

**PENAPISAN BAKTERI PENGHASIL BIOSURFAKTAN
YANG DIISOLASI DARI SUSU SAPI MURNI**

SKRIPSI

MAULIYA AMANI RAHMADINI

A233011



**SEKOLAH TINGGI FARMASI INDONESIA
YAYASAN HAZANAH
BANDUNG
2025**

**PENAPISAN BAKTERI PENGHASIL BIOSURFAKTAN
YANG DIISOLASI DARI SUSU SAPI MURNI**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Farmasi

MAULIYA AMANI RAHMADINI

A233011



**SEKOLAH TINGGI FARMASI INDONESIA
YAYASAN HAZANAH
BANDUNG
2025**

**PENAPISAN BAKTERI PENGHASIL BIOSURFAKTAN YANG
DIISOLASI DARI SUSU SAPI MURNI**

MAULIYA AMANI RAHMADINI

A233011

Juli 2025

Disetujui oleh :

Pembimbing



Nur Asni Setiani, M.Si.

Pembimbing



Umi Baroroh, S.Si., M.Biotek.

Kutipan atau saduran baik sebagian ataupun seluruh naskah, harus menyebut nama pengarang dan sumber aslinya, yaitu Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia.

Skripsi ini saya persembahkan sepenuhnya kepada kedua orang tua dan adik tercinta yang selalu menjadi sumber doa, semangat, dan selalu memberi dukungan penuh, serta kepada diri sendiri yang telah bertahan, belajar, dan tidak menyerah selama ini.

ABSTRAK

Biosurfaktan merupakan senyawa permukaan aktif yang dihasilkan oleh mikroorganisme, salah satunya bakteri asam laktat (BAL). BAL dapat diisolasi dari susu sapi murni yang memiliki populasi BAL terbanyak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi biosurfaktan dari isolat BAL hasil isolasi dari susu sapi murni. Isolasi dilakukan menggunakan media *de Man, Rogosa, and Sharpe* (MRS) agar. Identifikasi koloni bakteri dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis menggunakan uji pewarnaan Gram uji katalase serta identifikasi molekuler menggunakan sekuensing gen 16S rRNA. Aktivitas biosurfaktan, diuji dengan metode *drop collapse*, indeks emulsifikasi (E24), dan *oil spreading*. Hasil isolasi diperoleh dua isolat BAL dengan kode BP-01 dan BP-02 yang menunjukkan bentuk koloni bulat berwarna putih dan katalase negatif. Kedua isolat berbentuk *cocci* (bulat) Gram positif dengan jenis *diplo/tetrad* pada isolat BP-01, dan jenis *streptococci* pada isolat BP-02 yang diduga termasuk genus *Streptococcus*. Analisis sekuensing gen 16S rRNA menunjukkan isolat BP-01 memiliki kemiripan tertinggi dengan *Lactococcus lactis*. Uji *drop collapse* dan *oil spreading* menunjukkan aktivitas positif biosurfaktan dengan terbentuknya tetesan datar dan zona bening pada minyak. Indeks emulsifikasi (E24) yang dihasilkan isolat BP-01 sebesar 58,21% dan isolat BP-02 sebesar 58,36%, menunjukkan kemampuan keduanya dalam menstabilkan emulsi.

Kata kunci: biosurfaktan, bakteri asam laktat, susu sapi, emulsifikasi, 16S rRNA.

ABSTRACT

Biosurfactants are surface-active compounds produced by microorganisms, one of which is lactic acid bacteria (LAB). LAB can be isolated from pure cow's milk, which has the largest LAB population. This study was conducted to determine the biosurfactant potential of LAB isolates isolated from pure cow's milk. Isolation was carried out using de Man, Rogosa, and Sharpe (MRS) agar media. Identification of bacterial colonies was carried out macroscopically and microscopically using the Gram staining test and catalase test, as well as molecular identification using 16S rRNA gene sequencing. Biosurfactant activity was tested using the drop collapse method, emulsification index (E24), and oil spreading. The isolation results obtained two LAB isolates with the code BP-01 and BP-02, which showed a white round colony shape and negative catalase. Both isolates were cocci (round) Gram-positive with a diplo/tetrad type in isolate BP-01, and a streptococci type in isolate BP-02, which is suspected to belong to the genus Streptococcus. 16S rRNA gene sequencing analysis showed that isolate BP-01 had the highest similarity to Lactococcus lactis. Drop collapse and oil spreading tests demonstrated positive biosurfactant activity with the formation of flat droplets and clear zones in the oil. The emulsification index (E24) produced by isolate BP-01 was 58.21% and isolate BP-02 was 58.36%, indicating the ability of both to stabilize emulsions.

Keywords: *Biosurfactant, lactic acid bacteria, cow's milk, emulsification, 16S rRNA.*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji dan Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala berkah rahmat dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul **“Penapisan Bakteri Penghasil Biosurfaktan Yang Diisolasi Dari Susu Sapi Murni”**.

Penelitian dan penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana pada Program Studi Sarjana Farmasi Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing Nur Asni Setiani, M.Si. dan Umi Baroroh, S.Si., M.Biotek. atas bimbingan, nasihat, dukungan, serta pengorbanan yang diberikan. Pada kesempatan ini, tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. apt. Adang Firmansyah, M.Si., selaku Ketua Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia,
2. Dr. apt. Diki Prayugo Wibowo, M.Si. selaku Wakil Ketua I Bidang Pembelajaran dan Penelitian,
3. Dr. apt. Hesti Riasari, M.Si. selaku Ketua Program Studi Sarjana Farmasi,
4. Dr. apt. Wiwin Winingsih, M.Si. selaku Dosen Wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis,
5. Seluruh staf dosen, staf administrasi, serta karyawan Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia,
6. Kepada teman-teman mahasiswa tingkat akhir kelompok keilmuan bioteknologi atas bantuan, dukungan dan semangat yang diberikan selama penulis melakukan penelitian ini,
7. Serta teman-teman RPL Angkatan 2023 yang telah memberikan inspirasi dan kegembiraan selama penulis berkuliah di Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia.

Dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kesalahan dan kekurangan karena pengetahuan yang masih sangat terbatas. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati diharapkan masukan berupa kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga tugas akhir ini akan memberikan manfaat bagi penulis sendiri dan juga bagi pihak lain yang berkepentingan.

Bandung, Juli 2025
Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KUTIPAN.....	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Kegunaan Penelitian.....	4
1.5 Waktu dan Tempat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biosurfaktan	5
2.2 Klasifikasi Biosurfaktan	5
2.3 Bakteri Penghasil Biosurfaktan	6
2.3.1 Bakteri Patogen	6
2.3.2 Bakteri Nonpatogen	7
2.4 Bakteri Asam Laktat	9
2.5 Bakteri Asam Laktat Penghasil Biosurfaktan.....	10
2.6 Metode Penapisan Biosurfaktan	13
2.7 Identifikasi Bakteri	15
BAB III TATA KERJA	21
3.1 Alat	21
3.2 Bahan.....	21

3.3	Metode Penelitian.....	21
3.3.1	Pembuatan Media.....	21
3.3.2	Isolasi Bakteri Asam Laktat	21
3.3.3	Pemurnian Isolat Bakteri Asam Laktat	22
3.3.4	Identifikasi Isolat Bakteri Asam Laktat	22
3.3.5	Uji Aktivitas Biosurfaktan	23
3.3.6	Identifikasi Molekuler.....	24
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1	Isolasi Bakteri Asam Laktat.....	26
4.2	Identifikasi Isolat Bakteri Asam Laktat.....	28
4.2.1	Pewarnaan Gram	28
4.2.2	Uji Katalase.....	30
4.3	Aktivitas Biosurfaktan.....	31
4.3.1	Uji <i>Drop Collapse</i>	31
4.3.2	Uji Indeks Emulsifikasi.....	32
4.3.3	Uji <i>Oil Spreading</i>	34
4.4	Identifikasi Molekuler	36
BAB V	SIMPULAN DAN ALUR PENELITIAN SELANJUTNYA	39
5.1	Simpulan.....	39
5.2	Alur Penelitian Selanjutnya	39
	DAFTAR PUSTAKA	40
	LAMPIRAN.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Biosurfaktan yang Diproduksi Oleh Bakteri Patogen.....	7
2.2 Biosurfaktan yang Diproduksi Oleh Bakteri Nonpatogen	7
2.3 Strain BAL yang Diketahui Mampu Memproduksi Biosurfaktan dan Penerapannya	11
2.4 Sifat Antimikroba Biosurfaktan yang Berasal dari BAL	12
4.1 Karakteristik Morfologi Koloni Bakteri Pengenceran Sampel 10 ⁴ Secara Makroskopik.....	26
4.2 Hasil Pewarnaan Gram Isolat Bakteri.	28
4.3 Hasil Uji Drop Collapse Dari Supernatan Kultur Cair isolat Bakteri.	32
4.4 Nilai Indeks Emulsifikasi Oleh Supernatan Bebas Sel Isolat Bakteri Setelah Inkubasi Selama 24 Jam.....	33
4.5 Hasil Pencocokan Sekuens Gen 16S rRNA Isolat Bakteri dengan Basis Data NCBI Menggunakan <i>BLAST</i>	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Klasifikasi Utama Biosurfaktan dan Struktur Kimianya	6
2.2 Macam-macam Bentuk, Tepi, dan Elevasi Koloni Bakteri.....	16
2.3 Pewarnaan Gram	17
2.4 Struktur Umum Pohon Filogenetik	19
2.5 Topologi Pada Pohon Filogenetik	19
4.1 Hasil Isolasi Bakteri dari Susu Sapi Murni	27
4.2 Hasil Pemurnian Koloni Bakteri Asam Laktat.....	28
4.3 Hasil Pewarnaan Gram Isolat Bakteri Dibawah Mikroskop dengan Perbesaran 100x	28
4.4 Visualisasi Bentuk Susunan Coccus.....	29
4.5 Hasil Uji Katalase	31
4.6 Hasil Pengamatan Uji Drop Collapse dari Supernatan Bebas Sel Isolat Bakteri Terhadap Minyak	32
4.7 Hasil Uji Indeks Emulsifikasi Setelah Inkubasi Selama 24 Jam	34
4.8 Zona Bening Bebas Minyak Yang Terbentuk Dari Uji Oil Spreading ..	35
4.9 Elektroforesis Gel Agarosa Amplifikasi PCR Gen 16S rRNA Isolat Bakteri BP-01	37
4.10 Pohon Filogenetik Isolat BP-01	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perhitungan Kebutuhan Media Mrs Agar	45
2. Perhitungan Kebutuhan Media Mrs <i>Broth</i>	46
3. Isolasi Bakteri.....	47
4. Perhitungan Uji Indeks Emulsifikasi Biosurfaktan.....	48
5. Sertifikat Analisis Media Mrs Agar	49
6. Sertifikat Analisis Media Mrs Broth	50
7. <i>Sequence Assembly</i> Produk Amplifikasi Gen 16s rRNA Isolat	52

DAFTAR PUSTAKA

- Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljaloud, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., Silva, R. C. da, & Ibrahim, S. A. (2020). Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. *Dairy*, 1(3), 202–232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
- Bednarski, M., & Kupczyński, R. (2024). Factors Affecting Milk Productivity, Milk Quality and Dairy Cow Health. *Animals*, 14(24), 3707. <https://doi.org/10.3390/ani14243707>
- Byrne, S. J., Butler, C. A., Reynolds, E. C., & Dashper, S. G. (2018). Taxonomy of Oral Bacteria. In V. Gurtler & J. T. Trevors (Eds.), *Methods in Microbiology* (Vol. 45, pp. 171–201). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.mim.2018.07.001>
- da Silva, A. F., Banat, I. M., Giachini, A. J., & Robl, D. (2021). Fungal Biosurfactants, From Nature to Biotechnological Product: Bioprospection, Production and Potential Applications. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 44(10), 2003–2034. <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02597-5>
- Edwards, R. J. (2019). Phylogenetic Tree Rooting. In S. Ranganathan, M. Gribskov, K. Nakai, & C. Schönbach (Eds.), *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology* (Vol. 2, pp. 727–735). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20258-6>
- Eldin, A. M., Kamel, Z., & Hossam, N. (2019). Isolation and genetic identification of yeast producing biosurfactants, evaluated by different screening methods. *Microchemical Journal*, 146, 309–314. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.01.020>
- Fardami, A. Y., Kawo, A. H., Yahaya, S., Lawal, I., Abubakar, A. S., & Maiyadi, K. A. (2022). A Review on Biosurfactant Properties, Production and Producing Microorganisms. *Journal of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology*, 10(1), 5–12. <https://doi.org/10.54987/jobimb.v10i1.656>
- Giri, S. S. (2021). Application of Microbial Biosurfactants in the Pharmaceutical Industry. In Inamuddin, M. I. Ahamed, & R. Prasad (Eds.), *Microbial Biosurfactants* (pp. 251–269). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6607-3_12

- Holt, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H. A., Staley, J. T., & William, S. T. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* (W. R. Hensyl, Ed.; 9th ed.). William & Wilkins.
- Jena, G., Dutta, K., & Daverey, A. (2023). Surfactants in Water and Wastewater (greywater): Environmental Toxicity and Treatment Options. *Chemosphere*, 341, 140082. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140082>
- Johnson, P., Trybala, A., Starov, V., & Pinfield, V. J. (2021). Effect of Synthetic Surfactants On The Environment and The Potential for Substitution by Biosurfactants. *Advances in Colloid and Interface Science*, 288, 102340. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102340>
- Karlapudi, A. P., Venkateswarulu, T. C., Tammineedi, J., Kanumuri, L., Ravuru, B. K., Dirisala, V. ramu, & Kodali, V. P. (2018). Role of Biosurfactants in Bioremediation of Oil Pollution-a review. *Petroleum*, 4(3), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.03.007>
- Karnwal, A., Shrivastava, S., Al-Tawaha, A. R. M. S., Kumar, G., Singh, R., Kumar, A., Mohan, A., Yogita, & Malik, T. (2023). Microbial Biosurfactant as an Alternate to Chemical Surfactants for Application in Cosmetics Industries in Personal and Skin Care Products: A Critical Review. *BioMed Research International*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/2375223>
- Kshikhundo, R., & Itumhelo, S. (2016). Bacterial Species Identification. *World News of Natural Science*, 3, 26–38.
- Kurniati, T. H., Rahayu, S., Sukmawati, D., & Maharani, W. (2019). Screening of Biosurfactant Producing Bacteria from Hydrocarbon Contaminated Soil. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(5), 055026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/5/055026>
- Lee, A. (2021). *MB352 General Microbiology Laboratory*. <https://LibreTexts.org>
- Li, H., Fang, C., Liu, X., Bao, K., Li, Y., & Bao, M. (2023). Quantitative Analysis Of Biosurfactants in Water Samples by a Modified Oil Spreading Technique. *RSC Advances*, 13(15), 9933–9944. <https://doi.org/10.1039/d3ra00102d>
- Li, Z., Rosenzweig, R., Chen, F., Qin, J., Li, T., Han, J., Istvan, P., Diaz-Reck, D., Gelman, F., Arye, G., & Ronen, Z. (2022). Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soils with Biosurfactant-Producing Degraders Isolated from the Native Desert Soils. *Microorganisms*, 10(11), 2267. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112267>
- Mardiah, I., Fatimah, I., Setiani, N. A., Hamdani, S., & Astriany, D. (2022). Optimasi Produksi Biosurfaktan dari Bakteri *Bacillus cereus* Menggunakan Minyak Jelantah. *Jurnal Biologi Udayana*, 26(2), 238–247.

- Mokoena, M. P. (2017). Lactic Acid Bacteria and Their Bacteriocins: Classification, Biosynthesis and Applications against Uropathogens: A Mini-Review. *Molecules*, 22(8), 1255. <https://doi.org/10.3390/molecules22081255>
- Morais, I. M. C., Cordeiro, A. L., Teixeira, G. S., Domingues, V. S., Nardi, R. M. D., Monteiro, A. S., Alves, R. J., Siqueira, E. P., & Santos, V. L. (2017). Biological and Physicochemical Properties of Biosurfactants Produced by *Lactobacillus jensenii* P6A and *Lactobacillus gasseri* P65. *Microbial Cell Factories*, 16(1), 155. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0769-7>
- Mouafo, H. T., Sokamte, A. T., Mbawala, A., Ndjouenkeu, R., & Devappa, S. (2022). Biosurfactants from Lactic Acid Bacteria: A Critical Review on Production, Extraction, Structural Characterization and Food Application. *Food Bioscience*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101598>
- Muniyandi, K., Punamalai, G., Chandrasekaran, N., & Kamaraj, Y. (2021). Raw Cow Milk as A Potential Source of Beneficial Lactic Acid Bacteria (LAB). *Bacterial Empire*, 4(1), 37–39. <https://doi.org/10.36547/be.2021.4.1.37-39>
- Noer, S. (2021). Identifikasi Bakteri secara Molekular Menggunakan 16S rRNA. *EduBiologia*, 1(1), 1–6.
- Pardhi, D. S., Panchal, R. R., Raval, V. H., Joshi, R. G., Poczai, P., Almalki, W. H., & Rajput, K. N. (2022). Microbial surfactants: A Journey from Fundamentals to Recent Advances. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.982603>
- Quigley, L., O’Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The Complex Microbiota Of Raw Milk. In *FEMS Microbiology Reviews* (Vol. 37, Issue 5, pp. 664–698). <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12030>
- Rezaeimalidareh, R., Ahmadi, M., & Shahidi, S. (2025). *Lactobacillus*-Derived Biosurfactants: Emulsification and Antioxidant Properties in Oil Emulsions. *Food Science & Nutrition*, 13(6). <https://doi.org/10.1002/fsn3.70334>
- Rocha e Silva, N. M. P., Meira, H. M., Almeida, F. C. G., Soares da Silva, R. de C. F., Almeida, D. G., Luna, J. M., Rufino, R. D., Santos, V. A., & Sarubbo, L. A. (2019). Natural Surfactants and Their Applications for Heavy Oil Removal in Industry. *Separation & Purification Reviews*, 48(4), 267–281. <https://doi.org/10.1080/15422119.2018.1474477>
- Sanjana, M., Yadav, S., Yadav, S. K., & Hiremath, J. P. (2019). Screening and Characterization of bio-surfactant producing *Bacillus* spp. from milk samples. In *Article in International Journal of Educational Research*. <https://www.researchgate.net/publication/337797266>

- Sharma, D., Saharan, B. S., Chauhan, N., Procha, S., & Lal, S. (2015). Isolation and Functional Characterization Of Novel Biosurfactant Produced by *Enterococcus faecium*. *SpringerPlus*, 4(1), 4. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-4-4>
- Sharma, D., Saharan, B. S., & Kapil, S. (2016). *Biosurfactants of Lactic Acid Bacteria*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26215-4>
- Sharma, J., Sundar, D., & Srivastava, P. (2021). Biosurfactants: Potential Agents for Controlling Cellular Communication, Motility, and Antagonism. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.727070>
- Siyal, A. A., Shamsuddin, M. R., Low, A., & Rabat, N. E. (2020). A Review on Recent Developments in The Adsorption of Surfactants From Wastewater. *Journal of Environmental Management*, 254, 109797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109797>
- Sohail, R., & Jamil, N. (2023). Microbial Biosurfactant Screening: Diversity in Assessment Methods. *Advancements of Microbiology*, 62(3–4), 145–155. <https://doi.org/10.2478/am-2023-0013>
- Sujaya, I., Nocianitri, K., Aryantini, N., Nursini, W., Ramona, Y., Orikasa, Y., Kenji, F., Urashima, T., & Oda, Y. (2016). Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri Asam Laktat Isolat Susu Segar Sapi Bali (Identification and Characterization of Lactid Acid Bacteria Isolated from Bali Cattle's Raw Milk). *Jurnal Veteriner*, 17(2), 155–167. <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2016.17.2.155>
- Tabrizi Rayeni, L., & Soltani Nezhad, S. (2018). Characterization of Biosurfactant Produced by Probiotic Bacteria Isolated from Human Breast Milk. *International Journal of Basic Science in Medicine*, 3(1), 18–24. <https://doi.org/10.15171/ijbsm.2018.04>
- Taye, Y., Degu, T., Fesseha, H., & Mathewos, M. (2021). Isolation and Identification of Lactic Acid Bacteria from Cow Milk and Milk Products. *Scientific World Journal*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4697445>
- Thakur, B., Kaur, S., Tripathi, M., & Upadhyay, S. K. (2024). Exploring the Potential of Lactic Acid Bacteria and its Molecular Mechanism of Action in the Development of Biosurfactants: Current Finding and Future Outlook. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 40(4), 4737–4768. <https://doi.org/10.1080/02648725.2023.2216421>
- Tian, F. (2019). Introduction. In W. Chen (Ed.), *Lactid Acid Bacteria* (pp. 1–30). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7832-4>

- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2019). *Microbiology : an introduction* (13th ed.). Pearson.
- Uzoigwe, C., Ennis, C. J., & Rahman, P. K. S. M. (2015). Production of Biosurfactants Using Eco-Friendly Microorganisms. In P. Thangavel & G. Sridevi (Eds.), *Environmental Sustainability: Role of Green Technologies* (pp. 185–204). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2056-5_11
- Yuan, F., Yin, S., Xu, Y., Xiang, L., Wang, H., Li, Z., Fan, K., & Pan, G. (2021). The Richness and Diversity of Catalases in Bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.645477>
- Yuzugullu Karakus, Y. (2020). Typical Catalases: Function and Structure. In M. D. Bagatini & A. M. Riberio-Carmona (Eds.), *Glutathione System and Oxidative Stress in Health and Disease*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90048>
- Zou, Y., Zhang, Z., Zeng, Y., Hu, H., Hao, Y., Huang, S., & Li, B. (2024). Common Methods for Phylogenetic Tree Construction and Their Implementation in R. *Bioengineering*, 11(5), 480. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11050480>