



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejournal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

### EFEK SUPLEMENTASI SELENIUM (Se) DAN ZINK (Zn) TERHADAP FISIOLOGI DAN PRODUKSI SUSU PADA SAPI PERAH : REVIEW

*Effects Of Selenium (Se) And Zinc (Zn) Supplementation On Physiology And Milk Production In Dairy Cows: A Review*

**Naila Sholihatun Nisa\***, **Muhammad Izharudin**, **Firmansyah**, **Kevin Arrasyid**, **Muhammad Rayhan F**, **Ainun Nafisah**, **Ulfa Nurrofinhah**

Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
e-mail\*: [nailasholihatun@gmail.com](mailto:nailasholihatun@gmail.com)

#### ABSTRAK

Susu merupakan bahan pangan hewani yang memiliki kandungan gizi lengkap dan berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan nutrisi manusia. Sapi perah menjadi sumber utama penghasil susu, di mana produktivitas dan kualitas susu sangat dipengaruhi oleh faktor genetik, manajemen pemeliharaan, serta status nutrisi, khususnya ketersediaan mineral esensial. Selenium (Se) dan zinc (Zn) merupakan mineral mikro penting yang berfungsi sebagai komponen utama enzim antioksidan, menjaga keseimbangan redoks tubuh, dan memperkuat sistem imun. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau efek suplementasi Se dan Zn terhadap fisiologi dan produksi susu pada sapi perah. Kajian dilakukan melalui pendekatan studi pustaka menggunakan 20 artikel ilmiah nasional dan internasional yang dipublikasikan antara tahun 2016–2025. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa suplementasi Se dan Zn, baik dalam bentuk organik maupun anorganik, tidak secara signifikan meningkatkan volume produksi susu karena tidak memengaruhi konsumsi bahan kering (DMI). Namun, kedua mineral ini berperan penting dalam menjaga kesehatan ambing, meningkatkan kapasitas antioksidan, serta memperbaiki komposisi susu. Se sebagai komponen enzim glutathione peroxidase (GSH-Px) mampu menurunkan jumlah sel somatik (SCC) dan stres oksidatif, sedangkan Zn berperan dalam sintesis protein, pembentukan keratin, dan menjaga integritas jaringan ambing. Kombinasi Se dan Zn menunjukkan efek sinergis dalam memperkuat sistem imun dan menekan inflamasi selama laktasi. Kekurangan kedua mineral ini dapat menyebabkan stres oksidatif, penurunan imunitas, serta gangguan metabolik. Dengan demikian, suplementasi Se dan Zn secara teratur menjadi strategi nutrisi penting untuk mempertahankan kesehatan ambing dan kualitas susu pada sapi perah.

**Kata Kunci: , Mineral, Perah, Suplementasi, Selenium, Susu, Zink.**

#### ABTRACK

Milk is an essential animal-based food that provides complete nutrition and plays a crucial role in fulfilling human dietary needs. Dairy cows are the primary source of milk, and their productivity and milk quality are strongly influenced by genetic factors, management practices, and nutritional status, particularly the availability of essential minerals. Selenium (Se) and zinc (Zn) are important trace minerals that function as key components of antioxidant enzymes, maintain redox balance, and enhance immune function. This study aims to review the effects of Se and Zn supplementation on the physiology and milk production of dairy cows. The review was conducted using a literature-based approach by analyzing 20 national and international scientific articles published between 2016 and 2025. The findings indicate that supplementation with Se and Zn, either in organic or inorganic form, does not significantly increase milk yield because it has little effect on dry matter intake (DMI). However, both minerals play vital roles in maintaining udder health, enhancing antioxidant capacity, and improving milk composition. Selenium, as a component of the enzyme glutathione peroxidase (GSH-Px), helps reduce somatic cell count (SCC) and oxidative stress, while zinc contributes to protein synthesis, keratin formation, and the maintenance of udder tissue integrity. The combination of Se and Zn shows a synergistic effect in strengthening the immune system and reducing inflammation during lactation. Deficiency in these minerals may lead to oxidative stress, decreased immunity, and metabolic disorders. Therefore, regular Se and Zn supplementation serves as an important nutritional strategy to sustain udder health and milk quality in dairy cows.

**Keywords: Dairy Cows, Milk, Minerals, Selenium, Supplementation, Zinc.**



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejournal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

### PENDAHULUAN

Susu merupakan salah satu bahan pangan hewani yang sangat penting bagi manusia karena kandungan gizinya yang tinggi dan komprehensif. Susu mengandung berbagai zat gizi utama seperti protein, lemak, karbohidrat, vitamin, dan mineral, sehingga sering dianggap sebagai bahan pangan yang hampir sempurna (Purwantisari et al., 2021). Secara biologis, susu didefinisikan sebagai sekresi dari kelenjar mammae pada hewan mamalia yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan nutrisi anaknya pada masa awal kehidupan (Suciati dan Safitri, 2021). Susu telah lama dikenal sebagai bahan pangan penting bagi manusia karena mengandung hampir semua komponen zat gizi yang dibutuhkan tubuh (Masruroh et al., 2018). Komposisi susu yang seimbang menjadikannya sumber nutrisi yang istimewa, mudah diserap, dan dimanfaatkan oleh tubuh. Selain kandungan gizinya yang lengkap, susu juga memiliki cita rasa yang lezat dan mudah dicerna, sehingga berperan besar dalam menunjang kesehatan dan pertumbuhan manusia (Mahdiah, 2020).

Sapi perah merupakan salah satu komoditas unggulan dalam sektor peternakan yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan protein hewani masyarakat. Produksi susu menjadi indikator utama produktivitas sapi perah dan keberhasilan usaha peternakan. Faktor genetik, manajemen pemeliharaan, serta kualitas pakan sangat memengaruhi tingkat produksi dan kualitas susu yang dihasilkan. Dalam sistem peternakan modern, efisiensi nutrisi dan kesehatan ternak menjadi fokus utama untuk meningkatkan daya saing produksi susu nasional. Optimalisasi nutrisi sapi perah menjadi hal penting dalam mendukung keberlanjutan usaha peternakan (Wang et al., 2021).

Salah satu aspek penting dalam nutrisi sapi perah adalah pemenuhan kebutuhan mikronutrien, khususnya mineral esensial. Mineral berperan penting dalam menjaga sistem enzim, kekebalan tubuh, serta metabolisme energi pada sapi perah. Mineral seperti selenium (Se) dan zink (Zn) sebagai mineral esensial yang dibutuhkan dalam jumlah kecil, tetapi memiliki pengaruh besar terhadap keseimbangan fisiologis ternak. Kedua mineral ini berfungsi dalam menjaga keseimbangan metabolisme, memperkuat sistem kekebalan tubuh, dan mendukung fungsi enzim antioksidan. Kekurangan Se dan Zn dapat menurunkan performa produksi susu, meningkatkan stres oksidatif, serta memengaruhi kesehatan ambing. Dalam sistem produksi modern, suplementasi mineral sering digunakan untuk memperbaiki status nutrisi sapi. Suplementasi ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi metabolisme serta memperkuat sistem kekebalan tubuh ternak (Chen et al., 2023).

Selenium merupakan mineral antioksidan yang bekerja melalui aktivitas enzim glutathione peroksidase untuk melindungi sel dari kerusakan oksidatif. Selain itu, Se juga berperan dalam menjaga fungsi tiroid dan mendukung sistem kekebalan tubuh. Pada sapi perah, suplementasi Se terbukti dapat mengurangi kejadian mastitis serta memperbaiki komposisi susu. Penelitian menunjukkan bahwa sapi dengan pakan mengandung Se memiliki kadar lemak dan protein susu yang lebih baik (Mozart et al., 2024). Kekurangan Se dapat menyebabkan stres oksidatif, penurunan kesuburan, dan gangguan metabolisme. Oleh karena itu, pemberian Se yang cukup sangat diperlukan untuk menjaga produksi susu tetap optimal. Mineral ini juga penting dalam menjaga fungsi enzim antioksidan yang berperan menjaga kesehatan ambing sapi perah (Majors, 2025).

Zink (Zn) juga memiliki peran penting dalam metabolisme tubuh ternak. Zn terlibat dalam pembentukan protein, sintesis DNA, serta lebih dari 200 aktivitas enzim di dalam tubuh. Pada sapi perah, Zink berperan dalam menjaga kesehatan ambing, mempercepat penyembuhan jaringan, serta memperkuat sistem imun. Kekurangan Zink dapat menyebabkan gangguan kulit, menurunkan efisiensi pencernaan, dan mengurangi kualitas susu (Duffy, 2023). Selain itu, Zink membantu mengatur sekresi susu melalui peningkatan fungsi kelenjar ambing. Suplementasi Zn terbukti dapat meningkatkan kandungan mineral dalam susu dan memperbaiki efisiensi penggunaan pakan. Oleh karena itu,



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejurnal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

ketersediaan Zink dalam pakan menjadi hal penting dalam mendukung performa sapi perah (Cruickshank et al., 2024).

Kombinasi Selenium dan Zink diketahui memberikan efek sinergis terhadap kesehatan dan produktivitas sapi perah. Kedua mineral ini bekerja sama dalam mempertahankan keseimbangan redoks tubuh serta meningkatkan imunitas. Penelitian internasional menunjukkan bahwa sapi yang mendapat tambahan Se dan Zn mengalami peningkatan hasil susu dan komposisi nutrisi yang lebih baik (Klein et al., 2025). Selain itu, kandungan lemak dan protein susu juga meningkat secara signifikan dengan suplementasi Se dan Zn organik dibandingkan bentuk anorganik (Anam *et al.*, 2024). Kombinasi kedua mineral ini dapat memperbaiki keseimbangan oksidatif dan mengurangi stres akibat laktasi tinggi. Penerapan suplementasi Se dan Zn menjadi salah satu strategi nutrisi efektif dalam meningkatkan hasil susu yang efisien untuk sapi perah. Kajian ini diperlukan untuk mengetahui pemahaman tentang hubungan antara nutrisi mineral dan kualitas susu serta meninjau efek suplementasi selenium (Se) dan zink (Zn) terhadap produksi serta komposisi susu pada sapi perah.

### METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengumpulkan, menganalisis, serta mensintesis literatur yang relevan mengenai efek suplementasi mineral Selenium (Se) dan Seng (Zn) terhadap fisiologi dan produksi susu sapi perah. Prosedur pengumpulan data dilakukan dengan menelusuri beberapa basis data ilmiah, yaitu Science Direct, Sinta, Taylor and Francis, dan Google Scholar. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian literatur meliputi "*selenium supplementation dairy cow*", "*zinc supplementation dairy cow*", serta "*Se and Zn effect on milk production*". Kriteria pemilihan literatur mencakup beberapa aspek, yaitu artikel membahas efek suplementasi Se dan Zn pada sapi perah, terindeks Scopus atau Sinta 1, Sinta 2, tersedia dalam bentuk dokumen lengkap (PDF) dan dapat diakses secara bebas, artikel diterbitkan dalam rentang waktu 2016–2025. Dari hasil pencarian, diperoleh 35 artikel ilmiah terindeks Scopus atau Sinta yang memenuhi kriteria awal. Selanjutnya, artikel diseleksi berdasarkan kesesuaian dengan fokus penelitian, yaitu efek suplementasi Se dan Zn terhadap fisiologis serta produksi dan kualitas susu. Berdasarkan hasil seleksi tersebut, diperoleh 22 artikel yang dianggap paling relevan untuk dijadikan sumber utama dalam analisis dan pembahasan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Perbandingan Hasil Penelitian

Penelitian (Sitasi)	Suplemen (Jenis & Dosis)	Hasil
Liu <i>et al.</i> (2024)	Nanoselenium (NANO-Se) 0.1, 0.2, dan 0.3 mg Se/kg BK pakan	Produksi susu terkoreksi energi dan lemak (FCM) meningkat secara kuadratik. Proporsi asam lemak jenuh (SFAs) menurun dan asam lemak tak jenuh meningkat
Chen <i>et al.</i> (2020)	Zinc-Methionine (Zn-Met) 20, 40, atau 60 mg/kg BK pakan prepartum	Konsentrasi Cu-Zn SOD dan T-AOC meningkat secara linear, menandakan perbaikan status antioksidan
Oconitrillo <i>et al.</i> (2024)	Zinc (Zn) ditingkatkan dari 60 mg/kg BK ke dosis lebih tinggi (+Zn)	Skor Sel Somatik Linear (SCLS) menurun, menunjukkan peningkatan kesehatan ambung. Konsentrasi protein dan lemak susu tidak berubah



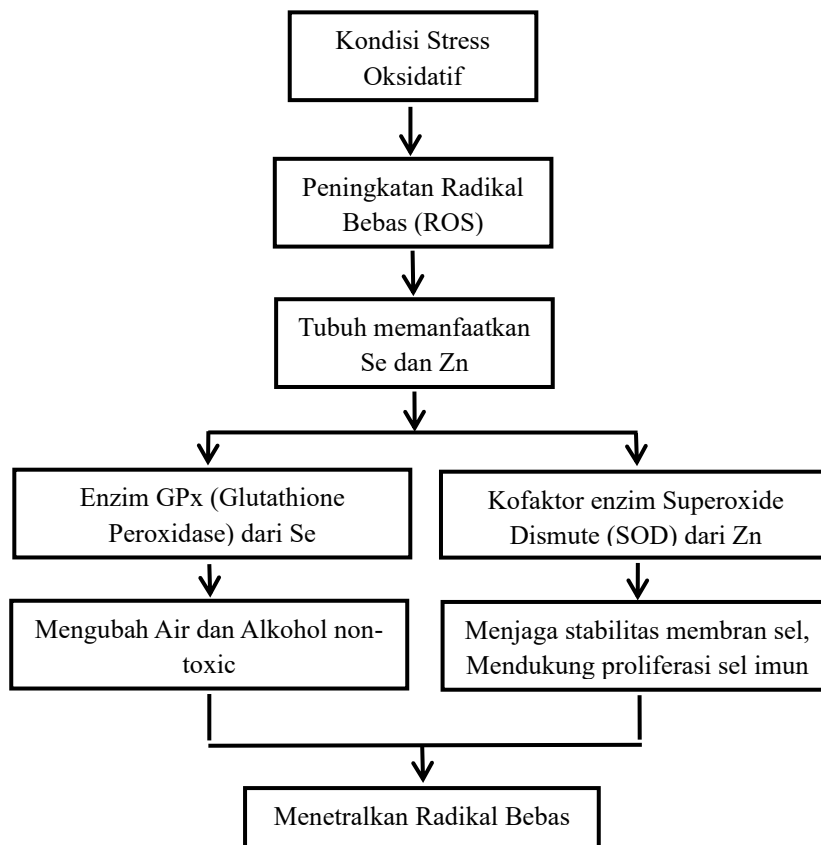
## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejurnal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

<b>Pate &amp; Cardoso (2018)</b>	Mineral Injeksi (Se 5 mg/mL, Zn 60 mg/mL, Cu, Mn). Diberikan 2x subkutan	Mineral mikro vital dalam respons antioksidan selama stres. Suplemen injeksi menunjukkan perbaikan dalam respons antioksidan
<b>Bakhshizadeh et al. (2019)</b>	<b>Suplementasi</b> 60~mg/kg Zinc Nanopartikel (ZnN)	meningkatkan aktivitas antioksidan SOD dan Zn plasma, serta penurunan signifikan pada Somatic Cell Count (SCC) dan Blood Urea Nitrogen (BUN) (Bakhshizadeh <i>et al.</i> , 2019)
<b>Bates et al. (2025)</b>	Mineral Injeksi (Zn 60 mg/mL, Se 5 mg/mL, Cu, Mn) pre-calving	Peningkatan aktivitas fagositosis dan kemampuan mencerna bakteri per sel, mengimplikasikan manfaat kesehatan ambing
<b>Xu et al. (2021)</b>	Suplementasi pakan dasar dengan 10,4 g kompleks Zn AA per hari per sapi (Zn total 140 mg/kg)	Meningkatkan kandungan lemak susu (3,52 vs. 3,99 g/kg) dan kandungan Zn dalam susu (4,25 vs. 3,85 mg/L) serta keju
<b>Ianni et al. (2020)</b>	Zn-methionine 100 mg/kg DM	Meningkatkan kandungan Zn dalam susu (3,78 vs. 3,37 mg/L) dan keju (31,96 vs. 27,01 mg/kg). Meningkatkan kualitas nutrisi dan sifat nutraceutical
<b>Illek et al. (2023)</b>	Zinc Metionin (Zn-Met) 30 mg Zn/kg DM	Tidak ada perbedaan signifikan dalam produksi susu (P=0,97), persentase protein (P=0,84), persentase lemak (P=0,98), dan kadar lemak/protein (P=0,88). Tidak memiliki efek signifikan pada SCC
<b>Weng et al. (2018)</b>	Zn hydroxychloride 75 mg/kg atau 35 mg/kg + 40 mg/kg kompleks Zn-Met (ZMC)	Persentase lemak susu lebih rendah pada kelompok ZMC dibandingkan lainnya. Sumber Zn tidak memiliki efek pada produksi susu, persen protein, atau konsentrasi protein susu
<b>Sun et al. (2021)</b>	Ragi Se 0,39 mg Se/kg DM (total asupan 0,50 mg/kg DM)	Konsentrasi Se total dalam susu meningkat signifikan pada dosis tinggi (60,2 µg/L vs. 29,6 µg/L). Produksi susu, lemak, protein, dan SNF tidak terpengaruh
<b>Liu et al. (2015)</b>	Ragi Se 0,3 mg Se/kg DM	Menghasilkan konsentrasi Se dalam susu sebesar 35,81 µg/L. Komposisi dan tekstur keju Se tidak berbeda signifikan dari keju kontrol
<b>Anam et al. (2024)</b>	Selenium dan zinc organik chelated-methionine (0,45 mg/kg Se & 60 mg/kg Zn dari DM)	Meningkatkan WBC (41,50 vs. 38,00) dan kapasitas antioksidan total (T-AOC) (0,66 vs. 0,44 mmol/L)
<b>Chen et al. (2023)</b>	Selenium 0,3 mg + Zinc 40 mg/kg DM TMR organik + Vit E, Cu, Mn	Interval beranak-ke-kebuntingan lebih pendek (98,4 vs. 115,6 hari), laju konsepsi pertama lebih tinggi (50,0% vs. 31,8%), dan SCC lebih rendah
<b>Klein et al. (2025).</b>	suplementasi organik 488,39 mg/ekor/hari seng (zinc amino acid chelate) dan 10,75 mg/ekor/hari selenium (selenium amino acid complex).	Suplementasi seng dan selenium organik pada sapi perah laktasi akhir secara positif meningkatkan imunitas humoral, status antioksidan, dan bioavailabilitas mineral dalam susu (terutama seng), sekaligus meningkatkan kualitas susu dengan menurunkan jumlah sel somatik dan mengurangi stres oksidatif.
<b>Lanni et al. (2019).</b>	Suplementasi Selenium (Se) 0,45 mg/kg dan Zinc (Zn) 40 ppm sebagai proteinat	Suplementasi Selenium (Se) 0,45 mg/kg secara signifikan menurunkan jumlah sel somatik (SCC) pada susu, dan Zinc (Zn) 40 ppm sebagai proteinat menghasilkan produksi energi susu yang tertinggi.

### Mekanisme dan Implikasi Se dan Zn

Mineral mikro memiliki peran fundamental dalam menjaga keseimbangan redoks tubuh, terutama selama kondisi stres oksidatif. Saat terjadi peningkatan radikal bebas, mineral seperti Selenium (Se) dan Zinc (Zn) berfungsi sebagai komponen utama dari sistem antioksidan yang bekerja melindungi sel dari kerusakan oksidatif. Sejalan dengan pendapat Pate dan Cardoso (2018), mineral mikro ini memperkuat sistem pertahanan antioksidan melalui aktivasi berbagai enzim pelindung dan mempertahankan stabilitas fisiologis hewan ternak. Selenium (Se) dan Zinc (Zn) merupakan unsur penting dalam mempertahankan fungsi fisiologis yang optimal, terutama pada sistem kekebalan dan antioksidan. Keduanya bekerja secara sinergis dalam mempertahankan keseimbangan oksidatif dan mengatur respon imun terhadap stres lingkungan atau infeksi (Anam et al., 2024). Kekurangan salah satu dari kedua mineral ini dapat menurunkan efektivitas enzim pelindung dan melemahkan imunitas tubuh.



**Gambar 1. Mekanisme Se dan Zn terhadap Fisiologi Sapi Perah**

Salah satu bentuk nyata aktivitas Selenium adalah sebagai komponen utama enzim Glutathione Peroxidase (GPx). Enzim ini berfungsi mengubah peroksida menjadi air dan alkohol non-toksik, sehingga melindungi membran sel dari kerusakan akibat peroksidasi lipid (Pate dan Cardoso, 2018). GPx berperan penting dalam menjaga integritas sel selama stres oksidatif. Penelitian menunjukkan bahwa suplementasi kombinasi Se dan Zn dalam bentuk organik (chelated-methionine) mampu meningkatkan status antioksidan total (T-AOC) dan fungsi imun seperti peningkatan jumlah sel darah putih (WBC) dan limfosit pada sapi perah laktasi awal tanpa mengubah profil metabolit darah. Hal ini



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejournal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

menunjukkan efisiensi fisiologis dari bentuk mineral organik dibandingkan anorganik dalam meningkatkan respon imun ternak.

Selenium (Se) merupakan komponen penting dari berbagai selenoprotein yang mendukung aktivitas enzimatik tubuh, terutama GPx, yang memiliki peran vital dalam menetralkan peroksida. Fungsi ini berkontribusi terhadap peningkatan kekebalan tubuh dan ketahanan terhadap stres oksidatif (Chen *et al.*, 2023). Zinc (Zn) berfungsi sebagai kofaktor enzimatik pada berbagai reaksi biokimia tubuh. Mineral ini mendukung integritas membran sel, sintesis protein, serta fungsi kekebalan melalui peranannya dalam proliferasi dan diferensiasi sel imun (Oconitrillo *et al.*, 2024). Selain itu, Zn berperan dalam aktivitas metallo enzim yang terlibat dalam metabolisme karbohidrat, protein, dan lipid. Kekurangan Zn sangat penting dalam mendukung pertumbuhan jaringan baru dan regenerasi seluler (Chen *et al.*, 2020).

Suplementasi Se dalam bentuk organik terbukti meningkatkan kadar Se plasma dan sintesis Glutathione Peroxidase (GSH-Px), sehingga memperkuat pertahanan antioksidan internal (Didara *et al.*, 2022). Se juga berperan dalam sintesis selenoprotein yang terlibat dalam reaksi redoks, sistem kekebalan, dan fungsi reproduksi (Liu *et al.*, 2024). Aktivitas ini memperkuat kemampuan tubuh melawan stres oksidatif dan memperbaiki performa fisiologis sapi perah. Penggunaan nanoselenium diketahui mampu meningkatkan aktivitas GSH-Px secara signifikan, yang menunjukkan peningkatan kapasitas antioksidan pada hewan (Liu *et al.*, 2024). Zinc juga berperan penting dalam perkembangan dan fungsi sel T dan B, yang merupakan komponen vital sistem kekebalan adaptif (Oconitrillo *et al.*, 2024). Kekurangan Zn akan menghambat proliferasi limfosit dan menurunkan respon imun. Selain GPx, Zn juga merupakan kofaktor bagi enzim Superoxide Dismutase (SOD) yang berfungsi mengkonversi radikal superoksida menjadi bentuk yang kurang reaktif (Bakhshizadeh *et al.*, 2019). Kolaborasi antara GPx dan SOD ini membentuk sistem pertahanan oksidatif yang kuat. Se, sebagai bagian dari GPx, memiliki fungsi utama dalam menetralkan radikal bebas dan mencegah kerusakan oksidatif pada sel dan jaringan tubuh (Sun *et al.*, 2017).

Suplementasi Se dan Zn secara organik terbukti memberikan efek positif terhadap peningkatan imunitas humoral, yang ditunjukkan oleh peningkatan kadar limfosit dan imunoglobulin A (IgA), serta peningkatan aktivitas antioksidan seperti penurunan Reactive Oxygen Species (ROS) dan Myeloperoxidase (MPO) dalam serum (Klein *et al.*, 2025). Selain itu, mineral ini juga berperan dalam modulasi metabolisme energi dengan menyeimbangkan aktivitas enzim Creatine Kinase (CK), Adenylate Kinase (AK), dan Pyruvate Kinase (PK). Mekanisme ini mendukung efisiensi energi sel dan menurunkan peroksidasi lipid serta peradangan. Secara umum, Zn juga membantu menstabilkan membran sel dengan menghambat oksidasi lipid dan melindungi gugus thiol (Lanni *et al.*, 2019).

### Efek pada Kualitas Ambing Sapi Perah

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa suplementasi selenium (Se) dan zinc (Zn) memiliki pengaruh positif terhadap kesehatan ambing sapi perah. Suplementasi Se, baik dalam bentuk organik maupun nanoselenium, dilaporkan menurunkan jumlah sel somatik (SCC) dalam susu serta mengurangi tingkat inflamasi pada kelenjar ambing (Ianni *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2023). Penurunan SCC ini juga diamati pada perlakuan selenium ragi (Ullah *et al.*, 2019) dan dosis Se sebesar 0,45 mg/kg (Lanni *et al.*, 2019). Selain itu, kombinasi mineral jejak seperti Se, Zn, Cu, dan Mn terbukti menurunkan stres oksidatif serta inflamasi selama masa laktasi (Pate and Cardoso, 2018). Seng (Zn) berperan dalam meningkatkan produksi keratin di saluran puting yang berfungsi sebagai pelindung alami terhadap infeksi, dan bentuk ZnN maupun ZnGly diketahui mampu menurunkan SCC serta menekan risiko mastitis (Oconitrillo *et al.*, 2024; Bakhshizadeh *et al.*, 2019). Namun, beberapa



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejurnal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

penelitian juga menunjukkan bahwa efek suplementasi mineral jejak dapat bervariasi dan tidak selalu signifikan terhadap penurunan SCC (Bates et al., 2025; Oconitrillo et al., 2024).

Selenium berperan penting dalam menjaga kesehatan ambing melalui aktivitas antioksidan dan imunomodulator. Se dapat meningkatkan aktivitas neutrofil sebagai pertahanan utama dalam melakukan proses fagositosis bakteri (Harjanti et al., 2020). Se merupakan komponen utama enzim glutathione peroxidase (GSH-Px) yang melindungi jaringan dari kerusakan akibat radikal bebas serta memperbaiki integritas sel mamari (Ianni et al., 2019). Selenium merupakan komponen penting enzim glutathione peroxidase (GSH-Px) yang berperan menjaga keseimbangan redoks jaringan mamari serta mengurangi peroksidasi lipid (Gong et al., 2020). Aktivitas GSH-Px yang meningkat akibat suplementasi Se terbukti menurunkan jumlah sel somatik (SCC) dalam susu, yang merupakan indikator utama kesehatan ambing dan tingkat inflamasi (Zhang et al., 2021). Aktivitas GSH-Px yang optimal membantu menurunkan akumulasi peroksida lipid di jaringan ambing, sehingga menekan proses inflamasi dan mempercepat pemulihan jaringan yang rusak. Liu et al. (2024) melaporkan bahwa peningkatan kapasitas antioksidan akibat suplementasi Se berhubungan langsung dengan penurunan jumlah SCC, yang mencerminkan berkurangnya respon inflamasi pada ambing. Se juga memengaruhi aktivitas fagosit dan limfosit, yang berperan dalam menekan infeksi subklinis mastitis. Peran Se tidak hanya sebagai antioksidan, tetapi juga sebagai pengatur sistem imun yang menjaga keseimbangan antara respon inflamasi dan proteksi jaringan.

Zinc (Zn) memiliki fungsi penting dalam mempertahankan struktur dan kekuatan mekanis jaringan ambing. Zn dapat menguatkan lapisan epitel ambing, sehingga tidak mudah rusak karena infeksi bakteri (Harjanti et al., 2020). Zn berperan sebagai kofaktor berbagai enzim yang terlibat dalam sintesis protein dan keratinisasi, terutama pada saluran puting, yang berfungsi sebagai penghalang pertama terhadap invasi patogen (Oconitrillo et al., 2024). Produksi keratin yang optimal mampu mencegah kolonisasi bakteri dan menurunkan risiko mastitis klinis maupun subklinis. Penelitian Bakhshizadeh et al. (2019) menunjukkan bahwa suplementasi Zn dalam bentuk ZnN dan ZnGly efektif menurunkan SCC, sementara kekurangan Zn justru meningkatkan SCC akibat menurunnya fungsi leukosit dan daya tahan jaringan terhadap infeksi. Di sisi lain, hasil penelitian Bates et al. (2025) menunjukkan bahwa pemberian trace mineral secara injeksi pra-laktasi tidak memberikan efek signifikan terhadap mastitis, yang kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan waktu dan rute pemberian suplemen. Secara keseluruhan, Zn berkontribusi besar dalam menjaga barrier epitel ambing serta meningkatkan mekanisme pertahanan lokal terhadap infeksi.

Kombinasi suplementasi Se dan Zn memberikan efek sinergis yang lebih besar dibandingkan pemberian tunggal terhadap penurunan SCC dan peningkatan kesehatan ambing. Mineral Se dan Zn bekerja secara komplementer dalam menekan stres oksidatif, mengoptimalkan aktivitas enzim antioksidan, serta memperkuat imunitas seluler (Pate and Cardoso, 2018; Klein et al., 2025). Se mendukung fungsi enzim peroksidase untuk detoksifikasi radikal bebas, sementara Zn berperan dalam stabilisasi membran sel dan regulasi ekspresi gen imunoprotektif. Sinergi keduanya menurunkan konsentrasi enzim myeloperoksidase (MPO) dalam susu, yang menjadi indikator menurunnya tingkat inflamasi pada ambing (Chen et al., 2023). Efek ini pada akhirnya berdampak pada peningkatan kualitas susu melalui penurunan kontaminasi sel somatik dan peningkatan efisiensi produksi laktasi.

### Efek terhadap Produksi dan Komposisi Susu

Berdasarkan hasil dari berbagai penelitian, sebagian besar jurnal menyebutkan bahwa suplementasi selenium (Se) dan zinc (Zn) tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan volume produksi susu pada sapi perah. Penelitian oleh Chen et al. (2023) dan Oconitrillo et al. (2024)



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejournal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

menunjukkan bahwa pemberian mineral trace tersebut tidak memengaruhi konsumsi bahan kering (DMI) maupun produksi susu harian. DMI atau *Dry Matter Intake* merupakan jumlah pakan kering yang dikonsumsi sapi dan menjadi indikator penting dalam menilai asupan nutrisi untuk mendukung produksi susu. Karena tidak ada perubahan pada DMI, maka wajar bila output produksi susu juga tidak berubah secara nyata. Beberapa penelitian seperti Liu et al. (2024) memang melaporkan adanya peningkatan produksi susu sekitar 3,5% pada sapi yang diberi nanoselenium, namun hasil tersebut bersifat spesifik pada kondisi penelitian tertentu dan tidak konsisten pada studi lain. Penelitian oleh Ianni et al. (2019) dan Klein et al. (2025) bahkan menunjukkan bahwa suplementasi Se dan Zn, baik dalam bentuk organik maupun anorganik, tidak menyebabkan peningkatan volume susu yang signifikan secara statistik. Hasil serupa dilaporkan oleh Pate dan Cardoso (2018), di mana produksi susu sapi perlakuan hanya sedikit lebih tinggi dibanding kontrol, tetapi masih dalam rentang normal.

Suplementasi mineral jejak seperti Zn dan Se juga memiliki peran penting dalam menjaga fungsi fisiologis ambing, meningkatkan kualitas susu, serta memperkuat sistem pertahanan antioksidan tubuh. Seng berperan sebagai kofaktor berbagai enzim metabolik yang terlibat dalam sintesis asam lemak dan protein, seperti acetyl-CoA carboxylase dan fatty acid synthase, sehingga mendukung peningkatan kadar lemak susu (Illek et al., 2023). Bentuk organik Zn seperti Zn-metionin dan Zn-aminokelat memiliki bioavailabilitas lebih tinggi dibanding bentuk anorganik, karena dapat diserap melalui jalur transport asam amino dan dimanfaatkan lebih efisien oleh jaringan mamari (Ianni et al., 2019). Peningkatan ketersediaan Zn ini berdampak positif terhadap integritas sel epitel ambing dan metabolisme energi yang lebih stabil selama laktasi (Oconitrillo, 2021). Peningkatan kadar Zn dalam susu berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas antioksidan, terutama enzim superoxide dismutase (SOD), yang melindungi komponen lemak dan protein susu dari oksidasi (Efenberger-Szmechtyk et al., 2021). Suplementasi Zn juga meningkatkan kadar mineral Zn dalam susu melalui peningkatan ekspresi gen transporter ZnT dan ZIP yang berperan dalam akumulasi Zn di jaringan mamari (He et al., 2022).

Bentuk organik Se seperti selenomethionine lebih mudah diserap dan disekresikan ke dalam susu sebagai selenoprotein, sehingga meningkatkan kandungan Se dan kapasitas antioksidan susu (Cheng et al., 2021). Bentuk modern seperti nanoselenium (nano-Se) juga menunjukkan efisiensi transfer mineral yang tinggi dan toksisitas rendah (Liu et al., 2024). Suplementasi nano-Se mampu menurunkan nilai *milk urea nitrogen* (MUN), yang menandakan peningkatan efisiensi metabolisme nitrogen, serta memperkuat mekanisme antioksidan dalam jaringan mamari (Kumar et al., 2021). Kombinasi nano-Se dengan natrium selenit juga menunjukkan efek sinergis dalam memperbaiki metabolisme protein, menurunkan stres oksidatif, dan menekan SCC pada susu (Ghaffari et al., 2020). Secara keseluruhan, baik Zn maupun Se dalam bentuk organik atau nanopartikel, tidak secara langsung meningkatkan volume produksi susu, tetapi berperan besar dalam menjaga kesehatan ambing, efisiensi metabolisme, serta kestabilan komposisi dan kualitas fisiologis susu sapi.

### Akibat Kekurangan Se dan Zn pada Sapi Perah

Kekurangan selenium dan zinc menimbulkan gangguan fisiologis serius pada sapi perah, terutama selama awal laktasi. Anam et al. (2024) melaporkan bahwa kadar Se dan Zn di beberapa peternakan berada di bawah standar kebutuhan, yaitu 0,16 mg/kg BK Se dan 28,93 mg/kg BK Zn. Defisiensi Se menurunkan aktivitas GSH-Px, meningkatkan stres oksidatif, dan memperbesar risiko mastitis dan ketosis. Kekurangan Zn menghambat sistem imun dan sintesis protein susu. Kedua kondisi ini memperparah keseimbangan energi negatif dan meningkatkan risiko gangguan metabolik seperti fatty liver dan retained placenta. Dalam konteks fisiologi laktasi, defisiensi Se dan Zn menghambat fungsi kelenjar mammae sehingga produksi dan kualitas susu menurun. Kerusakan jaringan akibat ROS yang



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejurnal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

tidak terdetoksifikasi menyebabkan gangguan metabolisme lipid dan protein. Oleh karena itu, suplementasi Se dan Zn secara teratur diperlukan untuk menjaga performa fisiologis optimal pada sapi laktasi.

Rahman et al. (2023) menambahkan bahwa kekurangan Se dan Zn meningkatkan ekspresi gen proinflamasi seperti TNF- $\alpha$  dan IL-6 yang memperburuk stres oksidatif serta menurunkan efisiensi metabolik. Kondisi ini memperlambat regenerasi sel epitel mammae dan menghambat aktivitas enzim yang penting dalam sintesis lemak susu. Kekurangan Zn juga menyebabkan lipolisis berlebih yang memicu akumulasi badan keton dan memperburuk keseimbangan energi. Sapi dengan status mineral rendah mengalami penurunan kualitas susu, peningkatan somatic cell count, dan kerentanan tinggi terhadap infeksi ambing. Dalam jangka panjang, defisiensi ini menurunkan efisiensi produksi serta kesejahteraan ternak. Dengan manajemen suplementasi mineral yang tepat, sapi perah dapat mempertahankan produktivitas tinggi dan kondisi fisiologis yang sehat sepanjang laktasi.

### KESIMPULAN

Suplementasi selenium (Se) dan zinc (Zn) pada sapi perah tidak secara signifikan meningkatkan volume produksi susu karena tidak memengaruhi konsumsi bahan kering (DMI) maupun produksi harian secara nyata, meskipun beberapa penelitian melaporkan peningkatan kecil pada kondisi tertentu. Meski demikian, kedua mineral ini berperan penting dalam menjaga kestabilan produksi dan kualitas susu melalui peningkatan kesehatan ambing, efisiensi metabolisme, dan aktivitas antioksidan. Zn mendukung sintesis protein, keratinisasi saluran puting, serta aktivitas enzim metabolik, sedangkan Se berperan sebagai komponen utama glutathione peroxidase (GSH-Px) yang menurunkan stres oksidatif, mengurangi sel somatik (SCC), dan meningkatkan respons imun. Kombinasi Se dan Zn bekerja sinergis dalam menekan inflamasi, memperkuat sistem imun, serta menjaga integritas jaringan ambing, sehingga kualitas susu tetap terjaga meskipun volume produksi tidak berubah signifikan. Kekurangan Se dan Zn dapat menimbulkan gangguan fisiologis, meningkatkan stres oksidatif, menurunkan fungsi enzim dan imunitas, serta meningkatkan risiko mastitis dan gangguan metabolik, sehingga suplementasi mineral ini secara teratur penting untuk mempertahankan kesehatan ambing, stabilitas komposisi susu, dan performa fisiologis optimal sapi perah.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anam, M. S., Agus, A., Widyobroto, B. P., Gunawan, & Astuti, A. (2024). Identifikasi Kecukupan Mineral Mikro Selenium Dan Seng Pada Pakan Sapi Perah Awal Laktasi Di Koperasi Saroni Makmur, Sleman, Yogyakarta. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis dan Ilmu Pakan*, 6(3), 137–147.
- Anam, M. S., Agus, A., Widyobroto, B. P., Gunawan, & Astuti, A. A. (2024). Organic selenium and zinc: Their effects in feed on blood profiles and antioxidant capacity in early-lactating dairy cows. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(12), 2512-2522
- Bakhshizadeh, S., Mirzaei Aghjehgheshlagh, F., Taghizadeh, A., Seifdavati, J., & Navidshad, B. (2019). Effect of zinc sources on milk yield, milk composition and plasma concentration of metabolites in dairy cows. *South African Journal of Animal Science*, 49(5), 896–905.
- Bates, A. J., Wells, M., Fitzpatrick, C., & Laven, R. A. (2025). Effect of a pre-calving injectable trace mineral supplement on white blood cell function in seasonally calving pastoral dairy cows. *New Zealand Veterinary Journal*, 73(2), 87–99. <https://doi.org/10.1080/00480169.2024.2417925>



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejurnal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

- Chen, F., Li, Y., Shen, Y., Guo, Y., Zhao, X., Li, Q., Cao, Y., Zhang, X., Li, Y., Wang, Z., Gao, Y., & Li, J. (2020). Effects of prepartum zinc-methionine supplementation on feed digestibility, rumen fermentation patterns, immunity status, and passive transfer of immunity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 8976–8985. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17991>
- Chen, Y.-H., Chen, Y.-M., Tu, P.-A., Lee, K.-H., Chen, J.-Y., & Hsu, J.-T. (2023). *Effect of Supplementing Vitamin E, Selenium, Copper, Zinc, and Manganese during the Transition Period on Dairy Cow Reproductive Performance and Immune Function*. *Veterinary Sciences*, 10(3), 225.
- Cheng, J., Wang, S., Zhang, Y., & Zhao, L. (2021). Effects of organic and inorganic selenium supplementation on selenium transfer and antioxidant status in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 279, 115036.
- Del Valle, T. A., de Souza, V. L., Takiya, C. S., Vendramini, T. H. A., Silva, G. G., & Rennó, F. P. (2015). Effect of organic sources of minerals on fat-corrected milk yield of dairy cows in confinement. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(3), 88–95. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000300004>
- Didara, M., Milas, N. P., Novoselec, J., Pavlić, M., Đud, D., & Šperanda, M. (2022) Effect of dietary supplementation with linseed and organic selenium on plasma metabolic parameters in Holstein dairy cows. *Journal of Applied Animal Research*, 50:1, 560-566, <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2110500>
- Efenberger-Szmechtyk, M., Nowak, A., Czyzowska, A., & Kucharska, A. Z. (2021). The effect of mineral fortification on the physicochemical and bioactive properties of dairy products. *Foods*, 10(5), 1043.
- Ghaffari, M. H., Moghaddam, G., & Sadri, H. (2020). Combined effects of selenium sources on milk yield, nitrogen utilization, and antioxidant status in lactating cows. *Animal Feed Science and Technology*, 264, 114470.
- Gong, J., & Xiao, M. (2018). Effect of organic selenium supplementation on selenium status, oxidative stress, and antioxidant status in selenium-adequate dairy cows during the periparturient period. *Biol. Trace Elem. Res.*, 186(2): 430–440. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1323-0>
- Harjanti, D. W., Wulandari, D., Hartanto, R., dan Muktiani, A. 2020. Tingkat peradangan mammary dan stabilitas susu sapi mastitis subklinis yang mendapat suplemen herbal dan Zn-Se proteinat. *Livestock and Animal Research*, 18(2), 132-141. <https://doi.org/10.20961/lar.v18i2.42935>
- He, Z., Ma, L., Liu, J., & Zhang, Y. (2022). Effects of organic zinc supplementation on zinc transporter gene expression and milk zinc concentration in dairy cows. *Animals*, 12(8), 1012.
- Ianni, A., Martino, C., Innosa, D., Bennato, F., Grotta, L., & Martino, G. (2020). *Zinc supplementation of lactating dairy cows: Effects on chemical-nutritional quality and volatile profile of Caciocavallo cheese*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(5), 825–835.
- Illek, J., Dresler, S., Šoch, M., Kernerová, N., Šimák Líbalová, K., Zevlová, E., & Havrdová, N. (2023). *Influence of organic zinc on lactation performance and somatic cell count in dairy cows*. *Acta Veterinaria Brno*, 92, 233–241.



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejurnal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

- Kawashima, C., Kikusato, M., & Toyomizu, M. (2020). Effects of selenium and zinc supplementation on oxidative status and productivity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 7610–7620.
- Klein, D. M., Magrin, L., Brscic, M., Cozzi, G., & Serva, L. (2025). Organic Zinc and Selenium Supplementation of Late Lactation Dairy Cows: Effects on Milk and Serum Minerals Bioavailability, Animal Health and Milk Quality. *Animals*, 15(4), 499. <https://doi.org/10.3390/ani15040499>
- Koyuncu, M., & Yerlikaya, H. (2021). Effects of dietary selenium and zinc supplementation on milk yield, udder health, and immune response in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 274, 114882.
- Kumar, S., Mehta, A. K., & Sharma, R. K. (2021). Nano-selenium supplementation improves nitrogen metabolism and antioxidant activity in dairy cows. *Biological Trace Element Research*, 199(5), 1924–1933.
- Li, F., Shi, H. Q., Ying, S. H., & Feng, M. G. (2015). Distinct contributions of one Fe- and two Cu/Zn-cofactored superoxide dismutases to antioxidation, UV tolerance and virulence of *Beauveria bassiana*. *Fungal Genet. Biol.* 81: 160–171. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2014.09.006>
- Liu, H. Y., Zhu, W. Z., Lu, B. Y., Wei, Z. H., & Ren, D. X. (2015). *Effect of feed selenium supplementation on milk selenium distribution and mozzarella quality*. *Journal of Dairy Science*, 98(12), 8359–8367.
- Liu, Y. J, Zhang, Z. D., Dai, S. H., Wang, Y., Tian, X. F., Zhao, J. H., Wang, C., Liu, Q., Guo, G., & Huo, W. J. (2020). Effects of sodium selenite and coated sodium selenite addition on performance, ruminal fermentation, nutrient digestibility and hepatic gene expression related to lipid metabolism in dairy bulls. *Livest. Sci.* 237: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104062>
- Liu, Y., Zhang, J., Bu, L., Huo, W., Pei, C., & Liu, Q. (2024). Effects of nanoselenium supplementation on lactation performance, nutrient digestion and mammary gland development in dairy cows. *Animal Biotechnology*, 35(1), 2290526. <https://doi.org/10.1080/10495398.2023.2290526>
- Mahdiah, N. 2020. Pelatihan Diversifikasi Produk Olahan Susu di Sentra Peternakan Sapi Perah Kelurahan Kebon Pedes. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 2(1), 97–103.
- Masruroh H, Masruroh UD, Nugraheni FS, Paramita V. 2018. Analisa Kadar Lemak dalam Susu Perah Sapi Menggunakan Gaya Sentrifugasi. *Metana*. 14(1): 25-30.
- Oconitrillo, H. M. J. (2021). The effects of organic zinc supplementation on production performance and health of high producing dairy cows. Master's Thesis, Iowa State University.
- Oconitrillo, M., Wickramasinghe, J., Omale, S., Beitz, D., & Appuhamy, R. (2024). Effects of elevating zinc supplementation on the health and production parameters of high-producing dairy cows. *Animals*, 14 (3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ani14030395>
- Oconitrillo, M., Wickramasinghe, J., Omale, S., Beitz, D., & Appuhamy, R. (2024). Effects of Elevating Zinc Supplementation on the Health and Production Parameters of High-Producing Dairy Cows. *Animals*, 14(3), 395. <https://doi.org/10.3390/ani14030395>



## JURNAL PETERNAKAN SILAMPARI

Website: <https://ejurnal.unmura.ac.id/index.php/peternakansilampari>

- Pate, R. T., & Cardoso, F. C. (2018). Injectable trace minerals (selenium, copper, zinc, and manganese) alleviate inflammation and oxidative stress during an aflatoxin challenge in lactating multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 101(7), 5878–5890. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14447>
- Purwantisari, S., Jannah, S. N., Ardiansari, A., Yulianto, M. E., & Pangestu, I. T. (2021). Pendampingan Perizinan Bpom Produk Susu Pasteurisasi Ukm Karya Bumi Boyolali Sebagai Strategi Perluasan Pasar. *E-Amal: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(3), 429-436.
- Suciati, F., dan Safitri, L. S. 2021. Pangan Fungsional Berbasis Susu dan Produk Turunannya. *Journal of Surimi (Sustainable Research In Management of Agroindustry)*, 1(1), 13-19.
- Sun, L., Liu, G., Xu, D., Wu, Z., Ma, L., Sanz-Fernandez, M. V., Baumgard, L. H., & Bu, D. (2021). *Milk selenium content and speciation in response to supranutritional selenium yeast supplementation in cows*. *Animal Nutrition*, 7(4), 1087–1094.
- Sun, P., Wang, J., Liu, W., Bu, D. P., Liu, S. J., dan Zhang, K. Z. 2017. Hydroxy selenomethionine: A novel organic selenium source that improves antioxidant status and selenium concentrations in milk and plasma of mid-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 100, 9602–9610. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12610>
- Suttle, N. F. (2016). *The Mineral Nutrition of Livestock* (5th ed.). CABI Publishing.
- Ullah, H., Khan, R. U., Mobashar, M., Ahmad, S., Sajid, A., Khan, N. U., Usman, T., Khattak, I., & Khan, H. (2019). Effect of yeast-based selenium on blood progesterone, metabolites and milk yield in Achai dairy cows. *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), 1445–1450. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1683475>
- Ullah, H., Khan, R. U., Tufarelli, V., & Laudadio, V. (2020). Selenium: An essential micronutrient for sustainable dairy cows production. *Sustainability*, 12(24), 10693.
- Ullah, H., Khan, R. U., Tufarelli, V., & Laudadio, V. (2020). *Selenium: An Essential Micronutrient for Sustainable Dairy Cows Production*. MDPI Review.
- Weng, X., Monteiro, A. P. A., Guo, J., Li, C., Orellana, R. M., Marins, T. N., Bernard, J. K., Tomlinson, D. J., DeFrain, J. M., Wohlgemuth, S. E., & Tao, S. (2018). *Effects of heat stress and dietary zinc source on performance and mammary epithelial integrity of lactating dairy cows*. *Journal of Dairy Science*, 101(3), 2617–2630.
- Xu, N. N., Yang, D. T., Miao, C., Valencak, T. G., Liu, J. X., & Ren, D. X. (2021). *Organic zinc supplementation in early-lactation dairy cows and its effects on zinc content and distribution in milk and cheese*. *JDS Communications*, 2(3), 110–113. (Terdapat erratum di *JDS Communications*, 3(2), 166).