

## 4. PEMBAHASAN

### 4.1. Karakteristik Kimia Tepung Jagung Fermentasi *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3

Tepung jagung merupakan salah satu bahan pangan yang bisa dikembangkan dengan bantuan proses fermentasi. Jenis fermentasi yang terjadi adalah fermentasi asam laktat karena bahan utama yang digunakan dalam proses fermentasi ini adalah gula (karbohidrat) (Manfaati, 2010). Karbohidrat dipecah menjadi gula sederhana dan diubah menjadi asam laktat sehingga dapat mempengaruhi karakteristik dan sifat fungsionalitas dari tepung jagung fermentasi (Nurdyansyah & Umar, 2018). Fermentasi memerlukan bantuan bakteri untuk dapat menghasilkan produk yang lebih unggul. Bakteri yang biasa digunakan adalah bakteri asam laktat yang dapat menurunkan pH karena memproduksi asam laktat (Trinanda, 2015).

Pada penelitian ini dilakukan fermentasi tepung jagung dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3. BAL ini memiliki sifat probiotik dan dapat menghasilkan bakteriosin sehingga mampu menghambat bakteri patogen (Hartajanie *et al.*, 2016). Selain itu, bakteri ini dapat tumbuh pada kisaran pH rendah 4-5 (LeBlanc, 2004). Maka, tepung pada penelitian ini memiliki umur simpan yang panjang karena memiliki kondisi asam yang berasal dari asam laktat BAL yang berguna dalam menghambat mikroorganisme patogen (Kartikasari *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil dari Gambar 6 dan 7 dapat diketahui bahwa tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 maupun *Lactobacillus fermentum* LLB3 memiliki penampakan yang hampir mirip dari segi warna dan tekstur yaitu memiliki warna putih dan tekstur halus. Hal itu terjadi karena proses fermentasi dapat menghilangkan komponen penimbul warna (Edam, 2017). Sehingga tepung jagung fermentasi memiliki warna putih jika dilihat secara kasat mata.

Fermentasi tepung jagung baik dengan bakteri *Lactobacillus pentosus* LLA18 maupun *Lactobacillus fermentum* LLB3 dapat merubah karakter kimia yang ada pada tepung jagung (Tabel 1). Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa semakin lama waktu

fermentasi, maka terjadi peningkatan kadar protein. Kedua bakteri yang digunakan dalam fermentasi sama-sama mengalami peningkatan kadar protein selama fermentasi. Protein meningkat karena akumulasi biomassa mikroba dan sudah tersedia di dalam tepung jagung sebelum difermentasi (Day *et al.*, 2018). Hal ini terjadi karena selama fermentasi, bakteri tetap ada dan bercampur dengan tepung sehingga akan menghasilkan protein *Microbial Biomass Product* (MBP) (Kartikasari *et al.*, 2016). Hal tersebut dapat diketahui dengan adanya penurunan kadar amilosa pada tepung jagung fermentasi (Tabel 1 dan Gambar 12), sehingga menandai adanya aktivitas pada pertumbuhan bakteri.

Menurut Corsetti & Settani (2007), proses fermentasi dapat merombak pati pada tepung menjadi asam laktat sehingga dapat menurunkan pH tepung jagung fermentasi. Protein yang terkandung dalam tepung mengalami hidrolisis menjadi asam amino sehingga kandungan protein menjadi meningkat (Aini *et al.*, 2016). Namun pada tepung jagung yang difermentasi dengan *L. pentosus* LLA18 selama 72 jam mengalami penurunan kadar protein dari 9,24% hingga 8,46%. Peningkatan terjadi kembali pada waktu fermentasi selama 96 jam sebesar 9,65% (Tabel 1 dan Gambar 9). Hal tersebut terjadi karena selama proses fermentasi, juga terdapat pergantian aquades steril sehingga dimungkinkan bakteri ikut ke dalam air rendaman yang diganti dengan aquades steril yang baru. Aquades steril diganti setiap 24 jam sekali sehingga sedikit mempengaruhi hasil analisis pada tepung jagung fermentasi seperti kadar protein (Tabel 1 dan Gambar 9). Penggantian aquades steril setiap 24 jam ini bertujuan untuk mencegah tumbuhnya jamur atau kapang selama proses fermentasi terjadi. Jamur atau kapang dapat tumbuh pada pH asam dan dapat melakukan metabolisme, menghasilkan spora dan enzim (Amelia, 2018).

Selama proses fermentasi, bakteri memiliki aktivitas kerja baik karena ditandai dengan adanya penurunan pH pada tepung jagung fermentasi (Tabel 1). Pada fermentasi tepung jagung dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 memiliki pH yang lebih rendah dibandingkan dengan fermentasi tepung jagung yang menggunakan *Lactobacillus fermentum* LLB3. Sehingga hal ini sesuai dengan pendapat LeBlanc *et al.* (2004), bahwa bakteri ini dapat tumbuh pada kisaran pH rendah. Penurunan pH pada tepung jagung fermentasi terjadi karena proses degradasi amilosa menjadi gula sederhana yang digunakan BAL sebagai sumber nutrisi sehingga dapat melakukan metabolisme (Edam,

2017). Proses fermentasi akan menghasilkan asam laktat sebagai hasil utama sehingga dapat merubah pH menjadi lebih rendah. Penurunan pH sangat berpengaruh terhadap karakteristik tepung jagung fermentasi yaitu dapat mengubah sifat kimia, fisik, dan fungsional tepung jagung (Aini *et al.*, 2016).

Berdasarkan kadar lemak yang dihasilkan pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa fermentasi tepung jagung dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3 mengalami penurunan. Namun mengalami peningkatan pada tepung jagung yang difermentasi dengan *L. pentosus* LLA18 selama 120 jam sebesar 1% (Tabel 1). Hal ini terjadi karena dalam proses fermentasi digunakan bakteri yang memiliki sifat lipolitik sehingga dapat memecah lemak dan menggunakan lemak sebagai sumber energi (Putri, 2017). Selain itu terdapat aktivitas memecah pati oleh enzim amilase ekstraseluler sehingga lemak dan komponen lain bercampur dengan air fermentasi (Kartikasari *et al.*, 2016). Tepung jagung dalam penelitian ini di fermentasi dengan cara perendaman, maka dapat mempengaruhi kandungan pada tepung yang akan dihasilkan. Dengan cara ini, maka akan ada beberapa komponen yang akan terbawa di dalam air rendaman fermentasi seperti lemak yang memiliki densitas lebih rendah dibanding dengan air. Hal ini sesuai juga dengan penelitian Richana *et al.* (2010), bahwa lemak akan berkurang karena ikut tertinggal dalam air rendaman tepung. Kadar lemak serta komposisi asam lemaknya dipengaruhi oleh faktor agronomi maupun genetik (Lalujan *et al.*, 2017). Faktor agronomi yang mempengaruhi kualitas jagung adalah iklim dengan suhu 23°C-27°C dan kondisi tanah yang subur dengan pH 5,5-7,2 (Marzuki, 2008). Namun faktor genetik sangat penting pengaruhnya dalam komposisi gizi jagung (Suarni *et al.*, 2016).

Amilosa adalah salah satu komponen pati yang memiliki rantai polimer linier yang berikatan dengan  $\alpha$ -(1-4)-D-glukosa. Kandungan amilosa pada tepung memiliki kontribusi untuk membentuk karakteristik pada produk yang dihasilkan (Indrianti *et al.*, 2013). Kadar amilosa yang dihasilkan pada penelitian ini mengalami penurunan seiring dengan lamanya waktu fermentasi (Tabel 1). Namun kadar amilosa yang dihasilkan oleh tepung yang difermentasi dengan *L. fermentum* LLB3 lebih tinggi dibandingkan dengan *L. pentosus* LLA18 (Gambar 12). Lamanya waktu fermentasi akan berpengaruh terhadap kadar amilosa karena terdapat aktivitas bakteri yang bersifat amilolitik sehingga dapat

memecah pati menjadi senyawa sederhana (Aini *et al.*, 2016). Kadar amilosa memiliki hubungan dengan pH dimana selama proses fermentasi berlangsung, akan menurunkan pH dan menurunkan kadar amilosa (Tabel 3). Menurut Kartikasari *et al.* (2016), semakin lama proses fermentasi maka dapat memotong ikatan rantai lurus pada amilosa sehingga cenderung ikut larut di dalam air rendaman fermentasi. Sehingga kadar amilosa pada tepung jagung yang difermentasi dengan waktu yang lebih lama akan cenderung menurun.

Menurut Wahyu (2010), *L. pentosus* dapat menghasilkan asam laktat pada proses fermentasi ribosa, rafinosa, xilosa, dan glukosa. Sehingga gula yang ada pada media fermentasi akan dipakai oleh bakteri asam laktat untuk menghasilkan asam laktat dan energi dalam proses glikolisis (Nurdyansyah & Umar, 2018). Dalam penelitian ini, dapat diketahui bahwa semakin lama waktu fermentasi pada tepung jagung dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3 dapat mengalami penurunan pada kadar gula pereduksi (Tabel 1 dan Gambar 11). Menurut Richana *et al.* (2010), selama proses fermentasi dengan cara perendaman akan terjadi pemecahan pati menjadi gula pereduksi. Sehingga kandungan gula pereduksi dapat meningkat. Proses fermentasi dapat merombak pati menjadi komponen sederhana seperti gula pereduksi, asam laktat, dan komponen sederhana lainnya (Aini *et al.*, 2016). Gula yang terbentuk dijadikan sebagai sumber energi bagi aktivitas dan pertumbuhan bakteri (Kartikasari *et al.*, 2016). Sehingga kandungan gula akan tetap tersedia selama proses fermentasi berlangsung. Maka kadar gula pereduksi memiliki hubungan yang kuat dengan pH dan kadar protein dalam proses fermentasi (Tabel 3). Hal ini disebabkan karena selama proses fermentasi, gula akan digunakan oleh bakteri dalam aktivitasnya sehingga akan meningkatkan kadar protein dari pertumbuhan jumlah bakteri yang meningkat.

Tepung jagung harus memenuhi syarat standar mutu SNI yang mengandung kadar air maksimal 10% (BSN, 1995 dalam Dewi, 2011). Dapat dilihat pada Tabel 1 bahwa seluruh tepung yang difermentasi dengan 2 jenis bakteri berbeda memiliki kadar air berkisar antara 7,34%-9,27%. Sehingga seluruh sampel tepung hasil fermentasi dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3 sudah sesuai dengan standar mutu SNI. Tepung jagung sebagai bahan baku dalam proses pembuatan makanan

harus dapat disimpan dengan baik dan tahan lama. Hal itu bisa ditentukan berdasarkan dari kadar air dari bahan itu sendiri. Jika kadar air sudah sesuai dengan standar mutu SNI maka tepung jagung fermentasi ini bisa disimpan dalam jangka waktu lama. Menurut Richana *et al.* (2010), tepung terigu dengan kandungan kadar air 13-15% memiliki umur simpan selama 1 tahun. Sehingga tepung jagung fermentasi dalam penelitian ini mampu disimpan dalam jangka waktu lebih dari 1 tahun.

Selain kadar air, syarat standar mutu SNI pada tepung jagung adalah memiliki kadar abu maksimal 1,5% (BSN, 1995 dalam Dewi, 2011). Kadar abu menunjukkan jumlah mineral dan bahan anorganik pada suatu bahan pangan. Pada Tabel 1 dan Gambar 10, bahwa semakin lama waktu fermentasi dapat menurunkan kadar abu pada tepung jagung. Hal ini terjadi karena mineral yang terkandung pada tepung jagung ikut terbawa di dalam air rendaman fermentasi, sehingga kandungan kadar abu pada tepung jagung akan menurun. Proses fermentasi dengan metode perendaman dapat menyebabkan *leaching* pada beberapa mineral yang terkandung pada tepung jagung ke air rendaman sehingga mempengaruhi jumlah kadar abu yang terdapat pada tepung jagung yang sudah difermentasi (Aprilliani *et al.*, 2013).

#### **4.2. Karakteristik Fisik Tepung Jagung Fermentasi *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3**

Fermentasi tepung jagung dengan bantuan *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3 menghasilkan tepung berwarna putih (Gambar 6 dan 7). Hal ini dapat dilihat dari hasil derajat putih tepung yang sudah difermentasi memiliki nilai berkisar 68,06-77,78% (Tabel 2). Tepung yang difermentasi dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 memiliki nilai derajat putih yang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3. Nilai derajat putih dipengaruhi oleh kandungan protein pada tepung fermentasi (Tabel 3), semakin tinggi kadar protein maka akan menghasilkan derajat putih yang rendah (Wahjuningsih, 2011 dalam Kinanti *et al.*, 2014). Pada penelitian ini, proses fermentasi pada tepung jagung memiliki kadar protein yang meningkat sehingga dapat berpengaruh terhadap nilai derajat putih. Derajat putih pada tepung jagung yang difermentasi dengan

2 jenis bakteri berbeda justru memiliki hasil yang lebih rendah dibandingkan dengan tepung jagung yang tidak difermentasi (0 jam) (Tabel 2). Hal ini terjadi karena setelah difermentasi, tepung dikeringkan dengan oven bersuhu 60°C selama 24 jam (Tuahta *et al.*, 2014). Proses tersebut dilakukan agar tepung memiliki sifat yang kering dengan kadar air yang rendah yaitu maksimal 10 % (BSN, 1995 dalam Dewi, 2011), sehingga memiliki umur simpan yang panjang. Proses pengeringan dengan oven ini menimbulkan reaksi *maillard* sehingga menghasilkan tepung jagung dengan derajat putih yang lebih rendah. Reaksi *maillard* dapat terjadi karena tepung mengandung gula pereduksi, senyawa gugus NH<sub>2</sub> seperti asam amino, protein, peptide dan mengalami proses pemanasan (Edam, 2017). Reaksi *maillard* dapat terjadi jika tepung dipanaskan pada suhu 50-60°C dan akan mengalami perubahan warna menjadi kecoklatan (Hayati *et al.*, 2011). Sehingga kemungkinan terjadi reaksi *maillard* pada tepung jagung ini namun, hasil dari penelitian ini memiliki derajat putih yang masih dapat diterima sehingga dapat digunakan untuk membuat produk roti.

Densitas kamba merupakan salah satu sifat fisik yang penting untuk mengetahui porositas suatu benda solid. Densitas kamba ditentukan untuk dapat mengatur proses penyimpanan barang, jumlah volume, jenis transportasi dan jenis pengemasan pada bahan pangan (Atmaka & Bambang, 2010). Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa hasil densitas kamba yang dimiliki oleh tepung jagung fermentasi baik dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3 memiliki hasil yang cenderung stabil berkisar antara 0,80-0,82 g/ml (Tabel 2).

Tepung jagung yang difermentasi akan mengalami perombakan granula pati menjadi bentuk yang lebih sederhana karena aktivitas enzim selulolitik yang dihasilkan oleh *Lactobacillus*, sehingga granula pati terhidrolisis dan menyebabkan granula berlubang (Kartikasari *et al.*, 2016). Selain itu, ikatan pati seperti amilosa dan amilopektin juga melemah sehingga didominasi dengan daerah amorphous pada granula pati (Kuswandari *et al.*, 2013). Tepung jagung yang sudah difermentasi juga dikeringkan dan dihaluskan kembali sehingga memiliki densitas kamba yang rendah.

Sifat fungsional pada tepung modifikasi ini dapat diketahui berdasarkan tingkat kelarutan pada granula pati tepung. Nilai kelarutan menunjukkan jumlah pati yang dapat larut dengan diukur menggunakan cara pengeringan dan penimbangan larutan supernatan (Kurniawan *et al.*, 2017). Berdasarkan hasil penelitian ini, nilai kelarutan pada tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 lebih rendah dibandingkan dengan tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 (Tabel 2). Nilai tertinggi dimiliki oleh tepung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 48 jam sebesar 15,13%. Proses fermentasi dapat mempengaruhi nilai kelarutan karena selama fermentasi, pati pada tepung jagung dirombak menjadi senyawa sederhana seperti gula pereduksi sehingga lebih mudah larut air (Kurniawan *et al.*, 2017). Hal ini didukung dari hasil korelasi sifat kelarutan yang berbanding terbalik dengan kadar lemak (Tabel 3). Kadar lemak yang tinggi, maka tepung akan susah larut ke dalam air.

Selain kelarutan, sifat fisik fungsional yang harus diperhatikan pada tepung jagung yang difermentasi yaitu dengan menentukan nilai *swelling volume*. *Swelling volume* menunjukkan adanya pembengkakan volume granula pati di dalam air karena adanya proses gelatinasi (Parwiyanti *et al.*, 2015). Berdasarkan hasil pada Tabel 2., dapat diketahui bahwa nilai *swelling volume* pada tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 mengalami penurunan seiring berjalannya waktu fermentasi, tetapi mengalami kenaikan pada tepung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3. *Swelling volume* sama seperti kelarutan yang dapat terjadi karena adanya perombakan granula pati sehingga pati menjadi berlubang dan mudah dimasuki air, hal itu dapat membuat pati mengembang (Kurniawan *et al.*, 2017). Granula pati yang sudah berlubang, dapat memudahkan rantai amilosa putus dan keluar dan menyebabkan air dapat mudah masuk sehingga *swelling volume* berbanding terbalik dengan nilai kadar amilosa (Tabel 3). Enzim yang dihasilkan oleh *Lactobacillus* akan membuat pati menjadi *porous* dan mudah mengembang ketika dipanaskan. Sehingga tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 memiliki sifat fungsional kelarutan dan *swelling volume* yang lebih baik.

Proses perombakan pati menjadi senyawa sederhana oleh enzim selama proses fermentasi juga berpengaruh pada nilai kapasitas penyerapan air. Pati yang terpecah dapat mudah menyerap air sehingga hal tersebut yang dapat membuat granula pati membengkak (Dewi *et al.*, 2012). Hal ini dapat dilihat dengan menentukan kapasitas penyerapan air pada tepung jagung fermentasi. Tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 (Tabel 2). Hal ini terjadi karena tepung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 juga memiliki nilai kelarutan dan swelling volume yang lebih tinggi. Sehingga selama proses fermentasi, tepung mengalami perombakan pati. Pati dengan rantai panjang dihidrolisis menjadi pati dengan ukuran yang lebih kecil sehingga air dapat mudah masuk dan terserap ke dalam pati (Dewi *et al.*, 2012). Selain itu, dengan meningkatnya kapasitas penyerapan air, maka kadar amilosa juga meningkat (Aprilliani *et al.*, 2013). Hal ini sesuai dengan Tabel 1, dimana tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 juga memiliki kadar amilosa yang tinggi.

Tepung jagung yang sudah difermentasi memiliki nilai rendemen yang cenderung tidak berbeda jauh antara yang difermentasi dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3 yaitu berkisar 61,15%-61,21% (Tabel 2). Nilai rendemen dapat berkurang karena dalam proses pembuatan tepung jagung terdapat bagian pada biji yang dihilangkan seperti pericarp, lembaga, dan tip cap. Bagian tersebut dihilangkan agar tepung jagung memiliki tekstur yang halus. Jumlah rendemen dari tepung yang tidak difermentasi memiliki nilai lebih tinggi yaitu sebesar 61,59%. Hal ini terjadi karena dalam proses fermentasi perendaman tepung, terjadi pergantian aquades steril setiap 24 jam sehingga dapat mengakibatkan beberapa butir tepung ikut ke dalam air rendaman yang terbuang. Selama proses fermentasi terjadi pemecahan pati yang dapat menyebabkan cairan masuk ke dalam granula pati. Hal ini yang dapat menyebabkan nilai rendemen tinggi (Aini *et al.*, 2016).

#### **4.3. Tepung Jagung Fermentasi Terbaik**

Proses fermentasi sangat berpengaruh terhadap perubahan karakteristik dan sifat fungsional pada tepung jagung. Tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus*

*pentosus* LLA18 dan *Lactobacillus fermentum* LLB3 memiliki hasil analisis kimia dan fisik yang berbeda antara satu sama lain. Dari seluruh hasil yang sudah diketahui, tepung jagung fermentasi terbaik yaitu pada tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 72 jam. Tepung ini dipilih karena berdasarkan pertimbangan dari beberapa hasil penelitian lain. Berdasarkan hasil penelitian Aini *et al.* (2016), tepung jagung terbaik yang difermentasi dengan *Lactobacillus casei* selama 60 jam memiliki kadar protein 8,27%. Sehingga hasil analisa penelitian ini memiliki kadar protein lebih tinggi dibandingkan dengan tepung jagung hasil penelitian sebelumnya yaitu sebesar 12,76% (Tabel 1). Menurut Mohiedeen *et al.* (2010), proses fermentasi dapat meningkatkan globulin dan albumin dari tepung jagung. Selain itu juga dapat meningkatkan beberapa asam amino pada tepung jagung seperti *threonine*, *histidine*, *leusin*, *isoleusin*, *lisin*, *phenilalanin*, *methionine*, dan *valine*. Hal itu dapat terjadi karena penurunan jumlah karbon selama fermentasi (Onyango *et al.*, 2004). Karbohidrat pada tepung digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi dan menghasilkan karbon dioksida sebagai produk sampingan dalam proses glikolisis. Sehingga kadar protein tepung meningkat karena nitrogen yang ada pada tepung yang difermentasi terkonsentrasi (Cui *et al.*, 2012). Dengan adanya sumber energi berupa karbohidrat, bakteri dapat memiliki aktivitas hidup yang baik selama proses fermentasi.

Berdasarkan hasil penelitian Kartikasari *et al.* (2016), semakin lama waktu fermentasi maka akan menghasilkan kadar amilosa yang rendah. Hal itu dikarenakan amilosa yang merupakan rantai lurus akan mudah terdegradasi menjadi komponen sederhana sehingga akan mudah larut dalam air rendaman (Kartikasari *et al.*, 2016). Sedangkan menurut Aprilliani *et al.* (2013), kadar amilosa pada tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus casei* selama 3 hari sebesar 33,1%. Hasil tersebut sangat berbeda dengan hasil penelitian ini yang memiliki kadar amilosa sebesar 10,23% (Tabel 1). Hal ini terjadi karena selama proses fermentasi, tepung mengalami perendaman dan pergantian aquades setiap harinya sehingga terdapat kemungkinan amilosa juga ikut terbuang di dalam air rendaman tepung selama fermentasi. Selain itu, jagung yang digunakan pada penelitian Aprilliani (2013) adalah jagung sosoh sehingga memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran partikel tepung. Sehingga kecil kemungkinannya amilosa pada jagung sosoh ikut larut dalam air rendaman. Maka hasil analisa penelitian ini

menunjukkan bahwa kadar amilosa yang dihasilkan cukup rendah jika dibandingkan dengan hasil sampel yang lainnya.

Hasil penelitian Kartikasari *et al.* (2016), menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi maka akan menghasilkan kadar gula pereduksi yang tinggi karena granula semakin rapuh. Selain itu, dalam penelitian Richana *et al.* (2010) tentang tepung jagung yang difermentasi dengan bakteri asam laktat dari *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus brevis*, mocal dan ragi tape memiliki kadar gula pereduksi yang meningkat. Hal ini terjadi karena selama proses fermentasi dengan perendaman, terjadi pemecahan pati menjadi gula reduksi (Richana *et al.*, 2010). Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa tepung jagung fermentasi terbaik memiliki kadar gula pereduksi sebesar 0,26% dan merupakan hasil yang cukup tinggi dibandingkan dengan sampel tepung jagung fermentasi yang lainnya. Hal tersebut didukung oleh penelitian dari Aini *et al.* (2016), tepung jagung yang diproses dengan enzimatis akan meningkatkan gula pereduksi. Sehingga hasil analisa penelitian ini menunjukkan kadar gula pereduksi yang tinggi walaupun memiliki selisih yang tidak besar dengan sampel yang lain.

Berdasarkan persyaratan mutu SNI untuk tepung jagung sebagai bahan makanan, nilai kadar air pada tepung jagung maksimal 10% dan kadar abu maksimal 1,5% (BSN, 1995 dalam Dewi, 2011). Hasil kadar air dan kadar abu dari tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 72 jam adalah 8,74% dan 0,45% (Tabel 1). Sehingga dengan hasil analisa penelitian ini menunjukkan bahwa kadar air dan kadar abu masih sesuai dengan standar berlaku sehingga memiliki mutu yang lebih baik. Bahkan menurut Richana *et al.* (2010), tepung terigu yang memiliki kadar air berkisar 13-15% memiliki umur simpan selama 1 tahun. Sehingga diharapkan tepung jagung pada penelitian ini memiliki umur simpan yang lebih lama. Selain itu menurut penelitian Aini *et al.* (2016), kandungan abu menurun dikarenakan adanya pelepasan mineral pada saat perendaman tepung pada saat fermentasi. Sehingga hasil analisa penelitian ini sudah sesuai bahwa kadar abu yang dihasilkan menurun dan memiliki nilai yang rendah.

Berdasarkan hasil penelitian fermentasi pati singkong dengan bakteri asam laktat, menunjukkan bahwa semakin lama fermentasi akan menghasilkan kadar lemak yang

lebih rendah. Hal ini terjadi karena lemak yang dihasilkan ikut bersama dengan air rendaman selama fermentasi, sehingga kandungan lemak pada tepung mengalami penurunan (Kartikasari *et al.*, 2016). Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan Richana *et al.* (2010), lemak akan berkurang karena ikut tertinggal dalam air rendaman tepung.

Hasil analisa penelitian ini, kadar lemak yang dihasilkan pada tepung jagung fermentasi terbaik memiliki nilai paling rendah yaitu sebesar 0,23% sehingga hasil ini baik untuk menjaga umur simpan tepung jagung fermentasi. Lemak pada tepung jagung berkurang karena bagian lembaga pada biji jagung sudah dipisah dalam proses pembuatan tepung jagung sehingga mempengaruhi hasil kandungan lemak pada tepung jagung. Bagian lembaga merupakan bagian biji jagung yang memiliki kadar lemak tinggi sebesar 33,2% (Aprilliani *et al.*, 2013). Jagung memiliki komponen asam lemak yang bermacam jenisnya baik asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Menurut Ijarotimi *et al.* (2011), terdapat beberapa asam lemak yang berkurang selama proses fermentasi tepung jagung seperti asam laurat, asam lemak jenuh (asam miristat dan asam arakidat), asam lemak tak jenuh jamak (asam linolenat), dan asam lemak tak jenuh tunggal (asam oleat). Kandungan lemak yang rendah sangat diinginkan karena dapat memperpanjang umur simpan dan terhindar dari bau tengik (Damayanthi & Dwi, 2006).

Proses fermentasi pada tepung jagung dapat terjadi karena kondisi lingkungan yang mendukung. Salah satunya adalah nilai pH yang merupakan faktor penting untuk kualitas tepung jagung fermentasi. Berdasarkan hasil penelitian Kartikasari *et al.* (2016), semakin lama waktu fermentasi maka akan menurunkan pH karena dengan kondisi asam maka proses fermentasi terjadi. Sama halnya dengan Aini *et al.* (2016), asam laktat yang dihasilkan selama fermentasi akan menurunkan pH. pH dari tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 72 jam memiliki nilai 3,92 (Tabel 1). Hal ini sesuai dengan penelitian Ade (2015), bahwa *L. fermentum* memiliki pH optimum lebih rendah dibandingkan dengan *L. plantarum* yang bekerja pada pH 5,3-5,6. Penurunan pH dapat memperpanjang umur simpan suatu produk (Miwada *et al.*, 2006).

Selain analisis kimia, tepung jagung terbaik dianalisis secara fisik untuk mengetahui perubahan karakteristik tepung. Salah satunya adalah derajat putih pada tepung. Derajat putih menunjukkan tingkat warna yang dihasilkan oleh tepung. Tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 72 jam memiliki nilai derajat putih sebesar 71,78% (Tabel 2). Berdasarkan hasil penelitian Aprilliani *et al.* (2013), derajat putih tidak dipengaruhi oleh waktu fermentasi. Hal tersebut bisa dilihat pada Gambar 6 dan 7, bahwa seluruh tepung jagung yang difermentasi memiliki nilai derajat putih yang berwarna putih. Selain itu menurut Richana *et al.* (2010), tepung jagung Srikandi putih memiliki warna dominan putih dengan nilai derajat putih sebesar 70,77%. Pada penelitian ini jagung yang digunakan adalah jagung hibrida *Pioneer 27* yang juga memiliki warna putih jika dibuat menjadi tepung sehingga warna yang dihasilkan juga akan mirip dengan jagung Srikandi putih.

Tepung merupakan bahan baku dalam pembuatan roti dan *bakery* sehingga sifat fungsional yang dimiliki tepung jagung harus diperhatikan. Sifat fungsional merupakan sifat yang dimiliki suatu bahan pangan yang dapat mempengaruhi komponen bahan selama persiapan, pengolahan, penyimpanan, dan konsumsi (Rahmiati *et al.*, 2016). Seperti sifat yang mudah larut dan mudah mengembang. Sifat tersebut dapat dilihat dengan analisa kelarutan dan *swelling volume* pada tepung jagung fermentasi. Tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 72 jam memiliki nilai kelarutan sebesar 11,96% dan *swelling volume* sebesar 7,97% (Tabel 2).

Berdasarkan hasil penelitian Akbar & Yuniarta (2014), menyatakan bahwa pati pada tepung akan terpecah oleh mikroba pada saat fermentasi sehingga menjadi komponen yang mudah larut air. Sedangkan untuk hasil analisa kelarutan pada penelitian ini masih cukup tinggi dibandingkan dengan beberapa sampel yang lain. Walaupun masih lebih rendah dibandingkan dengan tepung tanpa perlakuan fermentasi. Kemudian berdasarkan hasil penelitian Aini *et al.* (2016), nilai *swelling volume* akan meningkat seiring dengan lamanya waktu fermentasi pada tepung. Hal itu terjadi karena pati pada tepung terpecah dan dapat mengikat air sehingga granula pati dapat mengembang. Hal tersebut sama dengan hasil penelitian Kurniawan *et al.* (2017), dimana dalam tepung yang difermentasi akan membuat granula pati menjadi berlubang dan air akan mudah masuk ke granula.

Sehingga pada saat dipanaskan dapat mengembangkan granula menjadi lebih besar. Hasil analisa *swelling volume* pada penelitian ini terjadi kenaikan dan hasil tepung yang terpilih memiliki nilai *swelling volume* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tepung tanpa perlakuan fermentasi. Sehingga tepung yang terpilih memiliki kualitas yang bagus.

Nilai kapasitas penyerapan air juga menjadi hal penting karena merupakan satu kesatuan dengan kelarutan dan *swelling volume*. Tepung yang memiliki kelarutan dan *swelling volume* tinggi, maka akan memiliki kapasitas penyerapan air yang tinggi pula. Berdasarkan hasil penelitian Aini *et al.* (2016), menyatakan bahwa semakin tinggi elastisitas dan kapasitas penyerapan air, lalu kadar amilosa menurun maka dapat berpengaruh pada tekstur produk yaitu dapat menurunkan tingkat kekerasan. Selain itu, tepung yang memiliki kapasitas penyerapan air yang tinggi dapat dihomogenkan dengan lebih mudah. Jika dibandingkan dengan hasil analisa penelitian ini, tepung terbaik yang terpilih memiliki nilai kapasitas penyerapan air yang tidak begitu tinggi yaitu sebesar 2,58% (Tabel 2). Namun tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 72 jam memiliki nilai KPA cukup tinggi dengan kadar amilosa yang rendah sehingga sesuai dengan teori sebelumnya.

Kemudian sifat fisik pada tepung yang menjadi pertimbangan apabila ingin di produksi secara jumlah besar adalah densitas kamba. Densitas kamba penting karena dapat menentukan proses pemilihan kemasan, transportasi dalam distribusi yang tepat untuk tepung jagung fermentasi. Tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 72 jam memiliki nilai densitas kamba sebesar 0,82 g/ml (Tabel 2). Menurut hasil penelitian Richana *et al.* (2010), jagung Srikandi putih memiliki nilai densitas kamba sebesar 0,81 g/cm<sup>3</sup>. Hasil analisa densitas kamba pada penelitian ini juga hampir sama dengan hasil yang kecil. Menurut Diniyahet *al.* (2018), semakin lama fermentasi maka akan memiliki nilai densitas kamba yang kecil. Hal ini karena bakteri akan memecah granula menjadi lebih kecil sehingga akan menghasilkan nilai densitas yang rendah. Sehingga hasil analisa densitas kamba pada penelitian ini juga memiliki nilai yang rendah. Rendahnya nilai densitas pada tepung berarti tepung mempunyai kerapatan massa yang rendah, hal ini yang mengakibatkan tepung dengan densitas rendah dapat menempati lebih banyak ruang pada suatu kemasan.

Nilai rendemen pada tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus Fermentum* LLB3 selama 72 jam memiliki nilai sebesar 61,20% (Tabel 2). Nilai ini cukup tinggi karena selama proses fermentasi, tepung yang difermentasi dengan *Lactobacillus Fermentum* LLB3 mengalami peningkatan rendemen dari waktu fermentasi selama 24, 48, dan 72 jam. Hal ini terjadi karena selama fermentasi, granula tepung menjadi semakin lunak dan mudah pecah sehingga memudahkan dalam proses penghalusan, sehingga tepung jagung lebih banyak terdistribusi pada ukuran partikel yang kecil (Aini *et al.*, 2016). Sehingga tepung jagung yang diperoleh memiliki nilai rendemen yang tinggi karena adanya perombakan pati selama proses fermentasi.

Bentuk fisik pada tepung jagung dapat diamati secara detail dengan menggunakan alat *Scanning Electronic Microscope* (SEM) untuk melihat morfologi granula pati (Gambar 14). Tepung jagung memiliki ukuran granula pati berkisar 20-120  $\mu\text{m}$  dengan diameter 6-30  $\mu\text{m}$  dan berbentuk *oval polyhedral* (Safitri *et al.*, 2019). Berdasarkan hasil analisa morfologi granula pada Gambar 1., dapat diketahui bahwa tepung jagung yang difermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 selama 72 jam memiliki ukuran granula yang besar, bentuk tidak beraturan, dan heterogen. Hal itu terjadi karena tepung jagung melalui proses fermentasi secara perendaman sehingga granula yang semula berbentuk oval mengembang dan menyerap air (Palguna *et al.*, 2014). Setelah difermentasi, tepung kemudian di pisah dengan air rendaman dan dikeringkan dengan oven selama 24 jam. Proses pemanasan ini bisa menyebabkan granula pati pada tepung pecah karena air yang tertahan di dalam granula akan menguap karena proses pengeringan. Selain itu, proses fermentasi juga mempengaruhi perubahan bentuk granula pati karena terjadi perombakan pati menjadi senyawa sederhana seperti gula pereduksi, asam laktat, sehingga pati akan rapuh dan mudah pecah (Kartikasari *et al.*, 2016).

Karakteristik dan sifat fungsional terbaik yang dihasilkan pada tepung jagung fermentasi dengan *L. fermentum* LLB3 selama 72 jam yaitu memiliki kadar protein tertinggi dari seluruh tepung jagung fermentasi yaitu sebesar 12,67%. Tepung ini juga memiliki kadar lemak terendah dari seluruh tepung jagung fermentasi yaitu sebesar 0,23%. Selain itu juga memiliki hasil kadar amilosa 10,23%; kadar gula pereduksi 0,26%; kadar air 8,74%; pH 3,92; kadar abu 0,45%; derajat putih 71,78%; kelarutan 11,96%; *swelling volume* 7,97%;

densitas kamba 0,82 g/ml; KPA 2,58%; rendemen 61,20%. Selain itu, fermentasi dengan *Lactobacillus fermentum* LLB3 dapat menghasilkan tepung jagung fermentasi yang lebih baik dibandingkan dengan *Lactobacillus pentosus* LLA18 karena menghasilkan kadar protein, gula pereduksi, amilosa, kelarutan, *swelling volume*, KPA yang lebih tinggi.

