

3. REOLOGI ADONAN DAN KUALITAS ROTI

3.1 Reologi Adonan

Adonan roti adalah kombinasi tepung gandum, air, ragi, garam, dan bahan tambahan lainnya. Adonan roti merupakan topik yang cukup kompleks apabila dibahas mengenai reologinya. Reologi merupakan ilmu yang mempelajari mengenai arus atau aliran pada zat cair atau fluida dan deformasi pada zat padat, serta keterkaitannya antara gaya, deformasi dan waktu (Mirsaeedghazi, *et al*, 2008). Reologi pada adonan roti dapat disebut sebagai aliran fluida yang menginterpretasikan konsistensi produk, biasanya komponen yang digambarkan adalah: viskositas, elastisitas, dan ekstensibilitas (Wheat Marketing Center, 2004).

Viskositas merupakan pengukuran dari perubahan ketahanan fluida dikarenakan adanya tekanan atau tegangan. Viskositas juga dapat dikatakan sebagai *thickness* dari suatu bahan, contohnya air memiliki viskositas yang rendah, sedangkan madu memiliki viskositas yang tinggi. Viskositas mempengaruhi kemampuan mengalir suatu benda, atau biasa disebut fluiditas. Bahan dengan viskositas yang tinggi atau semakin kental akan memiliki kesulitan pergerakan aliran atau fluiditasnya tinggi (Kotelnikov dan Zabusky, 2000). Dalam pengujian reologi adonan berupa viskositas biasanya menggunakan alat bernama *Rapid Visco Analyzer* (RVA) (Wheat Marketing Center, 2004).

Elastisitas merupakan persepsi indrawi yang dirasakan saat suatu adonan mudah direntangkan, kemudian dilepaskan dan kembali ke bentuk semula. Suatu adonan memiliki elastisitas yang baik atau tinggi apabila adonan dapat berkontraksi dengan cepat mendekati bentuk semula (Wheat Marketing Center, 2004). Dobraszczyk dan Morgenstern (2003) menambahkan bahwa apabila adonan kurang elastis saat diberikan tekanan atau tegangan maka akan memiliki karakteristik struktur yang mudah terputus. Dalam pengujian reologi adonan

berupa elastisitas biasanya menggunakan alat bernama Ekstensograph (Wheat Marketing Center, 2004).

Ekstensibilitas merupakan kemampuan adonan untuk diregangkan. Pada pengujian ekstensograph, ekstensibilitas dinilai sebagai jumlah elastisitas dalam adonan yang dinyatakan dalam panjang kurva. Jumlah elastisitas tersebutlah yang menentukan seberapa besar kemampuan adonan untuk meregang tanpa putus. Pada pengujian reologi lain, yakni pengujian alveograph, ekstensibilitas digambarkan dengan panjang kurva yang mengindikasikan kemampuan adonan untuk diregangkan menjadi selaput tipis hingga akhirnya pecah (Wheat Marketing Center, 2004).

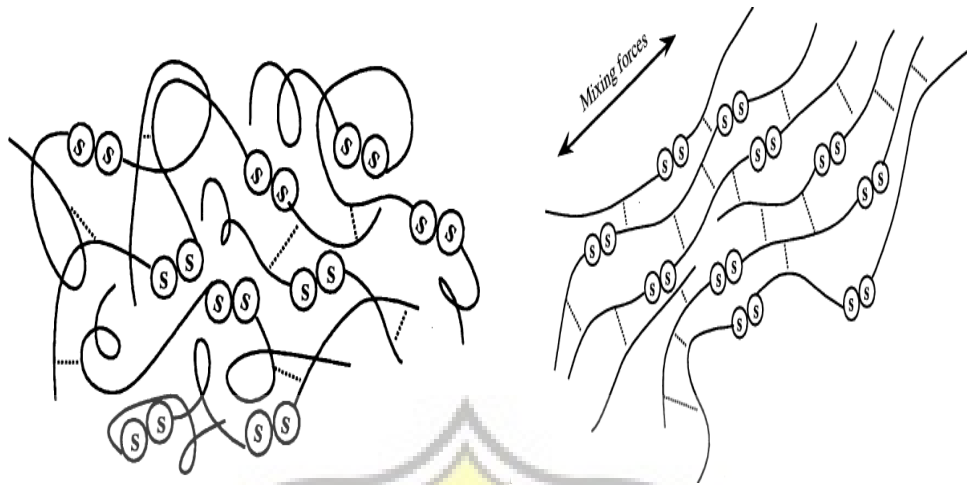
3.2. Perubahan Struktur Adonan selama Proses Pembuatan Roti

Dalam proses pembuatan roti, terdapat tahap berupa hidrasi, *proofing* (pembangunan), dan pemanggangan dalam oven yang merupakan titik-titik kritis yang dapat mempengaruhi sifat reologi adonan yang nantinya akan mempengaruhi kualitas produk akhir (Dobraszczyk dan Morgenstern, 2003). Kualitas roti didasarkan oleh kemampuan protein dalam membentuk ekstensibilitas dan viskoelastisitas dari suatu adonan (Joye, *et al.*, 2009). Ekstensibilitas dan viskoelastisitas dapat tercapai dengan adanya distribusi ukuran polimer gluten (glutenin dan gliadin) tepung terigu yang akan memberikan efek positif pada ketahanan (elastisitas) adonan (Gupta *et al.*, 1993).

Protein dalam tepung terdiri oleh glutenin dan gliadin. Kandungan protein glutenin dan gliadin antar varietas gandum berbeda-beda dikarenakan pengaruh musim dan kondisi penanaman (Žilić *et al.*, 2011). Menurut Serna-Saldivar (2010) bahwa sebagian besar dari produksi gandum di dunia terdiri dari tiga kelompok, yaitu *hard wheat*, contohnya *Triticum aestivum* dan *durum wheat*, contohnya *Triticum durum* dengan total protein 10.5%–14.5%; namun gluten pada *durum wheat* lebih kuat dibandingkan *hard wheat*. Adapula *soft wheat*, contohnya

Triticum compactum dengan total protein 7-10%. Total protein yang terkandung inilah yang mempengaruhi sifat reologi adonan. Protein glutenin memiliki ukurannya partikel yang besar, sehingga mampu membentuk jaringan yang memberikan kekuatan (ketahanan terhadap deformasi) dan elastisitas pada adonan. Sedangkan gliadin berupa monomer yang berperan sebagai *plasticisers* pada sistem polimer glutenin, sehingga mengakibatkan adonan menjadi plastis atau viskos (Goesaert *et al.*, 2005). Keseimbangan yang tepat antara viskositas (*extensibility*) dan elastisitas (kekuatan adonan) tersebut dalam pembuatan roti (Žilić *et al.*, 2011).

Adonan dengan karakteristik viskoelastis mulai terbentuk saat tahap hidrasi dan pencampuran (*mixing*). Hidrasi adalah penambahan air pada tepung terigu dengan kadar tertentu (Were *et al.*, 1997). Tahap hidrasi akan meningkatkan mobilitas protein dan membentuk β -sheet (Anjum *et al.*, 2007). β -sheet merupakan gabungan dari dua hingga tiga ikatan hidrogen yang dihubungkan secara lateral. β -sheet umumnya terdiri dari hamparan rantai polipeptida yang biasanya 3 sampai 10 asam amino (Cheng dan Baldi, 2005). Penambahan air pada jumlah tertentu akan menghasilkan adonan yang plastis dikarenakan β -sheet membentuk struktur rantai (*chain*) gluten yang kompak. Apabila hidrasi dilanjutkan maka mengakibatkan ikatan hidrogen antara glutamin dan air menjadi terputus dan terbentuk ikatan yang melingkar (*loop*). Rantai (*chain*) dan *loop* yang terbentuk inilah yang akan menghasilkan struktur adonan. Apabila rantai (*chain*) dan *loop* seimbang maka akan mempengaruhi elastisitas adonan dari glutenin, serta ekstensibilitas adonan (Anjum *et al.*, 2007). Lagrain *et al.*, (2008) menjelaskan pula pada tahap *mixing* agregat protein gluten yang terdiri dari ikatan SH dan SS akan mengalami perubahan, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Ikatan disulfide (SS) yang terbentuk akan menghasilkan adonan dengan viskositas rendah. Sedangkan ikatan thiol (SH) akan menghasilkan struktur adonan yang memiliki viskositas yang tinggi dikarenakan mobilitas molekul protein yang tinggi pula.



Gambar 3 Mekanisme Perubahan Formasi Adonan

Tahap selanjutnya dalam pembuatan roti adalah *proofing* atau pengembangan. Tahap ini dapat terjadi dikarenakan keberadaan *yeast* yang mampu mengubah gula menjadi CO_2 dan etanol, sehingga terbentuk sel-sel gas yang akan mengisi rongga dari adonan. Tahap *proofing* perlu diperhatikan sesuai dengan karakteristik tepung agar tidak terjadi *coalescence* (Rouillé, *et al.*, 2005). *Coalescence* dapat terjadi apabila adonan tidak mampu mengembang dengan maksimal pada rentang waktu tertentu, akibat terbatasnya viskositas dinding sel adonan. Apabila viskositas dinding sel tinggi maka adonan akan memiliki elastisitas serta kemampuan mengembang yang tinggi. Sebaliknya, bila viskositas dinding sel rendah maka sel gas tidak mampu mengembang maksimal sehingga mengakibatkan menyebabkan rendahnya ketahanan adonan dan dinding sel rusak (Scanlon dan Zghal, 2001). Gandikota dan MacRitchie (2005) menambahkan bahwa kapasitas pengembangan adonan ditentukan oleh struktur sel gas dan stabilitas sel gas. Apabila gas tidak memiliki struktur yang beragam serta tidak stabil maka akan menghasilkan produk akhir roti yang berpori besar dan tidak seragam pula.

Tahap terakhir dalam pembuatan roti adalah tahap pemanggangan. Pada tahap pemanggangan, ikatan SH akan hilang saat awal pemanggangan sedangkan ikatan SS masih dapat berperan sebagai penstabil matriks protein oleh proses gelatinisasi

pati dan denaturasi termal dari protein gluten, hingga menghasilkan struktur adonan yang *set*. Pada suhu diatas 60°C viskositas adonan meningkat dengan cepat akibat dari gelatinasi pati dan terdenaturasinya protein gluten yang melibatkan perubahan pada ikatan non-kovalen dan SS. Selama proses pemanggangan ini terjadi perubahan struktur serta warna dari *crumb* dan *crust* dari roti. Hal ini dikarenakan terjadinya *browning* yakni proses interaksi antara gula dan protein (reaksi Maillard) yang memberi warna pada *crust* roti (Cauvain, 2012).

3.3. Flour Treatment Agents

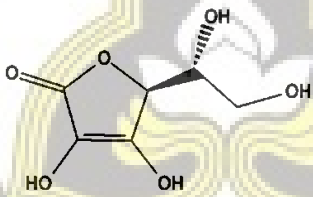
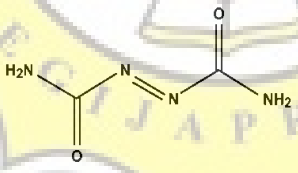
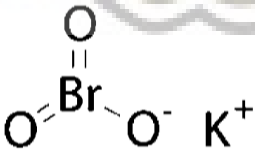
Dalam pembuatan roti, tentunya adonan melewati banyak tahapan yang menyebabkan terjadinya perubahan karakter fisik. Untuk memperbaiki perubahan karakteristik fisik tersebut, diperlukan *flour treatment agents* yang mampu memberi efek terhadap keseimbangan antara viskositas dan elastisitas agar menghasilkan roti dengan karakteristik yang baik. Terdapat berbagai macam *flour treatment agents* yang telah banyak digunakan, di antaranya agen pengoksidasi, agen pereduksi, *emulsifiers*, dan enzim.

3.3.1 Agen Pengoksidasi

Tepung dalam pengolahannya mengalami *aging* secara alami yakni menggunakan paparan atmosfer atau oksigen. Proses *aging* ini akan menentukan kemampuan karakteristik tepung untuk dijadikan produk tertentu. Proses ini dapat terjadi secara natural dikarenakan glutathione (GSH) dan glutathione teroksidasi (GSSG) terdapat alami dalam tepung terigu. Namun, saat ini proses *aging* dengan paparan atmosfer sudah tidak memungkinkan lagi dikarenakan proses yang sangat lambat dan tidak konsisten, oleh karena itu proses perlu dipercepat dengan penambahan agen pengoksidasi saat proses pembuatan roti (Popper, *et al.*, 2006).

Penambahan agen pengoksidasi dapat mendorong terjadinya reaksi oksidasi yang melibatkan kelompok gluten (gluten) protein sulfida (SH) menjadi jaringan ikatan disulfida (SS). Ikatan SS dapat terbentuk dari gabungan dua kelompok hidrogen sulfida (tiol) yang teroksidasi di antara molekul gluten yang panjang atau di antara molekul gluten yang berbeda (Coventry, *et al.*, 1972). Ikatan disulfide (SS) tersebutlah yang menyebabkan turunnya mobilitas protein, sehingga berdampak pada sifat adonan dengan viskositas rendah) namun kokoh (Lagrain, *et al.*, 2008). Terdapat beberapa oksidator atau agen pengoksidasi telah digunakan dalam beberapa studi pustaka. Agen pengoksidasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Agen Pengoksidasi, Struktur dan Dosis Penggunaan dalam Adonan

Jenis Flour Treatment Agents	Struktur	Dosis	Max Dosis	Pustaka
Asam Askorbat		0.02 - 0.15 gram/kg	0.2 gram /kg	(Xijin Chen, 1996) (L. Popper, W. Schäfer, 2006) (Grosch dan Wieser, 1999)
Azodikarbonamida		0.01- 0.045 gram/kg	0.045 gram /kg	(Mulenchemie, 1998) (L. Popper, W. Schäfer, 2006) (Nistor <i>et al.</i> 2015)
Potassium Bromate		0.01 gram/kg	0.08 gram /kg	(Mulenchemie, 1998) (Wikström dan Eliasson, 1998)

Pada Tabel 1. dapat dilihat contoh agen pengoksidasi yang dapat digunakan dalam pembuatan roti, yaitu asam askorbat, azodikarbonamida, dan potassium bromate. Struktur kimia dari masing-masing agen pengoksidasi juga menunjukkan bahwa jenis *flour treatment agents* tersebut dapat teroksidasi dan membentuk ikatan disulfide. Penambahan asam askorbat dalam pembuatan roti akan mengatur stabilitas protein sehingga akan menghasilkan adonan yang kokoh. Kecepatan

oksidasi pada asam askorbat tergantung pada kecepatan *mixing* adonan. Apabila proses *mixing* cepat, maka asam askorbat akan bekerja secara maksimal sehingga protein terkonversi menjadi protein disulfide dalam bentuk yang pendek dan bereaksi dengan GSSH untuk membentuk glutathione disulfide (Xijin Chen, 1996). Oleh karena itu, proses pengoksidasi asam askorbat membutuhkan waktu yang singkat dalam menghasilkan adonan kompak (Mulenchemie, 1998). Dalam penggunaannya, penambahan agen pengoksidasi harus ditambahkan pada dosis yang tepat, hal ini dikarenakan dosis yang terlalu tinggi akan menyebabkan terlalu banyak glutathione yang diubah menjadi glutathione disulfide, yang mampu menghasilkan karakteristik roti yang terlalu lembek (Popper, *et al.*, 2006).

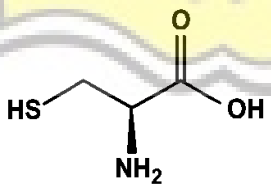
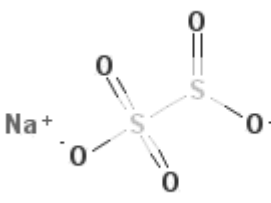
Adonan yang kokoh juga dapat dicapai dengan penambahan azodikarbonamida, dikarenakan azodikarbonamida dapat mengontrol penyerapan air yang tinggi, sehingga menghasilkan tekstur dan volume roti yang kokoh (Mulenchemie, 1998). Seperti halnya asam askorbat, penggunaan agen pengoksidasi azodikarbonamida memiliki toleransi dosis yang rendah, sehingga apabila dalam penggunaannya ditambahkan dosis yang berlebih, maka dapat menghasilkan roti yang mudah *split*. Reaksi oksidasi yang terjadi dengan penambahan azodikarbonamida ini sangatlah cepat dibandingkan potassium bromate (Popper, *et al.*, 2006). Reaksi oksidasi dari potassium bromate yang lambat namun memiliki kemampuan oksidasi kuat ini menjadikan potassium bromate dilarang penggunaannya karena bahaya toksikologi (Mulenchemie, 1998). Reaksi yang lambat akan membutuhkan waktu yang panjang untuk membentuk karakteristik adonan yang diinginkan, namun apabila waktu reaksi lambat namun kemampuan oksidasi tinggi, akan menghasilkan bahaya dimana oksidasi tinggi yang terjadi menimbulkan residu pada produk akhir roti. Bahaya ini sebenarnya dapat hilang selama proses pembuatan roti yakni pada tahap pemanggangan dalam oven. Namun tergantung pada suhu dan lama pemasakan adonan, apabila tidak sesuai maka akan terdapat residu potasium bromate yang terdapat pada produk akhir (Kujore dan Serret, 2010). Namun disamping itu, penambahan potassium bromate memiliki efek baik

pada adonan yakni menghasilkan produk akhir roti memiliki volume yang tinggi (Wikström dan Eliasson, 1998).

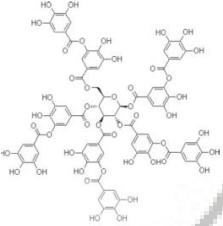
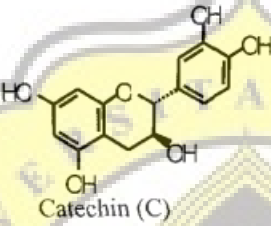
3.3.2 Agen Pereduksi

Selain agen pengoksidasi, terdapat pula agen pereduksi. Penambahan agen pereduksi dibutuhkan apabila subglutenin terlalu pendek. Subglutenin yang pendek berimbas pada hasil volume produk roti yang rendah dikarenakan adonan tidak dapat menahan gas (Popper, *et al.*, 2006). Selain kondisi subglutenin yang pendek, agen pereduksi perlu ditambahkan apabila ikatan disulfida terlalu banyak. Dengan memutus ikatan disulfida menjadi protein glutathione (GSH) maka molekul yang bertanggung jawab terhadap nilai ekstensibilitas akan meningkat (Coventry, *et al.*, 1972). Penggunaan agen pereduksi dan pengoksidasi ini harus berjalan sinergis agar adonan yang dihasilkan dapat memiliki viskoelastisitas yang baik (Mulenchemie, 1998). Beberapa agen pereduksi telah digunakan dalam beberapa studi pustaka yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Agen Pereduksi, Struktur dan Dosis Penggunaan dalam Adonan

Jenis Flour Treatment Agents	Struktur	Dosis	Max Dosis	Pustaka
L-cysteine Hydrochloride (sistein)		0.04 gram/kg	1 gram/kg	(Mulenchemie, 1998) (Berehoiu, <i>et al.</i> , 2013)
Sodium metabisulfite		0.10-0.36 gram/kg	0.36 gram/kg	(Pedersen <i>et al.</i> , 2006)

Tabel 2 Agen Pereduksi, Struktur dan Dosis Penggunaan dalam Adonan (lanjutan)

Jenis Flour Treatment Agents	Struktur	Dosis	Max Dosis	Pustaka
Asam Tanat		0.03 gram/kg	0.135 gram/kg	(Zhang <i>et al.</i> , 2010)
Ekstrak teh hijau	 Catechin (C)	1,6 gram/kg – 5 gram/kg	5 gram/kg	(Ananingsih dan Zhou, 2012) (Wang, <i>et al.</i> , 2008)

Pada Tabel 2. dapat dilihat contoh agen pereduksi yang dapat digunakan dalam pembuatan roti, yaitu L-cysteine Hydrochloride (sistein), sodium metabisulfit, asam tanat dan ekstrak teh hijau. Struktur kimia dan dosis dari masing-masing agen pereduksi juga dipaparkan pada tabel diatas.

Penggunaan L-cysteine Hydrochloride (sistein) dalam pembuatan roti berperan dalam meningkatkan ekstensibilitas adonan, sehingga roti menjadi lebih lunak dan elastis (Goesaert *et al.*, 2005). Hal ini dikarenakan sistein mampu memecah ikatan disulfide dan mengubah ikatan menjadi thiol sulfida. Ikatan thiol sulfida memberikan efek terhadap meningkatnya jaringan gluten sehingga berperan dalam mengendurkan adonan (Ravi, *et al.*, 2000). Begitu pula dengan penambahan sodium metabisulfit dalam pembuatan adonan roti berperan dalam memecah rantai gluten pada roti, sehingga adonan roti yang dihasilkan dapat elastis dengan waktu yang singkat. Namun, kelemahan dari penambahan sodium metabisulfit ini dapat merusak vitamin B1 (thiamin) (Pedersen *et al.*, 2005). Oleh karena itu, pembuatan roti yang divariasikan dengan penambahan biji-bijian yang mengandung vitamin B1 tidak akan memberikan efek positif karena vitamin rusak dikarenakan adanya sodium metabisulfit.

Asam tanat merupakan tannin yang terhidrolisis dari campuran gallotannin yang terdiri dari ester asam galat glukosa, 12-14. Asam tanat dapat didapatkan dari termasuk kulit pohon *oak*, *chestnut*, bakau, teh, serta kopi. Asam tanat terdiri dari glukosida yang masing-masingnya terdiri dari lima gugus hidroksil molekul glukosa diesterifikasi dengan molekul senyawa fenolik. Selain sebagai antioksidan, asam tanat juga dapat ditambahkan dalam adonan roti yang berperan sebagai *anti stalling* (Zhang *et al.*, 2010).

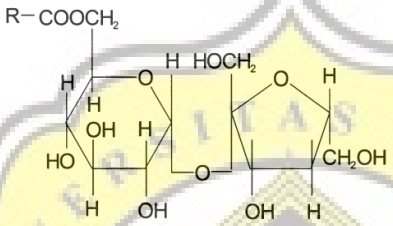
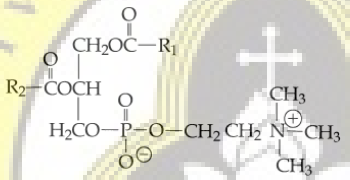
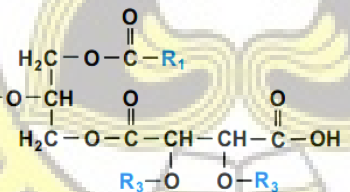
Agen pereduksi lain yang baru-baru ini ditambahkan dalam pembuatan roti adalah ekstrak teh hijau. Ekstrak teh hijau terbuat dari daun teh yang mengandung katekin dalam bentuk EGCG, GCG, ECG, dan CG. Penggunaan ekstrak teh hijau dalam pembuatan roti dapat berfungsi dalam penurunan tekstur dan *crumb* roti. Hal ini dikarenakan ekstrak teh hijau dapat bertindak dengan mengubah ikatan disulfida menjadi tiol dan membentuk katekin-tiol, sehingga dapat mengurangi viskoelastisitas dari adonan. Namun, penambahan ekstrak teh hijau pada adonan roti memiliki kelemahan yaitu dapat hilang dikarenakan degradasi termal dan interaksi dengan protein melalui ikatan hidrogen dan reaksi pertukaran SH atau SS (Ananingsih dan Zhou, 2012).

3.3.3. *Emulsifier*

Emulsifier atau biasa dikenal sebagai *surfactants* atau *anti stalling agents* adalah bahan berbasis lemak yang mengandung struktur kimia hidrofilik dan bagian hidrofobik yang berperan dalam meningkatkan kualitas tekstur. Hal ini dapat terjadi dikarenakan dalam pembuatan roti, *emulsifier* mampu mendorong terdistribusinya dispersi lemak yang mengandung sel-sel udara, sehingga memberikan rongga pada roti untuk perluasan gas. Dengan begitu, *emulsifier* dapat meningkatkan volume, menghasilkan tekstur yang lebih lembut (Lauridsen, 1976), serta menghasilkan *crumb* yang lembut saat proses pemanggangan roti. *Crumb* yang lembut ini dikarenakan *emulsifier* berperan sebagai *crumb softener* yang dapat mengurangi migrasi air dari gluten ke pati dengan membentuk

komplek dengan pati, dan diserap ke dalam permukaan pati (Stampfli dan Nersten, 1995). Beberapa *emulsifier* telah digunakan dalam beberapa studi pustaka yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 *Emulsifier*, Struktur dan Dosis Penggunaan dalam Adonan

Jenis Flour Treatment Agents	Struktur	Dosis	Max dosis	Pustaka
Ester Sukrosa		0.10 gram/kg	0.015 gram/kg	(Addo, <i>et al.</i> , 1995) (Punturug dan Netiwaranon, 2013)
Lesitin		2 gram/kg - 5 gram/kg	5 gram/kg	(Azizi, <i>et al.</i> , 2003) (ALC, 2009)
Diacetyl Tartaric Ester Monogliserida (DATEM)	 <p> $R_1 = \text{stearyl residue}$ $R_2 = \text{H or acetyl residue}$ $R_3 = \text{acetyl residue}$ </p>	0.15 gram/kg	3 gram/kg	(Goesaert <i>et al.</i> , 2005) (Gómez, <i>et al.</i> , 2004) (Azizi dan Rao, 2005)

Pada Tabel 3. dapat dilihat contoh *emulsifier* yang dapat digunakan dalam pembuatan roti, yaitu Ester Sukrosa, lesitin, dan *Diacetyl Tartaric Ester Monodiglisierida* (DATEM). Ester sukrosa dapat berperan sebagai *emulsifier* dikarenakan memiliki kelarutan air dan nilai *Hydrophilic-Lipophilic Balance* (HLB) yang tinggi. Sifat yang mudah larut dalam air inilah yang menjadikan ester sukrosa mampu membentuk emulsi minyak dalam air. Emulsi minyak dalam air yang dibentuk ini sejalan nilai *Hydrophilic-Lipophilic Balance* (HLB) yang tinggi.

Nilai *Hydrophilic - Lipophilic Balance* dari *emulsifier* menunjukkan tingkat hidrofilik atau lipofilik, yang ditentukan dengan mengukur nilai HLB pada beberapa daerah molekul. Pengemulsi dengan nilai HLB tinggi menunjukkan bahwa pengemulsi memiliki sifat yang larut dalam air, sedangkan pengemulsi dengan nilai HLB rendah menunjukkan bahwa pengemulsi memiliki sifat yang larut dalam minyak (Pierce dan Walker, 1987). HLB dari Ester Sukrosa adalah 7-13, nilai menunjukkan bahwa ester sukrosa memiliki HLB yang tinggi (Popper, *et al.*, 2006). Oleh karena itu, penambahan ester sukrosa pada roti dapat meningkatkan volume roti, retardasi *staling*, dan penyebaran pori-pori roti yang merata (Addo, *et al.*, 1995).

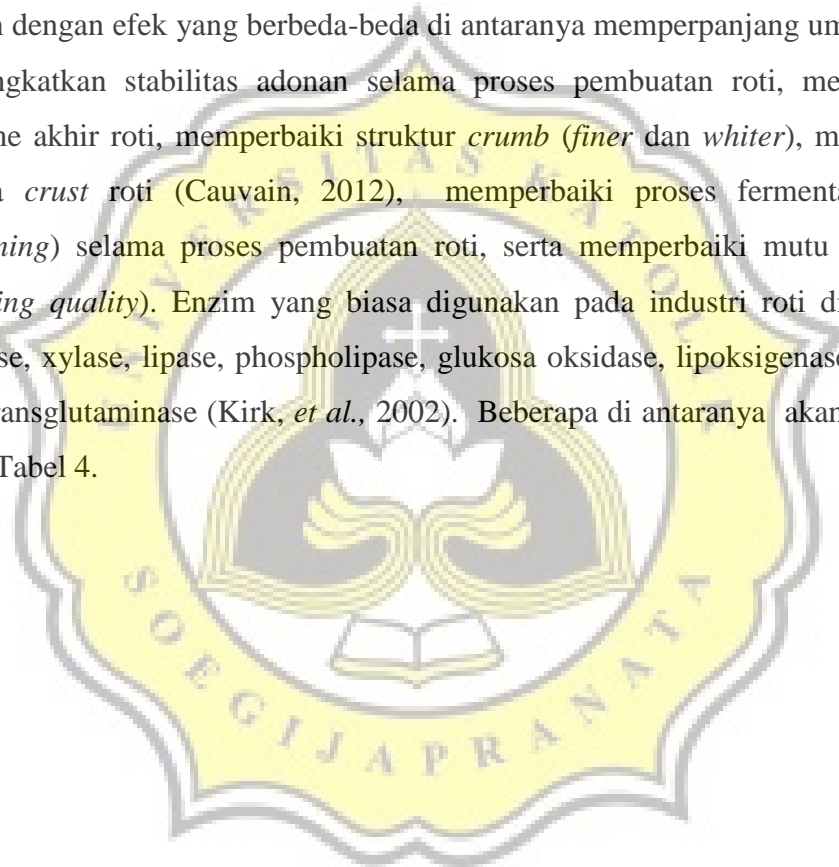
Emulsifier lain yang biasa ditambahkan adalah lesitin. Interaksi antara protein dan lesitin dapat menyebabkan penurunan aktivitas permukaan, perubahan struktur protein, serta penggabungan protein dengan *emulsifier* sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas molekul dan perubahan viskoelastisitas dari adonan (Nieuwenhuyzen dan Szuhaj, 1998). Hal ini diperkuat oleh Rodríguez *et al.* (2006) bahwa nilai HLB dari lecithin sebesar 8. Dengan adanya mekanisme tersebut, maka dapat menghasilkan roti yang dengan karakteristik volume yang besar, dispersi lemak yang merata serta memiliki umur simpan yang cukup panjang (Azizi, *et al.*, 2003).

Diacetyl Tartaric Ester Monodiglycerida (DATEM) memiliki nilai HLB sebesar 8-10, nilai ini menunjukkan bahwa DATEM juga memiliki sifat mudah larut dalam air. Oleh karena itu, DATEM bermanfaat dalam stabilitas pori, modifikasi pati dan mengikat air (Lauridsen, 1976). DATEM juga mampu bekerja sebagai penguat adonan selama proses *proofing*, penanganan mekanis dan saat distribusi, serta penguat adonan agar tidak mudah terpengaruh lingkungan luar (Goesaert *et al.*, 2005). Dengan begitu, produk akhir menunjukkan volume yang lebih besar dan peningkatan struktur *crumb* yang nyata (Gómez *et al.*, 2004). Meskipun DATEM dapat membentuk gel namun kinerja gel DATEM menurun selama

penyimpanan, sehingga DATEM membutuhkan penyimpanan dalam suhu dingin dikarenakan kecenderungannya untuk lengket (Azizi dan Rao, 2005).

3.3.4. Enzim

Dalam pembuatan roti, dikenal pula penambahan enzim yang berguna untuk meningkatkan kualitas adonan dan produk akhir roti. Terdapat berbagai macam enzim dengan efek yang berbeda-beda di antaranya memperpanjang umur simpan, meningkatkan stabilitas adonan selama proses pembuatan roti, meningkatkan volume akhir roti, memperbaiki struktur *crumb* (*finer* dan *whiter*), memperbaiki warna *crust* roti (Cauvain, 2012), memperbaiki proses fermentasi (*dough leavening*) selama proses pembuatan roti, serta memperbaiki mutu simpannya (*keeping quality*). Enzim yang biasa digunakan pada industri roti di antaranya amilase, xylase, lipase, phospholipase, glukosa oksidase, lipoksigenase, protease, dan transglutaminase (Kirk, *et al.*, 2002). Beberapa di antaranya akan dijelaskan pada Tabel 4.



Tabel 4 Enzim dan Pengaruhnya terhadap Adonan

Jenis Enzim	Anti Stalling	Memperbaiki crumb	Meningkatkan volume	Menguatkan adonan	Melunakkan adonan	Stabilitas	Pustaka
α -Amilase	✓	✓	✓			✓	(Maarel dan Veen 2002)
Protease					✓		(Gómez <i>et al.</i> 2004; Steffolani <i>et al.</i> 2008)
Pentosanase			✓				(Stojceska dan Ainsworth, 2008) (Jaekel, <i>et al.</i> , 2012)
Glucose oxidase			✓	✓			(Bonet <i>et al.</i> 2006;
Transglutaminase					✓		(Kuraishi, <i>et al.</i> , 2007)

Pada Tabel 4. dapat dilihat beberapa enzim yang digunakan dalam pembuatan roti, yaitu amilase, protease, pentosanase, transglutaminase, dan glucose oxidase. Enzim amilase termasuk sebagai enzim hidrolitik yang mampu mendegradasi pati menjadi senyawa dekstrin. Jumlah senyawa dekstrin yang cukup akan mampu menyeragamkan granula pati. Selain itu, senyawa dekstrin yang dihasilkan akan memberikan efek *anti stalling*, yakni dapat menghambat proses adonan menjadi terlalu keras akibat terbentuknya ikatan protein. Efek *anti stalling* ini memiliki dampak yang baik pada kualitas produk akhir roti volume adonan roti (*loaf*) menjadi lebih besar, serta lembut (Maarel dan Veen, 2002), selain itu mampu menghasilkan *crumb* yang halus, serta meningkatkan terjadinya reaksi mailard yang mampu menghasilkan warna *crust* yang diinginkan. Pada suhu yang stabil, penambahan enzim dengan dosis yang berlebihan akan menghasilkan jumlah dekstrin yang berlebihan sehingga roti yang dihasilkan akan terlalu lembek dan lengket. Oleh karena itu, penambahan enzim amilase lebih cocok ditambahkan pada adonan yang memerlukan degradasi pati yang besar. Sebaliknya, apabila dosis penambahan amilase ini terlalu sedikit maka tidak akan menghasilkan dekstrin dan tidak berpengaruh apa-apa terhadap reologi adonan dan kualitas produk akhir roti (Cauvain, 2012).

Begitu pula dengan penambahan enzim pentosanase berguna untuk memperkuat adonan, sehingga adonan tidak mudah lengket dan dapat mengembang lebih besar (Jaekel, *et al.*, 2012). Enzim pentosanase berperan dalam membelah rantai polisakarida sehingga mengurangi viskositas dan meningkatkan volume yang roti. Dalam hal ini pentosanase berperan dalam pengaturan penyerapan air, agar air tidak terserap kedalam roti dalam jumlah berlebih. Dengan adanya penambahan enzim pentosanase adonan roti akan semakin kuat, tidak mudah lengket dan dapat mengembang lebih besar (Jaekel *et al.*, 2012).

Enzim glucose oksidase merupakan enzim katalis atau pengoksidasi. Proses yang terjadi pada adonan dengan penambahan enzim glucose oksidase adalah oksidasi glukosa menjadi asam glukonat dengan bantuan oksigen atmosfer, serta mengubah

air menjadi hidrogen peroksida. Penambahan glucose oksidase dalam roti dapat menghasilkan perubahan penurunan volume roti dan peningkatan kekuatan adonan seiring penambahan dosisnya. Penambahan glucose oksidase memiliki efek yang berbeda pada volume roti dan tekstur bergantung pada tingkat yang digunakan (Bonet *et al.*, 2006).

Berbeda dengan enzim yang berperan untuk menguatkan adonan, terdapat enzim yang melunakkan adonan yaitu enzim protease dan enzim transglutaminase. Enzim protease termasuk sebagai enzim proteolitik, yakni enzim yang mampu menghidrolisis ikatan peptida serta memotong polimer molekul protein menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Molekul yang lebih sederhana ini mempengaruhi karakteristik fisik ikatan gluten yang dihasilkan (Gómez *et al.*, 2004). Molekul sederhana yang seragam dan banyak inilah yang memberikan karakteristik adonan yang lunak (Goesaert *et al.*, 2005). Begitu pula dengan enzim transglutaminase yang dapat membentuk ikatan silang terutama pada subunit glutenin, dan memodifikasi struktur protein (Steffolani, *et al.*, 2008), dengan membentuk ikatan kovalen antara rantai polipeptida baik dengan ikatan silang oksidatif gugus SH, ikatan silang residu tirosin atau reaksi asil-transfer antara residu asam amino (Joye *et al.*, 2009). Oleh karena itu, enzim transglutaminase berperan sebagai pembentuk tekstur dalam pengolahan roti dikarenakan *cross-linking* protein memberikan sifat viskoelastis yang baik (Kuraishi, *et al.*, 2007).

3.4 Pengujian Reologi Adonan

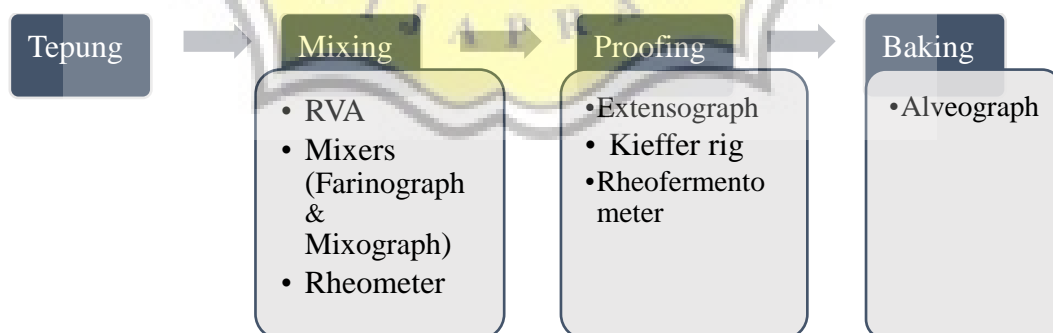
Dalam reologi adonan terdapat metode serta parameter yang diuji yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Metode Pengujian Reologi Adonan dan Parameternya

Metode	Parameter yang diuji
Rapid Visco Analyzer	Viskositas
Mixers: Farinograph dan mixograph.	Waktu pengadukan dan viskositas adonan
Rheometer	Elastisitas dan viskositas
Ekstensograph	Ekstensibilitas
Kieffer rig	Ekstensibilitas
Rheofermentometer	Volume
Alveograph	Ekstensibilitas biaxial

(Dobraszczyk dan Morgenstern, 2003)

Ketujuh metode yang disebutkan pada Tabel 5. merupakan metode empiris yang biasa dilakukan untuk produk adonan. Metode empiris merupakan pengujian deskriptif yang hasilnya tergantung pada jenis instrumen, ukuran dan kondisi spesifik sampel uji. Dalam pengujian, adonan mengalami berbagai perlakuan seperti tekanan dan regangan untuk menentukan sifat reologi adonan. Metode empiris biasa dilakukan dalam bentuk *single test*, hal inilah yang menjadi kelemahan metode empiris, yakni seringkali terdapat perbedaan antara *single test* dan kinerja aktual di pabrik (Dobraszczyk dan Morgenstern, 2003). Setiap metode pengujian yang dilakukan pada adonan dapat menginterpretasikan perubahan reologi adonan yang terjadi selama proses pembuatan roti yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengujian yang Menggambarkan Perubahan Reologi Adonan Selama Proses Pembuatan Roti.

3.4.1. *Rapid Visco Analyzer (RVA)*

Pengujian menggunakan *Rapid Visco Analyzer (RVA)* dilakukan untuk menentukan viskositas adonan dengan mengukur resistensi tepung dan gluten pada proses pengadukan. Prinsip pengujian RVA adalah pembuatan adonan dengan penambahan air panas yang kemudian dicampur dengan tepung sampel yang diuji sambil diaduk. Proses pemanasan akan menyebabkan pati yang terdapat pada tepung membengkak dan membuat larutan menjadi menggumpal. Semakin menggumpal tepung sampel maka tepung sampel akan memiliki resistensi yang lebih besar terhadap pengadukan dan memiliki viskositas puncak yang tinggi. Kelebihan pengujian menggunakan RVA adalah menggunakan sampel dalam jumlah yang sedikit dan waktu uji yang relatif singkat (Wheat Marketing Center, 2004).

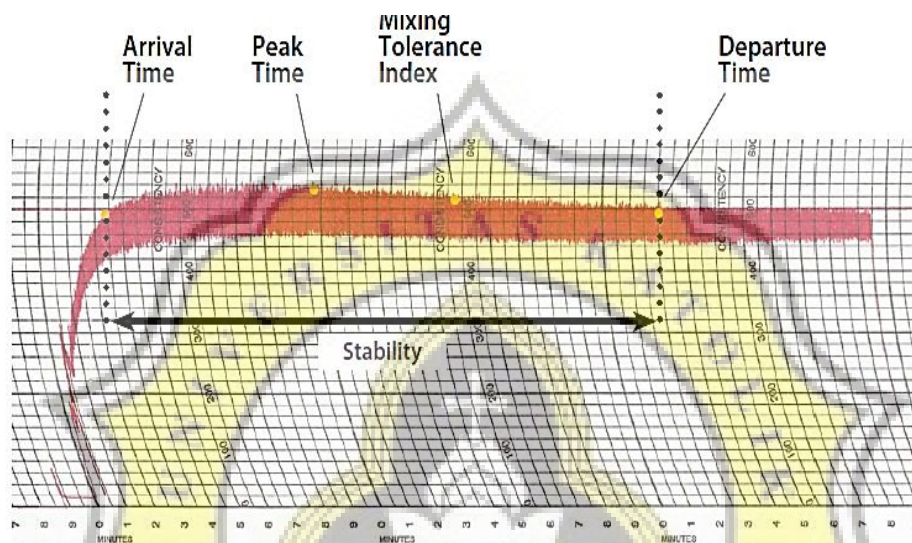
3.4.2. *Mixers : Farinograph dan Mixograph.*

Mixograph dan Farinograph merupakan pengujian dengan mengukur resistensi adonan pada proses pencampuran. Persamaan dari kedua pengujian ini adalah menentukan sifat adonan dan gluten dari tepung dengan mengukur resistensi adonan terhadap aksi pencampuran (Wheat Marketing Center, 2004). Namun perbedaan antara mixograph dan farinograph terletak pada hasil uji berupa kurva. Hasil uji mixograf meliputi penyerapan air (*water absorption*), waktu puncak (*peak time*), dan *mixing tolerance index*, sedangkan hasil uji farinograf meliputi penyerapan air (*water absorption*), *arrival time*, waktu stabilitas (*stability time*), waktu puncak (*peak time*), *departure time*, dan *mixing tolerance index*. Berdasarkan penjabaran dari masing-masing hasil uji, dapat diketahui bahwa pengujian dengan uji farinograph lebih lengkap dibandingkan uji mixograph, dan farinograph dianggap sebagai salah satu tes kualitas tepung yang paling umum digunakan di dunia (Wheat Marketing Center, 2004).

Hasil parameter dengan uji metode farinograph dan mixograph, yaitu:

- Nilai penyerapan air (*water absorption*) merupakan perkiraan jumlah air yang dibutuhkan untuk membuat adonan.
- Waktu puncak (*peak time*) menunjukkan waktu pengembangan adonan, mulai saat air ditambahkan hingga adonan mencapai konsistensi maksimal.
- *Arrival time* merupakan waktu saat bagian atas kurva pertama kali menyentuh garis 500-BU, yang menunjukkan tingkat hidrasi tepung. Waktu ini juga disebut sebagai waktu pengembangan atau waktu pengembangan, nilai ini mengindikasikan mengenai waktu pengembangan atau waktu pencampuran tepung (Wheat Marketing Center, 2004).
- *Departure time* adalah waktu ketika bagian atas kurva meninggalkan garis 500-BU. Waktu tersebut menunjukkan saat adonan mulai rusak, selain itu menunjukkan konsistensi adonan selama pemrosesan.
- Nilai waktu stabilitas (*stability time*) merupakan selisih antara *arrival time* dan *departure time*. Nilai ini menunjukkan waktu adonan dalam mempertahankan konsistensi maksimum, apabila waktu stabilitasnya tinggi maka menunjukkan bahwa kekuatan adonan baik.
- *Mixing Tolerance Index* merupakan selisih nilai BU pada bagian atas kurva pada waktu puncak dan nilai pada bagian atas kurva 5 menit setelah puncak. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kekuatan adonan saat pencampuran. Sehingga dengan pengujian melalui farinograph dan mixograph dapat memprediksi efek pengolahan (pencampuran), pengembangan adonan, toleransi terhadap *over mixing*, dan konsistensi adonan selama produksi (Wheat Marketing Center, 2004).

Dengan mengetahui berbagai parameter farinograf tersebut, pengujian dengan farinograf juga berguna untuk memprediksi karakteristik tekstur produk jadi. Dengan mengetahui sifat pencampuran adonan yang kuat dalam pengujian farinograf maka dapat mengindikasikan produk memiliki tekstur yang kuat (Wheat Marketing Center, 2004).



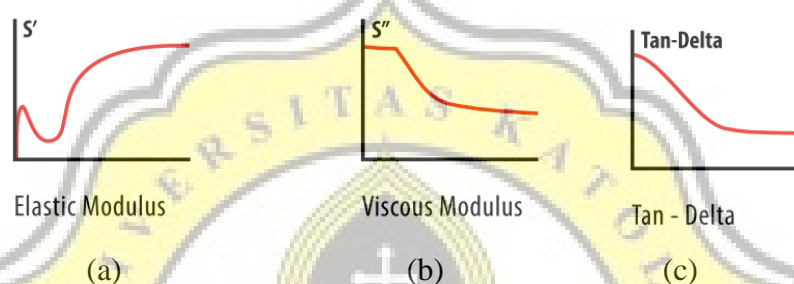
Gambar 5 Grafik Hasil Uji Farinograph pada Adonan Tepung

(Wheat Marketing Center, 2004)

3.4.3. Rheometer

Rheometer merupakan pengujian yang mencakup instrumen dengan prinsip kompresi, ekstensi, aliran kapiler, dan viscometers, namun rheometer juga dapat menguji kekuatan deformasi dan perubahan sifat fisik adonan yang digambarkan dalam kurva tegangan-regangan (*multiple-point measure*). Dalam pengujian pada industri roti, rheometer dapat digunakan untuk memantau konsistensi dan perubahan struktur dalam adonan selama proses pembuatan roti. Hasil dari pengujian rheometer berupa grafik yang menggambarkan *storage modulus* (G'), *loss modulus* (G''), dan *loss tangent* ($\tan \delta = G''/G'$). Nilai G' menggambarkan kekuatan adonan yang memiliki struktur seperti gel (*gel like structure*) serta

memiliki perilaku yang elastis (*elastic behavior*), sedangkan G'' menggambarkan kekuatan adonan yang memiliki struktur seperti cairan (*liquid-like structure*), serta memiliki perilaku yang viskos (*viscous behavior*) (Weipert, 1990). Piau dan Verdier (1999) menambahkan bahwa tidak mudah mengukur sifat adonan dikarenakan sifat adonan akan berubah terus menerus seiring berjalannya waktu. Perubahan ini didasari oleh faktor fisik dan kimiawi (reaksi dari air, reaksi antar komponen, reaksi enzimatik, serta tekanan yang diinduksi selama pencampuran).

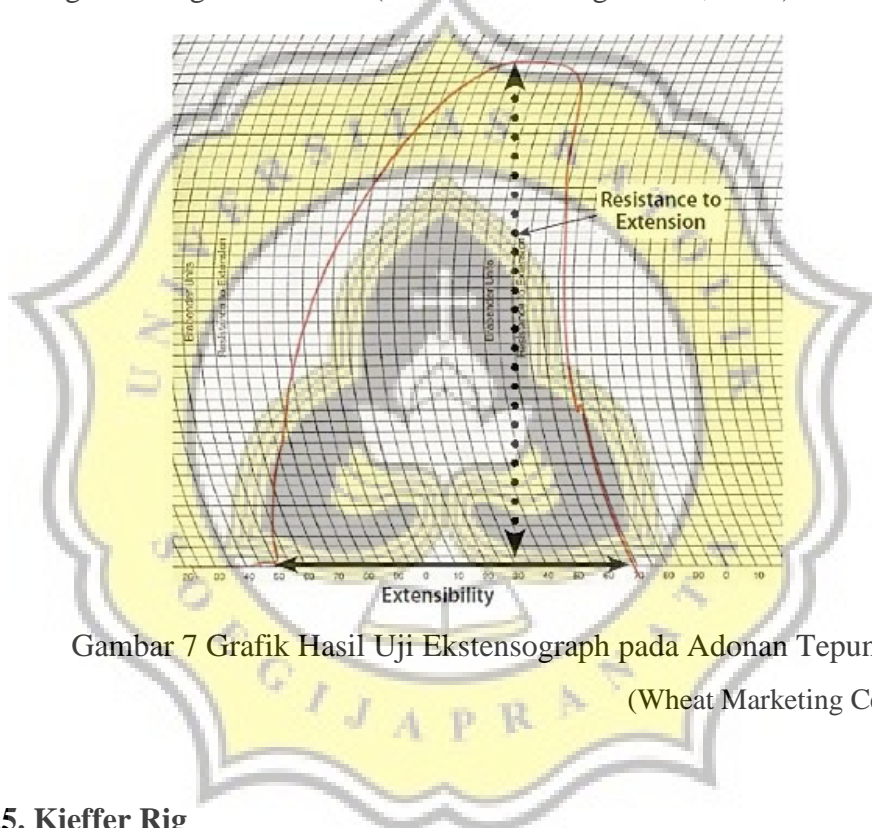


Gambar 6 Grafik Hasil Uji Rheometer pada Adonan Tepung
 (a) *Storage modulus*; (b) *Viscous modulus*; (c) *Loss tangent*
 (Werkstoffprüfmaschinen, 2011)

3.4.4. Ekstensograph

Ekstensograph merupakan pengujian dengan mengukur ketahanan adonan terhadap peregangan setelah adonan diperam atau *resting*. Ekstensograph umumnya dilakukan setelah uji Farinograph, karena dengan pengujian farinograph terlebih dahulu dapat diketahui *water absorption* dari adonan. Pengujian Ekstensograph dilengkapi dengan komponen-komponen alat berupa perangkat cetakan khusus untuk membentuk adonan menjadi silinder yang kemudian ditempatkan secara horizontal pada *humidified chamber*. Setelah beberapa waktu, adonan diletakkan pada *balance arm* untuk diuji. Kemudian *stretching hook* akan bergerak menekan kebawah dengan kecepatan konstan hingga adonan terputus. Ketahanan gluten pada sampel saat di tarik oleh *hook* dicatat pada grafik (Wheat Marketing Center, 2004).

Data yang dihasilkan akan berupa grafik, yang diketahui nilai R, nilai E dan *ratio number*. Nilai R merupakan kekuatan adonan terhadap penarikan, yang terbaca sebagai tinggi maksimum kurva. Sedangkan, nilai E merupakan eskstensibilitas adonan, yang terbaca sebagai panjang kurva. Serta ratio number menunjukkan rasio antara kekuatan adonan (ketahanan terhadap ekstensi) dan sejauh mana adonan dapat diregangkan sebelum adonan pecah. Adonan dengan kandungan gluten yang tinggi memiliki ketahanan terhadap penarikan yang lebih tinggi dibanding adonan gluten rendah (Wheat Marketing Center, 2004).

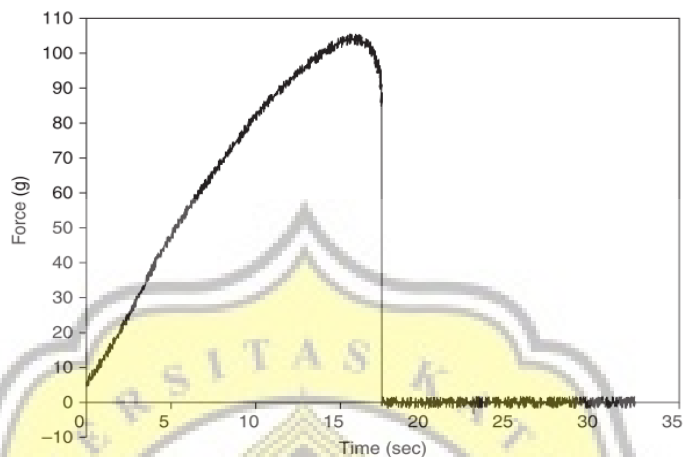


Gambar 7 Grafik Hasil Uji Ekstensograph pada Adonan Tepung
(Wheat Marketing Center, 2004)

3.4.5. Kieffer Rig

Pengujian dengan menggunakan Kieffer rig serupa dengan konsep pengujian ekstensograf, pengujian ekstensograf dilakukan dengan menarik adonan menggunakan *hook*. Namun yang berbeda, pada pengujian kieffer rig adonan diuji dengan menarik adonan keatas menggunakan *hook* (Zaidel, *et al.*, 2010). Menurut Tronsmo *et al.* (2003), dalam membandingkan sifat reologi adonan dan gluten, pengujian penarikan adonan secara uniaksial menggunakan rig Kieffer dapat menunjukkan resistansi maksimum yang lebih tinggi terhadap ekstensi (Rmax)

dan ekstensibilitas total (Ext) adonan, dibandingkan penarikan kebawah dengan menggunakan ekstensograph.



Gambar 8 Grafik Hasil Uji Kieffer Rig pada Adonan Tepung

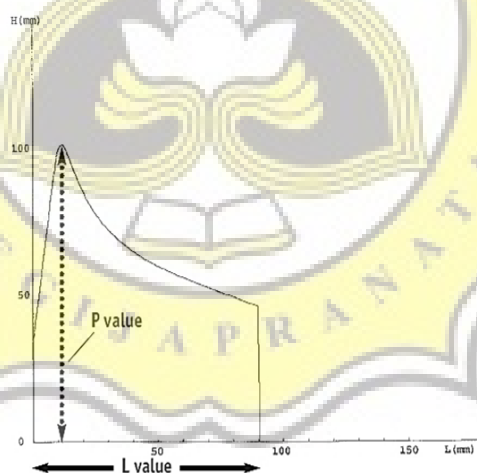
(Wheat Marketing Center, 2004)

3.4.6. Rheofermentometer

Rheofermentometer adalah pengukuran produksi gas dan pengembangan adonan. Prinsip rheofermentometer adalah dengan menganalisis perlakuan fermentasi adonan tepung terigu pada waktu fermentasi yang berbeda (60, 120, dan 180 menit). Volume gas karbondioksida yang diproduksi (ml / g), ketinggian adonan (mm) pada kondisi di bawah tekanan 1,25 kg dihitung secara otomatis (Codină, *et al.*, 2013), T1 merupakan waktu maksimum kurva pengembangan adonan. Kemudian diperoleh kurva pada *software* rheofermentometer (Hager *et al.*, 2012). Namun kekurangan dari pengujian rheofermentometer ini adalah tidak mengukur apabila terdapat faktor lain yang mempengaruhi fermentasi adonan, contohnya tekanan, deformasi, serta aerasi adonan (Dobraszczyk dan Morgenstern, 2003).

3.4.7. Alveograph

Pengujian menggunakan alveograph dilakukan untuk mengetahui kekuatan gluten adonan dengan mengukur gaya yang dibutuhkan untuk meniup dan memecahkan gelembung adonan. Prinsip kerja alat Alveograph Chopin adalah memompa adonan dengan tekanan udara hingga adonan membentuk gelembung hingga kemudian terpecah. Pengujian alveograph dilakukan dengan mengukur dan mencatat gaya diperlukan untuk meniup dan memecahkan gelembung adonan. Hasil yang diperoleh dari alveograph berupa kurva dengan nilai P, nilai L, dan nilai W. Nilai P merupakan kekuatan yang dibutuhkan untuk meniup gelembung adonan, yang ditunjukkan dengan tinggi kurva maksimum. Nilai L merupakan ekstensibilitas adonan sebelum gelembung adonan terpecah, yang ditunjukkan dengan panjang pada kurva. Serta nilai W merupakan kombinasi kekuatan dan ekstensibilitas adonan, yang ditunjukkan dengan area di bawah kurva (Wheat Marketing Center, 2004).



Gambar 9 Grafik Hasil Uji Alveograph pada Adonan Tepung

(Wheat Marketing Center, 2004)

3.5. Kualitas Fisik Roti

Sifat reologi adonan yang baik dapat menghasilkan kualitas akhir produk roti yang baik pula. Selain kualitas adonan, penggunaan tepung dalam pembuatan roti juga

dapat mempengaruhi kualitas roti (Mondal dan Datta, 2008). Kualitas akhir produk roti berkaitan dengan volume, serta atribut-atribut yang mempengaruhi tekstur (porositas, *bread crumbs*, dan *crust*) (Dowell *et al.*, 2008).

Volume merupakan kemampuan roti mengalami penambahan ukuran sebelum dan setelah proses pemanggangan. Volume roti diketahui berkorelasi positif dengan kandungan protein. Kandungan protein tinggi tepung sebanding dengan tingginya kemampuan gluten yang membentuk adonan yang elastisitas (seperti yang ditunjukkan oleh rasio P/L rendah). Sebaliknya, roti dengan volume spesifik rendah memiliki kekuatan gluten sangat rendah (Elgeti *et al.*, 2014).

Tekstur adalah komponen yang dinilai berdasarkan sentuhan yang terdiri dari dua komponen: somestesis (respons melalui sentuhan kulit) dan kinestesis (respons yang diterima melalui aktivitas otot dan tendon (Kilcast, 2004). Menurut Miñarro *et al.* (2012), terdapat korelasi negatif antara tekstur (*firmness*) dan volume tertentu. Apabila tekstur roti keras maka volume roti rendah, hal ini dikarenakan tidak adanya pori yang cukup untuk membentuk tekstur yang lunak. Rózyło dan Laskowski (2011) juga mengungkapkan bahwa tekstur dari roti dipengaruhi oleh porositas.

Porositas merupakan rongga yang terdapat dalam roti. Menurut Tronsmo *et al.* (2003), porositas roti ditentukan oleh sifat reologi adonan. Adonan yang berasal dari tepung protein tinggi akan memiliki struktur yang kuat dan kurang elastis, dikarenakan hasil interaksi antarmolekul yang sangat kuat. Sehingga roti dengan adonan tepung protein tinggi setelah dipanggang akan menghasilkan tekstur yang kokoh dan pori yang padat. Selain jenis tepung yang digunakan dalam pembuatan roti, struktur pori juga bergantung pada beberapa faktor, diantaranya proses *mixing*, proses fermentasi, proses *moulding*, serta pemanggangan. Oleh karena itu, proses-proses tersebut harus memerhatikan pembentukan pori. Pori yang memiliki ukuran kecil dan seragam yang mengindikasikan kualitas roti yang baik sehingga menghasilkan *bread crumbs* yang halus. Selain porositas, elastisitas adonan juga

mempengaruhi tekstur. Elastisitas adonan menggambarkan pemulihan *crumb* dari proses deformasi. Semakin rendah elastisitas dari adonan akan menghasilkan tekstur yang lebih keras dikarenakan kandungan gluten yang rendah.

3.6 Pengujian Kualitas Roti

3.6.1. Texture Profile Analysis (*Texture Analyzer*)

Pengujian kualitas roti biasa dilakukan menggunakan alat *texture analyzer*. Pada umumnya, *texture analyzer* berguna dalam menilai *hardness* (kekerasan), *springiness* (tingkat pemulihan roti setelah digigit), *cohesiveness* (ukuran kekuatan ikatan molekul roti), dan *chewiness* (parameter gabungan antara *firmness*, ketegasan dan *springiness*) dari roti. Terdapat banyak tipe yang biasa digunakan dalam menguji kualitas roti, salah satunya TA.XT2 *Texture Analyzer* (Cauvain, 2012). Menurut Kadan *et al.* (2001) menambahkan selain menguji parameter diatas, TA.XT2 *Texture Analyzer* juga dapat menguji kelembutan dari roti (*softness*). Metode pengujian dari tekstur roti adalah *Texture Analyzer*. Analisis tekstur pada roti dilakukan pada tiga irisan yang diambil dari tengah masing-masing roti (Rózyło dan Laskowski, 2011).

3.6.2. Image pro plus

Image pro plus merupakan *software* yang dapat mengukur seberapa besar pengembangan dari roti lewat pengukuran gas (*cross section*) dalam sampel adonan. Pengukuran gas adonan berdasarkan kontras antara dua fase (gas dan matriks padat) dengan menghitung panjang nilai pixel (m^2) yang kemudian dikonversi ke jarak (units), satuan pixel per m^2 adalah 2.675×10^{12} unit. Untuk menghasilkan distribusi ukuran gas, frekuensi ukuran gas dikelompokkan ke dalam ukuran $10 \mu m$, kemudian ukuran gelembung dapat diamati (Upadhyay, *et al.*, 2012). Dengan menggunakan alat ini, dapat diketahui area, berat, tinggi (pengembangan) dari roti.

3.6.3. *Volscan Profiler*

Pengujian dengan *Volscan Profiler* berfungsi dalam menentukan *bake loss* dan volume spesifik pengembangan roti (Hager *et al.*, 2012). *Volscan profiler* ini dapat mengevaluasi keseragaman dari kualitas akhir roti. Dengan mengetahui kualitas akhir roti maka dapat diketahui densitas *bread crumb* dan kekuatan glutennya, misalnya volume yang rendah mengindikasikan rendahnya jumlah protein yang digunakan atau rendahnya enzim yang terlibat dalam pembuatan roti. *Volscan profiler* mampu mengukur roti atau produk lain dengan dimensi 660 mm dan diameter 280 mm. Roti diletakan pada alat dan dipancarkan laser yang mampu memproyeksikan roti dalam bentuk tiga dimensi dalam *software volscan profiler* (Yumda, 2011).

