

TESIS
TK 142541

**PENGARUH *MIXING TIME* TERHADAP
HOMOGENITAS SLURRY PROPELAN DENGAN
MIXER SIGMA BLADE**

LUTHFIA HAJAR ABDILLAH
2315 201 001

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
Dr. Ir. Sumarno, M.Eng
Dr. Tantular Nurtono, ST., M.Eng

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



THESIS
TK 142541

**EFFECT OF MIXING TIME TO HOMOGENEITY OF
PROPELLANT SLURRY BY SIGMA BLADE MIXER**

LUTHFIA HAJAR ABDILLAH
2315 201 001

SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
Dr.Ir. Sumarno, M.Eng
Dr. Tantular Nurtono, ST., M.Eng

MASTER PROGRAM
PROCESS TECHNOLOGY
CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FAKULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

PENGARUH MIXING TIME TERHADAP HOMOGENITAS SLURRY PROPELAN DENGAN MIXER SIGMA BLADE

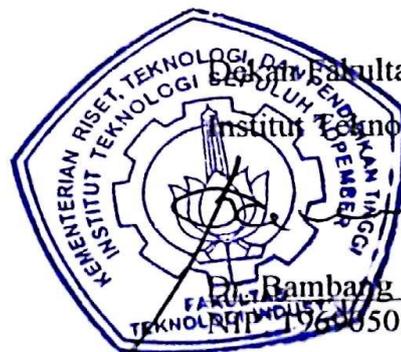
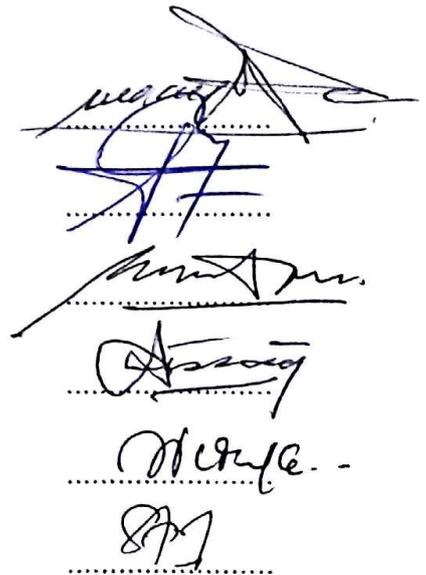
Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Luthfia Hajar Abdillah
NRP. 2315201001

Tanggal Ujian : 20 Juli 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh :

- | | |
|---|----------------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
NIP. 195209161980031002 | (Pembimbing 1) |
| 2. Dr. Ir. Sumarno, M.Eng
NIP. 196406081991021001 | (Pembimbing 2) |
| 3. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng
NIP. 197205201997021001 | (Pembimbing 3) |
| 4. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc
NIP. 195108041974121001 | (Penguji) |
| 5. Dr. Widiyastuti, S.T., M.T
NIP. 197503062002122002 | (Penguji) |
| 6. Dr. Siti Mahmudah, S.T., M.Eng
NIP. 197305121999032001 | (Penguji) |



Deputi Dekan Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST., MT
NIP. 196005071995121001

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wata'ala atas berkah dan rahmatNya sehingga penulis masih diberi kesehatan hingga dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **Pengaruh *Mixing Time* Terhadap Homogenitas Slurry Propelan Dengan Mixer Sigma Blade**.

Tesis ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa strata dua di Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama pengerjaan tugas akhir hingga tersusunnya laporan ini penyusun telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bpk. Bambang Harimintardi dan Ibu Sukarsih selaku Bapak dan Ibu dari penulis yang senantiasa memanjatkan doa-doa setiap malam untuk kesehatan dan kesuksesan penulis dalam menjalani segala aktivitas kehidupan.
2. Suami dan anak tercinta yang selalu memberikan support dan mendoakan kelancaran penulis dalam menempuh studi ini. Juga adik-adik yang selalu mengulurkan tangan di kala dibutuhkan.
3. LAPAN yang telah memberikan beasiswa tugas belajar kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan program magister serta mendapat fasilitas dan pendanaan dalam melaksanakan penelitian tesis ini.
4. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan nasehat, arahan dan bimbingan dalam melaksanakan tugas akhir penelitian.
5. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng. dan Dr. Ir. Sumarno, M.Eng. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan masukan-masukan dalam terlaksananya tugas akhir penelitian ini.
6. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc., Dr. Ir. Widiyastuti, S.T., M.T., dan Dr. Siti Mahmudah, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah banyak membantu memberikan koreksi dan saran-saran perbaikan untuk tesis ini.
7. Rekan – rekan LAPAN yang telah banyak membantu memberikan masukan dan wawasan serta terlibat langsung dalam kegiatan tugas akhir penelitian ini.

8. Bpk Farid selaku laboran dan teman-teman di laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran yang telah membantu segala keperluan sehari-hari di lab dan juga yang telah berbagi ilmu-ilmu baru bagi penulis.
9. Teman-teman pascasarjana yang telah membantu dalam berbagai hal sejak awal masa perkuliahan hingga kini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis baik secara moril maupun spirituil.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran sangat diharapkan untuk penyempurnaan penelitian selanjutnya. Akhir kata penulis mengucapkan semoga tesis ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi para pembacanya.

Surabaya, Agustus 2017

Luthfia Hajar Abdillah

PENGARUH *MIXING TIME* TERHADAP HOMOGENITAS SLURRY PROPELAN DENGAN MIXER SIGMA BLADE

Nama Mahasiswa : Luthfia Hajar Abdillah
NRP : 2315201001
Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
Co-Pembimbing : Dr. Ir. Sumarno, M.Eng
Dr. Tantular Nurtono, ST., M.Eng

ABSTRAK

Propelan merupakan bahan bakar roket, ada dalam bentuk padat maupun cair. Tipe mixer yang biasa digunakan untuk pembuatan propelan adalah tipe horisontal maupun vertikal. Penelitian ini akan memfokuskan pada propelan padat komposit menggunakan mixer horisontal sigma blade. Slurry propelan komposit termasuk fluida non-Newtonian dengan viskositas tinggi. Homogenitas slurry propelan penting untuk diketahui dan dipelajari karena dapat mempengaruhi spesifikasi dan performa propelan yang dihasilkan. Penelitian ini memfokuskan tujuan pada pengaruh *mixing time* (waktu pencampuran) terhadap homogenitas slurry propelan hasil pencampuran menggunakan mixer sigma blade dan memberikan informasi mengenai perilaku aliran slurry propelan. Perhitungan homogenitas menggunakan data densitas slurry dan densitas propelan. Dari penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan nilai densitas yang signifikan dengan adanya perubahan waktu pencampuran. Kondisi operasi yang menghasilkan slurry propelan paling homogen diperoleh pada waktu pencampuran total 135 menit. Untuk perilaku dari slurry propelan didapatkan informasi bahwa slurry propelan cenderung menunjukkan perilaku fluida pseudoplastik. Penambahan waktu pencampuran memberikan kecenderungan peningkatan viskositas akhir mixing.

Kata kunci: homogenitas, slurry propelan, *mixing time*, mixer sigma blade.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

EFFECT OF MIXING TIME TO HOMOGENEITY OF PROPELLANT SLURRY BY SIGMA BLADE MIXER

Student Name : Luthfia Hajar Abdillah
Student Identity Number : 2315201001
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng
Co-Supervisor : Dr. Ir. Sumarno, M.Eng
Dr. Tantular Nurtono, ST., M.Eng

ABSTRACT

Propellant is a rocket fuel that can be solid or liquid. Horizontal or vertical type are the common used mixer for propellant manufacture. This research will focus on the composite solid propellant by using horizontal sigma blade mixer. Composite propellant slurry is a non-Newtonian fluid with high viscosity. Homogeneity of this slurry is important to study because it can affect propellant specification and performance. The objective of this research was to determine the effect of mixing time to the homogeneity of the propellant slurry that processed by sigma blade mixer and propose an information of propellant slurry flow behaviour. Propellant densities and slurry density were used to assess the homogeneity. Result of data analysis showed that there was significant differences of densities when the mixing time was changed. Operation condition produced the most homogeneous slurry was obtained at total mixing time 135 minutes. The propellant slurry indicated to exhibit pseudoplastic behaviour. Increasing in mixing time has a tendency to increase the end of mix viscosity.

Keywords: *homogeneity, propellant slurry, mixing time, sigma blade mixer.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Propelan Komposit	5
2.2 Slurry	5
2.3 Mixer	7
2.4 Homogenitas	9
2.5 Cara Sampling	10
2.6 Perhitungan Statistika	10
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Bahan Pembuatan Propelan	15
3.2 Peralatan yang Digunakan	17
3.3 Variabel Penelitian	18
3.4 Prosedur Penelitian	18
3.4.1 Pembuatan Slurry Propelan	18
3.4.2 Pengukuran Densitas Slurry	19

3.4.3 Pengukuran Densitas Propelan.....	20
3.4.4 Pengukuran Viskositas Slurry Propelan.....	20
3.4.5 Bagan Pembuatan Slurry Propelan.....	21
3.4.5 Bagan Pengukuran Densitas Slurry dan Propelan.....	22
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Homogenitas Slurry Propelan	23
4.2 Perilaku Slurry Propelan.....	32
BAB 5 KESIMPULAN	37
DAFTAR RUJUKAN.....	39
APPENDIKS	43
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Model Fluida non-Newtonian	6
Tabel 2.2	Macam Fluida non-Newtonian berdasarkan Ketergantungan terhadap Waktu	6
Tabel 3.1	Variabel Waktu Pencampuran Bahan Solid	18
Tabel 4.1	Rata-Rata Nilai Densitas Propelan di Lokasi Mixer pada beberapa Waktu Pencampuran	26
Tabel 4.2	Rata-Rata Nilai Densitas Slurry di Lokasi Mixer pada beberapa Waktu Pencampuran	27
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran Densitas Propelan	28
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Densitas Slurry	28
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Dua Rata-Rata Nilai Densitas Propelan dari Tiap-Tiap Batch Proses	30
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Dua Rata-Rata Nilai Densitas Slurry dari Tiap-Tiap Batch Proses	30
Tabel 4.7	Derajat Homogenitas Berdasarkan Data Densitas Propelan	31
Tabel 4.8	Derajat Homogenitas berdasarkan Data Densitas Slurry	31
Tabel 4.9	Perubahan Viskositas terhadap Perubahan Kecepatan Rotasi Spindle	33
Tabel 4.10	Parameter Power Law dari Slurry Propelan	35

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Viskositas sebagai Fungsi Shear Rate dari Fluida Newtonian, Shear Thinning dan Shear Thickening	7
Gambar 2.2	Macam Mixer Propelan dan Bahan Eksplosif	8
Gambar 2.3	Gambaran Data untuk Perhitungan Anova Satu Jalan	12
Gambar 3.1	Bagan Alur Penelitian	15
Gambar 4.1	Contoh Proses Pencampuran yang Kurang Sempurna	24
Gambar 4.2	Lokasi Pengambilan Sampel Dilihat dari Bagian Atas Mixer	24
Gambar 4.3	Sampel Slurry dan Propelan Padat	25
Gambar 4.4	Perubahan Rata-Rata Densitas Propelan terhadap Waktu Pencampuran Total	30
Gambar 4.5	Perubahan Rata-Rata Densitas Slurry terhadap Waktu Pencampuran Total	30
Gambar 4.6	Perubahan Viskositas Slurry terhadap Kecepatan Rotasi Spindle	34
Gambar 4.7	Plot $\ln \mu_{app}$ terhadap $\ln \dot{\gamma}$	35
Gambar 4.8	Perubahan Viskositas EoM terhadap Waktu Pencampuran Total..	36

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR NOTASI

τ	shear stress
τ_y	yield stress
μ	viskositas
t	waktu
$\dot{\gamma}$	shear rate
k	consistency index model Power Law
n	flow behaviour index
r	koefisien korelasi
s_i^2	varians kelompok ke-i
s_i	standar deviasi kelompok ke-i
y_{ij}	nilai sampel ke-j dari kelompok ke-i
\hat{y}_i	rata-rata nilai sampel kelompok ke-i
KV	koefisien varians
n	banyaknya sampel
α	taraf kesalahan
dk	derajat kebebasan
n_a	banyaknya sampel pada kelompok data varians terbesar
n_b	banyaknya sampel pada kelompok data varians terkecil
N	jumlah seluruh anggota sampel
m	jumlah kelompok sampel
JK_{tot}	jumlah kuadrat total
JK_{ant}	jumlah kuadrat antar kelompok
JK_{dal}	jumlah kuadrat dalam kelompok
MK_{ant}	mean kuadrat antar kelompok
MK_{dal}	mean kuadrat dalam kelompok

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Propelan merupakan bahan bakar roket yang berupa propelan cair maupun propelan padat. Untuk propelan padat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu propelan *single base / double base*, dan propelan komposit yaitu propelan yang terbuat dari kristal oksidator dan bubuk *fuel* yang dicampur bersama dalam matriks *binder*. Propelan dipadatkan oleh *crosslinking* atau pematangan polimer *binder* dengan sedikit *curing agent*, yang selanjutnya dimatangkan di dalam oven hingga mengeras dan padat (Sutton & Biblarz, 2001).

Bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan propelan antara lain bahan *solid* sebanyak $\pm 85\%$ berat yang terdiri dari *ammonium perchlorate* (AP) sebagai oksidator, bubuk aluminium (Al) sebagai *metal fuel*, dan beberapa bagian kecil aditif. Untuk $\pm 15\%$ sisanya merupakan bahan *liquid* yang terdiri dari *hidroxy terminated polybutadiene* (HTPB) sebagai *binder*, *toluenediisocyanate* (TDI) atau *isophoronedisocyanate* (IPDI) sebagai *curing agent*, dan jika diperlukan bisa ditambahkan *dioctyl adipate* (DOA) sebagai *platicizer*.

Karakteristik propelan dapat dilihat dari sifat fisik, mekanik dan balistiknya. Sifat fisik yang diukur meliputi viskositas slurry propelan, densitas, dan kekerasan. Sifat mekanik meliputi elastisitas dan kuat tarik, sedangkan sifat balistik yang diukur berupa laju bakarnya. Propelan yang memiliki karakteristik sesuai dengan yang diinginkan selanjutnya akan dilakukan pengujian statik untuk dilihat kinerjanya pada motor roket. Hasil dari pengujian statik inilah yang menjadi salah satu acuan untuk pengujian terbang dari suatu roket.

Sifat fisik dan mekanik propelan dipengaruhi oleh bahan *liquidnya* karena salah satu spesifikasi dari *binder* adalah harus memberikan spesifikasi mekaniknya pada propelan (Davenas, 1993). Sifat mekanik propelan yang dinilai cukup bagus adalah ketika nilai elongasi diatas 5% dengan nilai kuat tarik lebih dari 20 kg/cm² (Erryani, 2014). Sifat fisik propelan, dalam hal ini viskositas slurry

pada akhir proses mixing yang dinilai masih *castable* adalah kurang dari 20000 poise pada 1 rpm, sedangkan densitas yang diinginkan adalah sekitar 1,7 kg/m³.

Sifat fisik slurry propelan telah dipelajari oleh beberapa peneliti di dunia, diantaranya Nair, dkk yang mempelajari pengaruh dari beberapa parameter proses terhadap viskositas slurry propelan dan membuat korelasi empiris untuk mendapatkan persamaan akurat yang memuat prediksi viskositas pada kondisi yang diberikan (Nair et al, 2013). Abhay dkk, menyatakan bahwa slurry propelan merupakan slurry non-Newtonian yang mengikuti model Power Law dan menunjukkan perilaku pseudoplastic (Abhay et al, 2010). Gupta dkk, mempelajari rheologi dari sistem *binder* murni, terplastisasi, dan terisi bahan padatan. Hasil yang diperoleh mengindikasikan bahwa sistem tersebut menunjukkan perilaku mendekati fluida Newtonian, hanya saja pada sistem *binder* yang terisi padatan menunjukkan peningkatan viskositas akibat rendahnya respon fluida untuk mengalir (Gupta et al, 2014). Muthiah dkk, mempelajari rheologi propellant dengan melihat pengaruh kecepatan dan waktu pencampuran (Muthiah et al, 1993). Florczak dkk, mempelajari properti rheologi suspensi propelan berbasis HTPB diantaranya hubungan viskositas dengan waktu pada berbagai suhu, pengaruh shear rate pada viskositas suspensi propelan, perhitungan parameter termodinamik, dan mencari batas waktu maksimal suspensi propelan masih dapat diproses (Florczak et al, 2015).

1.2 Perumusan Masalah

Homogenitas slurry propelan penting untuk diketahui dan dipelajari karena dapat mempengaruhi spesifikasi propelan yang dihasilkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi homogenitas slurry propelan adalah *mixing time* (waktu pencampuran), maka perlu dipelajari bagaimana pengaruh faktor tersebut pada homogenitas slurry propelan agar dapat dihasilkan propelan dengan spesifikasi yang diinginkan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Faktor pengaruh terhadap homogenitas slurry propelan yang dipelajari adalah *mixing time* (waktu pencampuran).
2. Proses pembuatan slurry propelan dilakukan dengan sistem batch menggunakan mixer sigma blade yang memiliki kapasitas maksimal 5 kg.
3. Komposisi bahan ditetapkan sebagai berikut :

Total Solid	:	85%
Total Liquid	:	15%
Rasio berat AP	:	kasar : medium : halus = 1 : 1 : 2
Urutan bahan masuk	:	[HTPB, DOA, Tepanol] – [AP halus, TPB] – [AP medium] – [AP kasar] – [Al] – [IPDI]
4. Pengujian homogenitas menggunakan data densitas propelan dan densitas slurry.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh *mixing time* (waktu pencampuran) terhadap homogenitas slurry propelan menggunakan mixer sigma blade serta mempelajari perilaku aliran slurry tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan bisa digunakan sebagai acuan dalam proses pembuatan propelan untuk menghasilkan slurry yang homogen sehingga produk yang diperoleh dapat lebih terkontrol dan penelitian yang dilakukan menjadi lebih efektif, serta dapat mendapatkan informasi sebagai referensi jika hendak mendesain mixer dengan kapasitas yang lebih besar.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Propelan Komposit

Propelan komposit merupakan propelan yang tersusun dari oksidator dan bubuk *fuel* yang dicampur bersama dalam matriks *binder*. Sistem *binder* menggunakan HTPB menunjukkan kelayakan dan superioritasnya dibandingkan dengan *binder* lainnya yaitu memiliki kemampuan pemuatan *solid* yang sangat tinggi (86 wt% - 90 wt%) tanpa mengorbankan kemudahan pemrosesan (Gupta et al, 2014).

Pengembangan propelan komposit bertujuan untuk lebih meningkatkan gaya dorong (*thrust*) dibandingkan dengan propelan *single base* maupun *double base*. Oksidator yang umum digunakan adalah AP. Pada distribusi ukuran partikel bimodal yang diperoleh dengan cara mencampur partikel yang sangat halus dengan partikel yang lebih kasar sering memberikan hasil terbaik. Pada proses pencetakan, adonan dicetak dalam kondisi vakum untuk menghilangkan gelembung udara (Fordham, 1980).

2.2 Slurry

Slurry merupakan campuran dari liquid dan partikel solid. Pada kebanyakan slurry, fase liquidnya adalah air. Bagaimanapun, coal-oil dan coal-methanol fuels merupakan contoh slurry dengan fase liquidnya bukan air. Densitas campuran dari slurry, ρ_m , dalam bentuk fraksi massa solid C_w dirumuskan pada persamaan (1) (Curtis, 2008).

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{C_w}{\rho_s} + \frac{1-C_w}{\rho_f} \quad (1)$$

Slurry non-settling bisa menunjukkan perilaku aliran Newtonian maupun non-Newtonian. Pada fluida Newtonian (fraksi volume solid kurang dari 2%), hubungan linier antara shear stress dan shear rate pada aliran laminar ditunjukkan oleh persamaan (2).

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (2)$$

Slope dari garis plot shear stress vs shear rate sama dengan viskositas fluida. Pada konsentrasi yang tinggi, slurry sering berperilaku sebagai fluida non-Newtonian, hubungan shear stress dan shear rate tidak linier atau memerlukan minimum stress untuk mulai mengalir. Beberapa model non-Newtonian antara lain model Power-law, Bingham plastic, dan Herschel-Bulkley sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Model Fluida non-Newtonian

No.	Model	Shear Stress	Viskositas
1.	Power Law	$\tau = k\dot{\gamma}^n$ (3)	$\mu_{app} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = k\dot{\gamma}^{n-1}$ (6)
2.	Bingham Plastic	$\tau = \tau_y + \mu_p\dot{\gamma}$ (4)	$\mu_{app} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \mu_p + \frac{\tau_y}{\dot{\gamma}}$ (7)
3.	Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_y + k\dot{\gamma}^n$ (5)	$\mu_{app} = \frac{\tau_y}{\dot{\gamma}} + k\dot{\gamma}^{n-1}$ (8)

Sumber : (Curtis, 2008)

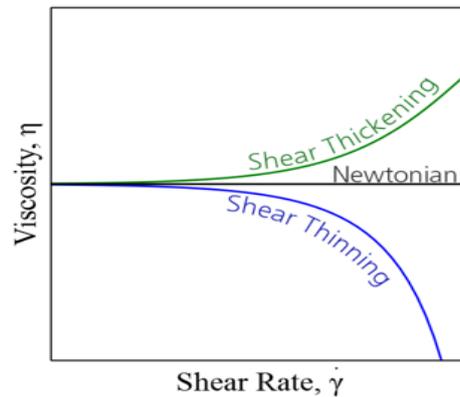
Fluida non-Newtonian ada yang dikategorikan ke dalam time dependent maupun time independent, yang pembagiannya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Macam Fluida non-Newtonian berdasarkan Ketergantungan terhadap Waktu

No.	Macam Fluida	Keterangan	
1.	Time dependent	Thixotropic	Shear stress ↓ , shear rate konstan
		Rheopectic	Shear stress ↑ , shear rate konstan
2.	Time independent	Pseudoplastic (shear-thinning)	μ ↓ , shear rate ↑ , $n < 1$
		Dilatant (shear-thickening)	μ ↑ , shear rate ↑ , $n > 1$

Sumber : (Curtis, 2008)

Perubahan viskositas dari fluida time independent dapat digambarkan sebagaimana Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Viskositas sebagai Fungsi Shear Rate dari Fluida Newtonian, Shear Thinning dan Shear Thickening

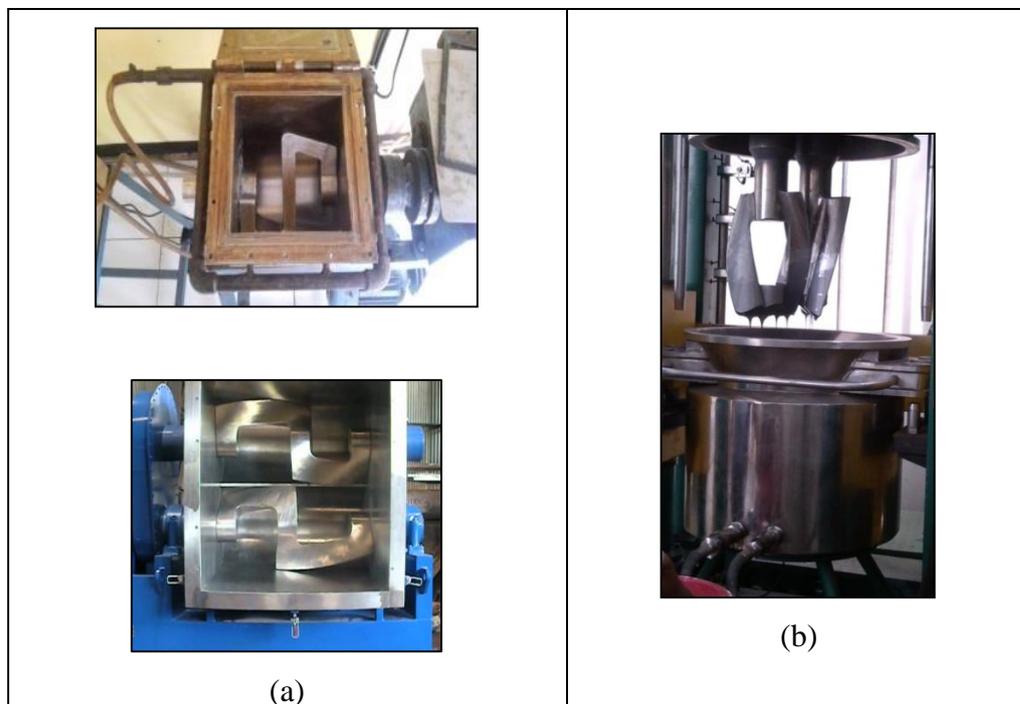
Slurry propelan dikategorikan ke dalam fluida non-Newtonian. Beberapa literatur menyebutkan bahwa slurry propelan mengikuti model Power-law (Abhay et al, 2010), Herschel-Bulkley (Jiang et al, 2012; Muthiah, 1991) dan ada pula yang menyebutkan hampir mengikuti fluida Newtonian (Gupta et al, 2014). Viskositas slurry dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya suhu, waktu *cure* dan shear rate yang dapat dijelaskan dengan model persamaan empiris (Abhay et al, 2010). Selain itu rasio dan urutan penambahan AP ukuran kasar maupun halus juga bisa mempengaruhi viskositas slurry (Nair et al, 2013). Waktu mixing dan kecepatan mixing juga dilaporkan memberikan pengaruh pada peningkatan viskositas dan yield stress slurry (Muthiah et al, 1993).

2.3 Mixer

Industri yang berkaitan dengan proses mixing liquid berviskositas tinggi kebanyakan bekerja dalam sistem *batch*. Kriteria keseragaman produk tidak begitu akurat, non-spesialis bisa melakukan sedikit cara untuk mendesain peralatan, atau melakukan pengecekan pada rekomendasi dari manufaktur. (Walas, 1990). Slurry propelan termasuk liquid berviskositas tinggi, proses pembuatannya dalam sistem *batch* menggunakan beberapa jenis mixer yang telah tersedia.

Untuk bahan-bahan eksplosif dan viskositas tinggi, proses mixing dilakukan dalam lingkungan yang terkontrol dan penuh kehati-hatian. Mixer yang

digunakan didesain untuk menyediakan kondisi yang tepat dan untuk mencegah segala bentuk bahaya ledakan selama proses mixing berlangsung. Mixer yang digunakan untuk mencampur bahan-bahan eksplosif dan propelan ada tipe horisontal maupun vertikal. Untuk tipe horisontal, ada tipe sigma blade dengan jumlah blade single maupun double. Untuk tipe vertikal, pengaduknya berupa paddle, ada pula yang menggunakan double impeller maupun triple impeller. Beberapa tipe mixer propelan dan bahan-bahan eksplosif ditampilkan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Macam Mixer Propelan dan Bahan Eksplosif. (a)Tipe Horisontal;
(b)Tipe Vertikal

Pada Gambar 2.2. ditampilkan mixer yang digunakan untuk propelan dan bahan eksplosif. Pada penelitian yang akan dilakukan, mixer yang digunakan adalah mixer sigma blade dengan jumlah blade satu (single blade) (Gambar 2.2.a bagian atas).

Mixer sigma blade pada Gambar 2.2.a bagian atas, digunakan pada tahap penelitian paling awal pada proses pembuatan propelan. Mixer ini memiliki kapasitas tiga liter dengan dimensi bagian dalam 8 x 8 x 8,5 inch dan memiliki

kecepatan putar 60 rpm. Mixer ini dirangkai dengan waterbath yang berfungsi sebagai pemanas slurry ketika proses mixing berlangsung.

2.4 Homogenitas

Pada operasi *powder*-mixing konvensional, campuran homogen sempurna didefinisikan bahwa komponen *powder* yang diselidiki menjadi seragam di seluruh campuran (Miyunami, 2006). Kondisi keseragaman (homogen) pada campuran slurry propelan dapat didefinisikan sebagai kondisi dimana bahan solid telah bercampur merata ke dalam bahan liquid.

Keseragaman dari campuran multifase dapat diukur dengan melakukan sampling di beberapa daerah pada campuran teraduk. Waktu yang diperlukan untuk mencapai komposisi atau beberapa properti pada kisaran range spesifik (sekitar 95 atau 99% keseragaman) – yaitu *blend time* – mungkin diambil sebagai pengukur performa mixing (Walas, 1990).

Saran pertama dan paling nyata untuk menilai keadaan suatu campuran adalah menghitung properti dari sistem (misalnya konsentrasi komponen kunci) dan menentukan besarnya deviasi pada nilai sampel dari nilai target yang diinginkan untuk keseluruhan campuran. Ini adalah pendekatan yang paling umum untuk mengkarakterisasi campuran secara konsep dan praktek. (Szalai, et al, 2004).

Campuran yang sempurna adalah ketika konsentrasi pada titik yang dipilih secara acak di dalam campuran adalah sama dengan konsentrasi overallnya. Varians dari campuran yang sempurna bernilai nol, ini hanya mungkin untuk gas dan liquid yang dapat diaduk secara molekuler. Dalam hal solid, batasan kondisi homogenitas maksimum adalah nilai varians yang minimum. Varians biasanya digunakan untuk mendefinisikan pencampuran *powder* (Weinekotter, 2000).

Statistik digunakan secara luas untuk mendefinisikan derajat pencampuran (derajat homogenitas) untuk campuran *powder* (Miyunami, 2006). Metode statistik ini juga telah digunakan untuk mencari homogenitas propelan berdasarkan varians nilai kalornya. Propelan yang diukur terdiri dari beberapa batang propelan yang berasal dari beberapa proses *batch* dengan komposisi yang

berbeda, tetapi belum bisa menentukan derajat homogenitas dari propelan tersebut (Abdillah & Ardianingsih, 2014).

Pengujian homogenitas slurry propelan juga pernah dilakukan Hartaya, dkk dengan menguji kesamaan dua sifat produk propelan tercetak dari beberapa proses dengan perbedaan waktu pencampuran dari salah satu bahan solid saja. Slurry dinyatakan homogen ketika sampel propelan dari tiga prosuk tercetak dalam satu *batch* memiliki nilai yang sama dari kedua sifat propelan tersebut. Dilakukan pengulangan sebanyak enam *batch* untuk masing-masing waktu pencampuran yang ditentukan. Dari sini ditentukan derajat homogenitas dengan melihat berapa banyak *batch* yang memiliki nilai yang sama dari enam pengulangan tersebut. Diperoleh hasil bahwa waktu pencampuran yang lebih lama menghasilkan derajat homogenitas yang lebih tinggi. Derajat homogenitas tertinggi yang dicapai yaitu sebesar 66,7% pada waktu pencampuran total yang dilakukan adalah 100 menit (Hartaya, et al, 2016).

2.5 Cara Sampling

Terdapat dua masalah dalam pemilihan sampel atau dimana mengambil sampel. pemilihan sampel tidak seharusnya berdasarkan kemudahan operator karena sampel yang mudah biasanya memiliki tingkat bias tinggi pada powder yang dipisahkan. Sampel pada bagian atas drum atau yang pertama keluar dari mixer tidak bisa mewakili keseluruhan sampel. Penggunaan nilai acak untuk mengidentifikasi lokasi sampel dan teknik ini menghilangkan peluang bias pada pemilihan (Harnby et al, 1997).

Untuk menghindari bias pemilihan sampel, dan untuk memungkinkan dilakukannya perhitungan yang presisi, harus dibuat pemilihan sampel random yang sederhana dari lokasi sampel. Pemilihan random sederhana adalah dimana tiap lokasi yang tidak terpilih memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih. Satu lokasi hanya bisa dipilih satu kali (Harnby et al, 1997).

2.6 Perhitungan Statistika

Standar deviasi dari distribusi, s adalah pengukuran kualitas dari campuran. Campuran kualitas tinggi akan memberikan sedikit variasi di

komposisi diantara sampel-sampel dan akan mempunyai standar deviasi yang rendah. Jika n sampel diambil dari *batch*, maka: (Harnby et al, 1997).

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{(n-1)}} \quad (9)$$

Selain standar deviasi atau simpangan baku, ada ukuran lain yang lebih layak untuk menyatakan keragaman suatu kumpulan data yaitu Koefisien Variasi (KV), yang didefinisikan sebagai :

$$KV = \frac{s_i}{\bar{x}} \times 100\% \quad (10)$$

yang menyatakan simpangan baku sebagai persentase dari nilai tengahnya. Karena KV merupakan ukuran keragaman relatif yang dinyatakan sebagai persen, koefisien variasi dapat digunakan untuk membandingkan variasi / keragaman dua atau lebih kumpulan data, bahkan meskipun satuan pengukurannya tidak sama (Walpole, 1982).

Kuadrat dari standar deviasi adalah varians, s^2 . Varians ini digunakan secara luas untuk menggambarkan kualitas campuran partikulat karena properti tambahannya (Harnby et al, 1997).

Nilai varians data-data dari suatu populasi ini bisa beragam. Varians untuk sekumpulan data ini melukiskan derajat perbedaan atau variasi nilai data individu yang ada dalam kelompok atau kumpulan data tersebut (Sudjana, 1996). Penggunaan analisis varians dilandasi pada asumsi : sampel diambil secara random, data berdistribusi normal, dan varians antar sampel homogen (Sugiyono, 2011).

Untuk menaksir adanya perbedaan nilai data yang signifikan dengan perubahan variabel tertentu dilakukan pengolahan data menggunakan metode Analisis of Varians (anova) satu jalan. Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data densitas propelan dengan variabel berupa waktu pencampuran, dengan mendefinisikan hipotesis H_0 adalah tidak terdapat perbedaan nilai densitas yang signifikan dengan adanya perubahan waktu pencampuran (waktu pencampuran tidak berpengaruh terhadap densitas slurry). Selanjutnya untuk mengetahui letak perbedaannya dapat dilakukan uji kesamaan dua rata-rata.

Pada perhitungan anova satu jalan, sampel yang dimiliki adalah random dari n pengamatan dari masing-masing k populasi yang normal dengan varians yang sama sebagaimana Gambar 2.3 berikut :

	Sample 1 from $N(\mu_1, \sigma^2)$	Sample 2 from $N(\mu_2, \sigma^2)$...	Sample k from $N(\mu_k, \sigma^2)$
	y_{11}	y_{21}	...	y_{k1}
	y_{12}	y_{22}	...	y_{k2}
	\vdots	\vdots		\vdots
	y_{1n}	y_{2n}	...	y_{kn}
Total	$y_{1.}$	$y_{2.}$...	$y_{k.}$
Mean	$\bar{y}_{1.}$	$\bar{y}_{2.}$...	$\bar{y}_{k.}$
Variance	s_1^2	s_2^2	...	s_k^2

Gambar 2.3 Gambaran Data untuk Perhitungan Anova Satu Jalan (Rencher, 2002)

Sampel ke- k atau populasi darimana data tersebut berasal dikatakan sebagai “grup” yang berkaitan dengan “treatment” (perlakuan) yang diberikan oleh peneliti di dalam eksperimen. Total dan rata-rata data untuk masing-masing “grup” dituliskan dalam persamaan (11) dan (12) (Rencher, 2002).

$$y_{i.} = \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (11)$$

$$\bar{y}_{i.} = \sum_{j=1}^n \frac{y_{ij}}{n} \quad (12)$$

Uji F dilakukan dengan menghitung varians tiap “grup” dengan mengkuadratkan persamaan (9) yang selanjutnya dihitung nilai F_{hitung} dari persamaan (13).

$$F_{hitung} = \frac{\text{variens terbesar}}{\text{variens terkecil}} \quad (13)$$

nilai F_{hitung} ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai F_{tabel} dari daftar distribusi F pada literature (Sugiyono, 2011). Jika nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka varians data yang akan dianalisis homogen, sehingga perhitungan anova dapat dilanjutkan. Nilai F_{tabel} didapat dengan nilai dk_1 dan dk_2 sebagai berikut :

$$dk_1 = dk_{pembilang} = n_a - 1 \quad (14)$$

$$dk_2 = dk_{penyebut} = n_b - 1 \quad (15)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan anova menggunakan persamaan (16) – (23) berikut ini.

$$JK_{tot} = \sum y_{tot}^2 - \frac{(\sum y_{tot})^2}{N} \quad (16)$$

$$JK_{ant} = \frac{(\sum y_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum y_2)^2}{n_2} + \dots + \frac{(\sum y_m)^2}{n_m} - \frac{(\sum y_{tot})^2}{N} \quad (17)$$

$$JK_{dal} = JK_{tot} - JK_{ant} \quad (18)$$

$$MK_{ant} = \frac{JK_{ant}}{m-1} \quad (19)$$

$$MK_{dal} = \frac{JK_{dal}}{N-m} \quad (20)$$

$$F_{hitung} = \frac{MK_{ant}}{MK_{dal}} \quad (21)$$

nilai F_{hitung} ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai F_{tabel} dari daftar distribusi F pada literature dengan nilai $dk_{pembilang}$ dan $dk_{penyebut}$ sebagai berikut.

$$dk_{pembilang} = m - 1 \quad (22)$$

$$dk_{penyebut} = N - m \quad (23)$$

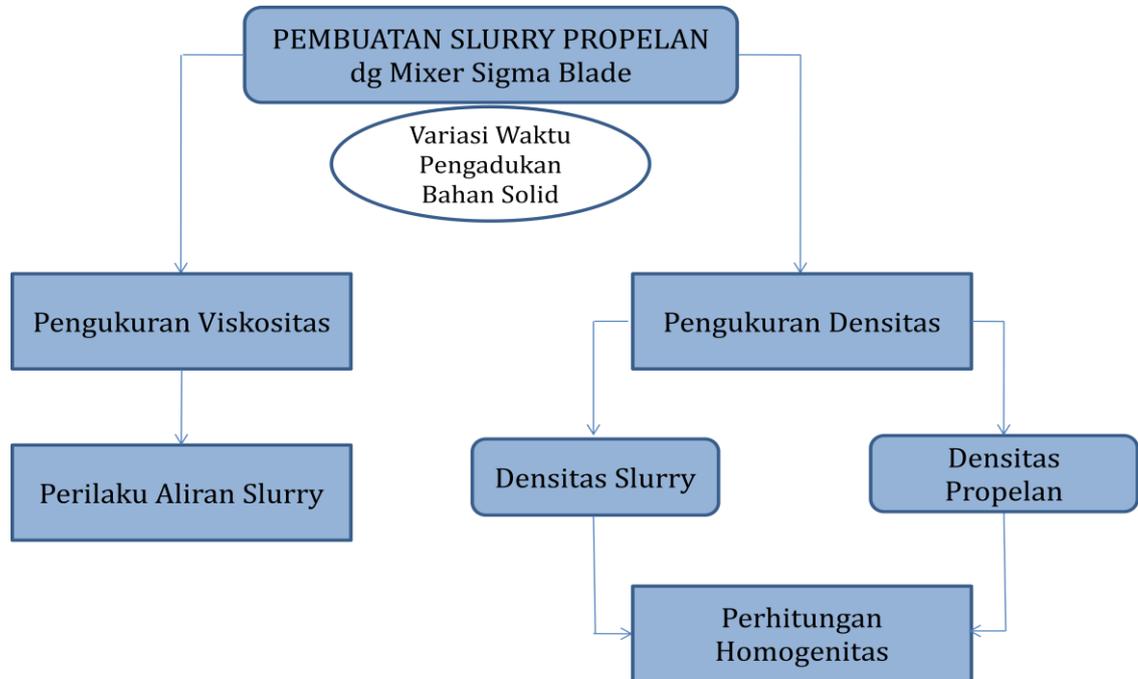
Jika nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ pada taraf nyata tertentu ($\alpha = 1\%$ atau 5%), maka hipotesis H_0 ditolak dan H_a diterima (Sugiyono, 2011).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

3.1 Bahan Pembuatan Propelan

Bahan-bahan yang digunakan untuk proses pembuatan propelan antara lain AP yang terdiri dari tiga ukuran partikel, HTPB, IPDI, Al, DOA, dan beberapa bagian kecil bahan aditif. Berikut disampaikan properti fisik dari masing-masing bahan :

1.1.1 Ammonium Perklorat (AP)

Rumus Kimia	: NH_4ClO_4
Berat Molekul	: 117,49 g/mol
Nilai pH	: 4,5 – 5,8
Total Moisture	: $\leq 0,2\%$
Ukuran partikel rata-rata	: 50 μm (halus) 100 μm (medium) 200 μm (kasar)

Densitas : 1,95 g/ml (25°C)

Kelarutan dalam air : 205,9 g/l (20°C)

1.1.2 Hidroxy Terminated Polybutadiene (HTPB)

Rumus Kimia : $\text{OH}[\text{C}_4\text{H}_6]_n\text{OH}$

Berat Molekul : 2300 – 2800 g/mol

Angka Hidroxyl : 47.1 mgKOH/g

Polidispersity : 2,5

Viskositas : 20 – 30 poise (30°C)

Suhu Transisi Glass (Tg) : -75 °C

Densitas : 0,8 – 0,9 g/ml

Manufaktur : polimerisasi radikal bebas

1.1.3 Isophoronediiisocyanate (IPDI)

Rumus Kimia : $\text{OCNC}_6\text{H}_7(\text{CH}_3)_3\text{CH}_2\text{NCO}$

Berat Molekul : 222,32 g/mol

Bentuk : cairan jernih

Densitas : 1,049 g/ml (25°C)

Viskositas : mendekati 10 mPa.s (25°C)

Kelarutan dalam air : 15 mg/L (23°C)

1.1.4 Aluminium (Al)

Rumus Molekul : Al

Berat Molekul : 26,98 g/mol

Densitas : 2,7 g/ml

Bentuk : butiran sferik

Ukuran partikel rata-rata : 10 μm

1.1.5 Dioctyl Adipate (DOA)

Rumus Molekul : $\text{C}_{22}\text{H}_{42}\text{O}_4$

Berat Molekul : 371 g/mol

Specific gravity : 0,926 (20°C)

Viskositas : 13,7 centipoise (20°C)
 Bentuk : cairan jernih

1.1.6 Triphenyl Bismuth (TPB)

Rumus Molekul : $(C_6H_5)_3Bi$
 Berat Molekul : 440,29 g/mol
 Bentuk : kristal putih
 Densitas : 1,585 g/ml
 Titik Leleh : 170 °C

1.1.7 Cyanoethylated Polyamine (Tepanol)

Bentuk : cairan kental
 Densitas : 1,1 g/ml
 Viskositas : 30000 cP

3.2 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini antara lain :

No.	Nama Alat	Gambar
1.	Mixer sigma blade yang dirangkai dengan <i>waterbath</i>	
2.	Densitometer AND HR-200	

No.	Nama Alat	Gambar
3.	Viskometer Brookfield RVDVE230	

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah waktu pencampuran masing-masing bahan-bahan solid (AP dan Al) yaitu selama : 10, 15, 20, 25, 30, 35 dan 40 menit. Gambaran variabel tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Variabel Waktu Pencampuran Bahan Solid

Urutan	Bahan	t_{mix} (menit)						
		t_{mix} solid = 10 menit	t_{mix} solid = 15 menit	t_{mix} solid = 20 menit	t_{mix} solid = 25 menit	t_{mix} solid = 30 menit	t_{mix} solid = 35 menit	t_{mix} solid = 40 menit
1	HTPB	15	15	15	15	15	15	15
	Tepanol							
	DOA							
2	AP 50 μm	10	15	20	25	30	35	40
	TPB							
3	AP 100 μm	10	15	20	25	30	35	40
4	AP 200 μm	10	15	20	25	30	35	40
5	Al	10	15	20	25	30	35	40
6	IPDI	40	40	40	40	40	40	40
	t_{mix} total (menit)	95	115	135	155	175	195	215

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Slurry Propelan

Proses pembuatan slurry propelan berlangsung dalam sistem *batch*.

Slurry yang akan dibuat memiliki komposisi :

Total Solid Content : 85% (berat)

Total Liquid Content : 15% (berat)

Rasio berat AP : kasar : medium : halus = 1 : 1 : 2
Urutan bahan masuk : [HTPB, DOA, Tepanol] – [AP halus, TPB] – [AP medium] – [AP kasar] – [Al] – [IPDI]

Prosedur dibawah ini disebut sebagai prosedur “standar” (prosedur tanpa variabel) dari batch proses pembuatan slurry propelan :

1. Menyiapkan bahan-bahan sesuai dengan komposisi yang ditetapkan.
2. Menyiapkan *waterbath* untuk menjaga suhu proses pada range 50-55°C.
3. Menyiapkan mixer sigma blade.
4. Memasukkan HTPB, DOA, dan aditif cair ke dalam mixer dan mengaduknya selama 15 menit.
5. Memasukkan AP 50 µm, TPB, dan mengaduknya selama 30 menit.
6. Memasukkan AP 100 µm dan mengaduknya selama 30 menit.
7. Memasukkan AP 200 µm dan mengaduknya selama 30 menit.
8. Memasukkan Al dan mengaduknya selama 30 menit.
9. Memasukkan IPDI dan mengaduknya selama 40 menit.
10. Selesai.

Pembuatan slurry propelan dilakukan sebanyak tujuh batch sesuai dengan variabel waktu pencampuran bahan-bahan solid. Setiap batch proses dilakukan dengan merubah waktu pencampuran AP dan Al (langkah 5 hingga 8) yaitu menjadi 10, 15, 20, 25, 30, 35 dan 40 menit, sedangkan waktu pencampuran untuk bahan lainnya dibuat tetap.

3.4.2 Pengukuran Densitas Slurry

1. Mengambil slurry hasil akhir mixing dari enam lokasi di dalam mixer. Lokasi di dalam mixer yang dimaksud adalah slurry pada blade, empat bagian sudut mixer, dan bagian tengah mixer.
2. Menempatkan slurry dari masing-masing lokasi ke dalam wadah pertama (slab pertama) berukuran 10x5x1 cm.
3. Membuat slab mini berukuran sekitar 2x1x1 cm untuk mengukur densitas slurry secara manual.
4. Mengukur suhu aquades dan menimbang beratnya di dalam slab mini untuk mengetahui volume slab mini sebenarnya.

5. Mengambil slurry dari slab pertama dan menempatkannya ke dalam slab mini hingga slab mini penuh untuk ditimbang beratnya.
6. Menghitung densitas slurry dari data berat slurry dan volume slab mini.
7. Melakukan pengolahan data densitas slurry.

3.4.3 Pengukuran Densitas Propelan

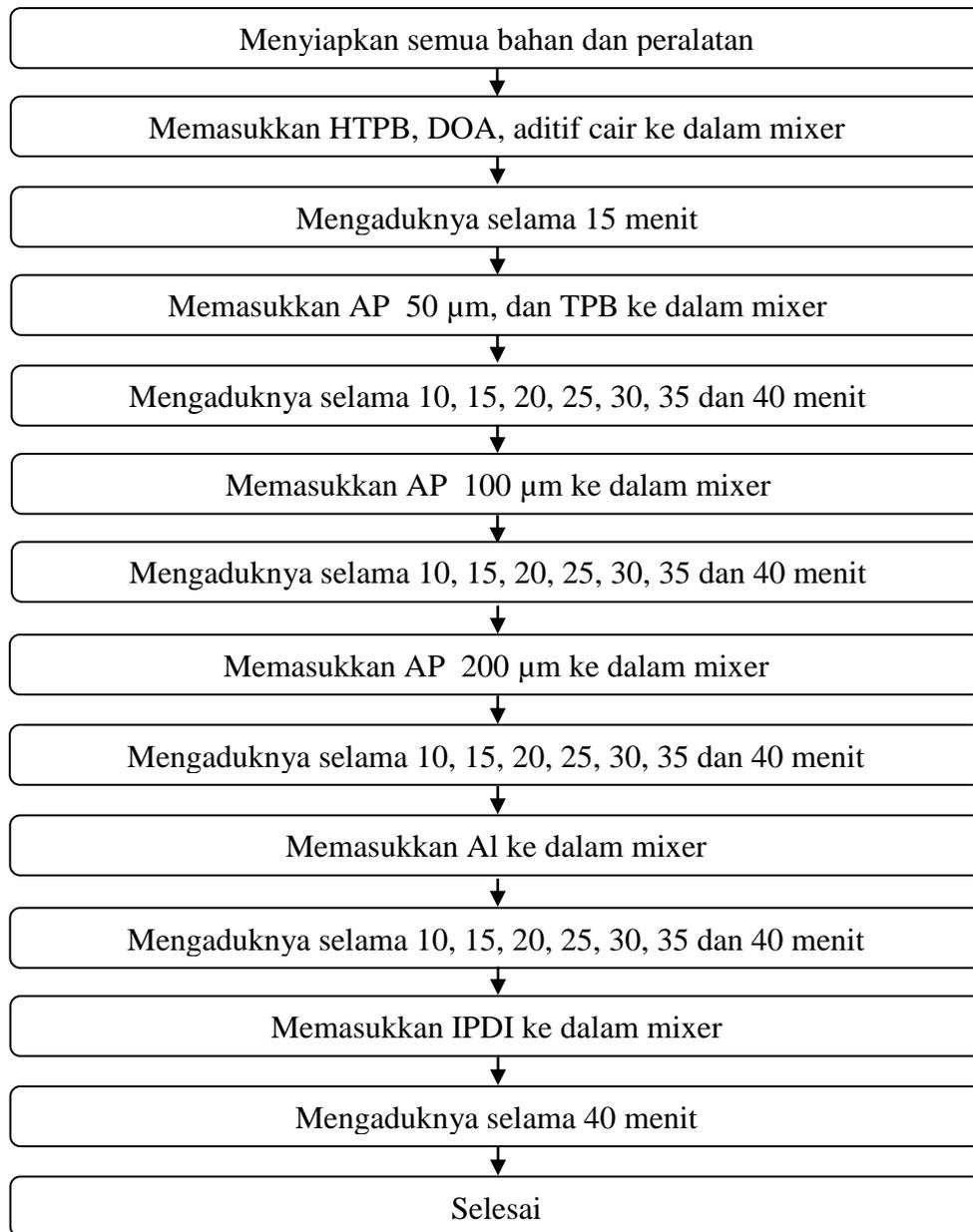
1. Mengambil slurry hasil akhir mixing dari enam lokasi di dalam mixer. Lokasi di dalam mixer yang dimaksud adalah slurry pada blade, empat bagian sudut mixer, dan bagian tengah mixer.
2. Menempatkan slurry dari masing-masing lokasi ke dalam wadah (slab) berukuran 10x5x1 cm.
3. Mengoven slurry yang telah ditempatkan dalam slab pada suhu 80°C selama 24 jam sehingga slurry menjadi propelan yang padat.
4. Memotong sampel propelan dari masing-masing slab dengan ukuran sekitar 1x1x1 cm untuk dilakukan pengukuran densitas.
5. Mengukur densitas masing-masing sampel propelan menggunakan densitometer.
6. Melakukan pengolahan data densitas propelan.

3.4.4 Pengukuran Viskositas Slurry Propelan

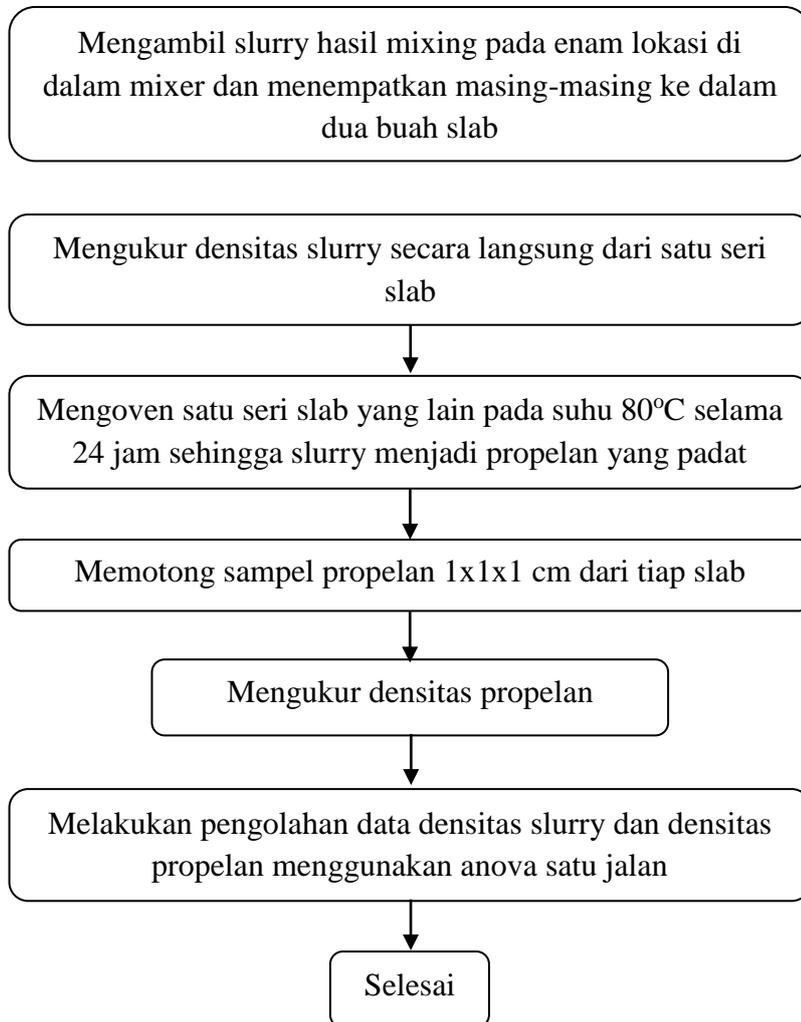
Slurry hasil akhir proses mixing diukur viskositasnya menggunakan viskometer Brookfield RVDVE230 dan spindle no.7. Pengukuran yang dilakukan terkait dengan pengaruh shear rate terhadap viskositas yang terukur dalam rangka mencari perilaku aliran dari slurry propelan. Langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Memilih kecepatan rotasi spindle pada range 12 hingga 1,5 rpm.
2. Mencatat nilai viskositas yang terukur pada masing-masing kecepatan rotasi spindle (shear rate).

3.4.5 Bagan Pembuatan Slurry Propelan



3.4.5 Bagan Pengukuran Densitas Slurry dan Propelan



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Homogenitas Slurry Propelan

Pendekatan yang paling umum untuk menilai suatu campuran/larutan adalah melalui konsentrasi dan besarnya deviasi dari konsentrasi yang diinginkan (Szalai, et al, 2004). Campuran yang sempurna adalah ketika konsentrasi pada titik yang dipilih secara acak di dalam campuran adalah sama dengan konsentrasi *overallnya* (Weinekotter, 2000). Dalam hal slurry propelan, dapat dikatakan homogen ketika semua bahan penyusunnya (solid dan liquid) tersebar merata/memiliki komposisi yang sama di setiap bagiannya.

Untuk mengetahui bahwa komposisi bahan di setiap bagian sama, digunakan data densitas sebagai nilai yang diukur untuk mewakili konsentrasi. Hal ini dikarenakan bahan solid merupakan bahan mayoritas di dalam campuran (85% wt) dan rentang nilai densitas bahan solid dan liquid dari penyusun propelan cukup jauh yaitu dari 0,8 hingga 2,7 g/ml sehingga diasumsikan dapat mewakili nilai konsentrasi.

Untuk mendapatkan slurry propelan yang homogen, bahan solid yang merupakan bahan mayoritas diaduk di dalam mixer sigma blade berkapasitas 5 kg bersama dengan bahan liquid yang salah satunya berupa polimer. Polimer disini berfungsi sebagai *binder* yang akan mengikat partikel-partikel solid sehingga dapat menjadi kesatuan yang padat ketika dilakukan proses *curing* (pematangan) menjadi propelan padat. Hasil pencampuran dikatakan baik ketika semua partikel solid dapat saling bercampur dan *tercover* (terlapisi) oleh *binder*.

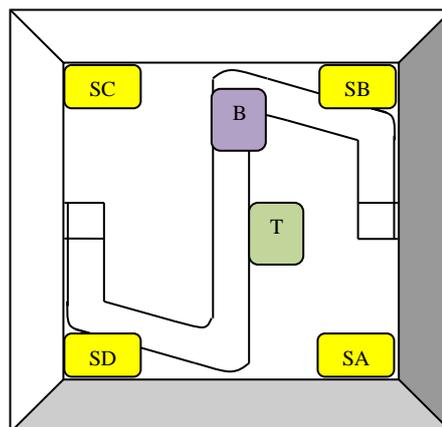
Proses pembuatan propelan ini dilakukan dalam sistem *batch* dengan variabel berupa waktu pencampuran dari tiap-tiap bahan solid untuk memastikan bahwa tiap bahan solid dapat terlapisi oleh bahan liquidnya. Proses mencampur masing-masing bahan solid ini juga menjadi perhatian tersendiri guna meminimalisir kemungkinan adanya bahan solid yang tidak ikut teraduk terutama di bagian blade dan pojok mixer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Kondisi ini dapat terjadi ketika jumlah AP halus (rata-rata ukuran partikel 50 μm)

lebih banyak dibandingkan dengan AP yang lebih kasar (rata-rata ukuran partikel 100 dan 200 μm). Akibat partikel halus ini lebih ringan, maka ketika diaduk akan ada partikel yang melayang dan menempel pada bagian tengah blade yang tidak bisa ikut teraduk. Untuk meminimalisir hal tersebut, maka dibantu dengan meratakan slurry secara manual yaitu memasukkan slurry dari bagian-bagian mixer yang kemungkinan tidak teraduk ke bagian tengah mixer.



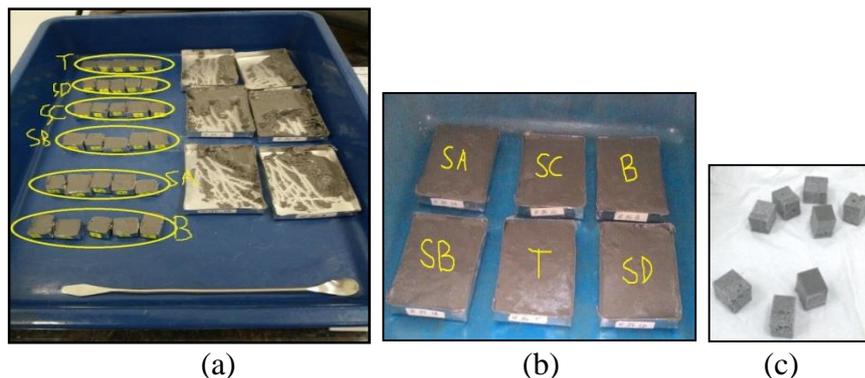
Gambar 4.1 Contoh Proses Pencampuran yang Kurang Sempurna

Pengambilan sampel slurry dilakukan pada enam bagian (lokasi) dalam mixer yaitu pada blade, pada empat pojok mixer, dan pada bagian tengah mixer yang selanjutnya dinyatakan secara berturut-turut dengan kode B, SA, SB, SC, SD, dan T yang ditunjukkan dengan ilustrasi penampang bagian atas mixer pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Lokasi Pengambilan Sampel Dilihat dari Bagian Atas Mixer

Dari masing-masing lokasi tersebut, slurry diambil dan ditempatkan ke dalam dua seri wadah (slab). Satu seri slurry dalam slab akan dilakukan pengukuran densitas slurry secara langsung. Pengukuran ini dilakukan secara manual artinya tidak menggunakan instrumentasi karena penggunaan instrumentasi hanya untuk pengukuran densitas bahan liquid dan solid saja, tidak bisa untuk mengukur slurry. Sampel slurry yang diambil selanjutnya ditempatkan ke dalam slab mini yang telah diketahui volumenya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3.(a). Slurry tersebut kemudian ditimbang beratnya menggunakan neraca analitik. Data yang diperoleh selanjutnya disebut sebagai densitas slurry. Untuk satu seri slab yang lain (Gambar 4.3.(b)) akan dimatangkan (dilakukan proses *curing*) selama 24 jam pada suhu 80°C hingga menjadi propelan padat yang selanjutnya diukur densitasnya disebut sebagai densitas propelan.



Gambar 4.3. Sampel Slurry dan Propelan Padat. (a) Sampel Slurry untuk Pengukuran Densitas Slurry; (b) Slurry Propelan untuk dicuring; (c) Sampel Propelan Padat

Setelah dicuring selama 24 jam, sampel slurry tersebut menjadi padat kemudian dipotong dadu seperti pada Gambar 4.3(c) untuk kemudian diukur nilai densitasnya. Kondisi slurry propelan dapat dikatakan relatif homogen adalah ketika nilai densitasnya relatif sama disetiap bagian dalam mixer. Untuk mengetahuinya maka dicari rata-rata nilai densitas propelan maupun densitas slurry pada setiap lokasi di dalam mixer yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Rata-Rata Nilai Densitas Propelan di Lokasi Mixer pada beberapa Waktu Pencampuran

Total t_{mix} (min)	Rata-Rata Densitas Propelan di Lokasi Mixer (g/ml)					
	B	SA	SB	SC	SD	T
95	1.349	1.365	1.375	1.358	1.368	1.379
115	1.451	1.381	1.416	1.394	1.407	1.381
135	1.423	1.391	1.404	1.427	1.415	1.424
155	1.431	1.425	1.429	1.426	1.401	1.418
175	1.426	1.438	1.458	1.436	1.438	1.448
195	1.408	1.419	1.406	1.441	1.416	1.435
215	1.459	1.459	1.424	1.439	1.498	1.445

Dari Tabel 4.1 diperoleh informasi bahwa di dalam satu batch proses pencampuran, relatif tidak terdapat perbedaan nilai densitas propelan pada tiap-tiap bagian (lokasi) di dalam mixer (memiliki nilai densitas yang relatif sama), maka dapat dikatakan bahwa lokasi di dalam mixer tidak berpengaruh pada nilai densitas yang dihasilkan. Selain itu pada masing-masing batch proses juga diperoleh hasil yang sama yaitu tidak ada perbedaan nilai densitas pada tiap-tiap lokasi mixer, artinya dalam setiap kali proses pencampuran masing-masing batch menghasilkan slurry propelan dengan nilai densitas yang sama pada keseluruhan campurannya sehingga dapat dikatakan bahwa hasil pencampuran dari masing-masing batch adalah relatif homogen. Hasil ini berarti juga bahwa setiap batch proses menggunakan mixer sigma blade menghasilkan slurry yang konsisten (Abdillah & Ardianingsih, 2014), walaupun nantinya akan menghasilkan nilai / derajat homogenitas yang sedikit berbeda tergantung dari kondisi operasi yang dilakukan.

Demikian juga untuk data densitas slurry pada Tabel 4.2 yang menunjukkan hasil yang relatif sama dengan data densitas propelan, yaitu relatif tidak terdapat perbedaan nilai densitas slurry pada tiap-tiap bagian (lokasi) di dalam mixer.

Tabel 4.2 Rata-Rata Nilai Densitas Slurry di Lokasi Mixer pada beberapa Waktu Pencampuran

Total t_{mix} (min)	Rata-Rata Densitas Slurry di Lokasi Mixer (g/ml)					
	B	SA	SB	SC	SD	T
95	1.595	1.596	1.587	1.655	1.653	1.611
115	1.502	1.549	1.565	1.555	1.546	1.495
135	1.528	1.590	1.601	1.570	1.525	1.514
155	1.629	1.592	1.554	1.594	1.607	1.633
175	1.485	1.624	1.531	1.621	1.523	1.536
195	1.595	1.620	1.650	1.672	1.630	1.583
215	1.517	1.565	1.561	1.550	1.471	1.535

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa rata-rata nilai densitas propelan maupun slurry dari tiap-tiap lokasi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Untuk memastikan hal tersebut dilakukan pengujian kesamaan dua rata-rata dari masing-masing lokasi pada tiap-tiap waktu pencampuran (cara perhitungan uji kesamaan dua rata-rata terdapat di appendix). Dari pengujian tersebut akan diperoleh informasi apakah terdapat perbedaan nilai densitas propelan antara satu bagian mixer dengan bagian lainnya di dalam mixer. Dari hasil pengujian kesamaan dua rata-rata diperoleh bahwa nilai rata-rata densitas pada tiap lokasi dinyatakan tidak berbeda artinya lokasi di dalam mixer tidak berpengaruh pada nilai densitas yang diperoleh, baik itu densitas slurry maupun densitas propelan.

Selanjutnya untuk mengetahui homogenitas slurry dari masing-masing kondisi operasi dapat merujuk pada data-data statistik yang diperoleh dari pengolahan data densitas propelan dan densitas slurry. Dari hasil pengukuran densitas propelan dan densitas slurry diperoleh data rata-rata, varians, dan standar deviasi (simpangan baku) seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Densitas Propelan

	Densitas Propelan (g/ml)						
	$t_{\text{mix solid}} =$ 10 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 15 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 20 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 25 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 30 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 35 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 40 menit
mean	1.36559	1.40510	1.41400	1.42161	1.44058	1.42083	1.45405
s_i^2	0.00035	0.00104	0.00021	0.00025	0.00031	0.00028	0.00102
s_i	0.01874	0.03217	0.01465	0.01570	0.01772	0.01663	0.03189

Data-data yang diperoleh pada Tabel 4.3 diolah lebih lanjut untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai densitas pada perubahan waktu pencampuran melalui uji anova satu jalan. Pengujian anova satu jalan dilakukan dengan mengambil hipotesis nol (H_0) tidak terdapat perbedaan nilai densitas yang signifikan dengan adanya perubahan waktu pencampuran. Syarat penerimaan H_0 adalah jika nilai $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ pada taraf kesalahan tertentu. Nilai taraf kesalahan yang digunakan adalah 1% ($\alpha = 1\%$) dengan nilai $F_{\text{tabel}} = 2.9$. Dari hasil pengujian anova satu jalan diperoleh nilai $F_{\text{hitung}} = 48.2$. Dengan nilai $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ maka H_0 ditolak, sehingga diambil kesimpulan bahwa terdapat perbedaan nilai densitas yang signifikan dengan adanya perubahan waktu pencampuran, artinya waktu pencampuran memberikan pengaruh pada nilai densitas propelan yang dihasilkan.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Densitas Slurry

	Densitas Slurry (g/ml)						
	$t_{\text{mix solid}} =$ 10 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 15 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 20 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 25 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 30 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 35 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 40 menit
mean	1.61611	1.53550	1.55483	1.60155	1.55356	1.62505	1.53311
s_i^2	0.00274	0.00342	0.00430	0.00338	0.00669	0.00644	0.00370
s_i	0.05233	0.05846	0.06554	0.05817	0.08177	0.08025	0.06083

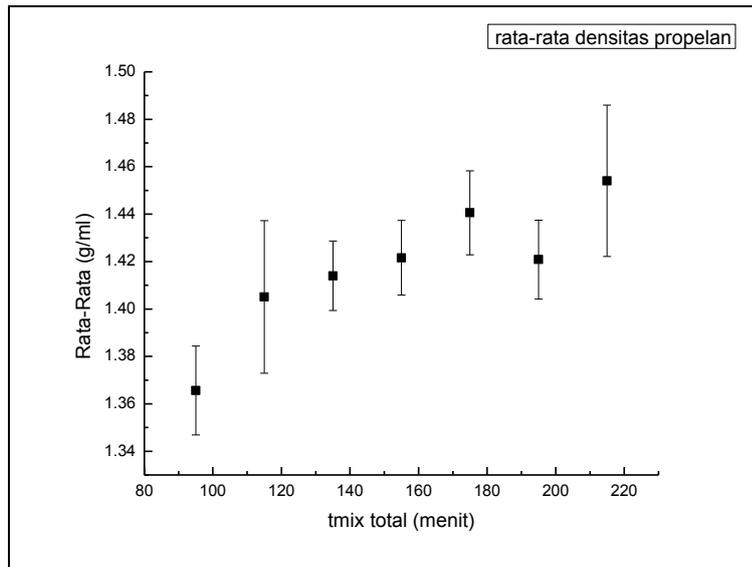
Untuk data-data pada Tabel 4.4 dilakukan pengolahan sebagaimana Tabel 4.3, diperoleh nilai $F_{\text{hitung}} = 10.4$. Dengan mengambil nilai $\alpha = 1\%$ dan nilai $F_{\text{tabel}} = 2.9$, maka nilai $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ sehingga diperoleh kesimpulan yang sama bahwa terdapat perbedaan nilai densitas propelan yang signifikan dengan adanya perubahan waktu pencampuran artinya waktu pencampuran memberikan pengaruh pada nilai densitas slurry yang dihasilkan.

Selanjutnya untuk mengetahui letak perbedaan nilai densitas diantara tiap batch maka hasil pengujian anova tersebut dilengkapi dengan hasil uji kesamaan dua rata-rata. Dari hasil pengujian ini diperoleh informasi batch-batch mana saja yang memiliki rata-rata nilai densitas yang dinyatakan sama maupun berbeda (pengujian kesamaan dua rata-rata berdasarkan batch proses terdapat di appendix). Dari hasil pengujian dua rata-rata dari tiap-tiap batch proses diperoleh bahwa nilai rata-rata densitas antar batch dinyatakan berbeda secara signifikan, artinya bahwa waktu pencampuran memberikan pengaruh terhadap nilai densitas propelan maupun densitas slurry.

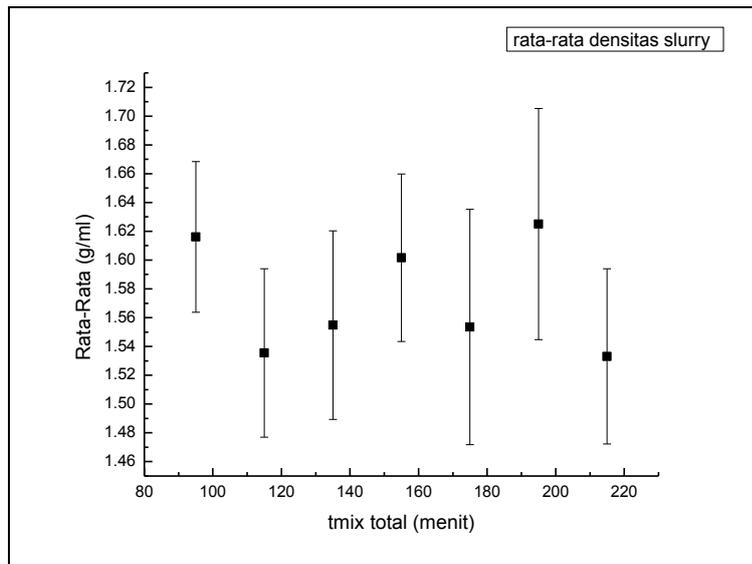
Pengaruh waktu pencampuran terhadap nilai rata-rata densitas propelan dapat dilihat pada Gambar 4.4. Terlihat bahwa semakin lama waktu pencampuran nilai rata-rata densitas menunjukkan kecenderungan meningkat kecuali pada t_{mix} total 195 menit dengan nilai simpangan yang relatif kecil yang ditunjukkan dengan ukuran panjang garis vertikal pada grafik. Persebaran nilai penyimpangan data di tiap lokasi pada masing-masing batch proses dapat dilihat di appendix.

Kecenderungan peningkatan nilai densitas ini bisa diakibatkan oleh penurunan homogenitas yang terjadi seperti ditunjukkan pada Tabel 4.7. Dengan penurunan homogenitas ini bisa dimungkinkan terdapat bagian slurry yang memiliki kandungan solid lebih banyak sehingga ketika dilakukan pengukuran nilai densitas akan menghasilkan pengukuran yang nilainya cenderung lebih tinggi.

Untuk nilai rata-rata densitas slurry yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5, memiliki nilai yang sangat fluktuatif dan simpangan yang relatif lebih besar daripada simpangan pada pengukuran densitas propelan yang ditunjukkan dengan garis vertikal yang memiliki ukuran lebih panjang daripada garis vertikal pada Gambar 4.4. Nilai yang sangat fluktuatif dengan nilai simpangan yang relatif besar ini bisa disebabkan dari metode pengukuran densitas slurry yang dilakukan secara manual sehingga hasilnya lebih “kasar” dan dirasa kurang *reliable*.



Gambar 4.4 Perubahan Rata-Rata Densitas Propelan terhadap Waktu Pencampuran Total



Gambar 4.5 Perubahan Rata-Rata Densitas Slurry terhadap Waktu Pencampuran Total

Ukuran yang layak untuk menyatakan keragaman suatu kumpulan data yaitu Koefisien Variasi (KV) (Walpole, 1982), maka untuk melihat kondisi homogenitas dari slurry propelan dilakukan dengan melihat koefisien variasi dari nilai densitas yang dihasilkan. Nilai KV ini dihitung sebagai nilai kriteria untuk mengevaluasi kualitas proses pencampuran (Zawiślak et al, 2011). Kumpulan data

yang memiliki nilai KV yang kecil artinya kumpulan data tersebut memiliki keragaman yang relatif kecil.

Nilai KV yang dinyatakan dalam bentuk persentase merupakan ukuran keragaman, maka untuk menyatakan keseragaman atau homogenitas adalah dengan mengambil persentase sisanya. Derajat homogenitas slurry propelan dan derajat homogenitas propelan ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Pada Tabel 4.7 terlihat bahwa dengan bertambahnya waktu pencampuran, nilai KV cukup berfluktuasi, tetapi relatif sama pada batch proses dengan waktu pencampuran total 135, 155, 175, dan 195 menit, artinya pada batch tersebut dihasilkan propelan dengan nilai densitas yang relatif lebih seragam dibanding batch lainnya.

Tabel 4.7 Derajat Homogenitas Berdasarkan Data Densitas Propelan

No.	$t_{\text{mix solid}} =$ 10 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 15 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 20 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 25 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 30 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 35 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 40 menit
KV (%)	1.373	2.290	1.036	1.104	1.230	1.170	2.193
% homogen	98.627	97.710	98.964	98.896	98.770	98.830	97.807

Tabel 4.8 Derajat Homogenitas Berdasarkan Data Densitas Slurry

No.	$t_{\text{mix solid}} =$ 10 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 15 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 20 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 25 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 30 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 35 menit	$t_{\text{mix solid}} =$ 40 menit
KV (%)	3.238	3.807	4.215	3.632	5.264	4.938	3.968
% homogen	96.762	96.193	95.785	96.368	94.736	95.062	96.032

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8, nilai derajat homogenitas yang dihasilkan relatif tinggi yaitu di atas 94%, artinya slurry yang dihasilkan pada masing-masing batch sudah relatif homogen, tetapi terdapat perbedaan hasil antara Tabel 4.7 dan Tabel 4.8. Nilai KV pada Tabel 4.8 relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai KV pada Tabel 4.7, artinya data densitas slurry yang diolah pada Tabel 4.8 memiliki keragaman yang lebih besar daripada data densitas propelan. Hal ini wajar terjadi karena pengukuran densitas slurry dilakukan secara manual yang hasilnya relatif lebih “kasar” sehingga error yang dapat terjadi lebih besar, sedangkan pengukuran densitas propelan menggunakan instrument dimana error pengukurannya sangat kecil dan dianggap lebih *reliable*. Dengan demikian

hasil yang dianggap lebih *reliable* diambil sebagai dasar untuk merekomendasikan kondisi proses yang optimal. Dari Tabel 4.7 diperoleh bahwa kondisi operasi optimal adalah pada waktu pencampuran masing-masing bahan solid 20 menit atau t_{mix} total 135 menit dengan nilai homogenitas tertinggi yaitu 98.964%. Seiring dengan semakin lamanya waktu pencampuran, homogenitas yang dihasilkan relatif menurun setelah tercapainya kondisi optimal, walaupun nilai penurunan tersebut tidak begitu signifikan. Hal ini bisa disebabkan waktu pencampuran yang lebih lama akan membuat terjadinya pergerakan partikel yang berlebih akibat terkena gaya dorong maupun shear secara terus menerus dari blade yang memungkinkan partikel-partikel tersebut akan terkumpul di spot tertentu sehingga mengakibatkan kualitas produk pencampuran menjadi turun, sebagaimana diketahui bahwa overmixing dapat meningkatkan strain pada campuran yang akan menghasilkan efek berkebalikan terhadap kualitas produk (Weinekotter, 2000).

4.2 Perilaku Slurry Propelan

Slurry propelan pada penelitian ini termasuk ke dalam fluida dengan viskositas tinggi yaitu mendekati 4000 poise. Slurry ini termasuk ke dalam fluida non-Newtonian. Untuk mempelajari perilaku slurry tersebut dilakukan pengamatan perubahan viskositas slurry terhadap perubahan shear rate dan perubahan viskositas terhadap perubahan waktu pencampuran. Shear rate yang dimaksud disini berupa kecepatan rotasi spindle (rpm) pada saat pengukuran viskositas (Abhay, 2010).

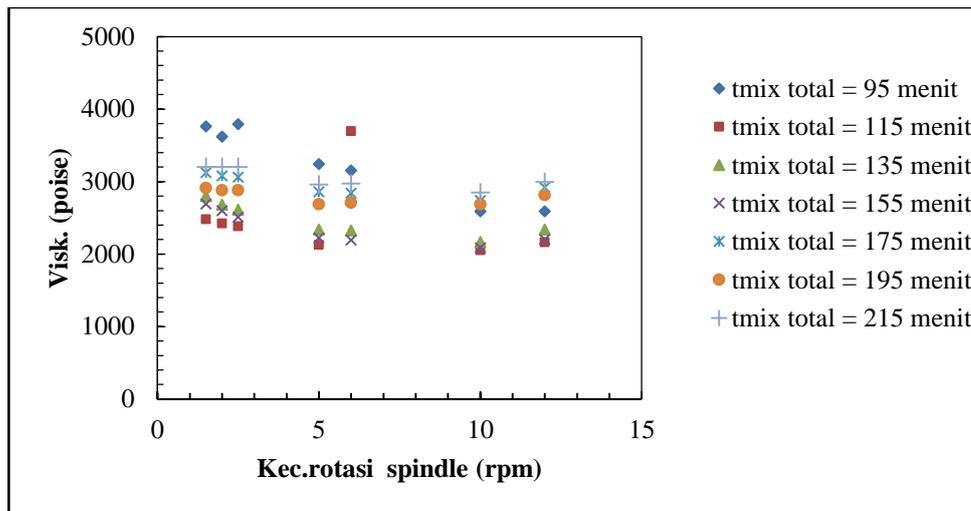
Pengukuran viskositas slurry propelan dilakukan pada tiap batch proses setelah proses mixing berakhir menggunakan spindle no.7 dari viskometer Brookfield tipe RVDVE 230 pada range kecepatan rotasi spindle 1,5 - 12 rpm. Pengukuran dimulai dari kecepatan rotasi yang paling besar yaitu 12 rpm hingga yang paling kecil 1,5 rpm. Untuk pengukuran dimulai dari kecepatan rotasi terkecil hingga terbesar akan menghasilkan nilai viskositas yang berbeda tetapi dengan kecenderungan yang sama (Florczak et al, 2015). Hasil pengukuran dan analisa korelasinya ditampilkan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perubahan Viskositas terhadap Perubahan Kecepatan Rotasi Spindle

$\dot{\gamma}$ (rpm)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	μ (N.s/m ²)						
		$t_{\text{mix solid}}$ = 10 menit	$t_{\text{mix solid}}$ = 15 menit	$t_{\text{mix solid}}$ = 20 menit	$t_{\text{mix solid}}$ = 25 menit	$t_{\text{mix solid}}$ = 30 menit	$t_{\text{mix solid}}$ = 35 menit	$t_{\text{mix solid}}$ = 40 menit
12	0.20	258.7	216.0	233.7	220.0	292.0	281.3	299.3
10	0.17	258.8	205.2	216.8	208.8	274.0	268.4	284.8
6	0.10	315.3	369.3	232.7	219.3	284.0	270.7	297.3
5	0.08	324.0	212.8	233.6	222.4	285.6	268.8	296.0
2.5	0.04	379.0	238.0	261.0	251.0	306.0	288.0	320.0
2	0.03	362.0	242.0	268.0	260.0	308.0	288.0	320.0
1.5	0.02	376.0	248.0	280.0	269.0	312.0	291.0	320.0
r		-0.9777	-0.1967	-0.8304	-0.8438	-0.7415	-0.5672	-0.8036

Berdasarkan Tabel 4.9 diperoleh bahwa nilai koefisien korelasi bernilai negatif artinya antara viskositas dengan kecepatan rotasi spindle menunjukkan korelasi yang berlawanan yaitu semakin besar kecepatan rotasi spindle maka akan semakin rendah nilai viskositasnya. Nilai koefisien korelasi ini sebagai ukuran kuatnya hubungan linier antara dua variabel (Walpole, 1982), dalam hal ini adalah shear rate dan viskositas. Hubungan linier sempurna ditunjukkan dengan nilai $r = -1$ atau $r = +1$ yang dapat dinyatakan bahwa terdapat korelasi yang tinggi diantara dua variabel tersebut, sedangkan nilai $r = 0$ menyatakan bahwa tidak ada hubungan linier sama sekali diantara kedua variabel (Walpole, 1982). Pada variabel $t_{\text{mix solid}} = 15$ menit diperoleh nilai korelasi yang sangat kecil dibandingkan variabel waktu pencampuran yang lain. Hal ini dapat dikatakan bahwa hubungan liniernya sangat lemah, karena terdapat nilai viskositas yang menyimpang pada salah satu nilai rpm, yaitu pada 6 rpm, dimana nilai viskositasnya jauh lebih tinggi dari kecenderungan yang seharusnya terbentuk.

Hasil pengukuran viskositas pada beberapa kecepatan rotasi spindle dapat digambarkan seperti Gambar 4.6 berikut ini.

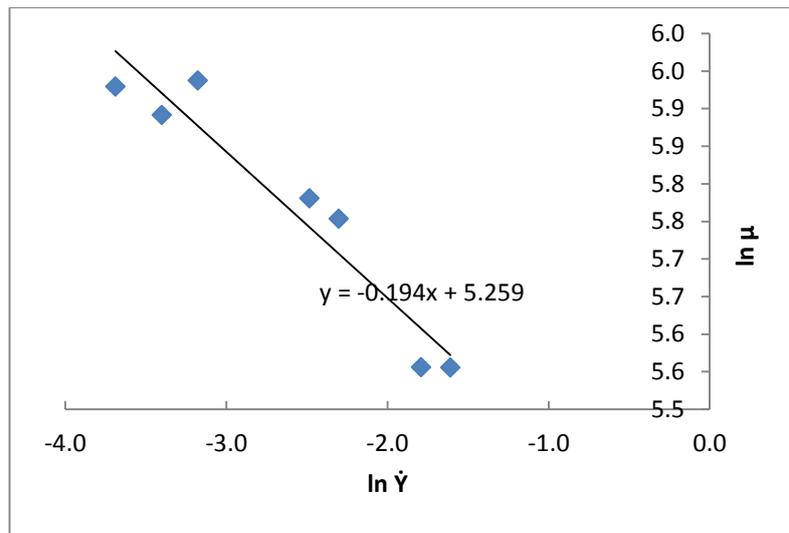


Gambar 4.6 Perubahan Viskositas Slurry terhadap Kecepatan Rotasi Spindle

Dari Gambar 4.6 tersebut nilai viskositas yang terukur cukup berfluktuasi tetapi memiliki kecenderungan menurun seiring dengan kenaikan kecepatan rotasi spindle, ini mengindikasikan perilaku fluida pseudoplastik, sebagaimana pada Tabel 2.2 disebutkan bahwa fluida pseudoplastik cenderung memiliki nilai viskositas yang menurun seiring dengan bertambahnya nilai shear rate, dan nilai n yang kurang dari 1. Untuk mengetahui properti dari slurry tersebut dilakukan dengan cara mengplot data μ_{app} dengan shear rate (rpm) mengikuti model Power Law (Abhay et al, 2010). Persamaan viskositas fluida non-Newtonian menurut model Power Law ditunjukkan oleh persamaan (6), dengan membuat logaritma normal (\ln) dari kedua sisi persamaan tersebut, maka akan diperoleh persamaan linier (24) berikut

$$\ln \mu_{app} = (n - 1) \ln \dot{\gamma} + \ln k \quad (24)$$

Dari persamaan linier (24) dibuat plot $\ln \mu_{app}$ terhadap $\ln \dot{\gamma}$, misal seperti pada Gambar 4.7 untuk variabel t_{mix} solid = 10 menit. Dilakukan seterusnya pada variabel yang lain (grafik lainnya terdapat di appendix) sehingga didapatkan nilai slope dari persamaan yang diperoleh merupakan nilai $(n-1)$, sedangkan intersept yang diperoleh merupakan nilai $\ln k$. Dari hasil plot diperoleh data properti slurry sebagaimana pada Tabel 4.10.



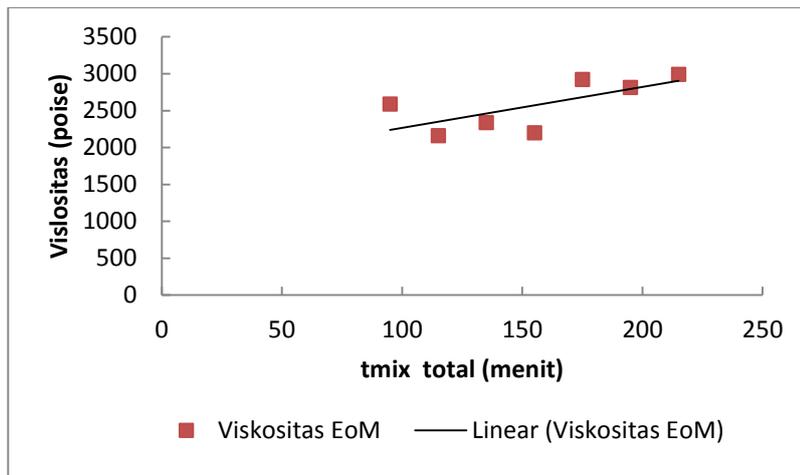
Gambar 4.7 Plot $\ln \mu_{app}$ terhadap $\ln \dot{\gamma}$

Tabel 4.10 Parameter Power Law dari Slurry Propelan

Properti	$t_{mix} \text{ solid} = 10 \text{ menit}$	$t_{mix} \text{ solid} = 15 \text{ menit}$	$t_{mix} \text{ solid} = 20 \text{ menit}$	$t_{mix} \text{ solid} = 25 \text{ menit}$	$t_{mix} \text{ solid} = 30 \text{ menit}$	$t_{mix} \text{ solid} = 35 \text{ menit}$	$t_{mix} \text{ solid} = 40 \text{ menit}$
$k \text{ (N.s}^n\text{/m}^2\text{)}$	192.289	218.984	184.749	172.431	256.467	256.467	265.602
n	0.806	0.962	0.893	0.884	0.948	0.968	0.948

Nilai n (*flow behavior index*) merupakan ukuran deviasi fluida dari fluida Newtonian. Dari Tabel 4.10 semua variabel memiliki nilai n kurang dari 1, artinya slurry propelan menunjukkan perilaku pseudoplastik, tetapi nilainya mendekati 1 yang berarti perilaku slurry hampir seperti fluida Newtonian sebagaimana yang telah dilaporkan oleh Gupta, dkk (Gupta et al, 2014).

Nilai k (*consistency index*) merupakan ukuran viskositas rata-rata dari fluida. Nilai k yang tinggi pada $t_{mix} \text{ solid} = 40 \text{ menit}$ berarti slurry propelan pada waktu pencampuran tersebut memiliki rata-rata viskositas yang lebih tinggi daripada waktu pencampuran yang lain bisa disebabkan karena derajat homogenitas yang diperoleh pada kondisi tersebut relatif rendah. Hasil tersebut sesuai juga dengan Gambar 4.8 mengenai pengaruh waktu pencampuran terhadap viskositas akhir mixing (*End of Mix - EoM*) dari slurry.



Gambar 4.8 Perubahan Viskositas *EoM* terhadap Waktu Pencampuran Total

Data viskositas *EoM* slurry propelan tersebut diukur pada kecepatan rotasi spindle 12 rpm. Gambar 4.8 diatas menunjukkan bahwa viskositas akhir mixing memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pencampuran total. Hal ini bisa disebabkan oleh homogenitas slurry yang cenderung menurun setelah tercapai kondisi optimalnya. Perubahan homogenitas slurry yang menjadi menurun bisa menyebabkan perbedaan komposisi pada slurry yang diukur sehingga nilai viskositasnya akan juga berubah / cenderung mengalami kenaikan.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Waktu pencampuran mempengaruhi homogenitas slurry propelan yang dinyatakan dengan perubahan nilai densitas propelan yang signifikan yaitu 1.366 g/ml pada total t_{mix} 95 menit hingga 1.454 g/ml pada total t_{mix} 215 menit.
2. Slurry yang diambil dari beberapa lokasi dalam mixer menunjukkan kondisi yang relatif homogen.
3. Derajat homogenitas tertinggi dicapai pada kondisi total t_{mix} 135 menit.
4. Penambahan waktu pencampuran cenderung menaikkan nilai densitas tetapi menurunkan derajat homogenitas setelah tercapai kondisi optimalnya.
5. Slurry propelan memiliki kecenderungan menunjukkan perilaku fluida pseudoplastik.
6. Penambahan waktu pencampuran cenderung menaikkan viskositas slurry akhir mixing (*EoM viscosity*).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR RUJUKAN

- Abdillah, L.H., Ardianingsih, R., (2014), "Peninjauan Homogenitas Propelan Skala K-Round Berdasarkan Varians Nilai Kalor". *Jurnal Teknologi Dirgantara*, Vol. 12, No. 1, p. 11-18.
- Abhay, K.M., Monika, G., Devendra, D.P., (2010), "Empirical Modeling of Chemoviscosity of Hydroxy Terminated Polybutadiene Based Solid Composite Propellant Slurry". *Malaysian Polymer Journal*, Vol. 5, No. 1, p. 1-16.
- Curtis, J.S, (2008), "Slurry Transport" in *Introduction to Particle Technology*, 2nd ed, ed. Rhodes, M., Monash University, John Wiley & Sons, Ltd., Australia, ISBN 978-0-470-01428-8.
- Davenas, A., (1993), *Solid Rocket Propulsion Technology*, Pergamon Press Ltd., Great Britain. ISBN 0-08-040999-7.
- Erryani, A., (2014), "Analisis Nilai Uji Mekanik Propelan Berdasarkan Ratio Fuel Binder dan Curing Agent", dalam Hasil Penelitian dan Pemikiran Ilmiah tentang Teknologi Pesawat Terbang Tanpa Awak, Roket, serta Satelit, eds. Sutrisno, Bintoro, A., Prabowo, Gunawan S., Priyanto, B., Abner, Jefri H., Prasetyo, Nugroho A., Wahyudi, Agus H., Risdiyanto, D., Indonesia Book Project, Jakarta, hal. 116-128, ISBN 978-602-19463-9-8.
- Florzac, B., Bednarczyk, E., Maranda, A., (2015), "Studies of Rheological Properties of Suspension of Heterogeneous Rocket Propellant Based on HTPB Rubber". *Chemik*, 69, 3, 136-145.
- Fordham, S., (1980), *High Explosives and Propellants*, 2nd edition, Pergamon Press Ltd., UK.
- Gupta, B.L., Kumar, V., Shivhare, N., (2014), "Rheological Studies on Virgin, Plasticized and Solid Filled HTPB Binder System". *Global Journal of Advanced Engineering Technologies and Sciences*, p. 41-48.
- Harnby, N., Edwards, M.F., Nienow, A.W., (1997), *Mixing in the Process Industries*, 2nd edition, Butterworth-Heinemann. ISBN 0 7506 3760 9.
- Hartaya, K., Ardianingsih, R., Restasari, A., Abdillah, L.H., (2016), "Uji Homogenitas Adonan Propelan Melalui Uji Produk Tercetak Dengan Metode Simultan Kesamaan Dua Sifat Propelan". (Kode form pendaftaran Paten : P00201606999).

- Jiang, A., Li, G., Tian, A., (2012), "Modeling of the Mixing of Composite Solid Propellant Slurry in a Kneading Mixer". *Advanced Materials Research*, Vols. 490-495, p. 3334-3338, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.490-495.3334.
- Miyanami, K., (2006). "Mixing", in *Powder Technology Handbook*. 3rd ed, eds. Masuda, H., Higashitani, K., Yoshida, H., CRC Press, Taylor & Francis Group, p.581.
- Muthiah, R., Manjari, R., Krishnamurthy V.N., Gupta, B.R., (1991), "Effect of Temperature on The Rheological Behavior of Hydroxyl Terminated Polybutadiene Propellant Slurry", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 31, No. 2.
- Muthiah, R., Manjari, R., Krishnamurthy V.N., Gupta, B.R., (1993), "Rheology of HTPB Propellant: Effect of Mixing Speed and Mixing Time", *Defence Science Journal*, Vol. 43, No.2. p. 167-172.
- Nair, C.P.R., Prasad, C.H.D.V., Ninan, K.N., (2013), "Effect of Process Parameters on the Viscosity of AP/Al/HTPB Based Solid Propellant Slurry". *Journal of Energy and Chemical Engineering*, Vol. 1 Iss. 1, p. 1-9.
- Rencher, A.C, (2002), *Methods of Multivariate Analysis*. 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., USA. ISBN 0-471-41889-7.
- Sudjana, (1996), *Metoda Statistika*, Tarsito, Bandung.
- Sugiyono, (2011), *Statistika Untuk Penelitian*, Alfabeta, Bandung. hal 174-179. ISBN 978-979-8433-10-8.
- Sutton, G.P., Biblarz, O., (2001), *Rocket Propulsion Elements*, John Willey & Son, California.
- Szalai, E.S., Alvarez, M.M., Muzzio, F.J., (2004). "Laminar Mixing : A Dynamical Systems Approach", in *Handbook of Industrial Mixing Science and Practice.*, eds. Paul, Edward L., Atiemo-Obeng, Victor A., Kresta, Suzanne M., John Wiley & Sons, Inc. p.97.
- Tajima, Y.A., Crozier, D., (1983), "Thermokinetic Modeling of an Epoxy Resin 1. Chemoviscosity", *Polymer Engineering and Science*, p. 186-190.
- Walas, S.M., (1990), *Chemical Process Equipment Selection and Design*, Butterworth-Heinemann, USA, ISBN 0-7506-9385-1.
- Walpole, R.E., (1982), *Introduction to Statistics*, 3rd ed, Macmillan, New York. ISBN 0024241504.

Weinekötter, R., Gericke, H., (2000), *Mixing of Solids*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands. ISBN 0-7923-6229-2. p.21.

Zawiślak, K., Grochowicz, J., Sobczak, P., (2011), “The Analysis of Mixing Degree of Granular Products with the Use of Microtracers”, *TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln. – OL PAN, 11c*, p. 335-342.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPENDIKS

1. Data Hasil Pengukuran Densitas

a. Data Densitas Slurry

Kode	No.	Densitas Slurry (g/ml)						
		$t_{\text{mix solid}} = 10 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 15 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 20 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 25 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 30 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 35 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 40 \text{ menit}$
B	1	1.61848	1.49844	1.54477	1.67891	1.52125	1.59363	1.49767
	2	1.64183	1.51087	1.62810	1.56274	1.45079	1.64301	1.48299
	3	1.58825	1.52184	1.43361	1.61963	1.42472	1.63432	1.53222
	4	1.55870	1.42728	1.49875	1.67605	1.50971	1.57000	1.50239
	5	1.56790	1.55189	1.53709	1.60988	1.51993	1.53237	1.56842
SA	6	1.59690	1.46646	1.55080	1.55565	1.71700	1.64170	1.52914
	7	1.62760	1.55932	1.64605	1.59670	1.68655	1.64720	1.58027
	8	1.60065	1.58404	1.49105	1.58974	1.58870	1.62302	1.59522
	9	1.63352	1.60174	1.54976	1.61733	1.55383	1.57183	1.62946
	10	1.52218	1.53544	1.71423	1.59955	1.57242	1.61857	1.49196
SB	11	1.54284	1.63248	1.60264	1.55855	1.50878	1.89737	1.48955
	12	1.56643	1.51911	1.54545	1.57540	1.60451	1.65378	1.52002
	13	1.53670	1.49450	1.59724	1.54865	1.56550	1.51583	1.60071
	14	1.61069	1.60167	1.66110	1.55868	1.52764	1.60021	1.61392
	15	1.67680	1.57950	1.59950	1.53022	1.45095	1.58516	1.58110
SC	16	1.63699	1.59303	1.50639	1.67092	1.52921	1.71566	1.42980
	17	1.71725	1.53807	1.58244	1.48871	1.68031	1.62441	1.54641
	18	1.61015	1.46411	1.53969	1.52199	1.70034	1.70176	1.52642
	19	1.61186	1.62862	1.60405	1.60617	1.65335	1.75136	1.54848
	20	1.69686	1.55275	1.61770	1.68325	1.54395	1.56786	1.69767
SD	21	1.70043	1.53165	1.56707	1.63489	1.47258	1.67407	1.41390
	22	1.69823	1.59906	1.46521	1.51738	1.52025	1.69281	1.49528
	23	1.58565	1.50706	1.49744	1.65328	1.48302	1.71337	1.48428
	24	1.60384	1.47760	1.48156	1.67392	1.69185	1.55394	1.46214
	25	1.67774	1.61261	1.61417	1.55522	1.44900	1.51526	1.49918
T	26	1.55885	1.51655	1.50204	1.62436	1.54027	1.61125	1.47764
	27	1.67383	1.40508	1.49208	1.56486	1.55459	1.51575	1.56346
	28	1.57296	1.55081	1.47104	1.60798	1.52721	1.61006	1.51153
	29	1.61987	1.45821	1.52191	1.62857	1.46714	1.60538	1.57444
	30	1.62933	1.54507	1.58191	1.73734	1.59135	1.57043	1.54762

b. Data Densitas Propelan

Kode	No.	Densitas Propelan (g/ml)						
		$t_{\text{mix solid}} = 10 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 15 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 20 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 25 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 30 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 35 \text{ menit}$	$t_{\text{mix solid}} = 40 \text{ menit}$
B	1	1.34660	1.47975	1.41577	1.43796	1.42581	1.40898	1.44917
	2	1.34954	1.50808	1.42141	1.42394	1.41895	1.41142	1.46500
	3	1.35250	1.46004	1.42561	1.43089	1.42722	1.39737	1.47369
	4	1.34668	1.39652	1.43724	1.43010	1.41363	1.41212	1.44900
	5	1.34945	1.41243	1.41344	1.42968	1.44211	1.40984	1.45623
SA	6	1.34141	1.37162	1.39574	1.41140	1.44695	1.42145	1.45773
	7	1.40956	1.39365	1.39804	1.41039	1.42872	1.42273	1.48940
	8	1.35705	1.36742	1.38638	1.43698	1.44008	1.41833	1.42227
	9	1.33508	1.38502	1.39731	1.43087	1.42752	1.41493	1.45225
	10	1.38158	1.38520	1.37921	1.43702	1.44481	1.41531	1.47505
SB	11	1.38313	1.42067	1.40971	1.42960	1.45710	1.40127	1.42465
	12	1.35467	1.41086	1.40690	1.43228	1.49612	1.40348	1.44162
	13	1.37694	1.41511	1.39136	1.42756	1.43404	1.40826	1.42155
	14	1.38623	1.41519	1.40821	1.44161	1.42889	1.40064	1.37281
	15	1.37344	1.42065	1.40606	1.41399	1.47341	1.41774	1.45961
SC	16	1.34024	1.40802	1.42182	1.40761	1.43265	1.42572	1.42629
	17	1.36555	1.38872	1.41848	1.41861	1.43723	1.45904	1.44781
	18	1.36983	1.37907	1.42931	1.41535	1.43262	1.43308	1.42407
	19	1.35928	1.39473	1.43854	1.44708	1.44339	1.43763	1.44546
	20	1.35364	1.39834	1.42608	1.44245	1.43636	1.45136	1.45017
SD	21	1.36967	1.41303	1.41096	1.38781	1.44258	1.41868	1.50320
	22	1.36998	1.39003	1.41580	1.40011	1.44013	1.41391	1.46521
	23	1.35357	1.41131	1.41376	1.40491	1.44340	1.42360	1.50561
	24	1.38064	1.41079	1.41642	1.41130	1.42791	1.41758	1.50395
	25	1.36732	1.41213	1.41692	1.40032	1.43652	1.40679	1.51250
T	26	1.37483	1.35359	1.43211	1.39290	1.45907	1.42283	1.46075
	27	1.38048	1.41618	1.43572	1.41893	1.44399	1.42445	1.45061
	28	1.38108	1.37863	1.42193	1.40838	1.47630	1.47059	1.39613
	29	1.34872	1.38342	1.41224	1.42708	1.41728	1.42702	1.48364
	30	1.40891	1.37290	1.41765	1.44114	1.44252	1.42865	1.43608

2. Perhitungan Uji Kesamaan Dua Rata-Rata dari tiap Lokasi Mixer

Dengan mengambil H0 : Rata-Rata Populasi 1 = Rata-Rata Populasi 2

Syarat H0 diterima : (nilai t' terletak diantara batas bawah dan batas atas)

$$-\frac{w_1 t_1 + w_2 t_2}{w_1 + w_2} < t' < \frac{w_1 t_1 + w_2 t_2}{w_1 + w_2}$$

dimana :

$$t' = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$w_1 = \frac{s_1^2}{n_1}, w_2 = \frac{s_2^2}{n_2}$$

Misal: Pengujian Rata-Rata Densitas Propelan di Lokasi B dengan Lokasi SA

H0 : Rata-Rata Densitas di Lokasi B = Rata-Rata Densitas di Lokasi SA

No.	Densitas (g/ml)		$(y_{1j} - \hat{y}_i)^2$	$(y_{2j} - \hat{y}_i)^2$
	B (y_1)	SA (y_2)		
1	1.34660	1.34141	0.000006	0.000553
2	1.34954	1.40956	0.000000	0.001991
3	1.35250	1.35705	0.000013	0.000062
4	1.34668	1.33508	0.000005	0.000891
5	1.34945	1.38158	0.000000	0.000277
Σy_{ij}	6.74477	6.82469	0.000024	0.003775
mean (\hat{y}_i)	1.34895	1.36494	(Sudjana, hal 491)	
s_i^2	0.000006	0.000944		
w_i	1.193E-06	0.000189		
t_i (dari daftar dist. t)	4.6	4.6		
t'	-1.159848			
bts atas	4.6			
bts bawah	-4.6			
bts bawah < t' < bts atas $\rightarrow -4.6 < -1.159848 < 4.6 \rightarrow$ maka H0 diterima				
Kesimpulan : Rata-Rata Densitas di Lokasi B = Rata-Rata Densitas di Lokasi SA				

Perhitungan dilakukan seterusnya untuk tiap-tiap lokasi pada setiap variabel t_{mix} solid. Demikian pula untuk data densitas slurry.

3. Perhitungan Anova Satu Jalan

Dengan mengambil H_0 : tidak terdapat perbedaan nilai densitas yang signifikan dengan adanya perubahan waktu pencampuran (mixing time)

Syarat H_0 diterima : $F_{hitung} < F_{tabel}$

a. Untuk Data Densitas Propelan

SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Column 1	30	40.96762	1.36559	0.00035		
Column 2	30	42.15309	1.40510	0.00104		
Column 3	30	42.42010	1.41400	0.00021		
Column 4	30	42.64826	1.42161	0.00025		
Column 5	30	43.21731	1.44058	0.00031		
Column 6	30	42.62482	1.42083	0.00028		
Column 7	30	43.62148	1.45405	0.00102		
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F_{hitung}</i>	<i>P-value</i>	<i>F_{tabel}</i>
Between Groups	0.143	6	0.02379	48.2	1.7E-36	2.9
Within Groups	0.100	203	0.00049			
Total	0.243	209				

Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak.

Kesimpulan : terdapat perbedaan nilai densitas propelan yang signifikan dengan adanya perubahan waktu pencampuran (mixing time)

b. Untuk Data Densitas Slurry

SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Column 1	30	48.48330	1.61611	0.00274		
Column 2	30	46.06488	1.53550	0.00342		
Column 3	30	46.64483	1.55483	0.00430		
Column 4	30	48.04651	1.60155	0.00338		
Column 5	30	46.60672	1.55356	0.00669		
Column 6	30	48.75136	1.62505	0.00644		
Column 7	30	45.99332	1.53311	0.00370		
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F_{hitung}</i>	<i>P-value</i>	<i>F_{tabel}</i>
Between Groups	0.272	6	0.04539	10.4	5.2E-10	2.9
Within Groups	0.889	203	0.00438			
Total	1.162	209				

Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak.

Kesimpulan : terdapat perbedaan nilai densitas slurry yang signifikan dengan adanya perubahan waktu pencampuran (mixing time)

4. Perhitungan Uji Kesamaan Dua Rata-Rata dari tiap Batch Proses

Dengan mengambil H_0 : Rata-Rata Populasi Batch 1 = Rata-Rata Populasi Batch 2

Syarat H_0 diterima : (nilai t' terletak diantara batas bawah dan batas atas)

$$-\frac{w_1 t_1 + w_2 t_2}{w_1 + w_2} < t' < \frac{w_1 t_1 + w_2 t_2}{w_1 + w_2}$$

dimana :

$$t' = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$w_1 = \frac{s_1^2}{n_1}, w_2 = \frac{s_2^2}{n_2}$$

Misal: Pengujian Rata-Rata Densitas $t_{\text{mix solid}}=10'$ dengan $t_{\text{mix solid}}=15'$

H_0 : Rata-Rata Densitas $t_{\text{mix solid}}=10'$ = Rata-Rata Densitas $t_{\text{mix solid}}=15'$

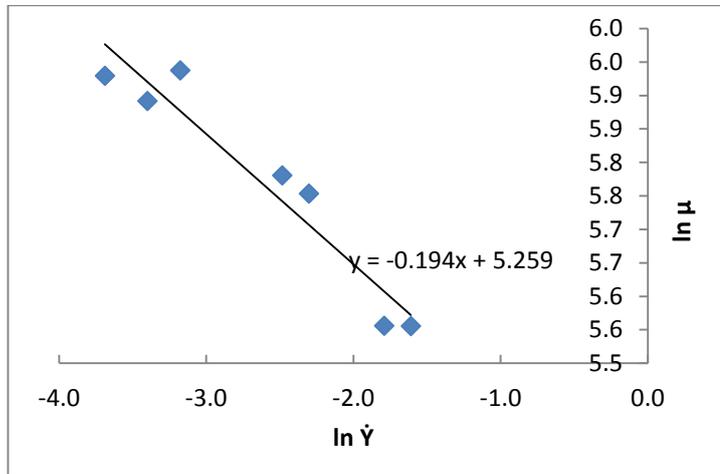
No.	Densitas (g/ml)		$(y_{1j}-\hat{y}_i)^2$	$(y_{2j}-\hat{y}_i)^2$
	$t_{\text{mix solid}} = 10' (y_1)$	$t_{\text{mix solid}} = 15' (y_2)$		
1	1.34660	1.47975	0.00036	0.00557
2	1.34954	1.50808	0.00026	0.01060
3	1.35250	1.46004	0.00017	0.00302
4	1.34668	1.39652	0.00036	0.00007
5	1.34945	1.41243	0.00026	0.00005
6	1.34141	1.37162	0.00058	0.00112
7	1.40956	1.39365	0.00193	0.00013
8	1.35705	1.36742	0.00007	0.00142
9	1.33508	1.38502	0.00093	0.00040
10	1.38158	1.38520	0.00026	0.00040
11	1.38313	1.42067	0.00031	0.00024
12	1.35467	1.41086	0.00012	0.00003
13	1.37694	1.41511	0.00013	0.00010
14	1.38623	1.41519	0.00043	0.00010
15	1.37344	1.42065	0.00006	0.00024
16	1.34024	1.40802	0.00064	0.00001
17	1.36555	1.38872	0.00000	0.00027
18	1.36983	1.37907	0.00002	0.00068
19	1.35928	1.39473	0.00004	0.00011
20	1.35364	1.39834	0.00014	0.00005
21	1.36967	1.41303	0.00002	0.00006
22	1.36998	1.39003	0.00002	0.00023
23	1.35357	1.41131	0.00014	0.00004

24	1.38064	1.41079	0.00023	0.00003
25	1.36732	1.41213	0.00000	0.00005
26	1.37483	1.35359	0.00009	0.00265
27	1.38048	1.41618	0.00022	0.00012
28	1.38108	1.37863	0.00024	0.00070
29	1.34872	1.38342	0.00028	0.00047
30	1.40891	1.37290	0.00188	0.00104
Σy_{ij}	40.96762	42.15309	0.01019	0.03002
mean (\hat{y}_i)	1.36559	1.40510	(Sudjana, hal 491)	
s_i^2	0.000351	0.001035		
w_i	1.171E-05	3.45E-05		
t_i (dftar dist. t)	2.76	2.76		
t'	-5.8127908			
bts atas	2.76			
bts bawah	-2.76			
bts bawah < t' < bts atas \rightarrow -5.8127908 < -2.76 \rightarrow maka H_0 ditolak				
Kesimpulan : Rata-Rata Densitas t_{mix} solid=10' \neq Rata-Rata Densitas t_{mix} solid=15'				

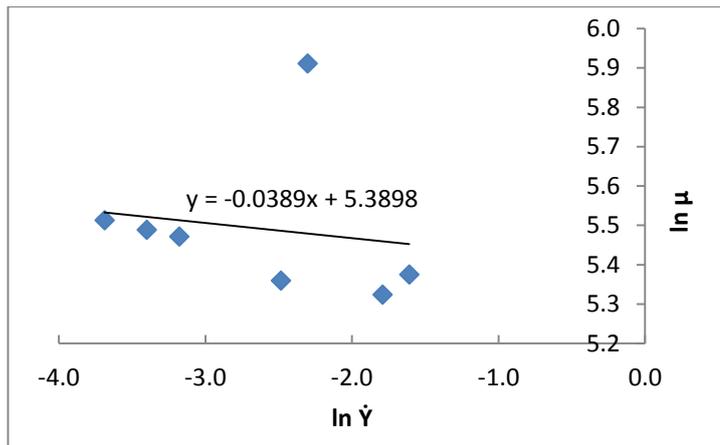
Perhitungan dilakukan seterusnya untuk tiap-tiap lokasi pada setiap variabel t_{mix} solid. Demikian pula untuk data densitas slurry.

5. Plot $\ln \mu_{app}$ terhadap $\ln \dot{\gamma}$

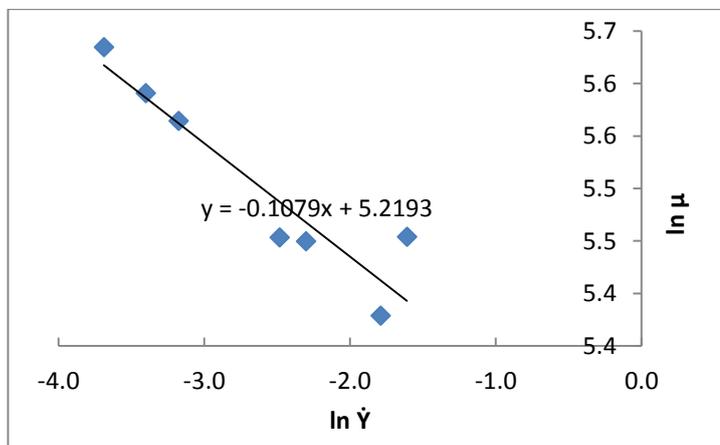
a. Untuk Variabel t_{mix} solid masing-masing 10 menit



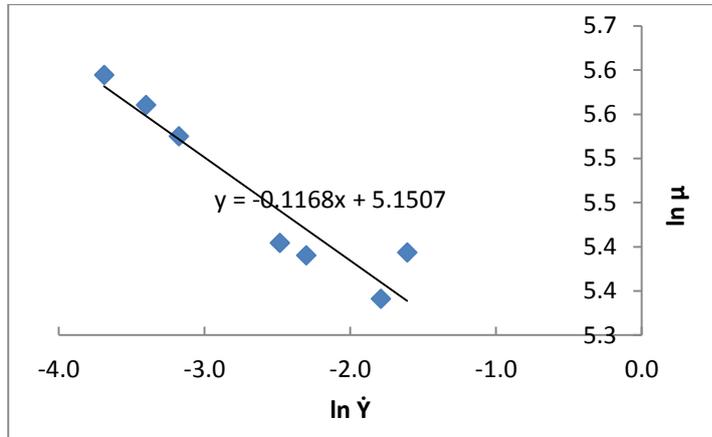
b. Untuk Variabel t_{mix} solid masing-masing 15 menit



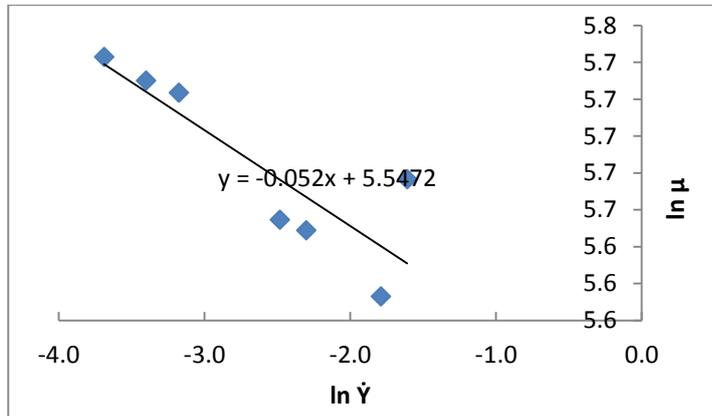
c. Untuk Variabel t_{mix} solid masing-masing 20 menit



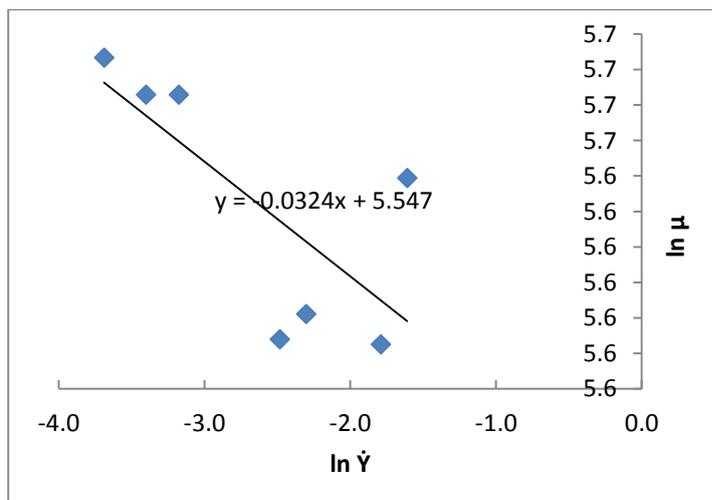
d. Untuk Variabel t_{mix} solid masing-masing 25 menit



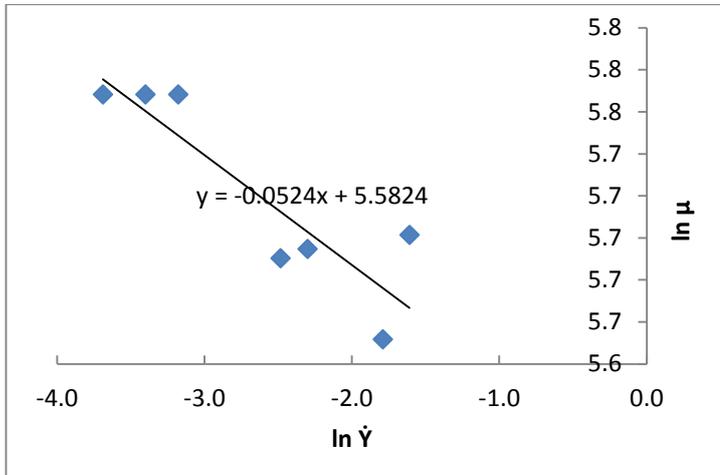
e. Untuk Variabel t_{mix} solid masing-masing 30 menit



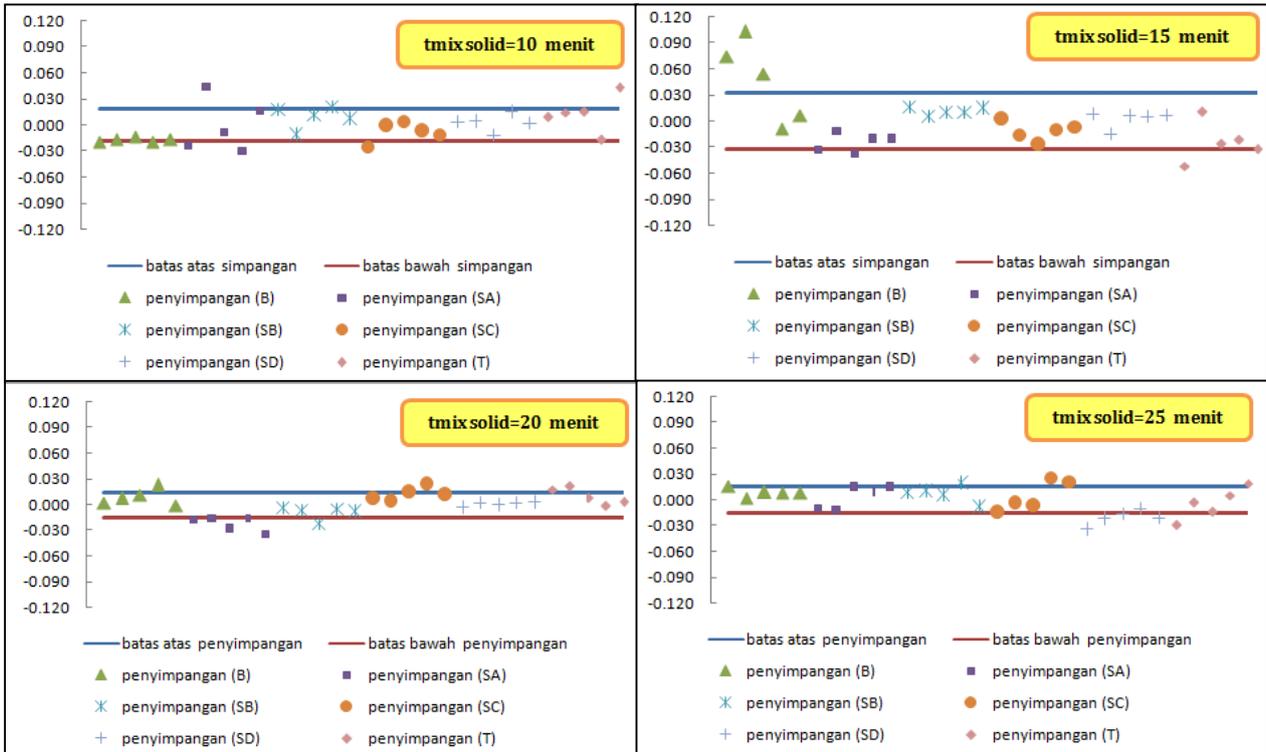
f. Untuk Variabel t_{mix} solid masing-masing 35 menit

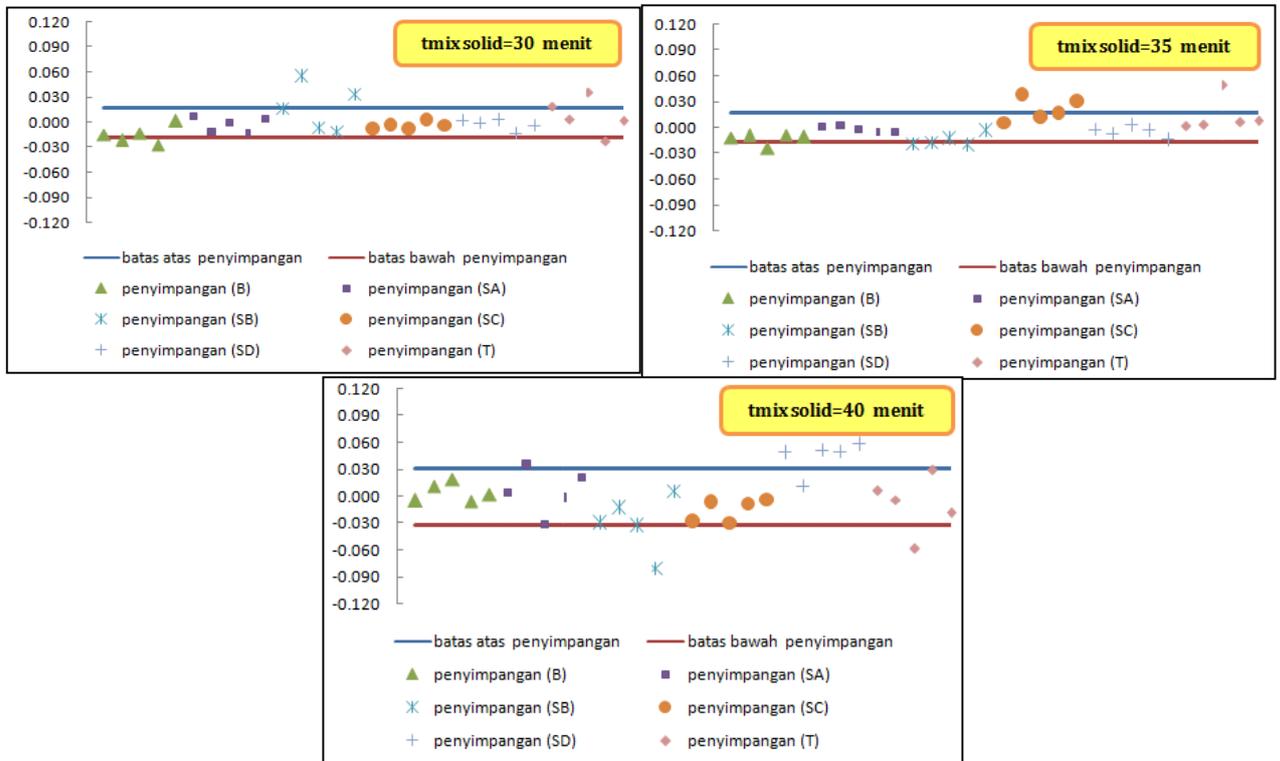


g. Untuk Variabel t_{mix} solid masing-masing 40 menit

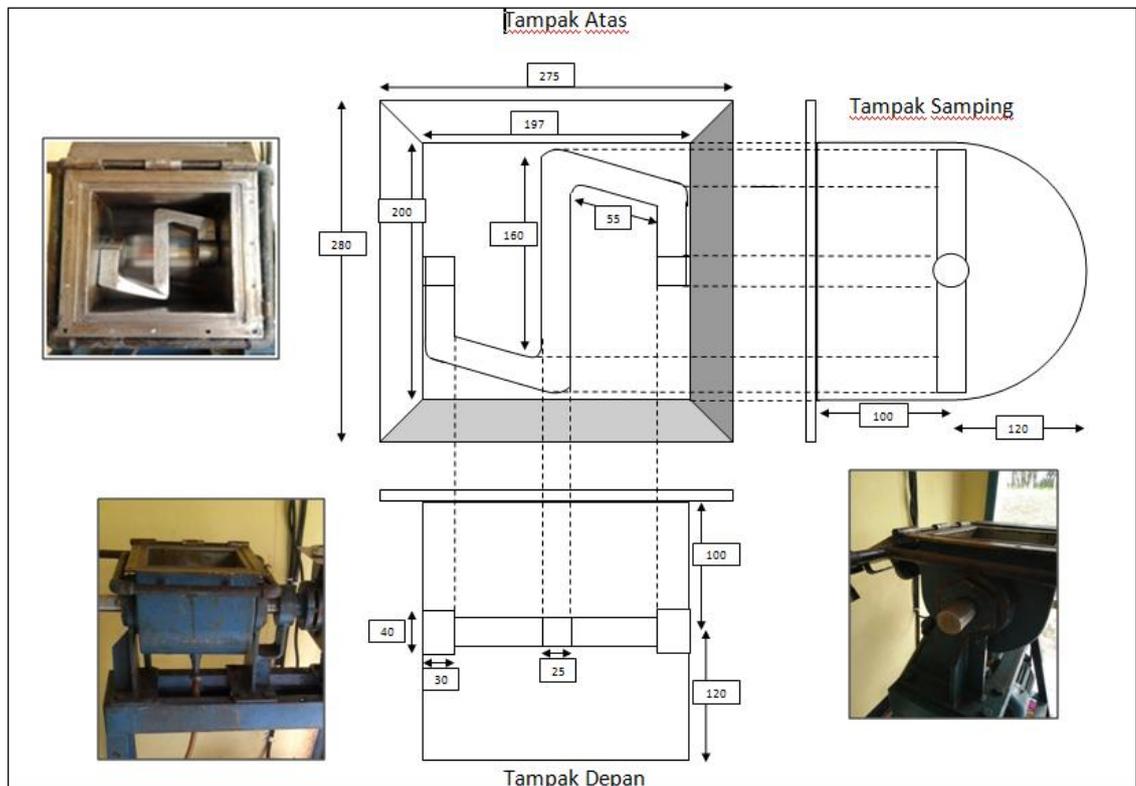


6. Gambaran Persebaran Penyimpangan Data Densitas Propelan pada tiap batch





7. Skema Dimensi Mixer Sigma Blade



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis : Luthfia Hajar Abdillah

Penulis lahir di kota Surabaya pada tanggal 3 Januari 1986 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menjadi alumni Teknik Kimia ITS sejak dinyatakan lulus strata satu pada tahun 2008. Saat ini penulis bertempat tinggal di kabupaten Tangerang dan aktif sebagai pegawai negeri sipil di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) sejak 2009. Penulis aktif sebagai peneliti di Pusat Teknologi Roket-LAPAN yang berlokasi di kabupaten Bogor dan menjalankan kegiatan penelitian di bidang teknologi roket, khususnya bahan bakar roket padat. Penulis masih aktif mengikuti kegiatan ilmiah yang diadakan LAPAN maupun lembaga-lembaga penelitian lain. Selain itu juga masih aktif menulis bersama tim penelitian dan mempublikasikan hasil penelitian yang dilakukan melalui publikasi skala nasional maupun internasional.