



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL181584

**ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN
AGITASI TERHADAP MORFOLOGI DAN SIFAT
TERMAL MIKROKAPSUL POLI (UREA-
FORMALDEHID) UNTUK APLIKASI SELF-
HEALING COATING**

BAGAS RADITYA PUTRA
NRP. 02511540000119

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Amaliya Rasyida, S.T., M. Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

(halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - TL184834

**ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN AGITASI
TERHADAP MORFOLOGI DAN SIFAT TERMAL
MIKROKAPSUL POLI (UREA-FORMALDEHID) UNTUK
APLIKASI SELF-HEALING COATING**

**BAGAS RADITYA PUTRA
NRP 02511540000119**

**Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Amaliya Rasyida, S.T., M. Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**ANALYZING THE EFFECT OF AGITATION SPEED
VARIATION ON MORPHOLOGY AND THERMAL PROPERTIES
OF POLY (UREA-FORMALDEHYDE) MICROCAPSUL FOR
SELF- HEALING COATING APPLICATIONS**

**BAGAS RADITYA PUTRA
NRP 0251154000119**

**Advisor
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Amaliya Rasyida, S.T., M. Sc.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN AGITASI
TERHADAP MORFOLOGI DAN SIFAT TERMAL
MIKROKAPSUL POLI (UREA-FORMALDEHID) UNTUK
APLIKASI *SELF-HEALING COATING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BAGAS RADITYA PUTRA
NRP 02511540000119

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Agung Purniawan S.T., M.Eng..... (Pembimbing I)
2. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc..... (Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN AGITASI
TERHADAP MORFOLOGI DAN SIFAT TERMAL
MIKROKAPSUL POLI (UREA-FORMALDEHID) UNTUK
APLIKASI *SELF-HEALING COATING***

Nama : Bagas Raditya Putra
NRP : 02511540000119
Departemen : Departemen Teknik Material
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Co-pembimbing : Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

Abstrak

Aplikasi lapisan pelapis atau coating yang melindungi permukaan logam dari kontak dengan lingkungan luar merupakan salah satu cara dalam pengendalian korosi. Sebagai lapisan permukaan terluar, lapisan coating akan sangat rentan terhadap goresan dan retakan yang dapat menjadi titik awal mula terjadinya korosi dan akan menghilangkan fungsi protektif dari lapisan coating. Maka dari itulah dibutuhkan material self-healing dengan cara pembedaan mikrokapsul, dimana diharapkan material ini ketika diaplikasikan sebagai coating, dapat mengatasi permasalahan berupa kerusakan seperti yang disebutkan sebelumnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat mikrokapsul yang berisikan healing agent dan menganalisa pengaruh dari kecepatan agitasi ketika sintesis terhadap morfologi dan sifat termal. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah polimer Poli(urea-formaldehid), sedangkan zat yang dapat digunakan sebagai healing agent adalah Linseed Oil atau minyak biji Rami. Variasi yang diaplikasikan pada penelitian ini adalah kecepatan agitasi saat proses pembuatan mikrokapsul yaitu pada rpm 400, 500, 600, 700, dan 800. Pengamatan secara visual menggunakan mikroskop optic menunjukkan bahwa terlihat adanya penurunan diameter mikrokapsul yang terbentuk seiring dengan peningkatan kecepatan agitasi serta terlihat pula perbedaan jumlah residu PUF dengan parameter yang memiliki

residu paling sedikit adalah pada 600 rpm. Hasil analisa FTIR menunjukkan tidak ada pengaruh signifikan dari perbedaan kecepatan agitasi. Hasil analisa SEM menunjukkan mikrokapsul yang terbentuk juga terlihat adanya mikrokapsul yang mengalami kerusakan. Dari hasil analisa TGA menunjukkan mikrokapsul masih cukup stabil pada temperature hasil reaksi eksotermik curing resin yaitu pada 120°C, sehingga mikrokapsul dapat digunakan dalam pembuatan self-healing coating.

Kata Kunci : korosi; self-healing coating; urea ; formaldehid ; linseed oil ; mikrokapsul ; kecepatan agitasi

**ANALYZING THE EFFECT OF AGITATION SPEED
VARIATION ON MORPHOLOGY AND THERMAL
PROPERTIES OF POLY (UREA-FORMALDEHYDE)
MICROCAPSULES FOR SELF-HEALING COATING
APPLICATIONS**

Student Name : Bagas Raditya Putra
NRP : 02511540000119
Department : Material Engineering
Advisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Co-Advisor : Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

Abstract

Coating applications that protect metal surfaces from contact with the outside environment are one of the ways to control corrosion. As the outermost surface layer, the coating layer will be very susceptible to scratches and cracks which can be the starting point for corrosion and will eliminate the protective function of the coating layer. In order to overcome this problem, self-healing material is needed by immersing microcapsules filled with healing agent, where it is hoped that this material when applied as a coating can overcome the problem of damage as mentioned earlier. The purpose of this study was to make microcapsules containing the healing agent and analyze the effect of the speed of agitation when synthesizing morphology and thermal properties. The material used in this study is a polymer of poly (urea-formaldehyde), while a substance that can be used as a healing agent is Linseed Oil or Flaxseed oil. The variation applied in this study is the speed of agitation when the process of making microcapsules is at 400, 500, 600, 700 and 800 rpm. Visual observation using optical microscopy shows that there is a decrease in the diameter of microcapsules which are formed along with increased agitation speed the difference in the amount of PUF residue with the parameter that has the least residue is at 600 rpm. The results of FTIR analysis showed no significant effect of

differences in the speed of agitation. SEM analysis of the microcapsule shows formed microcapsules and also some of microcapsules which is broken. From the results of the TGA analysis showed that microcapsules were still quite stable at the temperature resulting from exothermic curing resin reactions at 120°C, so microcapsules could be used in the manufacture of self-healing coatings.

Keywords: corrosion; self-healing coating; urea; formaldehyde; linseed oil; microcapsules; agitation speed

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas berkat rahmat Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir. Shalawat serta salam tak lupa selalu tercurah kepada nabi Muhammad SAW. Tugas akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil setiap mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut TEknologi Sepuluh Nopember. Penulis telah dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Pengaruh Variasi Kecepatan Agitasi Terhadap Morfologi Dan Sifat Termal Mikrokapsul Poli(Urea-Formaldehid) Untuk Aplikasi *Self-Healing Coating***”

Selama penyusunan laporan ini, tentunya penulis mendapat banyak sekali bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta kesempatan bagi penulis untuk dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Allah Subhanahu Wata'ala, atas Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Kepala Departemen Teknik Material FTI – ITS.
3. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
4. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. selaku co dosen pembimbing yang dengan sabar mau memberikan bimbingan, saran dan evaluasi selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
5. Dr. Eng. Hosta Ardyananta ST., M.Sc selaku Kaprodi Departemen Teknik Material FTI-ITS
6. Ibu Vania Mitha S.T., M.T. selaku dosen wali penulis.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak sekali kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi kemajuan bersama. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini akan dapat bermanfaat bagi banyak pihak dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis
Bagas Raditya Putra

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Mikroenkapsulasi	5
2.2 Mikrokapsul	10
2.3 <i>Surface Engineering</i>	12
2.4 <i>Self-Healing Material</i>	14
2.5 Material yang digunakan untuk <i>self-healing</i>	23
2.6 <i>Linseed Oil</i>	28
2.7 Parameter dan Penelitian Sebelumnya	31
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	
3.1 Diagram Alir Percobaan	39

3.2 Diagram Alir Eksperimen.....	50
3.2 Metode Penelitian.....	52
3.3 Preparasi Bahan.....	52
3.4 Proses Mikroenkapsulasi.....	53
3.5 Proses Penyaringan dan Pencucian Mikro kapsul.....	55
3.6 Perancangan Pengujian.....	55
3.7 Karakterisasi dan Pengujian.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Hasil Percobaan Penelitian.....	63
4.2 Karakterisasi Awal.....	76
4.3 Analisa Hasil Proses Sintesis.....	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	99
5.2 Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA.....	101
LAMPIRAN.....	107
UCAPAN TERIMA KASIH.....	123
BIODATA PENULIS.....	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbedaan hasil polimerisasi antarmuka	8
Gambar 2.2	Tahapan proses polimerisasi In-situ	10
Gambar 2.3	Morfologi mikrokapsul	11
Gambar 2.4	Klasifikasi morfologi mikrokapsul.....	12
Gambar 2.5	Perbandingan proses Self-healing sintesis dan biologis	16
Gambar 2.6	Klasifikasi material self-healing.....	17
Gambar 2.7	Tahapan daur hidup material <i>self-healing capsule based</i>	18
Gambar 2.8	Daur hidup <i>self-healing material vascular based</i>	20
Gambar 2.9	Daur hidup material <i>self-healing Intrinsic</i>	21
Gambar 2.10	Struktur kimia Urea.....	24
Gambar 2.11	Struktur kimia Formaldehid	25
Gambar 2.12	Struktur ikatan asam (a) Oleat, (b) Linoleat, (c) Linolenat	29
Gambar 2.13	Struktur Molekul Linseed Oil	29
Gambar 2.14	Hasil observasi pengaruh kecepatan agitasi terhadap ukuran mikrokapsul	32
Gambar 2.15	Hasil observasi pengaruh kecepatan agitasi terhadap ukuran ketebalan dinding mikrokapsul.....	33
Gambar 2.16	Hasil SEM mikrokapsul pada temperatur (a1, a2) 45°C, (b1,b2) 55°C, dan (c1,c2) 65°C	34
Gambar 2.17	Hasil percobaan pengaruh pH terhadap mikrokapsul yang terbentuk pada (a) pH 11, (b) pH 7, (c) pH 3	35
Gambar 2.18	Pengaruh waktu reaksi selama (a) 7 jam, (b) 4 jam, (c) 1 jam.....	36
Gambar 2.20	Hasil analisa (a)TGA dan (b) DTG.....	37
Gambar 3. 1	Diagram alir metode pertama (a) Pembuatan Pre- polimer, (b) Pembuatan Mikrokapsul.....	42
Gambar 3.2	Diagram alir metode ke-dua.....	43
Gambar 3.3	Diagram alir metode ke-tiga.....	45
Gambar 3.4	Diagram alir metode ke-empat.....	47

Gambar 3.5	Diagram alir metode ke-lima.....	49
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian.....	51
Gambar 3.7	Skema Percobaan.....	53
Gambar 3.8	Skema Proses Penyaringan.....	55
Gambar 3.9	Skema Uji FTIR.....	57
Gambar 3.10	Mikroskop Optik.....	58
Gambar 3.11	Alat Pengujian TGA.....	59
Gambar 3.12	Alat Uji SEM.....	60
Gambar 4.1	Hasil Percobaan Pertama	63
Gambar 4.2	Hasil percobaan ke-dua (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas.....	65
Gambar 4.3	Hasil percobaan ke-tiga	66
Gambar 4.4	Hasil percobaan ke-empat	67
Gambar 4.5	Hasil percobaan ke-lima	68
Gambar 4.6	Hasil SEM percobaan ke-lima.....	69
Gambar 4.7	Hasil percobaan ke-enam (a) tampak atas, (b) tampak samping, (c) hasil penyaringan	71
Gambar 4.8	Hasil percobaan ke-tujuh.....	72
Gambar 4.9	Hasil penyaringan percobaan ke-tujuh	73
Gambar 4.10	Hasil pengeringan selama 24 jam.....	73
Gambar 4.11	Hasil SEM percobaan ke-tujuh	74
Gambar 4.12	Hasil percobaan ke-delapan	75
Gambar 4.13	Hasil percobaan ke-sembilan	76
Gambar 4.14	Hasil Pengujian FTIR Linseed Oil	77
Gambar 4.15	Hasil FTIR Poly(Urea-formaldehid)	78
Gambar 4.16	Hasil pengujian FTIR Mikrokapsul.....	80
Gambar 4.17	Hasil analisa mikroskop optik 400 rpm.....	83
Gambar 4.18	Hasil analisa mikroskop optik 500 rpm.....	85
Gambar 4.19	Hasil analisa mikroskop optik 600 rpm.....	86
Gambar 4.20	Hasil analisa mikroskop optik 700 rpm.....	87
Gambar 4.21	Hasil analisa mikroskop optik 800 rpm.....	88
Gambar 4.22	Hasil pengukuran diameter mikrokapsul.....	89

Gambar 4.23 Hasil SEM mikrokapsul 500 rpm
(a) Mikrokapsul teraglomerasi, (b) Mikrokapsul berdempetan, (c) Mikrokapsul terbentuk, (d) Mikrokapsul pecah94

Gambar 4.24 Hasil analisa TGA.....95

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Metode Mikroenkapsulasi	6
Tabel 2.2 Sifat fisik Urea	24
Tabel 2.3 Sifat fisika Formaldehid	26
Tabel 2.4 Perbandingan kandungan asam lemak Linseed oil dengan jenis minyak lain	30
Tabel 3.1 Rancangan Pengujian yang akan Digunakan.....	56
Tabel 4.1 Peak yang terdapat pada hasil pengujian FTIR seluruh sample variasi parameter kecepatan agitasi ...	81

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Menurut data yang dikeluarkan oleh NACE pada 2016, estimasi biaya yang dikeluarkan di seluruh dunia untuk penanggulangan kerusakan akibat korosi adalah 2,5 triliun USD atau sama dengan 3,4 % GDP global pada tahun 2013. Dengan dilakukannya pengendalian korosi maka jumlah tersebut dapat dikurangi sebesar 15 hingga 35 persen atau sekitar 375 hingga 875 miliar USD. Dari data diatas maka terlihat betapa pentingnya pengendalian korosi jika dapat dilakukan secara benar dan terstruktur. (NACE, 2016)

Korosi memiliki laju yang lambat tetapi suatu saat akan menimbulkan kerusakan yang cukup berat. Laju korosi tidak bisa dihentikan melainkan hanya bisa dihambat ke tingkat yang serendah mungkin. Menurut Fontana, ada beberapa cara dalam pengendalian korosi dimana salah satunya adalah pelapisan. (Fontana, 1967). Saat ini, banyak benda yang kita temui dalam kehidupan sehari-hari, berada di bawah "payung" dari teknologi pelapisan permukaan. (Gosh, 2006). *Coating* sebagai lapisan terluar suatu material sangat rentan terhadap kerusakan. Sedikit goresan pada lapisan *coating* akan berakibat munculnya lokasi inisiasi korosi yang akan berujung pada kerusakan. Kerusakan kecil tersebut akan dapat menghilangkan efek positif dari penggunaan pelapis pada logam.

Dengan alasan ini maka diperlukan *Self-healing coating*. *Self-healing coating* adalah suatu jenis material dimana material tersebut dapat mereparasi kerusakan dirinya sendiri tanpa bantuan dari luar. Salah satu metode self healing adalah dengan metode pembenaman mikrokapsul. (Gosh, 2006). Mikrokapsul adalah produk akhir dari proses mikroenkapsulasi yang terdiri dari bagian inti dan bagian cangkang. Bagian inti dari mikrokapsul berfungsi sebagai tempat penyimpanan dan dapat diisi dengan bahan yang dapat membentuk lapisan yang akan menggantikan permukaan yang hilang akibat tergores. Bagian cangkang dari mikrokapsul

berfungsi sebagai pelindung dari apapun yang ada di bagian inti agar tidak terkena dampak dari luar.

Dalam penelitian kali ini, digunakan material cangkang Poly(Urea-Formaldehde) karena merupakan bahan polimer dengan kemampuan pembungkusan yang cukup baik dan keterjangkauan bahan yang juga baik. Untuk material inti akan digunakan *Linseed Oil* karena memiliki kemampuan membentuk lapisan yang sangat baik dengan ada atau tidaknya katalis dan keterjangkauan yang baik di pasaran. Produk akhir dari penelitian ini adalah mikrokapsul dengan cangkang Poly(Urea-Formaldehde) yang berisi minyak *Linseed Oil* yang nantinya dapat diaplikasikan pada sistem pelapisan *Self-healing* untuk berbagai kegunaan. Proses pembuatan mikrokapsul ini menggunakan metode *in-situ polymerization*. Proses ini memiliki beberapa variable bebas yang akan memengaruhi morfologi dari mikrokapsul yaitu pada diameter dan bentuk. Variable tersebut diantaranya kecepatan agitasi, lamanya waktu reaksi, derajat keasaman (pH), temperatur reaksi, hingga fraksi mol antara urea dan formaldehid.

Metode *Self-healing* dengan mikrokapsul ini merupakan metode yang terbilang cukup baru sehingga masih banyak dilakukan penelitian tentang topik ini terutama yang berkaitan dengan morfologi dari mikrokapsul itu sendiri. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisa tentang pengaruh variasi kecepatan agitasi (rpm) dan terhadap morfologi dan sifat termal dari mikrokapsul untuk aplikasi *Self-healing coating*.

I.2 Rumusan Masalah

Dari penjabaran latar belakang diatas, dapat dirumuskan masaah yang akan dianalisa ada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan agitasi terhadap morfologi mikrokapsul Poly(Urea-Formaldehid) yang berisikan *Linseed Oil*?
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan agitasi terhadap sifat termal mikrokapsul Poly(Urea-Formaldehid) yang berisikan *Linseed Oil*?

I.3 Batasan Masalah

Agar hasil yang dicapai sesuai dengan yang diharapkan serta tidak menyimpang dari pemmasalahan yang dianalisa, maka perlu adanya suatu batasan masalah. Adapun pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah:

1. Temperature dianggap stabil selama proses sintesis
2. Kemurnian bahan dianggap 100%
3. Kontaminasi udara tidak ikut diperhitungkan selama proses sintesis
4. Fluktuasi kecepatan pengadukan tidak ikut diperhitungkan

I.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka didapatkan tujuan penelitian yaitu:

1. Menganalisa pengaruh variasi kecepatan agitasi terhadap morfologi mikrokapsul Poly(Urea-Formaldehid) yang berisikan *Linseed Oil*
2. Menganalisa pengaruh variasi kecepatan agitasi terhadap sifat termal mikrokapsul Poly(Urea-Formaldehid) yang berisikan *Linseed Oil*

I.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan referensi dalam metode *coating* yang digunakan dalam aplikasi *self healing coating*
2. Dapat dijadikan referensi untuk metode polimerisasi in-situ yang lain dengan variasi kecepatan agitasi (rpm) dan lamanya waktu reaksi
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sumber informasi yang melengkapi hasil penelitian-penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode polimerisasi in-situ untuk mikrokapsul PUF yang berisikan *Linseed Oil*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini menggunakan teori-teori yang ditinjau dari beberapa sumber. Berbagai teori tersebut meliputi material yang digunakan, aplikasi penelitian, prinsip dasar pembuatan, dan bahan-bahan yang digunakan

2.1 Mikroenkapsulasi

2.1.1 Definisi

Mikroenkapsulasi dapat dipahami sebagai suatu teknik proses pengaplikasian lapisan polimer tipis yang melapisi partikel-partikel kecil material inti dimana diharapkan material inti tersebut dapat memberikan dampak spesifik. Material inti ini dapat berupa liquid atau gas. Ukuran dari partikel ini berkisar antara 5-5000 mikrometer agar dapat disebut suatu mikrokapsul. (Das, *et al.*, 2011)

Teknologi mikroenkapsulasi sudah digunakan sejak lama dan sudah diaplikasikan di berbagai bidang dari mulai kimia, farmasi, makanan, hingga kosmetik, dan percetakan. Biasanya ukuran dari mikrokapsul memiliki diameter tidak lebih tidak lebih dari 3mm. proses enkapsulasi dengan produk dengan 100 nm hingga 1000 nm dapat diklasifikasikan sebagai mikroenkapsulasi sedangkan produk dengan range 1 nm dan 100 nm dikasifikasikan sebagai nanoenkapsulasi.

Salah satu tujuan yang utama dari proses mikroenkapsulasi adalah perlindungan material inti dari degradasi. Degradasi tersebut bisa disebabkan oleh air, oksigen, panas, cahaya, yang akhirnya dapat menurunkan *shelf-life*. Dalam kasus lain, teknologi ini juga digunakan untuk menutupi sifat-sifat yang tidak diinginkan seperti warna, rasa, dan bau tanpa mengurangi performa dari material inti tersebut. Metode ini juga memberikan kemudahan dalam hal *handling* karena dapat memberlakukan bahan berbentuk cari sebagai padatan, dalam hal makanan. (Sobel, *et al.*, 2014)

Teknik enkapsulasi untuk material reaktif saat ini ada beberapa macam. Beberapa teknik pembentukan dinding mikrokapsul tersebut dapat diklasifikasikan *sebagai interfacial, in*

situ, *coacervation*, *melttable dispersion*, atau *physical*. Material self-healing biasanya menggunakan metode *in-situ*, *interfacial*, dan *melttable dispersion*. Untuk metode *in-situ*, material yang digunakan umumnya adalah *Urea-Formaldehyde*, *Melamine-Formaldehyde*, *Melamine-Urea-Formaldehyde*, *Polyurethane*, dan *Acrylate*. Pembentukan dinding kapsul tersebut terjadi pada perbatasan atau antarmuka tiap butiran minyak yang terdispersi dalam air. (Blaiszik, *et al.*, 2010)

2.1.2 Teknik Polimerisasi Mikro kapsul

Secara garis besar, metode mikroenkapsulasi terbagi menjadi tiga yaitu *chemical*, *Physico-chemical*, dan *Physico-mechanical*. Ketiga metode tersebut biasa digunakan dalam dunia farmasi dan akan terbagi lagi menjadi beberapa jenis didalam masing-masing klasifikasi seperti yang dijabarkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Metode Mikroenkapsulasi (Jyothi, *et al.*, 2010)

<i>Chemical</i>	<i>Physico-chemical</i>	<i>Physico-mechanical</i>
<i>Interfacial Polymerization</i>	<i>Coacervation and phase separation</i>	<i>Spray drying and congealing</i>
<i>In-situ Polymerization</i>	<i>Sol-gel encapsulation</i>	<i>Fluid bed Coating</i>
<i>Poly condensation</i>	<i>Supercritical CO₂ assisted microencapsulation</i>	<i>Pan coating</i>
		<i>Solvent evaporation</i>

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah proses *Interfacial Polycondensation* dan *In-situ Polymerization*. Metode ini memiliki dasar yaitu proses Polimerisasi antara dua monomer yang dalam penelitian kali ini kedua monomer tersebut adalah Urea dan Formaldehid.

Polimer merupakan makromolekul yang terbentuk akibat tersambungannya rantai molekul-molekul yang lebih kecil. Molekul kecil yang menyusun makromolekul disebut sebagai monomer dan

reaksi yang membentuk rantai ikatan kimia antara beberapa monomer disebut dengan polimerisasi. Klasifikasi dari proses polimerisasi dibagi menjadi dua yaitu berdasarkan struktur dan klasifikasi lain berdasarkan mekanisme pembentukan.

Klasifikasi polimer berdasarkan struktur terbagi dua yaitu kondensasi dan adisi. Sedangkan, klasifikasi polimer berdasarkan mekanisme pembentukan dibagi menjadi dua yaitu polimerisasi *Step* dan *Chain*. Klasifikasi dari polimer ini masih sering terjadi ambiguitas pada aplikasinya karena pada dasarnya beberapa pemecahan dari polimerisasi seperti yang dijabarkan diatas masih tersambung antara satu dengan yang lainnya. (Oadian, 2004).

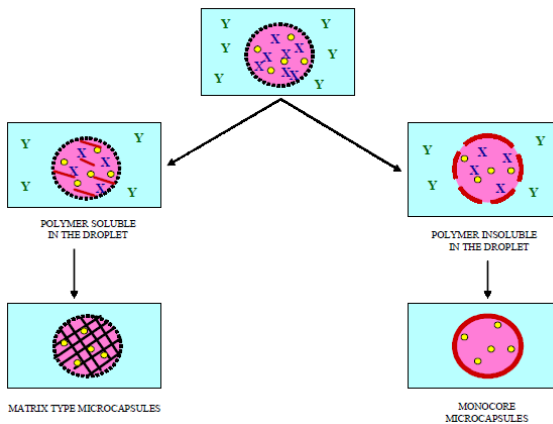
Menurut Dubey, dkk, teknik polimerisasi dalam pembentukan mikrokapsul dapat dikategorikan menjadi dua berdasarkan bahan awal pembentukan mikrokapsul. Kategori pertama yaitu jika material awal pembentukan mikrokapsul berupa monomer atau prepolymer sehingga akan terjadi reaksi kimia pada proses polimerisasi. Kategori lain adalah jika bahan awal yang digunakan adalah polimer sehingga tidak ada proses secara kimia pada saat pembuatan mikrokapsul. (Dubey, *et al.*, 2009)

Menurut Jyothi, dkk, teknik polimerisasi dapat dikategorikan menjadi metode Kimia metode Fisika-Kimia dan metode Fisika-Mekanik. Kategori Kimia selanjutnya dipecah lagi menjadi *Interfacial Polymerization* dan *In-situ Polymerization*. (Jyothi, *et al.*, 2010)

A. *Interfacial polycondensation*

Seperti namanya, *Interfacial polycondensation* atau polimerisasi antar muka, metode ini melibatkan polikondensasi dua monomer pada antarmuka dua fasa yang berbeda. Untuk pembentukan mikrokapsul, sistem dua fasa ini dicampur secara terkontrol untuk membentuk butiran-butiran kecil yang terdispersi didalam fasa kontinyu. Material yang akan di enkapsulasi harus dipilih sedemikian rupa agar menjadi suatu butiran kecil yang dapat terdispersi, contohnya minyak didalam air. Untuk memudahkan proses pembentukan butiran ini, dapat juga digunakan penstabil untuk mencegah tergumpalnya butiran fasa

terdispersi antara satu dengan yang lainnya. Polimerisasi antar muka dapat digunakan untuk membuat tipe mikrokapsul *monocore* atau *matrix*. Jika polimer yang terbentuk dari proses kondensasi tersebut dapat terlarut dalam fasa terdispersi, maka akan terbentuk mikrokapsul bermorfologi *matrix*. Jika polimer yang terbentuk tidak dapat larut dalam fasa terdispersi dalam kapsul, maka akan terbentuk mikrokapsul dengan morfologi *monocore*. Perbedaan dalam sitem polimerisasi ini dapat dilihat secara lebih jelas pada gambar 2.1. (Dubey, *et al.*, 2009)

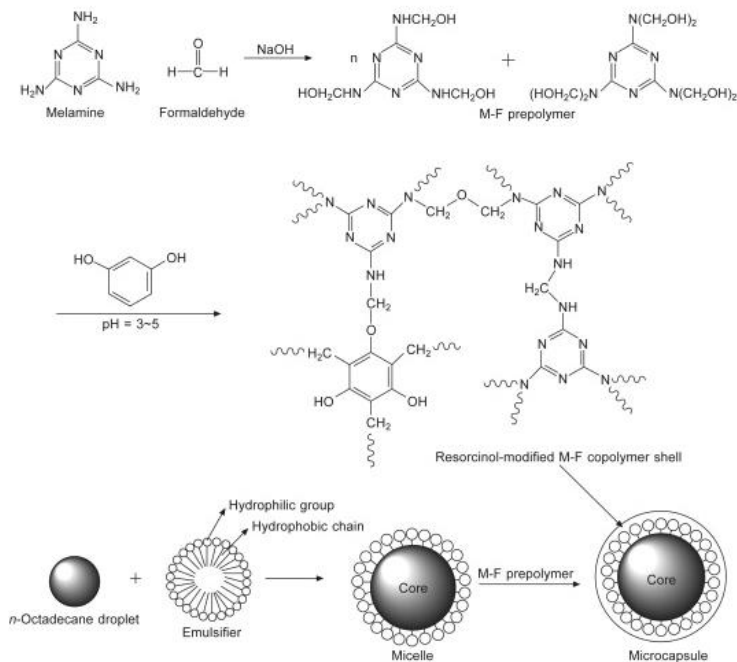


Gambar 2.1 Perbedaan hasil polimerisasi antarmuka
(Dubey, *et al.*, 2009)

B. In-situ Polymerization

In-situ Polymerization atau polimerisasi in-situ sebetulnya sangat mirip dengan polimerisasi antarmuka atau *Interfacial Polymerization*. Perbedaan keduanya adalah pada polimerisasi in-situ, tidak ada monomer reaktif di fasa organik dan seluruh proses polimerisasi terjadi di fasa kontinyu bukan di perbatasan atau antarmuka butiran minyak yang terdispersi. Contoh paling umum dari metode ini adalah polimerisasi kondensasi dari Urea atau Melamin dengan formaldehid untuk membentuk ikatan *cross-link* urea-formaldehid atau melamin-formaldehid yang membentuk cangkang kapsul. Pada metode ini, fasa minyak atau material inti

akan diemulsi dalam air dengan cara dilakukan pengadukan secara dapat yang nantinya akan menstabilkan emulsi. Pengadukan dilakukan dengan kecepatan tinggi agar dapat membentuk butiran material inti berukuran kecil dan berbentuk bulatan-bulatan. Butiran kecil inti kapsul di dispersikan dalam fasa aqueous yang sudah mengandung pengemulsi dalam jumlah sedikit. Selanjutnya diberikan penambahan monmer atau pre-polimer urea-formaldehid atau melamin-formaldehid. Setelah derajat keasaman larutan diturunkan, reaksi polikondensasi dimulai dan menghasilkan urea-formaldehid atau melamin-formaldehid yang sudah terbentuk ikatan *cross-link*. Ketika resin mencapai berat molekul yang tinggi, resin tersebut akan menjadi sukar larut di fasa aqueous, presipitasi keluar dan terdeposit pada antarmuka antara air dan minyak. Resin kemudian mengeras dan membentuk mikrokapsul. Tahapan polimerisasi *In-situ* dapat dilihat pada gambar 2.2 (Shannaq & Farid, 2015)



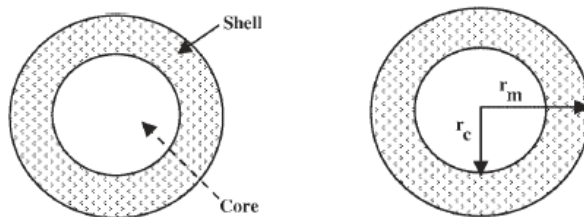
Gambar 2.2 Tahapan proses polimerisasi In-situ
(Shannaq & Farid, 2015)

2.2 Mikrokapsul

Produk dari proses mikroenkapsulasi adalah suatu mikrokapsul, sehingga dapat didefinisikan secara sederhana, mikrokapsul adalah bola-bola kecil dengan dinding uniform sebagai pelapis terluar. Mikrokapsul yang terbentuk dapat berupa bola pejal, bola berongga, ataupun bola berongga yang memiliki suatu isi. Jika kapsul tersebut diberikan suatu isi maka isi tersebut disebut sebagai *core*, *interface*, atau *fill*. Ukuran dari mikrokapsul dapat berkisar antara 1-1000 mikrometer dimana jika kurang dari 1 mikrometer disebut nano kapsul dan jika lebih dari 1000 mikrometer dapat disebut makrokapsul. Material yang digunakan

untuk membuat dinding dari mikrokapsul ini biasanya terbuat dari polimer organik. (Das, *et al.*, 2011)

Mikrokapsul dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu inti dan cangkang. Bagian inti dari mikrokapsul mengandung bahan aktif, berbeda dengan cangkang mikrokapsul yang berfungsi melindungi inti kapsul secara temporer atau permanen dari lingkungan luar. Morfologi mikrokapsul secara *general* dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Morfologi mikrokapsul (Das, *et al.*, 2011)

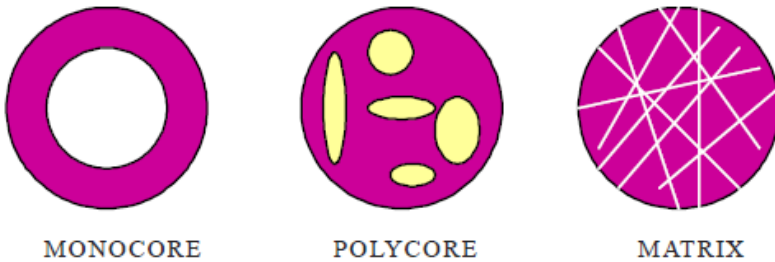
Pembuatan mikrokapsul ini memiliki banyak sekali keuntungan sehingga harus terus dikembangkan. Beberapa keuntungan dari mikrokapsul adalah:

- Melindungi produk kimia dari degradasi
- Cairan dapat dipelakukan sebagai padatan
- Pemisahan komponen yang tidak kompatibel
- Proses *drug delivery* dalam metode pengobatan yang dapat lebih terkontrol dan akurat

Mikrokapsul dapat diklasifikasikan bergantung pada ukuran dan morfologinya. Secara ukuran mikrokapsul memiliki rentang ukuran dari satu micron hingga beberapa millimeter. Mikrokapsul yang berukuran lebih kecil yaitu nano, dapat disebut nanokapsul sesuai ukurannya.

Morfologi mikrokapsul dapat terbagi menjadi 3 klasifikasi yaitu *monocore*, *polycore*, dan *matrix*. Gambar 2.4 menunjukkan klasifikasi mikrokapsul tersebut. Mikrokapsul berjenis *monocore* memiliki satu buah ruangan kosong didalam satu kapsul. Mikrokapsul berjenis *polycore* memiliki beberapa ruang kosong

dalam satu cangkang kapsul. Sedangkan *matrix*, material inti tersebar secara merata dalam cangkang mikrokapsul. Bentuk dari struktur internal mikrokapsul *matrix* bergantung pada material cangkang dan metode pembentukan cangkang kapsul itu sendiri. Selain dari tiga klasifikasi morfologi mikrokapsul ini, terdapat jenis lain dari mikrokapsul dimana mikrokapsul tersebut memiliki satu buah ruang didalam cangkang kapsul (*monocore*) tetapi memiliki dua buah lapisan kapsul yang melindungi.



Gambar 2.4 Klasifikasi morfologi mikrokapsul
(Dubey, *et al.*, 2009)

2.3 *Surface Engineering*

Rekayasa permukaan atau *Surface Engineering* adalah proses multidisiplin yang ditujukan untuk membentuk karakter dari permukaan dari suatu material agar sesuai dengan yang dibutuhkan sehingga kegunaan material tersebut dapat ditingkatkan. Definisi lain dari rekayasa permukaan adalah suatu perlakuan pada permukaan atau dekat permukaan yang membuat permukaan tersebut memiliki karakter berbeda dari keseluruhan material tersebut. tujuan dari rekayasa permukaan adalah untuk (ASM, 2001):

- Meningkatkan ketahanan korosi melalui pembatas elindung agar tidak terjadi kontak dengan lingkungan
- Peningkatan ketahanan terhadap oksidasi dan / atau sulfidasi
- Peningkatan ketahanan aus
- Mengurangi energy yang hilang akibat gesekan

- Meningkatkan sifat mekanik
- Peningkatan sifat elektronik atau listrik
- Peningkatan isolasi termal
- Penambahan ekстетika

2.3.1 *Coating*

Coating atau pelapisan adalah suatu material yang biasanya berbentuk liquid, dapat juga berbentuk solid, yang diaplikasikan pada permukaan material dan membentuk suatu lapisan kontinyu maupun diskontinyu setelah kering. Proses pengeringan dari material pelapis cair biasanya dilakukan dengan cara penguapan atau pengerasan dengan cara oksidatif, termal, atau sinar UV. *Coating* dapat berbentuk organik maupun anorganik. Material pelapis anorganik biasanya ditujukan untuk penggunaan protektif, sedangkan material pelapis organik banyak digunakan sebagai dekoratif dan fungsional. (Gosh, 2006)

Lapisan yang terbentuk dapat berupa transparan atau memiliki pigmen tertentu tergantung dari aplikasi dan tujuan pelapisan tersebut. Jika material pelapis mengandung suatu pigmen maka dapat disebut *binder* dimana *binder* tersebut yang akan menahan partikel pigmen tetap menyatu dengan substrat. Ketika *binder* yang terdiri dari resin dan pigmen dilarutkan dalam air dan menjadi larutan, kombinasi antara pigmen, resin, dan air atau solvent tersebut dinamakan *vehicle*. Ketika diaplikasikan ke permukaan, solvent menguap dan kandungan dalam *vehicle* tersisa pigmen dan resin saja. Ketika aplikasi sudah dilakukan, pigmen memegang peranan penting dalam menentukan sifat-sifat seperti inhibisi korosi dan warna dari lapisan yang terbentuk. Sedangkan *binder* memegang peranan pada ketahanan lapisan terhadap cuaca, dan kemampuan lapisan tersebut untuk berfungsi di kondisi lingkungan tertentu. (Gideon, 1995)

Karakteristik suatu *coating* ditentukan oleh tipe material pengikat, pigmen, dan bahan-bahan lain yang dicampurkan kedalam formula material pelapis. Sedangkan substrat, mulai dari tipe, *pretreatment*, dan metode pengaplikasian memiliki peranan

dalam karakteristik akhir setelah material yang diberi lapisan tersebut selesai dibuat. (Gosh, 2006)

2.3.2 Organic Coating

Organic coating atau pelapis organik merupakan campuran kompleks antara polimer, pigmen, inhibitor korosi, dan aditif. Pelapis organik merupakan salah satu metode tertua untuk melindungi logam dari korosi (Taylor, 2012). *Organic Coating* dapat dibagi menjadi konduktif dan non-konduktif. Fungsi dasar dari pelapis organik adalah untuk melindungi permukaan logam dari lingkungan yang korosif dan juga sebagai pembatas yang mencegah atau menurunkan laju difusi dari senyawa kimia yang secara agresif menyerang permukaan logam. Pelapis organik dapat dibuat atau di desain untuk secara selektif menghalangi difusi air, oksigen, ion, atau kombinasi dari ketiganya. (Leon & Advincula, 2015)

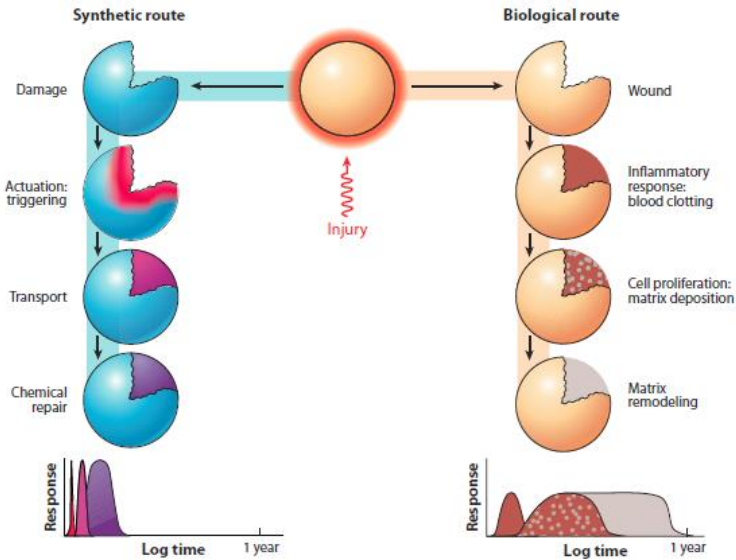
2.4 Self-Healing Material

Material *self-healing* adalah suatu material polimer, metal, atau komposit yang memiliki kemampuan untuk memperbaiki diri sendiri dan kembali ke bentuk semula ketika terjadi kerusakan berupa termal, mekanik, dan balistik dengan menggunakan sumber-sumber yang sudah tersedia dalam material tersebut. Metode perbaikan kerusakan yang dilakukan dapat berupa otonom atau dengan bantuan dari luar. Kedua metode tersebut membutuhkan suatu pemicu berupa kerusakan seperti yang disebutkan sebelumnya agar dapat mulai bekerja untuk memperbaiki diri sendiri. (Wool, 2007)

Aplikasi material secara intensif dan kontinyu pastinya akan memberikan efek negatif seperti degradasi, kerusakan, dan kegagalan. Saat ini, rekayasa material masih berfokus pada pembuatan material baru yang lebih kuat tetapi banyak dari rekayasa tersebut yang berujung pada kegagalan. Di sisi lain, dunia kelimuan Biologi menemukan cara baru yang lebih baik dalam menangani kerusakan suatu benda yaitu dengan cara *self-healing*.

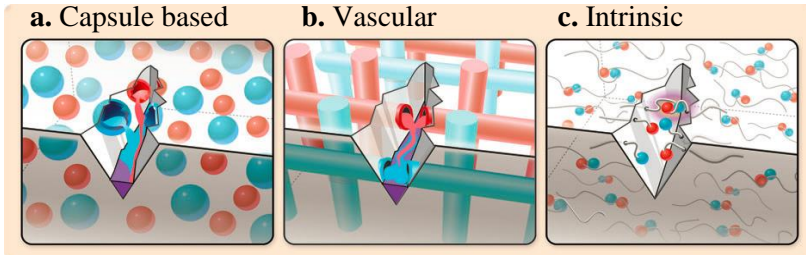
Disebutkan sebelumnya bahwa dunia keilmuan Biologi telah menemukan cara baru dalam menyelesaikan masalah kerusakan

pada material yaitu dengan cara self-healing. Material self-healing yang akan dan sudah dikembangkan selama ini memang mengikuti konsep self-healing secara biologis. Penjelasan tentang hal ini dapat terlihat dari gambar 2.5 dimana digambarkan perbandingan skema self-healing biologis dan sintetis. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tahapan-tahapan yang dilakukan oleh sistem self-healing sintetis mengikuti tahapan-tahapan yang dilakukan oleh mekanisme self-healing biologis. Tahapan tersebut dimulai dari sebuah kerusakan atau berupa luka pada sistem biologis. Lalu dilanjutkan oleh respon pembekuan sebagai tahap awal penyembuhan berupa penggumpalan darah pada sistem biologis, sedangkan pada sistem sintetis yaitu adanya pengaktifan mekanisme penyembuhan. Tahapan ini berlanjut hingga perbaikan oleh zat kimia pada sistem sintetis dan matrix remodeling pada sistem biologis sebagai tahap akhir mekanisme self-healing. Perbedaan paling signifikan antara kedua sistem tersebut adalah lamanya waktu yang dibutuhkan dimana pada sistem sintetis memerlukan waktu yang jauh lebih cepat dibanding sistem biologis. (Blaiszik, *et al.*, 2010)



Gambar 2.5 Perbandingan proses Self-healing sintesis dan biologis (Blaiszik, *et al.*, 2010)

Self healing material dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu capsule based, vascular, dan intrinsic (gambar 2.6). Klasifikasi tersebut dibuat berdasarkan mekanisme yang digunakan untuk mengaplikasikan sifat self healing material tersebut. Masing-masing metode memiliki perbedaan pada volume kerusakan yang bisa diperbaiki, pengulangan kerusakan yang masih dapat ditanggulangi, dan recovery rate dari perbaikan kerusakan. Pada penelitian ini, yang akan dibahas lebih lanjut adalah kelompok material self-healing berbasis kapsul.

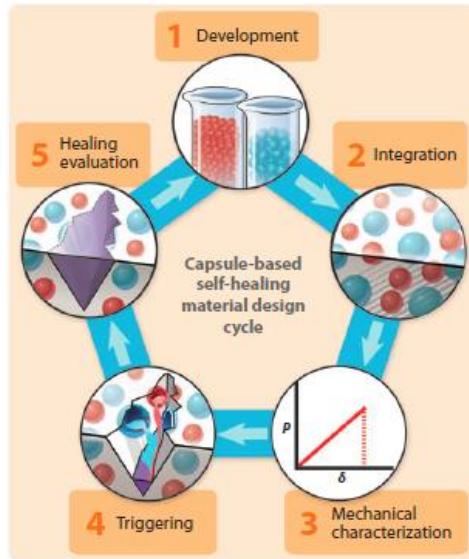


Gambar 2.6 Klasifikasi material self-healing
(Blaiszik, *et al.*, 2010)

2.4.1 *Capsule based*

Mekanisme self-healing dengan metode capsule based adalah dengan cara menempatkan healing agent dalam mikrokapsul. Mikrokapsul ini diharapkan akan pecah jika terjadi kerusakan lalu melepaskan healing agent yang diharapkan akan menutup celah kerusakan atau retakan yang terjadi. Mekanisme ini hanya dapat digunakan satu kali dan bersifat lokal karena mikrokapsul yang ditanamkan berjumlah terbatas.

Dalam proses pembuatan mikrokapsul terdapat lima tahapan daur hidup material tersebut. Tahapan tersebut dimulai dari pembuatan mikrokapsul, pembedaan mikrokapsul dalam matriks resin, karakterisasi, triggering, dan mekanisme penutupan kerusakan. Tahapan-tahapan ini dapat lebih jelas dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Tahapan daur hidup material *self-healing capsule based* (Blaiszik, *et al.*, 2010)

Proses pertama adalah Proses penempatan healing agent. Proses ini memiliki banyak variasi misalnya dengan enkapsulasi atau phase separation. Hal yang utama untuk dipertimbangkan dalam pemilihan metode tersebut adalah solubility, reactivity, viscosity, volatility, dan pH dari material yang akan dikapsulkan. Material healing agent seharusnya memiliki sifat tidak reaktif dengan material dinding kapsul, viskositas rendah, dan tidak mudah terbakar.

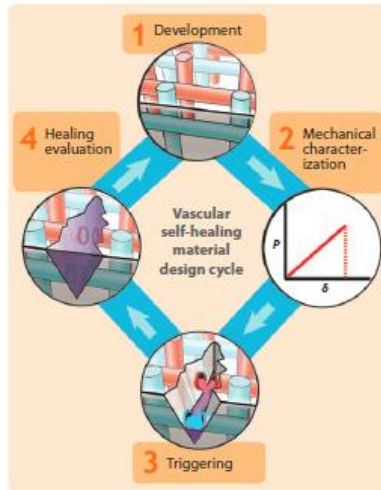
Proses selanjutnya adalah penggabungan material inti yang sudah di enkapsulasi dengan yang sudah berbentuk dengan matriks komposit. Proses penggabungan ini juga memiliki variasi tertentu. Material kapsul UF, MF, MUF, dan PU yang digunakan untuk material self-healing sebelumnya telah banyak digunakan dan menunjukkan kemampuan menahan kondisi pemrosesan dari resin-resin thermoset sebagai matriksnya.

Setelah kapsul terbentuk kapsul tersebut dibenamkan dalam matriks polimer sehingga sifat material secara keseluruhan, mekanisme pemicu pelepasan healing agent, dan kemampuan perbaikan dapat di evaluasi. Volume fraksi kapsul terhadap matriks dan karakteristik-karakteristik kapsul sangat dapat mempengaruhi kinerja material self healing yang dihasilkan. Mekanisme pemicu penyembuhan material dapat dinilai dan dipastikan dengan cara perusakan terkontrol dari material. (Blaiszik, *et al.*, 2010)

2.4.2 Vascular Based

Material *self-healing* dengan jenis vaskuler memiliki mekanisme perbaikan permukaan yang sama dengan *capsule based* tetapi *healing agent* yang nantinya akan digunakan dalam material ini ditempatkan dalam kapiler-kapiler atau saluran-saluran yang terkoneksi satu dengan yang lainnya sehingga ketika ada kerusakan maka cairan tersebut akan keluar dan mengisi celah yang rusak. Salah satu perbedaan *vascular based* dengan *capsule based* adalah *healing agent* yang digunakan dalam *self-healing material vascular based* ditempatkan dalam saluran-saluran yang ada setelah saluran tersebut terbentuk dalam matriks material yang dibuat, berbeda dengan *capsule based* dimana *healing agent* sudah ada didalam mikrokapsul sebelum mikrokapsul ditempatkan dalam matriks material.

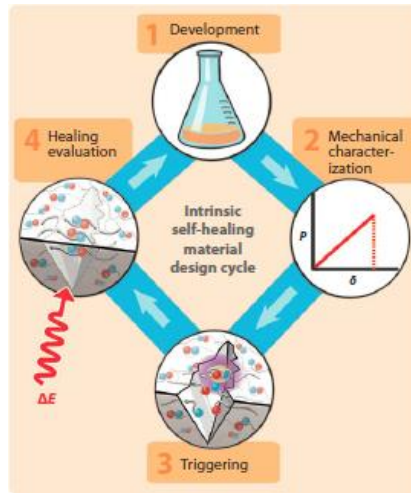
Daur hidup yang dimiliki oleh *self-healing material vascular based* juga sangat mirip dengan *capsule based* seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Daur hidup *self-healing material vascular based* (Blaiszik, et al., 2010)

2.4.3 *Intrinsic self-healing material*

Intrinsic self-healing material sangat berbeda dengan *capsule based* ataupun *vascular based* karena tidak menggunakan *healing agent*. Matriks dari material ini sudah memiliki kemampuan *self-healing* melalui reaksi reversible secara termal, ikatan hydrogen, ikatan ionomer, fasa termoplastik yang terdispersi, atau difusi molekul. Daur hidup dari material ini dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Daur hidup material *self-healing Intrinsic*
(Blaiszik, *et al.*, 2010)

2.3.3 Self-Healing Coating

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, bahwa permukaan dari suatu material dapat diberikan suatu lapisan yang bertujuan untuk melindungi permukaan logam tersebut dari efek degradasi dengan lingkungan. Pada aplikasinya keberhasilan atau keefektifan dari lapisan coating tersebut dapat menurun karena kerusakan akibat proses instalasi atau pengiriman.

Proses korosi pada logam adalah suatu proses dimana logam bereaksi dengan lingkungan yang menyebabkan degradasi logam tersebut. Reaksi tersebut dapat terjadi karena logam yang telah diproduksi adalah logam dengan fasa metastabil yang selalu berusaha untuk kembali ke fasa stabil seperti saat logam tersebut baru diambil dari dalam bumi berupa mineral. Proses korosi ini merupakan proses yang sangat merugikan karena akan berdampak kerugian besar terutama kerugian dalam aspek ekonomi, terlebih dalam bidang industri otomotif, perminyakan, geothermal, hingga aeronautika. (Ahmad, 2006)

Metode yang dilakukan untuk pencegahan korosi sudah banyak dilakukan. Dari mulai pembuatan material baru yang lebih tahan korosi, desain komponen yang lebih baik, hingga aplikasi pelapis yang lebih tepat. Sejauh ini, teknologi yang oaling baik untuk dilakukan adalah dengan menggunakan pelapis berbasis polimer organik. (Bierwagen, 1998)

Penggunaan teknologi pelapisan, meskipun dikatakan metode paling baik, tetap memiliki kekurangan. Aplikasi pelapis sebagai lapisan terluar dari logam membuat lapisan tersebut sangat rentan terdampak kerusakan, seperti dikatakan sebelumnya, akibat kesalahan instalasi, pengiriman, dan lain sebagainya. Kerusakan yang ditimbulkan berupa goresan-goresan berukuran micro dan nano. Kerusakan tersebut sangat sulit terdeteksi tetapi berpotensi merugikan karena dapat menjadi awal terjadinya korosi. Maka itulah dikembangkan suatu material pelapis berbasis polimer yang dapat memperbaiki diri sendiri apabila terjadi kerusakan minor tersebut. (Thanawala, *et al.*, 2014)

Kerusakan dari permukaan pelapis dapat menjadi titik awal mula proses korosi logam, terlebih pada lingkungan korosif. Kerusakan tersebut akan membantu penjalaran korosi dan akhirnya membuat lapisan pelindung tersebut kehilangan sifat protektif nya. Akibat dari hal ini, maka dibutuhkan material yang dapat secara mandiri mereparasi lapisan tersebut atau mereproduksi sifat aslinya.

Self healing coating dapat didefinisikan sebagai suatu kemampuan material pelapis untuk memperbaiki diri sendiri dari suatu kerusakan secara otonom atau otomatis, tanpa adanya intervensi dari luar. Salah satu metode yang digunakan agar suatu material dapat memiliki sifat self-healing adalah dengan pelepasan *Healing-agent* dimana digunakan mikrokapsul yang dibenamkan didalam material (*Microcapsule Embedment Method*) sebagai media penyimpan *healing agent* tersebut. (Gosh, 2009)

Dalam pembuatan self healing material, salah satu metode yang digunakan agar suatu material memiliki sifat tersebut adalah dibenamkannya mikrokapsul berisi cairan healing agent seperti

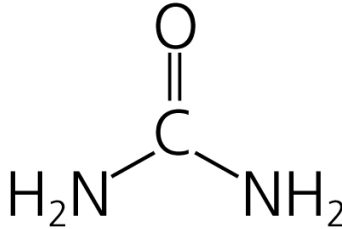
monomer, cat, katalis dan penguat, ke dalam material polimer tersebut. Penamaan mikrokapsul ini diharapkan akan memberikan sifat self healing, dimana saat ada keretakan dari polimer, mikrokapsul tersebut akan pecah dan mengeluarkan isi dari kapsul tersebut yang diharapkan dapat mengisi celah keretakan yang dialami material dan “menyembuhkan” keretakan yang dialami. Proses dari pengisian celah retak ini terjadi secara otomatis tanpa adanya intervensi atau gaya luar dari manusia.

Mikroenkapsulasi adalah suatu metode untuk mengurung partikel cairan, padatan, ataupun gas yang berukuran mikro, dalam cangkang inert yang melindungi apapun yang terkandung di dalamnya dari lingkungan luar atau sekitarnya. Hasil akhir dari proses mikroenkapsulasi disebut mikrokapsul. Mikrokapsul memiliki dua bagian yaitu bagian cangkang dan bagian inti atau isi. Mikrokapsul dapat berbentuk bola atau berbentuk tidak beraturan tergantung dari proses pembuatan yang melingkupi bahan-bahan yang digunakan dan parameter-parameter proses yang berbeda-beda. (Gosh, 2009)

2.5 Material yang digunakan untuk *self-healing*

2.5.1 Urea

Urea merupakan senyawa organik kecil dengan berat molekul 60 yang memiliki dua ikatan amino (NH_2) dan rantai *Carbonyl* (C-O). Material organik merupakan senyawa organik dimana material tersebut tersusun dari senyawa organik. Senyawa organik sendiri merupakan senyawa yang mengandung unsur karbon. Unsur karbon tersebut mudah berikatan dengan unsur lain sehingga terbentuklah jutaan senyawa organik yang didasari oleh unsur karbon dan unsur lain yang berikatan satu sama lain dan membentuk senyawa. (Slabaugh & Seager, 2012). Urea adalah produk akhir dari katabolisme protein dan asam amino. Struktur kimia dari Urea dapat dilihat ada gambar 2.10. (Higgins, 2016)



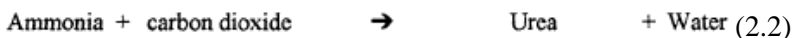
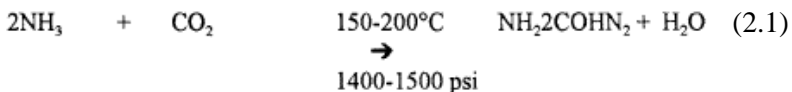
Gambar 2.10 Struktur kimia Urea (Higgins, 2016)

Baik urea organik maupun sintetis tidak memiliki perbedaan secara struktur kimia tetapi hanya pada proses pembuatan saja. Urea yang terbentuk secara natural diproduksi oleh makhluk hidup yang menjadi pembeda dengan urea sintetis yang diproduksi diluar makhluk hidup. Urea sintetis saat ini banyak digunakan sebagai pupuk. Urea sintetis dapat berupa padatan atau larutan. Urea pada penelitian ini digunakan sebagai monomer dalam pembentukan resin polimer Urea-Formaldehid (Bareja, 2013). Sifat fisik urea dapat dilihat pada table 2.2.

Tabel 2.2 Sifat fisik Urea (Pubchem, 2004)

Sifat Fisik	
Berat Molekul	60,056 g/mol
Warna dan bentuk	Putih padat
Titik leleh	132 °C
Kelarutan	Dapat dilarutkan
Densitas	1.32 g/cm ³

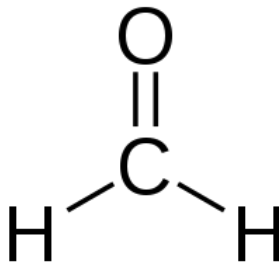
Urea dapat disintesis melalui reaksi antara Amonia dan CO₂ pada temperature dan tekanan tinggi. Reaksi pembentukan urea dapat dilihat pada reaksi (2.1) dan reaksi (2.2). (Ibeh, 2013)



2.5.2 Formaldehid

Formaldehid merupakan senyawa karbonil yang paling sederhana, tidak berwarna, memiliki bau yang kuat, dan beracun. Tubuh manusia memproduksi, memproses, dan mendegradasi formalin setiap saat. Formaldehid memiliki sisi positif dan negatif pada tubuh. Di satu sisi formaldehid dapat berdampak buruk pada otak, ginjal, hati, dan organ-organ vital lainnya, tetapi di sisi lain formaldehid dapat menambah waktu hidup dari *Drosophila* (bagian otak untuk memori dan pembelajaran). (He, 2017)

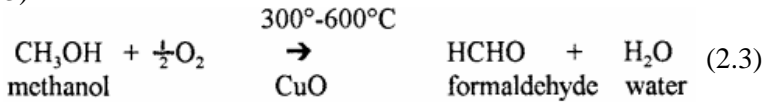
Formaldehid biasanya dibuat dan diperdagangkan dalam bentuk larutan 37% dengan tambahan methanol 8-15% untuk menghindari presipitasi polimer pada kondisi tertentu. Formaldehid dalam proses pengiriman harus dijaga tetap hangat untuk mencegah polimerisasi. Formaldehid merupakan produk dari sintesis *Methylene glycol* [$\text{CH}_2(\text{OH})_2$]. Pembuatan Formaldehid dilakukan dengan hidrolisis *Methylene acetate* yang sebelumnya didapat dari reaksi *Methylene iodide* dan *Silver acetate*. Struktur kimia Formaldehid dapat dilihat pada gambar 2.11. (Walker, 1944)



Gambar 2.11 Struktur kimia Formaldehid (Walker, 1944)

Formaldehid diproduksi dengan cara mengoksidasi Metanol. Hasil akhir yang didapat adalah dehidrogenasi Metanol menjadi Formaldehid. Dalam prosesnya, campuran uap Metanol dan udara dilewatkan melalui katalis CuO pada temperature 300°C hingga 600°C untuk membentuk Formaldehid dan air. Produk yang dihasilkan adalah larutan 37% Formaldehid yang dapat ditingkatkan kadarnya menjadi 40% yang dinamakan Formalin.

Reaksi pembentukan Formaldehid dapat dilihat pada reaksi (3), dan sifat fisika dari Formaldehid dapat dilihat pada table 2.3. (Ibeh, 2013)



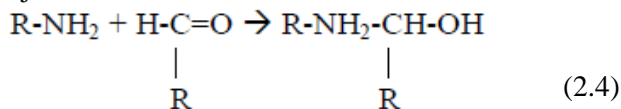
Tabel 2.3 Sifat fisika Formaldehid (EPA, 2000)

Sifat Fisika dan Kimia Formaldehid	
Berat molekul	30,03 gr/mol
Warna dan bau	Tidak berwarna dan menyengat
Kelarutan	Larut dalam air pada suhu kamar
Titik didih	98 °C

2.5.3 Poli(urea-formaldehid)

Resin Urea-formaldehid (UF) merupakan salah satu polimer termoset terpenting dan terdiri dari rantai-rantai oligomer linear maupun bercabang, polimer, dan juga beberapa jumlah monomer. Setelah mengeras, resin UF terbentuk atas jaringan 3 dimensi yang sukar larut dan tidak dapat dilelehkan kembali. Karakteristik dasar dari resin UF adalah pengeringan yang cepat, reaktif, dapat larut dalam air, tidak mudah terbakar, serta kekerasan dan sifat termal yang baik.

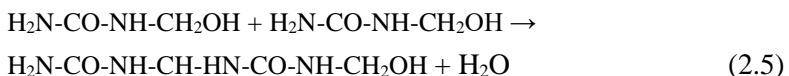
Senyawa Amino pada senyawa organik, secara umum, dapat direaksikan dengan berbagai senyawa aldehid melalui reaksi polikondensasi yang menghasilkan suatu polimer kompleks. Dalam penelitian ini, senyawa amino yang digunakan adalah Urea sedangkan senyawa aldehid yang digunakan adalah Formaldehid. Reaksi yang terjadi adalah:

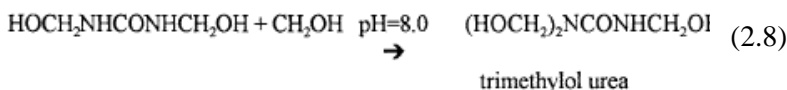
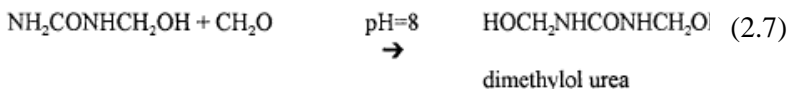
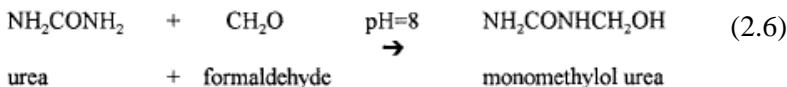


Pada dasarnya reaksi antara Urea dengan Formaldehid adalah reaksi polikondensasi dimana reaksi tersebut melalui dua tahapan yaitu tahap Metilolasi atau adisi pada kondisi alkalin

(pH = 8) dan Kondensasi pada kondisi asam. Tahap metilolasi terdiri dari reaksi substitusi dimana Formaldehid bereaksi dengan Urea membentuk Metilol urea. Metilol yang terbentuk dapat berupa monometilol, dimetilol, dan trimetilol Urea. Skema tahap Metilolasi dapat dilihat pada reaksi (6), (7), (8). Gugus aldehid menarik 1 atom H dari gugus NH₂, menjadi gugus metilol. Urea mempunyai 4 atom H di gugus amina, maka dimungkinkan hasil reaksinya berbentuk monometilol sampai tetrametilol urea. Reaksi ini dapat terjadi pada kondisi asam atau basa.

Tahap kondensasi terdiri atas pembentukan UF dimer, trimer, dan oligomer melalui reaksi kondensasi Metilol urea yang disertai pembebasan H₂O. Gugus -OH dari metilol bereaksi dengan -H dari -NH₂ atau -NH- menghasilkan H₂O. Reaksi ini berlangsung terus, sehingga terbentuk polimer Urea-formaldehid, dengan ikatan antar Urea dihubungkan oleh gugus Metilen (-CH₂-). Makin besar ukuran polimer atau panjang rantai yang terbentuk, polimer akan makin sulit untuk larut dalam air. Adanya ikatan rantai cabang (*network*) karena reaksi *crosslink* membuat polimer yang terbentuk semakin keras. Reaksi ini dipengaruhi oleh tingkat keasaman larutan. Pada kondisi asam, kecepatan reaksi sebanding dengan konsentrasi hidrogen, tetapi pada kondisi basa, reaksi kondensasi berjalan lambat. Dengan turunnya pH, kecepatan polimerisasi meningkat dengan cepat sehingga viskositas juga semakin besar. Reaksi kondensasi dari UF dapat dilihat pada reaksi (2.5). (Amanda, *et al.*, 2010)





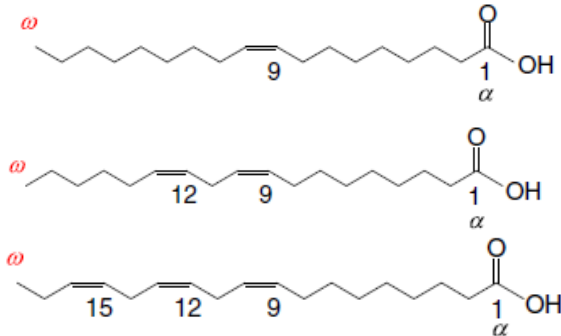
(Ibeh, 2013)

2.6 *Linseed Oil*

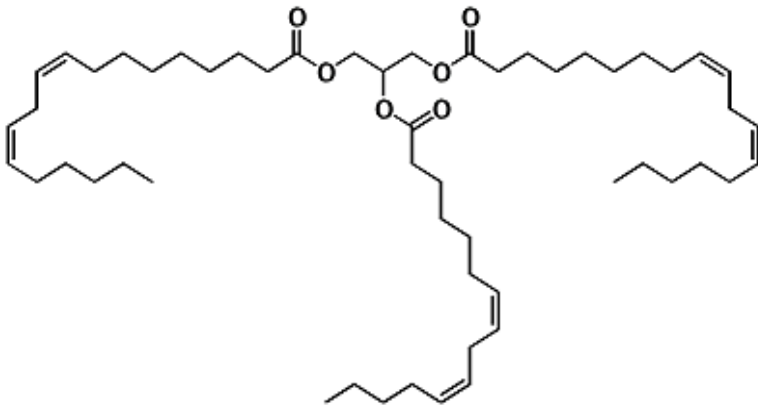
Linseed Oil merupakan produk dari tanaman Rami (*Linum ustissimum*), dimana biji tanaman tersebut dihancurkan dan dapat diekstrak minyak dari biji tersebut. Hasil ekstraksi ini akan didapatkan *drying alkyd paint*, dimana bahan ini akan dapat mengering dan mengeras jika terekspose udara bebas. Pengerinan dan pengerasan minyak ini terjadi karena tingginya kandungan Gliserin dari Asam Linoleat dalam *Linseed Oil*, yang merupakan komponen penting dalam *drying alkyd paint*, dengan ikatan tak jenuh didalam asam yang mengalami oksidasi. Laju pengeringan dari *Linseed Oil* terbilang sangat lambat untuk pemakaian yang efektif, maka itulah dapat diberi penambahan *metallic salts (drying agent)* untuk mempercepat proses pengeringannya. *Linseed* atau Rami tumbuh di banyak tempat seperti Eropa, Amerika Utara dan Selatan, dan Asia, yang masing-masing produk minyaknya dapat menggambarkan variasi dimana tumbuhan tersebut didapatkan

Minyak tersebut hanya tersusun atas ester dari gliserol (alcohol C3 dengan tiga gugus hidroksil pada setiap atom karbon) dan lima asam lemak. Dua dari asam tersebut adalah asam lemak jenuh, C16 Palmitik dan C18 Stearik, dan tiga lainnya adalah asam lemak tak jenuh oleat, linoleat, dan linolenat, yang masing-masing memiliki ikatan rangkap satu, dua, dan tiga secara berurutan.

Struktur ikatan asam lemak Oleat, Linoleat, dan Linolenat dapat dilihat pada gambar 2.12, dan struktur trigliserida dari *Linseed Oil* dapat dilihat pada gambar 2.13 (Juita, *et al.*, 2012)



Gambar 2.12 Struktur ikatan asam (a) Oleat, (b) Linoleat, (c) Linolenat (Juita, *et al.*, 2012)



Gambar 2.13 Struktur Molekul Asam Linoleat (VIAS, 2011)

Linseed Oil mengandung 60% asam linolenat, dimana merupakan asam lemak paling tak jenuh, biasanya asam ini terdapat dalam jumlah sangat kecil dalam minyak jenis lain yaitu sekitar 1%. Tabel 2.4 menunjukkan tabel perbandingan asam lemak yang dimiliki *Linseed oil* dibandingkan dengan jenis minyak

lain. Contoh minyak jenis lain yang memiliki jumlah cukup besar yaitu minyak kedelai sebesar 8% dan *rape oil* sebesar 7%. Jumlah asam linolenat yang sangat besar dalam Linseed inilah yang membuat minyak ini sangat cocok untuk dijadikan bahan cat pelapis yang dapat mengering. Tabel 2.4 menunjukkan perbandingan asam linolenat beberapa jenis minyak yang dapat dijadikan *drying oil*

Tabel 2.4 Perbandingan kandungan asam lemak Linseed oil dengan jenis minyak lain (Juita, *et al.*, 2012)

Jenis Minyak	Asam Palimeat	Asam steareat	Asam Oleat	Asam Linoleat	Asam Linolenat	Lainnya
Jagung	13%	3%	31%	52%	1%	-
Biji Rami	6-7%	3-6%	14-24%	14-19%	48-60%	-
Zaitun	10%	2%	78%	7%	1%	2%
Kedelai	11%	4%	22%	53%	8%	2%
<i>Tung Oil</i>	3%	2%	11%	15%	3%	59%

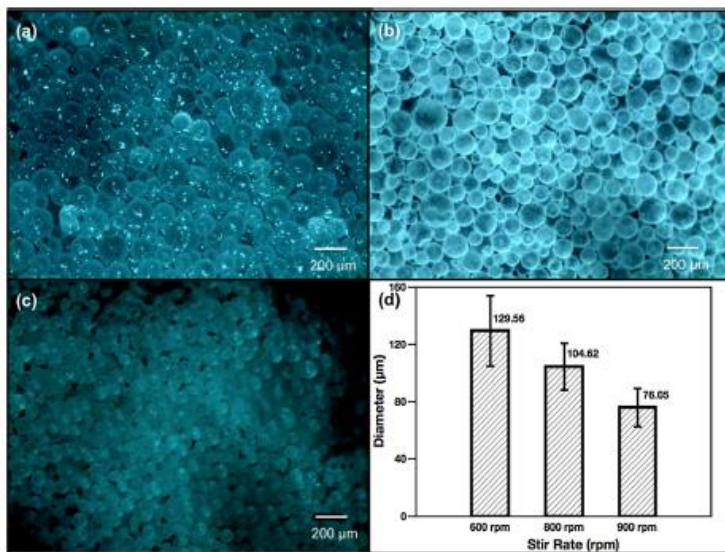
Proses pengeringan dari *Linseed Oil* mengikuti proses oksidasi lipid dalam sistem biologi tubuh manusia. Proses pengeringan ini terdiri dari tahap fisika dan kimia yang selanjutnya disebut sebagai tahap *curing*. Tahap pertama, proses fisika, yaitu proses penguapan pelarut yang mendorong pembentukan lapisan tertutup di permukaan. Di saat yang bersamaa terjadi juga reaksi pengeringan secara kimia berupa *autoxidation* yang mana proses *cross-link* berlangsung. *Linseed Oil* memiliki kemampuan untuk membentuk lapisan kontinyu tipis dengan sifat optikal dan mekanik yang baik setelah disebarkan secara tipis dan merata di suatu permukaan. Proses pengeringan ini akan terjadi dengan tidak adanya katalis meskipun reaksi tersebut akan sangat lama. Ikatan rangkap dari asam tak jenuh dalam minyak ini akan bereaksi dengan oksigen di udara dan dengan ikatan rangkap lainnya, membentuk suatu jaringan polimer yang memberikan sifat dapat

mudah kering dari minyak ini. Sehingga, proses pengeringan ini muncul sebagai hasil akhir dari proses *autoxidation* yang diikuti oleh polimerisasi *cross-linking*. (Juita, *et al.*, 2012)

2.7 Parameter dan Penelitian Sebelumnya

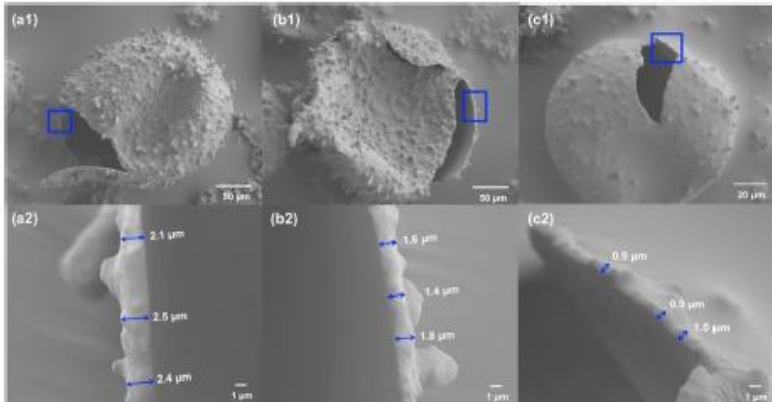
2.7.1 Pengaruh Kecepatan Agitasi

Pengadukan dapat menghasilkan gaya geser yang akan mereduksi tegangan permukaan ketika membuat emulsi minyak dalam air, yang akan berpengaruh pada ukuran mikrokapsul yang ingin dihasilkan. Peningkatan kecepatan agitasi akan membentuk emulsi yang lebih baik dengan butiran minyak yang lebih kecil, yang akan membentuk mikrokapsul dengan ukuran diameter lebih kecil dengan distribusi ukuran yang kurang merata. Kecepatan agitasi rendah sebaliknya akan membentuk mikrokapsul dengan ukuran lebih besar tetapi dengan distribusi ukuran yang lebih merata. Gambar 2.14 menunjukkan hasil penelitian mengenai kecepatan agitasi.



Gambar 2.14 Hasil observasi pengaruh kecepatan agitasi terhadap ukuran mikrokapsul (Lang & Zhou, 2016)

Selain ukuran mikrokapsul, kecepatan agitasi juga berpengaruh terhadap ketebalan dinding yang terbentuk. Ukuran ketebalan dinding kapsul menurun dengan bertambahnya kecepatan agitasi yang dihasilkan. Gambar 2.15 menunjukkan pengaruh kecepatan agitasi terhadap ketebalan mikrokapsul

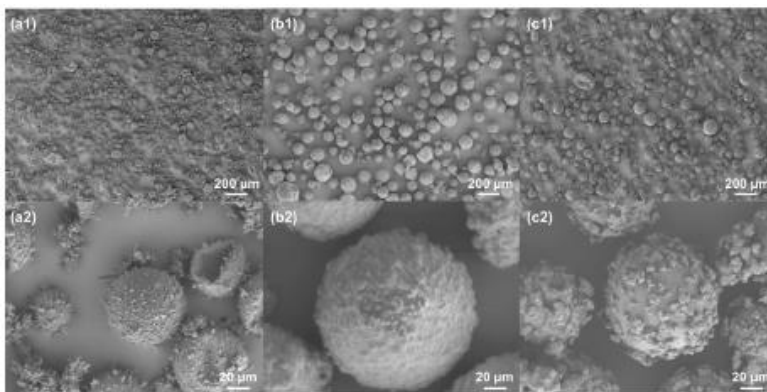


Gambar 2.15 Hasil observasi pengaruh kecepatan agitasi terhadap ukuran ketebalan dinding mikrokapsul (Lang & Zhou, 2016)

2.7.2 Pengaruh Temperatur

Temperature reaksi yang tinggi akan menghasilkan mikrokapsul yang memiliki kekuatan cangkang dan kekasaran permukaan yang lebih tinggi. Zhou pada 2016 menganalisa pengaruh temperature sebesar 45°C, 55°C, dan 65°C pada sintesis mikrokapsul berbahan dasar Poly(urea-formaldehid), hasil ini digambarkan pada gambar 2.16. Pada penelitiannya didapatkan bahwa ada temperature 45°C, seluruh mikrokapsul yang terbentuk hancur. Hasil SEM pada sample dengan temperature tersebut juga menghasilkan banyak serpihan yang menunjukkan bahwa mikrokapsu tidak berhasil terbentuk. Hasil SEM pada sample dengan temperature 55°C sebaliknya menunjukkan mikrokapsul dengan dinding kapsul yang utuh dan bentuk mikrokapsul yang lebih baik. Hasil SEM pada sample dengan temperature 65°C menunjukkan cangkang mikrokapsul yang lebih kasar dibandingkan dengan hasil pada temperature 55°C. Hasil ini dapat dijelaskan dengan kinetika reaksi urea-formaldehid. Pada kondisi asam, laju reaksi urea dan formaldehid meningkat secara signifikan seiring bertambahnya temperature. Tingginya temperature dapat

berpengaruh pada pembentukan cangkang yang lebih cepat dan derajat polimerisasi yang lebih tinggi pada waktu reaksi yang sama. Maka, mikrokapsul yang disintesis dengan temperature lebih tinggi akan membentuk cangkang kapsul yang lebih kuat dan kekasaran permukaan cangkang yang lebih tinggi.



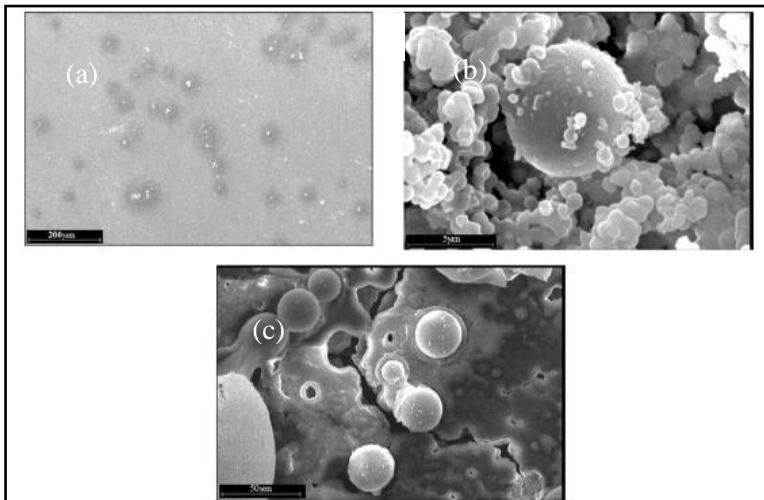
Gambar 2.16 Hasil SEM mikrokapsul pada temperatur (a1, a2) 45°C, (b1,b2) 55°C, dan (c1,c2) 65°C (Lang & Zhou, 2016)

2.7.3 Pengaruh pH reaksi

Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap terbentuknya mikrokapsul. Katouizadeh pada percobaannya pada tahun 2017 menganalisa pengaruh pH terhadap morfologi mikrokapsul. Hasil percobaannya menunjukkan bahwa pada pH tinggi atau daerah basa, mikrokapsul tidak terbentuk. Hasil ini tidak sesuai dengan teori yang dijadikan dasaran bahwa reaksi metilolasi bekerja secara baik pada pH tinggi. Reaksi kondensasi yang terjadi pada media asam terbagi menjadi beberapa tahapan dimana reaksi tersebut dapat dihentikan dengan meningkatkan pH. Faktanya, reaksi kondensasi baru terjadi ketika asam ditambahkan dan hal ini sangat penting untuk berlangsungnya reaksi.

Berbagai jenis dimer UF dibentuk dengan memvariasikan nilai pH. Dimer yang terbentuk pastinya memiliki dampak pada

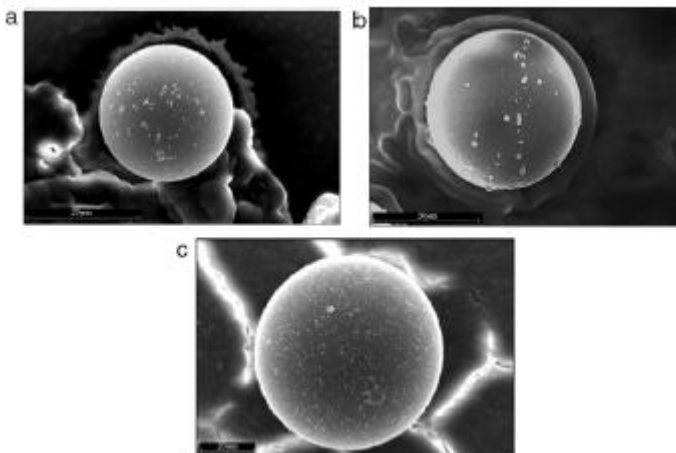
sifat-sifat produk yang dibentuk. Selain itu, ditunjukkan bahwa pembentukan metilen dibantu oleh pH yang diturunkan. Reaksi pembentukan dimer UF dengan eter memiliki titik terendah pada pH 8. Oleh karena itu, metilolasi urea akan lebih lambat pada nilai pH yang lebih tinggi. Akibatnya, sebagian besar dari gugus amino yang tidak tersubstitusi tetap ada, yang menghasilkan pembentukan ikatan metilen. Faktanya, pada nilai pH yang lebih tinggi, lebih sedikit ikatan eter yang terbentuk. Jumlah gugus eter juga berkurang jika kondisi reaksi bersifat asam. Hasil tersebut maka disimpulkan sebagai hasil dari hidrolisis ikatan eter dalam lingkungan asam, bukan ikatan metilen. Pada nilai pH tinggi reaksi kondensasi tidak terjadi. Secara berurutan, hasil ini mengarah pada kesimpulan bahwa dengan mengubah nilai pH selama kondensasi bahwa jumlah ikatan eter yang terbentuk dapat dikendalikan. Hasil percobaan tersebut dapat terlihat pada gambar 2.17 dimana terlihat perbedaan pembentukan mikrokapsul pada kondisi pH yang berbeda. (Katouzadeh, *et al.*, 2018)



Gambar 2.17 Hasil percobaan pengaruh pH terhadap mikrokapsul yang terbentuk pada (a) pH 11, (b) pH 7, (c) pH 3 (Katouzadeh, *et al.*, 2018)

2.7.5 Pengaruh Waktu Reaksi

Efek dari waktu reaksi yang paling jelas terlihat adalah dari ukuran mikrokapsul yang terbentuk. Dasar teori dari parameter ini adalah, polimerisasi Urea Formaldehid dimulai ketika *core material* yang teremulsi dalam larutan aquadest sudah terbentuk dengan stabil. Dengan dasar teori ini, ukuran inti dari butiran emulsi dapat dikontrol dengan mengatur lamanya waktu pengadukan. Ketika waktu pengadukan dinaikkan, butiran minyak dalam emulsi akan menjadi lebih kecil dan diameter mikrokapsul Urea-Formaldehid menjadi lebih kecil. Hasil terkait pengaruh waktu reaksi digambarkan pada gambar 2.18. (Katouizadeh, *et al.*, 2018)

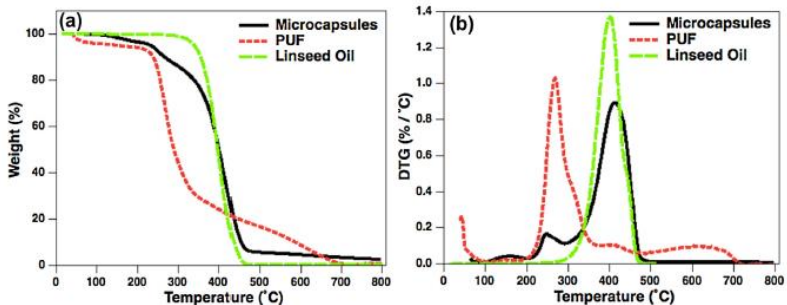


Gambar 2.18 Pengaruh waktu reaksi selama (a) 7 jam, (b) 4 jam, (c) 1 jam (Katouizadeh, *et al.*, 2018)

2.7.5 Hasil Pengujian TGA penelitian sebelumnya

Untuk mengukur kandungan bahan inti (minyak biji rami) dalam mikrokapsul, digunakan analisis termogravimetri untuk mengevaluasi persentase berat minyak biji rami dalam mikrokapsul yang dihasilkan. Kurva weightloss dari mikrokapsul yang disintesis bersama dengan PUF murni (bahan shell) dan

minyak biji rami murni (bahan inti) sebagai fungsi suhu di atmosfer N_2 ditunjukkan pada Gambar 2.20 (a) Dari posisi puncak kurva turunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 4 (b), PUF murni dan minyak biji rami murni terdekomposisi tercepat masing-masing sekitar $270^\circ C$ dan $400^\circ C$. Kurva turunan untuk mikrokapsul yang disintesis menunjukkan dua puncak di setiap kisaran suhu, yang menegaskan bahwa mikrokapsul yang disintesis terdiri dari PUF dan minyak biji rami. Minyak biji rami murni mulai terdekomposisi pada sekitar $330^\circ C$ seperti yang terlihat dari kurva penurunan berat. Dengan demikian, mikrokapsul pertama mulai kehilangan kulit PUF pada sekitar $210^\circ C$ dan kemudian terus kehilangan inti minyak biji rami pada sekitar $330^\circ C$. Menurut kurva penurunan berat mikrokapsul dalam Gambar 2.20 (a), ada sekitar 82% berat bahan yang tersisa pada $330^\circ C$, yang menunjukkan bahwa minyak biji rami yang dienkapsulasi dalam mikrokapsul terdapat sekitar 82% dari total berat kapsul.



Gambar 2.19 Hasil analisa (a)TGA dan (b) DTG
(Lang & Zhou, 2016)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

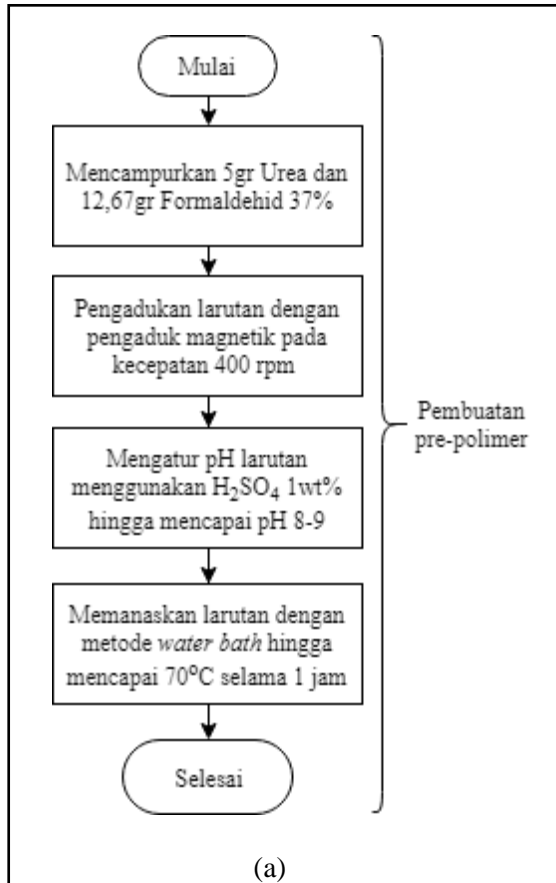
3.1 Diagram Alir Percobaan

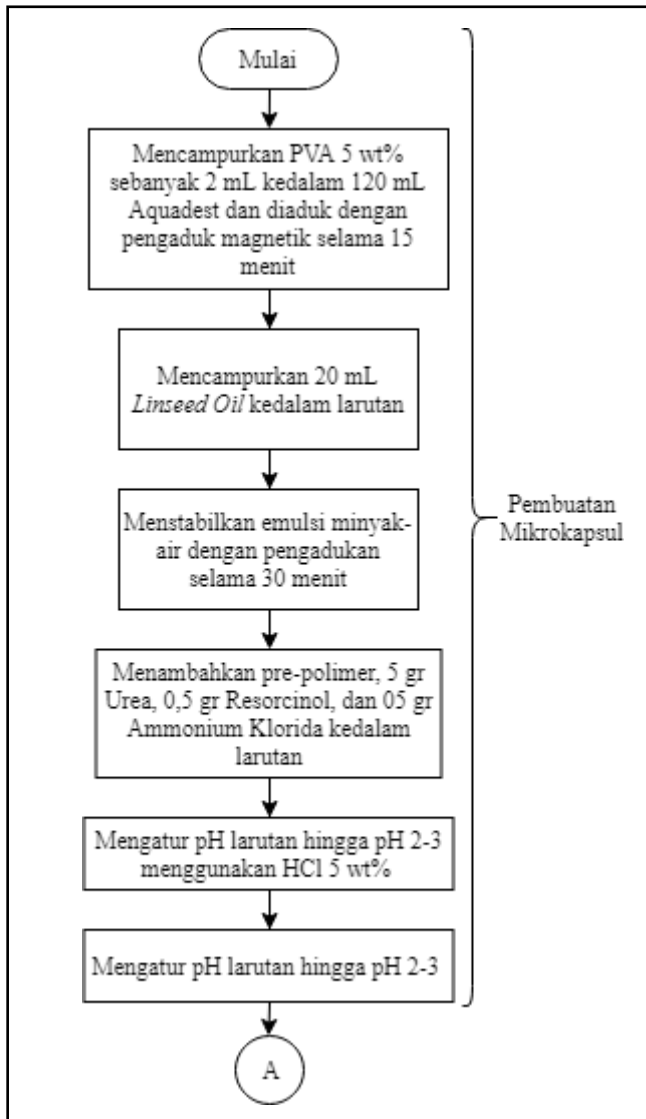
3.1.1 Percobaan dengan metode *two-step*

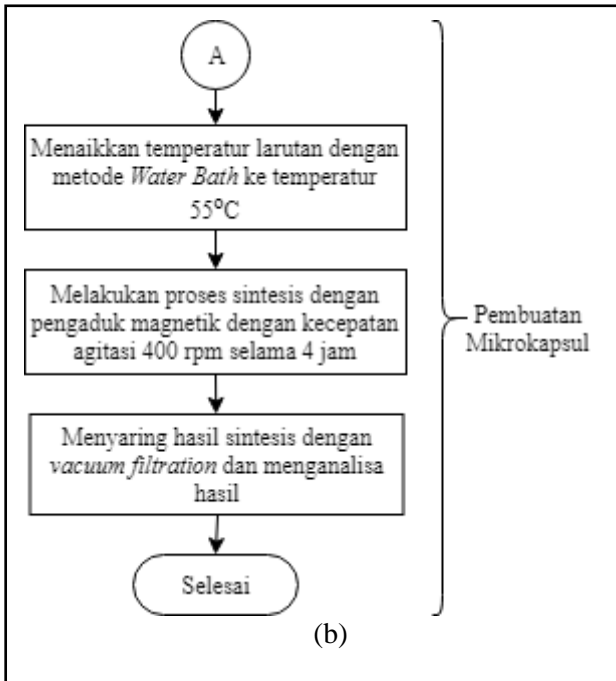
Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Thanawala, *et al.*, 2014)

Metode *two-step* adalah metode dimana dilakukan pembuatan *pre-polymer* terlebih dahulu baru kemudian membentuk mikrokapsul yang berisi *Linseed Oil* dibentuk. Proses tersebut dilakukan secara berurutan.

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah Urea dengan grade analisis, Formaldehid 37% grade analisis, Resorcinol grade teknis, Ammonium klorida grade teknis, dan PVA (MW 60.000) grade analisis.







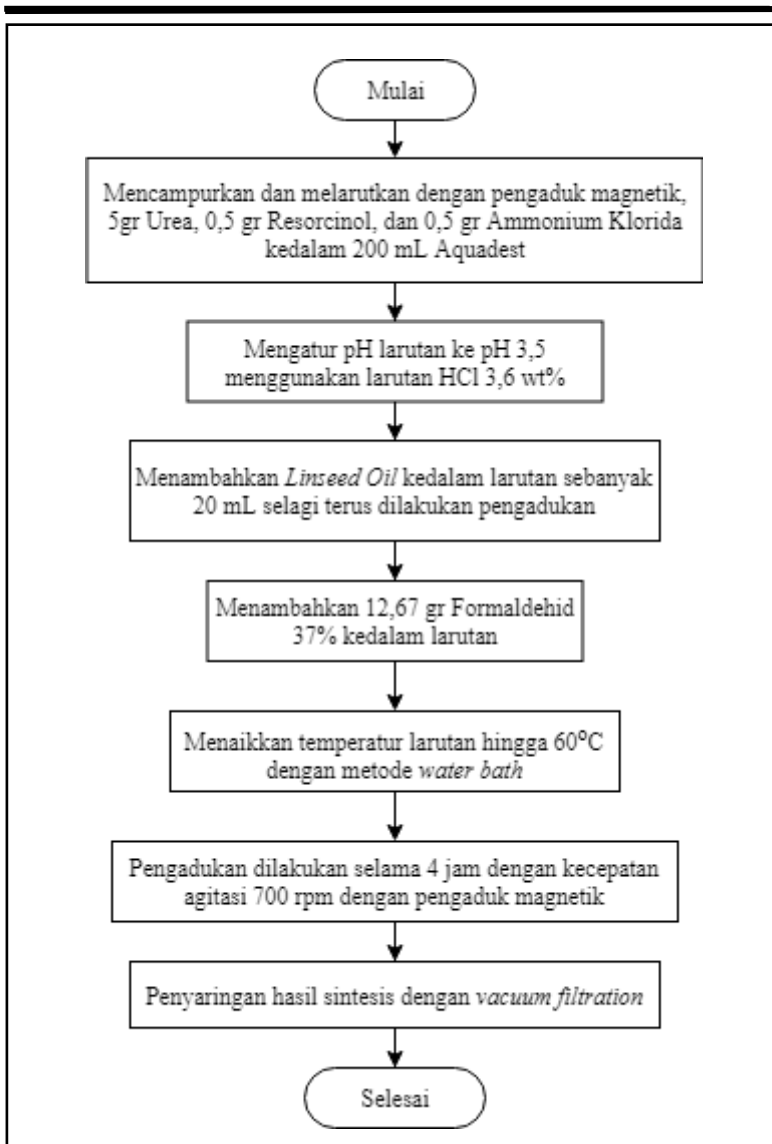
Gambar 3. 1 Diagram alir metode pertama (a) Pembuatan Pre-polimer, (b) Pembuatan Mikro kapsul

3.1.2 Percobaan metode *one-step*

Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Yang, *et al.*, 2012).

Metode *One-step* memiliki perbedaan dengan metode sebelumnya yaitu tidak adanya pembuatan *pre-polymer* dalam urutan langkah percobaan sehingga proses ini dilakukan secara kontinyu.

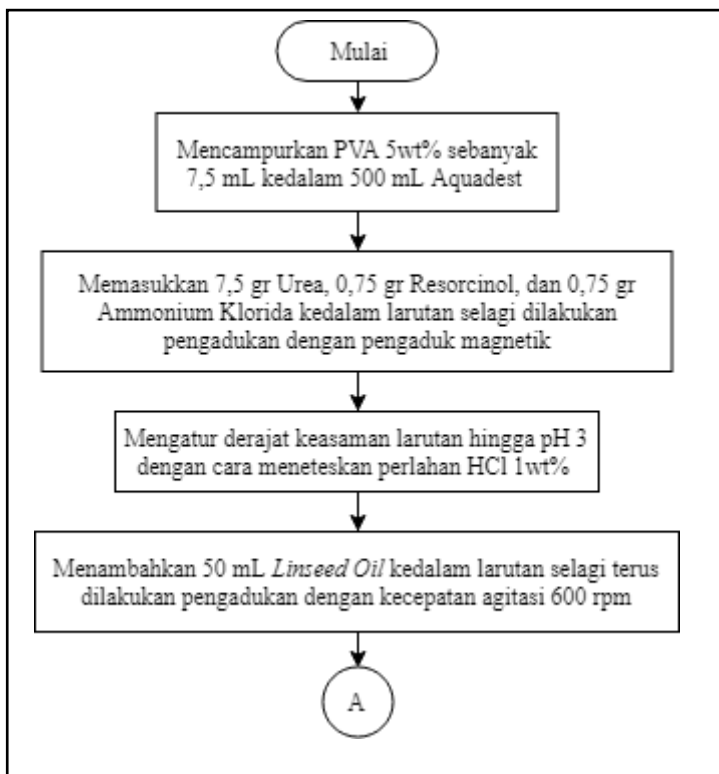
Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah Urea grade analitik, Formaldehid 37% grade analitik, Resorcinol grade teknis, Ammonium klorida grade teknis, dan *Linseed Oil*, serta PVA MW 60.000.

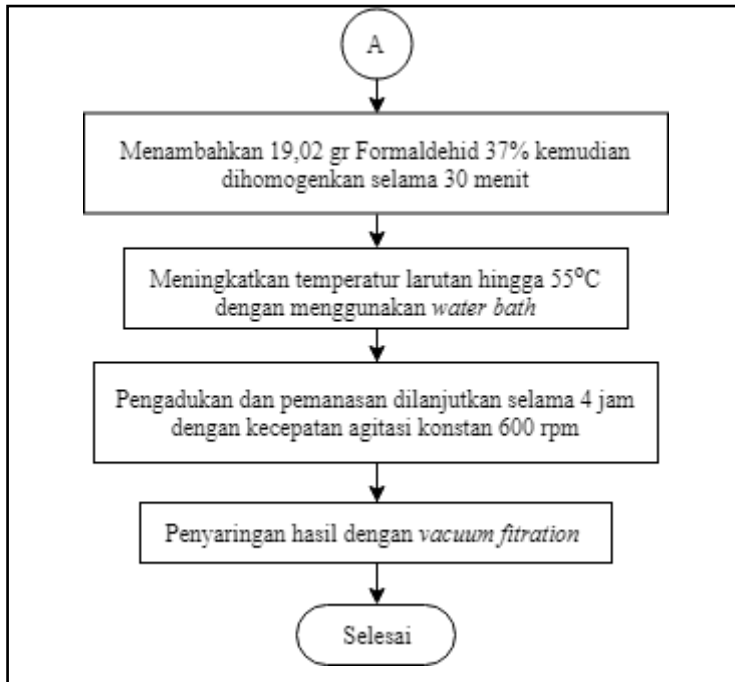


Gambar 3.2 Diagram alir metode ke-dua

a. Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Lang & Zhou, 2016).

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah Urea grade analitik, Formaldehid 37% grade analitik, Resorcinol grade teknis, Ammonium klorida grade teknis, dan *Linseed Oil*, serta PVA MW 60.000.

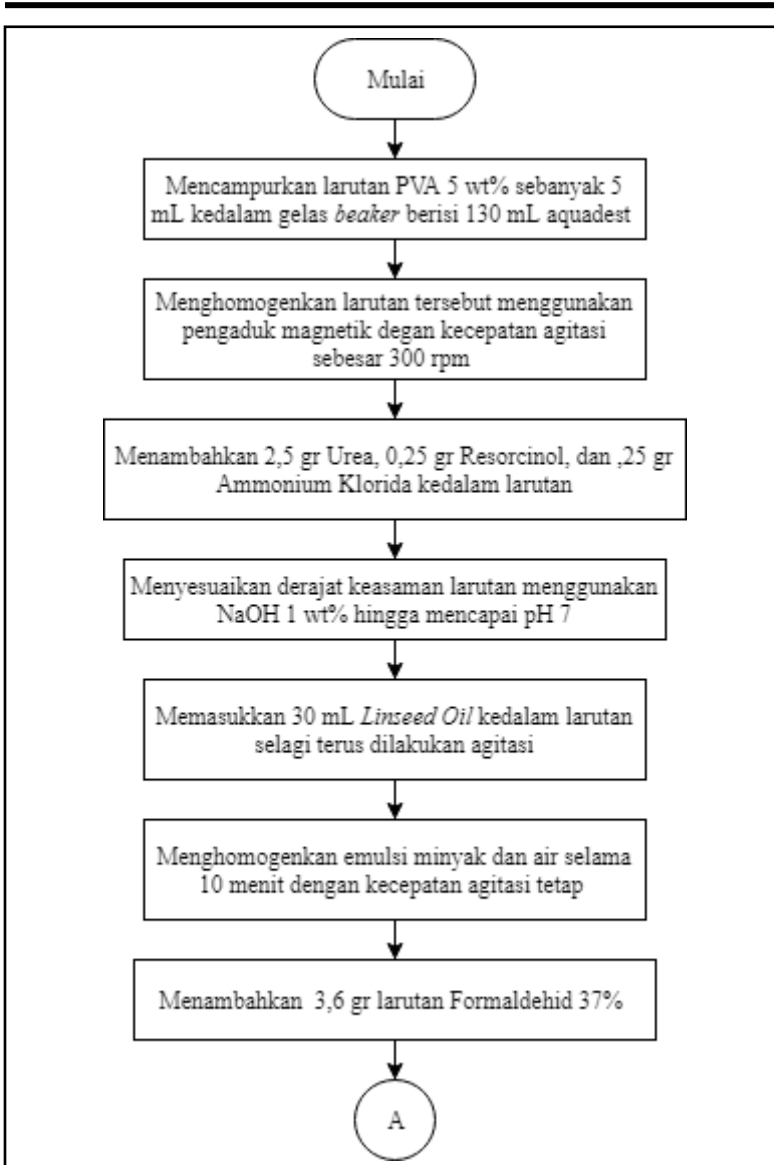


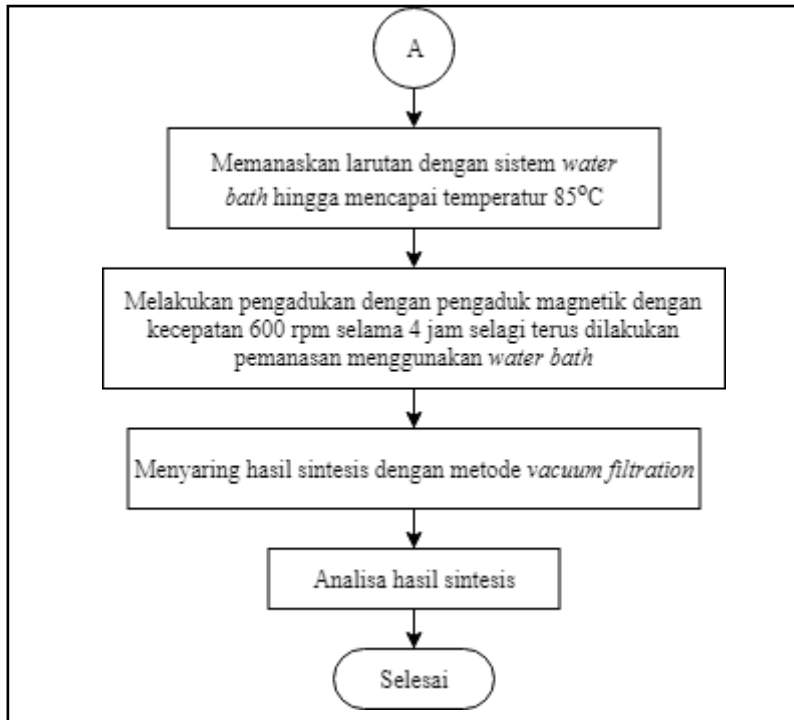


Gambar 3.3 Diagram alir metode ke-tiga

b. Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Katouizadeh, *et al.*, 2018)

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah Urea grade analitik, Formaldehid 37% grade analitik, Resorcinol grade teknis, Ammonium klorida grade teknis, dan *Linseed Oil*, serta PVA MW 60.000.

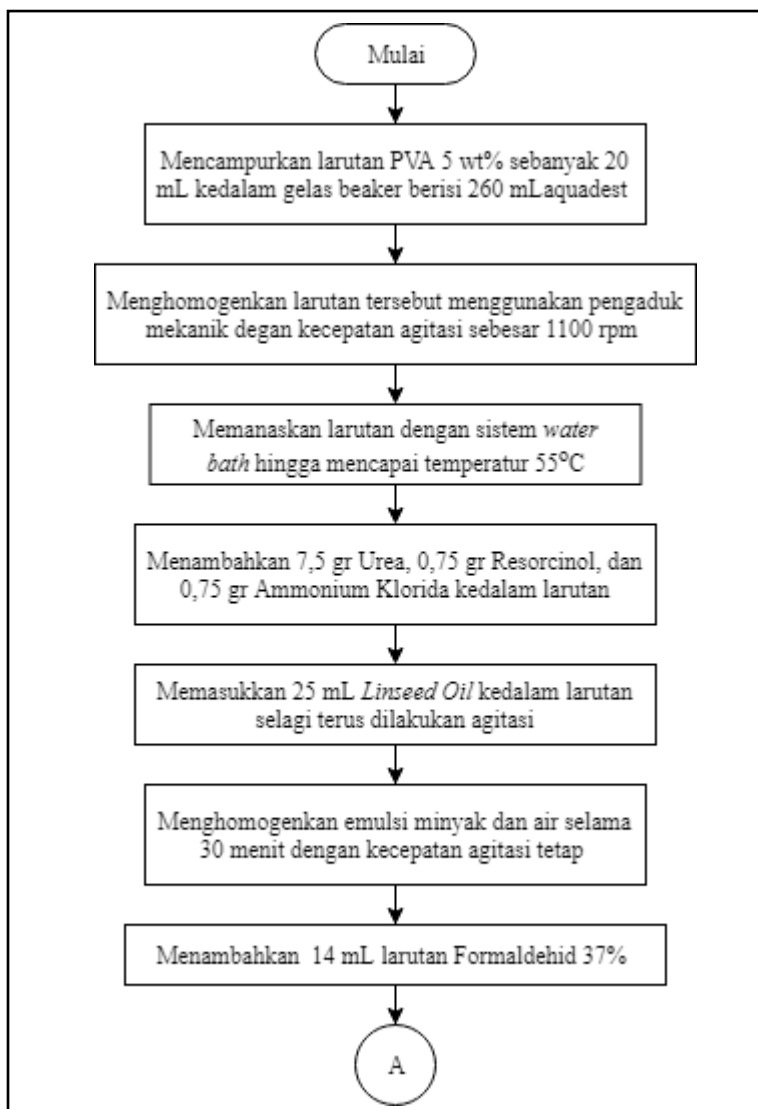


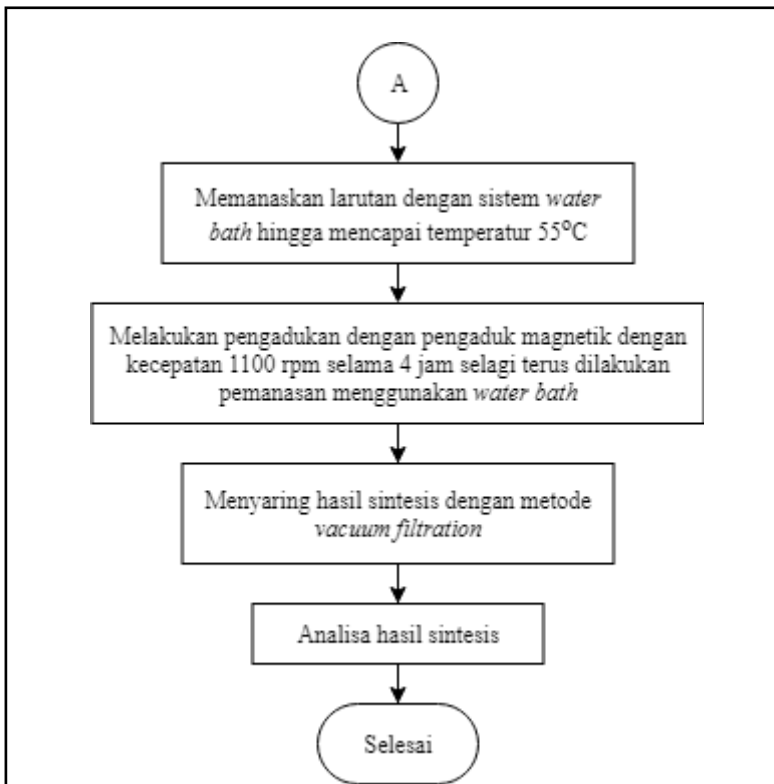


Gambar 3.4 Diagram alir metode ke-empat

c. Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Comlecki & Ulutan, 2018)

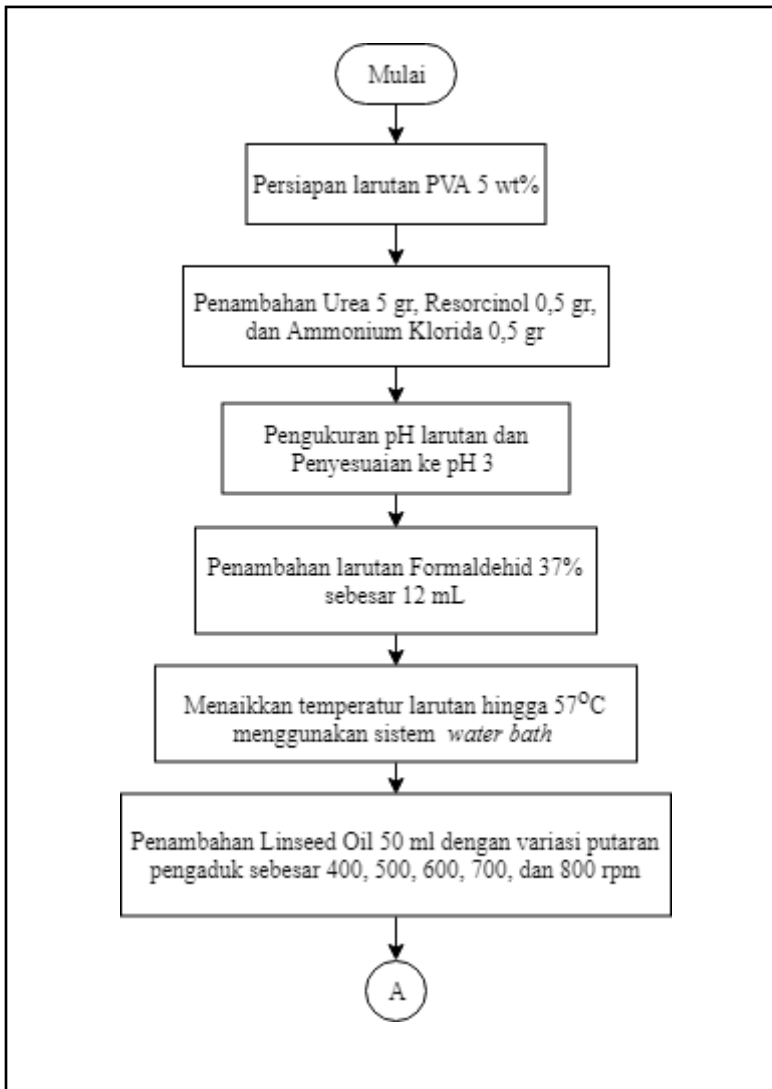
Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah Urea grade analitik, Formaldehid 37% grade analitik, Resorcinol grade teknis, Ammonium klorida grade teknis, dan *Linseed Oil*, serta PVA MW 60.000.

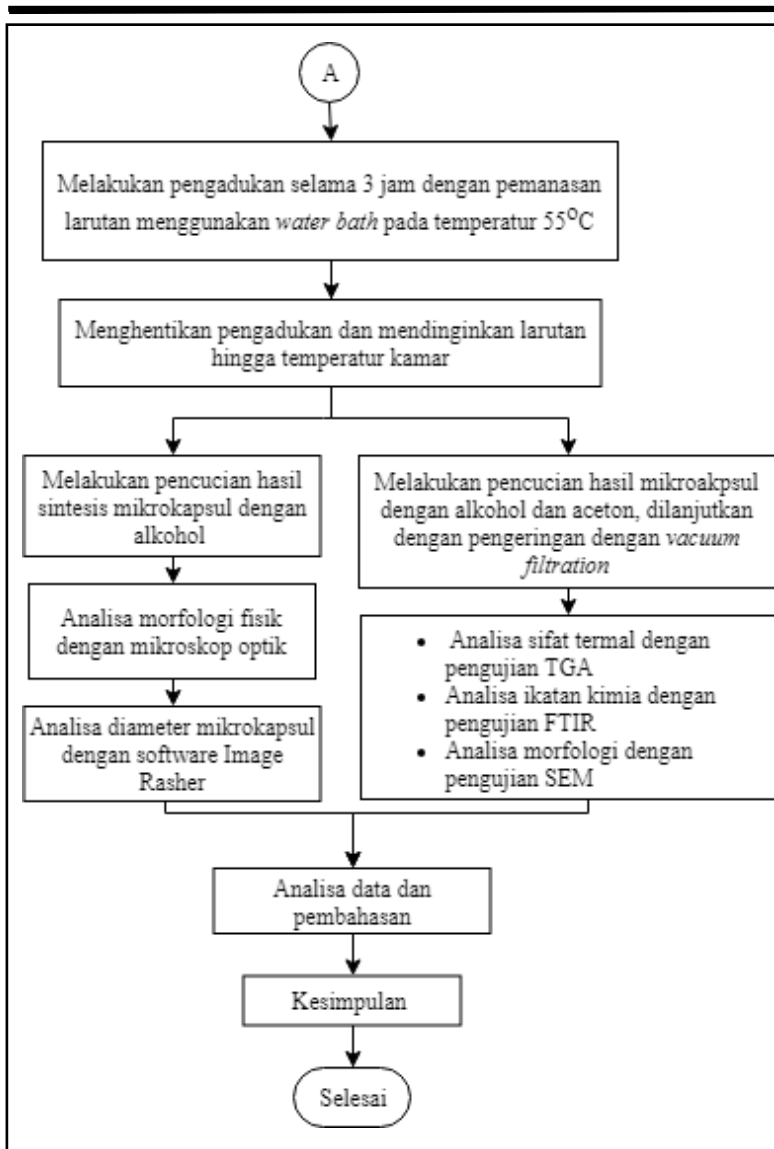




Gambar 3.5 Diagram alir metode ke-lima

3.2 Diagram Alir Eksperimen





Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada perancangan penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Metode ini mengacu pada buku-buku dan jurnal, informasi dan penelitian yang terkait polimerisasi, mikroenkapsulasi, korosi, material organic, self-healing coating, dan pengaruh kecepatan agitasi terhadap morfologi.

2. Diskusi

Pada tahapan ini dilakukan diskusi untuk menambah wawasan agar lebih memahami permasalahan yang terjadi selama penelitian dan solusi dari masalah tersebut. Diskusi dilakukan dengan pihak-pihak terkait dengan penelitian.

3. Eksperimen

Metode ini dilakukan melalui proses percobaan sesuai prosedur dan analisa dari hasil pengujian SEM-EDX, FTIR, TGA.

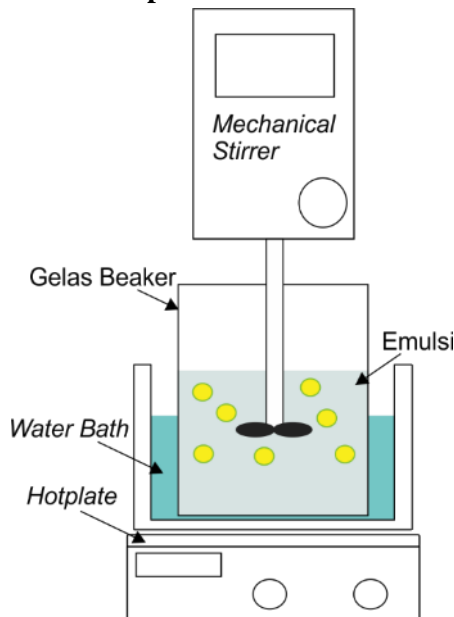
3.3 Preparasi Bahan

Bahan yang digunakan dalam metode ini adalah Urea dan Formaldehid 37% grade analisis (kemurnian >99%) sebagai bahan penyusun cangkang kapsul, Resorcinol grade analisis (kemurnian >99%) sebagai agen *Crosslinker*, Ammonium klorida grade analisis (kemurnian >99%) sebagai *curing catalyst*, *Linseed Oil* sebagai bahan inti mikrokapsul, PVA MW 60.000 grade analisis (kemurnian >99%) sebagai pengemulsi, dan H₂SO₄ 1 wt% untuk mengatur pH larutan.

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat larutan PVA 5 wt % dengan cara melarutkan 5 gr PVA serbuk kedalam 100 mL Aquadest. Proses pelarutan PVA dilakukan selama 1 jam dengan pengadukan konstan pada ± 350 rpm dan temperature tetap yaitu pada 65°C. Selanjutnya adalah mencampurkan 5 mL larutan PVA yang sudah dibuat menggunakan pipet kedalam 135 mL Aquadest dalam gelas beaker 250 mL. Kemudian dilakukan pengadukan dengan pengaduk mekanik dengan rpm rendah (± 250 rpm) selama 15 menit untuk memastikan PVA dan Aquadest tercampur dengan baik. PVA memiliki fungsi untuk menstabilkan

emulsi minyak air yang nantinya terbentuk setelah minyak dimasukkan kedalam larutan dan dilakukan agitasi menggunakan pengaduk mekanik. PVA akan membuat minyak yang nantinya sudah dipecah tetap memiliki bentuk bulat dan tidak kembali bersatu dengan partikel minyak lain selama proses enkapsulasi. Setelah PVA dan Aquadest sudah tercampur dengan baik, selagi terus dilakukan pengadukan, ditambahkan 5 gr Urea sebagai bahan dasar penyusun cangkang kapsul, 0.5 gr Reosrcinol sebagai *Cross-linking agent* agar terbentuk ikatan *crosslink* antara Urea dan Formaldehid membentuk poli(urea-formaldehid), dan 0.5 gr Ammonium Klorida sebagai inisiator polimerisasi serta pengeras dengan cara menurunkan pH larutan agar lebih cepat terbentuk ikatan *crosslink*.

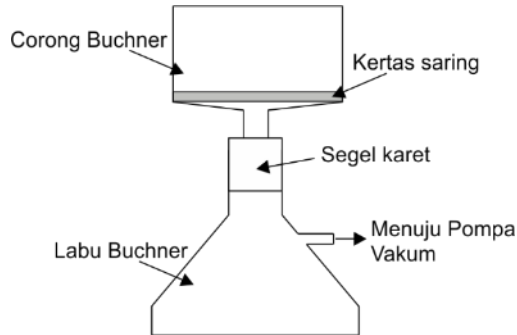
3.4 Proses Mikroenkapsulasi



Gambar 3.7 Skema Percobaan

Gambar 3.7 menunjukkan skema percobaan yang dilakukan. Proses mikroenkapsulasi dimulai ketika seluruh bahan dasar pembentuk cangkang dan precursor lainnya sudah dimasukkan kedalam satu larutan dan dilakukan agitasi. Dibutuhkan waktu pengadukan selama 15 menit untuk melarutkan seluruh bahan tersebut. Setelah pengadukan dilakukan selama 15 menit dengan kecepatan konstan, kedalam larutan ditambahkan 12 mL Formaldehid 37% agar terbentuk ikatan polimer poli(urea-formaldehid) dengan Urea yang nantinya akan menjadi material penyusun kapsul. Derajat keasaman larutan kemudian diturunkan ke pH 3 menggunakan H_2SO_4 1 wt% sebanyak 7 mL dan nilai pH dipastikan menggunakan pH meter yang dicelupkan kedalam larutan. Menurunkan pH menuju pH 3 adalah bertujuan untuk mempercepat reaksi kondensasi antara Urea dan Formaldehid. Setelah mengubah pH menjadi 3, larutan kemudian dipanaskan dengan sistem *water bath* hingga mencapai temperature 57°C . Larutan kemudian diagitasi kembali selama 1 jam. Setelah 1 jam, kedalam larutan dimasukkan *Linseed Oil* sebagai material inti dari kapsul sebanyak 20 mL. Pencampuran minyak kedalam larutan dilakukan secara meneteskan minyak secara perlahan. Kecepatan pengaduk selama penuangan divariasikan pada 400, 500, 600, 700, dan 800 rpm dan temperatur larutan ditahan pada 57°C . Nilai rpm dan temperatur ini dipertahankan selama waktu reaksi yaitu 3 jam sejak penuangan minyak kedalam larutan selesai dilakukan.

3.5 Proses Penyaringan dan Pencucian Mikrokapsul



Gambar 3.8 Skema Proses Penyaringan

Gambar 3.8 menunjukkan skema dari proses penyaringan. Proses penyaringan mikrokapsul dilakukan dengan metode *vacuum filtration*. Setelah reaksi dijalankan selama 3 jam, larutan emulsi didinginkan ke temperature ruang sebelum dilakukan proses penyaringan. Metode ini dilakukan dengan cara menggunakan kertas filter 10 mikrometer yang diletakan didalam corong *Buchner* yang diharapkan mikrokapsul yang terbentuk dapat tertahan di kertas saring tersebut. Mikrokapsul yang didapat kemudian dicuci dengan menggunakan aquadest, ethanol, dan aseton secara berurutan agar didapatkan mikrokapsul yang bersih dari minyak yang kemungkinan masih menempel di dinding luar mikrokapsul. Setelah dilakukan pencucian, mikrokapsul yang didapat dikeringkan dengan cara dibiarkan pada udara terbuka selama satu malam.

3.6 Perancangan Pengujian

Tabel 3.1 menunjukkan rancangan pengujian yang dilakukan dalam pembuatan mikrokapsul dengan variasi kecepatan agitasi

Tabel 3. 1 Rancangan Pengujian yang Digunakan

Parameter	Morfologi (Mikroskop Optik)	Morfologi (SEM)	Sifat Termal (TGA)	Ikatan Kimia (FTIR)
<i>Linseed Oil</i>				√
Poly(Urea-formadehid)				√
RPM 400	√		√	√
RPM 500	√	√		√
RPM 600	√		√	√
RPM 700	√			√
RPM 800	√		√	√

3.7 Karakterisasi dan Pengujian

3.7.1 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada mikrokapsul. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pertama kali karena untuk mengetahui struktur ikatan kimia dari mikrokapsul yang telah selesai disintesis serta untuk mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai. Mesin uji FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pengujian dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material FTI-ITS. Alat yang digunakan adalah Nicolet IS 10 FTIR Spectrometer dengan *spectra range* 7800 hingga 350 cm^{-1} .



Gambar 3.9 Alat Uji FTIR (dok.pribadi)

Sampel yang diuji tidak memerlukan persiapan khusus tetapi hanya perlu dikeringkan. Sample yang telah selesai disintesis kemudian dicuci menggunakan aquadest dan alkohol lalu dikeringkan di udara terbuka selama 24 jam.

Mula mula zat yang akan diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati chopper. Setelah melalui prisma atau grating, berkas jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder. Selanjutnya diperlukan amplifier bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah.

3.7.2 Pengujian Mikroskop Optik

Pengujian dengan mikroskop optik dengan tipe *transmitted* dilakukan untuk mengamati morfologi mikrokapsul dalam bentuk 2 dimensi dan juga mengukur diameter dari mikrokapsul tersebut. Pengujian dilakukan di Laboratorium Zoologi, Departemen Biologi FMIPA-ITS. Alat yang digunakan untuk analisa ini adalah mikroskop optik Olympus CX 22. Sample yang dianalisa

menggunakan mikroskop optik tidak memerlukan persiapan apapun karena analisa menggunakan mikroskop optik dapat dilakukan dalam kondisi basah. Sample yang telah selesai di sintesis hanya perlu dipindahkan kedalam larutan alkohol untuk keperluan penyimpanan. Specimen yang dianalisa menggunakan mikroskop optik adalah seluruh sample variasi kecepatan agitasi.

Cara kerja dari mikroskop optik adalah dari cahaya lampu yang dibiaskan oleh lensa condenser, setelah melewati lensa kondenser sinar mengenai spesimen dan diteruskan oleh lensa objektif. Lensa objektif ini merupakan bagian yang paling penting dari mikroskop karena dari lensa ini dapat diketahui perbesaran yang dilakukan mikroskop. Sinar yang diteruskan oleh lensa objektif ditangkap oleh lensa okuler dan diteruskan pada mata atau kamera. Pada mikroskop ini mempunyai batasan perbesaran yaitu dari 40 kali hingga 1000 kali.



Gambar 3.10 Mikroskop Optik (Sumber : <https://www.microscopeinternational.com/product/olympus-cx22-binocular-led-sample-microscope/>)

Setelah gambar mikrokapsul didapatkan, selanjutnya adalah menganalisa morfologi dari mikrokapsul tersebut dan mengukur diameter mikrokapsul dengan *software ImageRasher*.

3.7.3 Pengujian TGA (Thermogravimetric Analysis)

Pengujian TGA adalah metode analisis termal dimana masa sampel diukur dari waktu ke waktu seiring dengan perubahan temperatur. Pengujian dilakukan di laboratorium Kimia Terpadu, Departemen Kimia FMIPA Universitas Surabaya. Sample yang dilakukan pengujian TGA adalah sample 400, 600, dan 800 rpm dimana diharapkan ketiga sample tersebut dapat mewakili variasi yang dilakukan di batas atas, tengah, dan bawah.

Persiapan sample yang dilakukan untuk pengujian ini adalah sample yang telah selesai disintesis kemudian dicuci dengan alkohol, aquadest, dan aseton agar tidak terdapat lagi residu minyak di dinding luar dari mikrokapsul. Sample kemudian dikeringkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian

Pengukuran ini dapat memberikan informasi mengenai fenomena fisik seperti transisi fasa dan pengurangan berat serta fenomena kimia seperti oksidasi dan reduksi pada sampel yang diuji. Sampel yang diuji ditaruh di dalam *furnace* dengan temperatur yang telah diatur. Temperatur dinaikkan dengan laju konstan 10°C per menit. Data hasil TGA berupa plotting persentase massa pada sumbu y dan temperatur atau waktu pada sumbu x. Alat uji TGA dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.11 Alat Pengujian TGA (dok.pribadi)

3.7.2 Pengujian SEM

Alat uji SEM (Scanning Electron Microscopy) digunakan untuk mengetahui morfologi dari mikrokapsul dan juga mengukur diameter serta ketebalan dari mikrokapsul yang diamati. Pengujian dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Pengujian pada SEM dilakukan pada sampel setelah proses mikroenkapsulasi. Pengamatan morfologi dilakukan pada seluruh sampel dengan kecepatan agitasi 500 rpm ketika sintesis. Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan mikrokapsul secara 3 dimensi.



Gambar 3.12 Alat Uji SEM (dok.pribadi)

Langkah pengujian SEM dimulai dengan menyiapkan sampel yang ingin diamati. Kemudian karena sampel merupakan senyawa organik yang tidak memantulkan elektron maka perlu dilakukan pelapisan dengan sejumlah kecil serbuk emas agar permukaan sampel menjadi konduktif. Selanjutnya merekatkan sampel yang akan diuji dengan menggunakan selotip karbon pada tempat sampel, hal ini dilakukan agar ketika pengamatan sampel tidak tergelincir saat proses vacuum. Setelah sampel siap, kemudian sampel dimasukkan kedalam alat pengujian SEM dan melakukan proses vacuum. Lalu hasil gambar dari sampel diamati dengan

mencari lokasi dengan perbesaran 500x hingga 1000x. Tahapan terakhir pengujian SEM adalah mengambil gambar yang diinginkan setelah ditemukan yang sesuai.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

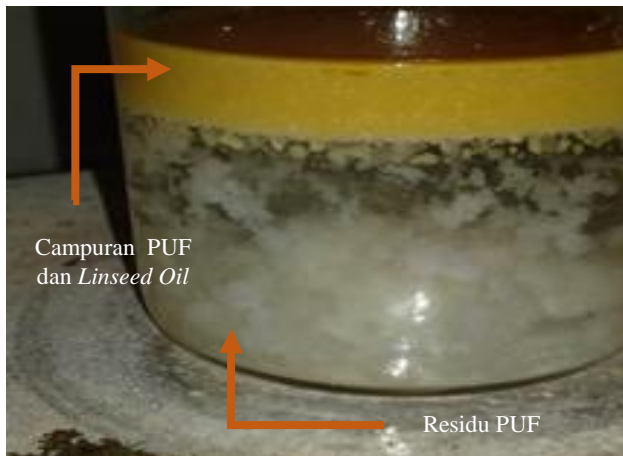
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Percobaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini telah dilakukan beberapa percobaan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Berikut analisa hasil beberapa percobaan penelitian yang telah dilakukan.

4.1.1 Hasil Percobaan dengan metode *Two-step*

Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Thanawala, *et al.*, 2014)



Gambar 4.1 Hasil Percobaan Pertama

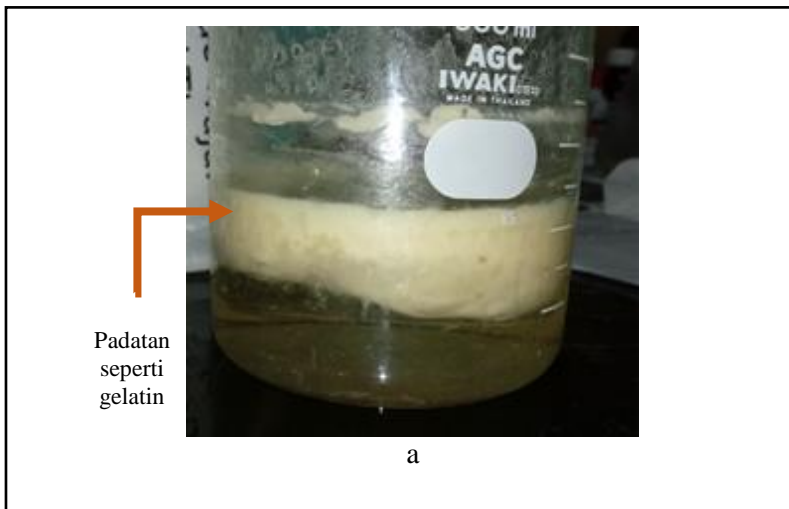
Dari hasil yang didapatkan, menurut (Katouizadeh, *et al.*, 2018), endapan yang terdapat di dasar gelas beaker adalah endapan partikel UF yang tidak terbentuk menjadi mikrokapsul, sedangkan suspensi yang terdapat pada bagian atas dari larutan adalah Mikrokapsul. Setelah diamati secara visual, tidak terdapat adanya satupun mikrokapsul yang ada pada suspensi tersebut kemudian begitu juga pada hasil setelah dilakukan penyaringan dengan kertas saring.

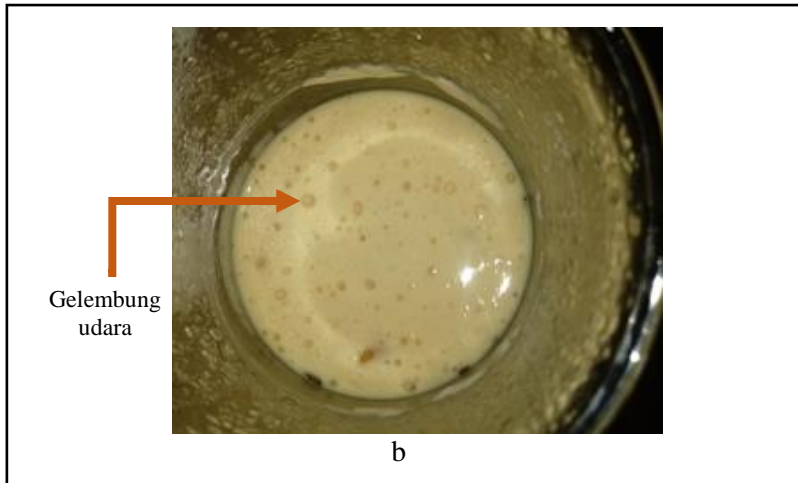
Didapatkannya hasil seperti gambar diatas adalah karena digunakanya bahan dengan grade teknis yang sangat tidak menunjang untuk untuk kebutuhan sintesis Mikrokapsul dimana diperlukannya kemurnian yang sangat tinggi. Digunakannya pengaduk magnetik juga turut mengakibatkan gagalnya percobaan ini karena pengaduk magnetik tidak memiliki gaya *shear* yang cukup untuk memecah partikel minyak *Linseed* menjadi partikel-partikel kecil yang nantinya dapat dienkapsulasi oleh *pre-polymer UF*

4.1.1 Percobaan Metode *One-step*

a. Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Lang & Zhou, 2016)

Percobaan dengan metode ini dilakukan pada awalnya dengan menggunakan bahan dengan *grade* teknik dan pengaduk yang digunakan adalah pengaduk magnetik dimana didapatkan hasil yang sangat jauh dari yang seharusnya yaitu terbentuknya mikrokapsul *free-flow*. Hasil yang didapat berupa gumpalan *slime* dimana tidak dimungkinkan untuk dilakukan penyaringan terhadap *slime* tersebut. Hasil yang didapat dapat dilihat pada gambar 4.2

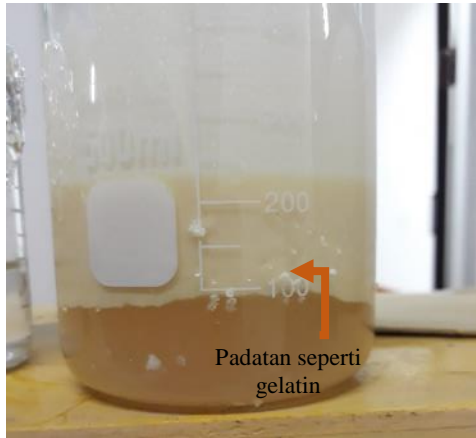




Gambar 4.2 Hasil percobaan ke-dua (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas

Percobaan kemudian dilakukan dengan mengganti bahan dengan bahan grade Analitik, tetapi juga didapatkan hasil yang tidak sesuai dengan yang seharusnya yaitu berbentuk mikrokapsul. Hasil yang didapat berbentuk sama seperti hasil percobaan sebelumnya yaitu berbentuk *slime* tanpa terlihat adanya mikrokapsul yang terbentuk.

Percobaan dengan metode ini kemudian dilakukan kembali dengan menggunakan pengaduk mekanik seperti yang dianjurkan oleh penulis dari jurnal acuan, tetapi juga didapatkan hasil yang sangat jauh dari yang seharusnya yaitu mikrokapsul berukuran sangat kecil hingga menyerupai bubuk. Hasil yang didapat dapat dilihat pada gambar 4.3



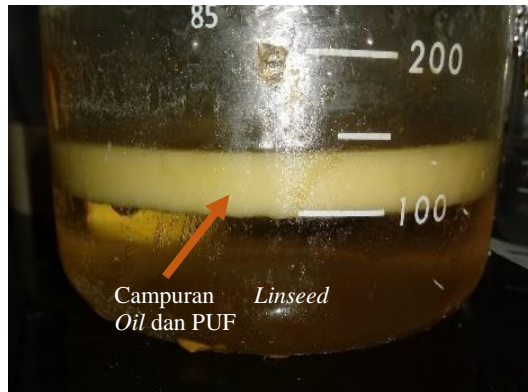
Gambar 4.3 Hasil percobaan ke-tiga

Seperti terlihat dari gambar 4.3, hasil yang didapat berupa slime yang bahkan lebih tebal dari percobaan-percobaan selanjutnya. Hasil ini didapatkan karena minyak yang digunakan memiliki viskositas yang sangat tinggi sehingga sulit untuk dipecah menjadi partikel minyak yang lebih kecil oleh pengaduk mekanik sekalipun yang secara teoritis memiliki gaya geser yang lebih tinggi dibandingkan pengaduk magnetik. Laju penuangan juga berpengaruh terhadap terbentuknya mikrokapsul dimana harus dilakukan secara sangat perlahan hingga seperti meneteskan minyak kedalam larutan untuk memudahkan terbentuknya mikrokapsul.

b. Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Katouizadeh, *et al.*, 2018)

Hasil yang didapatkan berupa gumpalan Linseed oil-Urea-formadehid berbentuk padatan yang mengambang dengan tekstur lembut seperti gelatin. Pada bagian dasar dari gelas beaker, tidak ditemukannya endapan UF yang terbentuk. Hal ini dapat disebabkan karena polimer UF masih tercampur didalam padatan yang mengambang diatas. Padatan yang menyerupai gelatin tersebut tidak bisa disaring dengan vakum filter karena pori-pori

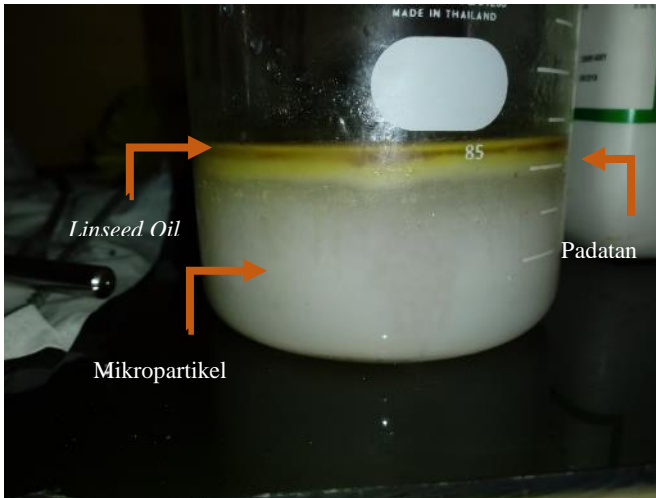
dari kertas saring tertutup. Hasil percobaan dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil percobaan ke-empat

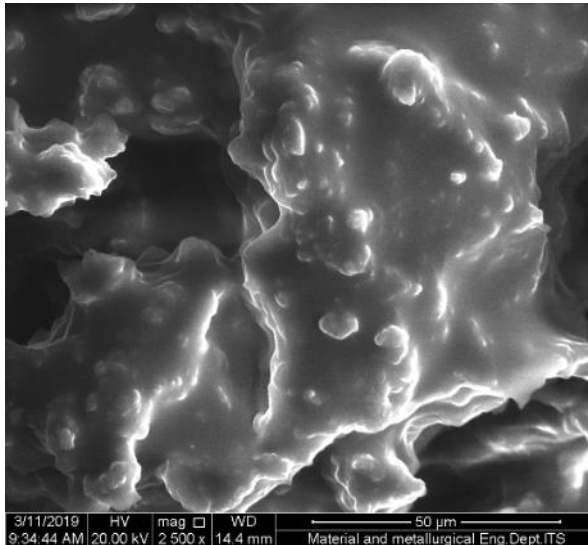
c. Percobaan berdasarkan jurnal oleh (Comlecki & Ulutan, 2018)

Hasil yang didapatkan yaitu berupa gumpalan padat yang berada di permukaan, namun ketika hasil sudah didinginkan dengan cara didiamkan selama 12 jam, gumpalan padat tersebut terpisah menjadi tiga bagian yaitu salah satunya adalah minyak yang mengambang diatas permukaan air, terdapat juga gumpalan padatan yang berada di bagian tengah, dan juga terdapat residu UF dengan jumlah sangat banyak di bagian bawah. Hasil dapat dilihat pada gambar 4.5. Hasil tersebut kemudian disaring secara terpisah seperti terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.5 Hasil percobaan ke-lima

Hasil yang terdapat pada bagian tengah kemudian dianalisa secara visual dan tidak didapatkan mikrokapsul yang terlihat. Hasil tersebut kemudian diambil sebagian untuk dicuci dan dikeringkan untuk analisa menggunakan SEM. Hasil SEM dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil SEM percobaan ke-lima

Gambar 4.6 menunjukkan hasil SEM dari percobaan ke-lima. Dari gambar tersebut terlihat bahwa hasil sintesis berbentuk seperti gumpalan lelehan. Sebelum diuji dengan alat SEM, mikrokapsul terlebih dulu dipanaskan ke temperatur 60°C untuk mengeringkan tetapi dari hasil yang terlihat seperti lelehan tersebut maka dapat dikatakan hasil sintesis mikrokapsul dengan metode ini gagal karena tidak dapat mempertahankan bentuknya ketika dipanaskan.

d. Metode yang digunakan dalam penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil dari pengembangan dan pengamatan hasil-hasil yang tidak maksimal yang sudah didapatkan dari beberapa percobaan sebelumnya. Metode ini memiliki hasil terbaik dan paling konsisten dibandingkan metode-metode sebelumnya. Berdasarkan hasil ini, metode ini yang kemudian dipilih sebagai metode yang digunakan

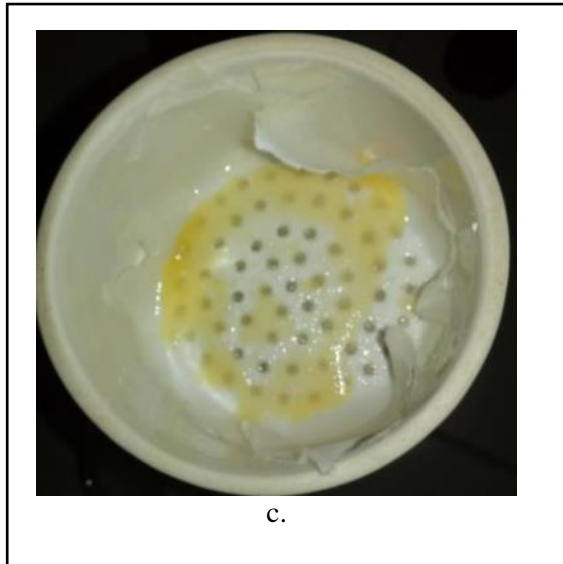
untuk melakukan sintesis mikrokapsul Urea-formaldehid yang berisi *Linseed Oil*.



a



b



Gambar 4.7 Hasil percobaan ke-enam (a.) tampak atas, (b.) tampak samping, (c.) hasil penyaringan

Percobaan ke-enam menggunakan parameter Urea 2,5 gr, Resorcinol 0,25 gr, dan Ammonium Klorida 0,25 gr. Formaldehid yang digunakan 3,3 mL mengacu pada rasio F/U 2.8:1 mengikuti jurnal oleh (Katouzadeh, et al., 2018). Seperti yang dapat dilihat dari gambar 4.7, tidak terlihat adanya endapan PUF sedangkan pada bagian atas suspensi terlihat adanya mikrokapsul berwarna kuning yang berasal dari warna minyak yang digunakan. Mikrokapsul yang terbentuk tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan aquadest, alkohol, dan aseton. Saat penuangan suspensi ke alat vakum filter, mikrokapsul yang terbentuk pecah seketika dan minyak yang berada didalamnya berkumpul menjadi satu. Dari hasil tersebut, dipastikan bahwa dinding mikrokapsul belum cukup kuat untuk menanggapi tekanan dari luar.

Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan percobaan dengan metode yang sama namun dengan adanya penambahan Urea menjadi 7.5 gr, Resorcinol menjadi 0.75 gr, dan Ammonium

Klorida menjadi 0.75 gr. Formaldehid yang digunakan juga diubah menjadi 12 mL. Penambahan ini dilakukan dengan hipotesa bahwa dengan adanya material penyusun yang lebih banyak maka akan terbentuk dinding mikrokapsul yang lebih tebal dan kuat. Hasil dari percobaan ini dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Hasil percobaan ke-tujuh

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa terbentuk padatan yang mengambang di permukaan berupa campuran antara mikrokapsul dan PUF yang lebih banyak dibanding hasil percobaan sebelumnya. Hal ini terjadi karena seiring dengan penambahan jumlah Urea yang direaksikan, maka semakin banyak pula mikrokapsul dan PUF yang terbentuk. Hasil tersebut kemudian dipisahkan antara padatan yang terapung diatas dengan padatan yang mengendap dibawah untuk kemudian disaring secara terpisah. Hasil penyaringan dapat dilihat pada gambar 4.9

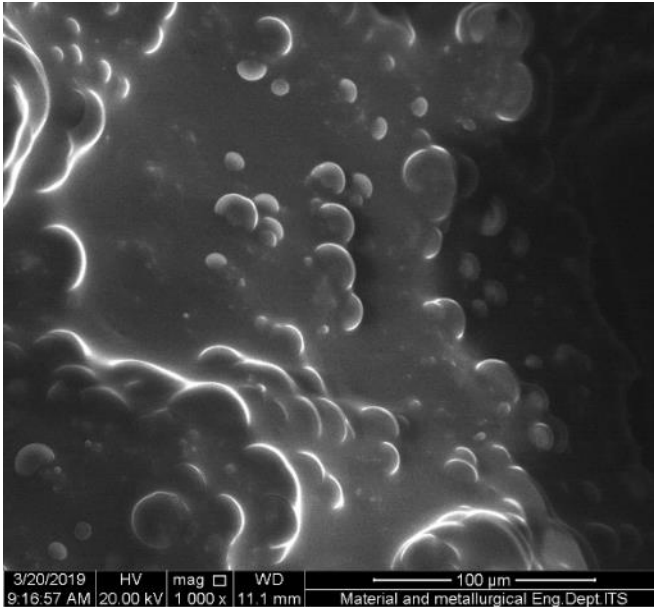


Gambar 4.9 Hasil penyaringan percobaan ke-tujuh

Hasil yang didapat setelah dilakukan penyaringan adalah berupa padatan kuning-putih. Padatan ini kemudian dicuci dengan aquadest, alkohol, dan aseton secara berurutan dan setelah itu dibiarkan di udara terbuka selama 24 jam. Hasil pengeringan berupa aglomerat bubuk berwarna putih seperti terlihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Hasil pengeringan selama 24 jam

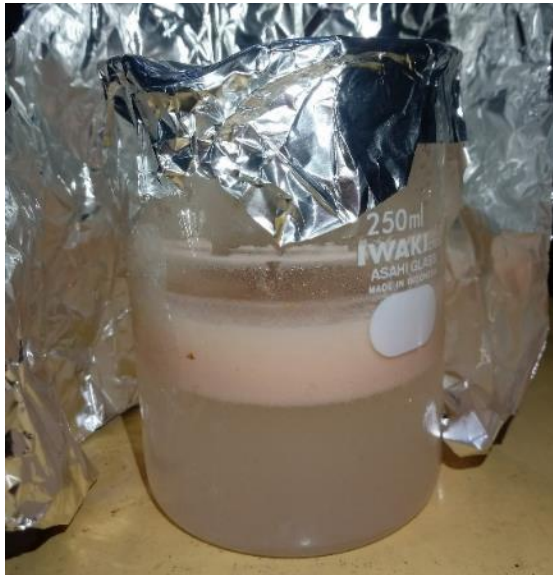


Gambar 4.11 Hasil SEM percobaan ke-tujuh

Gambar 4.11 menunjukkan hasil analisa SEM pada serbuk yang telah dikeringkan seperti terlihat pada gambar 4.12. Dari hasil SEM ini terlihat bahwa terdapat gumpalan besar yang berbentuk seperti mikrokapsul yang telah pecah dan meleleh. Dalam proses pengeringan diberikan perlakuan berupa pemanasan serbuk tersebut pada temperature 35-40 °C. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa Mikrokapsul yang terbentuk belum memiliki struktur dinding yang cukup kuat untuk menahan temperature lingkungan diatas 40 °C. Hal tersebut dikarenakan kombinasi antar Urea dan Foramldehid yang belum optimal. Hipotesa ini diperkuat dengan hasil SEM yang terlihat seperti bola-bola mikrokapsul yang sudah terbentuk sebelumnya.

Penelitian kemudian dilanjutkan dengan meningkatkan temperature reaksi dimana hipotesa yang dipakai adalah bahwa PUF merupakan polimer yang bersifat Thermoset yang membutuhkan panas untuk bereaksi dan membentuk rantai

polimer. Untuk jumlah Urea, Resorcinol, dan Ammonium Klorida yang digunakan tetap sama seperti percobaan sebelumnya. Hasil yang didapat dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Hasil percobaan ke-delapan

Percobaan kemudian dilanjutkan lagi dengan mengurangi jumlah Urea, Resorcinol, dan Ammonium Klorida menjadi 5gr; 0,5 gr; dan 0,5 gr . Temperatur reaksi diturunkan ke 55°C dan reaksi dijalankan selama 3 jam. Didapatkan hasil dari percobaan ini seperti terlihat di gambar 4.13



Gambar 4.13 Hasil percobaan ke-sembilan

Gambar 4.13 menunjukkan hasil percobaan ke-sembilan. Dari gambar tersebut terlihat terbentuk mikrokapsul yang mengambang di permukaan. Dari hasil ini lah ditentukan bahwa hasil pada percobaan ini adalah yang paling mendekati dengan hasil seperti terlihat dari jurnal-jurnal yang dijadikan referensi. Metode dan kombinasi bahan ini ditetapkan sebagai metode yang digunakan seterusnya untuk divariasikan parameter kecepatan agitasinya.

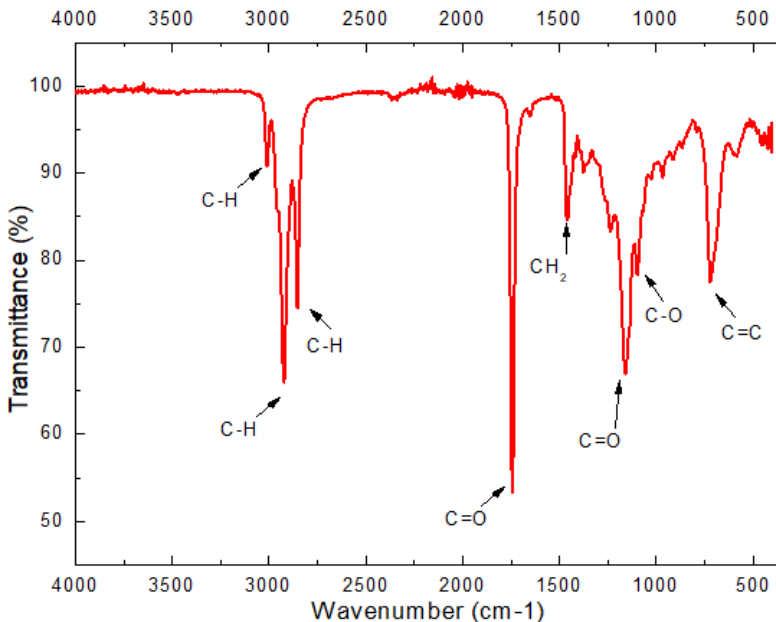
4.2 Karakterisasi Awal

4.2.1 Analisa Hasil FTIR *Linseed Oil*

Karakterisasi pertama yang dilakukan berupa karakterisasi komposisi bahan *Linseed Oil* dimana bahan tersebut digunakan sebagai material pengisi atau material inti dari mikrokapsul yang dibuat. Pengujian komposisi ini menggunakan alat uji FTIR yang nantinya hasil uji komposisi ini dicocokkan dengan jurnal acuan. Dari hasil karakterisasi FTIR yang telah dilakukan, terdapat kecocokan antara hasil yang didapat dengan jurnal acuan. Pada *Linseed Oil* ikatan yang harus ada dalam material tersebut adalah

C=C, C=O, C-H, dan O-H (Comlecki & Ulutan, 2018). Hasil dari karakterisasi FTIR dapat dilihat pada gambar 4.14.

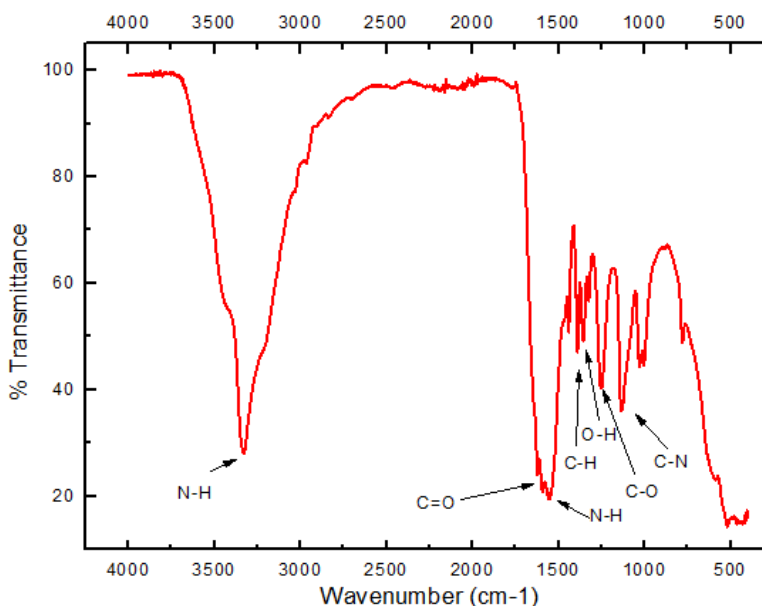
Dari hasil pengujian FTIR, terlihat bahwa terdapat ikatan (C-H)=CH *stretching* dengan intensitas sedang pada *wavenumber* 3009.87 cm^{-1} , ikatan asimetris C-H dengan intensitas kuat pada *wavenumber* 2922.92 cm^{-1} , ikatan simetris C-H dengan intensitas kuat pada *wavenumber* 2852,86 cm^{-1} ikatan C=O *stretching* dengan intensitas kuat pada *wavenumber* 1742.29 cm^{-1} , ikatan CH₂ *bending* dengan intensitas kuat pada *wavenumber* 1460,23 cm^{-1} , ikatan C-O *stretching* dengan intensitas kuat pada *wavenumber* 1158 cm^{-1} , ikatan C-O dari O-CH₂-C *stretching* asimetris dengan intensitas sedang berada pada *wavenumber* 1097,85 cm^{-1} , dan ikatan C=C pada *wavenumber* 720,56 cm^{-1} . (Lazzari & Chiantore, 1999)



Gambar 4.14 Hasil Pengujian FTIR Linseed Oil

4.2.2 Analisa Hasil FTIR Poly(Urea-Formaldehid)

Karakterisasi komposisi bahan selanjutnya adalah karakterisasi material penyusun cangkang mikrokapsul yaitu PUF (Poly(Urea-Formaldehid)). Dari hasil karakterisasi FTIR yang telah dilakukan, terdapat kecocokan antara hasil yang didapat dengan jurnal acuan. Pada PUF, ikatan yang harus ada dalam material tersebut adalah N-H, C=O, C-H, O-H, dan C-N (Comlecki & Ulutan, 2018). Hasil karakterisasi FTIR dari PUF data dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Hasil FTIR Poly(Urea-formaldehid)

Dari hasil tersebut dapat dilihat adanya ikatan N-H (*Secondary amine*) dengan intensitas menengah pada wavenumber 3329.59 cm⁻¹, ikatan C=O kuat pada wavenumber 1622.87 cm⁻¹, ikatan N-H (*Primary amine*) dengan intensitas menengah pada wavenumber 1552.47 cm⁻¹, ikatan O-H bending dengan kekuatna sedang berada pada wavenumber 1440,64 cm⁻¹, ikatan C-H

dengan intensitas menengah pada *wavenumber* 1390.02 cm^{-1} , ikatan O-H dengan intensitas menengah pada *wavenumber* 1355.51 cm^{-1} , ikatan C-O *stretching* dengan intensitas menengah pada *wavenumber* 1252.36 cm^{-1} , dan ikatan C-N dari $-\text{N}-\text{CH}_2-\text{N}$ pada *wavenumber* 1134 cm^{-1} . Hasil tersebut sesuai dengan jurnal oleh (Comlecki & Ulutan, 2018), (Abdipour, *et al.*, 2018), dan (Karaval, *et al.*, 2005)

4.3 Analisa Hasil Proses Sintesis

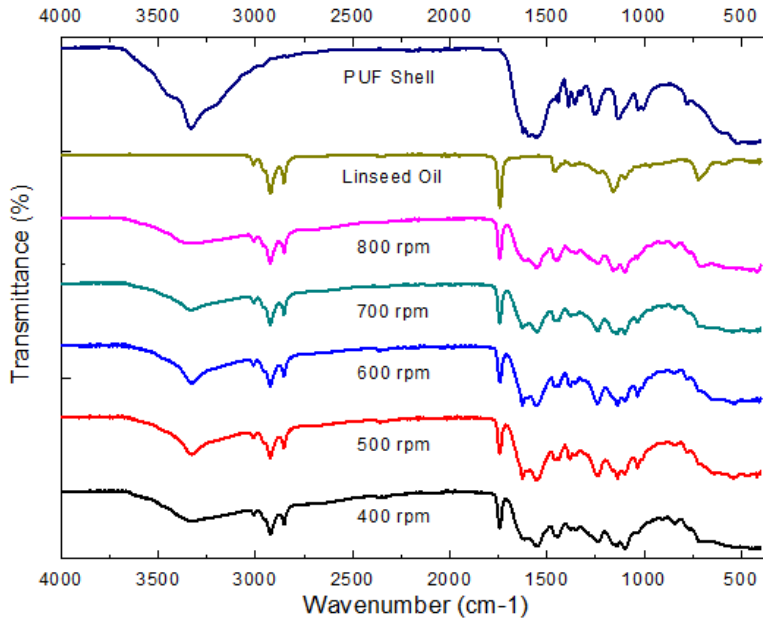
4.3.1 Analisa Hasil FTIR Mikrokapsul PUF

Analisa hasil pertama yang dilakukan adalah dengan pengujian FTIR. Pengujian ini dilakukan untuk melihat ada atau tidaknya *Healing agent* dalam hal ini *Linseed Oil* didalam mikrokapsul dari hasil sintesis. Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil karakterisasi FTIR seluruh sampel dari 5 variasi perlakuan dan dibandingkan dengan hasil karakterisasi FTIR dari resin Urea-Formaldehid dan hasil FTIR dari *Linseed Oil*.

Seperti dapat dilihat pada gambar 4.16, hasil dari sintesis mikrokapsul dengan 5 variasi perlakuan memiliki grafik *peak* yang sama dengan grafik *peak* dari *Linseed Oil*. Keseluruhan hasil FTIR menunjukkan adanya ikatan (C-H)=CH *stretching* dengan intensitas sedang pada *range wavenumber* 3009 cm^{-1} , ikatan asimetris (C-H)CH₂ dengan intensitas kuat pada *range wavenumber* 2923 cm^{-1} , ikatan simetris C-H dengan intensitas kuat pada *range wavenumber* 2852 cm^{-1} , ikatan C=O *stretching* dengan intensitas kuat pada *range wavenumber* 1742 cm^{-1} , ikatan CH₂ *bending* dengan intensitas kuat pada *range wavenumber* 1460 cm^{-1} , ikatan C-O *stretching* dengan intensitas kuat pada *range wavenumber* 1158 cm^{-1} , ikatan C-O dari O-CH₂-C *stretching* asimetris dengan intensitas sedang berada pada *range wavenumber* 1097 cm^{-1} , dan ikatan C=C pada *wavenumber* 720 cm^{-1}

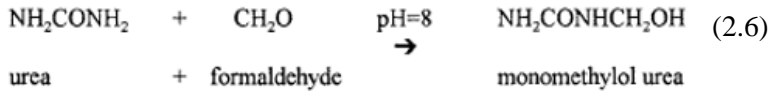
Sama halnya dengan *Linseed Oil*, terdapat juga kesamaan hasil FTIR mikrokapsul dengan hasil FTIR resin UF dimana terlihat adanya ikatan N-H (*Secondary amine*) dengan kekuatan menengah pada *range wavenumber* 3329 cm^{-1} , ikatan C=O kuat

pada *range wavenumber* 1622 cm^{-1} , ikatan N-H (*Primary amine*) dengan intensitas menengah pada *range wavenumber* 1552 cm^{-1} , ikatan O-H *bending* dengan kekuatna sedang berada pada *range wavenumber* 1440 cm^{-1} , ikatan C-H dengan intensitas menengah pada *range wavenumber* 1390 cm^{-1} , ikatan O-H dengan intensitas menengah pada *range wavenumber* 1355.51 cm^{-1} , ikatan C-O *stretching* dengan intensitas menengah pada *range wavenumber* 1252 cm^{-1} , dan ikatan C-N dari $-\text{N}-\text{CH}_2-\text{N}$ pada *range wavenumber* 1134 cm^{-1} . Dengan adanya kesamaan hasil ini maka dapat dikatakan mikrokapsul yang terbentuk memiliki dinding yang terbentuk dari resin Urea-Formaldehid.



Gambar 4.16 Hasil pengujian FTIR Mikrokapsul

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, reaksi kondensasi dari PUF terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu pembentukan monometilol urea dengan yaitu melalui reaksi



Hasil dari reaksi tersebut adalah monometilol urea yang memiliki struktur kimia $\text{NH}_2\text{CONHCH}_2\text{OH}$. Monometilol urea ini terus bereplikasi seiring berjalannya waktu reaksi, membentuk rantai polimer yang semakin panjang sehingga menambah berat molekul yang menyebabkan sifat fisiknya menjadi lebih keras. Jika melihat hasil FTIR, terdapat adanya ikatan N-H, C-H, C-O, dan O-H dapat dijelaskan dari reaksi tersebut.

Jika melihat dari variable penelitian yaitu kecepatan agitasi pada rpm 400, 500 600, 700, dan 800, tidak terlihat adanya perbedaan yang signifikan dari struktur kimia antara satu dengan yang lainnya baik secara intensitas maupun jenis ikatan yang terbentuk. Maka dapat disimpulkan tidak adanya pengaruh dari kecepatan agitasi terhadap struktur kimia dari Mikrokapsul Urea-formaldehid. Tabel rangkuman hasil pengujian FTIR beserta ikatan yang dianalisa dapat dilihat pada table 4.1

Tabel 4.1 Peak yang terdapat pada hasil pengujian FTIR seluruh sample variasi parameter kecepatan agitasi

	Kecepatan Agitasi (rpm)					Jenis Ikatan
	400	500	600	700	800	
Wavenumber (cm^{-1})	3326.92	3327.43	3327.88	3328.58	3339.37	N-H <i>Stretching</i> (2nd Amide)
	3009.87	3010.14	3010.94	3010.18	3009.83	
	2923.15	2923.55	2923.71	2923.37	2923.11	C-H <i>Stretching</i>
	2852.9	2853	2852.97	2853.66	2852.97	
	1743.16	1743.17	1742.47	1743.15	1743.19	C=O <i>Stretching</i>
	1625.87	1625.98	1625.64	1625.52	1625.55	

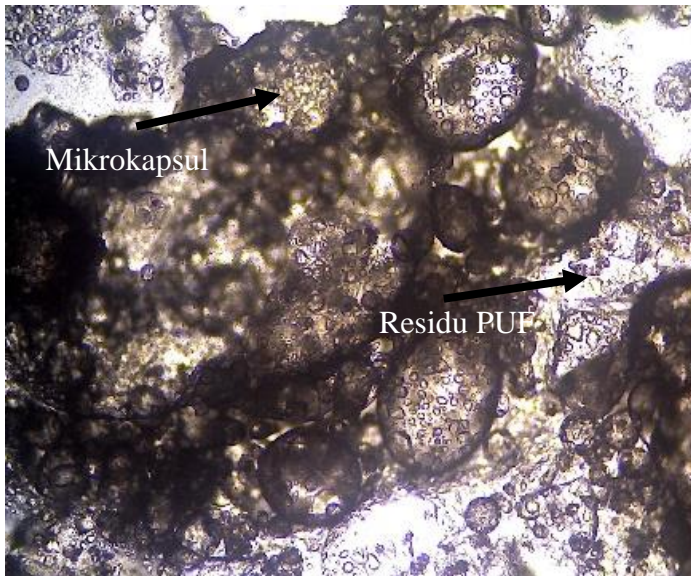
	1552.48	1557.16	1552.34	1555.24	1557.1	N-H <i>Stretching</i> (1st Amide)
	1443.2	1438.83	1438.36	1457.98	1455.13	C-H <i>Bending</i>
	1098.04	1099.22	1098.24	1098.93	1098.23	C-O <i>Stretching</i>

4.3.2 Analisa Hasil Pengamatan dengan Mikroskop Optik

Hasil dari proses mikroenkapsulasi adalah berupa mikrokapsul yang berisi *Linseed Oil* dimana jika mikrokapsul tersebut dianalisa menggunakan mikroskop optik maka terlihat transparan untuk *Linseed Oil* dan hitam untuk cangkang Urea-formaldehid. Mikrokapsul yang terbentuk seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.17 merupakan hasil kondensasi antara Urea dan Formaldehid pada antarmuka antara *Linseed Oil* dan air. Reaksi ini berlangsung jika ada peningkatan temperature yang cukup signifikan dari temperature kamar (temperature reaksi pada 57°C) dan semakin dipercepat apabila larutan dalam kondisi pH asam. Adanya peningkatan temperature akan membentuk pre-polimer Urea-formaldehid yang terbentuk pada fasa aqueous. Prepolimer tersebut kemudian terbentuk secara homogen di seluruh larutan dengan adanya agitasi dari pengaduk mekanis. Ketika *Linseed Oil* diteteskan kedalam larutan, maka partikel minyak tersebut dipecah oleh bilah pengaduk menjadi partikel yang lebih kecil. Untuk menjaga partikel ini tetap pada ukurannya dan tidak bersatu kembali dengan partikel minyak lain, maka digunakan pengemulsi yaitu PVA agar emulsi antara minyak dan air menjadi stabil. Stabilitasnya emulsi ini penting agar minyak yang telah dipecah menjadi partikel kecil tidak bersatu kembali antara satu partikel dengan partikel lain. Partikel kecil minyak tersebut kemudian menjadi inti dari mikrokapsul yang dibuat, dimana selanjutnya pre-polimer Urea-formaldehid menyelubungi partikel tersebut, mengeras dan kemudian menjadi cangkang kapsul dengan karakteristik padat dan tidak berongga. (Bolimowski, *et al.*, 2018)

Pengamatan dengan mikroskop optik ditujukan untuk mengamati morfologi dari mikrokapsul yang telah berhasil dibuat dan juga sebagai cara untuk menentukan diameter dari mikrokapsul.

a. Kecepatan agitasi 400 rpm



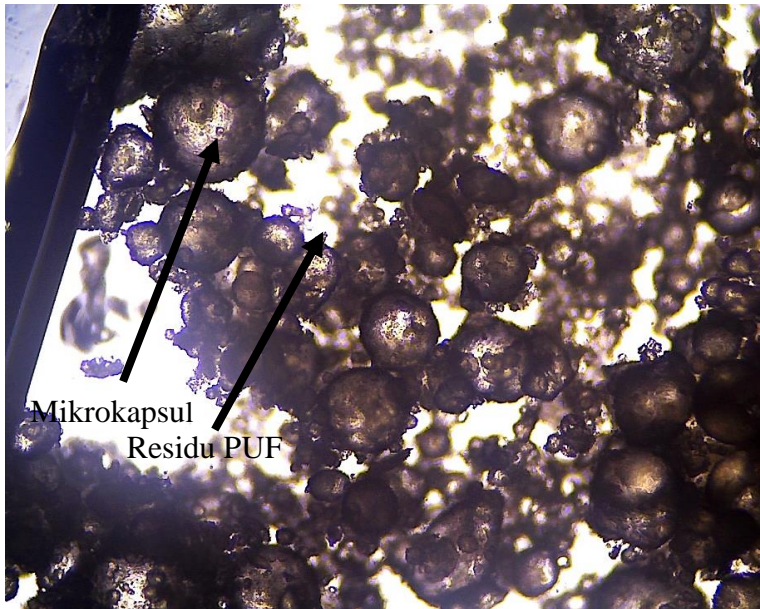
Gambar 4.17 Hasil analisa mikroskop optik 400 rpm dengan perbesaran 40 kali

Gambar 4.17 menunjukkan hasil pengamatan menggunakan mikroskop optic untuk mikrokapsul dengan kecepatan agitasi 400 rpm ketika sintesis. Dari gambar tersebut terlihat bahwa hasil yang didapat terdapat banyak residu yang terlihat menempel di dinding luar dari mikrokapsul. Hal ini dapat disebabkan oleh deposisi nanopartikel UF sebagai akibat dari rendahnya gaya geser yang dihasilkan oleh bilah pengaduk (Fan & Zhou, 2010). Secara bentuk atau morfologi dari mikrokapsul sendiri, secara kualitatif juga terlihat lebih tidak beraturan. Hal ini dapat disebabkan oleh kecepatan agitasi yang terlalu lambat sehingga tidak memiliki cukup

gaya untuk membentuk partikel minyak menjadi bulat sempurna. Lambatnya pengadukan mengakibatkan masih adanya partikel yang belum terpecah dengan baik dimana sebagian masuk mengalami penggabungan dan sebagian lain masih dalam proses pemecahan menjadi partikel kecil (Triwulandari, 2012). Gagalnya pembentukan partikel minyak dengan bentuk bulat menyebabkan ketika dinding kapsul telah menjadi polimer, dinding tersebut akan tetap mengikuti bentuk partikel minyak yang tidak beraturan.

Analisa lain yang dapat dilakukan dari hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik ini adalah ukuran dari mikrokapsul. Pengukuran mikrokapsul dilakukan menggunakan pengukuran manual dengan mengambil satu gambar yang kemudian dilakukan pengukuran dari beberapa mikrokapsul yang terdapat didalam gambar tersebut.

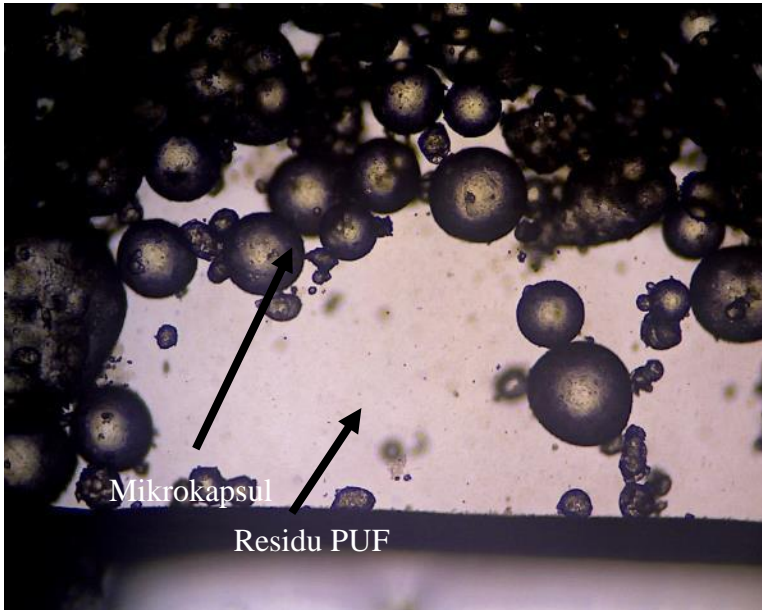
b. Kecepatan agitasi 500 rpm



Gambar 4.18 Hasil analisa mikroskop optik 500 rpm dengan perbesaran 40 kali

Gambar 4.18 Menunjukkan hasil sintesis mikrokapsul dengan parameter sintesis menggunakan kecepatan agitasi 500 rpm. Jika dibandingkan dengan hasil sintesis dengan kecepatan agitasi pada 500 rpm, hasil yang terbentuk terlihat lebih banyak mikrokapsul yang berbentuk bulat sempurna. Kemudian dari segi ukuran mikrokapsul, juga terlihat adanya penurunan. Hasil pengukuran mikrokapsul dapat dilihat pada gambar

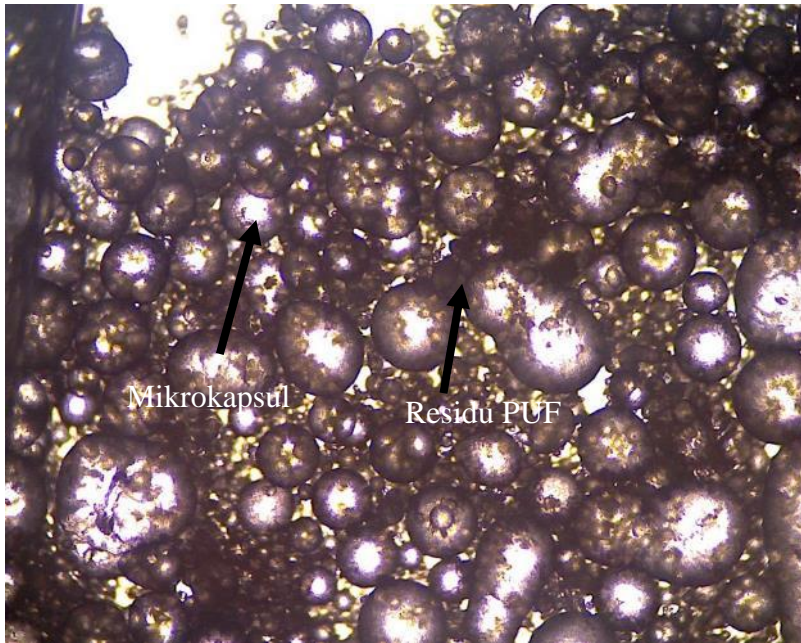
c. Kecepatan agitasi 600 rpm



Gambar 4.19 Hasil analisa mikroskop optik 600 rpm dengan perbesaran 40 kali

Gambar 4.19 menunjukkan hasil sintesis mikrokapsul dengan parameter kecepatan agitasi 600 rpm. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa terdapat jauh lebih banyak mikrokapsul dengan bentuk bulat sempurna dibandingkan dengan hasil sintesis dengan kecepatan agitasi 500 rpm. Dari segi ukuran juga terlihat adanya penurunan jika dibandingkan dengan hasil dari parameter-parameter sebelumnya yang dikibatkan oleh kecepatan agitasi yang semakin meningkat. Dari gambar tersebut juga dapat terlihat bahwa hasil sintesis mikrokapsul dengan kecepatan agitasi 600 rpm memiliki jumlah residu PUF yang lebih sedikit dibandingkan hasil pada 400 dan 500 rpm.

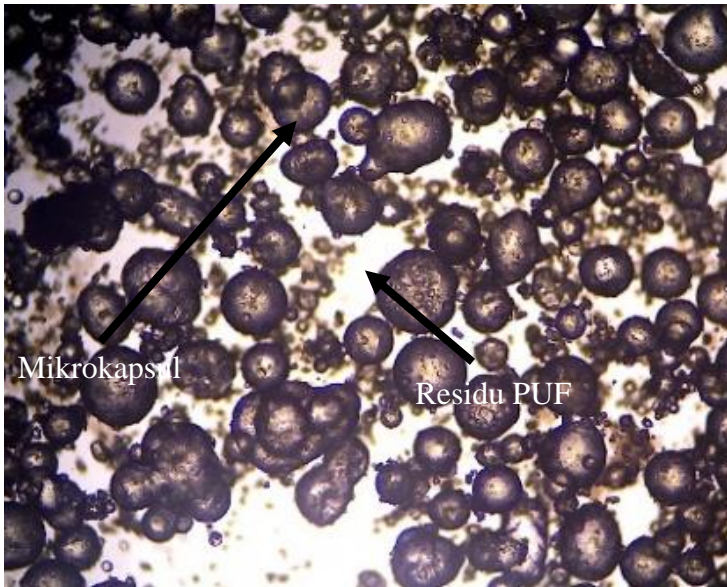
d. Kecepatan agitasi 700 rpm



Gambar 4.20 Hasil analisa mikroskop optik 700 rpm dengan perbesaran 40 kali

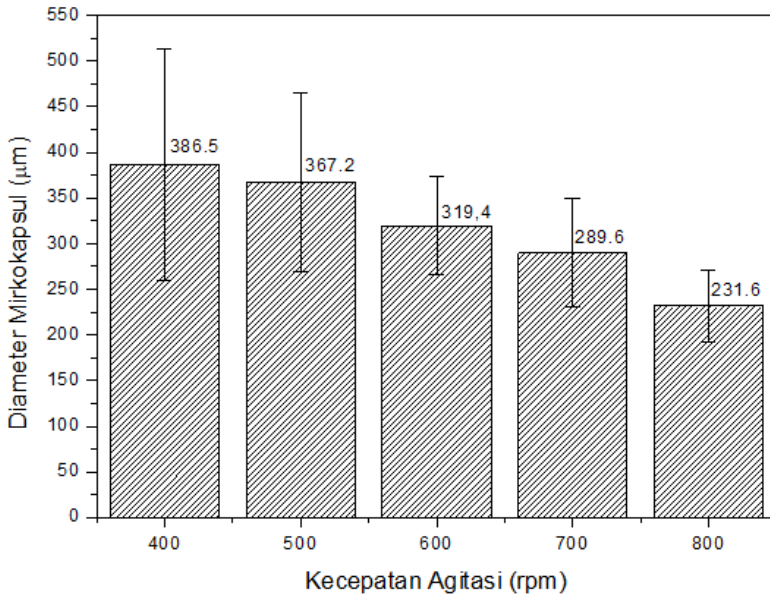
Gambar 4.20 menunjukkan hasil sintesis mikrokapsul dengan parameter kecepatan agitasi 700 rpm. Dari gambar tersebut terlihat cukup banyak residu UF yang menempel pada dinding luar dari mikrokapsul. Hal ini dapat terjadi karena mikrokapsul yang terbentuk belum memiliki dinding yang cukup kuat sehingga ketika sudah terbentuk kapsul, kapsul tersebut pecah kembali sebagai akibat dari kecepatan agitasi yang cukup tinggi pada 700 rpm. Gambar 4.22 Menunjukkan persebaran ukuran mikrokapsul dengan kecepatan agitasi 700 rpm.

e. Kecepatan agitasi 800 rpm



Gambar 4.21 Hasil analisa mikroskop optik 800 rpm dengan perbesaran 40 kali

Gambar 4.21 menunjukkan hasil sintesis mikrokapsul dengan parameter kecepatan agitasi sebesar 800 rpm. Dari gambar tersebut terlihat bahwa mikrokapsul tersebut memiliki ukuran paling kecil dengan persebaran paling seragam diantara parameter lain. Dari segi residu PUF yang terbentuk juga lebih banyak. Hal ini disebabkan karena putaran agitator yang terlalu cepat sehingga membuat mikrokapsul yang telah terbentuk kembali pecah dan melepaskan residu dalam jumlah cukup banyak seperti terlihat pada gambar.



Gambar 4. 22 Hasil pengukuran diameter mikrokapsul

Gambar 4.22 adalah grafik dari ukuran rata-rata mikrokapsul yang terbentuk di setiap parameter reaksi. Pengukuran diameter dilakukan dengan menggunakan *software Image Rasher*. Dari gambar tersebut dapat terlihat pada kecepatan agitasi 400 rpm terbentuk ukuran mikrokapsul rata-rata sebesar 386.5 µm dengan deviasi 128.6 µm, pada kecepatan agitasi 500 rpm terbentuk ukuran mikrokapsul rata-rata sebesar 367.2 µm dengan deviasi sebesar 97.02 µm, pada kecepatan agitasi 600 rpm terbentuk mikrokapsul dengan ukuran rata-rata sebesar 319.4 µm dengan deviasi 54.2 µm, pada kecepatan agitasi 700 rpm terbentuk mikrokapsul dengan ukuran rata-rata sebesar 289.6 µm dengan deviasi 59.4 µm, dan pada kecepatan agitasi 800 rpm terbentuk mikrokapsul rata-rata sebesar 231.6 µm dengan deviasi 39.6 µm. Secara keseluruhan terlihat adanya penurunan ukuran dari mikrokapsul yang terbentuk seiring dengan bertambahnya kecepatan agitasi yang digunakan

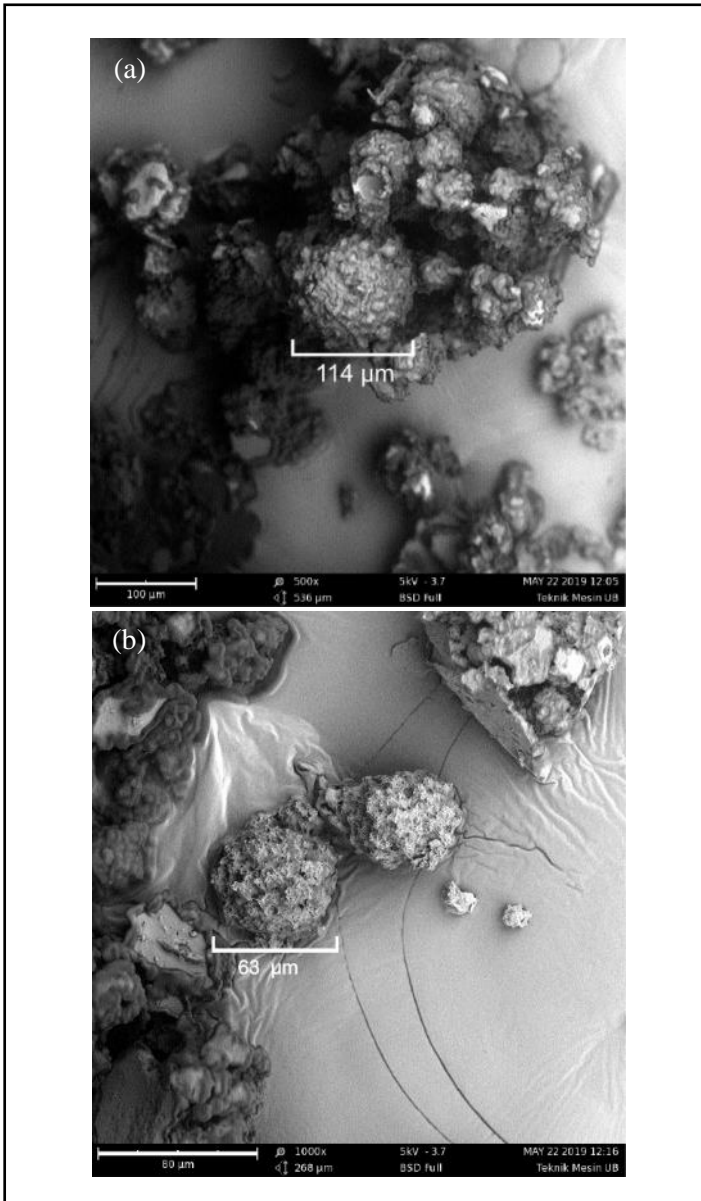
ketika melakukan sintesis mikrokapsul. Adanya penurunan ukuran ini terjadi karena ketika diberikan kecepatan agitasi yang lebih tinggi, maka emulsi yang terbentuk lebih sempurna yang akhirnya menghasilkan ukuran mikrokapsul sesudah sintesis yang lebih kecil. (Lang & Zhou, 2016). Proses sintesis mikrokapsul menggunakan surfaktan yang berfungsi untuk menstabilkan emulsi antara minyak dan air agar terbentuk *oil-in-water emulsion* yang baik. Namun adanya surfaktan saja, dalam hal ini PVA, tidak cukup untuk membentuk butiran-butiran minyak kecil yang terdispersi dalam air. Dibutuhkan juga energi geser (*Shear stress*) yang dihasilkan oleh pengaduk mekanik. Kecepatan agitasi yang lebih tinggi ketika proses emulsifikasi diawal proses sintesis yang dijaga konstan hingga selesainya waktu reaksi selama 3 jam, akan menghasilkan energi geser yang juga lebih besar. Energi geser ini juga dapat diperbesar jika digunakan tipe bilah pengaduk yang berbeda. Pada proses sintesis yang sudah dilakukan, digunakan bilah pengaduk dengan jenis 4 bilah. Jenis bilah ini menghasilkan gaya *shear* yang menengah sehingga didapatkan ukuran mikrokapsul yang masih cukup besar. (Comlecki & Ulutan, 2018)

Hasil ukuran dari mikrokapsul yang terbentuk tidak memengaruhi baik atau buruknya kualitas mikrokapsul yang dihasilkan. Terkait dengan ukuran dari mikrokapsul yang terbentuk, tidak ada sumber yang mengatakan bahwa ukuran dari mikrokapsul tersebut sebaiknya lebih kecil ataupun lebih besar. Tetapi, pada aplikasi *coating* organic, sebaiknya ketebalan dari lapisan dibuat setipis mungkin. Ukuran mikrokapsul yang lebih besar dapat mengakibatkan bertambahnya ketebalan akhir lapisan *coating* karena lapisan tersebut harus mampu menampung dan mengisolasi mikrokapsul yang telah terbentuk dari lingkungan luar. Maka dari hasil percobaan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa mikrokapsul yang disintesis dengan kecepatan agitasi 800 rpm adalah mikrokapsul yang paling tepat untuk dijadikan bahan pembuatan *self-healing coating* dikarenakan ukurannya yang paling kecil dan distribusi ukuran kapsul yang juga lebih homogen. Homogenitas ukuran juga memiliki keuntungan

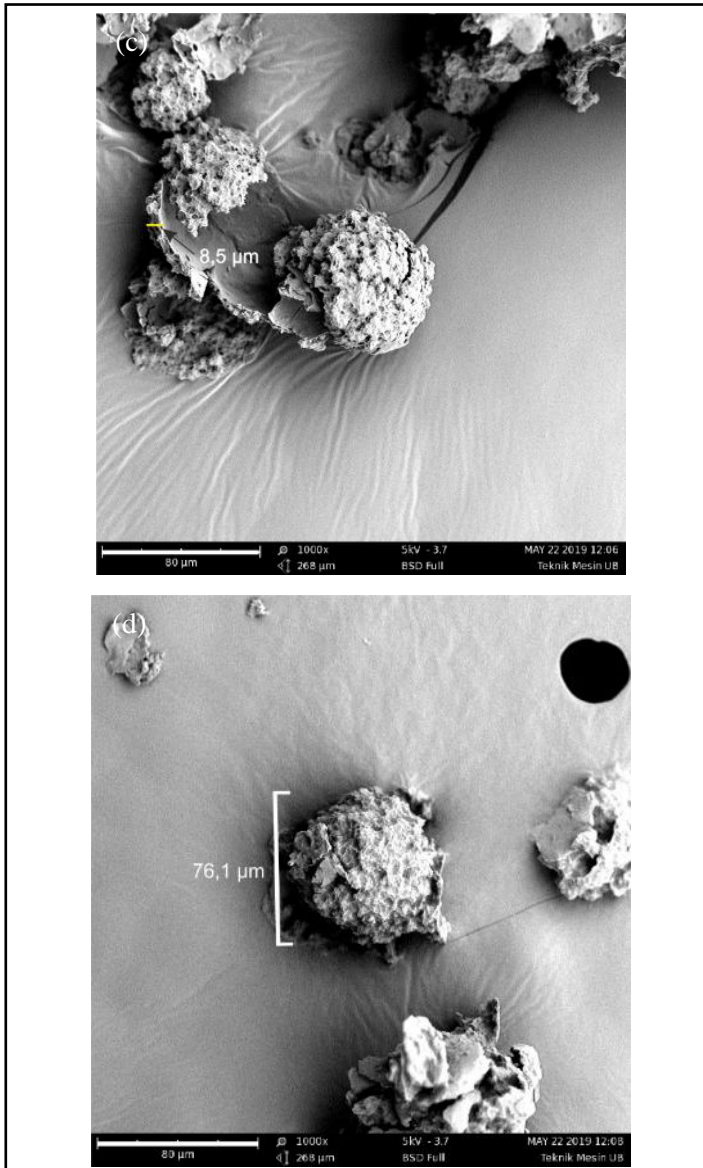
tersendiri agar ketebalan lapisan *coating* tetap rata di seluruh permukaan. Mikrokapsul dengan kondisi sintesis tersebut juga sebetulnya masih kurang cocok untuk digunakan dalam aplikasi pembuatan *self-healing coating* dimana ketebalan maksimal dari *organic coating* yang saat ini sudah beredar di pasaran (yang di produksi oleh HEMPEL) memiliki DFT sebesar 200 μm , sementara mikrokapsul dengan kecepatan agitasi 800 rpm memiliki ukuran rata-rata 231.6 μm dengan deviasi 39.6 μm .

4.3.4 Analisa Hasil SEM

Analisa SEM dilakukan dengan tujuan untuk mengamati dan menganalisa morfologi mikrokapsul secara 3 dimensi. Analisa dilakukan dengan menggunakan alat uji SEM Phantom G2 Pro di Departemen Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Pengujain SEM dilakukan pada salah satu sample yaitu dengan parameter kecepatan agitasi 500 rpm. Sebelum dilakukan uji SEM diperlukan preparasi sample terlebih dahulu yaitu pencucian hasil mikrokapsul dengan aquadest, alkohol, dan aseton untuk memastikan mikrokapsul kering dan tidak ada residu minyak. Hasil analisa SEM dapat dilihat pada gambar 4.23



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.23 Hasil SEM mikrokapsul 500 rpm (a) Mikrokapsul teraglomerasi (perbesaran 500 X), (b) Mikrokapsul berdempetan (perbesaran 1000 X), (c) Mikrokapsul terbentuk (perbesaran 1000 X), (d) Mikrokapsul pecah (perbesaran 1000 X)

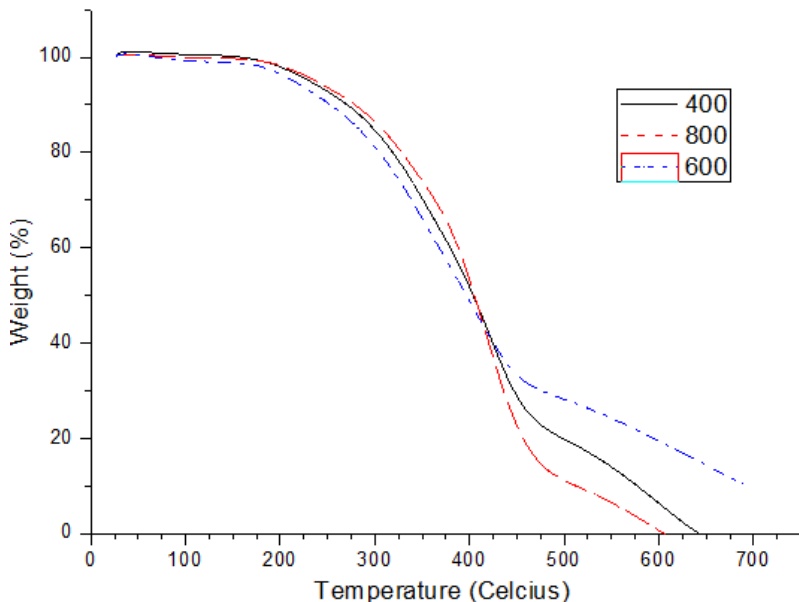
Gambar 4.23 menunjukkan hasil mikrokapsul setelah dianalisa menggunakan uji SEM. Pada gambar 4.29 (a.) terlihat mikrokapsul yang teraglomerasi dengan mikrokapsul lain dengan ukuran 114 μm . Di sekeliling mikrokapsul tersebut juga terdapat mikrokapsul lain yang terlihat seperti kempis, hal tersebut dikarenakan ketika pencucian dengan aseton yang memiliki kemampuan melarutkan sangat tinggi, mikrokapsul tersebut pecah dan mengeluarkan isinya. Hal ini menunjukkan bahwa dinding dari mikrokapsul belum cukup kuat sehingga lebih banyak mikrokapsul yang pecah dibandingkan yang berbentuk utuh. Pada gambar 4.28 (b.) terlihat mikrokapsul mikrokapsul yang menempel antara satu dengan yang lain dengan ukuran 63 μm .

Permukaan dari mikrokapsul terlihat diselubungi oleh partikel kasar yang merupakan partikel UF. Partikel ini terbawa dan menempel di dinding luar dari mikrokapsul ketika dilakukan proses sintesis. Parameter kecepatan agitasi 500 rpm merupakan parameter dengan kecepatan agitasi yang dapat dikatakan rendah. Rendahnya kecepatan agitasi ini menyebabkan masih banyaknya partikel UF yang menempel pada dinding luar mikrokapsul. (Asadi, et al., 2017). Pada gambar 4.28 (c.), terlihat terdapat mikrokapsul yang terpisah dari yang lain dengan ukuran 76,1 μm . Pada gambar 4.28 (d.), terlihat terdapat mikrokapsul yang pecah. Dari gambar tersebut dapat diketahui ketebalan dari dinding mikrokapsul adalah 8,5 μm . Ukuran rata-rata dari ketiga mikrokapsul yang terlihat adalah 84,3 μm . Ukuran mikrokapsul ini berbeda dari ukuran yang didapat pada analisa menggunakan mikroskop optic. Hal ini terjadi karena adanya kerusakan mikrokapsul ketika proses pencucian dengan aseton dan pengeringan dimana ketika dilakukan analisa menggunakan mikroskop optik mikrokapsul berada dalam kondisi sebelum dicuci

dan dikeringkan. Kerusakan tersebut menyebabkan sedikitnya mikrokapsul yang terlihat dan menyisakan mikrokapsul yang berukuran kecil. Permukaan mikrokapsul tersusun dari material yang tidak kokoh sehingga menyebabkan mikrokapsul mudah rusak dan pecah ketika proses pencucian. (Fan & Zhou, 2011)

4.3.3 Analisa Hasil TGA

Analisa TGA (*Thermogravimetric Analysis*) adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui laju degradasi suatu sample sebagai akibat dari peningkatan temperature yang dilihat dari perubahan persentase massa. Analisa TGA dilakukan untuk menganalisa sifat termal dari mikrokapsul yang sudah disintesis khususnya kestabilan mikrokapsul pada temperature tinggi. Pengujian TGA ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Kimia Universitas Negeri Surabaya



Gambar 4.24 Hasil analisa TGA

Gambar 4.24 menunjukkan hasil pengujian TGA dari 3 sample mikrokapsul yaitu hasil dari sintesis dengan parameter kecepatan agitasi 400, 600 dan 800 rpm ketika sintesis. Digunakannya tiga sample ini diharapkan dapat merepresentasikan parameter kecepatan agitasi dengan rpm kecil hingga rpm besar. Tujuan utama dilakukannya pengujian TGA ini adalah untuk mengetahui apakah mikrokapsul hasil sintesis dapat digunakan pada aplikasi *self-healing coating* sebagai tujuan selanjutnya dalam pengembangan mikrokapsul PUF.

Dari grafik hasil TGA, dapat dianalisa bahwa terdapat kemiripan hasil uji degradasi termal dari ketiga sample. Hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan sudah dapat memproduksi mikrokapsul dengan hasil yang cukup konsisten. Degradasi pada temperature 225 °C hingga 300°C adalah degradasi dari cangkang UF, dan degradasi pada temperature 355°C hingga diatas 485°C adalah degradasi dari *Linseed Oil*. (Abdipour, *et al.*, 2018).

Dari grafik TGA, dapat dianalisa pengurangan berat dari sample pada temperature tertentu. Dari diagram tersebut didapatkan pengurangan berat pada *range* temperature 225-300 °C pada mikrokapsul 400 rpm adalah sekitar $\pm 10\%$. Sedangkan pada mikrokapsul 600 rpm dan 800 rpm, pengurangan berat yang terjadi adalah sekitar $\pm 10\%$ dan $\pm 9\%$. Dari hasil tersebut menandakan bahwa ada perbedaan dari ketebalan dan kekuatan cangkang ketiga mikrokapsul yang telah dibuat. Pengujian TGA dilakukan dengan mengaplikasikan energi panas ke benda uji yang dalam hal ini adalah mikrokapsul. Sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.22, bahwa mikrokapsul dengan ukuran paling besar adalah pada kondisi sintesis 400 rpm dan semakin mengecil dengan semakin meningkatnya kecepatan agitasi. Semakin besar ukuran dari mikrokapsul maka material cangkang yang terbentuk juga semakin banyak untuk mengakomodir ukuran partikel minyak yang harus dikapsulkan semakin besar. Grafik yang terlihat pada hasil TGA menunjukkan pengurangan berat pada *range* temperature 225-300 °C tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini menandakan

bahwa mikrokapsul dengan ukuran lebih kecil yaitu dengan kondisi sintesis 800 rpm, memiliki cangkang yang paling tebal karena dapat menyerap energi panas yang sama dengan cangkang mikrokapsul dengan kondisi sintesis 400 rpm dimana mikrokapsul pada kondisi tersebut memiliki ukuran jauh lebih besar. Dengan meningkatnya kecepatan agitasi, karena adanya pencampuran yang baik, urea dan formaldehid akan terlokalisasi dengan lebih baik di sekitar butiran kecil minyak. Hal tersebut mengakibatkan monomer UF akan terdipersi secara lebih merata di sekitar kapsul dan membentuk cangkang yang lebih tebal. Pada kecepatan agitasi yang lebih rendah, dikarenakan proses pencampuran yang tidak ideal maka UF akan terpolimerisasi lebih banyak di fasa air bukan di antar-muka dari minyak dan air. Hal ini akan menghasilkan cangkang yang lebih tipis. (Abdipour, et al., 2018). Selain itu, pengadukan yang lebih cepat akan membantu proses polimerisasi dari polimer UF. Dalam reaksi kimia, pengadukan berpengaruh pada laju reaksi kimia. Oleh karena itu, pada kecepatan pengadukan yang tinggi, laju reaksi polimerisasi yang terjadi akan berlangsung lebih cepat yang menyebabkan ketebalan cangkang kapsul meningkat. (Triwulandari, 2012)

Perbedaan yang cukup signifikan dari hasil pengujian TGA terjadi diatas temperatur 450. Terjadinya perbedaan ini dikarenakan degradasi termal diatas 450°C adalah degradasi residu dari sisa material cangkang yang disebabkan oleh pembentukan polimer *cross-link* yang membuat mikrokapsul dapat memiliki kestabilan termal lebih tinggi (Katouizadeh, et al., 2018). Jika melihat hasil dari analisa mikroskop optic, terlihat bahwa mikrokapsul dengan parameter kecepatan agitasi 600 rpm memiliki hasil yang lebih baik dilihat dari sedikitnya residu atau “sampah” material cangkang yang terbentuk. Ketika mikrokapsul disintesis menggunakan rpm diatas 600, mikrokapsul yang sudah terbentuk dapat berbenturan antara satu dengan yang lain yang menyebabkan mikrokapsul tersebut pecah dan meninggalkan residu UF. Hal ini yang menyebabkan banyaknya residu UF yang sudah ter-*cross-link* yang terdegradasi diatas 450°C yang menyebabkan persen massa

yang terdegradasi lebih banyak dimana area tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap kualitas atau kestabilan termal dari mikrokapsul itu sendiri.

Dari hasil TGA, dapat terlihat bahwa ketiga mikrokapsul cukup stabil hingga temperature sekitar 200°C. Hal ini menunjukkan bahwa mikrokapsul hasil sintesis dapat digunakan untuk aplikasi *coating*. Temperatur *curing* dari resin yang akan digunakan sebagai material *coating* adalah pada 120°C, sehingga masih ada toleransi yang sangat jauh dari titik dimulainya degradasi mikrokapsul. (Comlecki & Ulutan, 2018).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa hasil data dari beberapa pengujian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisa mikroskop optik dari specimen mikrokapsul PUF menunjukkan adanya penurunan ukuran diameter seiring dengan meningkatnya kecepatan agitasi. Hasil mikrokapsul dengan diameter terkecil didapatkan dengan kecepatan agitasi 800 rpm dimana dapat diambil kesimpulan bahwa parameter tersebut adalah parameter kecepatan agitasi yang paling optimal karena dibutuhkan mikrokapsul sekecil mungkin dalam aplikasi *self healing coating*. Hasil karakterisasi SEM pada kecepatan agitasi 500 rpm, terlihat ada mikrokapsul yang terbentuk dalam kondisi teraglomerasi maupun terpisah. Terdapat juga mikrokapsul yang pecah dimana didapatkan ketebalan dinding mikrokapsul adalah sebesar 8,5 μm .
2. Hasil uji TGA menunjukkan bahwa seluruh mikrokapsul yang terbentuk dengan lima variasi parameter kecepatan agitasi masih cukup stabil ketika dipanaskan hingga temperature 200°C dimana temperature tersebut masih jauh dari temperature reaksi eksotermik *curing* resin yaitu pada 120°C. Hasil TGA ini menandakan bahwa mikrokapsul yang disintesis dengan metode yang digunakan, dapat diaplikasikan pada pembuatan *self-healing coating*. Hasil TGA juga memperlihatkan bahwa Mikrokapsul dengan parameter kecepatan agitasi 800 rpm memiliki kulit paling tebal dan kuat, dimana kedua sifat tersebut dapat memberi keuntungan yaitu mencegah kerusakan ketika aplikasi.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kekuatan dinding mikrokapsul agar dapat bertahan selama proses pembuatan *coating* dan proses pengaplikasian
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengecilkan ukuran dari mikrokapsul agar nantinya dapat digunakan dalam *Organic Coating* agar memiliki sifat *Self-healing*
3. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan parameter sintesis selain kecepatan agitasi contohnya rasio komposisi Urea:Formaldehid dan pH

DAFTAR PUSTAKA

- Abdipour, H., Rezaei, M. & Abbasi, F., 2018. Synthesis and characterization of high durable linseed oil-urea formaldehyde micro/nanocapsules and their self-healing behaviour in epoxy coating. *Progress in Organic Coatings*, Volume 124, pp. 200-212.
- Ahmad, Z., 2006. *Principles of Corrosion Engineering*. USA: Elsevier Science & Technology Books.
- Amanda, B. A., Rochmadi, Prasetya, A. & Hasokowati, W., 2010. PEMBUATAN MIKROKAPSUL DARI UREA-FORMALDEHID: Pengaruh pH dan Suhu pada Pembuatan Resin Terhadap Proses Mikroenkapsulasi. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, pp. 1-6. (?)
- Asadi, A. K., Ebrahimi, M. & Mohseni, M., 2017. Preparation and characterisation of melamine-urea-formaldehyde microcapsules containing linseed oil in. *Pigment and Resin Technology*, 46(4), pp. -.
- ASM, 2001. Introduction to Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. Dalam: *Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance*. s.l.:ASM International, pp. 1-10.
- Bareja, B. G., 2013. *Cropsreview*. [Online] Available at: <https://www.cropsreview.com/synthetic-urea.html> [Diakses 2 January 2019].
- Bierwagen, G., 1998. Corrosion and its Control by Coating. *ACS Symposium Series*, pp. 1-8.
- Blaiszik, B. et al., 2010. Corrosion and its Control by Coating. *Annual review of Materials Research*, pp. 179-205.
- Bolimowski, P. A., Kozera, R. & Boczkowska, A., 2018. Poly(Urea-Formaldehyde) Microcapsules - Synthesis and Influence of Stirring Speed on Capsule Size. *Polimery*, pp. 339-346.

-
- Comlecki, G. K. & Ulutan, S., 2018. Encapsulation of Linseed Oil dan Linseed Oil Based Alkyd Resin by Urea Formaldehyde Shell for self-healing Systems. *Progress in Organic Coating*, Volume 121, pp. 190-200.
- Das, S. K., Kumar Mukhopadhyay, H. & Nanda, A., 2011. Microencapsulation Technique and It's Practice. *Int J Pharma Sci Tech*, 6(2), pp. 1-23.
- Dubey, R., Shami, T. & Rao, K. B., 2009. Microencapsulation Technology and Application. *Defence Science Journal*, 59(1), pp. 82-95.
- EPA, 2000. *Formaldehyde*, USA: EPA USA.
- Fan, C. & Zhou, X., 2010. Influence of operating conditions on the surface morphology of microcapsules prepared by in situ polymerization. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 363, pp. 49-55.
- Fan, C. & Zhou, X., 2011. Effect of emulsifier on poly(urea–formaldehyde) microencapsulation of tetrachloroethylene. *Journal of Polymer*, Volume 67, pp. 15-27.
- Fontana, M. G., 1967. *Corosion Engineering*. 3rd penyunt. Ohio: McGraw-Hill.
- Gideon, G., 1995. *Coating Types and Selection*. New York: CED Engineering.
- Gosh, S. K., 2006. *Functional Coating by Polymer Microencapsulation*. Weinheim: Wiley.
- Gosh, S. K., 2009. *Self-healing Materials : Fundamentals, Design Strategies, and Application*. India: Wiley-VCH.
- He, R., 2017. *Formaldehyde and Cognition*. USA: Springer.
- Higgins, C., 2016. *Urea and the clinical value of measuring blood urea concentration*. pp. 1-6.
- Ibeh, C. C., 2013. Amino and Furan Resins. Dalam: *Handbook of Thermoset Plastic*. USA: Elsevier, pp. 72-97.
- Juita, Z.D., B. & Eric M. Kennedy, J. C. M., 2012. Low Temperature Oxidation of Linseed Oil: a review. *Fire Science Reviews*, pp. 1-36.
-

-
- Jyothi, N. et al., 2010. Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. *Journal of Microencapsulation*, 27(3), pp. 187-197.
- Karaval, D., Narola, N. B. & Patel, A. J., 2005. Synthesis, characterization, and composites from resorcinol-urea-formaldehyd-casein resin. *Iranian Polymer Journal*, 9(14), pp. 775-784.
- Katouzadeh, E., Zebarjad, S. M. & Janghorban, K., 2018. Investigating the effect of Synthesis Conditions on the Formation of Urea-formaldehyde Microcapsules. *Journal of Materials Research and Technology*, pp. 1-12.
- Lang, S. & Zhou, Q., 2016. Synthesis and Characterization of Poly(urea-formaldehyd) Microcapsules Containing Linseed Oil for Self-healing Coating Development. *Progres in Organic Coating*, Issue 105, pp. 99-110.
- Lazzari, M. & Chiantore, O., 1999. Drying and Oxidative Degradation of Linseed Oil. *Polymer Degradation and Stability*, pp. 303-313.
- Leon, A. d. & Advincula, R. C., 2015. Conducting Polymers with Superhydrophobic Effect as Anticorrosion Coating. Dalam: *Intelligent Coatings for Corrosion Control*. USA: Elsevier, pp. 409-432.
- NACE, 2016. Assessment of The Global Cost of Corrosion. **IMPACT**.
- Odian, G., 2004. *Principles of Polymerization*. 4th penyunt. New York: John Wiley & Sons.
- Peabody, A., 2001. *Control of Pipeline Corrosion*. Houston: NACE International.
- Pubchem, 2004. *Pubchem Open Chemistry Database*. [Online] Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/urea#section=Top> [Diakses 15 February 2019].
- Respati, S., 2008. Macam-macam Mikroskop dan Cara Penggunaan. *Momentum*, 4(2), pp. 42-44.
-

-
- Shahabudin, N., Yahya, R. & Gan, S. N., 2016. Microcapsules of poly(urea-formaldehyde) (PUF) containing alkyd from palm oil. *Materials Today : Proceedings 3S*, pp. 88-95.
- Shannaq, R. A. & Farid, M., 2015. Microencapsulation of Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage Systems. *Advances in Thermal Energy Storage System*, pp. 247-284.
- Slabaugh, M. R. & Seager, S. L., 2012. Organic Compounds : Alkanes. Dalam: *Organic and Biochemistry for Today*. USA: Cengage Learning, pp. 3-5.
- Sobel, R., Versic, R. & Gaonkar, A. G., 2014. Introduction to Microencapsulation and Controlled Delivery in foods. Dalam: *Microencapsulation in the Food Industry*. New York: Elsevier, pp. 3-15.
- Taylor, S., 2012. The Role of Intrinsic Defects in the Protective Behaviour of Organic Coating. Dalam: *Handbook of Environmental Degradation of Materials*. USA: Elsevier, pp. 655-671.
- Thanawala, K., Mutneja, N., Khanna, A. S. & Raman, R. K. S., 2014. Development of Self-Healing Coatings Based on Linseed Oil as Autonomous Repairing Agent for Corrosion Resistance. *Materials 2014*, pp. 7324-7338.
- Triwulandari, E., 2012. *Studi Polimerisasi Antarmuka Terhadap Distribusi Ukuran Partikel Mikrokapsul Poliuretanan Berbasis Gliserol*, Depok: Universitas Indonesia.
- VIAS, 2011. *Chemical Composition of Linseed Oil*. [Online] Available at: http://www.vias.org/church_paintchem/church_paint_018_04.html [Diakses 18 February 2019].
- Walker, J. F., 1944. *Formaldehyde*. New York: Reinhold.
- Wool, R. P., 2007. Self-healing Materials : A Review. *Soft Matter* , Volume 1, pp. 400-418.
-

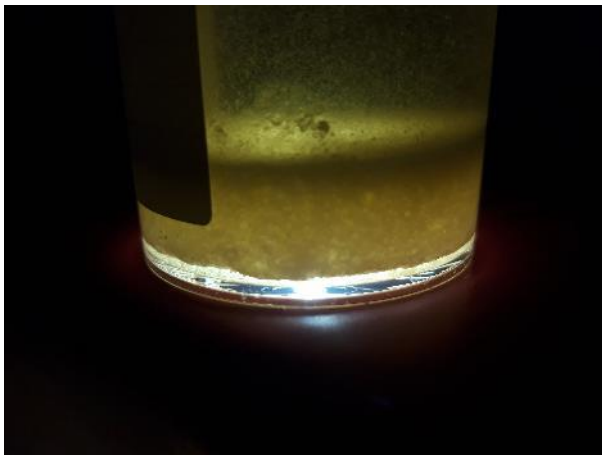
Yang, Z. et al., 2012. Selg-healing Coatings Containing Microcapsules. *Applied Surface Science*, Volume 258, pp. 1915-1918.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

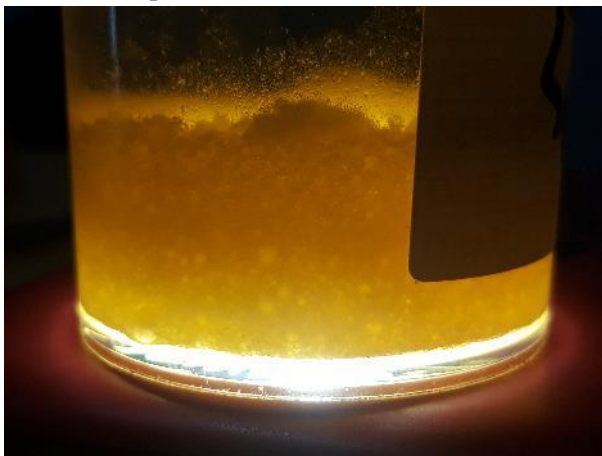
LAMPIRAN

a. Hasil sintesis mikrokapsul

1. 400 rpm



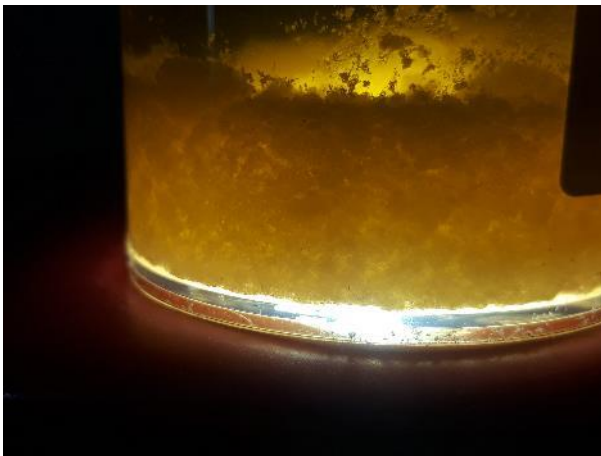
2. 500 rpm



3. 600 rpm

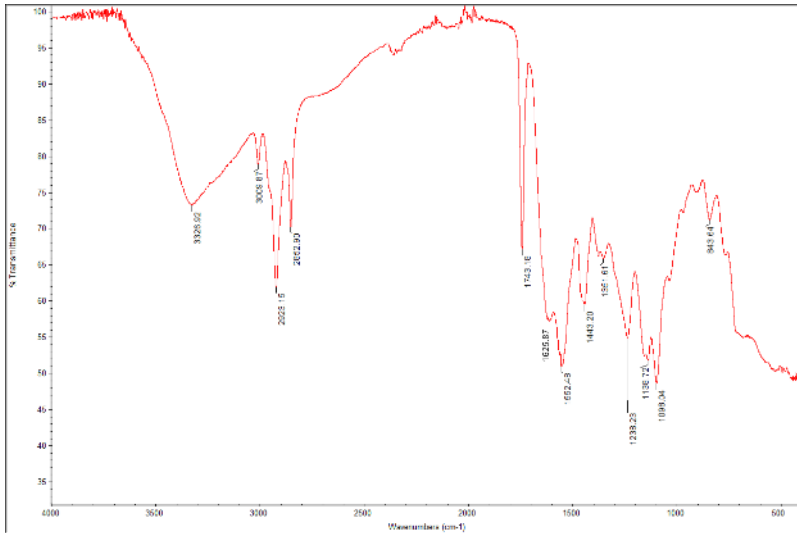


4. 700 rpm

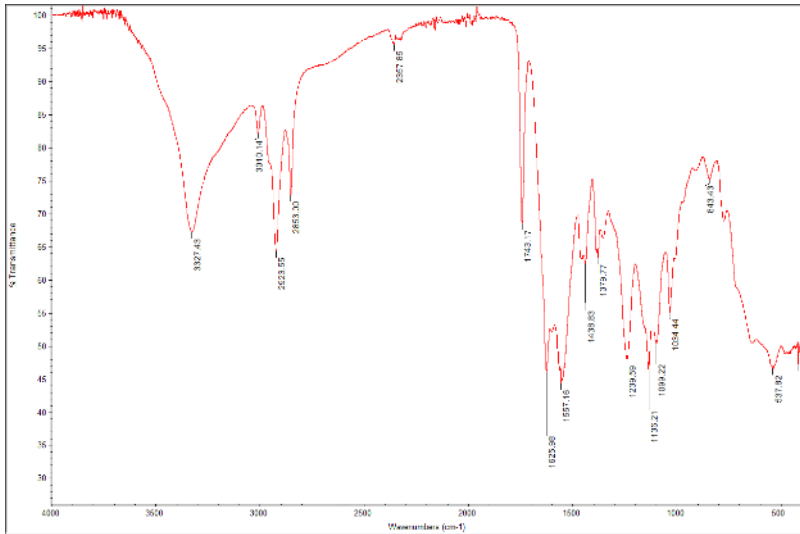


5. 800 rpm

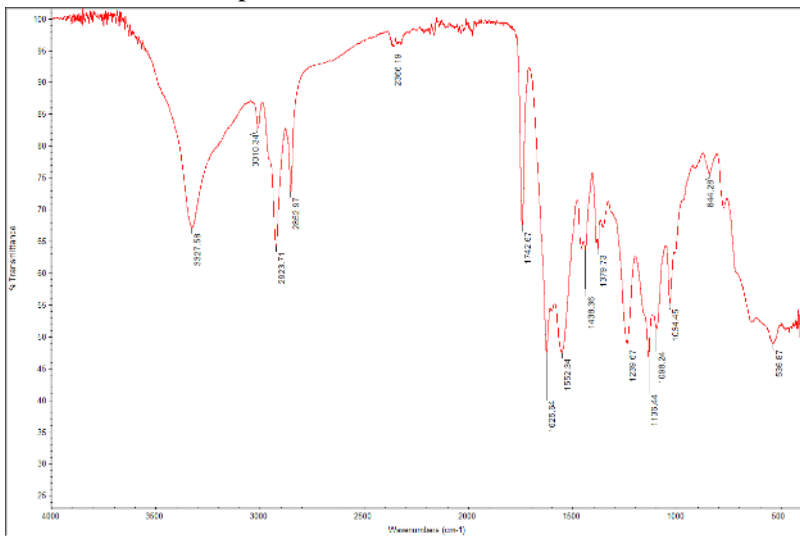


b. Hasil uji FTIR**1. 400 rpm**

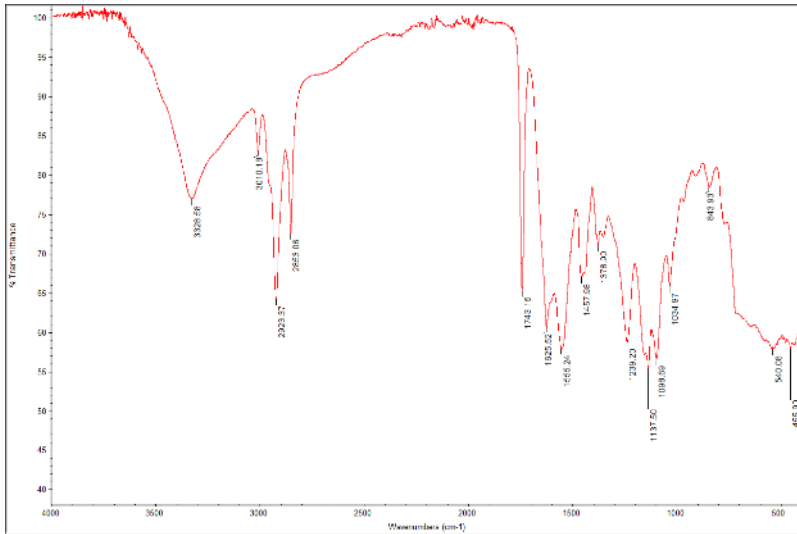
2. 500 rpm



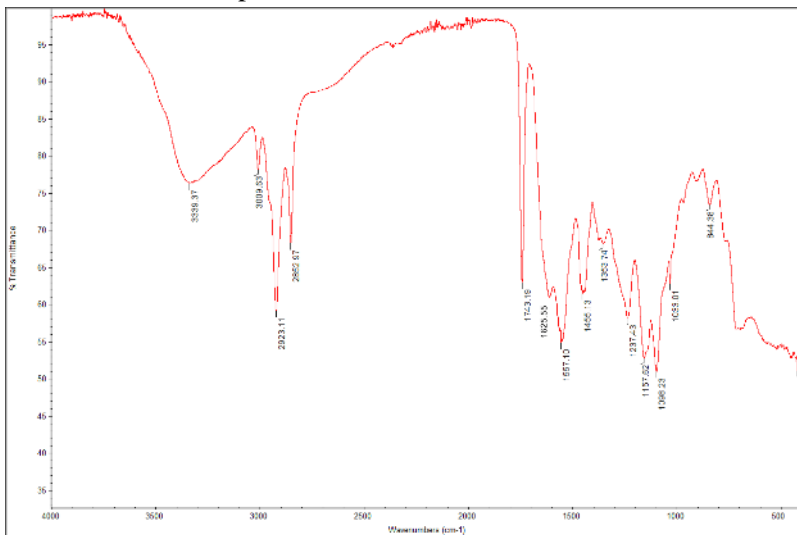
3. 600 rpm



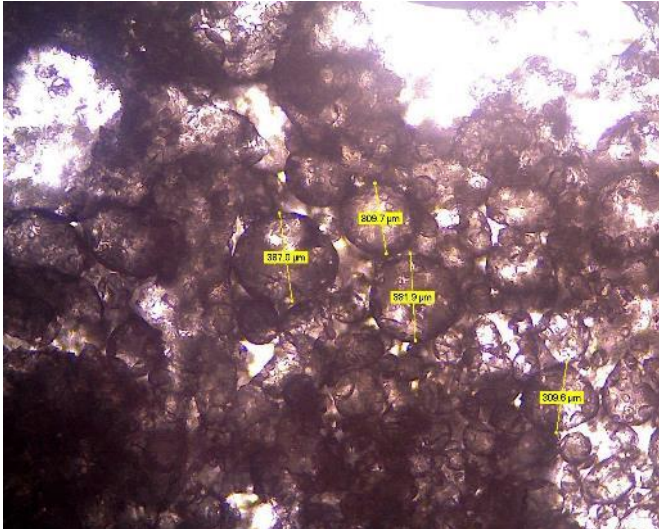
4. 700 rpm



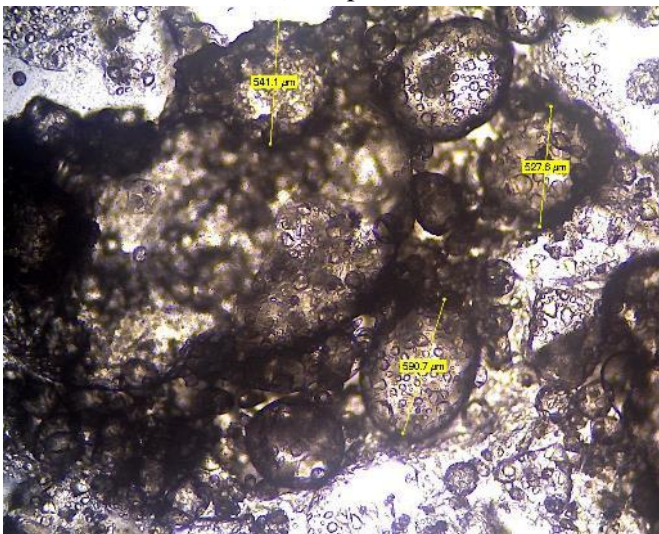
5. 800 rpm



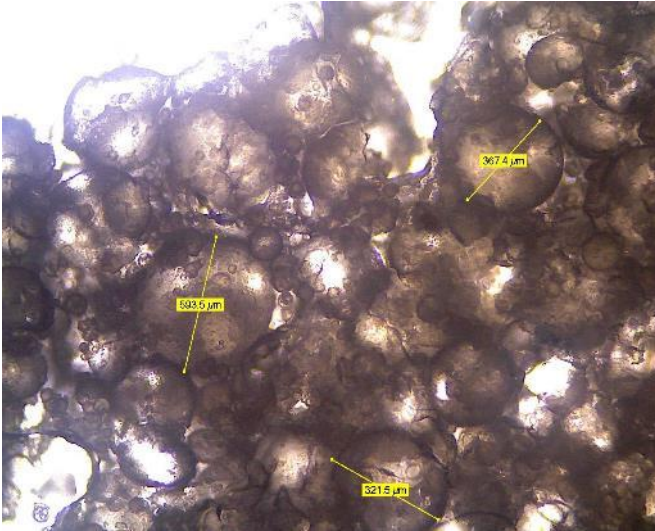
- c. Pengukuran diameter mikrokapsul
1. Metode pengukuran diameter mikrokapsul



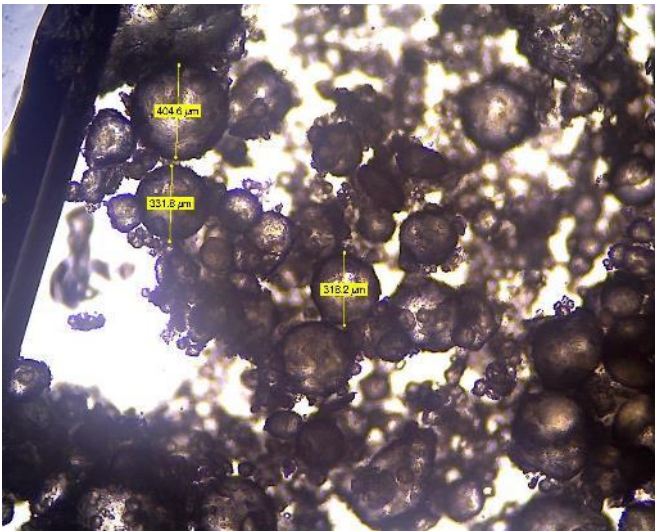
(400 rpm)



(400 rpm)

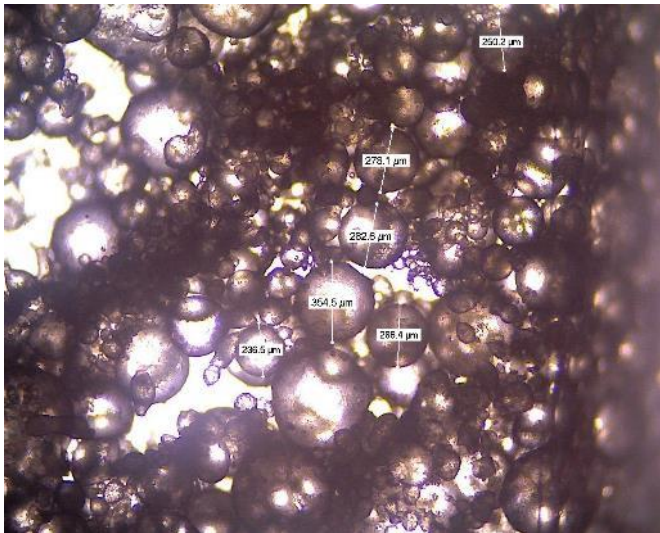


(500 rpm)

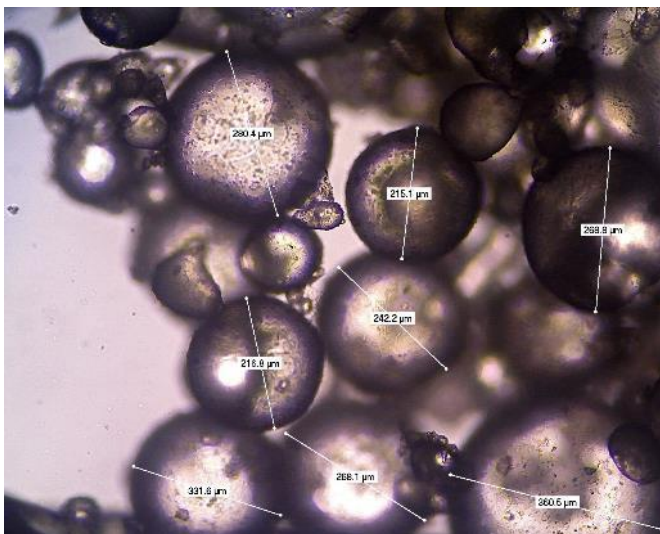


(500 rpm)

LAMPIRAN



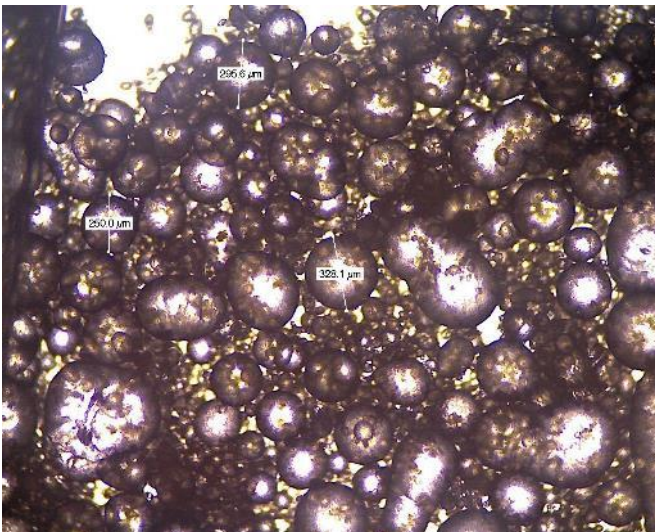
(600 rpm)



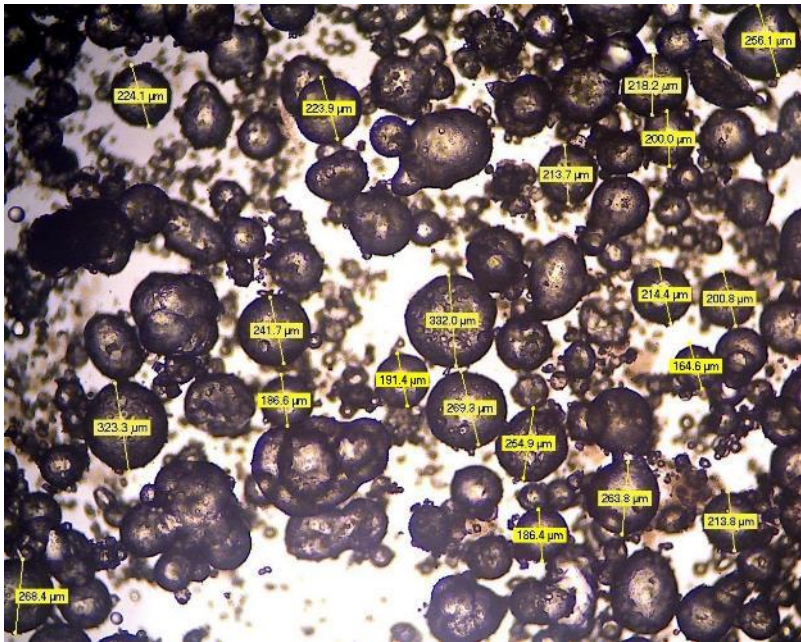
(600 rpm)



(700 rpm)



(700 rpm)



(800 rpm)

2. Tabel hasil pengukuran diameter mikrokapsul

No.	400 rpm	500 rpm	600 rpm	700 rpm	800 rpm
1	305.1	518.2	424.7	268.3	255.2
2	573	477.6	336.7	200	213.9
3	263.5	514.5	370.7	322.7	222.8
4	448.9	386.6	263.9	381.8	204.7
5	618.2	525.7	286.9	255.1	209.3
6	482.6	518.2	350	295.2	228.3
7	509.1	457.9	240.5	236.4	136.9
8	361.2	399.2	250.2	341	268.5
9	505.2	275.4	272.7	259.1	228.5
10	612.5	228.8	359.1	372.7	323.3
11	237.4	396.5	345.5	336.4	250
12	432.1	258.8	426.6	431.8	186.5
13	521.7	213	360.6	345.5	218.6
14	610.7	377.5	281.9	354.5	260.9
15	350.1	182.7	376.1	268.8	282.2
16	232.2	416.9	325.1	240.9	277.6
17	321.2	325.6	308.8	295.5	254.9
18	473.6	423.7	354.5	313.7	214.2
19	651.7	313	296.7	328.7	200.1
20	386.4	252.6	318.4	281.8	223
21	226.2	230.6	295.5	250	327.4
22	284.4	446	310.1	227.3	172.8
23	220	452.6	259.7	245.5	223.4
24	200	309.1	287.6	245.5	245
25	272	314	305.1	295.6	191
26	230	350.5	360	300.2	272.7
27	297	359.1	352.4	314.3	186

28	396.5	268.1	314	291	222.8
29	371.8	189.5	222.7	227	223.1
30	171.4	392.6	250	277.3	268.2
31	346.9	267.4	222.8	236.4	195
32	390	493.4	227.8	363.5	245
33	413.8	318.2	360	159.1	236
34	414.1	426.7	351	240.9	201
35	363	492.5	356	309.1	241
36	309	395.6	295	190.9	233
37	427	365.6	313	254.6	259
38	450	391.8	345	272.8	277
39	466	341.2	395	404.5	181.9
40	314	422	405.7	350	204.5
Rata-rata	386.4	367.2	319.4	289.6	231.6

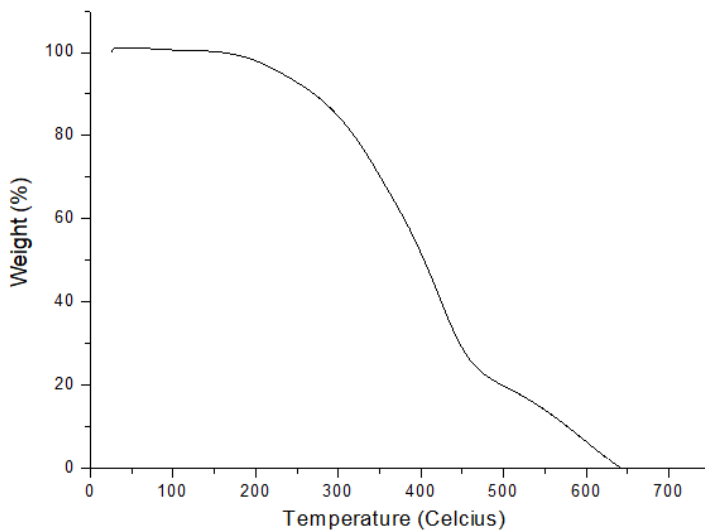
3. Pengukuran standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

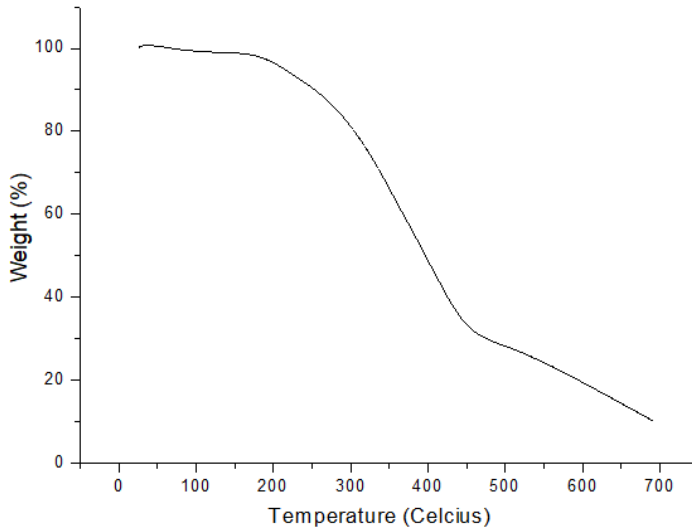
	400 rpm	500 rpm	600 rpm	700 rpm	800 rpm
Deviasi	128.6	97.02	54.2	59.4	39.6

d. Hasil pengujian TGA

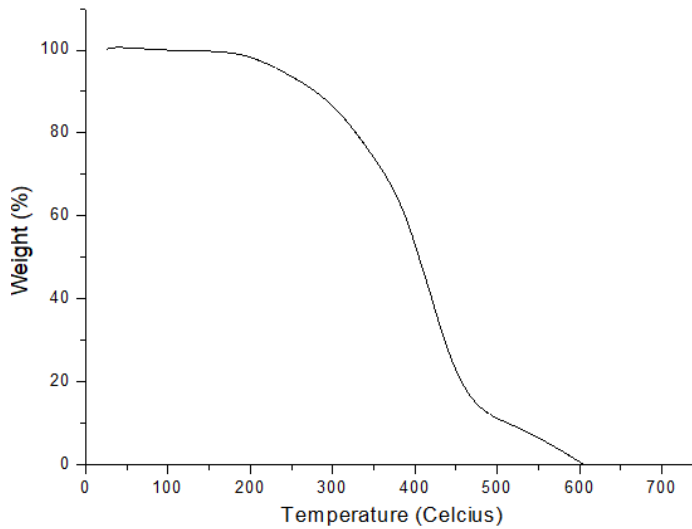
1. 400 rpm



2. 600 rpm



3. 800 rpm



(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan kakak penulis yang selalu memberikan support, motivasi, dukungan baik moril maupun materil yang selalu diberikan, serta doa yang selalu dipanjatkan agar penulis dimudahkan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini
2. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS
3. Partner Tugas Akhir Taufiq Byomantoro yang telah banyak membantu dan berjuang bersama-sama dalam menyelesaikan Tugas Akhir
4. Mas Alfreda Krisna Altama, S.T. yang telah banyak membantu selama beberapa bulan terakhir terkait penelitian ini
5. Teman-teman angkatan 2015 (MT17)
6. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir tema Pelapisan, Firdos, Diaz, Rafiandy, dan Ihsan yang telah saling membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini
7. Teja, Hipzul, Andra, dan Klarissa yang telah memberikan dukungan hingga terselesaikan nya Laporan Tugas Akhir ini
8. Serta seluruh pihak yang belum dapat dituliskan satu persatu oleh penulis

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk siapapun yang membutuhkan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juni 2019

Penulis
Bagas Raditya Putra
0251154000119

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Bagas Raditya Putra, merupakan anak Kedua dari pasangan Trisakti Herlambang dan Puri Yuniati yang lahir di Bekasi, 23 Agustus 1997. Memiliki Kakak perempuan bernama Audry Pragita Putri. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SD Islam Al-Azhar 9 Bekasi, SMP Islam Al-Azhar 9 Bekasi dan di SMA Labschool Jakarta . Kemudian melanjutkan studi S1 di Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri (FTI)– ITS pada tahun 2015.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Organisasi AIESEC Surabaya (2016-2018) dan Organisasi ITS Material Advantage Chapter (2017-2018). Penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Korosi dan Pengendalian Korosi (2018-2019). Selain itu penulis berkesempatan mengambil kerja praktek di PT AMNT dan PT Medco E&P Indonesia. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Material Inovatif Teknologi Pelapisan

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 08176672070, dan bisa hubungi di alamat email bagas.rp@gmail.com .

(halaman ini sengaja dikosongkan)