

**PENGARUH FORTIFIKASI FeSO_4 DAN ZnCl_2 TERHADAP KANDUNGAN
BESI, ZINC DAN KETENGIKAN YOGURT SUSU KAMBING SINBIOTIK**

Artikel Penelitian

disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi

pada Program Studi Ilmu Gizi, Fakultas Kedokteran

Universitas Diponegoro



disusun oleh :

ANDRI WIDARTA WONG

22030110130088

PROGRAM STUDI ILMU GIZI FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2014

HALAMAN PENGESAHAN

Artikel penelitian dengan judul “Pengaruh Fortifikasi FeSO₄ dan ZnCl₂ terhadap Kandungan Besi, Zinc dan Ketengikan Yogurt Susu Kambing Sinbiotik” telah direvisi dan disetujui.

Mahasiswa yang mengajukan

Nama	: Andri Widarta Wong
NIM	: 22030110130088
Fakultas	: Kedokteran
Program Studi	: Ilmu Gizi
Universitas	: Diponegoro Semarang
Judul Proposal	: Pengaruh Fortifikasi FeSO ₄ dan ZnCl ₂ terhadap Kandungan Besi, Zinc dan Ketengikan Yogurt Susu Kambing Sinbiotik

Semarang, 24 September 2014

Pembimbing,

Binar Panunggal S.Gz., MPH

Pengaruh Fortifikasi FeSO₄ dan ZnCl₂ terhadap Kandungan Besi, Zinc dan Ketengikan Yogurt Susu Kambing Sinbiotik

Andri Widarta Wong Binar Panunggal*

ABSTRAK

Latar Belakang : Fortifikasi pada produk susu merupakan pendekatan untuk mengatasi kurangnya asupan besi dan zinc. Susu kambing mampu meningkatkan jumlah *divalent metal transporter 1* (DMT1) yang merupakan transporter besi dan zinc. Aroma tidak sedap susu kambing dapat dikurangi menggunakan proses fermentasi oleh bakteri asam laktat. Penambahan inulin dapat memunculkan efek sinbiotik pada yogurt dan meningkatkan absorpsi besi serta zinc. Fortifikasi mineral diketahui mempengaruhi ketengikan produk.

Tujuan : Menganalisis pengaruh fortifikasi FeSO₄ dan ZnCl₂ pada yogurt susu kambing sinbiotik terhadap kandungan besi, zinc, serta ketengikan pada hari ke-0 dan ke-7 penyimpanan.

Metode : Penelitian menggunakan 3 kelompok perlakuan: N₀ (kontrol), N₁ (fortifikasi dengan FeSO₄ sebanyak 55mg/liter), N₂ (fortifikasi dengan FeSO₄ 55 mg/l dan ZnCl₂ 15.6 mg/l). Pengukuran kandungan besi dan zinc dilakukan menggunakan metoda *atomic absorption spectrophotometry* (AAS). Ketengikan diukur menggunakan pemeriksaan nilai *thiobarbituric acid* (TBA).

Hasil : Terdapat peningkatan kandungan besi pada kelompok N₁ dan N₂ dibandingkan dengan kelompok N₀ (N₁ = 3.28 mg/100ml, N₂ = 3.81 mg/100ml). Kandungan zinc pada kelompok N₂ meningkat sementara kelompok N₁ menurun dibandingkan dengan kelompok N₀ (N₁ = 0.90 mg/100ml, N₂ = 1.00 mg/ml). Ketengikan hari ke-0 penyimpanan kelompok N₁ dan N₂ lebih tinggi dibanding kelompok N₀ (N₁ = 0.016, N₂ = 0.016). Terdapat perbedaan ketengikan pada hari ke-7 penyimpanan antara N₁ dan N₂ dengan N₀ (N₁ = 0.029, N₂ = 0.033). Peningkatan ketengikan terjadi pada semua kelompok (N₀ = 0.007, N₁ = 0.013, N₂ = 0.017).

Simpulan : Fortifikasi FeSO₄ dan ZnCl₂ berpengaruh secara signifikan terhadap kandungan besi, zinc, dan peningkatan ketengikan hari ke-0 dan ke-7 penyimpanan.

Kata kunci : yogurt, fortifikasi, besi, zinc, ketengikan, FeSO₄, ZnCl₂, TBA

*Penulis penanggungjawab

Fortification Effects of FeSO₄ and ZnCl₂ on Iron, Zinc Contents and Rancidity of Symbiotic Goat Milk Yogurt

Andri Widarta Wong Binar Panunggal*

ABSTRACT

Background : Fortification of milk products is known as a way to overcome iron and zinc inadequacy. Goat milk increases divalent metal transporter 1 (DMT1) which works as transporter for iron and zinc. Unpleasant aroma in goat milk can be reduced by using lactic acid bacteria fermentation. Addition of inulin can make symbiotic effect in yogurt and increase iron and zinc absorption. Minerals fortification can affect product rancidity.

Objective : To analyze effects of iron and zinc fortification in symbiotic goat milk yogurt on iron and zinc contents, also on rancidity in day 0 and day 7th of storage.

Methods : Experiment using 3 groups of treatment: N₀ (control), N₁ (fortified with FeSO₄ 55 mg/l), N₂ (fortified with FeSO₄ 55 mg/l and ZnCl₂ 15.6 mg/l). Measurement of iron and zinc contents using atomic absorption spectrophotometry (AAS) and rancidity using thiobarbituric acid assays (TBA).

Results : There were an increase in iron contents of N₁ and N₂ groups compared to N₀ (N₁ = 3.28 mg/100ml, N₂ = 3.81 mg/100ml). Zinc contents in group N₂ increased while in group N₁ decreased (N₁ = 0.90 mg/100ml, N₂ = 1.00 mg/ml). Rancidity of 0 day storage of groups N₁ and N₂ are higher than N₀ (N₁ = 0.016, N₂ = 0.016). Rancidity of 7th day storage also higher in group N₁ and N₂ (N₁ = 0.029, N₂ = 0.033). Increase of rancidity occurs in all groups (N₀ = 0.007, N₁ = 0.013, N₂ = 0.017).

Conclusion : Fortification of FeSO₄ and ZnCl₂ significantly affects the content of iron, zinc, 0 and 7th day of storage rancidity.

Keywords : yogurt, fortification, iron, zinc, FeSO₄, ZnCl₂, TBA

*Responsible writers

PENDAHULUAN

Malnutrisi mikronutrien (MNM) adalah kondisi defisiensi mikronutrien yang tersebar luas di negara maju dan negara berkembang dan dapat terjadi pada semua golongan usia, terutama pada anak-anak dan wanita usia produktif. Kondisi defisiensi klinis memberikan efek buruk terhadap kesehatan manusia. Malnutrisi mikronutrien meliputi besi, vitamin A, iodine, zinc, asam folat (vitamin B9), vitamin D, vitamin B12, vitamin B lainnya (thiamin, riboflavin, niasin, B6), kalsium, selenium dan fluor.¹

Defisiensi besi merupakan masalah gizi yang paling umum, tersebar di seluruh dunia, dan menjadi masalah kesehatan masyarakat baik di negara berkembang maupun negara maju.² Diperkirakan sekitar 2 miliar orang menderita anemia dan 50% diantaranya diakibatkan defisiensi besi.³ Pendekatan yang dilakukan untuk mengurangi prevalensi anemia defisiensi besi adalah melalui suplementasi dan fortifikasi.¹

Zinc adalah komponen esensial bagi banyak enzim, memiliki peranan utama dalam pertumbuhan dan diferensiasi sel termasuk sistem kekebalan tubuh dan sel pada saluran pencernaan. Diperkirakan 17.3% populasi di dunia memiliki risiko asupan zinc inadekuat.⁴ Permasalahan defisiensi zinc dapat diatasi menggunakan metode suplementasi dan fortifikasi.¹

Fortifikasi pada makanan merupakan salah satu pendekatan untuk meningkatkan kandungan zat gizi melalui penambahan satu atau lebih zat gizi esensial (fortifikan) ke makanan yang biasa dikonsumsi.¹ Fortifikasi besi lebih sulit dilakukan dibandingkan fortifikasi zat gizi lain karena besi bereaksi dengan beberapa bahan makanan melalui oksidasi yang menyebabkan munculnya perubahan warna dan rasa logam.⁵ Fortifikasi zinc diketahui dapat membantu menghambat oksidasi lemak oleh besi sehingga mencegah ketengikan.⁶ Kenaikan nilai TBA menunjukkan semakin tengiknya suatu produk. Pemeriksaan TBA dapat dilakukan setelah 7 hari masa penyimpanan.⁷

Fortifikasi pada susu dan produk olahan susu dengan garam besi dan zinc merupakan strategi yang efektif dan ekonomis untuk mencegah dan mengatasi defisiensi besi dan zinc.^{8,9} Kualitas produk susu yang difortifikasi dipengaruhi oleh sumber besi yang digunakan, jumlah besi dan sifat dari produk yang difortifikasi.⁵ Pada penelitian yang bertujuan membandingkan manfaat pemberian susu sapi dengan susu kambing terhadap perbaikan status anemia, diketahui bahwa pemberian susu kambing lebih baik dibanding susu sapi karena susu kambing mampu meningkatkan *divalent metal transporter 1* (DMT1) hati dan serum hepcidin selama replisi besi pada penderita anemia defisiensi besi sehingga meningkatkan metabolisme dan penyimpanan besi dibanding pemberian susu sapi. DMT1 berperan dalam metabolisme besi yang terikat dengan transferrin atau besi yang tidak terikat dengan transferrin, yang muncul di plasma pada saat terjadi beban besi berlebih (*overload*). Peningkatan DMT1 mungkin berkaitan dengan peningkatan metabolisme kalsium¹⁰ dan kandungan vitamin A pada susu kambing yang mencapai 2 kali lebih tinggi dibanding susu sapi.¹¹ DMT1 juga berperan dalam absorpsi zinc.¹² Susu kambing juga diketahui memiliki kandungan gizi yang lebih tinggi dibanding susu sapi. Kandungan gizi yang dimaksud adalah total protein, lemak, dan mineral (kalsium, phosphor, magnesium, besi dan zinc).¹³

Pada proses pembuatan yogurt terjadi proses yang berpotensi untuk mengurangi keberadaan aroma tidak sedap pada susu kambing. Proses itu berupa pemanasan yang dapat memproduksi senyawa aroma dan penambahan kultur bakteri starter.¹⁴ Bakteri starter dapat membentuk aroma baru khas yogurt melalui pembentukan asam formiat.¹⁴ Penambahan bakteri asam laktat sebagai probiotik akan memberikan proteksi pada kesehatan pencernaan.¹⁵ Selain itu yogurt juga berperan sebagai sumber protein yang lebih mudah dicerna karena telah mengalami degradasi menjadi peptida rantai pendek atau asam amino.¹⁶

Yogurt yang diperkaya dengan prebiotik akan memunculkan efek sinbiotik.¹⁷ Prebiotik yang umum digunakan terdiri dari golongan glukukan, fruktan dan mannan.¹⁸ Inulin dan oligofruktosa merupakan golongan fruktan yang paling dikenal karena

memiliki sifat serat larut dan dapat difermentasi. Inulin dan oligofruktosa mencapai usus besar dalam keadaan utuh kemudian dihidrolisa pada bagian proksimal usus besar dan difermentasi oleh bakteri.¹⁹ Selain itu, inulin dan oligofruktosa memiliki efek protektif terhadap probiotik sehingga meningkatkan ketahanan hidup dan aktivitas probiotik selama masa penyimpanan.²⁰ Inulin memiliki efek bifidogenik (meningkatkan jumlah *bifidobacterium*) dan dapat dengan mudah larut di air.¹⁹ Penambahan inulin dapat meningkatkan absorpsi mineral seperti Ca, Fe dan Zn pada bayi.²¹

Pada penelitian di Bangladesh, pemberian yogurt yang difortifikasi dengan besi, zinc, iodine, dan vitamin A mampu meningkatkan konsentrasi hemoglobin (Hb) pada anak usia sekolah. Yogurt diberikan sebanyak 60 g per hari selama 1 tahun. Yogurt yang diberikan mengandung besi, zinc, iodine dan vitamin A sebanyak 30% dari RDA.²²

Yogurt sinbiotik dengan bahan dasar susu kambing yang difortifikasi dengan besi dan zinc dapat menjadi sarana yang berpotensi untuk mencegah dan membantu mengatasi malnutrisi mikronutrien besi dan zinc. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk menganalisis pengaruh fortifikasi besi dan zinc pada yogurt susu kambing sinbiotik terhadap kandungan besi, zinc serta ketengikan selama penyimpanan.

METODE

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap. Terdapat 3 kelompok dalam penelitian ini yaitu N₀ sebagai kelompok kontrol (tanpa fortifikasi), N₁ sebagai kelompok yang difortifikasi dengan FeSO₄ sebanyak 55 mg/l susu kambing segar dan N₂ sebagai kelompok yang difortifikasi dengan FeSO₄ sebanyak 55 mg/l + ZnCl₂ sebanyak 15.6 mg/l susu kambing segar. Setiap kelompok mendapat pengulangan sebanyak 3 kali.

Subjek dalam penelitian ini adalah yogurt sinbiotik fortifikasi dengan ekstrak mangga (1% v/v) yang terbuat dari fermentasi susu kambing cair oleh bakteri asam

laktat (*Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*) sebanyak 3% dengan penambahan gula pasir (5% w/v) dan inulin (5% w/v) kemudian difortifikasi dengan garam besi dan zinc sesuai perlakuan. Susu kambing cair peranakan etawah (PE) didapatkan dari peternakan kambing di Salatiga, Jawa Tengah. Inokulum bahan murni *single strain* yang didapat dari Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, kemudian ditumbuhkan pada media susu skim untuk dijadikan starter (kultur mikroba). Ekstrak mangga dibuat dari mangga gedong (*Mangifera indica* L.) di Laboratorium Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Diponegoro. Garam besi (FeSO_4) dan zinc (ZnCl_2) diperoleh dari Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Kelompok kontrol (N_0) merupakan yogurt sinbiotik dengan inulin serta ekstrak mangga yang sama pada subjek penelitian, namun tanpa penambahan garam besi dan zinc. Proses fermentasi yogurt oleh *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* dilakukan selama 11 jam pada suhu 43°C , setelah susu dipasteurisasi selama 5 menit pada suhu 90°C .

Kandungan besi dan zinc diuji menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) dilakukan pada hari penyimpanan ke-0 dengan panjang gelombang 248.2 nm untuk besi dan 213.9 nm untuk zinc, ketengikan menggunakan uji TBA (*Thiobarbituric Acid*) dilakukan 2 kali, yaitu pada hari penyimpanan ke-0 dan hari penyimpanan ke-7 pada panjang gelombang 528 nm. Analisis kandungan besi dan zinc dilakukan di Laboratorium Kimia, analisis ketengikan di Laboratorium Pangan dan Gizi, Universitas Muhammadiyah Semarang.

HASIL

Kandungan Besi Yogurt Susu Kambing Sinbiotik

Fortifikasi FeSO_4 meningkatkan kandungan besi yogurt yaitu 3.28 mg/100 ml dibanding dengan kelompok kontrol 2.26 mg/100ml. Yogurt dengan fortifikasi FeSO_4 + ZnCl_2 mempunyai kandungan besi lebih tinggi 3.81 mg/100ml dibandingkan dengan yogurt fortifikasi FeSO_4 . Hasil analisis kandungan besi dapat dilihat pada

lampiran 3 dan nilai rerata kandungan besi yogurt susu kambing sinbiotik dengan fortifikasi garam besi dan zinc secara singkat dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rerata dan hasil uji kandungan besi, zinc, TBA hari ke-0, TBA hari ke-7

Kelompok	Kandungan Besi (mg/100ml) ¹	Kandungan Zinc (mg/100ml) ²	TBA hari ke- 0 ¹	TBA hari ke- 7 ²
N ₀	2.26±0.17 ^c	0.92±0.01 ^b	0.013±0.001 ^{bb}	0.020±0.001 ^{ca}
N ₁	3.28±0.15 ^b	0.90±0.00 ^c	0.016±0.001 ^{ab}	0.029±0.001 ^{ba}
N ₂	3.81±0.16 ^a	1.00±0.03 ^a	0.016±0.001 ^{ab}	0.033±0.001 ^{aa}

^{abc} menunjukkan perbedaan rerata bermakna ($p < 0.05$) setelah diuji menggunakan uji *post-hoc*.

^{AB} menunjukkan perbedaan rerata bermakna ($p < 0.05$) setelah diuji menggunakan uji *paired t-test* atau Wilcoxon

1: Uji *one way ANOVA*

2: Uji Kruskal-Wallis

Kandungan Zinc Yogurt Susu Kambing Sinbiotik

Kandungan zinc pada yogurt dengan fortifikasi FeSO₄ + ZnCl₂ adalah yang tertinggi yaitu 1.00 mg/100ml dibandingkan yogurt kontrol dan yogurt yang difortifikasi FeSO₄. Yogurt yang difortifikasi dengan FeSO₄ menunjukkan penurunan kandungan zinc dibandingkan kelompok kontrol yaitu 0.90 mg/100ml banding 0.92 mg/100ml. Hasil uji kandungan zinc yogurt susu kambing menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antar kelompok. Uji *post-hoc* menunjukkan adanya perbedaan pada masing-masing kelompok. Hasil analisis kandungan zinc dapat dilihat pada lampiran 5 dan nilai rerata kandungan zinc pada yogurt susu kambing sinbiotik dengan fortifikasi FeSO₄, FeSO₄ + ZnCl₂ secara singkat dapat dilihat pada tabel 1.

Nilai TBA Yogurt Susu Kambing Sinbiotik hari ke-0 penyimpanan

Pada penelitian ini, digunakan nilai TBA sebagai indikator ketengikan. Nilai TBA pada yogurt yang difortifikasi FeSO₄ sama dengan kelompok yang difortifikasi FeSO₄ + ZnCl₂ yaitu 0.016 lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol 0.013. Hasil uji menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antar kelompok yang kemudian dilanjutkan dengan menggunakan uji *post-hoc* dan diketahui bahwa terdapat perbedaan pada kelompok N₀ dengan kelompok N₁ dan kelompok N₀ dengan kelompok N₂. Hasil analisis nilai TBA dapat dilihat pada lampiran 4 dan nilai rerata TBA secara singkat dapat dilihat pada tabel 1.

Nilai TBA Yogurt Susu Kambing Sinbiotik hari ke-7 penyimpanan

Nilai TBA Yogurt susu kambing sinbiotik dengan fortifikasi FeSO_4 dan ZnCl_2 yang kemudian disimpan dalam suhu 4°C selama 7 hari memiliki rerata 0.020-0.033. Nilai rerata terendah terdapat pada kelompok N_0 dan nilai tertinggi berada pada kelompok N_2 yaitu kelompok yang difortifikasi menggunakan $\text{FeSO}_4 + \text{ZnCl}_2$. Hasil uji menunjukkan adanya perbedaan antar kelompok kemudian dilanjutkan menggunakan uji *post-hoc* dan diketahui bahwa terdapat perbedaan pada masing-masing kelompok. Hasil analisis nilai TBA 7 hari dapat dilihat pada lampiran 5 dan nilai rerata TBA 7 hari secara singkat dapat dilihat pada tabel 1.

Perubahan Nilai TBA hari ke-0 dan hari ke-7 Yogurt Susu Kambing Sinbiotik

Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan pada ketiga kelompok yogurt dengan peningkatan terbesar pada yogurt fortifikasi $\text{FeSO}_4 + \text{ZnCl}_2$ yaitu 0.017 dengan nilai akhir setelah masa penyimpanan sebesar 0.033 dibandingkan dengan peningkatan pada yogurt fortifikasi FeSO_4 0.013 dengan nilai akhir setelah masa penyimpanan 0.029 dan kontrol 0.007 dengan nilai akhir setelah masa penyimpanan 0.020. Hasil uji beda rerata nilai TBA hari ke-0 dan hari ke-7 pada kelompok N_1 dan N_2 juga menunjukkan adanya perbedaan. Rerata pada masing-masing kelompok dapat dilihat pada tabel 1.

PEMBAHASAN

Kandungan Besi

Peningkatan kandungan besi pada kelompok N_1 dan N_2 menunjukkan bahwa penambahan FeSO_4 sebanyak 55mg/l susu kambing segar mampu meningkatkan kandungan besi pada yogurt secara signifikan. Kandungan besi dalam garam FeSO_4 berkisar 30% dari garam FeSO_4 awal.²³ Berdasarkan perhitungan awal, pemberian FeSO_4 sebanyak 55 mg/l susu kambing diharapkan mampu meningkatkan kandungan besi yogurt sebesar 1.65 mg/100 ml. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan paling tinggi terdapat pada kelompok N_2 dengan besar peningkatan 1.55 mg/100 ml.

Pada percobaan menggunakan tikus dan ayam diketahui bahwa FeSO_4 merupakan bentuk fortifikan besi yang paling baik absorpsinya dibandingkan dengan

ferrous gluconate dan *ferrous glycerol phosphate*.²⁴ Senyawa besi yang larut air memiliki bioavailabilitas relatif yang paling tinggi dibanding jenis senyawa lain. FeSO_4 merupakan garam besi larut air dengan skor bioavailabilitas relatif sebesar 100 dan memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi dibanding fortifikan larut air lainnya.¹ Pada penelitian dengan subjek bayi, diketahui bahwa penambahan inulin sebesar 1 gram/hari mampu meningkatkan absorpsi besi.²¹

Pada penelitian Diaz-Castro tahun 2008, diketahui pemberian susu kambing mampu meningkatkan *divalent metal transporter 1* (DMT1) pada penderita anemia defisiensi besi.¹⁰ Peningkatan DMT1 terbukti meningkatkan jumlah sel darah merah, meningkatkan metabolisme dan penyimpanan besi. Kenaikan jumlah DMT1 yang berperan sebagai transporter ion logam bervalensi dua seperti besi mungkin disebabkan oleh adanya peningkatan metabolisme kalsium¹⁰ dan atau tingginya kandungan vitamin A pada susu kambing.¹¹ Proses pasteurisasi dan fermentasi diketahui tidak mempengaruhi kandungan vitamin A.²⁵

Kandungan Zinc

Penambahan FeSO_4 sebesar 55 mg/l + ZnCl_2 sebesar 15.6 mg/l susu kambing segar terbukti meningkatkan kandungan zinc yogurt susu kambing sinbiotik pada kelompok perlakuan 2 (N_2) secara signifikan. Pada perhitungan awal, penambahan ZnCl_2 sebanyak 15.6 mg/l susu diharapkan mampu meningkatkan kandungan zinc pada yogurt sebesar 0.75 mg/100 ml. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan terbesar berada pada kelompok N_2 dimana kandungan zinc meningkat sebesar 0.08 mg/100 ml.

Zinc adalah logam yang merupakan kofaktor enzim, tidak terlibat dalam reaksi reduksi oksidasi dan dapat berfungsi sebagai penstabil dalam konformasi enzim.²⁴ Fortifikasi menggunakan ZnCl_2 berdasarkan pada tingkat keamanan garam zinc yang telah mendapatkan status GRAS (*Generally Recognized as Safe*) oleh FDA (*Food and Drug Administration*). ZnCl_2 merupakan garam zinc yang berwarna putih-bening yang larut air.¹ Pemberian susu kambing diketahui dapat meningkatkan DMT1

yang merupakan transporter zinc.^{10,12} Penambahan inulin sebesar 0.75 g/hari pada bayi mampu meningkatkan absorpsi zinc.²¹

Yogurt susu kambing sinbiotik memiliki pH yang rendah yaitu 4.65-4.75. Keberadaan pH yang rendah pada yogurt memfasilitasi ikatan zinc dengan ligand yang memiliki berat molekul rendah. Ligand tersebut dapat meningkatkan absorpsi zinc melalui peningkatan kemampuan transport zinc melewati dinding saluran gastrointestinal atau dengan mencegah terikatnya zinc dengan zat lain yang dapat menurunkan availabilitas zinc untuk diabsorpsi.²⁶

Ketengikan Yogurt Susu Kambing Sinbiotik

Malondialdehid (MDA) merupakan senyawa volatil hasil degradasi asam lemak tidak jenuh.²⁴ Logam besi memicu autooksidasi asam lemak tidak jenuh ketika terdapat hidroperoksida. Radikal hasil dari oksidasi hidroperoksida akan mempercepat peroksidasi asam lemak secara autokatalitik. Pemeriksaan MDA dilakukan menggunakan penentuan nilai TBA. Semakin tinggi nilai TBA semakin tinggi suatu produk.⁵

Munculnya ion O_2^- pada susu menginisiasi peroksidasi asam lemak melalui reaksi rantai. Pada proses oksidasi xanthin menjadi asam urat, oksigen akan mengalami pengurangan satu elektron sebanyak dua tahap melalui sistem transfer elektron. Saat terjadi hanya satu kali pengurangan elektron, enzim akan melepaskan sebagian dari oksigennya sehingga membentuk O_2^- yang merupakan anion radikal superoksida. Ion ini kemudian akan menginisiasi peroksidasi asam lemak.²⁴

Pada yogurt segar (0 hari penyimpanan) diketahui bahwa telah terbentuk ketengikan yang dibuktikan dengan nilai TBA pada masing-masing kelompok. Nilai TBA lebih tinggi pada kelompok N₁ dan N₂ dibanding kelompok kontrol. Peningkatan nilai TBA kelompok N₁ dan N₂ dapat disebabkan oleh adanya peningkatan kandungan besi akibat fortifikasi. Pada kelompok N₂ kandungan besi lebih tinggi namun tidak terdapat perbedaan nilai TBA secara bermakna dengan kelompok N₁. Hal ini dapat terjadi karena belum cukupnya waktu untuk semua logam

besi memicu autooksidasi asam lemak tidak jenuh atau adanya pengaruh dari fortifikasi zinc yang secara teori mampu mencegah ketengikan.

Peningkatan ketengikan yang diindikasikan dengan kenaikan nilai TBA dapat diamati pada semua kelompok setelah mengalami penyimpanan selama 7 hari pada suhu 4°C. Peningkatan terbesar berada pada kelompok N₂ yang memiliki kandungan besi paling tinggi dibanding kelompok lain. Penambahan mineral seperti besi menginduksi oksidasi lemak susu pada penyimpanan jangka panjang. Semakin besar jumlah fortifikan FeSO₄ semakin mempercepat oksidasi lemak sehingga nilai TBA akan semakin tinggi.²⁷ Penambahan zinc pada keju diketahui dapat menurunkan nilai TBA pada pengamatan hari ke-60 penyimpanan. Hal ini menunjukkan bahwa zinc mampu melindungi degradasi MDA pada jangka waktu tertentu.⁸ Pada penelitian terdahulu, fortifikasi besi yang tidak dienkapsulasi sebanyak 4 gram per liter susu secara signifikan meningkatkan nilai TBA setelah penyimpanan selama 7 hari.⁷

KELEMAHAN PENELITIAN

Tidak dilakukan penentuan kandungan besi dan zinc pada fortifikan sebelum dilakukan penelitian.

SIMPULAN

1. Fortifikasi FeSO₄ sebesar 55 mg/l susu kambing meningkatkan kandungan besi, ketengikan hari ke-0 dan ke-7 penyimpanan, serta menurunkan kandungan zinc secara bermakna.
2. Fortifikasi FeSO₄ sebesar 55mg/l + ZnCl₂ sebesar 15.6 mg/l susu kambing meningkatkan kandungan besi, zinc, dan ketengikan hari ke-0 serta ke-7 penyimpanan.
3. Terjadi peningkatan ketengikan setelah 7 hari penyimpanan pada semua kelompok dengan peningkatan terbesar berada pada kelompok N₂.

SARAN

1. Perlu dilakukan uji lebih lanjut untuk mengetahui efektivitas fortifikasi besi dan zinc pada yogurt susu kambing terhadap status besi dan zinc dalam darah pada hewan coba.
2. Perlu dilakukan enkapsulasi pada fortifikan besi dan zinc untuk memperlambat kenaikan ketengikan produk.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kepada Tuhan YME atas segala berkat dan karunia yang telah diberikan sehingga karya tulis ilmiah ini dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terimakasih kepada pembimbing dan para penguji atas segala bimbingan dan saran yang telah diberikan dalam penyusunan karya tulis ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada orang tua, sahabat dan teman-teman atas dukungan dan doa, serta kepada pihak-pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Allen L., de Benoist B., Dary O., Hurrell R. Guidelines on food fortification with micronutrients. 2006. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations. Geneva.
2. Iron deficiency anaemia: assessment, prevention, and control. A guide for programme managers. 2001. World Health Organization, Geneva. (WHO/NHD/01.3)
3. WHO (World Health Organization). Worldwide prevalence of anemia 1993-2005. In WHO Global Database on Anemia. Bruno de Benoist, Erin McLean, Ines Egli, Mary Cogswell. 2008. WHO, Geneva, Switzerland.
4. Wessells K. R., Brown K. H. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: Results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting. PLoS ONE 2012;7(11): e50568
5. El-Kholy A.M., Osman M., Gouda A., Ghareeb Wafaa A. Fortification of Yoghurt with Iron. World Journal of Dairy & Food Sciences 2011;6 (2): 159-165.
6. Fang Y.Z., Yang S., Wu G. Free radicals, antioxidants, nutrition. Nutrition 2002;18(10): 872-79.
7. Jayalalitha V., Balasundaram B., Palanidorai B., Naresh K.C. Fortification of Encapsulated Iron in Probiotic Yoghurt. International Journal of Agriculture: Research and Review. 2012;Vol., 2 (2): 80-84.
8. Kahraman O. Effect of milk fortification with zinc on lactic acid bacteria activity and cheese quality [Thesis]. 2011. Polytechnic University of Marche. Ancona. Italy.
9. Hekmat S., McMahon D.J. Manufacture and quality of iron-fortified yogurt. Journal of Dairy Science 1997; 80:3114-122.
10. Diaz-Castro J., Pulido M., Alferez M.J.M., Ochoa J.J., Rivas E., Hijano S., Lopez-Aliaga I. Goat milk consumption modulates liver divalent metal

transporter 1 (DMT1) expression and serum hepcidin during Fe repletion in Fe-deficiency anemia. *J. Dairy Sci.* 2013;97: 147-54

11. Alferez M.J.M., Lopez-Aliaga I., Nestares T., Diaz-Castro J., Barrionuevo M., Ros P.B., Campos M.S. Dietary goat milk improves iron bioavailability in rats with induced nutritional ferropenic anemia in comparison to cow milk. *Int. Dairy J.* 2006;16: 813-21.
12. Iyengar V., Pullakhandam R., Nair K.M. Iron-Zinc interaction during uptake in human intestinal Cac0-2 cell line: Kinetic analyses and possible mechanism. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics* 2009;46: 2299-306.
13. Boycheva S., Dimitrov T., Naydenova N., Mihaylova G. Quality characteristics of yogurt from goat's milk, supplemented with fruit juice. *Czech J. Food Sci.* 2011;29: 24-30
14. Effendi M.H., Hartini S., Lusiastuti A.M. Peningkatan Kualitas yogurt dari susu kambing dengan penambahan bubuk susu skim dan pengaturan suhu pemeramam. *J. Penelit. Med. Eksakta*, 2009;Vol. 8 No.3: 185-92.
15. Aswal P., Shukia A., Priyadarshi S. Yoghurt: Preparation, characteristics and recent advancements. *Cibtech Journal of Bio-Protocols* 2012;vol 1 (2) September-December, pp 32-44.
16. Savijoki K., Ingmer H., Varmanen P. 2006. Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol* 2006;71: 394-406.
17. Oliveira R.P.S., Perego P., Oliveira M.N., Coverti A. Effect of inulin as prebiotic and symbiotic interactions between probiotics to improve fermented milk firmness. *Journal of Food Engineering* 107 2011;36-40.
18. Carabin I.G., Flamm W.G. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 1999;30: 268-82.
19. Roberfroid M., Van Loo J.A.E., Gibson G. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *Journal of Nutrition* 1998;128: 11-19.

20. Donkor O.N., Nilmini S.L.I., Stolic P., Vasiljevic T., Shah N.P. Survival and activity of selected probiotic organisms in set-type yoghurt during cold storage. *International Dairy Journal* 2007;17: 657-665.
21. Yap K.W., Mohamed S., Yazid A.M., et al. Dose response effects of inulin on fecal short-chain fatty acids content and mineral absorption of formula fed infants. *Nutr Food Sci.* 2005;35:208-219.
22. Sazawal S., Habib A.K.M.A., Dhingra U., Dutta A., Dhingra P., Sarkar A., Deb S., Alam J., Husna A., Black R.E. Impact of micronutrient fortification of yogurt on micronutrient status markers and growth- a randomized double blind controlled trial among school children in Bangladesh. *BMC Public Health* 2013, 13:314
23. Nathan R. Regulation of Fortified Foods to Address Micronutrient Malnutrition: Legislation, Regulations and Enforcement Manual 3rd edition. 1999.
24. Belitz H.D., Grosch W., Schieberle P. *Food Chemistry* 3rd rev. 2004. Springer Verlag: Germany.
25. Fellows P., J. *Food Processing technology: Principles and practice.* 2nd eds. 2000. Woodhead Publishing: England.
26. Shen L., Robberecht H., Van Dael P., Deelstra H. Estimation of bioavailability of zinc and calcium from human, cow's, goat and sheep milk by an in vitro method. *Biological Trace Element Research* 1995;49: 107-18.

LAMPIRAN 1. Hasil Uji Normalitas Mutu Gizi dan Nilai TBA Yogurt Susu Kambing Sinbiotik

Tests of Normality							
Kelompok		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
kandungan besi pada yogurt	Kontrol	.245	6	.200*	.900	6	.375
	perlakuan 1	.278	6	.163	.846	6	.145
	perlakuan 2	.187	6	.200*	.921	6	.515
kandungan TBA pada yogurt	Kontrol	.214	6	.200*	.958	6	.804
	perlakuan 1	.183	6	.200*	.960	6	.820
	perlakuan 2	.167	6	.200*	.982	6	.960
kandungan zinc pada yogurt	Kontrol	.254	6	.200*	.866	6	.212
	perlakuan 1	.492	6	.000	.496	6	.000
	perlakuan 2	.426	6	.001	.603	6	.000
kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari	Kontrol	.333	6	.036	.827	6	.101
	perlakuan 1	.407	6	.002	.640	6	.001
	perlakuan 2	.302	6	.094	.775	6	.035

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

LAMPIRAN 2. Deskriptif Kandungan Besi, Zinc dan Nilai TBA Yogurt Susu Kambing Sinbiotik

Descriptives				Statistik	Std. Error
Kelompok					
kandungan besi pada yogurt	Kontrol	Mean		2.2633	.06878
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	2.0865	
			Upper Bound	2.4401	
			5% Trimmed Mean	2.2565	

	Median		2.2100	
	Variance		.028	
	Std. Deviation		.16848	
	Minimum		2.10	
	Maximum		2.55	
	Range		.45	
	Interquartile Range		.29	
	Skewness		1.136	.845
	Kurtosis		.574	1.741
perlakuan	Mean		3.2833	.06265
1	95% Confidence Interval for Mean	Lower	3.1223	
		Bound		
		Upper	3.4444	
		Bound		
	5% Trimmed Mean		3.2793	
	Median		3.2250	
	Variance		.024	
	Std. Deviation		.15345	
	Minimum		3.14	
	Maximum		3.50	
	Range		.36	
	Interquartile Range		.31	
	Skewness		.789	.845
	Kurtosis		-1.628	1.741
perlakuan	Mean		3.8083	.06575
2	95% Confidence Interval for Mean	Lower	3.6393	
		Bound		
		Upper	3.9773	
		Bound		
	5% Trimmed Mean		3.8059	

	Median		3.7700	
	Variance		.026	
	Std. Deviation		.16105	
	Minimum		3.63	
	Maximum		4.03	
	Range		.40	
	Interquartile Range		.32	
	Skewness		.492	.845
	Kurtosis		-1.653	1.741
kandungan TBA pada yogurt Kontrol	Mean		.01317	.000601
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.01162	
		Upper Bound	.01471	
	5% Trimmed Mean		.01319	
	Median		.01350	
	Variance		.000	
	Std. Deviation		.001472	
	Minimum		.011	
	Maximum		.015	
	Range		.004	
	Interquartile Range		.003	
	Skewness		-.418	.845
	Kurtosis		-.859	1.741
perlakuan 1	Mean		.01650	.000428
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.01540	
		Upper Bound	.01760	
	5% Trimmed Mean		.01650	
	Median		.01650	

	Variance		.000	
	Std. Deviation		.001049	
	Minimum		.015	
	Maximum		.018	
	Range		.003	
	Interquartile Range		.002	
	Skewness		.000	.845
	Kurtosis		-.248	1.741
perlakuan	Mean		.01600	.000577
2	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.01452	
		Upper Bound	.01748	
	5% Trimmed Mean		.01600	
	Median		.01600	
	Variance		.000	
	Std. Deviation		.001414	
	Minimum		.014	
	Maximum		.018	
	Range		.004	
	Interquartile Range		.003	
	Skewness		.000	.845
	Kurtosis		-.300	1.741
kandungan zinc pada yogurt	Mean	Kontrol	.9217	.00307
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.9138	
		Upper Bound	.9296	
	5% Trimmed Mean		.9219	
	Median		.9200	
	Variance		.000	

				Std. Deviation	.00753	
				Minimum	.91	
				Maximum	.93	
				Range	.02	
				Interquartile Range	.01	
				Skewness	-.313	.845
				Kurtosis	-.104	1.741
	perlakuan			Mean	.8983	.00167
	1	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.8940		
			Upper Bound	.9026		
			5% Trimmed Mean	.8987		
			Median	.9000		
			Variance	.000		
			Std. Deviation	.00408		
			Minimum	.89		
			Maximum	.90		
			Range	.01		
			Interquartile Range	.00		
			Skewness	-2.449	.845	
			Kurtosis	6.000	1.741	
	perlakuan			Mean	1.0083	.01447
	2	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.9711		
			Upper Bound	1.0455		
			5% Trimmed Mean	1.0054		
			Median	.9950		
			Variance	.001		
			Std. Deviation	.03545		

		Minimum		.99	
		Maximum		1.08	
		Range		.09	
		Interquartile Range		.03	
		Skewness		2.347	.845
		Kurtosis		5.598	1.741
kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari	Kontrol	Mean		.02000	.000258
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.01934	
			Upper Bound	.02066	
			5% Trimmed Mean	.02000	
		Median	.02000		
		Variance	.000		
		Std. Deviation	.000632		
		Minimum	.019		
		Maximum	.021		
		Range	.002		
		Interquartile Range	.001		
		Skewness	.000	.845	
		Kurtosis	2.500	1.741	
		perlakuan 1		Mean	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			.02879	
	Upper Bound			.02988	
	5% Trimmed Mean			.02931	
Median	.02900				
Variance	.000				
Std. Deviation	.000516				
Minimum	.029				

	Maximum		.030	
	Range		.001	
	Interquartile Range		.001	
	Skewness		.968	.845
	Kurtosis		-1.875	1.741
perlakuan	Mean		.03317	.000401
2	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.03213	
		Upper Bound	.03420	
	5% Trimmed Mean		.03319	
	Median		.03350	
	Variance		.000	
	Std. Deviation		.000983	
	Minimum		.032	
	Maximum		.034	
	Range		.002	
	Interquartile Range		.002	
	Skewness		-.456	.845
	Kurtosis		-2.390	1.741

Lampiran 3. Hasil Uji One Way ANOVA Kandungan Besi

ANOVA

kandungan besi pada yogurt

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.406	2	3.703	142.663	.000
Within Groups	.389	15	.026		
Total	7.795	17			

Lampiran 4. Hasil Uji *Post-hoc* Tukey Kandungan Besi

kandungan besi pada yogurt

Kelompok		N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD ^a	Kontrol	6	2.2633		
	perlakuan 1	6		3.2833	
	perlakuan 2	6			3.8083
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Lampiran 5. Hasil Uji Kruskal-Wallis Kandungan Zinc

Test Statistiks^{a,b}

	kandungan zinc pada yogurt
Chi-Square	15.642
df	2
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Kelompok

Lampiran 6. Hasil Uji *Post-hoc* Mann-Whitney Kandungan Zinc

Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
kandungan zinc pada yogurt	Kontrol	6	9.50	57.00
	perlakuan 1	6	3.50	21.00
	Total	12		

Test Statistiks^b

	kandungan zinc pada yogurt
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	21.000
Z	-3.017
Asymp. Sig. (2-tailed)	.003
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.002 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
kandungan zinc pada yogurt	Kontrol	6	3.50	21.00
	perlakuan 2	6	9.50	57.00
	Total	12		

Test Statistiks^b

	kandungan zinc pada yogurt
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	21.000
Z	-2.934
Asymp. Sig. (2-tailed)	.003
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.002 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
kandungan zinc pada yogurt	perlakuan 1	6	3.50	21.00
	perlakuan 2	6	9.50	57.00
	Total	12		

Test Statistiks^b

	kandungan zinc pada yogurt
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	21.000
Z	-3.017
Asymp. Sig. (2-tailed)	.003
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.002 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

Lampiran 7. Hasil Uji One Way ANOVA TBA Hari ke-0

Test of Homogeneity of Variances

kandungan TBA pada yogurt

Levene Statistik	df1	df2	Sig.
.313	2	15	.736

ANOVA

kandungan TBA pada yogurt

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	11.044	.001
Within Groups	.000	15	.000		
Total	.000	17			

kandungan TBA pada yogurt

	Kelompok	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD ^a	Kontrol	6	.01317	
	perlakuan 2	6		.01600
	perlakuan 1	6		.01650
	Sig.		1.000	.793

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 8. Hasil Uji Kruskal-Wallis dan *post-hoc* Mann-Whitney Nilai TBA hari ke-7

Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank
kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari	Kontrol	6	3.50
	perlakuan 1	6	9.50
	perlakuan 2	6	15.50
	Total	18	

Test Statistiks^{a,b}

	kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari
Chi-Square	15.576
df	2
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Kelompok

Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari	Kontrol	6	3.50	21.00
	perlakuan 1	6	9.50	57.00
	Total	12		

Test Statistiks^b

	kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	21.000

Z	-2.994
Asymp. Sig. (2-tailed)	.003
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.002 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari	Kontrol	6	3.50	21.00
	perlakuan 2	6	9.50	57.00
	Total	12		

Test Statistiks^b

	kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	21.000
Z	-2.961
Asymp. Sig. (2-tailed)	.003
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.002 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

Ranks

	Kelompok	N	Mean Rank	Sum of Ranks
kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari	perlakuan 1	6	3.50	21.00
	perlakuan 2	6	9.50	57.00
	Total	12		

Test Statistiks^b

	kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	21.000
Z	-2.966
Asymp. Sig. (2-tailed)	.003
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.002 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok

Lampiran 9. Hasil Uji *paired t-test* TBA hari ke-0 dengan hari ke-7 kelompok kontrol

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2- tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 kandungan TBA pada yogurt - kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari	-.006833	.001835	.000749	-.008759	-.004908	-9.122	5	.000

Lampiran 10. Hasil Uji Wilcoxon TBA hari ke-0 dengan hari ke-7 kelompok perlakuan 1 (N₁)

Test Statistiks^b

	kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari - kandungan TBA pada yogurt
Z	-2.232 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)	.026

a. Based on negative ranks.

b. Wilcoxon Signed Ranks Test

Lampiran 11. Hasil Uji Wilcoxon TBA hari ke-0 dengan hari ke-7 kelompok perlakuan 2 (N₂)

Test Statistiks^b

	kandungan TBA setelah penyimpanan 7 hari - kandungan TBA pada yogurt
Z	-2.214 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)	.027

a. Based on negative ranks.

b. Wilcoxon Signed Ranks Test