

3. STATUS CEMARAN MIKROORGANISME PADA SUSU KEDELAI DI BEBERAPA WILAYAH DI INDONESIA

3.1. Jumlah Cemaran Mikroorganisme pada Susu Kedelai

Batas Maksimum Cemaran Mikroba (BMCM) adalah jumlah maksimum (koloni/g) mikroorganisme yang masih dapat diterima dalam bahan makanan. Susu kedelai di Indonesia memiliki standar tersendiri untuk batas jumlah cemaran mikroba dan jenis cemaran mikroba (BMCM) yang tidak boleh ada dalam produk ini. Standar yang digunakan dalam studi pustaka ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Penetapan Batas Maksimum Cemaran Mikroba dan Kimia dalam Makanan SNI (7388:2009), serta Peraturan BPOM No 13 Tahun 2019 tentang Batas Maksimal Cemaran Mikroba dalam Pangan Olahan.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No 86 Tahun 2019, telah dikeluarkan larangan untuk memperjualbelikan produk pangan yang cemarannya melampaui ambang batas yang telah ditetapkan dan yang mengandung bahan kotor, busuk, ataupun bahan nabati/hewani yang berpenyakit, sehingga membuat produk pangan tersebut tidak layak dikonsumsi. Namun dari hasil penelitian pada Tabel 4., ditemukan bahwa rata-rata susu kedelai yang beredar di pasaran Indonesia, mulai dari daerah Aceh hingga Makassar masih memiliki jumlah cemaran mikroorganisme yang melampaui standar BMCM yang telah ditetapkan pemerintah. Rata-rata lokasi penjualan susu kedelai ini berada di pasar tradisional, pedagang kaki lima (PKL), industri rumah tangga (IRT), warung, dan pasar swalayan.

Tabel 4. Rata-rata Jumlah Cemarkan Mikroorganisme pada Susu Kedelai IRT Tidak Berlabel

Daerah	Rerata ALT (koloni/ml)	Rerata MPN (APM/ml)	Rerata AKK (koloni/ml)	% MS	% TMS	Referensi
Banda Aceh	31,97 x 10 ⁶	-	-	0	100	Safrida <i>et al.</i> , 2019
Medan	7,90 x 10 ⁶	159,50 ^b	-	0* 60**	100* 40**	Muhardianti, 2017; Sirait, 2009
Deli Serdang	-	145,83 ^b	-	0	100	Nasution, 2018
Bukittinggi	-	29 ^a 8 ^b	-	0	100	Hilmarni <i>et al.</i> , 2019
Padang	(4,87 x 10 ²) ^c (3,12 x 10 ³) ^d (1,06 x 10 ⁵) ^e	221,39 ^b	-	33,67* 22,22**	66,67* 77,78**	Mustika <i>et al.</i> , 2019
Pekanbaru	6,12 x 10 ⁴	55,58 ^a 50,38 ^b	-	20* 60**	80* 40**	Octaviani & Aria, 2018
Pringsewu	3,28 x 10 ⁴	>2400 ^a	-	50	50	Ramdhini, 2019
Bandar Lampung	-	>1100 ^b	-	66,67	33,33	Molita <i>et al.</i> , 2019
Jakarta Selatan	8,77 x 10 ⁸ (1,39 x 10 ⁵) ^a (7,75 x 10 ⁴) ^c (1,50 x 10 ⁴) ^d (2,60 x 10 ⁵) ^f	-	9,25 x 10 ⁷	0 0 25 75 50	100 100 75 25 50	Rachmatah <i>et al.</i> , 2013
Surakarta	-	45,8 ^a 386,86 ^b	-	40 53,34	60 46,66	Ismail, 2012; Murtiningtyas, 2016; Nugroho & Binugraheni, 2016
Purwokerto	-	15,25 ^b	-	50	50	Manto & Hilal, 2016

Surabaya	-	72,19 ^a	-	37,50	62,50	Nisaa <i>et al.</i> , 2020
Banjarmasin	-	447,44 ^a 16,78 ^b	-	11,11 0	88,89 100	Syarifin <i>et al.</i> , 2015
Maros	6,57 x 10 ³	< 0,3 ^b	49	100* 100** 33,33***	0* 0** 66,67***	Santri <i>et al.</i> , 2015

Keterangan :

a = koliform
b = *Escherichia coli*
c = *Salmonella sp*
d = *Staphylococcus aureus*

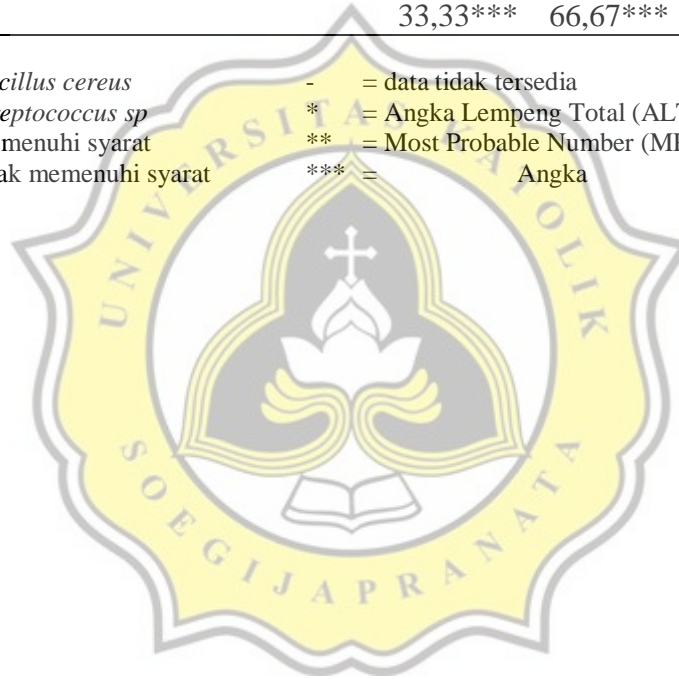
e = *Bacillus cereus*
f = *Streptococcus sp*
MS = memenuhi syarat
TMS= tidak memenuhi syarat

- = data tidak tersedia
* = Angka Lempeng Total (ALT)
** = Most Probable Number (MPN)
*** = Angka

Kapang

Khamir

(AKK)



Di Banda Aceh, Safrida *et al.*, (2019) melakukan pengujian total bakteri dengan metode Angka Lempeng Total (ALT) terhadap 6 sampel susu kedelai tanpa label yang dijual di Kecamatan Jaya Baru. Hasil pengujian menunjukkan keseluruhan sampel (100%) memiliki nilai ALT yang tidak memenuhi syarat, dengan rerata $31,97 \times 10^6$ koloni/ml. Selanjutnya di Medan, Muhardianti (2017) melakukan pengujian total bakteri (ALT) pada susu kedelai yang dijual di sekitar Jalan Setia Budi. Namun, peneliti tidak menyebutkan berapa banyak sampel yang diuji. Hasilnya menunjukkan bahwa susu kedelai yang diuji, rerata nilai ALT-nya $7,90 \times 10^6$ koloni/ml. Sirait (2009) juga melakukan pengujian *Most Probable Number* (MPN) *Escherichia coli* terhadap 10 sampel susu kedelai yang diproduksi oleh 10 usaha kecil di Kota Medan dan dijual di 10 lokasi berbeda. Pengujian menunjukkan 4 sampel (40%) memiliki nilai rerata MPN *Escherichia coli* yang tidak memenuhi syarat, yaitu 159,50 APM/ml. Dalam observasinya, ia menemukan bahwa 4 sampel susu kedelai ini diproduksi oleh usaha kecil yang tidak memenuhi prinsip higiene sanitasi pada tahap pengolahan minuman.

Di Deli Serdang, Nasution (2018) melakukan pengujian MPN *Escherichia coli* terhadap 6 sampel susu kedelai tanpa label yang dijual di sebuah pasar tradisional daerah Tembung. Pengujian MPN dilakukan 2 seri untuk mendeteksi adanya bakteri koliform (suhu 37°C , 24 jam) dan kolifekal (44°C , 24 jam). Hasil penelitian menunjukkan rerata nilai MPN *Escherichia coli* dari keenam sampel (100%) melebihi 3 APM/ml, yaitu sebesar 145,83 APM/ml. Kemudian di Bukittinggi, Hilmarni *et al.*, (2019) juga menguji MPN koliform dan *Escherichia coli* dari 3 sampel susu kedelai produksi rumah tangga yang dijual di Pasar Bawah. Dari ketiga sampel yang diuji, semuanya (100%) menunjukkan nilai MPN koliform dan *Escherichia coli* yang tidak memenuhi syarat. Rerata hasil uji MPN koliform 29 APM/ml, sedangkan rerata MPN *Escherichia coli* 8 APM/ml.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Mustika *et al.*, (2019) terhadap 9 sampel susu kedelai yang dijual di 9 pasar besar beberapa kecamatan di Kota Padang. Pengujian yang dilakukan meliputi uji identifikasi *Escherichia coli* dengan metode MPN dan hitungan cawan (ALT) untuk uji identifikasi *Salmonella sp*, *Staphylococcus aureus*, dan

Bacillus cereus. Hasil pengujian MPN *Escherichia coli* menunjukkan 7 sampel (77,78%) positif dengan rerata 205,86 APM/ml. Sedangkan sebanyak 6 sampel (66,67%) telah ditemukan rerata jumlah koloni *Salmonella sp* ($7,31 \times 10^2$ koloni/ml), *Staphylococcus aureus* ($4,66 \times 10^3$ koloni/ml), dan *Bacillus cereus* ($1,59 \times 10^5$ koloni/ml) yang tidak memenuhi syarat. Hal ini mengindikasikan ketidaklayakan susu kedelai untuk dikonsumsi, karena mengandung cemaran mikroba patogen yang cukup tinggi.

Di Pekanbaru, juga dilakukan penelitian oleh Octaviani & Aria (2018) terhadap 5 susu kedelai tanpa label yang dijual di 5 warung yang ada di Kecamatan Sukajadi. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian total bakteri (ALT), uji organoleptis hingga hari kelima, serta pengujian MPN koliform dan MPN *Escherichia coli*. Sebanyak 3 sampel (60%) menunjukkan rerata nilai ALT sebesar $7,19 \times 10^4$ koloni/ml. Sedangkan dari uji MPN yang dilakukan, didapatkan hasil 2 dari 5 sampel (40%) memiliki nilai rerata MPN koliform (133,50 APM/ml) dan MPN *Escherichia coli* (123,35 APM/ml) yang tidak memenuhi syarat. Kekurangan pada penelitian ini adalah peneliti tidak menggunakan syarat SNI yang terbaru, melainkan menggunakan SNI No 01:3830 Tahun 1995 yang membuat hasil penelitian ini menjadi kurang relevan.

Di Pringsewu, Ramdhini (2019) melakukan pengujian total mikroba (ALT) dan MPN koliform pada 10 sampel susu kedelai tanpa label yang diperdagangkan di Pasar Induk dan Pasar Terminal. Hasilnya, sebanyak 5 sampel (50%) memiliki rerata ALT sebesar $5,82 \times 10^4$ koloni/ml dan rerata MPN koliform sebesar 2400 APM/ml. Namun pada jurnalnya, peneliti menggunakan standar MPN *Escherichia coli* (< 3 APM/ml) untuk pengujian MPN koliform, hal ini kurang tepat. Sebab seharusnya peneliti menggunakan standar MPN koliform, yaitu maksimal 20 APM/ml. Selain di Pringsewu, di Bandar Lampung juga dilakukan pengujian MPN *Escherichia coli* oleh Molita *et al.*, (2019) terhadap 12 sampel susu kedelai tidak berlabel dan 11 sampel susu kedelai berlabel. Sampel susu kedelai tanpa label ini diambil dari beberapa warung di pinggir jalan, kantin sekolah, dan industri rumah tangga. Pada uji penegasan menunjukkan 4 sampel susu kedelai tidak berlabel (33,33%) hasilnya positif, dengan rerata MPN 1100 APM/ml. Sedangkan, untuk 11 susu kedelai berlabel tidak ditemukan hasil positif pada

uji penduga. Perbedaan hasil ini dikarenakan susu kedelai berlabel disimpan di tempat yang tidak lembab, dikemas dalam wadah yang tertutup, tidak terkena paparan sinar matahari secara langsung dan tidak terkena paparan debu.

Di Jakarta Selatan, Rachmatiah *et al.*, (2013) melakukan beberapa pengujian terhadap empat sampel susu kedelai yang berasal dari produksi rumah tangga. Seluruh pengujian cemaran mikroba yang dilakukan menggunakan metode hitungan cawan dengan satuan koloni/ml. Hasil pengujian menunjukkan keempat sampel (100%) memiliki rerata nilai total bakteri, total koliform, dan total kapang yang tidak memenuhi syarat, secara berurutan sebesar $8,77 \times 10^8$ koloni/ml; $1,39 \times 10^5$ koloni/ml; $9,25 \times 10^7$ koloni/ml. Kemudian, sebanyak 3 sampel (75%) tercemar *Salmonella* dengan rerata jumlah koloni $7,75 \times 10^4$ koloni/ml; 2 sampel (50%) tercemar *Streptococcus* dengan rerata jumlah koloni $5,20 \times 10^4$ koloni/ml; dan 1 sampel (25%) tercemar *Staphylococcus* dengan jumlah koloni $4,0 \times 10^3$ koloni/ml.

Di Surakarta, telah dilakukan juga pengujian MPN koliform dan *Escherichia coli* terhadap sejumlah sampel susu kedelai yang dijual oleh beberapa penjual susu. Nugroho & Binugraheni (2016), menemukan 3 dari 5 sampel susu kedelai (60%) yang diuji memiliki rerata nilai MPN koliform 76,33 APM/ml. Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Murtiningtyas (2016) dan Ismail (2012) menemukan 7 dari 15 sampel (46,66%) yang diuji memiliki rerata nilai MPN *Escherichia coli* sebesar 386,86 APM/ml. Namun setelah dilakukan uji pelengkap untuk identifikasi bakteri *Escherichia coli*, ternyata jenis koliform yang mencemari bukan *Escherichia coli*.

Pengujian koliform dan *Escherichia coli* dengan metode MPN terhadap susu kedelai tidak berlabel juga dilakukan di Purwokerto, Surabaya, dan Banjarmasin. Manto & Hilal (2016) menemukan 4 dari 8 sampel susu kedelai (50%) yang dijual oleh empat pedagang di Pasar Karang Lewas, Purwokerto memiliki nilai MPN *Escherichia coli* yang melampaui syarat, dengan rerata 30,50 APM/ml. Di Surabaya, dilakukan pengujian MPN koliform pada 16 sampel susu kedelai yang dijual oleh empat PKL berbeda di wilayah Pogot. Hasilnya menunjukkan, rerata MPN koliform dari 10 sampel (62,50%) susu kedelai yang dijual oleh dua PKL tersebut, sebesar 110,4 APM/ml.

Sedangkan, rerata MPN koliform dari 6 sampel susu kedelai yang dijual oleh dua PKL lainnya telah memenuhi syarat (<20 APM/ml) (Nisaa *et al.*, 2020). Kemudian, di Banjarmasin juga dilakukan deteksi koliform dan *Escherichia coli* dengan metode MPN terhadap 9 sampel susu kedelai yang dijual di wilayah Kecamatan Banjarmasin Utara. Hasil yang didapatkan, sebanyak 8 sampel (88,89%) positif koliform dengan rerata 502,25 APM/ml. Sedangkan untuk pengujian MPN *Escherichia coli*, seluruh sampel (100%) yang diuji menunjukkan hasil yang tidak memenuhi syarat, dengan rerata sebesar 16,78 APM/ml (Syarifin *et al.*, 2015).

Penelitian total bakteri (ALT), koliform (MPN), dan total kapang (ALT) juga dilakukan oleh Santri *et al.*, (2015) pada 3 sampel susu kedelai tidak berlabel yang diperoleh dari beberapa penjual di wilayah Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Hasil menunjukkan ketiga sampel memiliki nilai ALT dan MPN koliform yang memenuhi persyaratan, namun ditemukan 2 sampel (66,67%) yang total kapangnya melampaui 50 koloni/ml, yaitu 60,50 koloni/ml. Menurutnya, hal ini disebabkan penggunaan kemasan dan kondisi penyimpanan sampel yang kurang baik.

Berdasarkan temuan data hasil penelusuran literatur penelitian terkait cemaran mikroorganisme susu kedelai pada Tabel 4., disimpulkan bahwa susu kedelai yang jumlah cemaran mikroorganismenya tidak sesuai standar lebih banyak dibandingkan susu kedelai yang jumlah cemarannya sesuai standar SNI 7388 : 2009 dan PerBPOM No 13 Tahun 2019.

3.2. Jenis Mikroorganisme Kontaminan Pada Susu Kedelai

Syarat dari SNI 7388 : 2009 juga mengatur tentang batasan dan jenis dari cemaran mikroorganisme di dalam produk susu kedelai. Bakteri *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, golongan Enterobacteriaceae dan kapang masih diperbolehkan ada, namun tetap memiliki batas maksimum jumlah cemarannya. Sedangkan, untuk bakteri *Salmonella sp* sama sekali tidak diperbolehkan ada dalam produk susu kedelai.

Data pada Tabel 5., menunjukkan bahwa ada beberapa spesies mikroorganisme perusak maupun patogen yang ditemukan dalam susu kedelai yang beredar di beberapa wilayah Indonesia, dimana keberadaannya telah dilarang dalam jumlah tertentu dan ada juga yang tidak diperbolehkan sama sekali.

Tabel 5. Jenis Mikroorganisme yang Mengkontaminasi Susu Kedelai

Daerah	Lokasi Penjualan	Mikroorganisme	Referensi
Medan	IRT, pasar tradisional	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella sp</i>	Sirait, 2009; Sianipar, 2009
Deli Serdang	Pasar tradisional	<i>Escherichia coli</i>	Nasution, 2018
Bukittinggi	Pasar tradisional	<i>Escherichia coli</i> , koliform	Hilmarni <i>et al.</i> , 2019
Padang	Pasar tradisional	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella sp</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus cereus</i>	Mustika <i>et al.</i> , 2019
Pekanbaru	Warung	<i>Escherichia coli</i> , koliform	Octaviani & Aria, 2018
Pringsewu	Pasar tradisional	koliform	Ramdhini, 2019
Bandar Lampung	Pasar tradisional, warung	<i>Klebsiella pneumonia</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Molita <i>et al.</i> , 2019
Tangerang	PKL	<i>Escherichia coli</i>	Hendriani & Budiarmo, 2020
Jakarta Selatan	Pasar tradisional, IRT	koliform, <i>Salmonella sp</i> , <i>Streptococcus sp</i> , <i>Staphylococcus sp</i>	Rachmatiah <i>et al.</i> , 2013
Surakarta	PKL, warung, pasar tradisional	koliform	Nugroho & Binugraheni, 2016; Ismail, 2012; Murtiningtyas, 2016
Purwokerto	Pasar tradisional	<i>Escherichia coli</i>	Manto & Hilal, 2016
Semarang	Pasar tradisional	<i>Salmonella typhi</i>	Mustika <i>et al.</i> , 2019
Jombang	Warung dan PKL	<i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus sp</i>	Alfiyah <i>et al.</i> , 2017

Surabaya	PKL	koliform	Nisaa <i>et al.</i> , 2020
Denpasar	Pasar tradisional	<i>Escherichia coli</i> , <i>Escherichia coli O157</i>	Paramasatiari <i>et al.</i> , 2018
Banjarmasin	PKL	<i>Escherichia coli</i> , koliform	Syarifin <i>et al.</i> , 2015
Samarinda	PKL	<i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Klebsiella ozaenae</i>	Kamil <i>et al.</i> , 2017
Kendari	IRT	<i>Aspergillus parasiticus</i> , <i>Aspergillus flavus</i>	Rais <i>et al.</i> , 2019
Makassar	PKL	<i>Escherichia coli</i> , koliform	Patandung & Ibrahim, 2018

Pada Tabel 5., dapat diketahui bahwa sampel susu kedelai yang diambil dari beberapa lokasi penjualan, seperti pasar tradisional, warung, industri rumah tangga (IRT), swalayan, dan PKL yang berada di Kota Bukittinggi, Pekanbaru, Pringsewu, Jakarta Selatan, Surakarta, Surabaya, Banjarmasin Utara, dan Makassar; telah tercemar oleh bakteri koliform yang jumlahnya tidak memenuhi syarat (Tabel 4), sehingga tidak layak untuk dikonsumsi.

Koliform merupakan sekelompok spesies bakteri yang berasal dari beberapa genus, seperti *Escherichia* (beberapa spesies), *Citrobacter*, *Enterobacter*, dan *Klebsiella*, yang keberadaannya mengindikasikan kualitas sanitasi dalam pengolahan makanan (Ray, 2004). Koliform termasuk kelompok bakteri gram negatif bentuk batang yang tidak berspora, kebanyakan bersifat fakultatif anaerob, mampu memfermentasi laktosa yang menghasilkan asam dan gas pada media pertumbuhannya, serta mampu menghasilkan toksin. Sumber kontaminasi koliform kemungkinan berasal dari lingkungan yang terkontaminasi, peralatan dan bahan baku yang kotor, hewan, maupun manusia sebagai *carrier* (Hilmarni *et al.*, 2019; Brooks *et al.*, 2005).

Metode yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan koliform dari beberapa jurnal penelitian adalah MPN dengan dua tahap, tahap presumtif dan konfirmatif. Beberapa penelitian yang hanya mendeteksi keberadaan koliform, pada tahap presumtifnya menggunakan *Lactose Broth* (LB), dan tahap konfirmatifnya menggunakan media *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB) yang diinkubasi pada suhu 35-37°C (Nisaa *et*

al., 2020; Hilmarni *et al.*, 2019; Nugroho & Binugraheni, 2016; Murtiningtyas, 2016; Syarifin *et al.*, 2015; Ismail, 2012). Selain LB, ada juga yang menggunakan media *MacConkey Broth* (MCB) pada tahap presumtif (Ramdhini, 2019). Sedangkan Rachmatiah *et al.*, (2013) menggunakan metode yang berbeda, yakni hitungan cawan untuk langsung menghitung dan mendeteksi keberadaan koliform pada media agar *MacConkey*. Namun menurut Adams & Moss (2008), *MacConkey Agar* kurang selektif karena kelompok bakteri yang tidak termasuk koliform, seperti bakteri gram positif (*Enterococcus* dan *Staphylococcus*) masih bisa tumbuh membentuk koloni berwarna merah muda pada media. Sehingga, koloni bakteri yang tumbuh pada media tersebut masih perlu diidentifikasi lebih lanjut.

Keberadaan bakteri *Escherichia coli* juga ditemukan pada sampel susu kedelai yang dijual oleh beberapa IRT, pasar tradisional, warung, PKL, dan swalayan yang ada di daerah Medan, Deli Serdang, Bukittinggi, Padang, Pekanbaru, Tangerang, Purwokerto, Jombang, Denpasar, Banjarmasin, Manado, dan Makassar (Tabel 4). Beberapa strain patogen *Escherichia coli*, seperti *Enterotoxigenic Escherichia coli* (ETEC), *Enteroinvasive Escherichia coli* (EIEC), *Enteropathogenic Escherichia coli* (EPEC), dan *Enterohaemorrhagic Escherichia coli* (EHEC); dapat menyebabkan penyakit peritonitis (peradangan lapisan tipis dinding dalam perut), gastroenteritis sedang dan parah, serta diare berat karena endotoksin yang dihasilkan (BPOM, 2012, Melliawati, 2009).

EHEC atau *E. coli* O157:H7, seperti yang diidentifikasi oleh Paramasatiari *et al.*, (2018) dalam susu kedelai yang dijual oleh beberapa pasar tradisional di Denpasar ini dapat menyebabkan penyakit pada balita, lansia, dan orang-orang yang memiliki kekebalan tubuh rendah dengan dosis infeksi 10^1 - 10^2 sel/g dan masa inkubasi 1-2 hari (BPOM, 2012; Adams & Moss, 2008). Bakteri ini diketahui sebagai agen penyebab tersering (prevalensi 20%) pada kasus keracunan pangan di Indonesia (Arisanti *et al.*, 2018).

Metode dan media yang digunakan untuk deteksi *Escherichia coli* pada susu kedelai ini bervariasi. Sirait (2009), Nasution (2018), dan Octaviani & Aria (2018) hanya melakukan pengujian MPN sampai tahap konfirmatif dengan media BGLB yang

diinkubasi pada dua seri suhu, yaitu suhu 37°C (koliform) dan suhu 44°C (*Escherichia coli*) selama 24-48 jam. Penggunaan suhu berbeda digunakan untuk membedakan *Escherichia coli* dengan koliform non fekal, sebab bakteri ini tergolong koliform fekal yang mampu tumbuh hingga suhu 50°C (Adams & Moss, 2008). Syarifin *et al.*, (2015) juga menggunakan metode yang sama, namun setelah diinkubasi ditambahkan beberapa tetes reagen Kovac pada media *Tryptone Water*. Jika positif, akan terbentuk cincin merah, sebab *Escherichia coli* mampu memproduksi indol dari triptofan yang digunakan sebagai pembeda dari bakteri koliform lainnya (Ray, 2004).

Sedangkan, Hendriani & Budiarmo (2020), Hilmarni *et al.*, (2019), Paramasatiari *et al.*, (2018), Patandung & Ibrahim (2018), dan Alfiah *et al.*, (2017), melakukan pengujian MPN hingga tahap identifikasi *Escherichia coli* menggunakan media *Eosin Methylene Blue Agar* (EMBA) dan *MacConkey*. Koloni yang diduga *Escherichia coli* akan berwarna kilap logam dan bintik biru kehijauan pada media EMBA dan berwarna merah muda pada media *MacConkey* (Hilmarni *et al.*, 2019; Patandung & Ibrahim, 2018). Namun kemudian untuk memastikan koloni tersebut adalah *Escherichia coli*, dilakukan juga uji lanjutan seperti pewarnaan gram, inokulasi pada media *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), serta uji biokimia (IMViC) (Hendriani *et al.*, 2020; Paramasatiari *et al.*, 2018; Alfiah *et al.*, 2017; Habullah *et al.*, 2015). Media TSIA yang ditumbuhi *Escherichia coli* akan berubah warna menjadi kuning seluruhnya, karena bakteri tersebut mampu memfermentasi karbohidrat, serta menghasilkan gas (Barrow & Feltham, 1993).

Golongan bakteri gram negatif lain, seperti *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, dan *Klebsiella ozaeane* juga ditemukan mencemari susu kedelai tidak berlabel yang dijual di beberapa pasar tradisional, warung, dan PKL di Kota Bandar Lampung dan Samarinda (Molita *et al.*, 2019; Kamil *et al.*, 2017). *Pseudomonas aeruginosa* termasuk bakteri aerob Gram negatif yang banyak ditemukan di dalam tanah, air, tumbuhan (buah dan sayur), dan binatang. *Pseudomonas aeruginosa* bersifat invasif dan toksigenik, karena mampu menghasilkan eksotoksin yang dapat menginfeksi individu melalui makanan yang terkontaminasi dan menyebabkan diare (Bhargava, 2020; Brooks *et al.*, 2005). Namun *Pseudomonas aeruginosa* lebih sering menyebabkan kerusakan pada susu yang ditandai dengan bau tengik, tekstur mengental (berlendir),

pahit, asam (*fruity*); disebabkan adanya metabolisme senyawa berprotein dan enzim oksidase lipid ekstraseluler yang dihasilkan (Grumezescu & Holban, 2018; Modi, 2009).

Genus *Klebsiella* merupakan bakteri oportunistis yang umum ditemukan di saluran pernafasan dan pencernaan manusia, air, tanah, dan tumbuh-tumbuhan. Bakteri ini mampu tumbuh dengan baik pada makanan, seperti susu kedelai karena memiliki $\text{pH} \geq 4$ dan $a_w \geq 0,92$ (Blackburn, 2006; Ray, 2005; Bai *et al.*, 1998). *Klebsiella pneumoniae* sering ditemukan di lingkungan, limbah, dan air sehingga dapat mengkontaminasi makanan dari berbagai titik pada rantai makanan. Bakteri ini dapat memproduksi enterotoksin tahan panas dan menyebabkan penyakit *traveller's diarrhea* maupun keracunan pangan lokal, yang ditandai dengan diare akut (Son *et al.*, 2019; Grumezescu & Holban, 2018; Jay *et al.*, 2008).

Bakteri genus *Proteus* yang termasuk golongan bakteri perusak makanan dengan cara memetabolisme asam amino, ditemukan pada susu kedelai yang dijual di beberapa warung dan PKL di daerah Jombang (Alfiyah *et al.*, 2017; Lampel, 2012). Sumber kontaminasi bakteri ini bisa berasal dari tanah, air, tumbuh-tumbuhan/sayuran, peralatan makan, saluran pencernaan, penjamah makanan, maupun kulit hewan (Jay *et al.*, 2005). *Proteus sp* diketahui juga dapat menyebabkan keracunan pangan dengan gejala mual, muntah, sakit perut, dan pusing; namun kasus penyakit bawaan makanan akibat bakteri ini jarang terjadi (Gong *et al.*, 2019; Lampel, 2012). Bahaya *Proteus sp* terhadap kesehatan lainnya dikemukakan oleh Ghosh & Barale (2015), yang menemukan bahwa *Proteus vulgaris* dapat memproduksi eksotoksin berbahaya setelah 6 jam inkubasi di suhu 37°C pada pH 6. Eksotoksin menunjukkan aktivitas kaseinase, lesitinase, dan hemolisin. Lesitinase merupakan enzim yang mampu melisiskan sel darah merah, sel darah putih, dan trombosit. Sedangkan, hemolisin merupakan enzim yang mampu merusak membran sel dan melisiskan sel darah merah (Shetty *et al.*, 2009).

Kelompok bakteri patogen penyebab *foodborne disease*, seperti *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, dan *Bacillus* juga cukup banyak ditemukan pada susu kedelai yang dijual di beberapa pasar tradisional, dan IRT di Medan, Padang, Jakarta

Selatan, dan Semarang (Mustika *et al.*, 2019; Mustika *et al.*, 2019; Rachmatiah *et al.*, 2013; Sianipar, 2009). *Salmonella typhi* dan *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri yang berasal dari manusia dan biasanya akan mencemari bahan makanan selama proses produksi, melalui limbah misalnya, atau selama penanganan/pengolahan akibat buruknya kebersihan diri seorang penjamah makanan (sumber utama pencemaran). Selain itu, dapat juga dikarenakan proses pemasakan susu kedelai yang kurang tepat (Lund *et al.*, 2000).

Salmonella dikenal sebagai penyebab paling sering insiden wabah dan kematian akibat infeksi bawaan makanan, dikarenakan tingginya jumlah bakteri di lingkungan makanan, kemampuan patogen yang lebih besar, dan kemampuan berkembang yang lebih cepat dalam kondisi buruk (Ray, 2005). Penyakit menular dalam bentuk gastroenteritis akut yang ditularkan melalui makanan, air serta vektor (lalar rumah) oleh bakteri *Salmonella* disebut salmonellosis, yang dapat berakibat fatal bagi orang dengan kekebalan rendah, bayi, dan orang lanjut usia (Grumezescu & Holban, 2018; Ray, 2005). Patogenesis bakteri ini dimulai dari perkembangbiakan bakteri di usus kecil dan besar, yang kemudian akan merusak sel epitel dengan masa inkubasi 16-48 jam. Gejala yang ditimbulkan berupa demam, menggigil, mual, muntah, kram perut, diare yang seringkali disertai darah dan lender. Dosis infeksi yang dapat menyebabkan salmonellosis yaitu 10^5 - 10^9 sel/g (Shetty *et al.*, 2009). Sehingga, susu kedelai yang dijual oleh beberapa pasar tradisional di Padang dan Jakarta Selatan (Mustika *et al.*, 2019 & Rachmatiah *et al.*, 2013) masih tergolong aman untuk dikonsumsi, karena jumlah *Salmonella* kurang dari 10^5 sel/g (Tabel 4).

Staphylococcus aureus dapat memproduksi enterotoksin tahan panas di dalam makanan yang telah terkontaminasi; sehingga dapat menyebabkan keracunan pangan dengan gejala berupa mual dan muntah parah secara tiba-tiba, pusing dan berkeringat, kram perut, terkadang juga disertai diare ringan dan demam. Untuk dapat menimbulkan gejala keracunan makanan, hanya dibutuhkan dosis toksin kurang dari 1 μ g dengan populasi bakteri lebih dari 10^5 /g (Grumezescu & Holban, 2018; Shetty *et al.*, 2009; Honeyman *et al.*, 2001). Jadi, dapat disimpulkan bahwa susu kedelai yang dijual oleh beberapa pasar tradisional di Padang dan Jakarta Selatan (Mustika *et al.*, 2019 & Rachmatiah *et al.*,

2013) masih tergolong aman untuk dikonsumsi dan tidak menimbulkan bahaya terhadap kesehatan, karena jumlah *Staphylococcus* kurang dari 10^5 sel/g (Tabel 4).

Kelompok bakteri patogen lainnya adalah *Bacillus* dan *Streptococcus*, yang termasuk bakteri termotoleran karena memiliki spora dan ketahanan panas bawaan, sehingga masih dapat bertahan meski sudah melalui proses pasteurisasi (Modi, 2009). *Bacillus cereus* diketahui dapat menghasilkan enterotoksin yang menyebabkan sindrom diare dan muntah, apabila jumlah bakteri mencapai 10^5 - 10^8 sel/g. Hal ini berarti susu kedelai yang dijual di beberapa pasar tradisional di Padang tidak aman untuk dikonsumsi karena jumlah bakteri *Bacillus cereus* $>10^5$ sel/g (Tabel 4), yang dapat menyebabkan keracunan pangan (Mustika *et al.*, 2019). Beberapa gejala yang ditimbulkan, seperti mual, malaise (kelelahan), kram perut, pusing, muntah, demam, adanya keinginan buang air besar terus-menerus (tenesmus), serta feses yang berair (Son *et al.*, 2019; Adams & Moss, 2008). Beberapa kondisi yang dapat menyebabkan kontaminasi *Bacillus cereus*, seperti penggunaan suhu dingin yang kurang tepat/tidak terkontrol ($>7^\circ\text{C}$); area dapur yang sangat kecil, kotor, dan berdebu; serta kurangnya peralatan dapur sehingga berpeluang menyebabkan kontaminasi silang (Son *et al.*, 2019; Morris & Potter, 2013).

Streptococcus merupakan kelompok patogen oportunistik yang dapat ditemukan di kulit; selaput lendir mulut, saluran pernapasan, pencernaan, dan saluran urinaria manusia dan hewan; serta di beberapa tanaman, tanah, dan sumber air yang kotor (Lampel, 2012). Spesies *Streptococcus* yang diketahui dapat menyebabkan penyakit bawaan makanan adalah *Streptococcus pyogenes* dan *Streptococcus dysgalactiae* subsp. *Equisimilis*. *Streptococcus pyogenes* dapat menyebabkan radang tenggorokan (faringitis) dan demam scarlet (ruam merah pada kulit) yang disebabkan produksi racun *streptococcal pyrogenic exotoxins* (SPEs), dengan dosis infeksi kemungkinan $< 10^3$ sel/g (Lampel, 2012; Smith *et al.*, 2010). Sedangkan, dosis infeksi *Streptococcus dysgalactiae* subsp. *Equisimilis* untuk dapat menyebabkan keracunan pangan adalah sebanyak 10^4 sel/g di dalam makanan (Yamaguchi *et al.*, 2018). Apabila spesies yang mengontaminasi susu kedelai di beberapa IRT dan pasar tradisional di Jakarta (Rachmatiah *et al.*, 2013) adalah *Streptococcus pyogenes* dan *Streptococcus*

dysgalactiae subsp. *Equisimilis.*, maka hal ini akan berbahaya bagi kesehatan konsumen karena jumlah bakteri *Streptococcus* $>10^4$ sel/g (Tabel 4).

Selain kelompok bakteri, penelitian yang dilakukan Rais *et al.*, (2019) menemukan bahwa kapang *Aspergillus parasiticus* dan *Aspergillus flavus* mengkontaminasi 8 susu kedelai produksi industri rumah tangga yang dijual melalui kios-kios kecil di pinggir jalan daerah Kendari. Kedua spesies ini merupakan spesies kapang yang paling sering ditemukan sebagai penghasil aflatoksin dalam rantai makanan secara global (Pitt & Hocking, 2009). Namun dalam penelitiannya, Rais *et al.*, (2019) tidak dapat mendeteksi keberadaan aflatoksin dari kapang tersebut, karena kandungan mineral (magnesium dan seng) dalam media *Potato Dextrose Agar* (PDA) yang tidak memadai untuk produksi aflatoksin secara optimum, adanya ketidaktepatan suhu inkubasi, serta tidak dilakukannya pengukuran kelembaban relatif. Sebab, *Aspergillus sp* mampu tumbuh di kisaran suhu 12-48°C, dengan suhu optimum pertumbuhan 37°C, serta menghasilkan aflatoksin pada kisaran suhu 13-42°C dengan kelembaban udara 80-85%. Semakin tinggi suhunya, maka patogenisme kapang tersebut menjadi semakin tinggi (Coppock *et al.*, 2018; Hedayati *et al.*, 2007).

Kontaminasi *Aspergillus flavus* dan *Aspergillus parasiticus* dalam makanan dapat berbahaya bagi kesehatan konsumen. Sebab, kedua spesies ini dapat menyebabkan aflatoksikosis dan aspergillosis. Aflatoksikosis terjadi apabila aflatoksin (10-120 µg/kg berat badan) yang dihasilkan kedua kapang ini (B1, B2, G1, G2) terakumulasi melalui rantai makanan lalu masuk ke dalam saluran pencernaan, dan dengan cepat terserap ke dalam aliran darah (Coppock *et al.*, 2018; Patel *et al.*, 2015). Aflatoksikosis akan menyebabkan hepatitis, gangguan kekebalan tubuh, gangguan koagulasi darah, dan malnutrisi (Lampel, 2012). Sedangkan, Aspergillosis merupakan penyakit pada manusia dan hewan yang disebabkan oleh keberadaan spora *Aspergillus fumigatus* atau *Aspergillus flavus* di udara dan di dalam makanan (mikotoksikosis) (Bennett *et al.*, 2010). Penyakit ini membuat penderita mengalami reaksi alergi, adanya pembentukan serat jamur di paru-paru, hingga infeksi paru yang dapat menyebar ke jantung, otak, ginjal, dan kulit (Hasanah, 2016).

Berdasarkan uraian data pada Tabel 5., temuan bakteri yang mengontaminasi susu kedelai di beberapa daerah di Indonesia adalah *Escherichia coli* (61,90%); koliform (42,85%); *Salmonella sp* (19,05%); *Staphylococcus spp* dan *Klebsiella spp* (9,52%); *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus sp*, *Proteus sp*, *Aspergillus spp*, dan *Bacillus cereus* (4,76%). Sebagian besar susu kedelai yang terkontaminasi mikroorganisme berasal dari produksi rumah tangga yang biasanya proses pengolahannya tidak higienis dan masih dilakukan secara tradisional, sehingga rentan terhadap pencemaran mikroflora yang berasal dari bahan mentah maupun peralatan (Ramdhini, 2019; Stanley *et al.*, 2014).

