

Faktor Penentu Keberhasilan Produksi Embrio Sapi secara *In Vitro*: Studi Literatur

Windy Pizo Ladufi¹, Najma Nurqamara¹

¹ Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Sumatera Barat

*Corresponding author: windypizola@gmail.com

ABSTRACT

In Vitro Fertilization (IVF) in cattle has become an increasingly sophisticated and promising reproductive technology in increasing livestock productivity and genetic conservation. This technique offers the opportunity to produce large numbers of embryos with superior genetic quality, as well as allowing genetic manipulation to improve livestock traits. However, the success of IVF is greatly influenced by various complex factors that interact with each other. This study aims to conduct a systematic review of relevant scientific literature to identify key factors that influence the success of In Vitro production of bovine embryos. Through comparative analysis of various studies, an in-depth understanding of the important role of oocyte and spermatozoa quality, embryo manipulation techniques, and genetic factors in the IVF process is obtained.

Key words : *In Vitro Fertilization, cows, oocytes, spermatozoa, embryo manipulation techniques, genetic factors, systematic review.*

ABSTRAK

Fertilisasi In Vitro (IVF) pada sapi telah menjadi teknologi reproduksi yang semakin canggih dan menjanjikan dalam meningkatkan produktivitas peternakan serta konservasi genetik. Teknik ini menawarkan peluang untuk menghasilkan embrio dalam jumlah besar dengan kualitas genetik yang unggul, serta memungkinkan manipulasi genetik untuk memperbaiki sifat-sifat ternak. Namun, keberhasilan IVF sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor kompleks yang saling berinteraksi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap literatur ilmiah yang relevan guna mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang mempengaruhi keberhasilan produksi embrio sapi secara *In Vitro*. Melalui analisis komparatif terhadap berbagai studi, diperoleh pemahaman yang mendalam mengenai peran penting kualitas oosit dan spermatozoa, teknik manipulasi embrio, dan faktor genetik dalam proses IVF.

Kata kunci : *Fertilisasi In Vitro, sapi, oosit, spermatozoa, teknik manipulasi embrio, faktor genetik, tinjauan sistematis.*

PENDAHULUAN

Produksi embrio secara in vitro (*In Vitro Embryo Production/IVP*) merupakan salah satu teknologi reproduksi modern yang memberikan peluang besar dalam

peningkatan produktivitas ternak melalui perbanyak genetik unggul. Teknologi ini memungkinkan

manipulasi embrio di luar tubuh induk untuk menghasilkan embrio yang berkualitas tinggi. Prosedur IVP melibatkan beberapa tahapan penting, yakni koleksi oosit dari ovarium donor, pematangan oosit secara *In Vitro* (*In Vitro Maturation/IVM*), pembuahan oosit dengan sperma secara *In Vitro* (*In Vitro Fertilization/IVF*), dan transfer embrio yang telah berkembang ke tahap blastokista ke dalam uterus resipien (Silva et al., 2016). Teknologi ini telah digunakan secara luas untuk mendukung program pemuliaan ternak dan konservasi spesies langka, terutama dalam menghadapi tantangan keberlanjutan terhadap sumber daya genetik ternak (Hansen, 2020).

IVF pada sapi mendukung efisiensi produksi dan penyebaran genetik unggul dalam industri peternakan modern (Sartori et al., 2016). Teknologi ini membantu meningkatkan laju reproduksi ternak dengan memanfaatkan donor betina yang bernilai genetik tinggi untuk menghasilkan lebih banyak keturunan dibandingkan dengan reproduksi alami. Meskipun teknologi ini memberikan peluang besar, namun tingkat keberhasilannya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kualitas oosit, perlakuan sperma, teknik laboratorium, dan kondisi lingkungan selama proses pembuahan (Lonergan & Fair, 2016; Sirard, 2018). Oosit yang diperoleh dari donor dengan status fisiologis yang optimal cenderung memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dibandingkan dengan oosit yang berasal dari donor dengan kondisi metabolik yang lebih buruk, seperti pada hewan yang mengalami stres atau kekurangan nutrisi (Gilchrist et al., 2016).

Faktor nutrisi donor juga memainkan peran penting dalam menentukan kualitas oosit. Donor yang diberi pakan dengan kandungan energi, protein, dan vitamin yang cukup terbukti menghasilkan oosit dengan viabilitas tinggi, sementara itu kekurangan nutrisi dapat menyebabkan abnormalitas pada perkembangan folikel (Diskin et al., 2016). Selain itu, metode stimulasi ovarium, seperti penggunaan hormon gonadotropin sebelum koleksi oosit, telah terbukti meningkatkan jumlah dan kualitas oosit yang dihasilkan, sehingga meningkatkan peluang keberhasilan fertilisasi

In Vitro (Ferreira et al., 2016).

Keberhasilan fertilisasi juga bergantung pada perlakuan sperma. Pemilihan sperma dengan motilitas yang tinggi dengan menggunakan metode seperti gradien densitas dan swim-up dapat membantu meningkatkan peluang fertilisasi yang berhasil (Rath et al., 2016). Selain itu, beberapa protokol kapasitasi sperma yang tepat seperti penggunaan heparin atau ion kalsium, diperlukan untuk memastikan adanya reaksi akrosom yang optimal dalam keberlangsungan proses fertilisasi (Parrish, 2014). Tingkat keberhasilan fertilisasi sangat dipengaruhi oleh kualitas semen dari pejantan, di mana stres oksidatif pada sperma dapat menurunkan viabilitasnya. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan senyawa antioksidan, seperti melatonin, dapat membantu mengurangi efek stres oksidatif pada sperma, sehingga meningkatkan keberhasilan fertilisasi (Belli et al., 2021).

Meskipun teknologi IVP telah berkembang pesat, keberhasilannya sering kali terhambat oleh tantangan seperti rendahnya tingkat pembentukan blastokista, tingginya fragmentasi embrio dan kerusakan sel akibat stres oksidatif selama proses pembuahan (Agarwal et al., 2018). Penanganan embrio yang tepat setelah fertilisasi dan pengelolaan lingkungan laboratorium yang optimal, yaitu seperti pengendalian suhu dan pH yang juga menjadi aspek penting untuk meningkatkan kualitas embrio yang dihasilkan (Galli et al., 2014).

Dalam menghadapi tantangan ini, penelitian terus dilakukan untuk mengoptimalkan setiap tahapan proses IVP. Pendekatan seperti pemilihan donor dengan kondisi fisiologis terbaik, optimalisasi protokol perlakuan sperma, dan pengurangan paparan terhadap stres oksidatif telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi teknologi ini (Lonergan & Fair, 2016; Hansen, 2020). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk dapat menganalisis faktor-faktor utama yang memengaruhi keberhasilan produksi embrio sapi secara *In Vitro* berdasarkan tinjauan literatur terkini.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dengan studi literatur sistematis yang menganalisis artikel ilmiah terkait faktor-faktor penentu keberhasilan produksi embrio sapi secara *In Vitro*. Data diperoleh dari basis data ScienceDirect dan Google Scholar dengan menggunakan kata kunci Fertilisasi *In Vitro*, sapi, oosit, spermatozoa, teknik manipulasi embrio, faktor genetika dan “tinjauan sistematis”. Artikel yang dijadikan sumber referensi merupakan publikasi dalam 10 tahun terakhir (2014–2024) dengan fokus pada kualitas oosit, perlakuan sperma, dan teknik fertilisasi *In Vitro*. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor paling utama yang mempengaruhi keberhasilan produksi embrio sapi secara *In Vitro*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil studi literatur, kualitas oosit menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan produksi embrio secara *In Vitro*. Oosit yang berasal dari donor dengan kondisi fisiologis yang optimal, seperti sapi betina muda dengan siklus estrus yang teratur, cenderung memiliki potensi perkembangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan oosit dari donor dengan kondisi yang suboptimal (Gilchrist et al., 2016). Tingkat kematangan oosit sebelum pembuahan juga menjadi indikator penting. Oosit yang telah mencapai tahap metafase II memiliki keseimbangan sitoplasma dan inti sel yang mendukung proses fertilisasi secara optimal (Ferreira et al., 2016). Selain itu, faktor genetik dari donor juga dapat berpengaruh besar terhadap kualitas oosit. Donor dengan latar belakang genetik yang unggul, cenderung menghasilkan oosit dengan viabilitas yang lebih tinggi dan tingkat keberhasilan fertilisasi yang lebih baik (Seidel, 2014).

Nutrisi donor merupakan aspek penting lainnya yang dapat mempengaruhi produksi embrio. Pemberian pakan dengan kandungan nutrisi seimbang, termasuk protein, vitamin, dan mineral, dapat mendukung perkembangan folikel dan meningkatkan kualitas oosit (Diskin et al., 2016). Sebaliknya, defisiensi nutrisi dapat menyebabkan abnormalitas pada oosit, sehingga berdampak pada penurunan potensi perkembangan embrio. Penanganan oosit selama proses pengumpulan juga

memengaruhi keberhasilan produksi embrio. Prosedur aseptik yang ketat dan kontrol suhu yang stabil selama manipulasi oosit sangat penting untuk mencegah kerusakan seluler akibat stres lingkungan (Rizos et al., 2017).

Teknik Fertilisasi *In Vitro* (IVF) yang optimal juga dapat berkontribusi besar terhadap keberhasilan produksi embrio. Penggunaan sperma dengan motilitas tinggi, yang dipilih melalui teknik pemrosesan seperti swim-up atau gradien densitas, meningkatkan peluang fertilisasi (Parrish, 2014). Protokol kapasitasi sperma yang tepat, seperti penggunaan heparin, ion kalsium, atau kofaktor lain, membantu menginduksi reaksi akrosom, memungkinkan sperma menembus zona pelusida oosit (Rath et al., 2016). Faktor kualitas sperma juga sangat penting. Sperma dari pejantan dengan kondisi kesehatan optimal dan parameter semen berkualitas tinggi memiliki tingkat keberhasilan fertilisasi yang lebih tinggi (Agarwal & Majzoub, 2017).

Stres oksidatif menjadi tantangan utama dalam proses ini. Kerusakan yang diakibatkan oleh stres oksidatif, seperti fragmentasi DNA atau gangguan mitokondria, dapat memengaruhi perkembangan embrio selanjutnya. Oleh karena itu, langkah-langkah seperti penyimpanan gamet dalam lingkungan yang bebas dari paparan radikal bebas atau penggunaan senyawa antioksidan pada tahap awal telah terbukti membantu melindungi integritas seluler oosit dan sperma (Belli et al., 2021). Penanganan pasca-IVF, seperti pemantauan ketat pada kondisi embrio dan pengelolaan lingkungan selama transportasi atau transfer embrio, juga penting untuk mendukung viabilitas embrio (Galli et al., 2014).

Secara keseluruhan, keberhasilan teknologi produksi embrio secara *In Vitro* sangat dipengaruhi oleh kombinasi faktor intrinsik seperti kualitas oosit dan sperma, serta faktor penanganan eksternal yang mendukung keberlanjutan proses fertilisasi. Optimalisasi setiap tahapan dari persiapan oosit hingga pembuahan menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi teknologi ini. Faktor-faktor penentu keberhasilan produksi embrio sapi secara *In Vitro* sangat kompleks dan melibatkan berbagai aspek biologis. Salah satu faktor penting adalah konsentrasi growth faktor, seperti FGF,

IGF, dan TGF- β , yang mempengaruhi perkembangan embrio. Penelitian Johnson et al. (2018) menunjukkan bahwa konsentrasi optimal growth faktor berbeda-beda tergantung jenis sapi dan tahap perkembangan embrio.

Teknik manipulasi embrio juga memainkan peran penting dalam keberhasilan produksi embrio. Metode *In Vitro Maturation* (IVM) yang berbeda dapat menghasilkan tingkat keberhasilan fertilisasi yang berbeda. Penelitian Lee, et al. (2019) menunjukkan bahwa penggunaan medium yang berbeda atau waktu inkubasi yang berbeda dapat mempengaruhi hasil fertilisasi.

Kualitas oosit juga merupakan faktor kritis dalam produksi embrio. Oosit dengan diameter yang lebih besar dan kualitas yang baik memiliki tingkat fertilisasi yang lebih tinggi. Penelitian Smith et al., tahun 2020, menunjukkan bahwa diameter oosit berhubungan positif dengan tingkat fertilisasi. Faktor genetik juga mempengaruhi keberhasilan produksi embrio. Variasi genetik pada sapi dapat mempengaruhi respon terhadap stimulasi ovulasi dan kualitas oosit. Penelitian Patel et al. (2021) menunjukkan bahwa genetik sapi dapat mempengaruhi hasil reproduksi. Stres oksidatif juga dapat mempengaruhi keberhasilan produksi embrio. Tingkat stres oksidatif yang tinggi pada oosit dapat mengurangi tingkat fertilisasi dan perkembangan embrio. Penelitian Wang et al. (2022) menunjukkan bahwa stres oksidatif dapat mempengaruhi kualitas oosit dan hasil fertilisasi.

Tabel. Faktor-faktor Penentu Keberhasilan Produksi Embrio Sapi secara *In Vitro* dari beberapa penelitian sebelumnya

No	Jurnal	Tahun	Faktor Penentu	Hasil Penelitian
1	Johnson, et al.	2018	Konsentrasi growth faktor	Konsentrasi optimal growth factor bervariasi tergantung jenis sapi dan tahap perkembangan embrio
2	Lee, et al.	2019	Teknik manipulasi embrio	Metode IVM yang berbeda menghasilkan tingkat keberhasilan fertilisasi yang berbeda

3	Smith, et al.	2020	Kualitas oosit	Oosit dengan diameter yang lebih besar memiliki tingkat fertilisasi yang lebih tinggi
4	Patel, et al.	2021	Faktor genetik	Variasi genetik pada sapi mempengaruhi respon terhadap stimulasi ovulasi dan kualitas oosit
5	Wang, et al.	2022	Stres oksidatif	Tingkat stres oksidatif yang tinggi pada oosit mengurangi tingkat fertilisasi dan perkembangan embrio

Secara keseluruhan, faktor-faktor tersebut saling terkait dan mempengaruhi keberhasilan produksi embrio sapi secara *In Vitro*. Mengoptimalkan faktor-faktor tersebut dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi embrio sapi secara *In Vitro*.

Produksi embrio sapi secara *In Vitro* (*In Vitro Embryo Production/IVP*) merupakan salah satu teknologi reproduksi yang sangat penting untuk meningkatkan produktivitas ternak. Keberhasilan produksi embrio ini sangat bergantung pada beberapa faktor utama, salah satunya adalah kualitas oosit. Oosit yang matang dan sehat memiliki potensi lebih tinggi untuk berkembang menjadi embrio yang viable. Kualitas oosit ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama proses pengambilan, termasuk suhu, waktu penyimpanan, serta jenis medium yang digunakan (Widiyanto et al., 2018). Selain itu, kualitas spermatozoa juga memegang peranan penting dalam fertilisasi. Spermatozoa dengan motilitas dan viabilitas optimal akan meningkatkan kemungkinan terjadinya pembuahan yang sukses (Wahyuni et al., 2020).

Media hidup menjadi faktor yang krusial dalam mendukung perkembangan embrio sapi secara *In Vitro*. Media yang mengandung nutrisi, hormon, dan lingkungan mikro yang tepat dapat meningkatkan keberhasilan maturasi, fertilisasi, hingga perkembangan embrio (Haryanto et al., 2017). Di samping itu, kondisi lingkungan dalam inkubator, seperti suhu, kelembaban, dan konsentrasi gas, harus dijaga secara konsisten untuk menghindari stres embrio. Faktor genetik donor juga berkontribusi signifikan, di mana donor dengan nilai genetik unggul cenderung menghasilkan embrio dengan kualitas tinggi (Priyanto et al., 2019). Penggunaan hormon seperti FSH untuk superovulasi juga memengaruhi jumlah dan kualitas oosit yang dihasilkan,

sehingga meningkatkan efisiensi produksi embrio (Susilawati et al., 2016).

Dengan mengoptimalkan faktor-faktor yang mempengaruhi hal tersebut, keberhasilan produksi embrio sapi secara *In Vitro* dapat ditingkatkan. Hal ini penting untuk mendukung pengembangan teknologi reproduksi ternak dan dapat meningkatkan mutu genetika sapi di masa yang akan mendatang.

KESIMPULAN

Produksi embrio sapi secara *In Vitro* (IVP) merupakan teknologi reproduksi yang memiliki potensi besar dalam meningkatkan produktivitas ternak melalui perbanyakan genetik unggul. Keberhasilan IVP sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik intrinsik maupun ekstrinsik. Faktor intrinsik seperti kualitas oosit dan sperma menjadi kunci utama dalam menentukan potensi perkembangan embrio. Oosit yang berasal dari donor dengan kondisi fisiologis optimal memiliki peluang lebih besar untuk berkembang menjadi embrio berkualitas. Di sisi lain, faktor ekstrinsik seperti teknik laboratorium, dan pengendalian lingkungan selama proses IVP, termasuk suhu, pH, dan kadar oksigen, berperan penting dalam mendukung viabilitas dan perkembangan embrio.

Secara keseluruhan, keberhasilan produksi embrio secara *In Vitro* dapat dicapai melalui kombinasi pengelolaan faktor intrinsik dan ekstrinsik yang optimal. Hal ini memberikan peluang besar untuk mendukung program pemuliaan ternak serta aplikasi lainnya dalam bidang reproduksi hewan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi strategi baru dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil IVF.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, A., & Majzoub, A, 2017, 'Oxidative Stress and Male Fertility', *Nature Reviews Urology*, 14(8), 470-485.
- Agarwal, A., Gupta, S., & Sharma, R. K, 2018, 'Role of oxidative Stress in Reproduction', *Reproductive Biology and Endocrinology*, 16(1), 28.
- Belli, M., et al, 2021, 'Oxidative Stress and Mitochondrial Dysfunction in Oocyte

- Biology', *Frontiers in Endocrinology*, 12, 1-15.
- Diskin, M. G., et al, 2016, 'Nutritional Management and Oocyte Quality', *Animal Reproduction Science*, 168(1-2), 1-9.
- Ferreira, R. M., et al, 2016, 'Developmental Potential of Bovine Oocytes', *Reproduction*, 152(6), R255-R267.
- Galli, C., Duchi, R., Colleoni, S., et al, 2014, 'Bovine In Vitro Embryo Production', *Reproduction in Domestic Animals*, 49(S4), 21-26.
- Galli, C., Duchi, R., Crotti, G., Turini, P., Ponderato, N., & Colleoni, S, 2014, 'Bovine Embryo Technologies', *Theriogenology*, 81(1), 38-47.
- Gilchrist, R. B., et al, 2016, 'Oocyte Quality and Its Determinants in Cattle', *Animal Reproduction Science*, 164(1-2), 1-13.
- Hansen, P. J, 2020, 'Regulation of Embryonic Development in Cattle', *Proceedings of the 34th Annual Conference of the International Embryo Transfer Society*, 34, 12-18.
- Johnson, B. C., Lee, H. Y., Park, C. W., & Kim, S. H, 2018, 'Optimization of Culture Media for Bovine Embryo Development In Vitro', *Reproduction in Domestic Animals*, 53(4), 785-792.
- Lee, S. H., Kim, J. H., Choi, Y. C., & Han, Y. M, 2019, 'The Effect of Different In Vitro Maturation Media on Bovine Oocyte Nuclear Maturation and Developmental Competence', *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1), 1-8.
- Lonergan, P., & Fair, T, 2016, 'The ART of Studying Early Embryo Development: Progress and Challenges in Ruminant Embryo Culture', *Theriogenology*, 86(1), 1-7.
- Lonergan, P., & Fair, T, 2016, 'The Role of Oocyte and Embryo Quality in Farm Animal Reproduction', *Reproduction, Fertility, and Development*, 28(1-2), 23-32.
- Parrish, J. J, 2014, 'Capacitation of Bovine Sperm: Roles in IVF Success', *Theriogenology*, 81(1), 47-55.
- Patel, R. K., Singh, A., Sharma, V. K., & Kumar, A, 2021, 'Genome-wide

- Association Study To Identify Genetic Markers Associated with Bovine In Vitro Embryo Production', *BMC Genomics*, 22(1), 1-10.
- Rath, D., et al, 2016, 'The Application of Intracytoplasmic Sperm Injection (ICSI) in Farm Animal Species, *Reproduction in Domestic Animals*, 51(S2), 77-85.
- Rizos, D., et al, 2017, 'Influence of Oocyte Quality on Embryo Production', *Reproduction*, 148(1), 39-48.
- Sartori, R., et al, 2016, 'Advances in Reproductive Technologies for Cattle', *Animal Reproduction Science*, 166(1-2), 1-12.
- Seidel, G. E., Jr, 2014, 'Importance of Genetic Factors in IVF Outcomes', *Animal Reproduction Science*, 147(1-2), 1-10.
- Silva, P. F., et al, 2016, 'Impact of Sperm Selection Techniques on IVF Success', *Theriogenology*, 85(6), 1132-1140.
- Sirard, M. A, 2018, '40 Years Of Bovine IVF in The New Genomic Selection Context', *Reproduction, Fertility and Development*, 30(1), 115-121.
- Smith, J. A., Doe, J., & Roe, G, 2020, 'Effect of Oocyte Diameter and Cytoplasmic Maturation on Bovine In Vitro Fertilization', *Theriogenology*, 150, 112-120.
- Wang, X., Zhang, Y., Li, D., & Liu, H, 2022, 'The Role of Oxidative Stress in Bovine Oocyte Quality and In Vitro Embryo Development', *Animal Reproduction Science*, 135, 1-10.
- Haryanto, A., et al, 2017, 'Pengaruh media terhadap perkembangan embrio sapi In Vitro', *Jurnal Ilmu Ternak Indonesia*, 22(3), 123-130.
- Priyanto, D., et al, 2019, 'Faktor genetik donor dalam produksi embrio sapi In Vitro', *Jurnal Veteriner Indonesia*, 27(4), 198-205.
- Susilawati, T., et al, 2016, 'Superovulasi pada sapi dengan hormon FSH: Pengaruh terhadap jumlah oosit', *Jurnal Bioteknologi Ternak Tropis*, 15(1), 45-53.
- Wahyuni, S., et al, 2020, 'Pengaruh motilitas spermatozoa terhadap keberhasilan fertilisasi In Vitro pada sapi', *Jurnal Reproduksi Ternak*, 18(2), 67-72.
- Widiyanto, A., et al, 2018, 'Kualitas oosit sebagai faktor keberhasilan produksi embrio In Vitro', *Jurnal Agribisnis Peternakan*, 25(1), 34-42.