Iveson, S. M. (2002). *Limitations of one-dimensional population balance models of wet granulation processes*. www.elsevier.com/locate/powtec
- Iveson, S. M., Litster, J. D., Hapgood, K., & Ennis, B. J. (2001). Nucleation, growth and breakage phenomena in agitated wet granulation processes: a review. In *Powder Technology* (Vol. 117). www.elsevier.com/locate/powtec
- Kudo, Y., Yasuda, M., & Matsusaka, S. (2020). Effect of particle size distribution on flowability of granulated lactose. *Advanced Powder Technology*, 31(1), 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2019.10.004>
- Litster, J. D., Hapgood, K. P., Michaels, J. N., Sims, A., Roberts, M., & Kameneni, S. K. (2002). *Scale-up of mixer granulators for effective liquid distribution*. www.elsevier.com/locate/powtec
- Perry, R.H., Green, D. W. (2008). Perry's Chemical Engineers' Handbook (8th ed.). In *McGraw-Hill*.
- Shanmugam, S. (2015). Granulation techniques and technologies: Recent progresses. *BioImpacts*, 5(1), 55–63. <https://doi.org/10.15171/bi.2015.04>
- Simone, V. de, Caccavo, D., Dalmoro, A., Lamberti, G., d'Amore, M., & Barba, A. A. (2018). Inside the Phenomenological Aspects of Wet Granulation: Role of Process Parameters. In *Granularity in Materials Science*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79840>
- Takano, K., Nishii, K., Mukoyama, A., Iwadata, Y., Kamiya, H., & Horio, M. (2002). Binderless granulation of pharmaceutical lactose powders. In *Powder Technology* (Vol. 122). www.elsevier.com/locate/powtec
- Thapa, P., Choi, D. H., Kim, M. S., & Jeong, S. H. (2019). Effects of granulation process variables on the physical properties of dosage forms by combination of experimental design and principal component analysis. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(3), 287–304. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2018.08.006>
- Vandevivere, L., Vangampelaere, M., Portier, C., de Backere, C., Häusler, O., de Beer, T., Vervaet, C., & Vanhoorne, V. (2021). Identifying critical binder attributes to facilitate binder selection for efficient formulation development in a continuous twin screw wet granulation process. *Pharmaceutics*, 13(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13020210>
- Verkoeijen, D., Meesters, G. M. H., Vercoulen, P. H. W., & Scarlett, B. (2002). *Determining granule strength as a function of moisture content*. www.elsevier.com/locate/powtec
- Warji. (2009). *REKAYASA MESIN PEMBUAT BUTIRAN TIWUL (Design and Manufacturing of Cassava Rice Aggregator): Vol. VIII* (Issue 2).
- Wauters, P. A. L., Jakobsen, R. B., Litster, J. D., Meesters, G. M. H., & Scarlett, B. (2002). Liquid distribution as a means to describing the granule growth mechanism. In *Powder Technology* (Vol. 123).