

Modifikasi Sifat Fisik Yogurt Susu Kambing dengan Penambahan *Microbial Transglutaminase* dan Sumber Protein Eksternal

Modification of Physical Properties of Goat Milk Yogurt by Addition of Microbial Transglutaminase Enzyme and External Protein Sources

Salvian Setyo Prayitno, Juni Sumarmono*, Agustinus Hantoro Djoko Rahardjo, Triana Setyawardani
Fakultas Peternakan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

*Korespondensi dengan penulis (juni.sumarmono@unsoed.ac.id)

Artikel ini dikirim pada tanggal 15 November 2019 dan dinyatakan diterima tanggal 06 Mei 2020. Artikel ini juga dipublikasi secara online melalui <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jatp>. Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang diperbanyak untuk tujuan komersial.

Diproduksi oleh Indonesian Food Technologists ©2020

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat fisik yogurt susu kambing yang dimodifikasi dengan enzim mTGase dan sumber protein eksternal. Sifat fisik yang diamati meliputi sineresis spontan (*whey*-off), sineresis, *water holding capacity* (WHC) dan viskositas. Materi yang digunakan yaitu susu segar kambing etawah, kultur starter yogurt, enzim mTGase, susu skim bubuk, dan *whey protein concentrate* (WPC). Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap dengan 4 perlakuan dan 5 kali ulangan. Perlakuan terdiri atas kontrol yaitu susu kambing segar, penambahan mTGase sebanyak 0,03% (w/w), mTGase dan susu skim 1% (w/w), mTGase dan *whey protein concentrate* 1% (w/w). Susu dikondisikan selama 24 jam pada *refrigerator* (10°C) sebelum difermentasi menjadi yogurt. Parameter yang diuji berupa *whey*-off, sineresis, *water holding capacity*, dan viskositas yang diukur 1 jam setelah yogurt dikeluarkan dari *refrigerator*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa enzim mTGase secara signifikan menyebabkan penurunan sineresis, peningkatan WHC, dan viskositas, namun tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan pada *whey*-off yogurt. Kombinasi mTGase dan sumber protein eksternal menurunkan sineresis secara signifikan, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap *whey*-off, WHC, dan viskositas yogurt. Kombinasi mTGase + WPC 1% menghasilkan kualitas fisik yogurt yang tidak jauh berbeda dengan kombinasi mTGase + skim 1% terhadap semua parameter yang diukur. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sifat fisik yogurt susu sapi dapat dimodifikasi dengan enzim mTGase saja atau kombinasi dengan sumber protein eksternal. Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi penggunaan enzim mTGase yang dikombinasikan dengan WPC atau susu skim 1% ternyata dapat meningkatkan kualitas fisik yogurt.

Kata kunci: mTGase, susu fermentasi, susu kambing, sumber protein, modifikasi sifat fisik

Abstract

The purpose of this research was to study the modification of the physical properties of goat milk yogurt with the addition of the enzyme transglutaminase (mTGase) and external protein. The benefit of this research was to provide information on methods to improve the quality of yogurt in terms of the physical properties of yogurt. The research used fresh goat milk, dry starter culture, mTGase enzyme, skimmed milk powder, and whey protein concentrate (WPC). A completely randomized design with 4 treatments and 5 replications was used as research design. The treatments were fresh goat milk as control, fresh goat milk with 0.03% w/w mTGase, mTGase and 1% w/w skim milk, mTGase and 1% w/w whey protein concentrate. The milk was stored for 24 hours in a refrigerator (10°C) prior to fermentation process. Whey-off, syneresis, water holding capacity and viscosity were then measured at an hour after yogurt was removed from the refrigerator. The results showed that mTGase significantly reduced syneresis, increased WHC, and viscosity, but had no significant effect on whey-off. The combination of mTGase + external protein sources significantly reduced syneresis, but the effect on whey-off, WHC and yogurt were not significantly detected. The combination of mTGase + 1% WPC had similar characteristics as mTGase + 1% skim milk. In conclusion, the physical characteristics of yogurt from goat milk could be modified by mTGase enzyme or in combination with external protein sources. The use of mTGase enzyme in combination with WPC or skim milk improves the physical characteristics of yogurt.

Keywords: mTGase, fermented milk, goat milk, source of protein, modification of physical properties.

Pendahuluan

Salah satu penentu mutu produk yogurt adalah sifat fisik seperti, misalnya kekentalan atau viskositas, ketegaran atau *firmness*, dan juga kemampuan mengikat air (Lee and Lucey, 2010; Wibawanti dan Rinawidiastuti, 2018, Basroni *et al.* 2018). Pembuatan yogurt saat ini masih ditemui banyak kendala, diantaranya timbulnya sineresis, viskositas rendah, dan kemampuan mengikat air yang rendah (Djali *et al.*, 2018). Sifat fisik yogurt terkait erat dengan mikrostruktur

gel yang terbentuk selama proses fermentasi (Ramdhani, 2018). Penggunaan enzim transglutaminase dari mikroba atau mTGase pada pengolahan makanan disebabkan oleh kemampuan enzim tersebut dalam membentuk ikatan silang protein. Terbentuknya ikatan silang protein tersebut mempengaruhi karakteristik fisikokimia dan tekstur makanan (Gharibzahedi *et al.*, 2018; Gaspar and de Góes-Favoni, 2015).

Aplikasi mTGase meliputi berbagai jenis makanan, baik nabati maupun hewani (Kieliszek and Błażej, 2017; Zhang *et al.*, 2018). Pada pengolahan susu, mTGase mampu meningkatkan kekuatan dan viskoelastisitas gel dan menurunkan sineresis yogurt (Oner *et al.*, 2008; Gharibzahedi and Chronakis, 2018). Disisi lain, penambahan mTGase tidak menyebabkan perubahan pada sifat sensoris yogurt rendah lemak (García-Gómez *et al.*, 2019).

Penambahan sumber protein eksternal dapat lebih mengefisiensikan kerja mTGase dalam memperbaiki kualitas yogurt (Kieliszek and Błażej, 2017). Susu skim dan *whey protein concentrate* (WPC) adalah contoh dari sumber protein eksternal. Susu skim adalah susu yang kadar lemaknya telah dikurangi hingga berada dibawah batas minimal yang telah ditetapkan dengan kandungan kadar air sebesar 3,2%, kadar abu 8%, dan protein 35% (Awad *et al.*, 2015). *Whey protein concentrate* adalah jenis *whey* yang telah melewati proses pemisahan air, laktosa, dan sedikit mineral yang mengandung 36–80% protein sehingga sering digunakan oleh atlet sebagai suplemen olahraga (Gangurde *et al.*, 2011).

Berdasarkan permasalahan dalam pembuatan yogurt seperti timbulnya sineresis, viskositas rendah, dan kemampuan mengikat air yang rendah (Djali *et al.*, 2018) maka perlu dilakukan penelitian modifikasi sifat fisik yogurt susu kambing dengan penambahan mTGase dan sumber protein eksternal. Penambahan mTGase dan sumber protein eksternal diharapkan mampu memodifikasi sifat fisik yogurt susu kambing sehingga meningkatkan kualitas yogurt melalui terjadinya ikatan silang protein antara protei susu kambing dengan protein eksternal dengan bantuan mTGase, sehingga meningkatkan kualitas yogurt. Penelitian bertujuan untuk mempelajari sifat fisik yogurt susu kambing yang dimodifikasi dengan enzim mTGase dan sumber protein eksternal. Hasil penelitian bermanfaat untuk meningkatkan kualitas fisik yogurt, khususnya yogurt dari susu kambing.

Materi dan Metode

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai Juli 2019 di Laboratorium Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto. Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah susu segar kambing etawah, kultur starter kering (Yogurtmet™, Lyosan Canada), enzim mTGase (TDS Biotechnology, China), susu skim bubuk (Indoprima, Indonesia), dan WPC (Davisco Food International, USA). Alat yang digunakan yaitu mikropipet, jar kaca, erlenmeyer, *beaker glass*, viscometer NDJ-5S (Model Scientific Instrument Co., Ltd., China), timbangan digital (Sartorius, Germany), *nylon mesh*, *refrigerator*, sentrifuge (Memmert GmbH, Germany), tabung sentrifuge, panci, thermometer, dan inkubator yogurt (Ez-Yo RC-L1, China).

Perlakuan susu segar dan penambahan mTGase

Susu kambing segar dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 80°C, kemudian diturunkan menjadi 40°C.

Penambahan mTGase sebanyak 0,03% (w/w) dilakukan setelah susu diturunkan menjadi 40°C. Penelitian ini menggunakan 4 perlakuan yaitu terdiri dari susu kambing segar (kontrol), penambahan mTGase sebanyak 0,03% (w/w), mTGase 0,03% dan susu skim 1% (w/w), serta mTGase 0,03% dan *whey protein concentrate* 1% (w/w). Susu disimpan di dalam ruang pendingin (*refrigerator*) selama 24 jam sebelum diproses lebih lanjut menjadi yogurt.

Pembuatan yogurt

Yogurt dibuat dari susu kambing menurut prosedur Sumarmono *et al.* (2019). Kultur yogurt aktif sebanyak 10% (w/w) ditambahkan pada susu kambing yang telah dipasteurisasi. Penambahan kultur yogurt dilakukan setelah mTGase pada susu di-nonaktifkan dengan cara memanaskan susu pada suhu 80°C. Kultur yogurt aktif dibuat dengan menambahkan kultur starter kering sebanyak 2,5 g/l susu rendah lemak dan diinkubasi pada suhu 42°C selama 6 jam. Sebanyak 250 g susu yang sudah ditambah kultur yogurt, lalu dimasukkan ke dalam wadah kaca (*jar*) bertutup, kemudian diinkubasi pada suhu 42°C selama 4 jam. Pengkondisian yogurt dilakukan selama 60 menit dengan menempatkan yogurt pada *refrigerator*.

Pengukuran *Whey*-off

Pengukuran *whey*-off dilakukan dengan menggunakan metode sifon (Amatayakul *et al.*, 2006) dengan sedikit modifikasi. Yogurt segar dalam *jar* yang telah dikondisikan diletakkan pada posisi miring 45° agar *whey* bebas mengumpul pada bagian pinggir jar. Cairan diambil/disedot dengan menggunakan pipet dan ditimbang. *Whey*-off merupakan rasio antara berat cairan dengan bobot yogurt (%).

Pengukuran Sineresis

Pengukuran sineresis yogurt segar dilakukan dengan metode drainasi seperti dideskripsikan oleh Dai *et al.* (2016) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 50 g yogurt segar yang telah diaduk perlahan dengan batang pengaduk selama 60 detik, dipindahkan ke corong yang diletakkan pada labu erlenmeyer dan dilapisi dengan nilon *mesh*. *Whey* dibiarkan menetes selama 30 menit pada kondisi suhu ruang, kemudian ditimbang. Sineresis merupakan rasio antara berat *whey* yang tertampung dengan berat sampel (%).

Pengukuran *Water Holding Capacity*

Water holding capacity atau kapasitas mengikat air gel yogurt diukur dengan metode sentrifugasi seperti dideskripsikan oleh Hassan *et al.* (1996) dengan modifikasi. Sebanyak 10 g yogurt disentrifuse dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Supernatan bening dipisahkan dengan cara dituang, kemudian ditimbang. Berat gel yogurt yang diperoleh dengan mengurangi berat sampel mula-mula dengan berat supernatan. *Water holding capacity* merupakan rasio antara berat gel yogurt dengan berat sampel yogurt (%).

Pengukuran viskositas

Viskositas yogurt diukur menggunakan viscometer dengan cara kerja seperti yang dilaporkan oleh Suliasih *et al.* (2018). Yogurt segar di dalam jar diaduk terlebih dahulu secara perlahan dengan menggunakan batang pengaduk selama 30 detik. *Spindle* yang digunakan adalah *spindle* berbentuk silinder (nomor 3), dengan kecepatan 30 rpm selama 60 detik. Viskositas dinyatakan dalam centipoise (cP).

Analisis data

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis variansi dan diuji lanjut menggunakan uji orthogonal kontras pada taraf signifikansi 5%.

Hasil dan Pembahasan

Wheyng-off

Wheyng-off yogurt merupakan keluarnya cairan *whey* dari gel yogurt secara spontan sehingga terlihat sebagai cairan encer diatas permukaan yogurt yang seolah-olah tidak larut dalam gel (Askary and Bolandi, 2013). *Wheyng-off* dapat memberikan persepsi negatif konsumen terhadap yogurt karena berpikir ada sesuatu yang salah secara mikrobiologis dengan yogurt tersebut (Gad and Mohamad, 2014)

Wheyng-off dengan penambahan mTGase maupun kombinasi dengan sumber protein eksternal sebagaimana tampak pada Tabel 1, menunjukkan penurunan walaupun tidak berpengaruh nyata ($p>0,05$). Hal tersebut disebabkan mTGase memiliki kemampuan membentuk ikatan silang (*cross-linking*) protein, terbentuknya ikatan silang protein dapat memperbaiki struktur produk sehingga mencegah keluarnya molekul air diantara molekul kasein (Rossa *et al.*, 2011). MTGase adalah enzim yang mampu mengkatalis reaksi antara residu asam amino lisin dan residu asam amino glutamin dan membentuk ikatan yang dapat menghasilkan penggabungan ikatan kovalen inter atau intramolekuler yang berikatan silang dengan protein makanan (Kieliszek and Misiewicz, 2014).

Kombinasi mTGase dengan sumber protein eksternal (skim dan WPC) 1% dalam penelitian semakin menurunkan nilai *wheyng-off* (Tabel 1). Hal tersebut disebabkan semakin banyak jumlah protein yang mampu diikat oleh mTGase, hasilnya dapat memperbaiki struktur protein dan juga memperbaiki struktur gel yogurt. Struktur gel yang semakin baik dapat

meningkatkan kemampuan menahan air dengan cara mencegah melonggarnya pori-pori antar molekul kasein, sehingga mengurangi molekul air bebas yang keluar (Aloğlu and Oner, 2013).

Penambahan mTGase + WPC 1% menghasilkan *wheyng-off* sedikit lebih kecil dibandingkan mTGase + skim 1%, walaupun tidak berbeda nyata (Tabel 1). Hal tersebut disebabkan karena protein pada WPC lebih tinggi daripada susu skim, protein dapat diikat oleh mTGase sehingga struktur protein semakin kuat. Struktur protein yang kuat dapat memperbaiki struktur gel yogurt, struktur gel yogurt yang semakin baik nantinya dapat meningkatkan kemampuan menahan air yogurt sehingga nilai sineresis yogurt semakin rendah (Rossa *et al.*, 2011). *Cross-link protein* secara enzimatik dapat meningkatkan kualitas produk makanan, seperti meningkatkan tekstur dan memperbaiki struktur produk (Sanli, 2015). Protein merupakan salah satu komponen yang dapat mempengaruhi sifat tekstur yogurt (Chandan and Kilara, 2013).

Sineresis Yogurt Susu

Sineresis yogurt merupakan keluarnya cairan *whey* dari gel yogurt, dimana angka sineresis yang tinggi menunjukkan ketidakstabilan ikatan gel dan menunjukan kualitas yogurt semakin rendah (Krisnaningsih *et al.*, 2018). Penambahan mTGase maupun kombinasi dengan protein eksternal memberikan hasil berpengaruh nyata ($p<0,05$) terhadap sineresis yogurt.

Uji kontras menunjukkan adanya perbedaan nyata antara sineresis yogurt kontrol dengan yogurt mTGase 0,03%; mTGase 0,03% + Skim 1%; mTGase 0,03% + WPC 1%. Sineresis yogurt dengan penambahan mTGase 0,03% dibandingkan yogurt dengan penambahan mTGase 0,03% + Skim 1%; mTGase 0,03% + WPC 1% juga menunjukan hasil berbeda nyata (Tabel 1). Sineresis yogurt menurun dengan ditambahkannya mTGase maupun kombinasi dengan protein eksternal. Hal tersebut disebabkan mTGase membentuk ikatan silang protein, ikatan silang protein dapat memperbaiki struktur protein, yang pada akhirnya dapat menahan air diantara molekul kasein meningkat (Rossa *et al.*, 2011). Penambahan protein eksternal dinilai dapat memperbanyak jumlah protein yang mampu diikat oleh mTGase yang dapat memperbaiki struktur gel yogurt yang mampu menahan air diantara molekul kasein, sehingga mengurangi molekul air bebas yang keluar (Aloğlu and Öner, 2013).

Tabel 1. Penambahan Microbial Transglutaminase dan Sumber Protein Eksternal pada Pembuatan Yogurt Susu Kambing Terhadap Sifat Fisik Yogurt.

Perlakuan	<i>Wheyng-off</i> (%)	Sineresis (%)	WHC (%)	Viskositas (cP)
Kontrol	0,38 ± 0,33	9,57 ± 1,09	66,01 ± 2,96	1663,8 ± 249,3
mTGase 0,03%	0,15 ± 0,06	8,56 ± 0,22	73,02 ± 3,22	2145,2 ± 184,1
mTGase 0,03% + Skim 1%	0,11 ± 0,03	8,34 ± 0,15	74,17 ± 1,43	2337,7 ± 277,5
mTGase 0,03% + WPC 1%	0,09 ± 0,05	6,92 ± 1,15	74,54 ± 1,55	2181,1 ± 165,1
Uji Statistik				
Kontrol vs perlakuan	ns	*	*	*
mTGase vs mTGase+protein	ns	*	ns	ns
mTGase+Skim vs mTGase+WPC	ns	ns	ns	ns

Keterangan: Data adalah nilai rata-rata ± SD (n=5). Uji statistic lanjut adalah dengan menggunakan uji kontras orthogonal pada taraf signifikansi 5% (* = berbeda nyata; ns = tidak berbeda nyata).

Penambahan mTGase + skim 1% dan mTGase + WPC 1% menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata, namun penambahan mTGase 0,03% + WPC 1% menghasilkan sineresis lebih kecil (Tabel 1). Hal tersebut disebabkan protein pada WPC lebih tinggi daripada susu skim, protein yang semakin tinggi dapat menambah jumlah protein yang mampu diikat oleh mTGase sehingga struktur protein semakin kuat. Struktur protein yang kuat dapat meningkatkan kemampuan menahan air yogurt (Rossa *et al.*, 2011). Sineresis yogurt dapat dipengaruhi oleh keasaman, pH, dan daya ikat air (Krisnaningsih *et al.*, 2018).

Water Holding Capacity Yogurt Susu

Water Holding Capacity yogurt merupakan kemampuan gel yogurt untuk menahan air (*whey*) yang keluar melalui pori-pori diantara molekul kasein yang dapat menurunkan kualitas yogurt (Rossa *et al.*, 2011). Semakin besar nilai WHC yogurt maka semakin dapat memperbaiki mutu yogurt yang dihasilkan, karena mampu menahan lebih banyak jumlah air bebas yang keluar dari dalam yogurt (Aloğlu and Öner, 2013).

Penambahan mTGase maupun kombinasi dengan protein eksternal memberikan hasil yang berpengaruh nyata ($p < 0,05$) pada WHC yogurt (Tabel 1). WHC yogurt susu kambing cenderung meningkat dengan ditambahkan mTGase maupun kombinasi dengan sumber protein eksternal yang disebabkan banyak terjadinya ikatan silang protein (Rossa *et al.*, 2011). Macam sumber protein eksternal (skim dan WPC) dinilai belum mampu memberikan perbedaan terhadap WHC yogurt. Penambahan 3% susu skim dinilai dapat menurunkan sineresis, meningkatkan *firmness*, WHC, dan viskositas yogurt, sedangkan penambahan WPC 1,25% dapat menghasilkan total padatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan WPC 1% (Djali *et al.*, 2018).

Yogurt yang ditambah mTGase + skim 1% dibandingkan dengan mTGase + WPC 1% juga menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada WHC yogurt. Susu skim bubuk memiliki kadar protein 35% (Awad *et al.*, 2015) yang dinilai tidak terlalu jauh dengan kadar protein WPC yang mengandung protein 36–80% (Gangurde *et al.*, 2011). Namun demikian, kualitas ikatan silang antar protein dinilai sangat tergantung pada struktur protein tersebut. Hubungan silang yang lebih baik dapat terjadi pada protein yang mengandung glutamin residu (Hiller and Lorenzen, 2009).

Viskositas Yogurt Susu Kambing

Viskositas adalah ukuran yang menyatakan kekentalan suatu produk pangan (Krisnaningsih *et al.*, 2018). Viskositas yogurt dilakukan untuk mengukur kualitas yogurt dengan mengetahui perubahan kekentalan yoghurt yang dihasilkan. Penambahan mTGase maupun kombinasi dengan protein eksternal menunjukkan hasil berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap viskositas yogurt. Hasil menunjukkan adanya perbedaan nyata antara perlakuan yogurt kontrol

dibandingkan perlakuan mTGase 0,03%; mTGase 0,03% + Skim 1%; mTGase 0,03% + WPC 1% pada viskositas yogurt (Tabel 1). Viskositas yogurt meningkat dengan ditambahkan mTGase maupun kombinasi dengan protein eksternal yang disebabkan karena kerja mTGase dalam membentuk ikatan silang antar molekul protein susu yang membentuk struktur gel yogurt yang kuat (Ramdhani, 2018). Struktur gel yang semakin kuat disebabkan banyaknya protein yang terkoagulasi sehingga viskositas meningkat (Puniya, 2016).

Adanya penambahan skim dan WPC 1% ternyata tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap viskositas yogurt. Sebagaimana telah diteliti, bahwa penambahan susu skim dan WPC pembuatan yogurt yang dinilai dapat mempengaruhi penurunan sineresis, meningkatkan *firmness*, WHC, dan viskositas yogurt adalah masing-masing minimal 3 dan 1,25% (Djali *et al.*, 2018). Yogurt dengan penambahan mTGase + skim 1% dibandingkan dengan mTGase + WPC 1% juga menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada viskositas yogurt, namun penambahan mTGase + skim 1% dapat menghasilkan viskositas yogurt lebih tinggi. Hal tersebut disebabkan kandungan laktosa pada susu skim bubuk dinilai lebih tinggi dibandingkan WPC (Karam *et al.*, 2016; Andriani *et al.*, 2019) yang akhirnya menyebabkan protein semakin terkoagulasi sehingga viskositas yogurt meningkat (Ramdhani, 2018). Peningkatan viskositas yogurt akibat penambahan mTGase juga telah dilaporkan oleh Abou-Soliman *et al.* (2017).

Kesimpulan

Penggunaan mTGase saja atau kombinasi dengan susu skim dan WPC pada yogurt susu kambing dinilai dapat digunakan untuk memodifikasi karakteristik fisik yogurt susu kambing.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Tesis Magister 2019 yang dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi dengan nomor kontrak P/1755/UN23/14/PN/2019.

Daftar Pustaka

- Abou-Soliman, N.H., Sakr, S.S., Awad, S. 2017. Physico-chemical, microstructural and rheological properties of camel-milk yogurt as enhanced by microbial transglutaminase. *Journal of Food Science and Technology* 54(6):1616-1627. DOI:10.1007/s13197-017-2593-9.
- Aloğlu, H.Ş., Öner, Z. 2013. The effect of treating goat's milk with transglutaminase on chemical, structural, and sensory properties of labneh. *Journal Small Ruminant Research* 109(1):31-37. DOI:10.1016/j.smallrumres.2012.10.005.
- Amatayakul, T., Sherkat, F., Shah, N.P. 2006. Syneresis in set yogurt as affected by eps starter cultures and levels of solids. *International Journal of Dairy Technology* 59(3):216-221. DOI:10.1111/j.1471-0307.2006.00264.x.

- Andriani, D., Hadija, S., Hayati, R. 2019. Uji coba pembuatan limbah *whey* dangke menjadi olahan serbet. *Journal of Tourism, Hospitality, Travel and Business Event* 1(2):28-34. DOI:10.33649/pusaka.v1i2.16.
- Askary, N., Bolandi, M. 2013. Assessment of iron fortification influence on organoleptics and physico-chemical properties of yogurt. *Journal of Chemical Health Risks (JCHR)* 3(2):1-8. DOI:10.22034/jchr.2018.544024.
- Awad, R.A., Salama, W.M., Ragb, W.A. 2015. Enhancing yield and acceptability of kareish cheese made of reformulated milk. *Journal Annals of Agricultural Science* 60(1):87-93. DOI:10.1016/j.aosas.2015.03.004.
- Basroni, A.T., Al-Baarri, A.N. Legowo, A.N. 2018. Viability lactic acid bacteria of yogurt powder with carrageenan addition. *Journal of Applied Food Technology* 5(1):19-21. DOI:10.17728/jaft.61.
- Chandan, R.C., Kilara, A. 2013. *Manufacturing yogurt and fermented milks*. Wiley-Blackwell, Iowa, USA. DOI:10.1002/9781118481301.
- Dai, S., Corke, H., Shah, N.P. 2016. Utilization of konjac glucomannan as a fat replacer in low-fat and skimmed yogurt. *Journal of Dairy Science* 99(9):7063-7074. DOI:10.3168/jds.2016-11131.
- Djali, M., Huda, S., Andriani, L. 2018. Karakteristik fisikokimia yogurt tanpa lemak dengan penambahan *whey* protein concentrate dan gum xanthan. *Jurnal Agritech* 38(2):178-186. DOI:10.22146/agritech.22451.
- Gad, A.S., Mohamad, S.H. 2014. Effect of hydrocolloid type on physicochemical properties of nonfat drinkable yogurt fermented with ropy and non-ropy yogurt cultures. *Comunicata Scientiae* 5(3):318-325. DOI:10.14295/cs.v5i3.514.
- Gangurde, H.H., Chordiya, M.A., Patil, P.S., Baste, N.S. 2011. *Whey* protein. *Scholars Research Journal* 1(2):69-77. DOI:10.4103/2249-5975.99663.
- García-Gómez, B., Rodríguez, A.R., Odériz, L.V., Ferreira, N.M., Vázquez, M. 2019. Sensory evaluation of low fat yoghurt produced with microbial transglutaminase and comparison with physicochemical evaluation. *Journal of The Science of Food and Agritech* 99(5):2088-2095. DOI:10.1002/jsfa.9401.
- Gaspar, A.L.C., de Góes-Favoni, S.P. 2015. Action of microbial transglutaminase (mTGase) in the modification of food proteins: a review. *Food Chemistry* 171:315-322. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.09.019.
- Gharibzahedi, S.M.T., Chronakis, I.S. 2018. Crosslinking of milk proteins by microbial transglutaminase: utilization in functional yogurt products. *Journal Food Chemistry* 245:620-632. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.10.138.
- Gharibzahedi, S.M.T., Roohinejad, S., George, S., Barba, F.J., Greiner, R., Cánovas, G.V.B., Mallikarjunan, K. 2018. Innovative food processing technologies on the transglutaminase functionality in protein-based food products: trends, opportunities and drawbacks. *Trends in Food Science & Technology* 75:194-205. DOI:10.1016/j.tifs.2018.03.014.
- Hassan, A., Frank, J., Schmidt, K., Shalabi, S. 1996. Textural properties of yogurt made with encapsulated nonropy lactic cultures. *Journal of Dairy Science* 79(12):2098-2103. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(96)76583-9.
- Hiller, B., Lorenzen, P.C. 2009. Functional properties of milk proteins as affected by enzymatic oligomerisation. *Journal Food Research International* 42(8):899-908. DOI:10.1016/j.foodres.2009.04.022.
- Karam, M.C., Hosri, C., Hussain, R., Barbar, R., Giani, C., Scher, J. 2016. Effect of *whey* powder rehydration and dry-denaturation state on acid milk gels characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation* 41(5):1-7. DOI:10.1111/jfpp.13200.
- Kieliszek, M., Błażej, S. 2017. Microbial transglutaminase and applications in food industry. *Microbial Enzyme Technology in Food Applications*, R.C. Ray and C.M. Rosell., CRC Press, New York. DOI:10.1201/9781315368405.
- Kieliszek, M., Misiewicz, A., 2014. Microbial transglutaminase and its application in the food industry. a review. *Folia Microbiologica*, 59(3):241-250. DOI:10.1007/s12223-013-0287-x.
- Krisnaningsih, A.T.N., Rosyidi, D., Radiati, L.E., Purwadi. 2018. Pengaruh penambahan stabilizer pati talas lokal (*colocasia esculenta*) terhadap viskositas, sineresis dan keasaman yogurt pada inkubasi suhu ruang. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Tropis* 5(3):5-10. DOI:10.33772/jitro.v5i3.4706.
- Lee, W.J., Lucey, J.A. 2010. Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23(9):1127-1136. DOI:10.5713/ajas.2010.r.05.
- Oner, Z., Karahan, A., Aydemir, S., Aloglu, H.S. 2008. Effect of transglutaminase on physicochemical properties of set-style yogurt. *Journal International of Food Properties* 11(1):196-205. DOI:10.1080/10942910701286346.
- Puniya, A.K. 2016. Fermented milk and dairy products. in : Nout, M. J. R and P.K. Sarkar (eds) *Handbook of fermented foods and beverages series*. CRC Press, Boca Raton FL, USA. DOI:10.1201/b15438.
- Ramdhani, J.P. 2018. Effect of transglutaminase addition to chemical, physical, and culture survivability of yogurt during storage period. In: *E3S Web of Conferences* (67)03042:3-6. DOI:10.1051/e3sconf/20186703042.
- Rossa, P.N., Sá, E.M.F., Burin, V.M., Luiz, M.T.B. 2011. Optimization of microbial transglutaminase activity in ice cream using response surface methodology. *Journal LWT-Food Science and Technology* 44(1):29-34. DOI:10.1016/j.lwt.2010.06.013.
- Sanli, T. 2015. Effects of using transglutaminase and fat replacer on functional properties of non-fat yogurt.

- Kafkas Universitas Veteriner Fakultas Dergisi 21(6):907-913. DOI:10.9775/kvfd.2015.13833.
- Suliasih., A.M. Legowo., Tampoebolon, B.I.M. 2018. Aktivitas antioksidan, bal, viskositas dan nilai $L^*a^*b^*$ dalam yogurt yang diperkaya dengan probiotik *bifidobacterium longum* dan buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*). Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan 7(4):151-156. DOI:10.17728/jatp.3061.
- Sumarmono, J., Setyawardani, T., Rahardjo, A.H.D. 2019. Yield and processing properties of concentrated yogurt manufactured from cow's milk: effects of enzyme and thickening agents. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 372(1):012064. DOI:10.1088/1755-1315/372/1/012064.
- Wibawanti, J.M., Rinawidiastuti, R. 2018. Sifat fisik dan organoleptik yogurt drink susu kambing dengan penambahan ekstrak kulit manggis. Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak (JITEK) 13(1):27-37. DOI:10.21776/ub.jitek.2018.013.01.3.
- Zhang, Y., He, S., Simpson, B.K. 2018. Enzymes in food bioprocessing-novel food enzymes, applications, and related techniques. Current Opinion in Food Science 19:30-35. DOI:10.1016/j.cofs.2017.12.007.