



Pendekatan *Flow Cytometry* dalam Kuantifikasi Mikroorganisme Pangan: Analisis Sistematis Literatur

Almaidah Istiqomah¹, Wenny Surya Murtius^{1*}

¹ Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas, Indonesia

ABSTRAK

Kuantifikasi mikroorganisme menjadi aspek penting untuk menjamin keamanan dan mutu produk pangan. Metode kultur tradisional yang umum digunakan memerlukan waktu lama dan kurang sensitif dalam mendeteksi mikroba viabel. Flow cytometry (FCM) berkembang sebagai teknik analisis mikroba yang cepat, akurat, dan multiparameter dengan kemampuan mendeteksi sel individual berdasarkan karakteristik fisik dan kimia, termasuk viabilitas sel. Studi ini menggunakan pendekatan systematic literature review dengan protokol PRISMA untuk menyintesis hasil penelitian terkini (2020-2025) terkait aplikasi FCM dalam kuantifikasi dan evaluasi viabilitas mikroorganisme pada produk pangan. Dari 450 artikel awal, terpilih 15 artikel yang memenuhi kriteria inklusi. Hasil kajian menunjukkan FCM unggul dibanding kultur tradisional dalam kecepatan, serta tingkat sensitivitasnya pada sel viable but non-culturable (VBNC), dan kemampuan multiparameter, walaupun terdapat variabilitas hasil akibat perbedaan protokol pewarnaan dan kompleksitas produk pangan. Standarisasi prosedur dan validasi antar-laboratorium menjadi kunci keberhasilan implementasi FCM. Aplikasi inovatif seperti integrasi Flow-FISH dan Imaging Flow Cytometry memperluas kemampuan analisis mikroba pangan. Keseluruhan, FCM memberikan potensi besar sebagai metode cepat dan sensitif untuk monitoring mikroba pangan dalam penelitian dan industri.

KATA KUNCI

Flow Cytometry; Kuantifikasi; Mikroorganisme; Pangan; SLR

PENULIS KORESPONDEN

Alamat e-mail penulis koresponden: wennysuryamurtius@ae.unand.ac.id

1. Pendahuluan

Kuantifikasi mikroorganisme merupakan aspek penting dalam produk pangan. Kuantifikasi mikroorganisme dalam pangan menjadi aspek vital untuk menjamin keamanan dan mutu produk pangan. Metode tradisional seperti penghitungan unit pembentuk koloni (CFU) dengan media agar memerlukan waktu cukup lama dan terkadang kurang sensitif untuk deteksi jumlah mikroba secara cepat. Saat ini, *flow cytometry* (FCM) telah berkembang sebagai teknik kuantifikasi mikroba yang lebih cepat dan akurat. FCM memungkinkan perhitungan dan karakterisasi mikroorganisme dalam sampel pangan secara kuantitatif dan multiparameter dengan instrumen yang mengalirkan sel-sel ke dalam rangkaian deteksi cahaya laser dan sinyal fluoresen. Prinsip kerja FCM didasarkan pada deteksi dan analisis sel individual yang diberi label fluoresen, yang dapat mengukur sejumlah parameter fisik dan kimiawi sel, seperti ukuran, kompleksitas, dan viabilitas [1].

Kuantifikasi mikroorganisme pangan menggunakan FCM, yaitu memperkirakan jumlah total mikroba, membran sel yang aktif, serta untuk mendeteksi mikroorganisme patogen dan *spoilage* secara lebih sensitif daripada metode konvensional. Metode ini juga sangat berguna untuk analisis populasi mikroba yang heterogen dalam produk pangan dan dapat memberikan hasil secara *real-time*, sehingga sangat efektif untuk monitoring kualitas dan keamanan pangan.

Aplikasi FCM pada perhitungan mikroorganisme pangan terus berkembang dan semakin penting dalam penelitian dan pengawasan mutu pangan modern. FCM memiliki kelebihan utama berupa kemampuan menghitung jumlah mikroorganisme secara cepat, akurat, dan dengan sensitivitas tinggi. Metode ini memungkinkan analisis multiparameter pada setiap sel mikroba secara individual, seperti ukuran, kompleksitas, dan viabilitas, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif dibandingkan metode kultur tradisional. Selain itu, FCM tidak memerlukan waktu inkubasi lama seperti pada kultur plat, sehingga hasil dapat diperoleh secara *real-time*. Metode ini juga mampu mendeteksi mikroorganisme yang sulit atau tidak bisa dikultur secara konvensional, serta memisahkan populasi sel berdasarkan



karakteristik fisik dan kimiawinya [2].

Sisi lainnya, FCM juga memiliki keterbatasan, antara lain biaya alat yang relatif mahal dan kebutuhan akan operator yang terlatih untuk interpretasi data. Selain itu, teknik ini memerlukan pemberian pewarna fluoresen yang spesifik, yang kadang dapat menimbulkan variasi hasil jika tidak dijalankan dengan tepat. Berbeda dengan kultur tradisional yang memungkinkan pertumbuhan mikroba hidup yang bisa diisolasi dan diidentifikasi lebih lanjut, FCM hanya memberikan data kuantitatif tanpa isolasi mikroorganisme hidup. Jadi, meskipun FCM unggul dalam kecepatan dan sensitivitas, kultur tradisional tetap penting jika digunakan untuk analisis mikrobiologi yang memerlukan isolasi dan karakterisasi mikroba lebih detail. Oleh karena itu, tinjauan ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren, keunggulan, keterbatasan, dan aplikasi metode FCM dalam kuantifikasi mikroorganisme berdasarkan pendekatan PRISMA [3].

Peningkatan kompleksitas sistem pangan modern, termasuk berkembangnya pangan siap saji, pangan fermentasi, dan produk dengan umur simpan panjang, menuntut metode analisis mikrobiologi yang tidak hanya akurat tetapi juga responsif terhadap perubahan mikroba yang cepat. Globalisasi rantai pasok pangan dan meningkatnya tuntutan regulasi keamanan pangan semakin memperkuat kebutuhan akan teknik kuantifikasi mikroorganisme yang mampu memberikan informasi secara cepat untuk pengambilan keputusan. Dalam konteks ini, keterlambatan hasil analisis mikrobiologi dapat berdampak langsung pada risiko kesehatan konsumen, kerugian ekonomi, serta penarikan produk dari pasar [4].

Selain aspek keamanan, mikroorganisme juga memegang peranan penting dalam pembentukan karakteristik sensorik dan fungsional produk pangan, khususnya pada pangan fermentasi. Dinamika populasi mikroba yang kompleks selama proses produksi dan penyimpanan sering kali tidak dapat sepenuhnya digambarkan melalui metode kultur konvensional, karena adanya fraksi sel yang berada dalam kondisi viable but non-culturable (VBNC). Kondisi ini menjadi tantangan serius dalam evaluasi mutu pangan, karena mikroorganisme tersebut tetap berpotensi memengaruhi stabilitas produk dan kesehatan konsumen meskipun tidak terdeteksi melalui metode berbasis pertumbuhan koloni [5].

Perkembangan teknologi analitik dalam ilmu pangan membuka peluang untuk pendekatan kuantifikasi mikroba yang lebih holistik, yang tidak hanya berfokus pada jumlah sel hidup yang dapat tumbuh, tetapi juga pada status fisiologis dan heterogenitas populasi mikroorganisme. Pendekatan ini menjadi sangat relevan dalam pengawasan proses produksi pangan modern yang menuntut pengendalian kualitas secara berkelanjutan (*continuous monitoring*). Oleh karena itu, metode yang mampu mengintegrasikan kecepatan analisis, sensitivitas tinggi, serta informasi multiparameter menjadi semakin krusial [6].

Dalam kerangka tersebut, flow cytometry muncul sebagai bagian dari transformasi metodologis dalam mikrobiologi pangan, sejalan dengan pergeseran paradigma dari analisis berbasis kultur menuju pendekatan berbasis sel individual. Namun, adopsi metode ini dalam bidang pangan masih menghadapi berbagai tantangan, baik dari sisi teknis, biaya, maupun standar interpretasi data. Perbedaan matriks pangan, kompleksitas sampel, serta variasi protokol pewarnaan turut memengaruhi konsistensi dan reproduktibilitas hasil, sehingga diperlukan pemahaman yang komprehensif mengenai penerapan FCM dalam berbagai konteks pangan.

Dengan demikian, kajian sistematis terhadap literatur yang ada menjadi penting untuk memetakan perkembangan terkini, peluang pemanfaatan, serta kendala implementasi flow cytometry dalam kuantifikasi mikroorganisme pangan. Pendekatan berbasis PRISMA diharapkan dapat memberikan gambaran yang terstruktur dan objektif mengenai posisi FCM dalam metodologi mikrobiologi pangan modern, sekaligus menjadi landasan bagi pengembangan penelitian dan aplikasi praktis di masa mendatang.

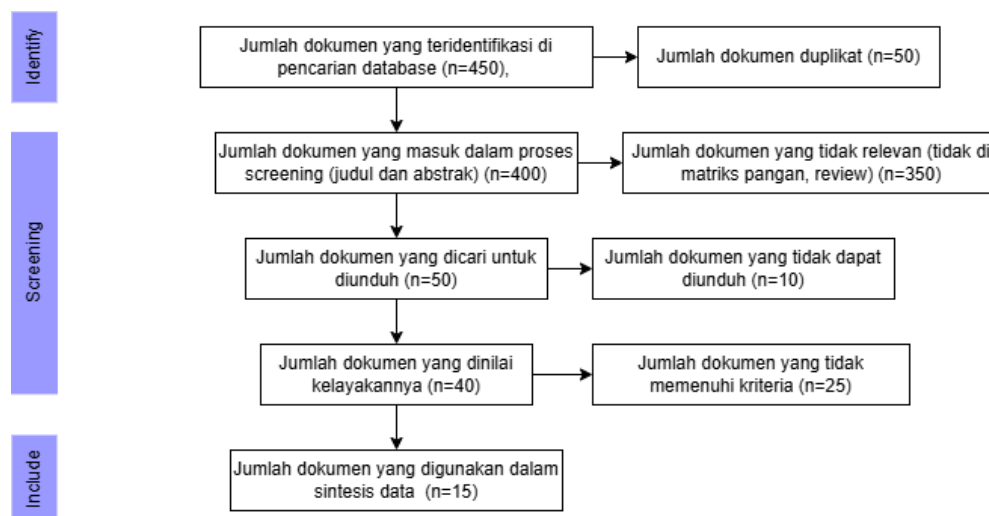
2. Metode Penelitian

Systematic literature review (SLR) bertujuan untuk merangkum bukti ilmiah yang tersebar dalam berbagai studi agar dapat dijadikan dasar bagi pengambilan keputusan yang berlandaskan bukti (*evidence-based*) [7]. Studi ini menggunakan pendekatan (SLR) dengan merujuk pada protokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-*

Analyses) sebagaimana dikembangkan oleh [8]. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan sintesis yang komprehensif dan transparan. Tahapan penyusunan metode PRISMA meliputi:

1. Strategi pencarian: menggunakan basis data utama seperti *PubMed/PMC*, *Scopus*, *Web of Science*, *Embase*, dan *Google Scholar* dengan rentang waktu pencarian dari tahun 2020-2025. Kata kunci pencarian diterapkan antara lain "*flow cytometry*" yang dikombinasikan dengan istilah terkait pangan seperti *food*, *dairy*, *milk*, *cheese*, *whey*, *probiotic*, *meat*, *seafood*, dan *food industry*. Kombinasi lain yang digunakan meliputi "*flow cytometry*" dengan istilah enumerasi, *counting*, atau *viability*. Fokus bahasa penelitian utama adalah bahasa Inggris, namun artikel non-Inggris yang memiliki abstrak bahasa Inggris tetap dipertimbangkan.
2. Inklusi/Eksklusi: Kriteria inklusi mencakup studi penelitian asli, pengembangan metode, dan validasi yang menggunakan *flow cytometry* untuk enumerasi atau evaluasi viabilitas mikroorganisme dalam matriks pangan selama periode 2020–2025. Studi yang dikecualikan adalah review tanpa data primer kecuali metode penting, studi non-pangan, laporan konferensi tanpa teks lengkap, dan studi sebelum tahun 2020.
3. Proses seleksi dan ekstraksi data : dilakukan screening judul dan abstrak, dilanjutkan dengan penilaian *full-text*. Data diekstrak ke dalam template yang mencakup informasi penulis dan tahun, negara, matriks pangan, organisme target, instrumen dan pewarna yang digunakan, persiapan sampel, perbandingan dengan metode plate count, serta temuan utama studi.
4. Sintesis data: Sintesis data dilakukan dalam bentuk naratif dan tabel ringkasan studi terpilih.

Dari 450 artikel awal, tersisa 15 artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan sebagai sumber analisis utama.



Gambar 1. Grafik Prisma Sistematis Literatur Review

3. Hasil dan Pembahasan

FCM menawarkan beberapa keunggulan signifikan dalam perhitungan mikroorganisme pada pangan jika dibandingkan dengan metode kultur tradisional. Keunggulan utama terletak pada kecepatan analisis, di mana FCM mampu menghasilkan data dalam hitungan menit hingga jam, sedangkan metode kultur konvensional membutuhkan waktu 24 hingga 72 jam untuk memperoleh hasil. Di samping itu, FCM memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi sel mikroba yang dalam keadaan viabel tapi tidak dapat dikultur (*viable but non-culturable*) maupun sel yang mengalami kerusakan. Kondisi ini menyebabkan FCM sering kali menghasilkan hitungan viabel yang lebih tinggi dibanding perhitungan CFU, yang sangat relevan pada produk pangan yang mengalami stres lingkungan seperti pengeringan,



pengasaman, atau pengemasan.

Disamping itu, penggunaan FCM juga menghadapi beberapa hambatan dan sumber variabilitas. Perbedaan dalam protokol pewarnaan, termasuk jenis *dye*, konsentrasi, dan durasi inkubasi, serta cara persiapan sampel seperti proses deagregasi dan permeabilisasi, dapat menyebabkan variasi hasil antar studi. Selain itu, beberapa *dye* lebih cocok digunakan untuk mikroorganisme atau spora tertentu, sehingga pemilihan *dye* yang tepat sangat penting. Kompleksitas matriks pangan yang mengandung lemak, partikel, dan bahan lainnya dapat mengganggu sinyal *fluorescence* dan *scatter*, sehingga dibutuhkan persiapan sampel dan strategi *gating* yang teliti untuk meminimalkan gangguan tersebut.

Aspek standarisasi dan validasi, penelitian *ring-test* dan uji antar-laboratorium membuktikan bahwa FCM dapat memberikan hasil yang reliabel apabila protokol pewarnaan dan prosedur persiapan sampel distandarkan dengan baik. Oleh karena itu, pengembangan standar operasional prosedur (SOP), partisipasi dalam uji antar-laboratorium, dan kalibrasi rutin instrumen sangat dianjurkan untuk meningkatkan konsistensi dan keandalan hasil tersebut. Berbagai studi dari tahun 2023 hingga 2025 menegaskan posisi FCM sebagai metode unggulan dalam kuantifikasi mikroorganisme pada berbagai produk pangan, terutama produk susu, starter alami, dan produk probiotik. Misalnya, penelitian Bellassi *et al.* (2023) dengan sampel *natural whey* menunjukkan bahwa FCM memberikan hasil hitungan sel yang cepat dan sejalan dengan metode kultur plate, serta mampu mendeteksi jumlah sel VBNC yang lebih banyak dibanding perhitungan kultur konvensional. Hal ini menunjukkan keunggulan FCM dalam evaluasi viabilitas mikroba pada kondisi produksi susu fermentasi alami.

Sejumlah penelitian terbaru menunjukkan bahwa *flow cytometry* (FCM) efektif digunakan untuk kuantifikasi mikroorganisme multispecies dalam formulasi probiotik. Pendekatan ini menghasilkan estimasi viabilitas yang lebih tinggi dibandingkan metode *colony forming unit* (CFU), terutama karena kemampuannya mendeteksi sel dalam kondisi *viable but non-culturable* (VBNC). Meskipun demikian, hasil-hasil tersebut juga menegaskan pentingnya penerapan strategi analisis yang tepat untuk meminimalkan potensi bias, khususnya yang disebabkan oleh aglomerasi sel dalam sistem campuran probiotik.

Validasi metode FCM melalui uji antar-laboratorium dilaporkan menunjukkan tingkat reliabilitas yang tinggi, sehingga memperkuat posisinya sebagai metode kuantifikasi alternatif yang andal. Namun, temuan tersebut sekaligus menekankan urgensi pengembangan dan penerapan protokol yang terstandarisasi agar metode ini dapat diadopsi secara lebih luas dalam skala industri pangan dan probiotik.

Berbagai aplikasi inovatif FCM yang tengah berkembang mencakup integrasi teknik Flow-FISH untuk enumerasi spesifik mikroorganisme target dalam produk probiotik, pemantauan spora *Bacillus* menggunakan pewarna nukleat berbasis fluoresensi, serta pemanfaatan *imaging flow cytometry* (IFC) yang menggabungkan analisis visual sel dengan pendekatan statistik kuantitatif, khususnya pada formulasi probiotik kering. Selain itu, pendekatan multiparameter dalam FCM dilaporkan mampu meningkatkan akurasi analisis dengan memungkinkan evaluasi kondisi fisiologis mikroba, termasuk respons terhadap stres oksidatif.

Lebih lanjut, penerapan FCM dalam penilaian viabilitas dan keragaman komunitas mikroba starter berbasis whey menunjukkan bahwa metode ini dapat memberikan hasil yang konsisten dan sesuai dengan kerangka standar internasional, sehingga berpotensi mendukung harmonisasi metode analisis mikrobiologi dalam pengawasan mutu pangan.

Berbagai kajian pustaka mutakhir menunjukkan bahwa pemanfaatan *flow cytometry* (FCM) dan teknik Flow-FISH mengalami perkembangan signifikan sebagai pendekatan deteksi cepat dan karakterisasi mikroorganisme dalam pangan. Temuan-temuan tersebut menegaskan potensi tinggi metode ini dalam meningkatkan efisiensi analisis mikrobiologi pangan, khususnya dalam konteks keamanan dan pengendalian mutu. Sejumlah studi eksperimental juga menyoroti bahwa keberhasilan penerapan FCM sangat bergantung pada optimasi tahap pewarnaan fluoresen dan prosedur persiapan sampel, karena kedua aspek tersebut berperan penting dalam menekan variabilitas data dan meningkatkan keandalan hasil kuantifikasi.



Selain itu, penelitian terkini mengindikasikan bahwa FCM dapat diaplikasikan secara efektif untuk deteksi mikroorganisme patogen dalam matriks pangan yang kompleks, asalkan didukung oleh protokol biosafety yang memadai dan pengendalian risiko yang ketat. Pendekatan ini membuka peluang penggunaan FCM sebagai alat pemantauan cepat dalam sistem keamanan pangan modern, terutama pada tahap produksi dan distribusi. Ringkasan karakteristik dan temuan utama dari berbagai studi terkait disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Ringkasan Studi

No	Penulis (Tahun)	Tahun	Matriks pangan	Target / fokus	Metode (dye/instrument)	Temuan utama
1	Bellasi [9].	(2023)	Natural whey samples	Rapid bacterial enumeration vs plate count.	Flow cytometry (live/dead stains); FACSeg/BD sejenis.	FCM cepat, hasil searah dengan plate count pada whey; FCM mendeteksi sel VBNC lebih banyak.
2	Pereira [10].	(2023)	Probiotic formulations	High-throughput viability enumeration	Multiparameter FCM; live/dead dyes.	FCM cocok untuk enumerasi multispesies probiotik; bias terhadap CFU karena VBNC.
3	Tracey [11].	(2023)	Probiotics (mixtures)	Enumeration of mixtures	Live/dead flow cytometry vs plate count	Perbandingan menunjukkan FCM memberikan hitungan viabel lebih tinggi pada campuran; diskusi metode de-agregasi.
4	Jordal [6].	(2023)	General (method validation)	Inter-laboratory ring test	Standar FCM protocols; multisite validation	FCM reliable & precise; kebutuhan standarisasi untuk industri.
5	Snaidr [12].	(2024)	Probiotic products	Flow-FISH + FCM untuk spesifik genus/spesies	Flow-FISH integration	Flow-FISH memungkinkan enumerasi spesifik dalam campuran produk probiotik; meningkatkan spesifisitas FCM.
6	Chen [13].	(2024)	Bacillus	Spore	Nucleic acid	Metode cepat untuk



No	Penulis (Tahun)	Tahun	Matriks pangan	Target / fokus	Metode (dye/instrument)	Temuan utama
			cultures / spore monitoring	formation dynamics	dyes SYTO; FCM rapid monitoring	memonitor spora vs vegetative cells; cocok untuk produk berbasis Bacillus.
7	Somerton [14].	(2024)	Model Bacillus cereus	Compare plate vs FCM for enumeration	Berbagai dye combos (cFDA, PI, DiOC2)	Beberapa kombinasi dye setara akuratnya dengan plate count; protokol pilihan berpengaruh.
8	Kieps [5].	(2023)	Probiotic formulations	Imaging Flow Cytometry (IFC)	IFC (imaging + cytometry)	IFC memberikan konteks gambar dan statistik → lebih akurat untuk formulasi kering.
9	Fallico [15].	(2020)	Food matrices (general)	Multiparameter FCM assay	Next-gen multiparameter approach	Menyoroti pentingnya multiparameter untuk oxidative stress dan akurasi lebih baik.
10	Lutin [16].	(2024)	Natural whey starters (cheese)	Microbial diversity & viability	FCM + complementary methods	FCM membantu menilai viabilitas dan dinamika komunitas starter.
11	Tomaska [17].	(2024)	Raw cow's milk	Total bacterial count using laser FCM	Bactoscan/ Bactoflow instruments ; ISO 21187 referenced	Penerapan FCM pada milk monitoring; rujukan ISO/standar instrument.
12	Zand [18].	(2021 review)	Food industry overview	Potential of FCM & FISH	Review methods	Review komprehensif: potensi FCM + FISH dalam deteksi cepat & karakterisasi mikroba pangan.
13	Śliwa-Dominiak [19]	(2025 review)	Microbiology (general)	FCM in microbiology overview	Review 2025	Menyajikan state-of-the-art FCM di mikrobiologi termasuk aplikasi pangan.



No	Penulis (Tahun)	Tahun	Matriks pangan	Target / fokus	Metode (dye/instru ment)	Temuan utama
14	Ratajczak K [20]	(2024)	Method optimization	Optimizatio n of FCM detection in food	Method developme nt	Menekankan optimasi pewarnaan dan pengolahan sampel untuk akurasi.
15	Servain-Viel [21]	(2024)	Safe detection of bacterial pathogens	Rapid detection & enumeratio n	FCM method for safe detection	Menyediakan protokol untuk deteksi aman (biosafety aware) dan aplikasi diagnostik.

Secara keseluruhan, kumpulan studi ini mengilustrasikan kemajuan dan potensi besar FCM sebagai metode enumerasi mikroorganisme yang cepat, sensitif, dan multiparameter dalam bidang pangan, dengan catatan bahwa standarisasi dan validasi protokol sangat penting untuk mengoptimalkan konsistensi dan reliabilitas hasil dalam aplikasi industri dan penelitian.

4. Kesimpulan

FCM merupakan metode yang cepat, sensitif, dan akurat untuk kuantifikasi mikroorganisme pada pangan, dengan kemampuan mendeteksi sel viabel yang tidak dapat dikultur, namun keberhasilan aplikasinya sangat bergantung pada standarisasi protokol pewarnaan, persiapan sampel, dan validasi antar-laboratorium guna memastikan konsistensi dan reliabilitas hasil. Aplikasi inovatif seperti integrasi Flow-Fish dan IFC memperluas kemampuan analisis mikroba pangan. Keseluruhan, FCM memberikan potensi besar sebagai metode cepat dan sensitif untuk monitoring mikroba pangan dalam penelitian dan industri.

5. Referensi

- [1] E. Zand, A. Froehling, C. Schoenher, M. Zunabovic-Pichler, O. Schlueter, and H. Jaeger, "Potential of Flow Cytometric Approaches for Rapid Microbial Detection and Characterization in the Food Industry—A Review," *Foods*, vol. 10, no. 12, p. 3112, Dec. 2021, doi: 10.3390/foods10123112.
- [2] M. Tomáška, M. Drončovský, and M. Kološta, "Measurement of Microbiological Quality of Raw Goat'S Milk by Laser Flow Cytometry," *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, p. e11014, May 2024, doi: 10.55251/jmbfs.11014.
- [3] M. J. Page *et al.*, "The Prisma 2020 Statement: an Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews," *BMJ*, p. n71, Mar. 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [4] J. Lutin *et al.*, "Microbial Composition and Viability of Natural Whey Starters Used in PDO Comté Cheese-Making," *Food Microbiol*, vol. 121, p. 104521, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.fm.2024.104521.
- [5] J. Kieps, W. Juzwa, and R. Dembczyński, "Imaging Flow Cytometry Demonstrates Physiological and Morphological Diversity within Treated Probiotic Bacteria Groups," *Int J Mol Sci*, vol. 24, no. 7, p. 6841, Apr. 2023, doi: 10.3390/ijms24076841.



- [6] P. L. Jordal *et al.*, "Collaborative Cytometric Inter-Laboratory Ring Test for Probiotics Quantification," *Front Microbiol*, vol. 14, pp. 1–17, Nov. 2023, doi: 10.3389/fmicb.2023.1285075.
- [7] E. Aromataris and A. Pearson, "The Systematic Review," *AJN, American Journal of Nursing*, vol. 114, no. 3, pp. 53–58, Mar. 2014, doi: 10.1097/01.NAJ.0000444496.24228.2c.
- [8] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," *Bmj*, vol. 372, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [9] P. Bellassi, A. Fontana, and L. Morelli, "Application of Flow Cytometry for Rapid Bacterial Enumeration and Cells Physiological State Detection to Predict Acidification Capacity of Natural Whey Starters," *Heliyon*, vol. 9, no. 8, p. e19146, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19146.
- [10] J. V. Pereira, H. K. A. H. Gamage, A. K. Cain, E. Hayes, I. T. Paulsen, and S. G. Tetu, "High-Throughput Viability Testing of Microbial Communities in a Probiotic Product Using Flow Cytometry," *Appl Microbiol*, vol. 3, no. 3, pp. 1068–1082, Sep. 2023, doi: 10.3390/applmicrobiol3030074.
- [11] H. Tracey, N. Coates, E. Hulme, D. John, D. R. Michael, and S. F. Plummer, "Insights into the Enumeration of Mixtures of Probiotic Bacteria by Flow Cytometry," *BMC Microbiol*, vol. 23, no. 1, p. 48, Feb. 2023, doi: 10.1186/s12866-023-02792-2.
- [12] L. Snaidr, P. Mühlhahn, C. Beimfohr, C. Kreuzer, C. Richly, and J. Snaidr, "Specific Cultivation-Independent Enumeration of Viable Cells in Probiotic Products Using a Combination of Fluorescence in Situ Hybridization and Flow Cytometry," *Front Microbiol*, vol. 15, pp. 1–15, Jun. 2024, doi: 10.3389/fmicb.2024.1410709.
- [13] Z. Chen *et al.*, "Monitoring of Bacillus Spore-Forming Dynamics Through Flow Cytometry," *Front Microbiol*, vol. 15, pp. 1–11, Oct. 2024, doi: 10.3389/fmicb.2024.1450913.
- [14] B. T. Somerton and B. L. Morgan, "Comparison of Plate Counting with Flow Cytometry, using Four Different Fluorescent Dye Techniques, for The Enumeration of Bacillus Cereus in Milk," *J Microbiol Methods*, vol. 223, p. 106978, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.mimet.2024.106978.
- [15] V. Fallico, M. Rea, C. Stanton, N. Ilestam, and J. McKinney, "Next-Generation Multiparameter Flow Cytometry Assay Improves The Assessment of Oxidative Stress in Probiotics," *Food Microbiol*, vol. 91, p. 103501, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.fm.2020.103501.
- [16] J. Lutin *et al.*, "Microbial composition and viability of natural whey starters used in PDO Comté cheese-making," *Food Microbiology*, vol. 121, p. 104521, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104521>.
- [17] M. Tomáška, M. Drončovský, and M. Kološta, "Measurement of Microbiological Quality of Raw Goat'S Milk By Laser Flow Cytometry," *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 48–51, 2024, doi: 10.55251/jmbfs.11014.
- [18] E. Zand, A. Froehling, C. Schoenher, M. Zunabovic-Pichler, O. Schlueter, and H. Jaeger, "Potential of flow cytometric approaches for rapid microbial detection and chracterization in the food Industry—a review," *Foods*, vol. 10, no. 12, pp. 1–43, 2021, doi: 10.3390/foods10123112.
- [19] J. Śliwa-Dominiak *et al.*, "Flow Cytometry in Microbiology: A Review of the Current State in Microbiome Research, Probiotics, and Industrial Manufacturing," *Cytometry Part A*, vol. 107, no. 3, pp. 145–164, Mar. 2025, doi: 10.1002/cyto.a.24920.
- [20] K. Ratajczak, W. Juzwa, and A. Piotrowska-Cyplik, "Optimization of The Flow Cytometry Method of Detection, Quantification and Qualification of Microorganisms in Carrot Juice," *Food Chem*, vol. 460, p. 140606, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140606.
- [21] S. Servain-Viel *et al.*, "A Flow Cytometry Method for Safe Detection of Bacterial Viability," *Cytometry Part A*, vol. 105, no. 2, pp. 146–156, Feb. 2024, doi: 10.1002/cyto.a.24794.