BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

2.1.1 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah ringkasan penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan topik Penyakit Mulut dan Kuku (PMK) dan Lumpy Skin Disease (LSD) pada sapi:

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu tentang PMK dan LSD pada Sapi

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil Utama	Kesimpulan
1	Grubman dan Baxt (2004)	Foot-and-Mouth Disease	Literature review	Mengidentifikasi karakteristik virus FMD, mekanisme replikasi, dan strategi pencegahan	Virus FMD memiliki 7 serotipe utama tanpa cross-protection, vaksinasi harus sesuai serotipe lokal
2	Alexandersen et al. (2003)	The Pathogenesis and Diagnosis of Foot-and-Mouth Disease	Studi eksperimental dan review	Menjelaskan patogenesis lengkap PMK dari infeksi hingga carrier state, durasi virus di lingkungan	50% sapi yang sembuh menjadi carrier persisten selama 2-3 tahun, menjadi sumber infeksi tersembunyi
3	Tuppurainen dan Oura (2012)	Review: Lumpy Skin Disease: An Emerging Threat to Europe, the Middle East	Systematic review	Menganalisis penyebaran global LSD, faktor risiko, dan strategi kontrol	LSD menyebar melalui vektor artropoda, attack rate 5-85%,

		and Asia			mortalitas <5% namun morbiditas tinggi
4	Donaldson et al. (2001)	Predicting the Spread of Foot and Mouth Disease by Airborne Virus	Modeling epidemiologi	Model penyebaran airborne virus FMD hingga 60 km di daratan dan >250 km di laut	Transmisi airborne merupakan rute penting penyebaran PMK jarak jauh
5	Arzt et al. (2011)	The Pathogenesis of Foot-and-Mouth Disease in Cattle: Investigation of Early Clinical and Virological Changes	Studi klinis prospektif	Mengamati perkembangan gejala klinis dan viremia pada sapi terinfeksi FMD	Virus shedding dimulai 24-48 jam sebelum gejala klinis, peak pada hari 3-7
6	Stenfeldt et al. (2016)	The Pathogenesis of Foot-and-Mouth Disease in Pigs	Studi patogenesis	Meneliti mekanisme persistensi virus dan carrier state	Virus persisten di orofaring tanpa gejala klinis hingga 3 tahun pasca infeksi
7	Babiuk et al. (2008)	Capripoxviruses: An Emerging Worldwide Threat to Livestock	Review komprehensif	Mengkaji biologi virus, epidemiologi, dan kontrol capripoxvirus termasuk LSDV	LSDV memiliki host specificity tinggi pada sapi, transmisi predominan melalui vektor
8	Gari et al. (2011)	Epidemiological Aspects and Financial Impact of Lumpy Skin Disease in	Cross-sectional study, n=384 peternakan	Prevalensi LSD 36,7%, kerugian ekonomi USD 1,45 juta per outbreak	LSD menyebabkan kerugian signifikan dari penurunan

		Ethiopia			produksi susu, kematian, dan biaya pengobatan
9	Adjid dan Damayanti (2020)	Penyakit Mulut dan Kuku di Indonesia: Situasi Terkini dan Antisipasi	Analisis deskriptif	Mengevaluasi kesiapan Indonesia menghadapi ancaman PMK, identifikasi gap dalam surveilans	Indonesia memerlukan penguatan kapasitas diagnostik, surveilans aktif, dan stockpile vaksin
10	Tuppurainen et al. (2017)	Review: Lumpy Skin Disease: An Emerging Threat to Europe	Systematic review	Menganalisis ekspansi geografis LSD dari Afrika ke Eropa dan Asia sejak 2012	Perubahan iklim dan pergerakan ternak ilegal berkontribusi pada penyebaran LSD
11	Chihota et al. (2001)	Mechanical Transmission of Lumpy Skin Disease Virus by Stomoxys calcitrans	Studi eksperimental	Membuktikan Stomoxys calcitrans dapat mentransmisikan LSDV secara mekanis	Stable fly merupakan vektor mekanis penting LSD, virus bertahan 2-3 hari pada proboscis
12	Gloster et al. (2010)	Airborne Spread of Foot-and-Mouth Disease - Model Intercomparison	Modeling & simulasi	Membandingkan 5 model dispersi atmosferik virus FMD	Virus FMD dapat tersebar >60 km di daratan dalam kondisi meteorologi kondusif
13	Belsham (2020)	Towards Improvements in Foot-and-Mouth Disease Vaccine	Review teknologi vaksin	Mengevaluasi perkembangan vaksin FMD generasi baru (sub-unit, VLP,	Vaksin konvensional efektif namun durasi proteksi

		Performance		DNA vaccine)	singkat, vaksin baru menjanjikan proteksi lebih lama
14	Lubinga et al. (2015)	Evidence of Lumpy Skin Disease Virus Over-Wintering by Transstadial Persistence in Amblyomma hebraeum	Studi laboratorium	Membuktikan LSDV dapat bertahan dalam caplak hingga 5 bulan secara trans-stadial	Caplak berperan sebagai reservoir virus, memungkinkan over-wintering dan re-emergence
15	Rushton dan Knight (2001)	Economic Impacts of Animal Diseases	Economic analysis	Mengembangkan framework analisis dampak ekonomi penyakit hewan menular	Kerugian ekonomi PMK mencakup direct losses (mortality, morbidity) dan indirect losses (trade restriction, market closure)

Tabel 2.2 Penelitian tentang Dampak Ekonomi dan Pengendalian PMK dan LSD

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Lokasi Studi	Metode	Hasil Utama	Relevansi dengan Penelitian
1	Knight-Jones dan Rushton (2013)	The Economic Impacts of Foot and Mouth Disease	Global review	Meta-analisis ekonomi	Kerugian global FMD USD 6,5-21 miliar/tahun, 75% dari endemic countries	Memberikan framework perhitungan kerugian ekonomi PMK

2	Kitching et al. (2005)	FMD: Current Status and Issues	Review global	Literature review	Eradikasi global PMK memerlukan investasi USD 22-33 miliar selama 15 tahun	Menunjukkan kompleksitas eradikasi PMK
3	Gunn et al. (2008)	Responses to Outbreaks of Foot-and-Mouth Disease in UK 2001	UK (outbreak 2001)	Case study retrospektif	6,5 juta ternak diafkir, kerugian ekonomi GBP 8 miliar	Pelajaran penting tentang respons outbreak dan stamping out policy
4	Sumption et al. (2008)	Foot-and-Mouth Disease: Global Status and Economic Impacts	Multi-country analysis	Descriptive analysis	77% populasi ternak global berada di area endemis atau berisiko PMK	Menekankan pentingnya global cooperation dalam kontrol PMK
5	Sprygin et al. (2018)	Transmission of Lumpy Skin Disease Virus: A Short Review	Russia (outbreak 2015-2017)	Case study & review	Outbreak LSD di Russia menyebabkan kerugian USD 150 juta dalam 3 tahun	Menunjukkan dampak ekonomi signifikan LSD di negara previously free
6	Agiannitaki et al. (2017)	Lumpy Skin Disease Outbreaks in Greece During 2015-2016	Greece	Descriptive epidemiologi, n=141 outbreak	Attack rate 4,9-23,4%, penurunan produksi susu 20-50%, cost per farm €3.200	Data kuantitatif dampak LSD pada produksi susu
7	Tasioudi et al. (2016)	Emergency Vaccination of Cattle	Balkan countries	Field trial, n=2,8 juta sapi	Vaksinasi emergency efektif	Memberikan evidensi

		Against Lumpy Skin Disease			menghentikan outbreak, coverage >80% diperlukan	efektivitas vaksinasi emergency LSD
8	Paton et al. (2005)	DIVA (Differentiating Infected from Vaccinated Animals) Vaccines for FMD	Review teknologi	Literature review	NSP-ELISA dapat membedakan infected vs vaccinated animals dengan sensitivitas 98%	Penting untuk surveilans dan sertifikasi perdagangan
9	Balai Veteriner Lampung (2022)	Karakterisasi Virus PMK Outbreak Indonesia 2022	Indonesia (Jawa, Sumatra)	Molecular characterization	Serotipe O, topotype ME-SA (Middle East-South Asia), closely related to strain Malaysia 2015	Memberikan informasi serotipe dan asal introduksi virus PMK di Indonesia
10	Brito et al. (2017)	Review of the Global Distribution of FMD Serotypes 2010-2016	Global surveillance data	Descriptive analysis	Serotipe O paling dominan (77% kasus), diikuti A (20%), Asia-1 (3%)	Menunjukkan distribusi global serotipe FMD
11	Kementerian Pertanian RI (2022)	Evaluasi Outbreak PMK dan LSD di Indonesia 2022	Indonesia nasional	Surveillance report	Per Desember 2022: PMK (272 kab/kota, 435.715 kasus); LSD (12 provinsi, 3.848 kasus)	Data official outbreak PMK dan LSD di Indonesia
12	Hamoonga et al. (2014)	Risk Factors for LSD Outbreaks in Zambia	Zambia	Case-control study, n=180 farms	Faktor risiko signifikan: proximity to water (OR 3,2), vector	Identifikasi faktor risiko LSD untuk

					density (OR 2,8), no vaccination (OR 5,1)	targeted interventi on
13	Pérez-Martín et al. (2012)	Bovine Type I Interferon Inhibition of FMD Virus Replication	In vitro study	Laboratory experiment	Type I interferon dapat menghambat replikasi FMD virus, potensi antiviral therapy	Membuka peluang terapi antiviral alternatif untuk PMK
14	Sudaris man (2022)	Dampak Ekonomi PMK terhadap Peternak Sapi Perah di Jawa Timur	Jawa Timur, Indonesi a	Survey cross-sectional, n=120 peternak	Penurunan produksi susu 54,6%, penurunan pendapatan Rp 2,3 juta/bulan, 18% peternak mempertimba ngkan exit	Menunju kkan dampak mikro-ekonomi PMK terhadap peternak rakyat
15	Ben-Gera et al. (2015)	Compariso n of the Efficacy of Neethling Lumpy Skin Disease Vaccine	Israel	Randomize d control trial, n=1.200 sapi	Vaksin Neethling memberikan proteksi 97% dengan antibody response hingga 3 tahun	Memberi kan evidensi efektivita s dan durasi proteksi vaksin LSD

2.2 Penyakit Mulut dan Kuku (PMK)

2.2.1 Definisi dan Etiologi PMK

Penyakit Mulut dan Kuku (PMK) atau Foot and Mouth Disease (FMD) merupakan penyakit viral akut yang sangat menular dan menyerang hewan berkuku belah (Artiodactyla), termasuk sapi, kerbau, domba, kambing, babi, dan ruminansia liar. Penyakit ini disebabkan oleh virus dari genus Aphthovirus dalam famili Picornaviridae (MacLachlan dan Dubovi, 2017). Virus FMD merupakan

virus RNA untai tunggal berukuran 25-30 nanometer dengan kapsid ikosahedral yang sangat stabil terhadap kondisi lingkungan ekstrem (Grubman dan Baxt, 2004).

Menurut Carter dan Saunders (2013), virus FMD memiliki tujuh serotipe utama yaitu O, A, C, SAT-1, SAT-2, SAT-3, dan Asia-1, dengan lebih dari 60 subtipe yang berbeda secara antigen. Variasi antigen yang tinggi ini menyebabkan tidak adanya cross-protection antar serotipe, sehingga vaksinasi harus disesuaikan dengan serotipe yang beredar di suatu wilayah. Di Indonesia, serotipe yang paling dominan adalah serotipe O dan A, dengan serotipe O menjadi penyebab utama outbreak tahun 2022 (Balai Veteriner Lampung, 2022).

Karakteristik unik virus FMD adalah ketahanannya yang luar biasa terhadap berbagai kondisi lingkungan. Virus dapat bertahan hidup pada pH 6-9, tetap infektif dalam susu dan produk susu selama beberapa hari, serta dapat bertahan dalam daging beku hingga beberapa bulan (Alexandersen et al., 2003). Namun, virus sensitif terhadap pH ekstrem (<6 atau >9), suhu tinggi (inaktif pada 50°C selama 30 menit), dan desinfektan berbasis asam atau basa kuat seperti sodium hidroksida, asam sitrat, dan sodium karbonat (OIE, 2021).

2.2.2 Epidemiologi dan Transmisi PMK

Epidemiologi PMK sangat kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk kepadatan populasi ternak, sistem pemeliharaan, pergerakan ternak, dan kondisi lingkungan. Donaldson et al. (2001) menjelaskan bahwa virus FMD dapat ditransmisikan melalui berbagai rute: (1) kontak langsung dengan hewan terinfeksi melalui sekresi dan ekskresi (saliva, susu, semen, urin, feses), (2) kontak tidak langsung melalui fomites (pakan, air, peralatan, kendaraan, pakaian), (3) transmisi airborne terutama pada kondisi kelembaban tinggi dan suhu rendah, dan (4) produk hewan yang terkontaminasi (daging, susu, kulit).

Periode inkubasi PMK berkisar antara 2-14 hari dengan rata-rata 3-8 hari, tergantung pada dosis infeksi, rute paparan, dan spesies hewan (Arzt et al., 2011). Sapi merupakan spesies yang paling rentan dengan dosis infektif 50% (ID50) yang sangat rendah, hanya memerlukan 10-100 partikel virus untuk menyebabkan infeksi melalui rute aerosol (Alexandersen et al., 2003). Periode penularan dimulai dari 24-48 jam sebelum munculnya gejala klinis dan berlanjut selama fase akut penyakit, dengan peak shedding virus terjadi pada hari ke-3 hingga ke-7 setelah onset gejala (Stenfeldt et al., 2016).

Aspek paling mengkhawatirkan dari epidemiologi PMK adalah kemampuan transmisi airborne jarak jauh. Gloster et al. (2010) melaporkan bahwa dalam kondisi meteorologi yang kondusif (kelembaban tinggi, suhu rendah, kecepatan

angin sedang), virus dapat tersebar hingga 60 km di daratan dan lebih dari 250 km di atas permukaan air. Fenomena ini menjelaskan mengapa outbreak PMK dapat menyebar dengan sangat cepat ke wilayah yang tidak memiliki kontak langsung dengan sumber infeksi. Syamsudin (2001) mencatat bahwa virus FMD dapat tetap viabel di atmosfer hingga 14 hari, memberikan waktu yang cukup untuk penyebaran jarak jauh.

Faktor risiko utama penyebaran PMK di Indonesia meliputi: (1) densitas populasi ternak yang tinggi terutama di sentra produksi seperti Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat, (2) pergerakan ternak yang intensif untuk perdagangan dan pemotongan, (3) sistem pemeliharaan tradisional dengan biosecurity minimal, (4) pencampuran berbagai spesies ternak dalam satu area, (5) penggunaan peralatan dan kendaraan bersama antar peternakan, dan (6) keterbatasan kapasitas laboratorium diagnostik dan surveilans (Adjid dan Damayanti, 2020).

2.2.3 Manifestasi Klinis PMK pada Sapi

Manifestasi klinis PMK pada sapi sangat khas dan umumnya mudah dikenali oleh peternak berpengalaman. Perkembangan penyakit dapat dibagi menjadi beberapa fase (Grubman dan Baxt, 2004):

1. **Fase Prodromal (24-48 jam pertama):** Ditandai dengan demam tinggi mendadak mencapai 40-41°C, anorexia, depresi, dan penurunan drastis produksi susu pada sapi perah. Hewan tampak lesu, enggan bergerak, dan menunjukkan tanda-tanda tidak nyaman (Arzt et al., 2011).
2. **Fase Vesikular (hari ke-2 hingga ke-5):** Merupakan fase patognomonik PMK dengan pembentukan vesikel atau lepuh berisi cairan jernih pada mukosa mulut, lidah, gusi, palatum, nostril, dan kulit band koroner serta ruang interdigital kaki. Pada sapi perah, vesikel juga terbentuk pada puting susu. Vesikel berukuran 2-10 mm dan dapat bergabung membentuk bula besar (Belsham, 2020). Hewan mengalami hipersalivasi berlebihan dengan air liur yang kental dan berbusa, serta menunjukkan tanda nyeri saat makan atau berjalan.
3. **Fase Ruptur dan Erosi (hari ke-3 hingga ke-7):** Vesikel pecah meninggalkan erosi atau ulkus yang sangat nyeri dengan tepi merah dan dasar kekuningan. Pada fase ini, hewan mengalami penurunan konsumsi pakan dan air yang drastis akibat nyeri hebat di mulut, serta kesulitan berjalan karena lesi di kaki. Penurunan bobot badan dan produksi susu mencapai titik terendah pada fase ini (Kitching et al., 2005).
4. **Fase Penyembuhan (minggu ke-2 hingga ke-4):** Erosi mulai mengalami epitelisasi dan penyembuhan bertahap. Namun, komplikasi dapat terjadi termasuk infeksi sekunder bakterial (Fusobacterium

necrophorum, Arcanobacterium pyogenes), miokarditis terutama pada pedet dengan angka mortalitas tinggi, mastitis kronis akibat kerusakan jaringan kelenjar susu, dan laminitis kronis yang menyebabkan deformitas kuku permanen (Alexandersen et al., 2003).

Severity penyakit bervariasi tergantung beberapa faktor. Pedet dan sapi muda umumnya menunjukkan gejala lebih berat dengan angka mortalitas 20-50% akibat miokarditis viral akut (sudden death), sementara sapi dewasa memiliki mortalitas rendah <5% tetapi morbiditas mencapai 100% dalam kelompok terinfeksi (Grubman dan Baxt, 2004). Sapi perah pada puncak laktasi mengalami penurunan produksi susu paling drastis mencapai 50-90%, dengan pemulihan produksi yang tidak sempurna bahkan setelah kesembuhan klinis (Balai Penelitian Veteriner, 2000). Strain virus yang berbeda juga menunjukkan virulensi bervariasi, dengan strain Asia-1 dan O cenderung menyebabkan gejala lebih berat dibanding strain C (OIE, 2021).

2.2.4 Patogenesis dan Patologi PMK

Patogenesis PMK dimulai dengan masuknya virus melalui mukosa saluran pernapasan atas (rute inhalasi) atau mukosa orofaringeal dan esofageal (rute oral). Setelah masuk, virus bereplikasi primer di sel epitel faring dan tonsil, kemudian menyebar ke limfonodus regional (Arzt et al., 2011). Dalam 24-48 jam, terjadi viremia primer dengan penyebaran virus ke berbagai organ target melalui sirkulasi darah.

Organ target utama virus FMD adalah jaringan epitel berlapis, terutama mukosa mulut, kulit, dan kelenjar susu. Virus bereplikasi intensif di sel epitel menyebabkan degenerasi balon (ballooning degeneration) dan nekrosis sel, yang mengakibatkan pembentukan vesikel intraepitel dan subepitel (Belsham, 2020). Pada tingkat molekuler, virus FMD menghambat sintesis protein sel host dan menginduksi apoptosis melalui aktivasi caspase, menyebabkan kematian sel masif dan pembentukan lesi karakteristik (Mason et al., 2003).

Selain lesi epitel, virus FMD memiliki tropisme terhadap miokardium terutama pada hewan muda. Replikasi virus di miokardium menyebabkan miokarditis viral dengan infiltrasi sel inflamasi, nekrosis miosit, dan pada kasus berat dapat menyebabkan kegagalan jantung akut dan kematian mendadak (sudden death) terutama pada pedet umur kurang dari 3 bulan (Alexandersen et al., 2003).

Respons imun terhadap infeksi FMD melibatkan baik imunitas humoral maupun selular. Antibodi neutralizing muncul dalam 4-7 hari pasca infeksi dan memberikan proteksi terhadap reinfeksi dengan serotipe yang sama. Namun, tidak

terjadi cross-protection antar serotipe yang berbeda. Imunitas yang diinduksi infeksi alami umumnya bertahan 2-4 tahun, sementara imunitas pasca vaksinasi lebih singkat sekitar 4-6 bulan tergantung jenis vaksin (Grubman dan Baxt, 2004).

Aspek patologi penting lainnya adalah fenomena "carrier state" dimana hingga 50% sapi yang sembuh dari infeksi akut menjadi carrier persisten dengan virus yang terus bereplikasi pada tingkat rendah di orofaring selama 2-3 tahun tanpa menunjukkan gejala klinis (Stenfeldt et al., 2016). Carrier animals ini dapat menjadi sumber infeksi tersembunyi dan memicu outbreak baru ketika virus ditransmisikan ke hewan susceptible, menjadikan eradikasi PMK sangat challenging.

2.2.5 Diagnosis PMK

Diagnosis PMK memerlukan kombinasi pendekatan klinis, epidemiologis, dan laboratoris. Diagnosis klinis berdasarkan gejala patognomonik (vesikel di mulut, lidah, dan kaki) dapat memberikan suspek kuat, namun konfirmasi laboratoris mutlak diperlukan untuk memastikan diagnosis dan menentukan serotipe virus (OIE, 2021).

Diagnosis Klinis dan Diagnosis Banding:

Gejala klinis PMK yang khas meliputi: (1) demam tinggi mendadak >40°C, (2) vesikel dan erosi pada mukosa oral dan kulit periungual, (3) hipersalivasi berlebihan, (4) kepincangan dan keengganan berdiri, (5) penurunan drastis produksi susu (Kitching et al., 2005). Namun, diagnosis banding penting dilakukan karena beberapa penyakit lain dapat menunjukkan gejala serupa:

- **Penyakit Vesikuler Lainnya:** Vesicular stomatitis, swine vesicular disease, dan vesicular exanthema (terutama pada babi) dapat menyebabkan lesi vesikuler serupa PMK (Arzt et al., 2011).
- **Bovine Viral Diarrhea (BVD):** Strain mucosal disease dari BVDV dapat menyebabkan erosi mulut, meskipun umumnya tanpa pembentukan vesikel klasik (Grubman dan Baxt, 2004).
- **Infectious Bovine Rhinotracheitis (IBR):** Dapat menyebabkan erosi mukosa oral, meskipun biasanya disertai gejala respiratorik yang lebih prominent (MacLachlan dan Dubovi, 2017).
- **Malignant Catarrhal Fever (MCF):** Menyebabkan erosi mukosa namun dengan karakteristik lesi kornea dan limfadenopati yang tidak ditemukan pada PMK (Carter dan Saunders, 2013).
- **Bluetongue:** Dapat menyebabkan erosi mulut terutama pada domba, tetapi jarang pada sapi (Alexandersen et al., 2003).

Diagnosis Laboratoris:

Konfirmasi laboratoris PMK menggunakan berbagai metode sesuai standar OIE (2021):

1. **Isolasi Virus:** Gold standard diagnosis PMK menggunakan kultur sel (BHK-21, IB-RS-2, atau sel bovine thyroid primer). Sampel (swab lesi, cairan vesikel, epitel, darah) diinokulasi pada kultur sel dan diamati adanya cytopathic effect (CPE) khas FMD dalam 24-72 jam. Metode ini sensitif dan spesifik namun memerlukan waktu 3-7 hari dan fasilitas biosafety level 3 (Belsham, 2020).
2. **RT-PCR (Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction):** Metode molekuler yang paling cepat (4-6 jam) dan sensitif untuk mendeteksi RNA virus FMD. Real-time RT-PCR dapat mendeteksi virus pada fase awal infeksi sebelum munculnya antibodi. Metode ini juga memungkinkan diferensiasi serotipe melalui sequencing (Callahan et al., 2002).
3. **Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA):**
    - **Antigen ELISA:** Mendeteksi antigen virus FMD dalam sampel jaringan atau cairan tubuh. Sensitif dan spesifik untuk diagnosis cepat (2-4 jam) (Ferris dan Donaldson, 1992).
    - **Antibody ELISA:** Mendeteksi antibodi spesifik terhadap protein struktural (3ABC, NSP) dan non-struktural virus untuk surveilans dan membedakan infected vs vaccinated animals (DIVA strategy) (Paton et al., 2005).
4. **Virus Neutralization Test (VNT):** Uji serologi yang mengukur titer antibodi neutralizing. Merupakan gold standard serologi dan diperlukan untuk sertifikasi perdagangan internasional. Namun memerlukan waktu 5-7 hari dan fasilitas biosafety level 3 (OIE, 2021).
5. **Lateral Flow Devices (LFD):** Rapid diagnostic test yang dapat dilakukan di lapangan dalam 10-20 menit. Meskipun kurang sensitif dibanding PCR atau ELISA, LFD sangat berguna untuk screening cepat terutama di daerah terpencil (Reid et al., 2003).

Pemilihan metode diagnostik tergantung pada tujuan (diagnosis outbreak akut vs surveilans), fase penyakit (akut vs konvalesen), availabilitas fasilitas laboratorium, dan pertimbangan biaya-manfaat.

2.2.6 Pencegahan dan Pengendalian PMK

Strategi pencegahan dan pengendalian PMK bersifat multifaset dan memerlukan pendekatan terintegrasi yang mencakup aspek biosecurity, vaksinasi, surveillance, dan respons cepat terhadap outbreak.

Biosecurity dan Manajemen Peternakan:

Implementasi biosecurity ketat merupakan lini pertahanan pertama terhadap introduksi dan penyebaran virus FMD (Alexandersen et al., 2003). Prinsip biosecurity mencakup:

1. **Kontrol Pergerakan:** Pembatasan ketat pergerakan ternak, kendaraan, dan personel keluar-masuk peternakan. Sistem all-in all-out dengan downtime minimal 14 hari antar batch. Karantina ternak baru minimal 21 hari sebelum dicampur dengan populasi existing (OIE, 2021).
2. **Sanitasi dan Desinfeksi:** Desinfeksi reguler kandang, peralatan, dan kendaraan menggunakan desinfektan efektif terhadap FMD seperti sodium hydroxide 2%, sodium carbonate 4%, citric acid 0,2%, atau virkon S. Desinfeksi boot-dip dan wheel-dip di pintu masuk peternakan (Grubman dan Baxt, 2004).
3. **Kontrol Vektor:** Pengendalian lalat, tikus, dan hewan liar yang dapat bertindak sebagai vektor mekanis virus. Penutupan akses hewan liar ke area kandang dan pakan (Donaldson et al., 2001).
4. **Manajemen Pakan dan Air:** Penggunaan pakan dan air dari sumber terkontrol. Hindari penggunaan swill feeding (limbah makanan) yang berisiko kontaminasi virus (Alexandersen et al., 2003).
5. **Edukasi dan Pelatihan:** Pelatihan reguler pekerja kandang mengenai tanda klinis PMK, prosedur biosecurity, dan protokol pelaporan kasus suspect (Arzt et al., 2011).

Vaksinasi:

Vaksinasi merupakan tool penting dalam kontrol PMK, terutama di negara endemis atau menghadapi outbreak. Terdapat dua strategi vaksinasi utama (Grubman dan Baxt, 2004):

1. **Prophylactic Vaccination:** Vaksinasi rutin populasi ternak di zona berisiko tinggi untuk mencegah introduksi penyakit atau mengurangi severity outbreak. Strategi ini diterapkan di negara endemis seperti Asia dan Afrika (Paton et al., 2005).
2. **Emergency Vaccination:** Vaksinasi ring (zona 3-10 km sekeliling outbreak) atau vaksinasi massal dalam respons emergency outbreak untuk membatasi penyebaran virus (Alexandersen et al., 2003).

Jenis vaksin FMD yang tersedia:

- **Conventional Inactivated Vaccine:** Virus FMD diinaktivasi dengan binary ethylenimine (BEI) atau formaldehyde, kemudian diformulasi dengan adjuvant (aluminium hydroxide, saponin, atau oil adjuvant). Vaksin ini aman, stabil, dan memberikan proteksi 4-6 bulan pasca dua dosis dengan interval 4 minggu. Namun, tidak memberikan cross-protection antar serotipe dan memerlukan cold chain (Doel, 2003).
- **Marker Vaccine:** Vaksin yang memungkinkan diferensiasi vaccinated vs infected animals (DIVA) melalui deletion gen protein non-struktural tertentu. Strategi ini penting untuk surveilans dan sertifikasi perdagangan (Belsham, 2020).
- **Next-Generation Vaccine:** Termasuk sub-unit vaccine, virus-like particles (VLPs), DNA vaccine, dan vector vaccine. Masih dalam tahap penelitian dan pengembangan untuk mengatasi keterbatasan vaksin konvensional (Grubman dan Baxt, 2004).

Tantangan vaksinasi PMK meliputi: (1) variasi antigen tinggi memerlukan matching vaksin dengan strain lapangan, (2) durasi proteksi relatif singkat memerlukan revaksinasi reguler, (3) tidak mencegah carrier state, (4) biaya tinggi terutama untuk vaksinasi massal, dan (5) kompleksitas logistik termasuk cold chain di daerah terpencil (OIE, 2021).

Surveillance dan Early Warning System:

Sistem surveilans aktif dan pasif penting untuk deteksi dini introduksi virus FMD. Komponen surveilans meliputi: (1) clinical surveillance berbasis pelaporan peternak dan veterinarian, (2) serological surveillance untuk mendeteksi sirkulasi virus subclinical, (3) virological surveillance melalui sampling dan testing reguler, dan (4) risk-based surveillance focusing pada population berisiko tinggi seperti pasar ternak, rumah potong hewan, dan border crossing (Paton et al., 2005).

Early warning system terintegrasi menggabungkan data surveilans dengan modeling epidemiologi untuk prediksi risiko dan respons proaktif. Sistem ini memerlukan infrastruktur IT yang robust, laboratorium diagnostik yang capable, dan mekanisme koordinasi antar stakeholder (Alexandersen et al., 2003).

Respons Outbreak:

Ketika outbreak terkonfirmasi, respons cepat dan terkoordinasi sangat krusial. Strategi respons yang direkomendasikan OIE (2021) meliputi:

1. **Stamping Out:** Depopulasi total (culling and disposal) semua ternak di premises terdampak, diikuti cleaning dan disinfection intensif sebelum repopulasi. Strategi ini efektif tetapi kontroversial karena alasan animal welfare dan sosial-ekonomi (Grubman dan Baxt, 2004).
2. **Modified Stamping Out:** Culling ternak terinfeksi dan kontak langsung, namun mempertahankan ternak sehat dengan vaksinasi protektif. Pendekatan compromised ini mengurangi welfare issue namun risiko carrier state tetap ada (Alexandersen et al., 2003).
3. **Vaccination to Live:** Vaksinasi massal tanpa culling, dikombinasikan dengan movement restriction dan surveillance ketat. Strategi ini lebih acceptable secara sosial-ekonomi tetapi memerlukan program jangka panjang untuk mencapai disease-free status (Paton et al., 2005).
4. **Movement Control:** Pembentukan protection zone (3 km radius), surveillance zone (10 km radius), dan restricted zone (50 km radius) di sekeliling outbreak dengan pembatasan ketat pergerakan ternak, produk, dan kendaraan (OIE, 2021).
5. **Tracing and Epidemiological Investigation:** Pelacakan backward (sumber infeksi) dan forward (spreading) untuk identifikasi semua premises yang terpapar virus (Donaldson et al., 2001).

2.3 Lumpy Skin Disease (LSD)

2.3.1 Definisi dan Etiologi LSD

Lumpy Skin Disease (LSD) merupakan penyakit viral yang sangat menular pada sapi dan kerbau yang disebabkan oleh Lumpy Skin Disease Virus (LSDV), anggota genus Capripoxvirus dalam famili Poxviridae (Tuppurainen dan Oura, 2012). Virus ini merupakan virus DNA double-stranded berukuran besar (200-300 nm) dengan morfologi brick-shaped atau ovoid yang khas untuk poxvirus (Tulman et al., 2001).

LSDV memiliki hubungan genetik sangat dekat dengan sheeppox virus (SPV) dan goatpox virus (GPV) dengan homologi DNA >96%, namun ketiga virus ini menunjukkan host specificity yang berbeda. LSDV spesifik menginfeksi Bos taurus (sapi domestik), Bos indicus (sapi zebu), dan Bubalus bubalis (kerbau), meskipun sesekali dilaporkan infeksi pada spesies lain seperti impala dan jerapah (Babiuk et al., 2008).

Karakteristik penting LSDV adalah resistensinya yang tinggi terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Virus dapat bertahan hidup dalam lesi kulit dan keropeng (scab) hingga 33 hari pada suhu kamar, dalam daging beku selama 6 bulan, dan dalam kulit yang diawetkan selama beberapa bulan (Tuppurainen et al., 2017). Virus juga resisten terhadap desinfektan berbasis alkohol tetapi sensitif terhadap

desinfektan berbasis iodine, sodium hypochlorite, dan phenolic compounds (OIE, 2021).

2.3.2 Epidemiologi dan Transmisi LSD

LSD pertama kali dilaporkan di Zambia pada tahun 1929 dan sejak itu menyebar ke sebagian besar negara Afrika. Pada tahun 1989, LSD menyebar ke Timur Tengah (Israel), dan sejak 2012 terjadi ekspansi dramatis ke Eropa Timur, Balkan, Kaukasus, dan Asia (Tuppurainen et al., 2017). Indonesia melaporkan kasus LSD pertama pada tahun 2020, yang kemudian menyebar ke berbagai provinsi (Kementerian Pertanian RI, 2022).

Transmisi dan Vektor:

Berbeda dengan PMK yang dapat ditransmisikan melalui kontak langsung dan airborne, transmisi LSD predominantly melalui vektor artropoda hematofag (blood-sucking arthropods). Beberapa vektor yang telah dikonfirmasi atau dicurigai kuat sebagai vektor LSDV meliputi (Tuppurainen dan Oura, 2012):

1. **Lalat Hematofag:** Stomoxys calcitrans (stable fly) dan Haematobia irritans (horn fly) telah terbukti secara eksperimental dapat mentransmisikan LSDV secara mekanis. Virus bertahan hidup pada proboscis lalat selama 2-3 hari (Chihota et al., 2001).
2. **Nyamuk:** Beberapa spesies nyamuk termasuk Aedes aegypti dan Culex quinquefasciatus dicurigai berperan dalam transmisi LSD, terutama dalam penyebaran jarak jauh. Namun, peran nyamuk masih kontroversial dan memerlukan penelitian lebih lanjut (Lubinga et al., 2015).
3. **Caplak (Tick):** Amblyomma hebraeum dan Rhipicephalus appendiculatus telah dikonfirmasi dapat mentransmisikan LSDV baik secara mekanis maupun trans-stadial. Virus dapat bertahan dalam caplak hingga 5 bulan (Tuppurainen et al., 2013).
4. **Vektor Lain:** Lalat penghisap darah lainnya seperti Tabanus spp. (horse fly) dan flea (pinjal) juga dicurigai berperan dalam transmisi (Babiuk et al., 2008).

Selain transmisi vektor, LSDV dapat ditransmisikan melalui: (1) kontak langsung dengan lesi kulit terinfeksi (low efficiency), (2) kontaminasi pakan, air, dan peralatan dengan discharge dari lesi atau saliva, (3) semen dari sapi jantan terinfeksi (LSDV dapat bertahan dalam semen hingga 159 hari), (4) transmisi vertikal dari induk ke fetus (jarang), dan (5) iatrogenic transmission melalui jarum suntik atau instrumen bedah yang tidak steril (Tuppurainen et al., 2017).

Faktor Risiko dan Pola Penyebaran:

Beberapa faktor mempengaruhi penyebaran LSD (Gari et al., 2011):

1. **Musim:** Outbreak LSD umumnya terjadi pada musim hujan atau musim panas-awal gugur yang bertepatan dengan peningkatan populasi vektor artropoda (Tuppurainen dan Oura, 2012).
2. **Kepadatan Vektor:** Daerah dengan populasi lalat dan nyamuk tinggi, seperti area dekat dengan badan air, rawa, atau limbah organik, memiliki risiko LSD lebih tinggi (Lubinga et al., 2015).
3. **Pergerakan Ternak:** Perdagangan ternak, transhumance, dan shared grazing areas meningkatkan risiko introduksi virus ke area baru (Gari et al., 2011).
4. **Status Imun:** Ternak naive (tidak pernah terpapar LSDV atau divaksinasi) lebih rentan dibanding ternak dengan imunitas pre-existing. Young stock dan ternak import dari area bebas LSD berisiko tinggi (Tuppurainen et al., 2017).
5. **Breed:** Dairy breeds (Bos taurus) umumnya lebih susceptible dan menunjukkan gejala lebih severe dibanding beef breeds (Bos indicus), meskipun semua breeds dapat terinfeksi (Babiuk et al., 2008).

Attack rate dalam populasi ternak susceptible bervariasi luas dari 5% hingga >85% tergantung pada kepadatan vektor, manajemen peternakan, dan status imun populasi. Mortalitas umumnya rendah <5%, tetapi morbiditas tinggi dan kerugian ekonomi sangat signifikan (Tuppurainen dan Oura, 2012).

2.3.3 Manifestasi Klinis LSD pada Sapi

Periode inkubasi LSD berkisar 4-28 hari (rata-rata 7-10 hari) setelah paparan virus. Perkembangan penyakit dapat dibagi menjadi beberapa fase (Babiuk et al., 2008):

Fase Prodromal (1-2 hari):

- Demam bifasik dengan puncak pertama mencapai 40-41,5°C
- Penurunan nafsu makan (anorexia) dan penurunan konsumsi pakan hingga 50%
- Leleran hidung (nasal discharge